ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΑΒΕΒΑΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΙΣ ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΖΟΝΤΑΙ ΜΕ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΕΠΤΙΚΕΣ ΔΟΚΙΜΕΣ

Κωνσταντίνος Κράλλης[1], Νικόλαος Γ. Ορφανουδάκης[2]
[1]ΗΡΩΝ Σύμβουλοι Μηχανικοί
[2]Τ.Ε.Ι. Στερεάς Ελλάδος, 34400 Ψαχνά Ευβοίας
e-mail: norfan@teihal.gr

Περίληψη

Η εργασία παρουσιάζει την εφαρμογή της μεθόδου ISO GUM για εκτίμηση της αβεβαιότητας στις Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές και συγκεκριμένα στην παχυμέτρηση ελασμάτων χάλυβα με υπερήχους.

Λέξεις-Κλειδιά: Μη Καταστρεπτικές Δοκιμές, Παχυμέτρηση

Abstract

This paper presents an application of the ISO GUM methodology to the estimation of the uncertainty in Non-Destructive Testing and specifically to ultrasonic thickness measurement of steel plate.

Keywords: ***Non-Destructive Testing****, Thickness measurement*

1. Εισαγωγή

Ο τεχνικός κλάδος των Μη Καταστρεπτικών Δοκιμών (ΜΚΔ – NDT) ιδίως όσον αφορά μεταλλικά προϊόντα και ηλεκτροσυγκολλήσεις έχει γνωρίσει τις τελευταίες δεκαετίες μεγάλη ανάπτυξη στον τομέα της τυποποίησης, της πιστοποίησης προσώπων και της τυπικής ένταξης του στις διαδικασίες αξιολόγησης της συμμόρφωσης. Στον ευρωπαϊκό χώρο συνέβαλαν καταλυτικά οι απαιτήσεις της Οδηγίας 97/23/ΕΟΚ (Pressure Equipment Directive -PED) αρχικά και στην συνέχεια του Κανονισμού 305/2011 (Construction Products Regulation – CPR), καθώς και η ανάπτυξη δικτύων μεταφοράς Φυσικού Αερίου.

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την μεγάλη πλειονότητα των ελέγχων είναι η Ραδιογραφία (RT) και ο έλεγχος με υπερήχους (UT), επικουρούμενες από τα μαγνητικά σωματίδια (MT) και τα διεισδυτικά υγρά (PT). Η ραδιογραφία παραμένει η πρώτη επιλογή, παρά τα εγγενή προβλήματα ασφάλειας και υγιεινής, επειδή παράγει σαφές και μόνιμο τεκμήριο του ελέγχου. Ο έλεγχος με υπερήχους αποτελεί την ταχύτερα αναπτυσσόμενη οικογένεια μεθόδων ελέγχου, κυρίως λόγω των εξελίξεων της μικροηλεκτρονικής που επιτυγχάνουν μείωση του κόστους και του βάρους του εξοπλισμού, μερικής τουλάχιστον αυτοματοποίησης του ελέγχου και ηλεκτρονικής

καταγραφής μεγάλου όγκου δεδομένων, όπως αυτά που παράγονται από την τεχνική Phased Array Ultrasonic Testing (PAUT).

Παρά τις εξελίξεις στις μεθοδολογίες, τον εξοπλισμό και την τυποποίηση στον χώρο αυτό, η εκτίμηση των αβεβαιοτήτων στον προσδιορισμό των διαστάσεων των ασυνεχειών είχε μάλλον παραμεληθεί, δίνοντας έμφαση κυρίως στην πιθανότητα ανίχνευσης μιας ασυνέχειας [NATA 35, pp.3] και στον χαρακτηρισμό της, και εν συνεχεία στην, συνήθως προσεγγιστική, εκτίμηση των διαστάσεων της.

Μια ποσοτική προσέγγιση στην πιθανότητα ανίχνευσης μπορεί να δοθεί με μια απλοποιημένη εφαρμογή της μεθοδολογίας Rand Index ως εξής:

$$accuracy = \frac{N_{TP} + N_{TN}}{N_{TP} + N_{FP} + N_{TN} + N_{FN}}$$

$$precision = \frac{N_{TP}}{N_{TP} + N_{FP}}$$

Όπου:

N_{TP}: αριθμός αληθών θετικών ενδείξεων (true positives), δηλαδή επιτυχείς εντοπισμοί υπαρκτής ασυνέχειας.

N_{FP}: αριθμός ψευδών θετικών ενδείξεων (false positives)

N_{TN}: αριθμός αληθών αρνητικών ενδείξεων (true negatives)

N_{FN}: αριθμός ψευδών αρνητικών ενδείξεων (false negatives), δηλαδή αστοχίες εντοπισμού ασυνέχειας.

Η μεθοδολογία εφαρμόζεται ευκολότερα σε έλεγχο μεμονωμένων προϊόντων τα οποία παράγονται σε μεγάλους αριθμούς, π.χ. βάνες ή ατμοπαγίδες, δεδομένου ότι είναι δύσκολη η ποσοτικοποίηση των N_{TN}, N_{FN} στην περίπτωση μεγάλων αντικειμένων.

Η ανάγκη για ποσοτική εκτίμηση της αβεβαιότητας στις διαστάσεις των ασυνεχειών προέκυψε από δυο παράγοντες:

- Η διαπίστευση των εργαστηρίων δοκιμών και φορέων ελέγχου κατά ISO/IEC 17025 [NATA 35 pp.3] και ISO/IEC 17020 αντίστοιχα, ιδίως στον Ευρωπαϊκό χώρο. Οι φορείς διαπίστευσης επιμένουν (και ορθώς) στην ύπαρξη μιας εύλογης εκτίμησης της αβεβαιότητας σε κάθε ποσοτικό προσδιορισμό (μέτρηση), κατά προτίμηση με την μεθοδολογία ISO GUM ώστε αυτή να είναι χρήσιμη και στους αποδέκτες των εκθέσεων δοκιμών ή ελέγχων.

- Η περαιτέρω χρήση των αποτελεσμάτων των ΜΚΔ για συστηματικό προσδιορισμό της καταλληλότητας δοχείων κλπ κατά τον περιοδικό έλεγχο, ιδίως μετά την τυπική εισαγωγή κωδίκων “Fit For Service” (FFS) για τον εξοπλισμό υπό πίεση. Οι

μεθοδολογίες αυτές απαιτούν την γνώση δυο διαστάσεων, τυπικά του μήκους και του βάθους, των ασυνεχειών τύπου ρήματος και την επαρκώς ακριβή παχυμέτρηση με υπερήχους.

2. Μεθοδολογία

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή των ελέγχων με υπερήχους σε περιοδικούς ελέγχους. Η συνηθέστερη εφαρμογή είναι η παχυμέτρηση με υπερήχους ακολουθούμενη από την μέτρηση επιπέδων ασυνεχειών (ρηγμάτων).

2.1 Παχυμέτρηση με υπερήχους

Η παχυμέτρηση διεξάγεται για εντοπισμό περιοχών που έχουν υποστεί σημαντική απώλεια υλικού λόγω διαβρώσεως και χρησιμοποιείται εκτεταμένα στον ναυπηγοεπισκευαστικό κλάδο, στις ενεργειακές εγκαταστάσεις (μονάδες ηλεκτροπαραγωγής) και στις εγκαταστάσεις διεργασιών (διϋλιστήρια, χημική βιομηχανία). Η μεθοδολογία είναι τυποποιημένη με τα πρότυπα EN 14127 και ASTM E-797.

Η ακρίβεια της μεθόδου θεωρείται ικανοποιητική σε πάχη μεγαλύτερα των 5 mm, αν και το εύρος εφαρμογής σε μεγάλο βαθμό εξαρτάται από την χρησιμοποιούμενη κεφαλή. Με εξειδικευμένο εξοπλισμό η μέθοδος χρησιμοποιείται ακόμα και για την μέτρηση πάχους βαφής (επιχρίσματος), στην περιοχή 20-300 μm.

- Ακρίβεια οργάνου: τυπικά 50-100 μm
- Διακριτική ικανότητα ανάγνωσης: ανάλυση 10 μm (0.01 mm) στα σύγχρονα όργανα
- Ακρίβεια κεφαλής: τυπικά 50 μm
- Ικανότητα χειριστή:
- Καμπυλότητα επιφανείας: μπορεί να εισάγει σφάλμα της τάξης του 0.001t, εξαλείφεται με χρήση κατάλληλης κεφαλής με αντίστοιχη καμπυλότητα.
- Ευθυγράμμιση κεφαλής: 0.01t
- Επικάλυψη επιφανείας με χρώμα: 50-300 μm, κανονικά εξουδετερώνεται πλήρως με τον αποχρωματισμό της επιφανείας
- Ατέλειες επιφανείας (τραχύτητα, διαβρώσεις):
- Εσωτερικές ασυνέχειες (laminations): ο μη εντοπισμός τους αποτελεί χονδροειδές σφάλμα και αντιμετωπίζεται με εκπαίδευση του προσωπικού.

- Αποκλίσεις λόγω υλικού και διαστάσεων δοκιμίου βαθμονόμησης:
- Έλλειψη ομοιογένειας στο ελεγχόμενο μέταλλο: στα ελάσματα που παράγονται σήμερα δεν αποτελεί σημαντικό παράγοντα.
- Φθορά κεφαλής: Η επιφάνεια των συνήθων κεφαλών κεφαλής αποτελείται από πλαστικό (Perspex) και είναι δυνατόν να υποστεί φθορά και αλλοίωση της καθετότητας. Αντιμετωπίζεται με συχνό έλεγχο με δοκίμιο βαθμονόμησης.
- Θερμοκρασία υλικού: επηρεάζει την ταχύτητα των υπερήχων στο υλικό. Δεν υπάρχει μεγάλη επίδραση στην περιοχή θερμοκρασιών που διεξάγονται οι έλεγχοι.

2.2 Τύποι οργάνων

Στις παχυμετρήσεις χρησιμοποιούνται τυπικά δυο είδη οργάνων:

- Απλές συσκευές με ψηφιακή ένδειξη του πάχους. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν από προσωπικό με σχετικά μικρή εκπαίδευση και εξοικείωση, παρέχουν μια απλή αριθμητική τιμή του πάχους χωρίς άλλες πληροφορίες. Στα σύγχρονα όργανα η διακριτική ικανότητα είναι 0.01 mm (±5 μm).

- Συσκευές παχυμέτρησης με A-scan. Παρέχουν επιπρόσθετα σε μια οθόνη παλμογράφου πληροφορίες για την εξασθένηση του σήματος, πιθανούς πρόσθετους ανακλαστήρες (όπως laminations). Αν χρησιμοποιούνται από εκπαιδευμένο και έμπειρο προσωπικό μπορούν να δώσουν πληροφορίες για την παρουσία διαβρώσεων στην άλλη πλευρά του ελάσματος. Με αξιοποίηση των πληροφοριών αυτών μπορούν να αποφευχθούν χονδροειδή σφάλματα.

Στην πλειονότητα των βιομηχανικών ελέγχων χρησιμοποιούνται παχύμετρα της πρώτης κατηγορίας, κυρίως επειδή έχουν μειωμένο κόστος και βάρος.

2.3 Διακρίβωση εξοπλισμού

Ο εξοπλισμός υπόκειται σε δυο επίπεδα μετρολογικού ελέγχου ακριβείας.

Στο πρώτο επίπεδο υφίσταται περιοδική διακρίβωση σε εργαστήριο διακριβώσεων με πρότυπα δοκίμια (πλακίδια, κλιμακωτή σφήνα). Η διακρίβωση μπορεί να απαλείψει τα συστηματικά σφάλματα που οφείλονται στο όργανο και τις κεφαλές, ιδίως όταν το όργανο διακριβώνεται χωριστά με κάθε μια από τις κεφαλές που θα χρησιμοποιηθούν.

Η αβεβαιότητα που σχετίζεται με την διακρίβωση είναι πολύ μικρή και τελικά καθορίζεται από την διακριτική ικανότητα της ψηφιακής μονάδας ένδειξης του οργάνου. Συνεισφέρει ελάχιστα στην συνολική αβεβαιότητα της μέτρησης

Στο δεύτερο επίπεδο υπάρχει ο συνεχής μετρολογικός έλεγχος κατά την χρήση. Ο έλεγχος προλαμβάνει απώλεια ακρίβειας που οφείλεται σε φθορά της κεφαλής ή σε ηλεκτρικά προβλήματα όπως κακές επαφές συνδέσμων και φθορές καλωδίων. Διενεργείται με πρότυπο πλακίδιο εργασίας που συνοδεύει το όργανο, έχει διαστάσεις κατά προτίμηση παραπλήσιες με το ελεγχόμενο αντικείμενο. Το πλακίδιο πρέπει επίσης να είναι διακριβωμένο, αν και το χρονικό διάστημα διακρίβωσης μπορεί να είναι σχετικά μεγάλο.

3. Συμπεράσματα – Πρόταση

Μια συστηματική εφαρμογή της μεθόδου ISO GUM σε ελάσματα πάχους 8 mm οδηγεί σε διευρυμένη αβεβαιότητα της τάξεως του 0.12 mm ή 1.5%. Παρ'όλο που οι απόλυτες τιμές των επί μέρους αβεβαιοτήτων μπορεί να διαφέρουν, διαπιστώνεται ότι η μέθοδος παρέχει αρκετά καλή ακρίβεια για μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Με εξαίρεση την συνεισφορά της ακρίβειας του οργάνου και της κεφαλής και της ευθυγράμμισης της κεφαλής, οι λοιπές πηγές αβεβαιότητας τείνουν να παραμένουν σταθερές, με αποτέλεσμα η ποσοστιαία ακρίβεια της μεθόδου να βελτιώνεται σε ελάσματα μεγαλυτέρου πάχους.

Παράρτημα 1

Παχυμέτρηση ελάσματος 8 mm

Συνεισφορά στην αβεβαιότητα	**Κατανομή**	**Τυπική αβεβαιότητα (mm)**	
Ακρίβεια οργάνου:	Κανονική	0.01	
Διακριτική ικανότητα ανάγνωσης	Ορθογωνική	0.05	
Ακρίβεια κεφαλής	Κανονική	0.01	
Διακρίβωση	Κανονική	0.003	
Ικανότητα χειριστή		0.01	
Καμπυλότητα επιφανείας και ευθυγράμμιση κεφαλής	Τριγωνική	0.005	
Επικάλυψη επιφανείας με χρώμα	Αγνοείται, προηγείται καθαρισμός - αποχρωματισμός		
Ατέλειες επιφανείας	Τριγωνική	0.025	
Εσωτερικές ασυνέχειες	(αγνοείται)		Ο μη εντοπισμός τους αποτελεί χονδροειδές σφάλμα μέτρησης.
Αποκλίσεις λόγω υλικού και διαστάσεων δοκιμίου βαθμονόμησης	(Αμελητέα)		Το δοκίμιο χρησιμοποιείται για έλεγχο καλής λειτουργίας και δεν
Έλλειψη ομοιογένειας στο ελεγχόμενο μέταλλο		0.005	Δεν είναι σημαντική σε συνήθεις χάλυβες
Φθορά κεφαλής	Εντοπίζεται μέσω ελέγχου 2^{ου} επιπέδου	0.005	
Θερμοκρασία υλικού	Αμελητέα		
Συνδυασμένη αβεβαιότητα		0.059	
Συντελεστής κάλυψης		2	
Διευρυμένη αβεβαιότητα		0.12	

4. Βιβλιογραφία

W. M. Rand (1971). "Objective criteria for the evaluation of clustering methods". Journal of the American Statistical Association (American Statistical Association) 66 (336): 846–850

Markucic, D., Krstelj, V.: Accreditation of Ultrasonic Thickness Measurement Methods – Practical Aspects. 5th International Conference on Certification and Standardization in NDT, German Society for Nondestructive Testing (DGZfP e.V.), Berlin, 2007.

NATA Technical Note 35: Measurement uncertainty in Non-Destructive Testing, The National Association of Testing Authorities, Australia 2011.

ASTM E-797 Practice for Measuring Thickness by Manual Ultrasonic Pulse-Echo Contact Method.

EN 14127: Non-destructive testing - Ultrasonic thickness measurement (2011)

ASME FFS-1 (API 579): Fitness-For-Service, 2nd Edition (2007)