

Η ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ UIT ΣΤΗΝ ΒΕΛΤΙΩΣΗ ΤΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΚΟΠΩΣΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ

Αλκιβιάδης Χ. Αποστολόπουλος
Πολιτικός Μηχανικός
Πανεπιστήμιο Πατρών, Ελλάδα.
e-mail: alkaposto@tee.gr

Χρήστος Α. Ροδόπουλος
Δρ.Μηχανολόγος Μηχανικός
Centre for Structural Expertise, Department of Mechanical Engineering, Monash
University, Australia.

Περίληψη

Στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη του βασικού μετάλλου, οι υψηλές θερμοκρασίες και η επακόλουθη (μετά την συγκόλληση) ψύξη, επηρεάζουν την μικροδομή και τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Για τον λόγο αυτό, οι συγκολλήσεις παρουσιάζουν έντονα προβλήματα παραμενουσών τάσεων και ατελειών μικροδομής (πόροι, ατέλειες των ορίων στους κόκκους κλπ). Αποτέλεσμα αυτών είναι η σημαντική υποβάθμιση της μηχανικής αντοχής των συγκολλητών μεταλλικών συνδέσεων σε δυναμικά φορτία. Ειδικότερα, στην διεπιφάνεια υλικού συγκόλλησης και θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης, το όριο κόπωσης μπορεί να υποβαθμιστεί μέχρι και 40% (εμφανίζοντας ενεργή ρηγμάτωση) σε σχέση με το αντίστοιχο όριο κόπωσης του βασικού υλικού. Στην παρούσα εργασία, με την βοήθεια της μεθόδου Ultrasonic Impact Treatment (UIT), πραγματοποιήθηκε κατεργασία στην περιοχή των συγκολλητών συνδέσεων μετατρέποντας εφελκυστικά πεδία παραμενουσών τάσεων σε θλιπτικά, μέσω της μείωσης του εύρους των πόρων. Από την παρούσα μελέτη αποδείχτηκε ότι, η κατεργασία συγκολλητών συνδέσεων με εφαρμογή της τεχνολογίας UIT, μπορεί να προσδώσει σημαντική αύξηση της αντοχής τους σε κόπωση ακόμα και σε σχέση με το μη συγκολλημένο υλικό αναφοράς.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα τελευταία 30 χρόνια το θέμα των παραμενουσών τάσεων στην περιοχή μεταλλικών συγκολλητών συνδέσεων, αποτελεί σημαντικό πεδίο έρευνας, ειδικότερα στους τομείς της Ναυπηγικής, της Αεροναυπηγικής αλλά και των Σιδηρών Κατασκευών. Οι παραμένουσες τάσεις στην Θερμικά Επηρεαζόμενη Ζώνη (Heat Affected Zone) σε συνδυασμό με την ανομοιογένεια της μικροδομής, αποτελούν βασικές παραμέτρους υποβάθμισης της αντοχής των συγκολλητών συνδέσεων.

Ένας μεταλλικός φορέας στην διάρκεια της «ζωής» του, εκτός από τα μόνιμα φορτία, υπόκειται σε δυναμικές φορτίσεις από τυχαία γεγονότα όπως σεισμοί, άνεμοι, μεταβολές

της θερμοκρασίας και άλλα. Σε ορισμένες περιπτώσεις οι δυναμικές αυτές φορτίσεις, οδήγησαν σε τοπικές αστοχίες [1] που αποδείχθηκαν καταστροφικές για πολλές κατασκευές.

Σ' ένα μεγάλο βαθμό οι καταστροφές αυτές οφείλονται και στον σχεδιασμό αφού η πρόβλεψη σημαντικών παραγόντων υποβάθμισης των υλικών προσεγγίζεται μέσω της χρήσης συντελεστών ασφαλείας [2] οι οποίοι συχνά αποδεικνύονται μη επαρκείς [3].

Τις τελευταίες δεκαετίες αναπτύχθηκαν και εφαρμόζονται τεχνολογίες με στόχο την αναβάθμιση και την ενίσχυση κρίσιμων (για την ασφάλεια των κατασκευών) περιοχών όπως είναι οι συγκολλητές συνδέσεις οι οποίες σχεδιάζονται να αστοχήσουν μετά το πέρας ορισμένου «χρόνου ζωής». Σημαντική θέση στις τεχνολογίες αυτές κατέχει και η γνωστή τεχνολογία UIT (Ultrasonic Impact Treatment) [4].

Η τεχνολογία UIT βασίζεται στην δυνατότητα επιβολής κρουστικών φορτίων μικρού εύρους (3-20 μm) κάτω από συνεχή φόρτιση (5-25 Kgf), προέρχονται από πηγή υπερήχων μεγάλης συχνότητας (27 KHz-54 KHz). Κατά την διάρκεια της επαφής του άκρου (pin) της συσκευής (εικόνα 1α) με την επιφάνεια της συγκόλλησης επέρχεται συντονισμός συχνότητας σε βάθος μέχρι και 2 mm. Ο συντονισμός αυτός προκαλεί:

- α) ομαλοποίηση της ενέργειας εισόδου με την απόκριση της επιφάνειας και
- β) ομοιόμορφη μετακίνηση των καταναγκασμών.

Η απόκριση της επιφάνειας επηρεάζεται τόσο από το πάχος της συγκόλλησης (local stiffness) όσο και τους τοπικούς βαθμούς ελευθερίας. Για τον λόγο αυτό πιεζοηλεκτρικοί σένσορες που βρίσκονται στον collimator του υπερήχου και επεξεργάζονται από την μονάδα ελέγχου (εικόνα 1β) αυξομοιώνουν το collimator angle ανα 5 msec.



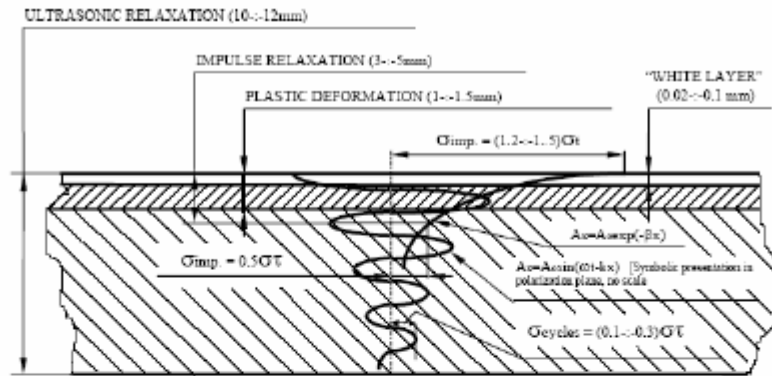
α)



β)

Φωτ. 1-. α) UIT pin και β) συσκευή ελέγχου συντονισμού.

Τα αποτελέσματα της χρήσης του UIT, δίνονται στην φωτ. 2.

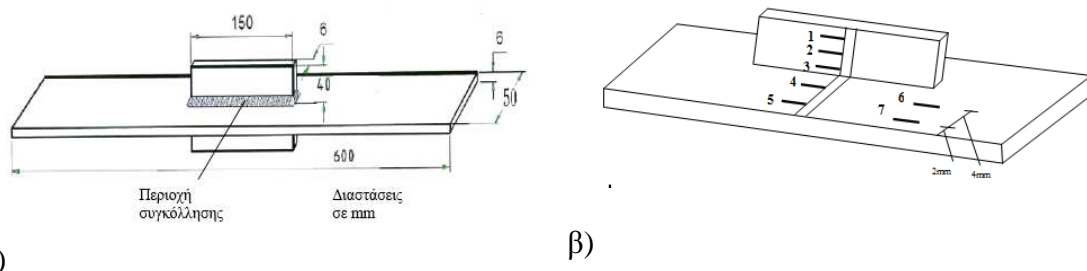


ZΩΝΕΣ	Επιδράσεις στο υλικό
“White layer” Λευκή επιφάνεια	Αντίσταση στη φθορά, αντίσταση στη διάβρωση
“Plastic deformation” Πλαστική παραμόρφωση	Αντοχή σε ανακύκλιση, εξάλειψη των παραμορφώσεων, αντοχή σε διάβρωση και κόπωση
“Impulse relaxation” Χαλάρωση μέσω διέγερσης	Μείωση των παραμενουσών τάσεων (που έχουν προκληθεί από την συγκόλληση) και της παραμόρφωσης σε ποσοστό 70% των αρχικών μεγεθών
“Ultrasonic relaxation” Χαλάρωση μέσω υπερήχων	Μείωση των παραμενουσών τάσεων (που έχουν προκληθεί από την συγκόλληση) και της παραμόρφωσης σε ποσοστό 50% των αρχικών μεγεθών

Φωτ. 2- Ζώνες επίδρασης του UIT στις ιδιότητες του υλικού-κατά το βάθος [5].

2. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Για τον έλεγχο και την βελτίωση της μηχανικής συμπεριφοράς μεταλλικών συνδέσεων, κατασκευάστηκαν 20 δοκίμια μεταλλικών συγκολλητών συνδέσεων. Οι μεταλλικές συγκολλητές συνδέσεις (cruciform weld) πραγματοποιήθηκαν σε στοιχεία από χάλυβα (EN10025) με όριο διαρροής 235 MPa και όριο θραύσης 360 MPa και γεωμετρία που παρουσιάζεται στην εικόνα 3α. Για τις ανάγκες της συγκόλλησης, χρησιμοποιήθηκε σύρμα SG2 υλικό (S355 J2G3) και μέθοδος συγκόλλησης GMAW/MAG (πάχος συγκόλλησης $a=3\text{mm}$, $V=30.2\text{ V}$, $A=210\text{ A}$). Στα 10 δοκίμια εφαρμόστηκε η τεχνολογία UIT (Ultrasonic Impact Treatment) με ειδικά χαρακτηριστικά (level 4, Amplitude 17-18 μm , φορτίο 15 kg, συχνότητα 27 KHz, ταχύτητα κατεργασίας 100 mm/min). Η μέτρηση των παραμενουσών τάσεων στην περιοχή της συγκόλλησης πραγματοποιήθηκε με την slitting method. Στην εικόνα 3β δείχνεται η θέση των μηχανομετρών για την μέτρηση των παραμενουσών τάσεων με slitting method.

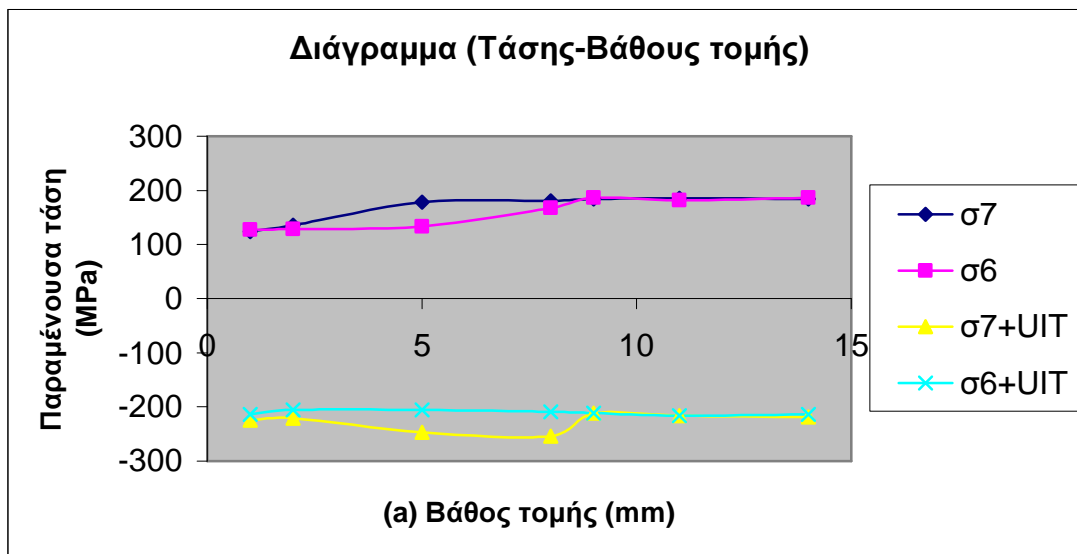


α)

β)

Φωτ. 3- α) Γεωμετρία συγκολλητής σύνδεσης, β) Θέσεις μέτρησης παραμένουσων τάσεων.

Στο Διάγραμμα 4, δίνονται τα αποτελέσματα των μετρήσεων των παραμενουσών τάσεων στα σημεία πιθανής έναρξης ρωγμών κόπωσης κατα TWI πριν και μετά την χρήση του UIT. Απο τα αποτελέσματα της μέτρησης των παραμενουσών τάσεων έγινε αντιληπτό ότι η συγκόλληση προκάλεσε υψηλό εφελκυστικό πεδίο παραμενουσών τάσεων που πλησίαζε το 85% του ορίου της διαρροής (235 MPa) του υλικού του χάλυβα. Μετά όμως την κατεργασία της επιφάνειας στην περιοχή της συγκόλλησης με την χρήση της τεχνολογίας του UIT, οι παραμένουσες εφελκυστικές τάσεις βρέθηκαν με αρνητικό πρόσημο (θλιπτικές), με μέση τιμή τα 228 MPa.

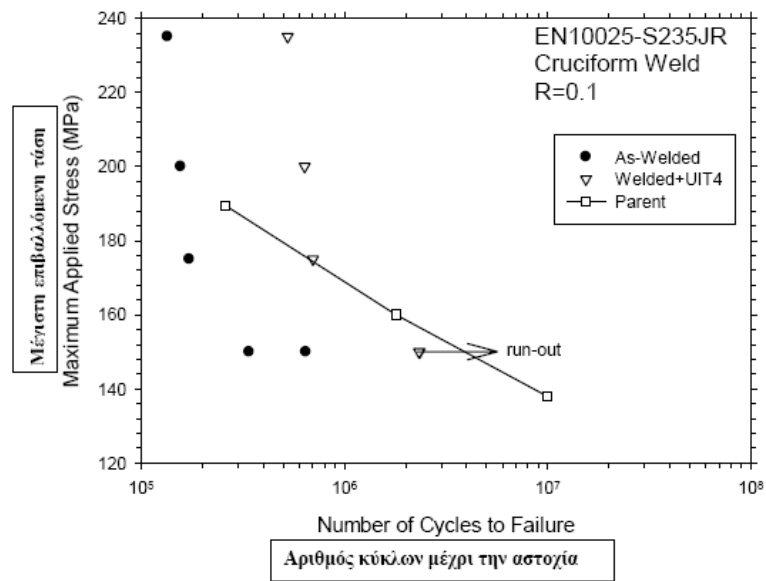


Διαγρ. 4.

Διάγραμμα παραμένουσων τάσεων σε σχέση με το βάθος τομής πριν και μετά την χρήση UIT. Η αναφορά σ_6 σ_7 γίνεται στις ροζέτες των μηχανομετρών με αρίθμηση της σειράς τοποθέτησής τους στο δοκίμιο (εικόνα 3β). Οι συμβολισμοί σ_6+UIT , σ_7+UIT αντιπροσωπεύουν τις ίδιες θέσεις μέτρησης στο δοκίμιο όπου εφαρμόστηκε η τεχνολογία UIT.

Όλες οι δοκιμές κόπωσης πραγματοποιήθηκαν με λόγο τάσης $R = 0.1$ [\min τάση/ \max τάση] και συχνότητα 10Hz. Για την καλύτερη κατανόηση της σημασίας των παραμενουσών τάσεων και των αλλαγών της μικροδομής του υλικού λόγω συγκόλλησης, δοκίμια αναφοράς (δίχως συγκόλληση) υποβλήθηκαν επίσης σε κόπωση όπου επίσης μετρήθηκε η «διάρκεια

ζωής». Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για την «διάρκεια ζωής», παρουσιάζονται στην εικόνα 5α. Σε όλες τις περιπτώσεις τα δοκίμια αστόχησαν στις θέσεις 6 και 7, εικόνα 5β.



α)



β)

Φωτ. 5- α) «Διάρκεια ζωής» δοκιμίων αναφοράς και της συγκολλητής σύνδεσης πριν και μετά απο UIT. β) Θέση αστοχίας της συγκολλητής σύνδεσης.

Από τα αποτελέσματα προκύπτει ότι οι κατεργασίες με βάση την τεχνολογία UIT αυξάνουν σημαντικά την αντοχή της συγκολλητής σύνδεσης σε κόπωση ακόμη και σε σχέση με τα δοκίμια αναφοράς. Παρόμοια μηχανική αναβάθμιση παρατηρήθηκε επίσης τόσο σε (butt weld) συγκόλληση κατά τα άκρα όσο και σε fillet weld [6] συγκόλληση κατά παράθεση [7].

3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η χρήση της συγκόλλησης με στόχο την σύνδεση ή την αποκατάσταση της σύνδεσης μεταλλικών κατασκευαστικών στοιχείων παρότι προκαλεί σημαντική μείωση της αντοχής τους σε φορτία κόπωσης, ωστόσο είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Σύμφωνα με τα πρότυπα του EN και TWI, η συγκόλληση (ως διαδικασία), στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη του υλικού προκαλεί σημαντικές παραμένουσες εφελκυστικές τάσεις. Σε μια σιδηρά κατασκευή με μεγάλο αριθμό συνδέσεων, η «απαλλαγή» από επικίνδυνες παραμένουσες εφελκυστικές τάσεις με την βοήθεια άλλων μεθόδων όπως η heating jackets, είναι δαπανηρές και ιδιαίτερα χρονοβόρες. Αντίθετα, κατεργασίες με την χρήση της τεχνολογίας του UIT είναι δυνατόν να αντιστρέψουν υψηλές εντατικές και παραμορφωσιακές καταστάσεις σε θλιπτικές, με μεγάλη αποτελεσματικότητα και ικανοποιητική ταχύτητα. Πειραματικά αποδείχτηκε ότι, κατεργασίες με την χρήση της τεχνολογίας UIT φαίνονται περισσότερο πειστικές και αξιόπιστες αφού μπορεί να επιφέρουν αύξηση της αντοχής σε κόπωση (αύξηση της διάρκειας ζωής) συγκολλητών συνδέσεων ακόμα και σε σχέση με το (μη συγκολλημένο) υλικό αναφοράς.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Βάγιας, Ι.: Συμπεράσματα από την συμπεριφορά των μεταλλικών κατασκευών και τον σεισμό του Kobe. 3^ο Εθνικό Συνέδριο Σιδηρών Κατασκευών, Θεσσαλονίκη 1998, 303-310.
- [2] Eurocode 3, Design of Steel Structures, Part 1: General Rules and Rules for Buildings, ENV 1993-1-1. CEN, Brussels, Belgium, 1992.
- [3] Fatigue design of Welded Joints and Components, International Welding Institute, 1996.
- [4] International Institute of Welding “Guide for Application of Ultrasonic impact Treatment Improving Fatigue Life of Welded Structures.
- [5] International Institute of Welding, Physics and Mechanism of Ultrasonic Impact Treatment.
- [6] C. A. Rodopoulos (2007) Guidelines for the application of UIT for post-welding applications, Department of Trade and Industry, United Kingdom.
- [7] X. Ροδόπουλος και X.Αποστολόπουλος , 6^ο Εθνικό Συνέδριο Μεταλλικών Κατασκευών, Ιωάννινα, 2008.

THE USE OF ULTRASONIC IMPACT TREATMENT IN THE IMPROVEMENT OF FATIGUE STRENGTH ON STEEL WELDED JOINTS

Alk. C. Apostolopoulos

Department of Civil Engineering, University of Patras, Patras, GR26500, Greece.

C. A. Rodopoulos

Centre for Structural Expertise, Department of Mechanical Engineering, Monash University, Australia.

ABSTRACT

In the heat affected zones area of basic metal, the high temperatures and consequent (afterwards the welding) refrigeration, influence the microstructure and the mechanical properties of material. . For this reason, the welding present intense problems of remaining stresses and imperfections of microstructure (resources, imperfections of limits in the grains etc)

Result of these is the important degradation of the strength resistance of welded steel connections in dynamic loadings. Specifically, in interface material of welding and heat affected zone, the limit of useful life can be downgraded until 40% (presenting active cracks) concerning the corresponding limit of useful life of (metal) material reference.

In the present work, with the help of method Ultrasonic Impact Treatment (UIT), was realized treatment in the region of welded steel connections changing tension area of remaining stresses in compressive, via the reduction of breadth of resources. By the present study it was proved that, the treatment on welded connections with application of technology UIT, can lend important increase of their resistance in dynamic loadings even concerning the not welded reference material. UIT, was used as an industrially available solution able to remove the hazardous tensile residual stresses while treat the weld toe to shapes reducing stress concentrations.

