

**ΑΝΑΚΟΙΝΩΣΗ - ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ  
ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΠΟΣΤΗΡΙΞΗ ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

**Προσγολίτη Χρήστου  
Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού**

Τίτλος (Αγγλικά/Ελληνικά):

EXPERIMENTAL INVESTIGATION AND ANALYTICAL MODELING OF FATIGUE CRACK GROWTH IN HSLA STEELS WITH PRE-EXISTING PLASTIC DEFORMATION / ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΡΩΓΜΗΣ ΣΕ ΚΟΠΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΥΨΗΛΗΣ ΑΝΤΟΧΗΣ ΜΕ ΠΡΟΥΠΑΡΧΟΥΣΑ ΠΛΑΣΤΙΚΗ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

Link από diavlos: <https://diavlos.grnet.gr/epresence-conference-13316>

Περίληψη (αγγλικά/ελληνικά):

**Abstract**

Cold roll-forming is a commonly used process for manufacturing lightweight steel profiles used in structural applications, such as racking storage systems. In the roll-forming technique, the introduction of specific forming details, such as angles, transitional sections etc., is accompanied by localized, non-uniform plastic deformations. At the plastically deformed regions, the hardening/softening phenomena and the developed residual stresses and strains may significantly influence the onset of fatigue damage as well as the fatigue crack growth resistance of the steel sections and lead to premature fatigue failure. For that reason, reliable fatigue assessment methods from a material viewpoint require an in-depth understanding of the effect of plastic deformation on the fatigue and fatigue crack growth behavior of the steel material.

In the present dissertation, a combined experimental-numerical-analytical methodology is developed aiming to provide an assessment tool for the fatigue crack growth behavior in plastically prestrained steel material. For the purpose of the investigation, the structural HSLA S355MC and S460MC steels have been examined. In the experimental part of the Thesis, the effect of different plastic prestraining levels on the monotonic, cyclic and fatigue crack growth behavior of the steels is evaluated. Hardness, tensile and fracture resistance tests, are conducted on unstrained and prestrained steel material. The cyclic performance of the steels is examined using low cycle fatigue and fatigue crack propagation experiments. The experimental results are supported by metallographic observations and fractographic analyses to evaluate the microstructural state and fracture characteristics of the materials under the conditions examined. In the analytical part of the Thesis, prediction of fatigue crack growth rate (FCGR) in plastically prestrained materials under mode I loading is performed. Analytical modelling of FCGR is based on an established critical energy approach, which considers the cyclic plastic zone as the fracture process zone for incremental crack growth and takes into account the influence of plastic prestraining through the modified

cyclic material properties. The analytical model is capable to account for the effect of existing residual stresses on FCGR, occurring at specific cold roll-formed locations, by using an effective stress ratio concept. For the numerical simulation of the residual stress-strain state in the case of the cold formed structural steel profile type P140, a Finite Element Model has been developed able to predict the magnitude and distribution of residual stresses and strains at the critical forming locations of the profile. A parametric study is also performed to evaluate the effects of profile's length and presence of perforated holes in the profile in the magnitude of residual stresses. Based on the numerical results from the FE analysis, the analytical fatigue crack growth model is implemented in a case study to predict the fatigue crack growth rate in the corner of the P140 profile taking into account the combined effects of residual stresses and plastically deformed material.

The experimental-numerical-analytical methodology of the present Thesis provides a basis for a better understanding of the fatigue crack growth behavior of plastically prestrained materials towards a more reliable assessment of fatigue damage evolution at critical locations of steel sections, manufactured with the cold forming process.

## Περίληψη

Η ψυχρή έλαση είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται συνήθως για την κατασκευή ελαφρών προφίλ χάλυβα που χρησιμοποιούνται σε δομικές εφαρμογές, όπως συστήματα αποθήκευσης ραφιών. Στην τεχνική της έλασης, η εισαγωγή συγκεκριμένων λεπτομερειών διαμόρφωσης, όπως γωνίες, κ.λπ., συνοδεύεται από τοπικές, ανομοιόμορφες πλαστικές παραμορφώσεις. Στις πλαστικά παραμορφωμένες περιοχές, τα φαινόμενα σκλήρυνσης/εξασθένησης και οι παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις μπορεί να επηρεάσουν σημαντικά την εμφάνιση ζημιών λόγω κόπωσης καθώς και την αντίσταση ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης των χαλύβδινων τμημάτων και να οδηγήσουν σε πρόωρη αστοχία κόπωσης. Για το λόγο αυτό, οι αξιόπιστες μέθοδοι αξιολόγησης της κόπωσης από την άποψη του υλικού, απαιτούν μια εις βάθος κατανόηση της επίδρασης της πλαστικής παραμόρφωσης στη συμπεριφορά κόπωσης και ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης του χαλύβδινου υλικού.

Στην παρούσα διατριβή, αναπτύσσεται μια συνδυασμένη πειραματική-αριθμητική-αναλυτική μεθοδολογία με στόχο να παρέχει ένα εργαλείο αξιολόγησης για τη συμπεριφορά ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης σε πλαστικά προεντεταμένο χάλυβα. Για τους σκοπούς της έρευνας, εξετάστηκαν οι δομικοί χάλυβες S355MC και S460MC. Στο πειραματικό μέρος της διατριβής, αξιολογείται η επίδραση διαφορετικών επιπέδων πλαστικής προέντασης στη μονοτονική και κυκλική συμπεριφορά, και στη συμπεριφορά ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης των χαλύβων. Οι δοκιμές σκληρότητας, εφελκυσμού και αντοχής σε θραύση πραγματοποιούνται σε μη εντεταμένο και προεντεταμένο υλικό χάλυβα. Η κυκλική συμπεριφορά των χαλύβων εξετάζεται με τη χρήση πειραμάτων ολιγοκυκλικής κόπωσης και διάδοσης ρωγμών κόπωσης. Τα πειραματικά αποτελέσματα, υποστηρίζονται από μεταλλογραφικές παρατηρήσεις και αναλύσεις επιφανειών θραύσης για την αξιολόγηση της μικροδομικής κατάστασης και των χαρακτηριστικών θραύσης των υλικών υπό των εξεταζόμενων συνθηκών. Στο αναλυτικό μέρος της Διατριβής πραγματοποιείται πρόβλεψη του ρυθμού ανάπτυξης

ρωγμών κόπωσης σε πλαστικά προεντεταμένα υλικά υπό φόρτωση τύπου I. Η αναλυτική μοντελοποίηση του ρυθμού εξέλιξης ρωγμής κόπωσης βασίζεται σε μια καθιερωμένη προσέγγιση κρίσιμης ενέργειας, η οποία θεωρεί την κυκλική πλαστική ζώνη ως τη ζώνη θραύσης για τη σταδιακή ανάπτυξη της ρωγμής και λαμβάνει υπόψη την επίδραση της πλαστικής προέντασης μέσω των τροποποιημένων κυκλικών ιδιοτήτων του υλικού. Το αναλυτικό μοντέλο είναι σε θέση να υπολογίσει την επίδραση των παραμενουσών τάσεων στο ρυθμό εξέλιξης ρωγμής, που εμφανίζονται σε συγκεκριμένες θέσεις ψυχρής έλασης, χρησιμοποιώντας μια έννοια του ενεργού λόγου τάσεων. Για την αριθμητική προσομοίωση στην περίπτωση του δομικού προφίλ χάλυβα ψυχρής μορφοποίησης τύπου P140, έχει αναπτυχθεί ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων ικανό να προβλέπει το μέγεθος και την κατανομή των παραμενουσών τάσεων και παραμορφώσεων στις κρίσιμες θέσεις διαμόρφωσης του το προφίλ. Πραγματοποιείται επίσης μια παραμετρική μελέτη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων του μήκους του προφίλ και της παρουσίας διάτρητων οπών στο προφίλ στο μέγεθος των παραμενουσών τάσεων. Με βάση τα αριθμητικά αποτελέσματα από την ανάλυση των πεπερασμένων στοιχείων, το αναλυτικό μοντέλο ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης εφαρμόζεται σε μια μελέτη περίπτωσης, για την πρόβλεψη του ρυθμού αύξησης της ρωγμής κόπωσης στη γωνία του προφίλ P140 λαμβάνοντας υπόψη τις συνδυασμένες επιδράσεις των παραμενουσών τάσεων και του πλαστικά παραμορφωμένου υλικού .

Η πειραματική-αριθμητική-αναλυτική μεθοδολογία της παρούσας διατριβής παρέχει τη βάση για μια καλύτερη κατανόηση της συμπεριφοράς ανάπτυξης ρωγμών κόπωσης των πλαστικά προεντεταμένων υλικών, και συνεπώς μια πιο αξιόπιστη εκτίμηση της εξέλιξης της ζημιάς κόπωσης σε κρίσιμες θέσεις χαλύβδινων τμημάτων που κατασκευάζονται με τη διαδικασία ψυχρής διαμόρφωσης.

Ημερομηνία και ώρα Εξέτασης: Δευτέρα 5 Δεκεμβρίου 2022 ώρα 18.00μμ. – 20.00 μμ.