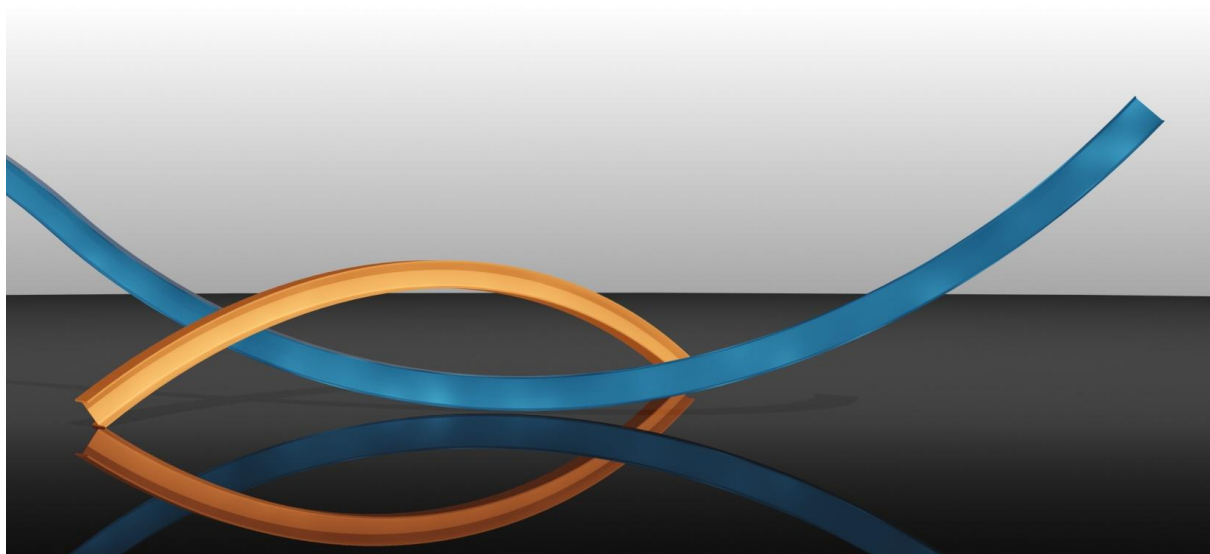




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΡΡΟΗ ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΩΝ ΤΑΣΕΩΝ ΛΟΓΩ ΤΗΣ ΕΝ ΨΥΧΡΩ ΚΑΜΠΥΛΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΟΧΗ ΧΑΛΥΒΔΙΝΩΝ ΜΕΛΩΝ



Μιχάλης Χατζηιωάννου

Επιβλέπων: Χάρης Ι. Γαντές, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.
Συνεπιβλέπων: Dr Cyril Douthe

Αθήνα, Ιούλιος 2010



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ
Εργαστήριο Μεταλλικών Κατασκευών

Επιρροή Παραμενουσών Τάσεων Λόγω της εν ψυχρώ Καμπύλωσης στην Αντοχή Χαλύβδινων Μελών

Διπλωματική Εργασία
Του Μιχάλη Χατζηγιάννου

Επιβλέπων: Χάρης Ι. Γαντές, Αναπληρωτής Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Περίληψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετάται η επιρροή της εν ψυχρώ καμπύλωσης τοξωτών μελών τα οποία είναι κατασκευασμένα από πρότυπες διατομές διπλού ταυ. Η διαδικασία της εν ψυχρώ καμπύλωσης ευθύγραμμων μελών είναι η πιο συνήθης διαδικασία που ακολουθείται όταν σε μια κατασκευή απαιτείται να μορφωθούν τοξωτά μέλη, αφού είναι συγκριτικά με άλλες μεθόδους καμπύλωσης, όπως η καμπύλωση εν θερμώ, οικονομικότερη, ταχύτερη και γίνεται εύκολα με τη βοήθεια των σύγχρονων μηχανών καμπύλωσης τις οποίες διαθέτει η βιομηχανία σήμερα.

Βασική προϋπόθεση αυτής της διαδικασίας, είναι η φόρτιση του μέλους με τρόπο ώστε μέρος των διατομών του μέλους να πλαστικοποιηθεί ώστε αυτό τελικά να αποκτήσει την επιθυμητή καμπυλότητα. Μάλιστα όσο μικρότερη απαιτείται να είναι η ακτίνα καμπύλωσης, τόσο μεγαλύτερες θα πρέπει να είναι οι πλαστικές παραμορφώσεις που θα αναπτυχθούν στη διατομή. Επιπλέον μετά την αποφόρτιση του μέλους, αναπτύσσει σε αυτό μια αυτοϊσορροπούμενη κατανομή τάσεων. Αυτές είναι γνωστές και ως παραμένουσες τάσεις, δηλαδή τάσεις που συνεχίζουν να υφίστανται σε ένα μη φορτισμένο τόξο. Τελικά τόσο η έντονη πλαστικοποίηση του χάλυβα, όσο και οι παραμένουσες τάσεις μεταβάλλουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των μελών αλλά και του υλικού κατασκευής τους, δηλαδή του χάλυβα. Ωστόσο σε καμιά κανονιστική διάταξη δεν λαμβάνονται υπόψιν αυτές οι μεταβολές. Εδώ γίνεται μια διερεύνηση για το ποια είναι αυτά τα χαρακτηριστικά που μεταβάλλονται και μια προσπάθεια για ερμηνεία αυτών των φαινομένων με τελικό στόχο να

βρεθεί η επιρροή της όλης διαδικασίας στη φέρουσα ικανότητα τέτοιων μελών, κάτι που ενδιαφέρει άμεσα τους μελετητές μηχανικούς. Η διερεύνηση γίνεται με αριθμητικές μεθόδους οι οποίες συγκρίνονται με αντίστοιχες αναλυτικές σχέσεις.

Η όλη εργασία αποτελείται από έξι κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται μια αναδρομή στις διάφορες μεθόδους κατασκευής τοξοτών μελών όπως και μια γενική περιγραφή της καμπύλωσης εν ψυχρώ. Ακολουθεί το δεύτερο κεφάλαιο στο οποίο γίνεται προσπάθεια να προσομοιωθεί η διαδικασία της καμπύλωσης εν ψυχρώ με αριθμητικές μεθόδους σε κατάλληλο πρόγραμμα πεπερασμένων στοιχείων, όπου περιγράφεται αναλυτικά η προσομοίωση, αλλά και η μελέτη σύγκλισης ώστε η προσομοίωση να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστερη και αξιόπιστη, χωρίς αυτό να απαιτεί μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους. Στο τρίτο κεφάλαιο ακολουθεί σύγκριση των αποτελεσμάτων που προκύπτουν με αριθμητικές μεθόδους, με αυτά που προκύπτουν από απλές αναλυτικές σχέσεις και γίνεται προσπάθεια για ερμηνεία των όποιων διαφορών προκύπτουν. Στο τέταρτο κεφάλαιο γίνεται προσπάθεια εξαγωγής αναλυτικών σχέσεων από τις οποίες προκύπτουν διαγράμματα αλληλεπίδρασης μεταξύ αξονικής δύναμης και επιβαλλόμενης ροπής στις διατομές ενός καμπυλωμένου μέλους, λαμβάνοντας υπόψη την κατανομή των παραμενουσών τάσεων, όπως αυτή προβλέπεται από αναλυτικές σχέσεις. Στο πέμπτο κεφάλαιο, γίνεται σύγκριση τέτοιων διαγραμμάτων αλληλεπίδρασης, με αυτά που προκύπτουν από αντίστοιχες αριθμητικές αναλύσεις. Τέλος στο έκτο κεφάλαιο παρουσιάζονται γενικά συμπεράσματα όπως προκύπτουν από την όλη εργασία, αλλά και θεμάτων που θεωρείται πως χρήζουν περεταίρω διερεύνησης.



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING
DIVISION OF STRUCTURAL ENGINEERING
Laboratory of Steel Structures

Influence of Residual Stresses Due to Cold Bending in the Resistance of Steel Members

Diploma Thesis
of Michalis Hadjioannou

Supervisor: Charis J. Gantes, Associate Professor N.T.U.A.

Abstract

The present diploma thesis investigates the influence of cold bending on arched members which are made of standard beam and column sections. The majority of curved steel members for use in construction is curved by cold bending, also known as roller bending, mainly because it is faster, less expensive and easier than other methods of bending such as the induction process. This process is made with the use of appropriate industrial equipment.

The principle of this process is the plastification in a part of the section of a straight member, with the application of deformations, so that the required curvature is achieved. Eventually, as the required curvature of the member decreases, the part of the section that is plastified increases. Also, after all the applied loads are removed from the member, something that happens in practice when the curving process stops, a self equilibrated stress distribution occurs in the sections of the curved member. These stresses are called residual stresses (or locked-in stresses), as they remain in the sections even though they are unloaded. Both the plastification of steel and the residual stresses affect the mechanical properties of these sections and the properties of steel too. However, no building code takes into consideration these alterations of the properties. In this thesis, an investigation is made, so that we can conclude which of these properties are altered and an effort is made for the interpretation of various phenomena that occur. The investigation is made with the use of the finite element method. All the results from this investigation are being compared with analytical solutions.

The thesis is composed of six chapters. In the first chapter various bending methods are presented and a general description of the cold bending method is given. The second chapter deals with the simulation of the cold bending process in a finite element program (ADINA). There is a detailed description of the whole process. Also a convergence study is made so that the results from the simulation are sufficiently accurate and consistent. In the third chapter these results are compared with those that are provided by simple analytical solutions. In the fourth chapter an effort is made to take into consideration residual stresses in analytical expressions, so that interaction equations are assessed for bending moment and axial force. In the fifth chapter, the results which occur from these equations are compared to similar results that are obtained from finite element analyses. In the last chapter, the conclusions of the whole work are presented and suggestions for future research are given.