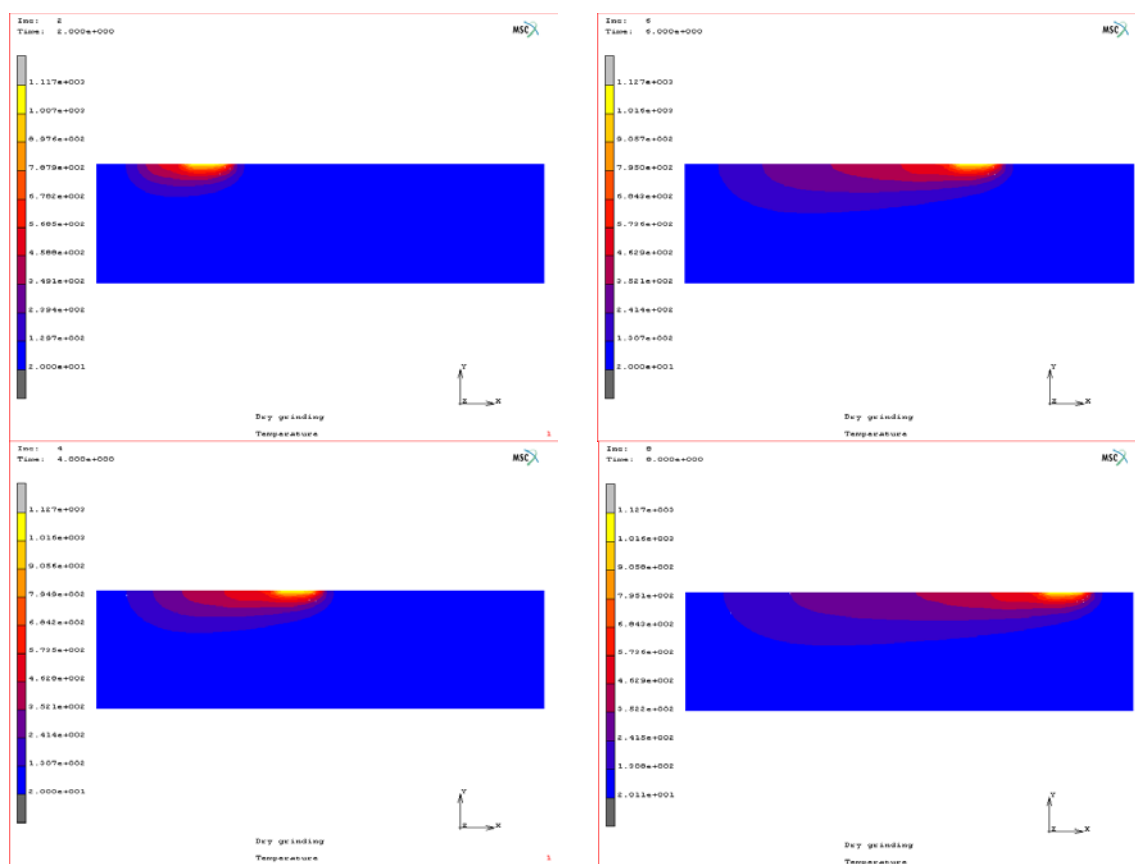




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ
ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Α.Γ. ΜΑΜΑΛΗΣ

ΑΝΑΠΛΗΡΩΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Δ.Ε. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ



ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ
ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ ΤΟΥ ΠΕΤΡΟΥ

ΑΘΗΝΑ – ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2000

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	i
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: Η ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ	1
1.1 Γενικά	1
1.2 Είδη λείανσης και λειαντικών μηχανών	5
1.3 Λειαντικοί τροχοί – Υλικά κατασκευής	12
1.3.1. Ο κόκκος του λειαντικού τροχού	13
1.3.2. Συνδετικό υλικό	17
1.3.3. Ο λειαντικός τροχός – Συνθήκες κοπής φθορά εργαλείου	20
1.4 Υγρά κοπής	25
1.5 Μηχανική της λείανσης	30
1.5.1. Μήκος επαφής και βάθος κοπής κόκκου	30
1.5.2. Δυνάμεις και έργο στη λείανση	34
1.6 Λείανση υπερυψηλής ακρίβειας	38
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ	45
2.1 Γενικά	45
2.1.1. Μοντελοποίηση	46
2.1.2. Αναλυτικά μοντέλα	50
2.2 Αριθμητική προσομοίωση – Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων	53
2.2.1. Μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων	54
2.2.2. Μεταφορά θερμότητας και πεπερασμένα στοιχεία	58
2.3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση πάνω στην μοντελοποίηση των θερμικών φαινομένων που εμφανίζονται στην λείανση	64

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ ΜΕ ΤΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ MSC.MARC MENTAT 200072

3.1 Το πρόγραμμα MSC.Marc Mentat 200072	
3.1.1. Preprocessing78	
3.1.2. Analysis86	
3.1.3. Postprocessing90	
3.2 Κατασκευή του μοντέλου της λείανσης με την χρήση του προγράμματος MSC.Marc Mentat 200093	

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΤΩΝ ΑΝΑΠΤΥΣΣΟΜΕΝΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΩΝ ΠΕΔΙΩΝ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΗΣ ΛΕΙΑΝΣΗΣ99

4.1 Επίδραση της μορφής του πλέγματος και των στοιχείων στα αποτελέσματα100	
4.1.1. Μοντέλο ξηρής κοπής με πλέγμα 30 x 16 και ορθογωνικά στοιχεία 4 κόμβων102	
4.1.2. Μοντέλο ξηρής κοπής με πλέγμα 60 x 32 και ορθογωνικά στοιχεία 4 κόμβων106	
4.1.3. Μοντέλο ξηρής κοπής με πλέγμα από τριγωνικά στοιχεία108	
4.1.4. Μοντέλο ξηρής κοπής με πλέγμα 30 x 16 και ορθογωνικά στοιχεία 8 κόμβων110	
4.1.5. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων112	
4.2 Μοντέλα λείανσης.....113	
4.2.1. Μοντέλο ξηρής λείανσης114	
4.2.2. Πηγή θερμότητας με τριγωνική μορφή120	
4.2.3. Εξάρτηση των ιδιοτήτων του υλικού από την θερμοκρασία127	
4.2.4. Υγρή λείανση132	
4.2.5. Αξιολόγηση των αποτελεσμάτων137	
4.3 Παρατηρήσεις και συμπεράσματα141	

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	145
---------------------------	------------

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	148
------------------------	------------

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΟΡΩΝ	157
-----------------------------	------------

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η γνώση των θερμοκρασιακών πεδίων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια μιας κατεργασίας είναι ένα θέμα που έχει απασχολήσει του μηχανικούς από την δεκαετία του '40. Ιδιαίτερα για την λείανση η γνώση αυτή είναι πολύ σημαντική αφού η λείανση αποτελούσε και αποτελεί μια κατεργασία αποπεράτωσης που τη διακρίνει η μεγάλη ακρίβεια και τα θερμοκρασιακά πεδία που αναπτύσσονται επηρεάζουν την ακρίβεια αυτή. Η μέτρηση των θερμοκρασιών με πειραματικό τρόπο είναι αρκετά δύσκολη και για το λόγο αυτό οι μηχανικοί καταφεύγουν στην χρήση μοντέλων για τον προσδιορισμό της μέγιστης θερμοκρασίας και των θερμοκρασιακών πεδίων που δημιουργούνται κατά την λείανση. Σήμερα, ένα πολύ ισχυρό εργαλείο στα χέρια των μηχανικών για την ανάλυση κατασκευών είναι τα πεπερασμένα στοιχεία. Αν και η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων αρχικά αναπτύχθηκε για μηχανικά προβλήματα, μπορεί σήμερα να χρησιμοποιηθεί σε όλους τους τομείς της επιστήμης. Μια σύγχρονη προσέγγιση του προβλήματος της προσομοίωσης των θερμοκρασιακών πεδίων της λείανσης είναι η θερμική ανάλυση της κατεργασίας αυτής με τη χρήση πεπερασμένων στοιχείων. Ιδιαίτερα η χρήση έτοιμων προγραμμάτων πεπερασμένων στοιχείων έχει απλοποιήσει πάρα πολύ το πρόβλημα.

Φυσικά, λόγω της αλματώδους ανάπτυξης της τεχνολογίας και η ακρίβεια που θέλουμε να επιτύχουμε με κάποια κατεργασία δεν είναι η ίδια που ήταν πριν από χρόνια, όταν ξεκινούσε η συστηματική μελέτη των κατεργασιών. Σήμερα, μιλάμε πια για ακρίβειες που φτάνουν το 1 μm και για ultraprecision κατεργασίες, οι οποίες αποτελούν και το μέλλον της ανάπτυξης των κατεργασιών.

Η διπλωματική αυτή εργασία σαν σκοπό έχει την προσομοίωση των θερμοκρασιακών πεδίων που αναπτύσσονται κατά την διάρκεια της λείανσης, και ιδιαίτερα της λείανσης με μικρό βάθος κοπής, χρησιμοποιώντας την μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, και ειδικά έναν εμπορικό κώδικα πεπερασμένων

στοιχείων, το MSC.Marc Mentat 2000. Έρχεται, δηλαδή να ασχοληθεί με δύο θέματα που αποτελούν την αιχμή της σύγχρονης τεχνολογίας: τα πεπερασμένα στοιχεία και τις κατεργασίες με πολύ υψηλή ακρίβεια.

Στο πρώτο κεφάλαιο της παρούσας εργασίας γίνεται μια γενική παρουσίαση της κατεργασίας της λείανσης. Δίνονται γενικά στοιχεία, υπολογίζονται χρήσιμα μεγέθη που θα χρησιμοποιηθούν παρακάτω, μελετούνται θέματα που έχουν να κάνουν με την μηχανική της κατεργασίας και τέλος γίνεται μια παρουσίαση των κατεργασιών υπερυψηλής ακρίβειας.

Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται μια γενική παρουσίαση της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων με έμφαση στη μοντελοποίηση των θερμικών προβλημάτων. Γίνεται, επίσης και μια βιβλιογραφική ανασκόπηση των διαφόρων μοντέλων που έχουν προταθεί μέχρι στιγμής για την λείανση. Τα δύο πρώτα κεφάλαια έχουν σαν σκοπό τους την εξοικειώσει του αναγνώστη με το θέμα της λείανσης και των πεπερασμένων στοιχείων, για να γίνει απολύτως κατανοητή η ανάλυση των επόμενων κεφαλαίων.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται μια παρουσίαση του προγράμματος MSC.Marc Mentat 2000, το οποίο χρησιμοποιείται για την ανάλυση των θερμοκρασιακών πεδίων της λείανσης. Όσον αφορά το πρόγραμμα, το MSC.Marc Mentat 2000 πρόκειται για ένα πολύ φιλικό προς τον χρήστη πρόγραμμα. Η εκμάθηση του προγράμματος είναι σχετικά εύκολη αλλά προϋποθέτει και την γνώση πεπερασμένων στοιχείων για την πλήρη κατανόηση της ακολουθούμενης διαδικασίας. Τα συνοδευτικά βιβλία του προγράμματος δεν πρέπει να αμεληθούν αλλά να διαβαστούν με προσοχή. Ο χρήστης επίσης, δεν πρέπει να εντυπωσιαστεί από τις μεγάλες δυνατότητες των πεπερασμένων στοιχείων και να αγνοήσει τους περιορισμούς τους. Τα αποτελέσματα του υπολογιστή μπορεί να είναι αληθοφανή αλλά λάθος. Μόνο η καλή γνώση της θεωρίας και του προγράμματος μπορεί να μας προστατέψει από τέτοια σφάλματα. Όπως, μάλιστα, λέγεται η χρήση εμπορικών κωδίκων πεπερασμένων στοιχείων μας έχει

βοηθήσει πάρα πολύ στην ανάλυση κατασκευών αλλά τώρα πια μπορεί κανείς να κάνει κάποιο σφάλμα με μεγαλύτερη εμπιστοσύνη στον εαυτό του ότι κάνει το σωστό! Στο τέλος του τρίτου κεφαλαίου γίνεται μια παρουσίαση του σκελετού των μοντέλων που αναλύονται στο τέταρτο και τελευταίο κεφάλαιο.

Το τέταρτο κεφάλαιο αποτελεί το κεφάλαιο στο οποίο παραθέτουμε τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης που κάναμε. Παρουσιάζονται και σχολιάζονται μοντέλα που προβλέπουν τα θερμοκρασιακά πεδία της λείανσης και τα οποία διαφέρουν μεταξύ τους ως προς μια παράμετρο της οποίας η επίδραση διερευνάται. Το κεφάλαιο τελειώνει με μια παράγραφο όπου καταγράφονται τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την ανάλυση και τα οποία είναι πολύ διαφωτιστικά για την κατανομή των θερμοκρασιών στην επιφάνεια και στο εσωτερικό του κατεργαζόμενου δοκιμίου, για την μέγιστη θερμοκρασία της ανάλυσης αλλά και τον μετασχηματισμό φάσεων που προκαλείται στο κατεργαζόμενο τεμάχιο εξ' αιτίας της θερμικής φόρτισης. Στο τέλος της παραγράφου αυτής γίνονται προτάσεις για την βελτίωση των μοντέλων που παρουσιάστηκαν, για να προσομοιώνουν και άλλα φαινόμενα.

Στο σημείο αυτό αισθάνομαι την υποχρέωση να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον Καθηγητή Α.Γ. Μάμαλη και τον Αναπληρωτή Καθηγητή Δ. Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη που έδειξαν στο πρόσωπο μου αναθέτοντας μου αυτήν την εργασία και για τις πολύτιμες συμβουλές και υποδείξεις τους καθ' όλη την διάρκεια της συνεργασίας μας. Οφείλω επίσης να ευχαριστήσω τους υποψήφιους διδάκτορες του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών Α. Μπράνη, Ε. Βοττέα και Π. Κωστάζο για την βοήθειά τους πάνω σε τεχνικά θέματα και για τη άψογη συνεργασία που είχαμε. Τέλος, ευχαριστώ τον παππού μου Ι.Κουμέλη, Πολιτικό Μηχανικό ΕΜΠ, ο οποίος με βοήθησε και αυτός με τις τεχνικές του γνώσεις.