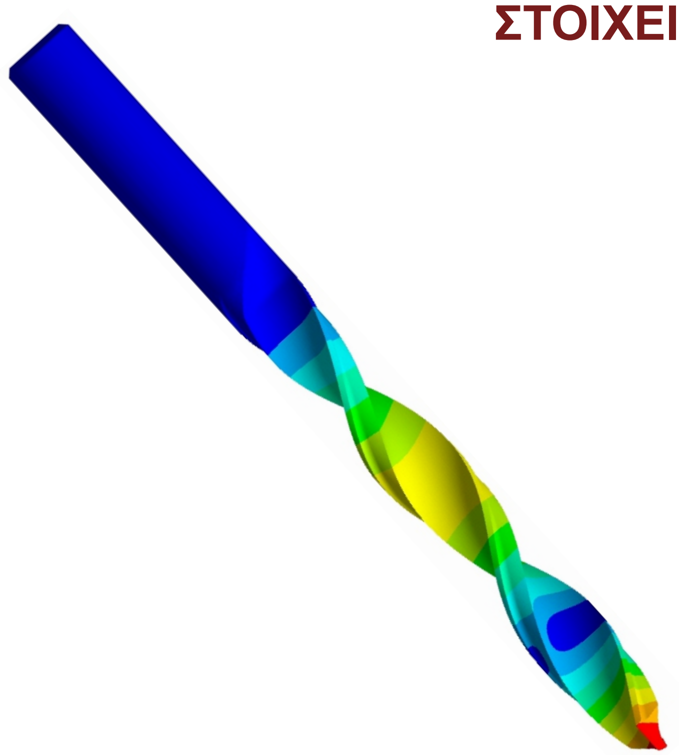
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗΣ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΔΙΑΤΡΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ



ΙΑΚΩΒΟΣ ΜΑΣΤΡΟΓΙΑΝΝΑΚΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΑΡ. ΔΙΠΛ. : 28

ΧΑΝΙΑ 2013

Στους γονείς μου
Κώστα και Βάσω

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή κ. Αριστομένη Αντωνιάδη για την καθοδήγηση και την επίβλεψη του σε όλη τη διάρκεια της εργασίας, καθώς και τον Ταξιάρχη Μπελή για την αμέριστη βοήθεια του και την άψογη συνεργασία. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους ανθρώπους που με στήριζαν κάθε στιγμή μέχρι την ολοκλήρωση της εργασίας.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Στόχος της διατριβής

Η διάτρηση συναντάται ως επί το πλήστον στις περισσότερες κατεργασίες για τη διάνοιξη οπών. Αρκετές μηχανολογικές κατασκευές και εγκαταστάσεις διαθέτουν οπές και επωφελούνται από την κατεργασία της διάτρησης.

Κατά τη διάρκεια της κοπής αναπτύσσονται μεγάλες δυνάμεις και ταλαντώσεις στο κοπτικό εργαλείο. Το κοπτικό εργαλείο διάτρησης περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα με αποτέλεσμα να δημιουργούνται δονήσεις, οι οποίες προκαλούν θόρυβο και δυναμική καταπόνηση. Αυτό κυρίως οδηγεί στην κόπωση του κοπτικού εργαλείου, αλλά και στην αστοχία της κοπής.

Η δυναμική ανάλυση των κοπτικών εργαλείων είναι ιδιαίτερα σημαντική, λόγω του ότι προσδιορίζει τις ιδιοσυχνότητες και τις δυναμικές αποκρίσεις σε εξωτερικές διεγέρσεις. Ο προσδιορισμός των φυσικών συχνοτήτων είναι αναγκαίος διότι στην περίπτωση που το κοπτικό εργαλείο διεγείρεται στη φυσική του συχνότητα, είναι πιθανό να υπάρξει συντονισμός με αποτέλεσμα υψηλό επίπεδο ταλαντώσεων, δυναμικής φόρτισης και θορύβου. Λόγω της δυναμικής φόρτισης κατά τη διάρκεια της κοπής, οι δυνάμεις αυξομειώνονται συνεχώς και το κοπτικό εργαλείο ταλαντώνεται σε διάφορες συχνότητες, οπότε μια στατική ανάλυση δε θα ήταν αρκετή. Για το λόγο αυτό συνίσταται η δυναμική ανάλυση.

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων σε 5 κοπτικά εργαλεία διάτρησης μέσω του λογισμικού προσομοίωσης ANSYS. Πιο συγκεκριμένα, σε 4 κοπτικά από ταχυχάλυβα (HSS) των 8 mm, των 10 mm, των 12 mm και των 14 mm και σε 1 R840 από καρβίδιο. Αρχικά, διεξήχθει ιδιομορφική ανάλυση (modal analysis), στη συνέχεια αρμονική (harmonic response) και τέλος ανάλυση με δυναμικό φορτίο (transient) όπου χρησιμοποιήθηκαν οι δυναμομετρήσεις μερικών πειραμάτων διάτρησης.

Με τις παραπάνω επιμέρους αναλύσεις, μπορεί να γίνει μια αρκετά ολοκληρωμένη δυναμική ανάλυση των κοπτικών εργαλείων διάτρησης, με την κατανόηση της συμπεριφοράς τους και με την εύρεση των αναπτυσσόμενων τάσεων κατά τη διάρκεια της κοπής.

1.2 Δομή της διατριβής

Στο **Κεφάλαιο 2** εισάγονται οι γενικές έννοιες της διάτρησης και της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων, παρουσιάζεται η διαδικασία της μέτρησης των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων με τη χρήση στερεοσκοπίου και γίνεται μια παρουσίαση του ANSYS, του βασικού προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των αναλύσεων.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζεται η στάθμη των γνώσεων για τη δυναμική ανάλυση κοπτικών εργαλείων διάτρησης με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και για την προσομοίωση της κατεργασίας της διάτρησης γενικότερα. Παρουσιάζονται αναλυτικά οι ερευνητικές προσεγγίσεις που χρησιμοποιήθηκαν από άλλους ερευνητές.

Στο **Κεφάλαιο 4** παρουσιάζεται η ιδιομορφική ανάλυση και δημιουργείται το μοντέλο για την ανάλυση των κοπτικών εργαλείων διάτρησης.

Στο **Κεφάλαιο 5** παρουσιάζεται η αρμονική ανάλυση και δημιουργείται το μοντέλο για την ανάλυση των κοπτικών εργαλείων διάτρησης μέσω δυναμομετρήσεων από πειράματα διάτρησης.

Στο **Κεφάλαιο 6** παρουσιάζεται η ανάλυση με δυναμικό φορτίο και δημιουργείται το μοντέλο για την ανάλυση κοπτικού εργαλείου διάτρησης μέσω δυναμομετρήσεων από πειράματα διάτρησης.

Στο **Κεφάλαιο 7** γίνεται η σύνοψη της διπλωματικής εργασίας.

Τέλος, στο **Κεφάλαιο 8** παρουσιάζεται η βιβλιογραφία που χρησιμοποιήθηκε.

2. ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΠΕΠΕΡΑΣΜΕΝΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ

2.1 Η κατεργασία της διάτρησης

Η κατεργασία της διάτρησης είναι από τις βασικότερες μεθόδους παραγωγής και δημιουργίας κυλινδρικών οπών. Το κοπτικό εργαλείο είναι το τρυπάνι με το οποίο μπορεί να διανοιχθεί μία οπή σε ένα στερεό σώμα ή να διευρυνθεί μια προϋπάρχουσα. Η διάτρηση είναι μία από τις πιο περίπλοκες μηχανουργικές κατεργασίες, με κύριο χαρακτηριστικό τη συνδυασμένη κοπή και την απότμηση του κατεργαζόμενου υλικού στην ακμή της κόψης στο κέντρο του τρυπανιού. Το κοπτικό εργαλείο κατά τη διάρκεια της κατεργασίας είναι προσκολλημένο στην εργαλειομηχανή και περιστρέφεται με μεγάλη ταχύτητα διανοίγοντας έτσι τις οπές.

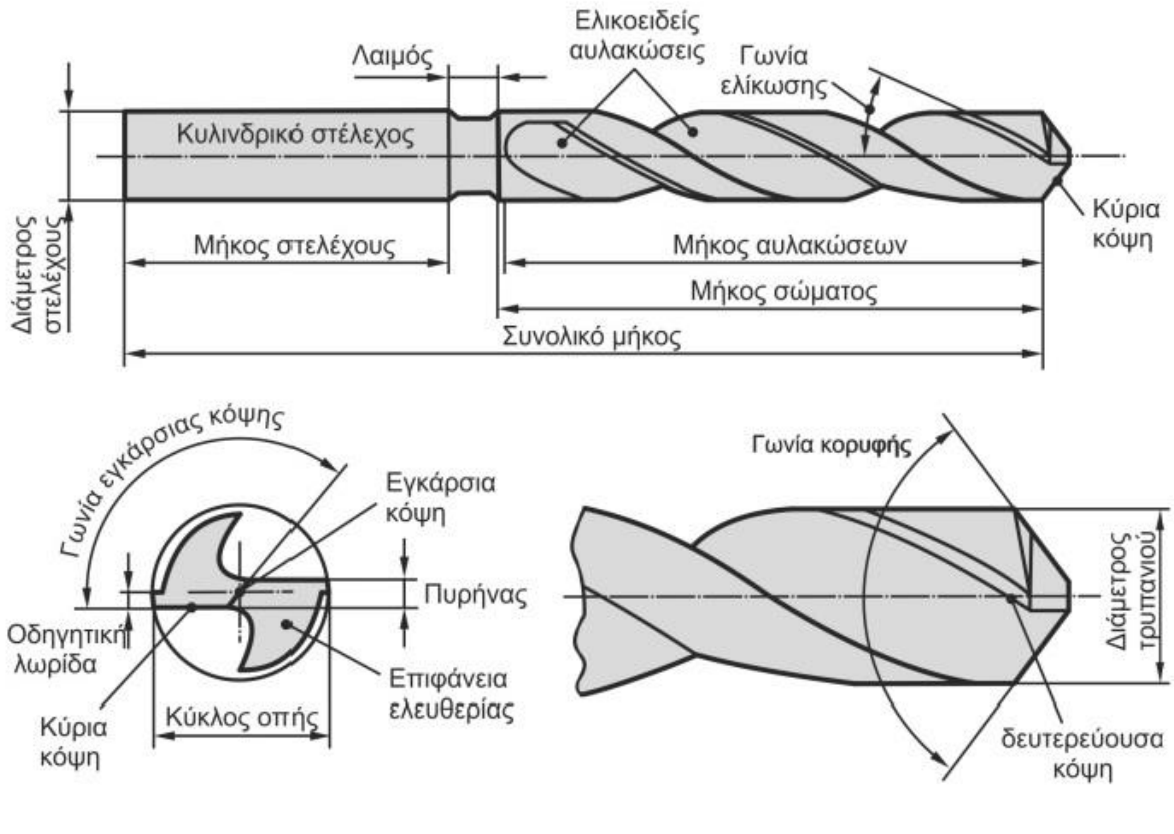
2.2 Μέτρηση διαστάσεων με τη χρήση στερεοσκοπίου για τη δημιουργία των κοπτικών εργαλείων διάτρησης

Για την πραγματοποίηση της δυναμικής ανάλυσης ήταν αναγκαίο να δημιουργηθούν ακριβή αντίγραφα μοντέλα των πραγματικών κοπτικών εργαλείων διάτρησης, για το λόγο αυτό μετρήθηκαν με τη βοήθεια του στερεοσκοπίου Leica M125 Σχήμα 2.1 οι διαστάσεις των κοπτικών εργαλείων που μελετήθηκαν. Οι διαστάσεις των κοπτικών εργαλείων που μετρήθηκαν είναι από 4 κοινά HSS των 8 mm, των 10 mm, των 12 mm και των 14 mm. Οι διαστάσεις του κοπτικού εργαλείου από καρβίδιο δεν ήταν απαραίτητο να μετρηθούν, επειδή υπήρχε ήδη το ακριβές μοντέλο από την εταιρεία που το κατασκευάζει. Για να δημιουργηθούν τα παραπάνω κοπτικά εργαλεία, πρέπει να γνωστοποιηθούν για κάθε ένα από αυτά οι εξής ακριβείς διαστάσεις:

- η διάμετρος του τρυπανιού (Drill Diameter),
- ο πυρήνας,
- η γωνία κορυφής (Point Angle),
- το μήκος των αυλακώσεων,
- το μήκος του στελέχους,
- η γωνία ελίκωσης (Helix Angle),
- η οδηγητική λωρίδα (Margin),
- το Clearance,
- η εγκάρσια κόψη (Chisel Edge),
- η γωνία εγκάρσιας κόψης (Chisel Edge Angle),
- και η καμπύλη της κόψης (Round Cut).

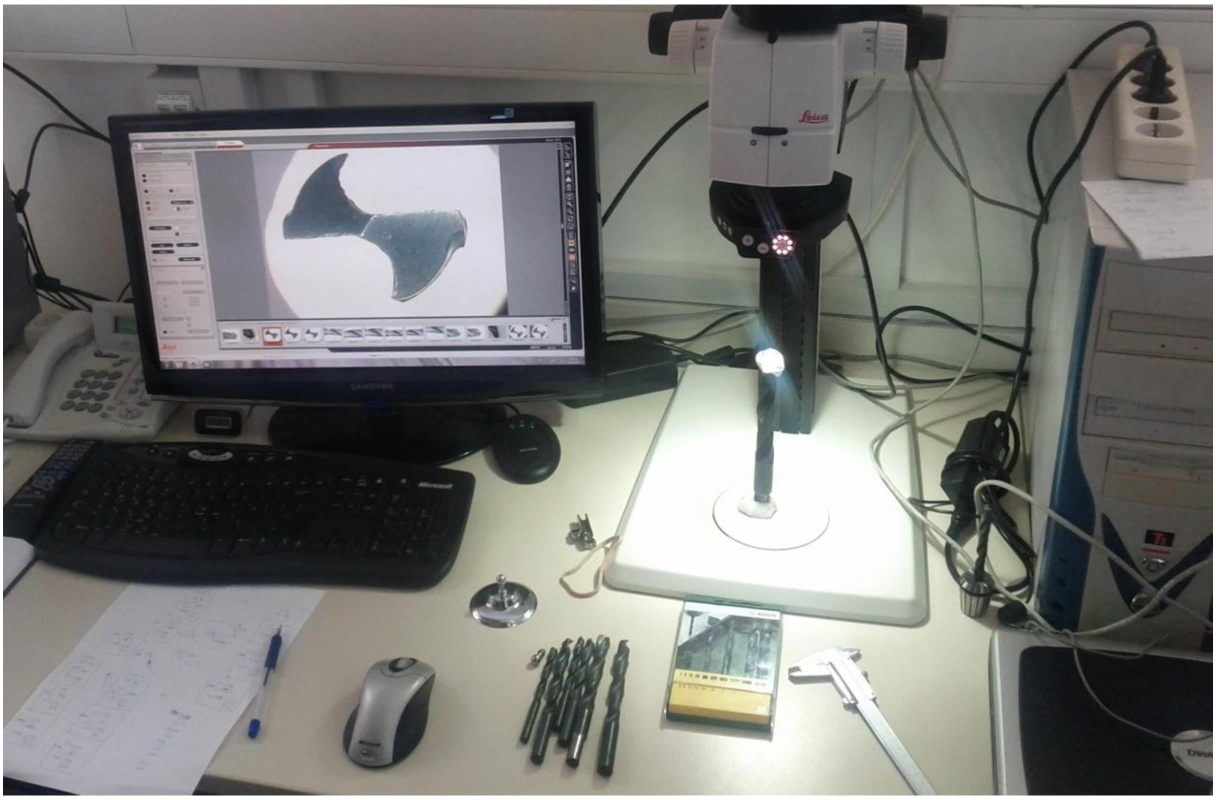
Σχήμα 2.1. Στερεοσκόπιο Leica M125

Στο Σχήμα 2.2 εικονίζεται η πλήρης γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου διάτρησης. Αυτός ο τύπος του εργαλείου ονομάζεται ελικοειδής και είναι ο πιο συνηθισμένος στις κατεργασίες διάτρησης. Αποτελείται από το στέλεχος, το οποίο συγκρατείται στην εργαλειομηχανή, τις ελικοειδείς αυλακώσεις και την κωνική κορυφή. Στην κωνική κορυφή εμπεριέχεται το τσίζελ και οι δύο κύριες κόψεις, όπου σε αυτά τα σημεία ασκούνται οι μεγαλύτερες τάσεις.



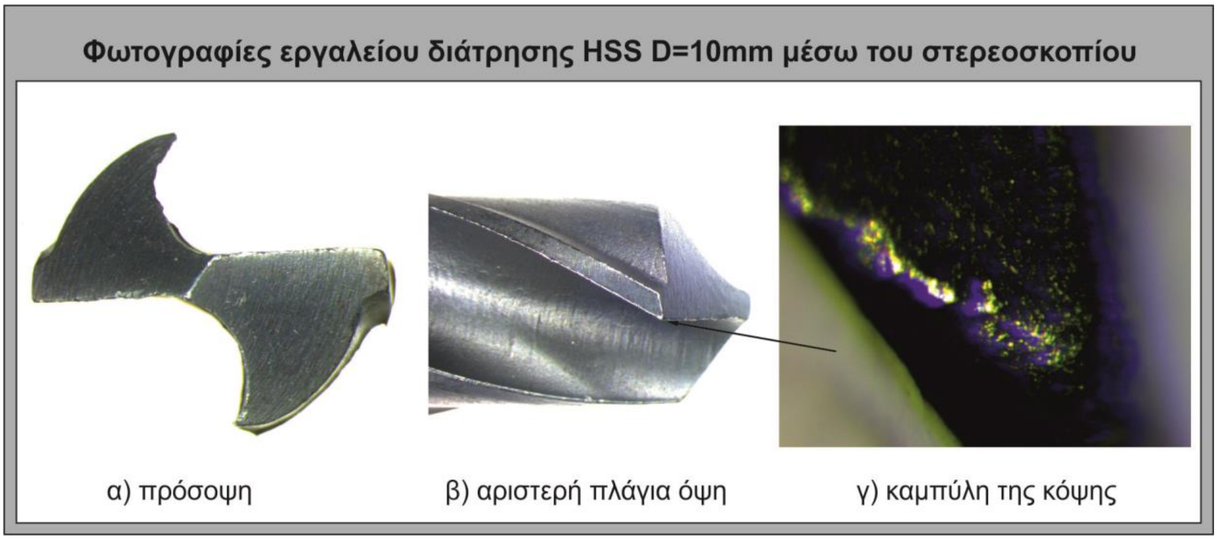
Σχήμα 2.2. Γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου διάτρησης

Στο Σχήμα 2.3 παρουσιάζεται η μέτρηση των διαστάσεων με τη χρήση του στερεοσκοπίου κατά τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής. Στα δεξιά εικονίζεται το στερεοσκόπιο με το κοπτικό εργαλείο που βρισκόταν υπό μέτρηση εκείνη τη στιγμή, ενώ στα αριστερά εικονίζεται το πρόγραμμα που μετέφερε την εικόνα από το στερεοσκόπιο στον υπολογιστή.



Σχήμα 2.3. Μέτρηση διαστάσεων με τη χρήση του στερεοσκοπίου

Στο Σχήμα 2.4 παρουσιάζονται τρεις φωτογραφίες του κοπτικού εργαλείου που τραβήχτηκαν μέσω του στερεοσκοπίου για να πραγματοποιηθεί η μέτρηση των διαστάσεων. Η καμπύλη της κόψης φαίνεται μεγεθυνμένη στο σημείο που δείχνει το βέλος.



Σχήμα 2.4. Φωτογραφίες εργαλείου διάτρησης HSS D=10mm μέσω του στερεοσκοπίου

Στο Σχήμα 2.5 παρουσιάζονται οι μετρήσεις των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων που μετρήθηκαν.

Μετρήσεις των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων με τη χρήση του στερεοσκοπίου				
Τρυπάνια / Διαστάσεις	D=8mm	D=10mm	D=12mm	D=14mm
Διάμετρος τρυπανιού	7,903mm	9,807mm	12,044mm	13,837mm
Πυρήνας	0,819mm	1,114mm	1,384mm	2,444mm
Γωνία κορυφής	53,26°	52,56°	62,1°	58,08°
Μήκος των αυλακώσεων	74,95cm	86,35cm	102,8cm	116,2cm
Μήκος του στελέχους	43,4cm	44,9cm	46,65cm	44,65cm
Γωνία ελίκωσης	28,57°	28,6°	28,226°	27,11°
Οδηγητική λωρίδα	0,852mm	0,87mm	1,35mm	0,936mm
Clearance	0,631mm	0,69mm	0,816mm	1,178mm
Εγκάρσια κόψη	1,369mm	1,531mm	1,924mm	3,16mm
Γωνία εγκάρσιας κόψης	36,74°	46,69°	46°	50,66°
Καμπύλη της κόψης	0,034mm	0,053mm	0,088mm	0,074mm

Σχήμα 2.5. Μετρήσεις των διαστάσεων των κοπτικών εργαλείων με τη χρήση του στερεοσκοπίου

2.3 Μέθοδος πεπερασμένων στοιχείων

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία αριθμητική μέθοδος που υλοποιείται με τη χρήση υπολογιστή για τον υπολογισμό προσεγγιστικών λύσεων μερικών διαφορικών εξισώσεων. Η αναλυτική λύση των εξισώσεων είναι εφικτή μόνο σε ειδικές περιπτώσεις, όπου οι καταπονήσεις και τα γεωμετρικά σχήματα είναι πολύ απλά. Για την επίλυση πιο σύνθετων προβλημάτων ήταν αναγκαίο να αναπτυχθούν προσεγγιστικές μέθοδοι, όπως είναι η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων. Αυτή η μέθοδος είναι μεν προσεγγιστική, αλλά μπορεί να δώσει αξιόπιστα αποτελέσματα και μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα. Το μόνο αρνητικό που είχε μέχρι τα τελευταία χρόνια ήταν οι αυξημένες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ όταν εφαρμοζόταν σε σύνθετα μοντέλα, που όμως με την ανάπτυξη της τεχνολογίας ξεπεράστηκε. Σήμερα, χρησιμοποιείται ευρέως στην έρευνα και στη βιομηχανία για τον υπολογισμό και τη μελέτη διάφορων κατασκευών.

Η μέθοδος των πεπερασμένων στοιχείων είναι μία εξέλιξη των μητρωϊκών μεθόδων αριθμητικής επίλυσης διαφορικών εξισώσεων και ξεκίνησε από τον Ιωάννη Αργύρη, τον Clough, τον Ritz και άλλους ερευνητές.

Η εφαρμογή της μεθόδου αποτελείται από τα παρακάτω στάδια:

1. Γίνεται η εισαγωγή της γεωμετρίας της κατασκευής σε ένα πρόγραμμα CAD και δημιουργείται το τρισδιάστατο μοντέλο.

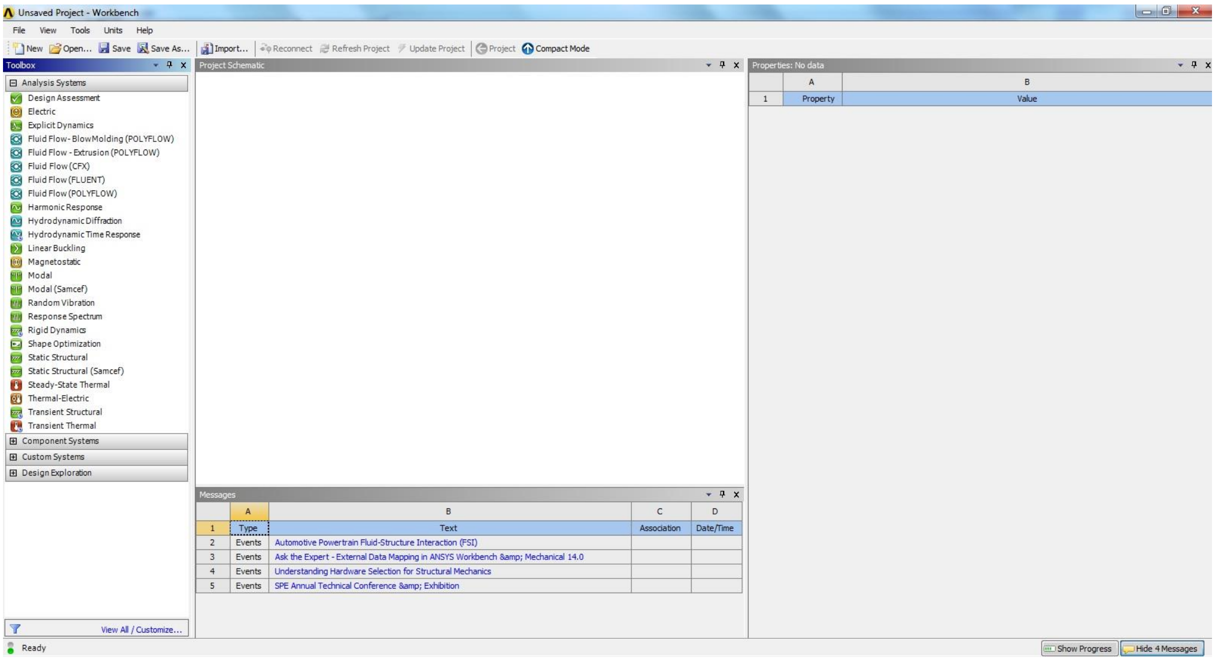
2. Το μοντέλο χωρίζεται σε πεπερασμένα στοιχεία και όταν ετοιμαστεί το πλέγμα επιλέγεται το είδος της επίλυσης και γίνεται η εισαγωγή των επιπλέον δεδομένων που απαιτούνται. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιείται με προγράμματα που αποκαλούνται pre processor.

3. Όταν τα δεδομένα είναι έτοιμα για επίλυση, εισάγονται σε ένα πρόγραμμα το οποίο θα κάνει την επίλυση του προβλήματος. Τέτοιου είδους προγράμματα λέγονται solver και χρησιμοποιούν για τις επιλύσεις αριθμητικές μεθόδους.

4. Όταν τελειώσει η επίλυση τα αποτελέσματα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ένα πρόγραμμα, που αποκαλείται post processor, για να μπορέσει ο μελετητής να δει τα αποτελέσματα.

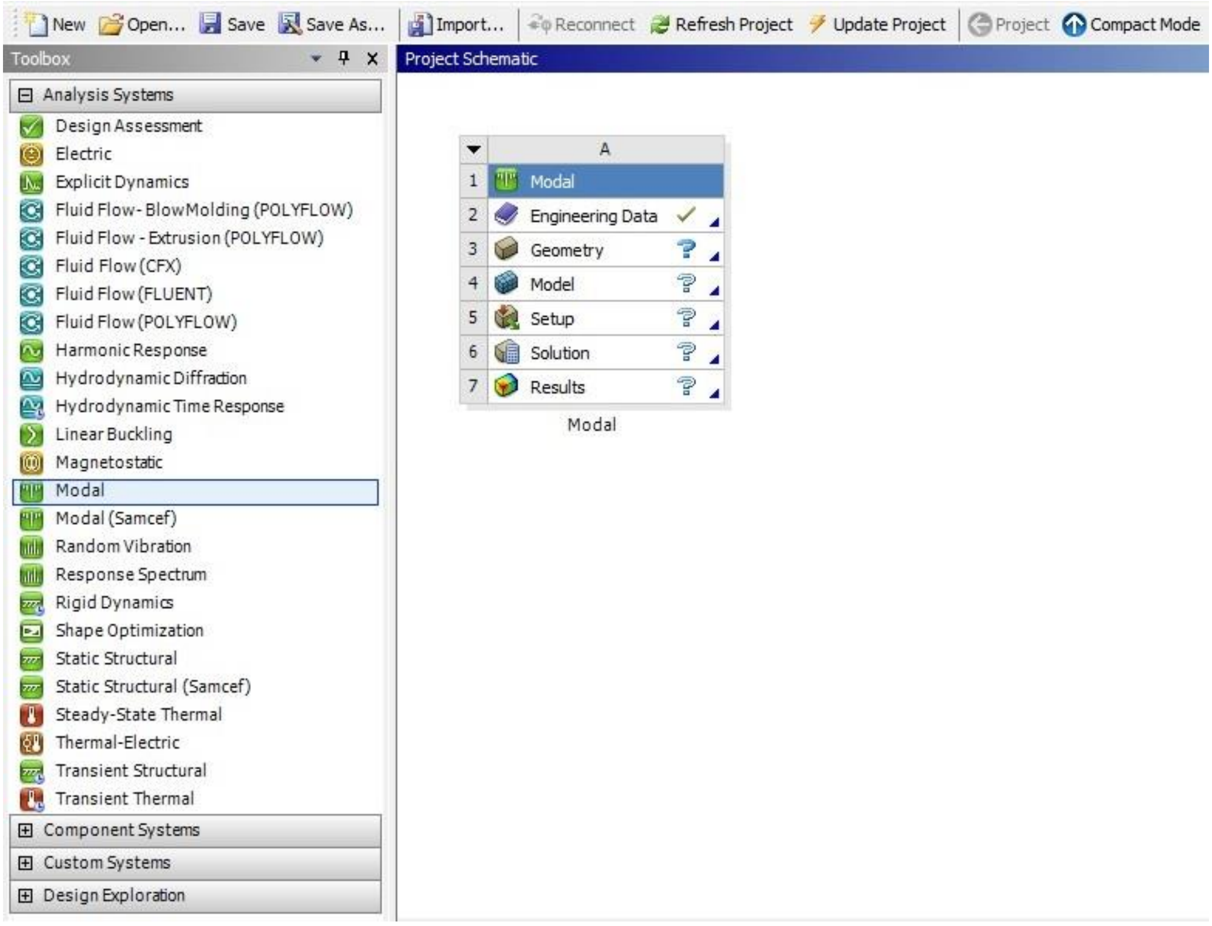
2.4 Λογισμικό προσομοίωσης ANSYS

Το ANSYS είναι ένα λογισμικό προσομοίωσης που εφαρμόζει τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Έχει τη δυνατότητα να προσομοιώνει προβλήματα από πολλές κατηγορίες όπως κατασκευαστικά, δομικά, ρευστομηχανικά, ηλεκτρομαγνητικά και θερμικά. Ο χρήστης μπορεί και επιλέγει την ανάλυση που θέλει να χρησιμοποιήσει, δημιουργώντας το σύστημα που αντιστοιχεί στο πρόβλημα του, πατώντας πάνω σε μία από τις αναλύσεις που φαίνονται στην αριστερή στήλη του Σχήματος 2.6.



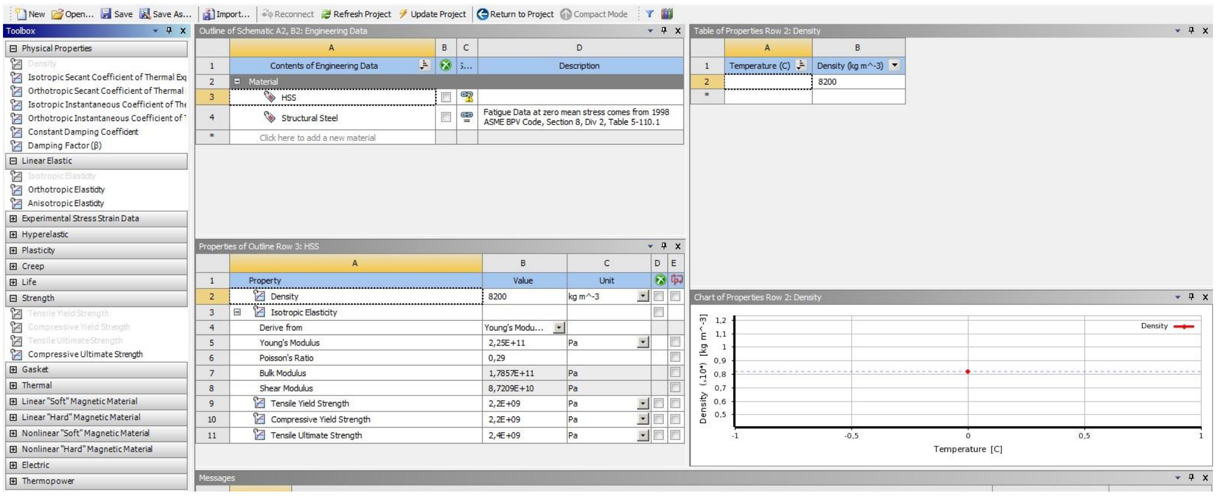
Σχήμα 2.6. Το περιβάλλον του ANSYS

Στη συνέχεια, όταν ο χρήστης επιλέξει την ανάλυση που επιθυμεί, παραδείγματος χάρη ιδιομορφική ανάλυση, εμφανίζεται το σύστημα όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.7.



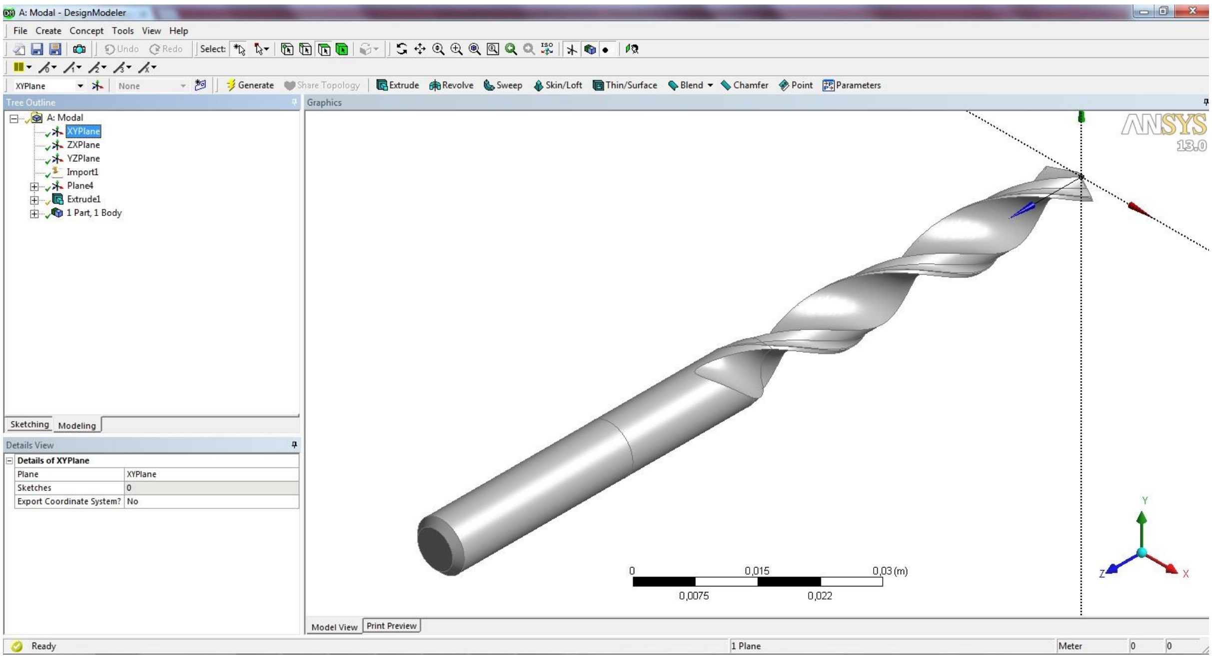
Σχήμα 2.7. Ιδιομορφική ανάλυση στο ANSYS

Μόλις δημιουργηθεί το σύστημα εμφανίζονται ορισμένες επιλογές. Μέσα στην επιλογή Engineering Data Σχήμα 2.8 γίνεται η εισαγωγή των ιδιοτήτων του υλικού που θα χρησιμοποιηθεί.



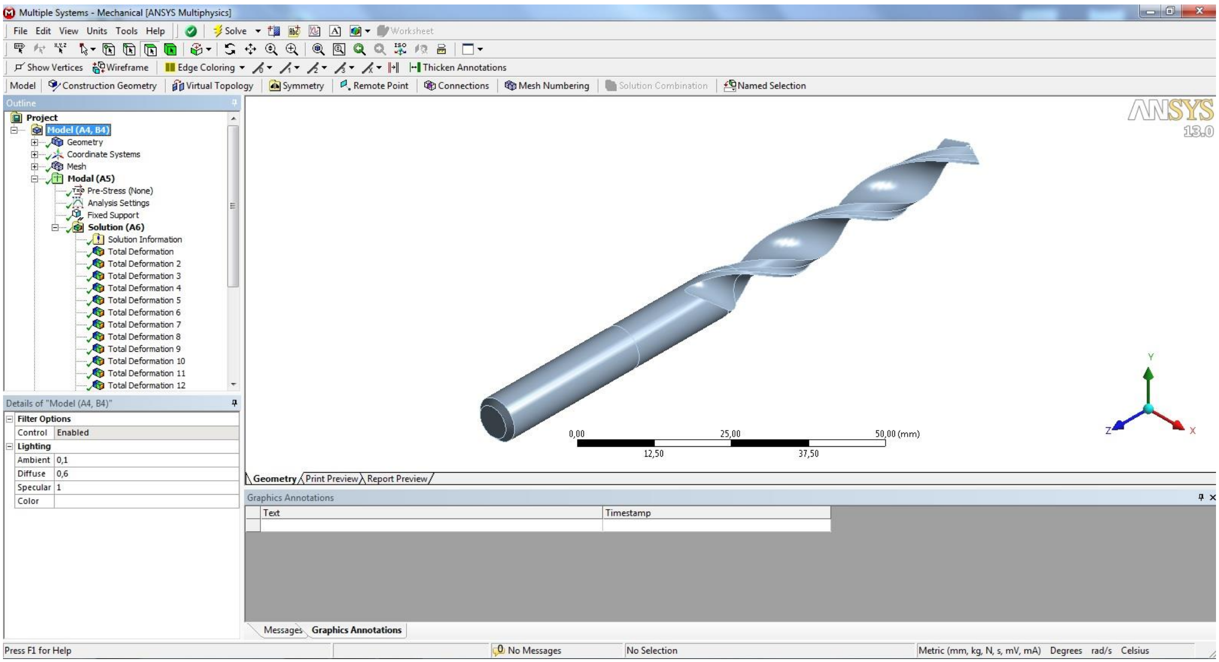
Σχήμα 2.8. Εισαγωγή ιδιοτήτων του υλικού στο ANSYS

Στην επιλογή Geometry γίνεται η εισαγωγή της γεωμετρίας του μοντέλου από ένα αρχείο CAD ή δημιουργείται από την αρχή και ανοίγει ένα νέο παράθυρο όπου εμφανίζεται το μοντέλο και φαίνεται στο Σχήμα 2.9.



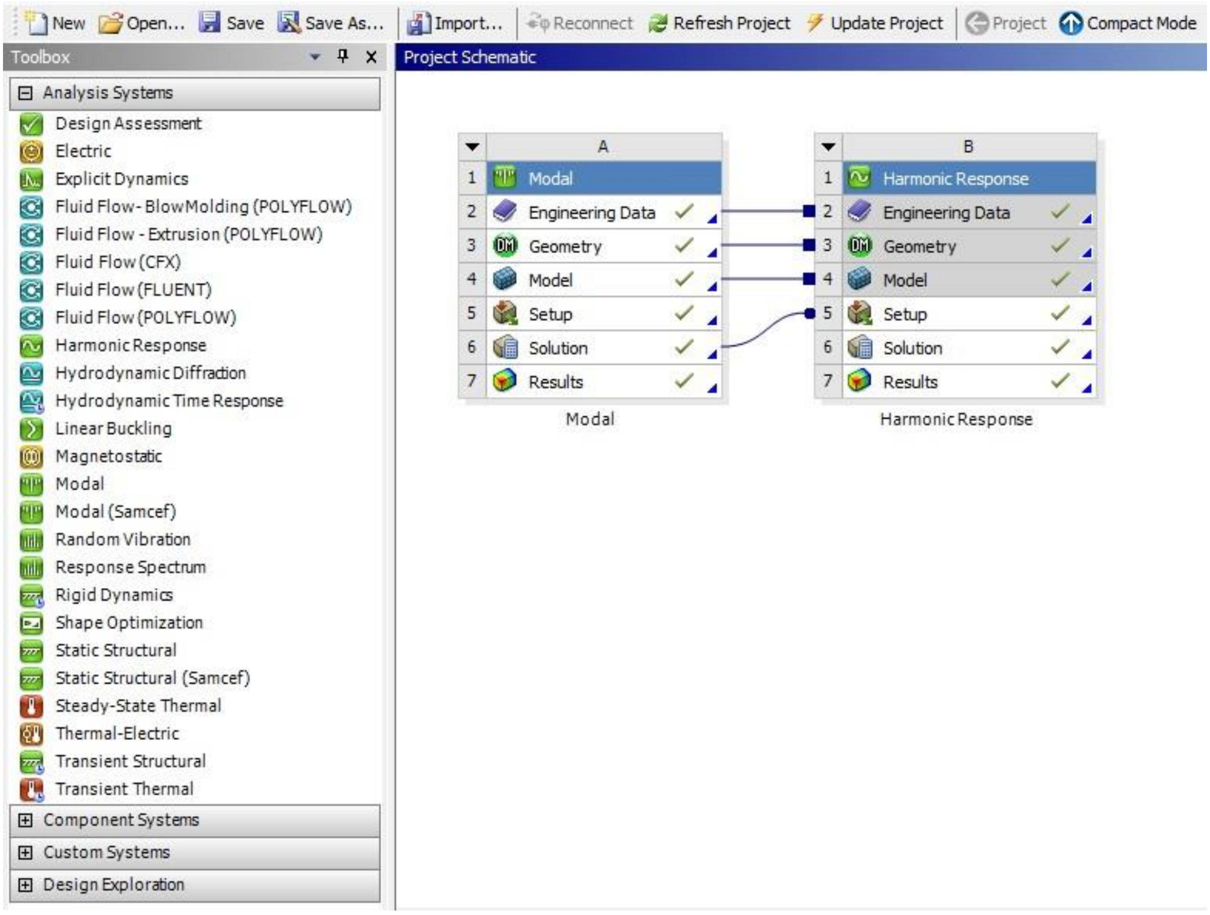
Σχήμα 2.9. Γεωμετρία του μοντέλου στο ANSYS

Στην επιλογή Model ο χρήστης δημιουργεί το μοντέλο του και καθορίζει τις συνθήκες της ανάλυσης εισάγοντας δυνάμεις, στηρίξεις κλπ καθώς και επιλέγοντας τα χαρακτηριστικά της επίλυσης που επιθυμεί Σχήμα 2.10.



Σχήμα 2.10. Το μοντέλο της ανάλυσης στο ANSYS

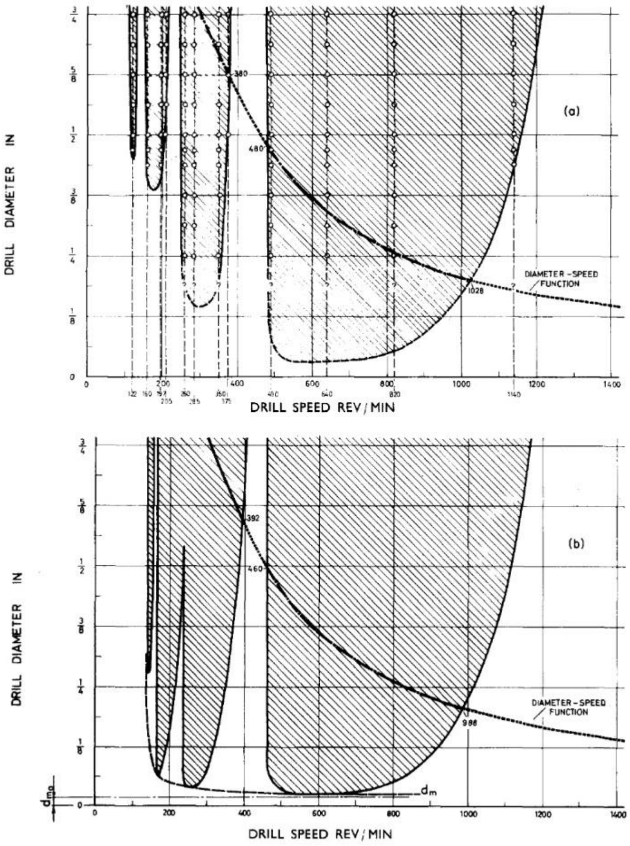
Τέλος, με αυτό το πρόγραμμα υπάρχει η δυνατότητα πρόσθεσης επιπλέον ανάλυσης σε σειρά, παραδείγματος χάρη ιδιομορφική ανάλυση με αρμονική Σχήμα 2.11, έτσι ώστε οι συνθήκες και οι λύσεις της ιδιομορφικής ανάλυσης να μεταφέρονται στην αρμονική και να υπάρχει επίδραση από την πρώτη.



Σχήμα 2.11. Συνδυασμός ιδιομορφικής και αρμονικής ανάλυσης στο ANSYS

3. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

Ο S. A. Tobias έκανε πειράματα διάτρησης για να προσδιορίσει τον συντελεστή αξίας των εργαλειομηχανών. Ο συντελεστής αυτός ορίζεται ως το γινόμενο της στατικής δυσκαμψίας μεταξύ εργαλείου και τεμαχίου στην κατεύθυνση της δύναμης της κοπής και ενός αδιάστατου λόγου ο οποίος προσδιορίζεται από την απόκριση της εργαλειομηχανής. Απέδειξε ότι ο συντελεστής της αξίας είναι ανάλογος ως προς τη μέγιστη διάμετρο του κοπτικού εργαλείου, η οποία είναι σταθερή σε όλες τις ταχύτητες κοπής και ότι η αύξησή της σημαίνει μια συστολή των κλιμάκων των ταχυτήτων στις οποίες η εργαλειομηχανή ταλαντώνεται. Η σχέση του συντελεστή αξίας με το διάγραμμα σταθερότητας της κατεργασίας της διάτρησης παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.1 πειραματικά (a) και υπολογιστικά (b) [1].



Σχήμα 3.1. Αποτελέσματα της έρευνας του Tobias

Ο Z. Zhang και ο V.I. Babitsky πραγματοποίησαν ιδιομορφική ανάλυση με πεπερασμένα στοιχεία για μικρο-διάτρηση και έκαναν πειράματα με υπέρθεση σε υπερήχους. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων παρουσίασαν τις ιδιοσυχνότητες και τις ιδιομορφές του κοπτικού εργαλείου και με τη χρήση υπερήχων παρουσίασαν πειραματικά ένα υβριδικό μοντέλο. Με τα πειράματα τους απέδειξαν ότι με την υπέρθεση των υπερήχων η κύρια δύναμη κοπής μειώνεται. Επίσης, βρήκαν ότι η συχνότητα συντονισμού ποικίλλει σε διαφορετικές ταχύτητες περιστροφής. Τα αποτελέσματα εικονίζονται στο Σχήμα 3.2 [2].

Natural modes for the solid model and the hybrid model.

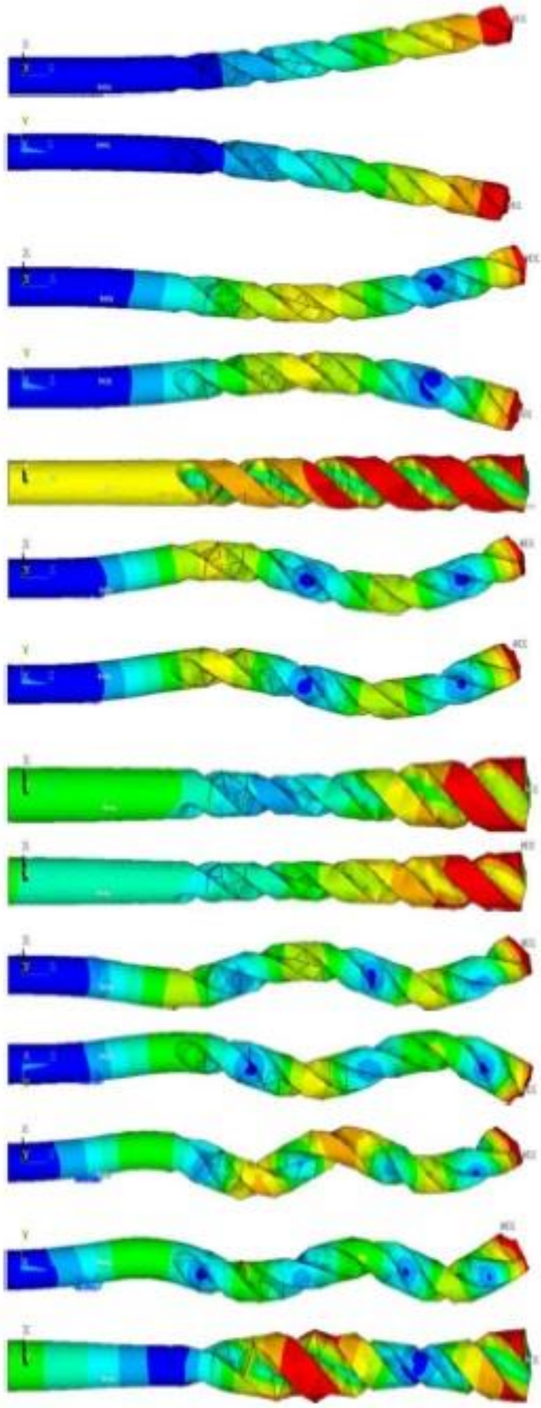
Solid model (Hz)	Hybrid model (Hz)	Difference (%)	Description
6081.0	5860.7	3.62	1st bending of the flute in *Y* direction
6348.3	6099.7	3.92	1st bending of the flute in *X* direction
10,847	9750.7	10.10	1st bending of the whole drill in *Y* direction
10,878	9754.5	10.33	1st bending of the whole drill in *X* direction
36,000	34,564	3.99	2nd bending of the flute in *Y* direction
36,912	35,320	4.31	2nd bending of the flute in *X* direction

Σχήμα 3.2. Αποτελέσματα της έρευνας του Zhang και του Babitsky

Ο V. Ostasevicius και οι συνεργάτες του προσδιόρισαν αριθμητικά και πειραματικά τη δυναμική συμπεριφορά ενός κοπτικού εργαλείου διάτρησης με σκοπό τη βελτίωση ποιότητας της κοπής. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων δημιούργησαν ένα μοντέλο του εργαλείου και πραγματοποίησαν ιδιομορφική, αρμονική και δυναμική ανάλυση και σύγκριναν τα αποτελέσματα πειραματικά. Οι ταλαντώσεις στις οποίες υποβλήθηκε το κοπτικό εργαλείο ήταν σε αξονική, σε στρεπτική και σε εγκάρσια σε δύο άξονες. Τα αποτελέσματα αυτής της έρευνας με τις ιδιομορφικές αποκρίσεις του κοπτικού εργαλείου οφελούν στην αποτελεσματικότητα της διαδικασίας της διάτρησης. Στο Σχήμα 3.3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα με τις ιδιομορφές και τις ιδιοσυχνότητες του κοπτικού εργαλείου [3].

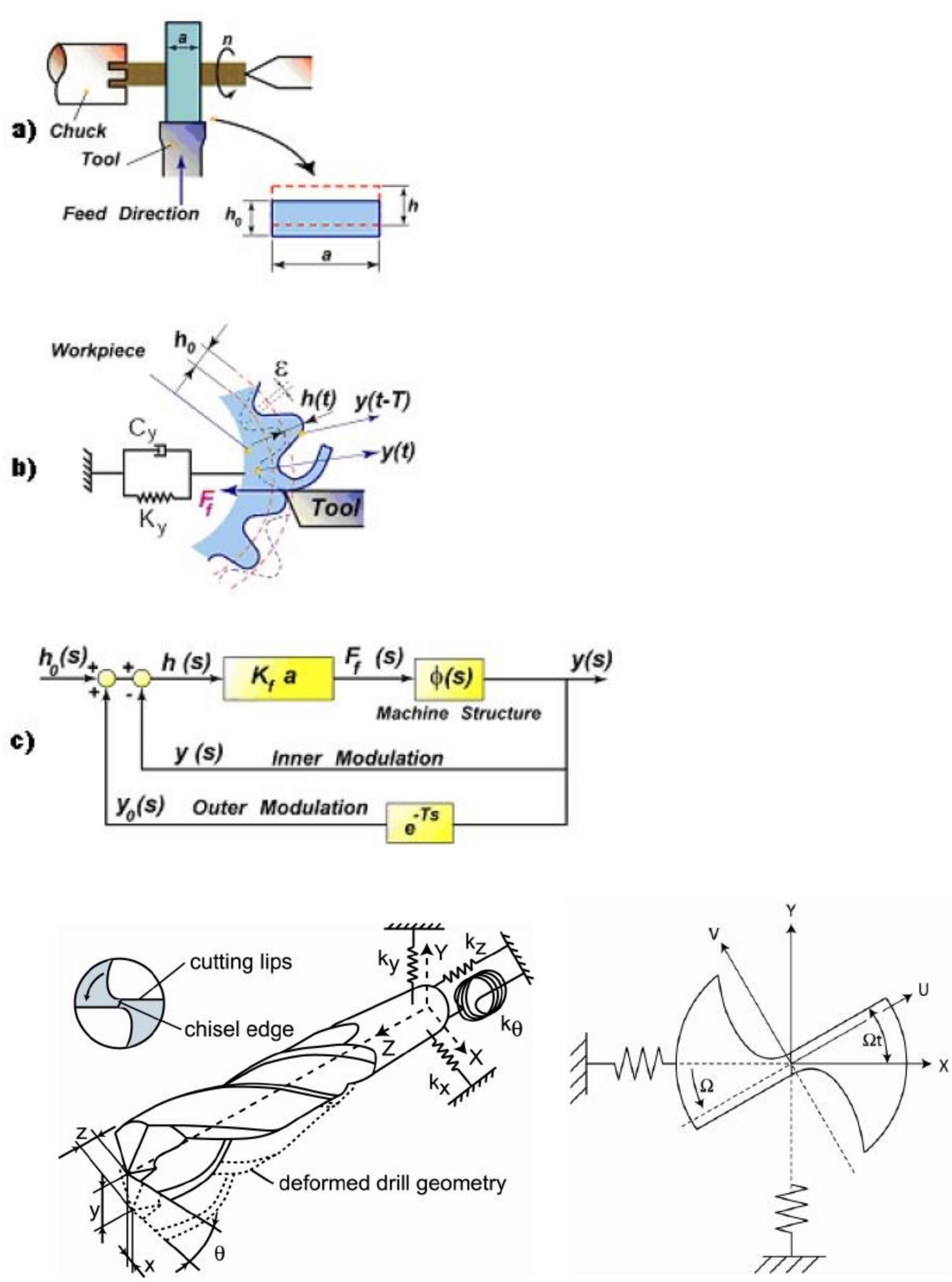
Summary of simulated natural vibration modes of the drill bit.

Vibration mode no.	Resonant frequency (kHz)	Type of vibration mode and its consecutive number				Mode visualization (displacement vector sum)
		Axial	Torsional	Transverse		
				Plane xz	Plane yz	
1	0.494			1		
2	0.522				1	
3	2.561			2		
4	2.610				2	
5	3.025		1			
6	6.419			3		
7	6.461				3	
8	8.870		2			
9	11.100	1				
10	11.688			4		
11	12.229				4	
12	18.151			5		
13	18.894				5	
14	19.843		3			



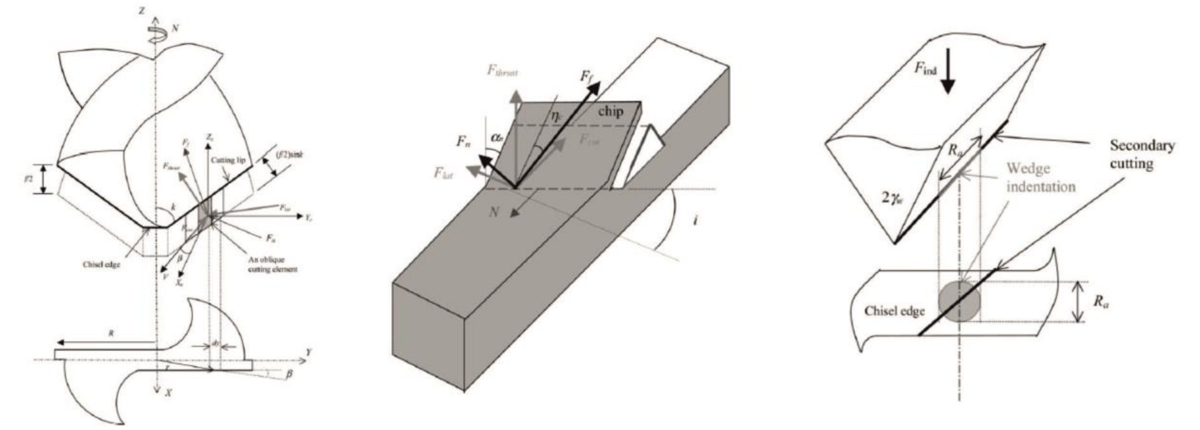
Σχήμα 3.3. Αποτελέσματα της έρευνας του Ostasevicius

Ο Y. Altintas και ο M. Weck συνόψισαν τη στάθμη της ερευνητικής γνώσης στη δυναμική της κοπής και λείανσης των μετάλλων. Παρουσίασαν τις βασικές αρχές της ορθογώνιας κοπής με σκοπό την αποφυγή των κραδασμών και των ταλαντώσεων της εργαλειομηχανής και ανέπτυξαν τη δυναμική όλων των μεθόδων κοπής, όπως και της διάτρησης Σχήμα 3.4 [4].

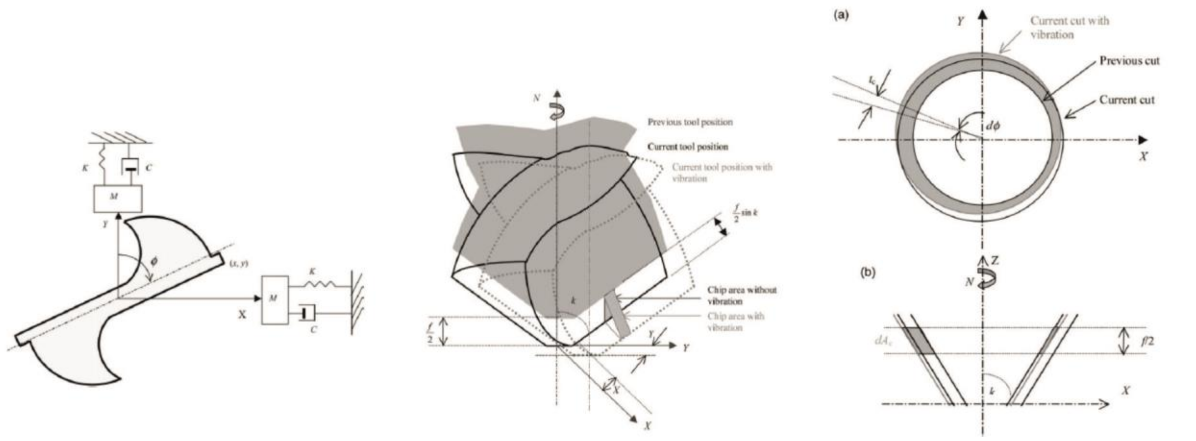


Σχήμα 3.4. Συνόψιση της στάθμης των γνώσεων στη δυναμική κοπή από τον Altintas και τον Weck

Ο Juhchin A. Yang και οι συνεργάτες του έφτιαξαν ένα υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης για τη διάτρηση και τη διάνοιξη οπών. Το μοντέλο αποτελείται από τέσσερα μέρη: το μοντέλο της δύναμης για τις κοπτικές ακμές, το μοντέλο της δύναμης για την εγκάρσια κόψη, το δυναμικό μοντέλο για την εργαλειομηχανή και την συσχέτιση μεταξύ της δύναμης και της ταλάντωσης της εργαλειομηχανής. Ο συσχετισμός μεταξύ της δύναμης και της ταλάντωσης της εργαλειομηχανής ήταν ο κύριος σκοπός της έρευνας. Χρησιμοποιώντας ένα 3D μοντέλο σχηματισμού του αποβλίττου, περιγράφει την αλληλεπίδραση μεταξύ του κοπτικού και του τεμαχίου και προβλέπει τις δυναμικές δυνάμεις και το όριο της ταλάντωσης, όπως επίσης και την απόκριση και το πως επηρεάζει η αλλαγή γωνίας του εργαλείου το όριο της ταλάντωσης Σχήμα 3.5 [5]. Τα αποτελέσματα της έρευνας επαληθεύονται πειραματικά με σφάλμα περίπου 10%.



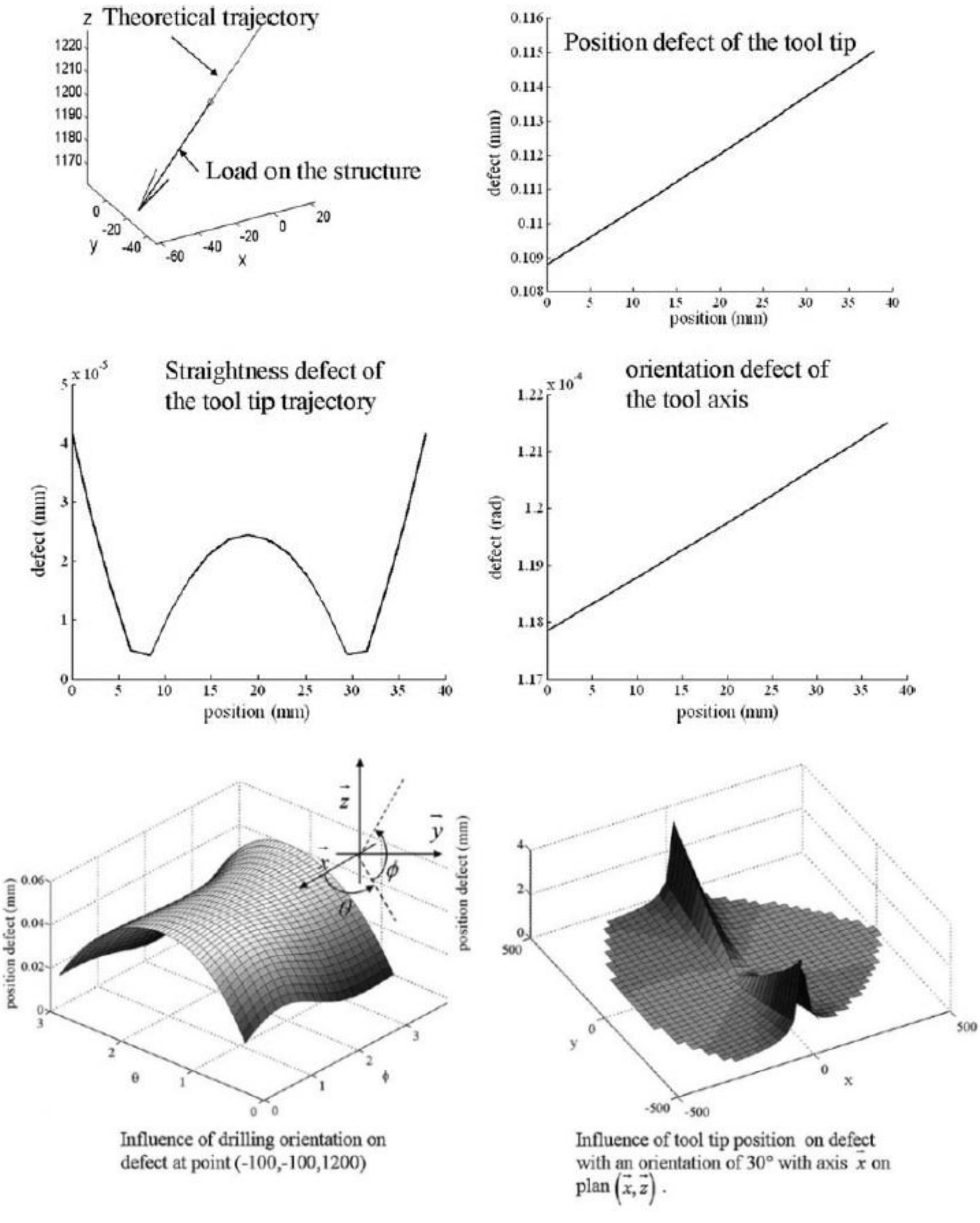
Απεικόνιση του μοντέλου της δύναμης της κοπής | Απεικόνιση των στοιχειωδών δυνάμεων κοπής σε λοξή κοπή | Απεικόνιση του μοντέλου της δύναμης της κοπής στην εγκάρσια κόψη



Απεικόνιση του δυναμικού μοντέλου της εργαλειομηχανής | Απεικόνιση του 3D αποτελέσματος της ταλάντωσης | Απεικόνιση του αποτελέσματος της ταλάντωσης

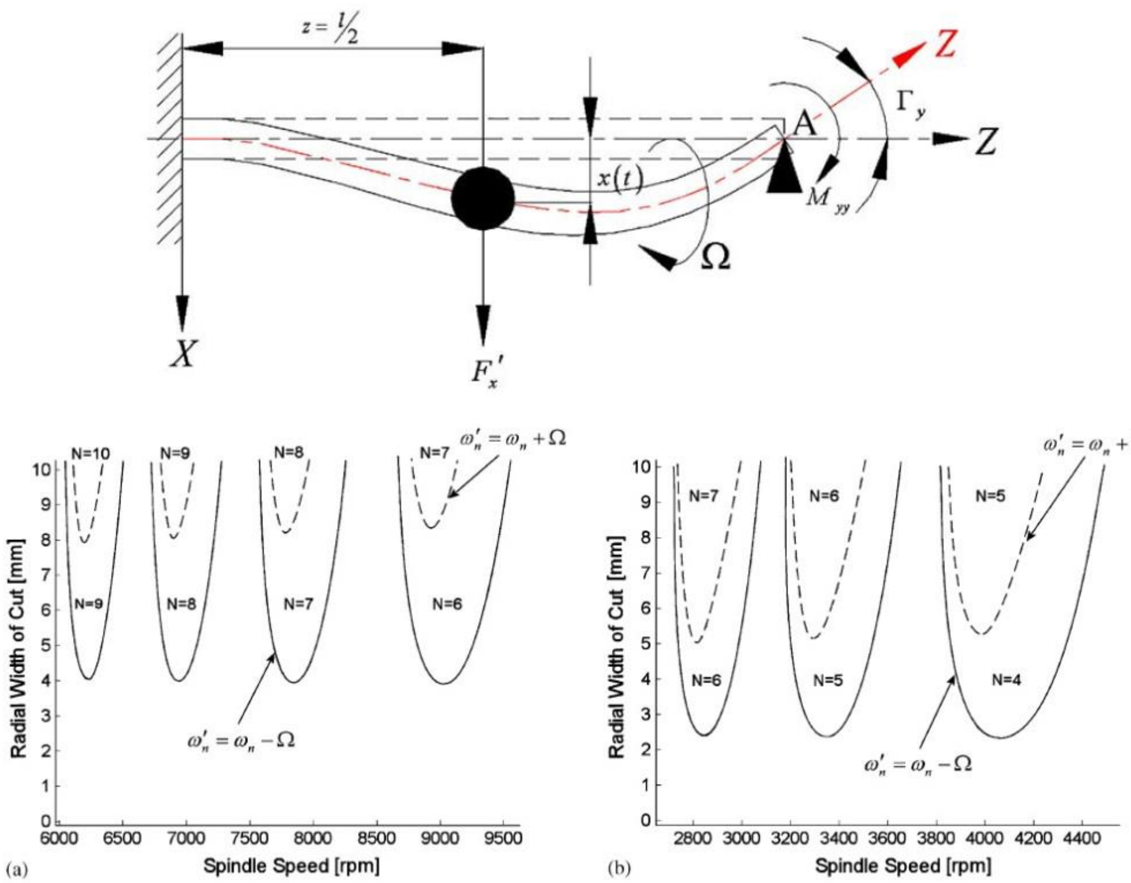
Σχήμα 3.5. Υπολογιστικό μοντέλο προσομοίωσης του Yang

Ο H. Chanal και οι συνεργάτες του μελέτησαν την εφαρμογή της παράλληλης κινηματικής μηχανικής (ΠΚΜ) σε εφαρμογές για κατεργασίες υψηλών ταχυτήτων. Η συμπεριφορά της ΠΚΜ είναι ανισσότροπη, έτσι η δομική παραμόρφωση λόγω των φορτίων κοπής δημιουργεί διάφορα ελαττώματα στο κατεργασμένο τμήμα, ανάλογα με τη θέση και τον προσανατολισμό του εργαλείου στο χώρο εργασίας. Ο σκοπός αυτής της έρευνας ήταν ο ορισμός ενός μηχανικού χώρου εργασίας, όπου το κομμάτι κατεργάζεται σε ένα καθορισμένο επίπεδο ποιότητας. Η ΠΚΜ είναι μία μέθοδος που προσομοιώνει τα ελαττώματα των κατεργασιών που οφείλονται σε δυνάμεις κοπής και τις διαρθρωτικές παραμορφώσεις. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί τρεις προσεγγίσεις μοντελοποίησης: μοντελοποίηση της εργαλειομηχανής, μοντελοποίηση του φορτίου που παράγεται από την κοπή και μοντελοποίηση των κατεργασμένων επιφανειών. Ο Chanal και οι συνεργάτες του έκαναν προσομοίωση σε διάτρηση, δείχνοντας ότι δημιουργούνται ελαττώματα θέσης και ότι αυτά τα ελαττώματα είναι διαφορετικά ανάλογα με τη θέση του άκρου του εργαλείου και τον άξονα, γεγονός που δικαιολογεί τον ορισμό ενός μηχανικού χώρου εργασίας. Τα αποτελέσματα της έρευνας εικονίζονται στο Σχήμα 3.6 [6].



Σχήμα 3.6. Αποτελέσματα της έρευνας του Chanal

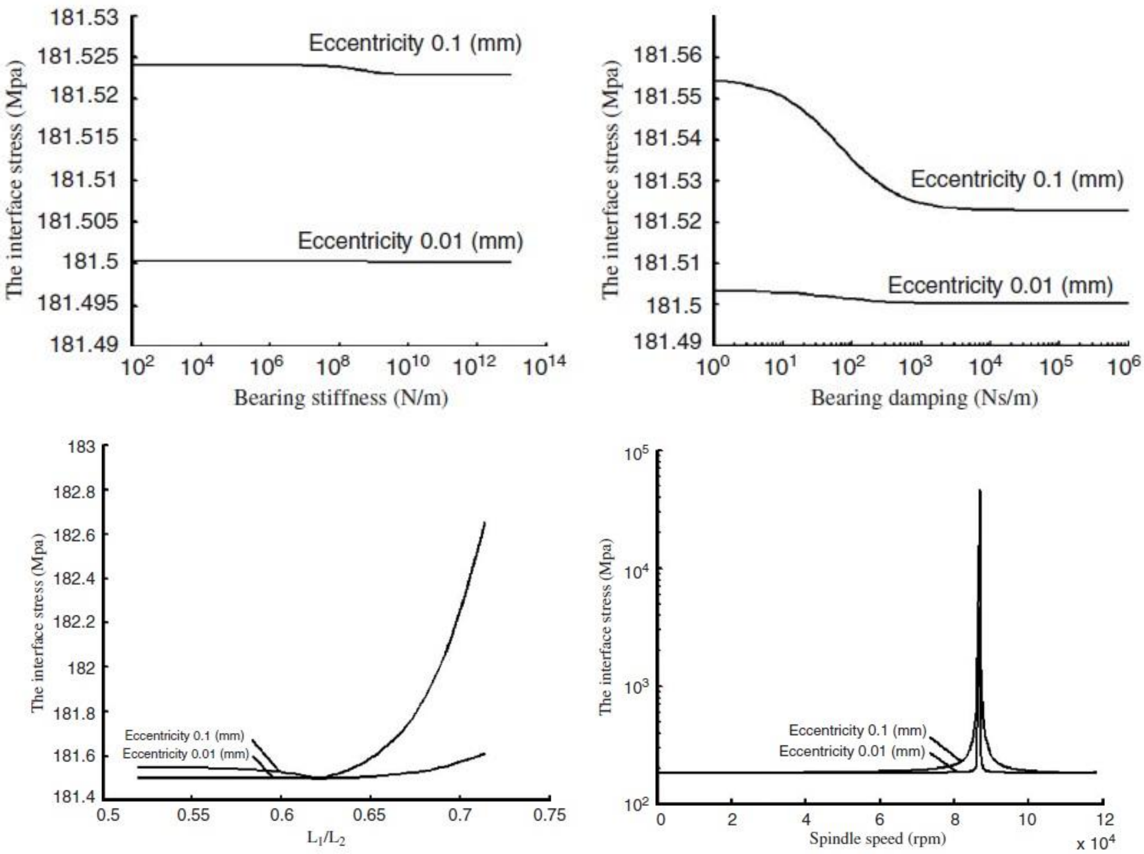
Ο Tooraj Arvajeh και ο Fathy Ismail ανέπτυξαν ένα δυναμικό μοντέλο για να ληφθεί το όριο ευστάθειας σε εγκάρσια ταλάντωση λόγω κάμψης. Το μοντέλο περιλαμβάνει τη γυροσκοπική επίδραση που σχετίζεται με την περιστροφή του εργαλείου, διατηρώντας παράλληλα το τεμάχιο σταθερό. Στα πλαίσια της έρευνας εκπονήθηκε επαναληπτική διαδικασία για την αποτύπωση των καμπυλών ευστάθειας. Οι καμπύλες παρουσίασαν μια πτωτική τάση της ελάχιστης ευστάθειας όσο η ταχύτητα περιστροφής αυξανόταν. Τα αποτελέσματα Σχήμα 3.7 έδειξαν ότι η γυροσκοπική επίδραση κάνει τις καμπύλες πιο ανοιχτές αλλά την ίδια στιγμή μειώνεται η ελάχιστη ευστάθεια [7].



(a) Bending stability boundaries for the "short" drill. (b) Bending stability boundaries for the "long" drill.

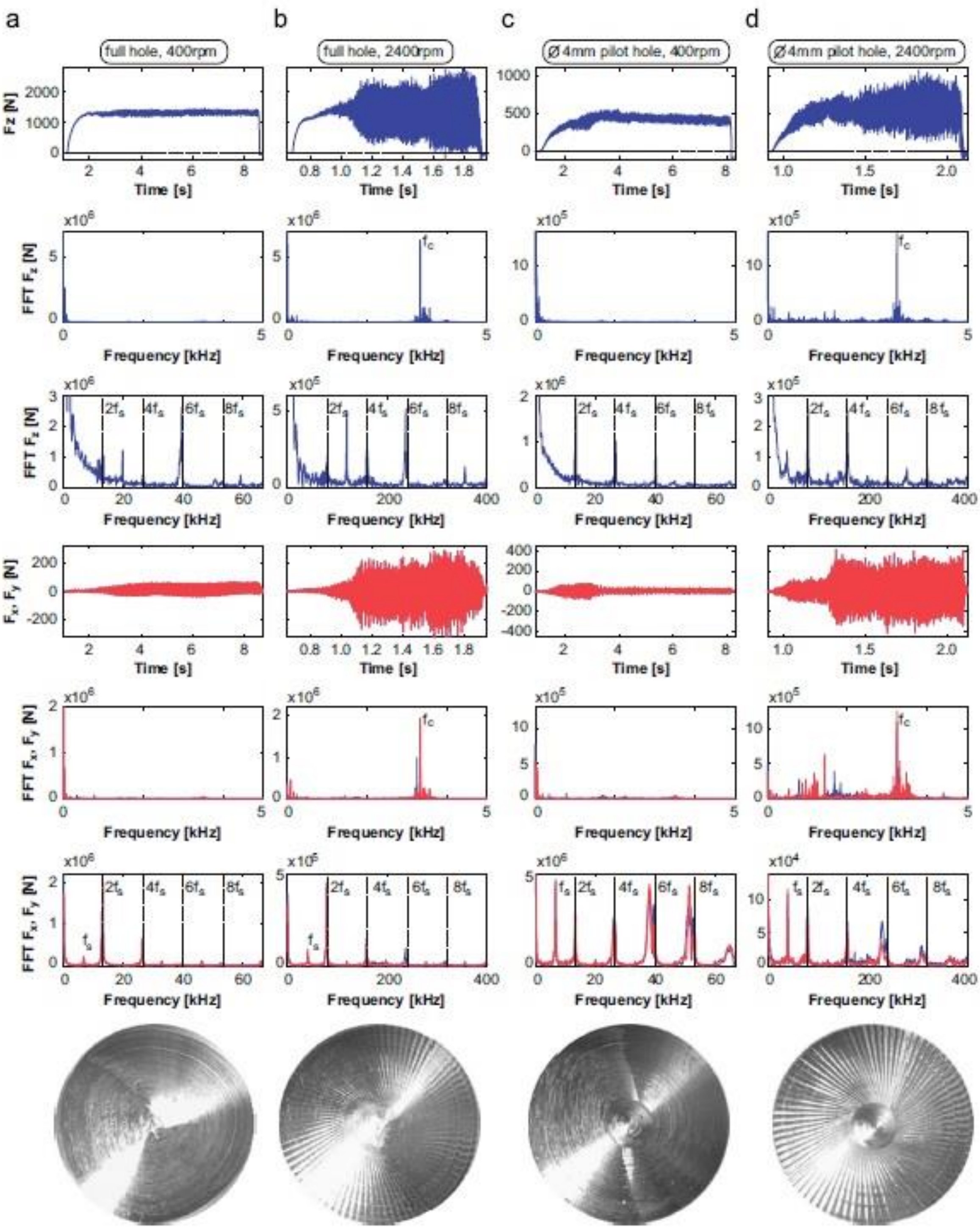
Σχήμα 3.7. Αποτελέσματα της έρευνας του Arvajeh και του Ismail

Ο Pei Yongchen και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα δυναμικό μοντέλο συστήματος μικρο-διάτρησης για να βρουν τις δυναμικές καταπονήσεις σε υψηλή ταχύτητα κατεργασίας. Το μοντέλο περιλαμβάνει τις επιδράσεις της εκκεντρότητας σε όλο το σύστημα. Σε αυτή την έρευνα αποδείχθηκε ότι η αναλογία προβόλου του συστήματος διάτρησης έχει μία κρίσιμη τιμή, όταν η αναλογία προβόλου είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη τιμή τότε οι τάσεις των μικρο-τρυπανιών αυξάνονται. Η κρίσιμη τιμή της αναλογίας προβόλου κυμαίνεται χαμηλά με τις ταχύτητες του άξονα, με την αξονική δύναμη διάτρησης και με τις διαμέτρους των μικρο-τρυπανιών. Η αύξηση της απόσβεσης των ρουλεμάν μειώνουν τις τάσεις που προκαλούνται στα μικρο-τρυπάνια, αλλά όταν η απόσβεση του ρουλεμάν είναι πέρα από μια κρίσιμη τιμή, η αύξηση της απόσβεσης δεν έχει σημαντική επίδραση στη μείωση των τάσεων. Η κρίσιμη απόσβεση μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας της ατράκτου, που δείχνει ότι οι μηχανές μικρο-διάτρησης είναι κατάλληλες για εργασία σε υψηλές ταχύτητες. Επίσης, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχει εκκεντρότητα στο σύστημα της διάτρησης, η τάση στις μικρο-διατρήσεις αυξάνει ραγδαία όταν η ταχύτητα της ατράκτου προσεγγίζει τη συντονισμένη ταχύτητα του συστήματος διάτρησης. Τα παραπάνω αποτελέσματα εικονίζονται στο Σχήμα 3.8 [8].



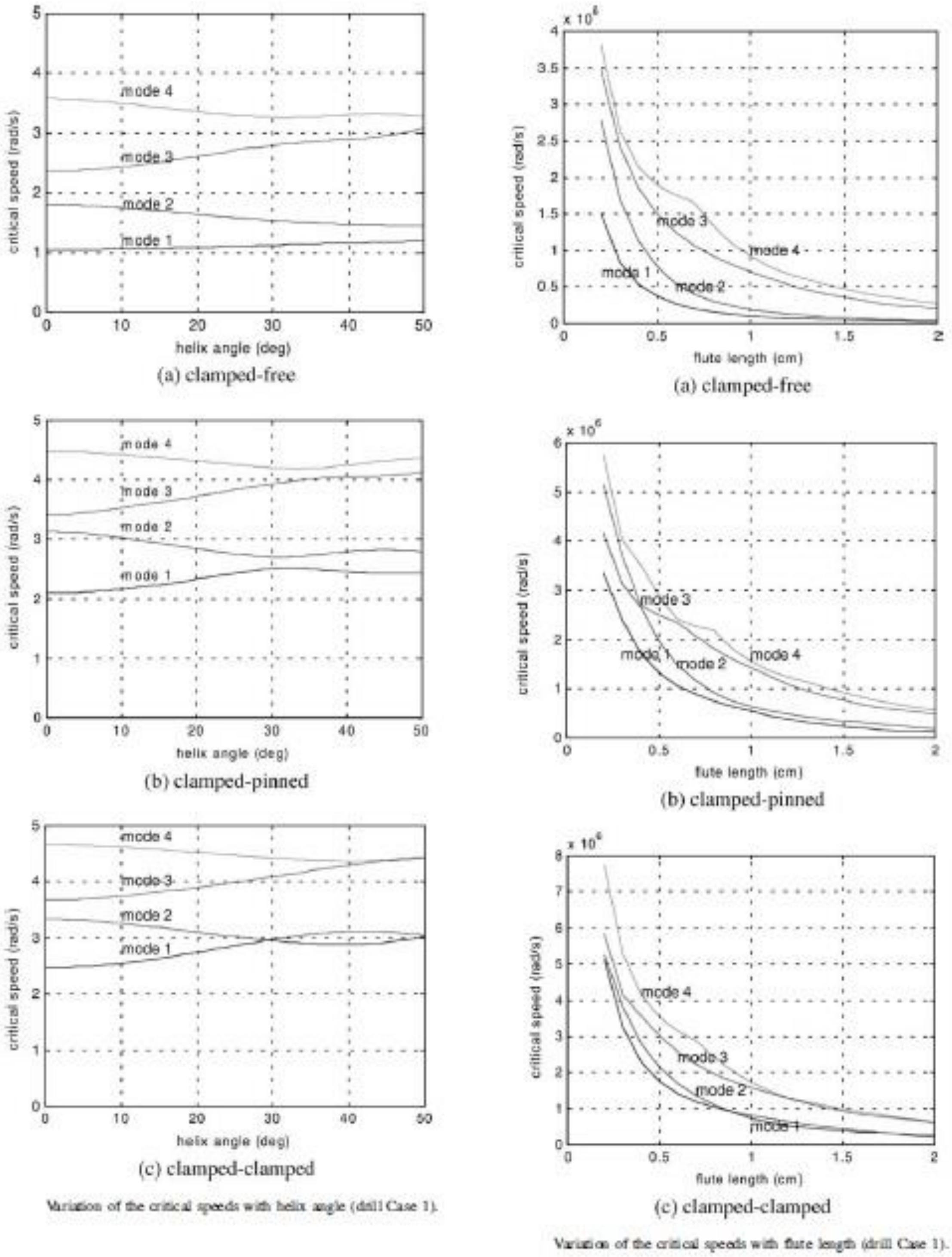
Σχήμα 3.8. Αποτελέσματα της έρευνας του Yongchen

Ο Jochem C. Roukema και ο Yusuf Altintas παρουσίασαν ένα 3D μοντέλο προσομοίωσης της διαδικασίας της διάτρησης στο πεδίο του χρόνου εξετάζοντας τα αποτελέσματα των κραδασμών στο κοπτικό εργαλείο. Ασχολήθηκαν με την κινηματική του άκαμπτου σώματος εμπεριέχοντας καμπτικές και στρεπτικές ταλαντώσεις και εξέτασαν την επίδραση που έχουν αυτές στις δυνάμεις κοπής και τη μορφή της οπής. Με την έρευνα αυτή απέδειξαν τον σημαντικό ρόλο που έχει η ύπαρξη αρχικής οπής οδηγού. Τα αποτελέσματα της έρευνας εικονίζονται στο Σχήμα 3.9 [9].



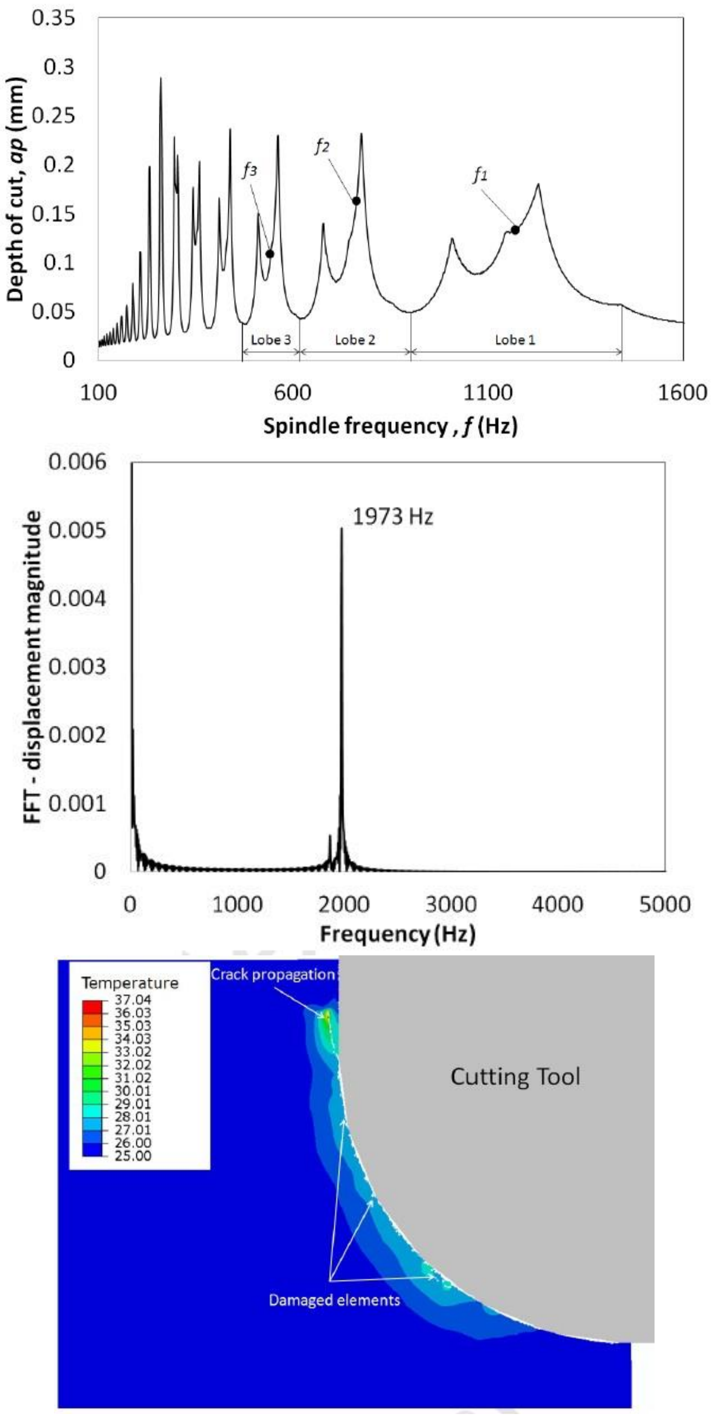
Σχήμα 3.9. Αποτελέσματα της έρευνας του Roukema και του Altintas

Ο Yongping Gong και οι συνεργάτες του ανέλυσαν τα δυναμικά χαρακτηριστικά των μικρο-κοπτικών εργαλείων διάτρησης. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων αναπτύχθηκαν μοντέλα για τις κρίσιμες ταχύτητες περιστροφής και για τα κρίσιμα φορτία λυγισμού. Τα αποτελέσματα της προσομοίωσης δείχνουν ότι οι κρίσιμες ταχύτητες και τα φορτία λυγισμού βελτιώνονται με την αύξηση του εμβαδού διατομής και της γωνίας ελίκωσης και βελτιώνονται αισθητά όταν μειώνεται το μήκος των αυλακώσεων του εργαλείου ή αυξάνεται το μήκος της πάκτωσης του εργαλείου. Τα φορτία λυγισμού μειώνονται σχεδόν γραμμικά με την αύξηση της ταχύτητας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου. Τα αποτελέσματα της έρευνας εικονίζονται στο <u>Σχήμα 3.10</u> [10].



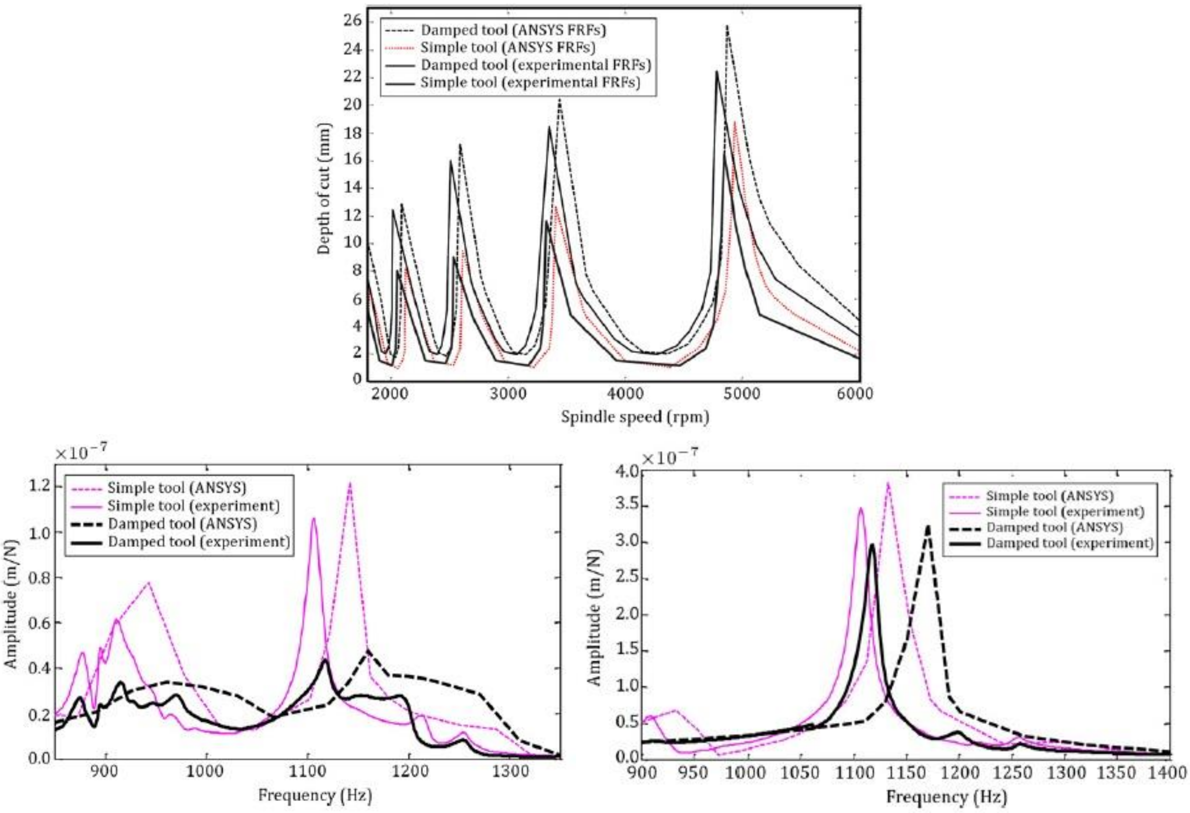
Σχήμα 3.10. Αποτελέσματα της έρευνας του Gong

Ο S. M. Afazov και οι συνεργάτες του πρότειναν ένα μοντέλο για να προσδιοριστούν οι παράμετροι της μικρο-διάτρησης με αποτέλεσμα την επίτευξη υψηλής αναλογίας διάτρησης. Το μοντέλο ονομάζεται άτρακτος-αιχμή-συχνότητα (spindle-peak-frequency) και έχει το χαρακτηριστικό ότι η μόνη παράμετρος που απαιτείται είναι η φυσική συχνότητα του κοπτικού εργαλείου που λαμβάνεται μέσα από την ιδιομορφική ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Ο Afazov και οι συνεργάτες του έκαναν πειράματα διάτρησης σε ακροφύσια από υαλώδη κεραμικά Macor και τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι μηχανισμοί κοπής των Macor επιτυγχάνονται με την έναρξη και τη διάδοση των μικρο-ρογμών Σχήμα 3.11 [11].



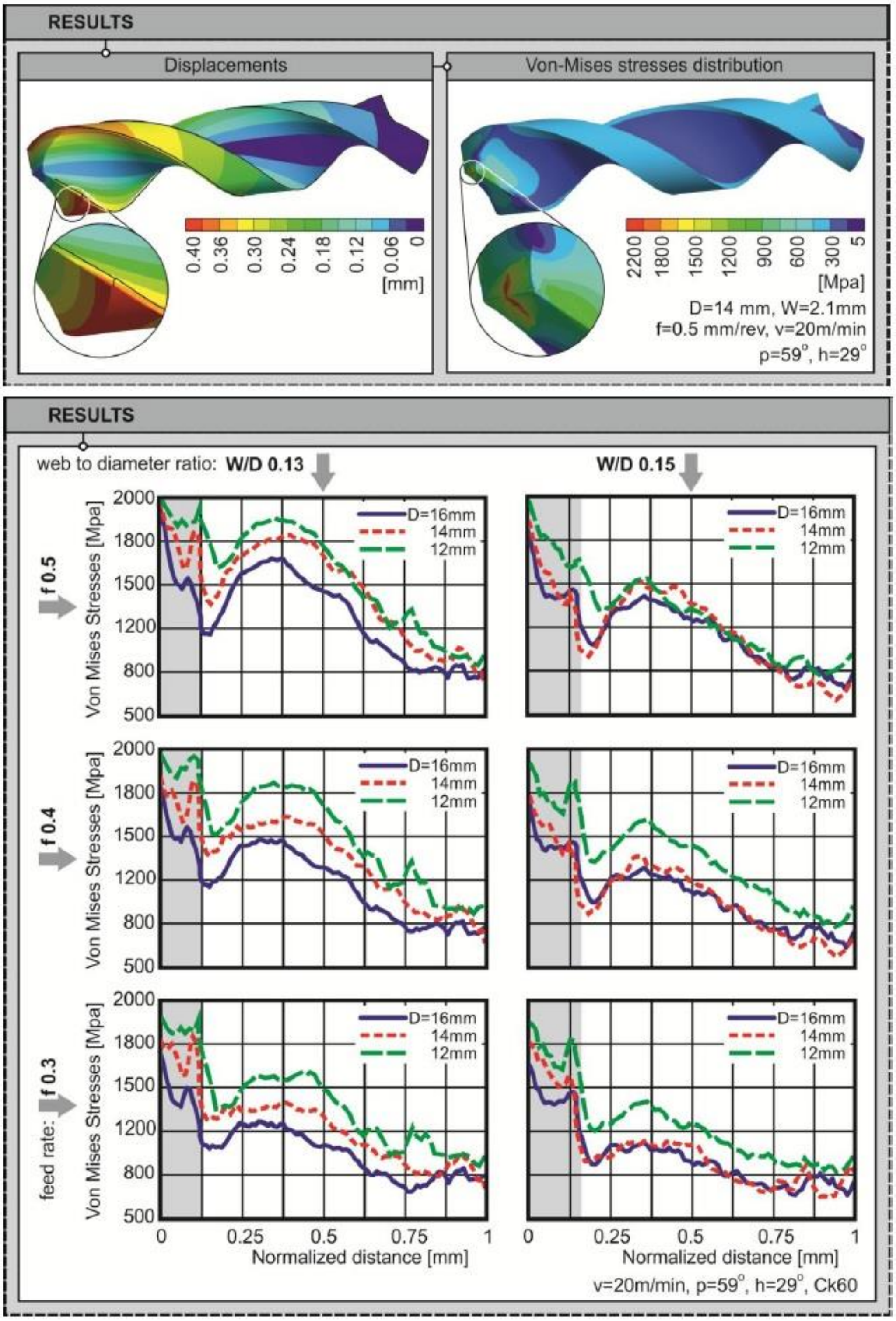
Σχήμα 3.11. Αποτελέσματα της έρευνας του Afazov

Ο R. Madoliat και οι συνεργάτες του πρότειναν ένα αναλυτικό μοντέλο για την απόσβεση των ταλαντώσεων σε ένα κοπτικό εργαλείο φρέζας. Στόχος ήταν να ενισχυθεί η απόσβεση και να αυξηθεί το όριο σταθερότητας όσο αυτό ήταν δυνατό. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων αλλά και πειραματικά ανέλυσαν το εργαλείο και βρήκαν την απόκριση της συχνότητας. Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν σημαντική βελτίωση στο βάθος κοπής Σχήμα 3.12 [12].



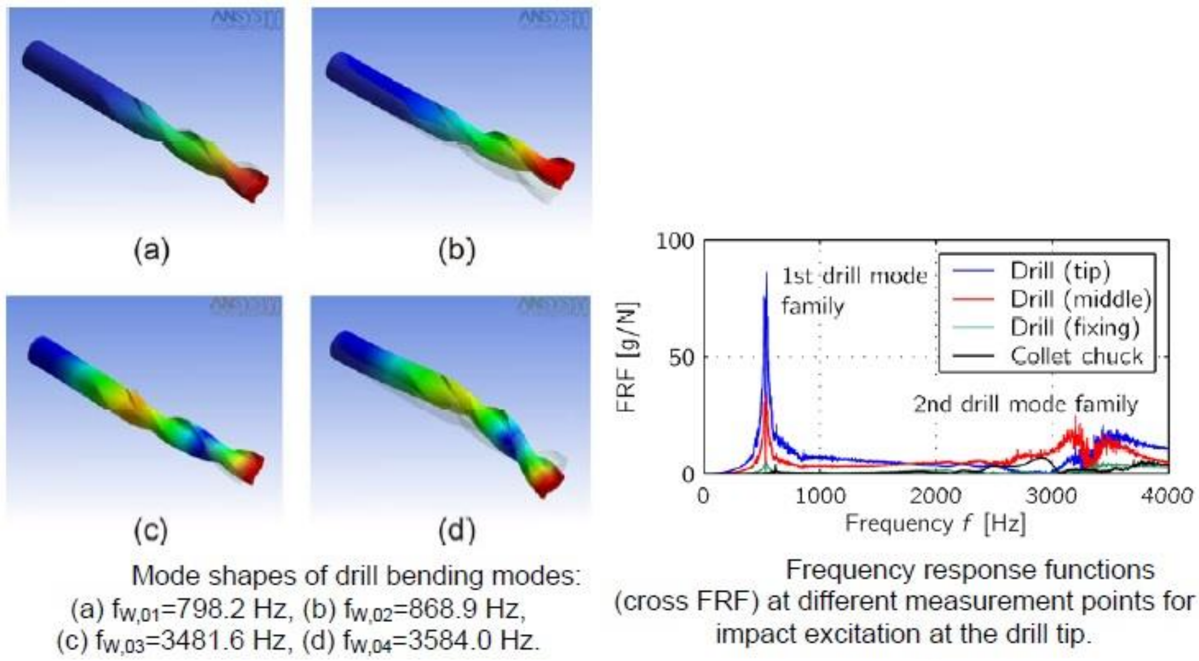
Σχήμα 3.12. Αποτελέσματα της έρευνας του Madoliat

Ο Ταξιάρχης Μπελής και οι συνεργάτες του ανέλυσαν τις τάσεις σε κοπτικό εργαλείο διάτρησης που δημιουργούνται κατά τη διάρκεια της κοπής. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων και με το πρόγραμμα ANSYS υπολόγισαν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις τάσεις με μη ομοιόμορφη κατανομή των δυνάμεων κατά μήκος όλων των ακμών κοπής. Τα αποτελέσματα της έρευνας εικονίζονται στο Σχήμα 3.13 [13].



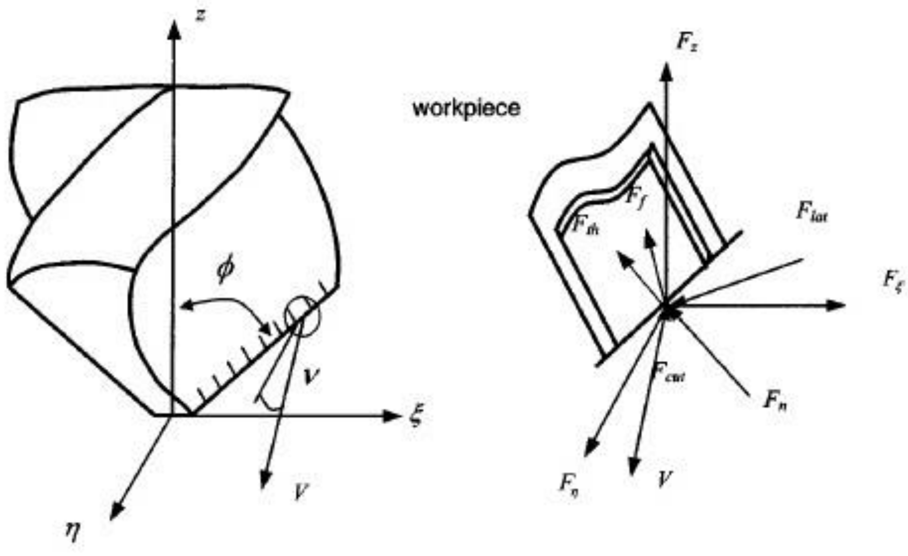
Σχήμα 3.13. Αποτελέσματα της έρευνας του Μπελή

Ο B. Denkena και οι συνεργάτες του μοντελοποίησαν και προσομοίωσαν την αλληλεπίδραση της κατεργασίας κατά τη διάρκεια της λείανσης των κοπτικών εργαλείων διάτρησης. Στην διαδικασία λείανσης των ελικοειδών αυλακώσεων του κοπτικού εργαλείου, η χαμηλή και έντονη μεταβαλλόμενη δυσκαμψία του τεμαχίου επηρεάζει τη στατική και δυναμική συμπεριφορά του συνολικού συστήματος. Ο Denkena και οι συνεργάτες του ανέλυσαν μικροσκοπικά και μακροσκοπικά το εργαλείο και τα αποτελέσματά τους εικονίζονται στο Σχήμα 3.14 [14].



Σχήμα 3.14. Αποτελέσματα της έρευνας του Denkena

Ο Yongping Gong και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα δυναμικό μοντέλο με σκοπό τη μελέτη των φαινομένων που εμφανίζονται κατά την έναρξη της διάτρησης και που επηρεάζουν τις ανοχές της οπής και το σχήμα της. Το μοντέλο περιλαμβάνει τα αποτελέσματα των σφαλμάτων κατά τη διάρκεια του τροχίσματος του κοπτικού εργαλείου και τις παραμορφώσεις του και υπολογίζει τη δυναμική τιμή του πάχους του αποβλίττου με αποτέλεσμα τον δυναμικό υπολογισμό των δυνάμεων κοπής Σχήμα 3.15 [15].

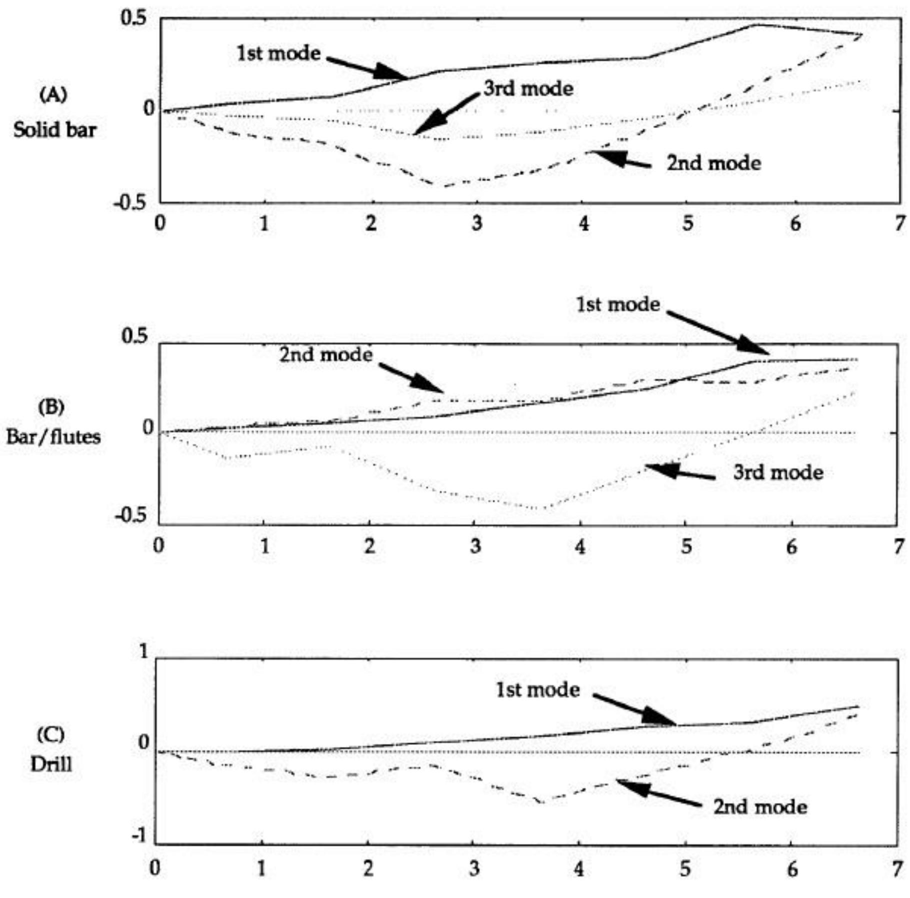


Σχήμα 3.15. Δυνάμεις που ενεργούν σε ένα στοιχείο στην κύρια κοπτική ακμή από τον Gong

Ο H-F. Hsieh διερεύνησε την κύρια δύναμη κοπής και τη ροπή που παράγεται κατά τη διάρκεια της διάτρησης. Ανέπτυξε δύο μαθηματικά μοντέλα για την κύρια δύναμη και τη ροπή προς τις παραμέτρους της κατεργασίας και τη γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου και έκανε πειράματα δυναμικής ανάλυσης χρησιμοποιώντας ένα πρωτότυπο σύστημα ανίχνευσης της κύριας δύναμης και της ροπής, το οποίο και προτείνεται. Τα αποτελέσματα της έρευνας του Hsieh εικονίζονται στο Σχήμα 3.16 [16].

Natural frequencies \ Cases	(A) Solid bar	(B) Bar/flutes	(C) Drill
First mode ω1	357.2 Hz	283.0 Hz	333.1 Hz
Second mode ω2	2222.1 Hz	415.8 Hz	1688.0 Hz
Third mode ω3	2549.1 Hz	1629.5 Hz	not available

Damping ratios \ Cases	(A) Solid bar	(B) Bar/flutes	(C) Drill
First mode η1	0.05	0.03	0.03
Second mode η2	0.03	0.06	0.03
Third mode η3	0.01	0.02	not available



Σχήμα 3.16. Αποτελέσματα της έρευνας του Hsieh

4. ΙΔΙΟΜΟΡΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

4.1 Ορισμός

Ιδιομορφική ανάλυση είναι η μελέτη των ιδιοτήτων των κατασκευών. Οι ιδιότητες που εξετάζονται περιλαμβάνουν την ιδιοσυχνότητα (frequency), τον λόγο απόσβεσης (damping ratio) και τις ιδιομορφές (mode shapes). Οι ιδιομορφές είναι οι χαρακτηριστικές μορφές που λαμβάνουν τα σώματα ανάλογα σε ποια συχνότητα διεγείρονται. Η ιδιομορφική ανάλυση περιλαμβάνει τη διαδικασία καθορισμού των ιδιομορφικών παραμέτρων (modal parameters) μιας δομής για να κατασκευαστεί ένα ιδιομορφικό μοντέλο της απόκρισης. Αυτή η ανάλυση είναι γραμμική. Υπάρχουν δύο τεχνολογίες της ανάλυσης, η θεωρητική και η πειραματική ιδιομορφική ανάλυση.

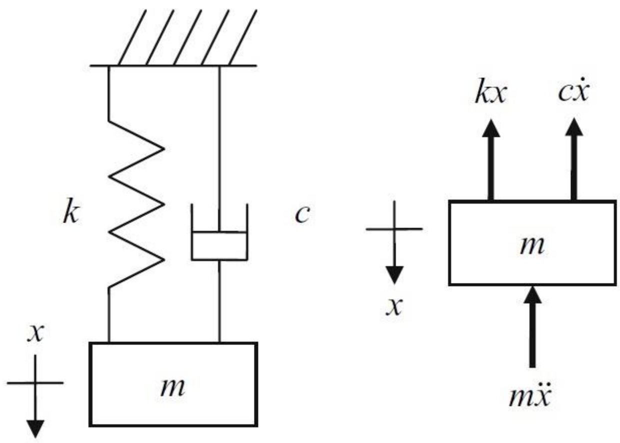
Η θεωρητική ιδιομορφική ανάλυση πραγματοποιείται μέσω αλγορίθμου. Στην παρούσα εργασία, η θεωρητική ιδιομορφική ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια του λογισμικού προσομοίωσης ANSYS. Με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων, το μοντέλο αναλύεται σε πολλά μικρότερα στοιχεία και κόμβους. Όσο πιο πολλά, τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια θα έχουν οι μετρήσεις. Οι βασικές αριθμητικές μέθοδοι του ANSYS είναι η Block Lanczos, η PCG Lanczos, η Supernode, η Reduced, η Unsymmetric, η Damped και η QR Damped. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε στην εργασία για την ανάλυση είναι η Block Lanczos.

Η πειραματική ιδιομορφική ανάλυση πραγματοποιείται μέσω ενός κρουστικού σφυριού και ενός επιταχυνσιομέτρου. Αρχικά, το επιταχυνσιόμετρο είναι προσκολλημένο πάνω στο αντικείμενο που μελετείται και στη συνέχεια με το κρουστικό σφυρί προκαλείται διέγερση σε διάφορα συγκεκριμένα σημεία. Έτσι, το επιταχυνσιόμετρο δέχεται τους κραδασμούς και εξάγει την απόκριση.

Αυτές οι τεχνολογίες έχουν πολύ ξεχωριστές μηχανικές δραστηριότητες και επιλύουν τα προβλήματα θορύβου και κραδασμών. Η ιδιομορφική ανάλυση είναι πολύ σημαντική και χρήσιμη για τις κατασκευές και στην προκειμένη περίπτωση για τα κοπτικά εργαλεία. Κύριος στόχος της ανάλυσης είναι η γνώση της δυναμικής απόκρισης του κοπτικού εργαλείου και της φυσικής συχνότητας ή συχνότητας συντονισμού για τις ιδιομορφές.

4.2 Μαθηματικό υπόβαθρο

Αφού αναπτύχθηκε η έννοια της ιδιομορφικής ανάλυσης, χρήσιμο θα ήταν να δειχθεί υπό την σκοπιά της θεωρίας των ταλαντώσεων [17].



Σχήμα 4.1. Μονοβάθμιο δυναμικό σύστημα

Ένα μοναβάθμιο δυναμικό σύστημα με μη μηδενική απόσβεση μοντελοποιείται με τον συνδυασμό μάζας (m), ελατηρίου (k) και απόσβεσης (c) Σχήμα 4.1. Η δυναμική του συστήματος περιγράφεται από τη διαφορική εξίσωση: $\mathrm{m}\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{dt}^2}+c\frac{dx}{dt}+kx=f(t)$ όπου

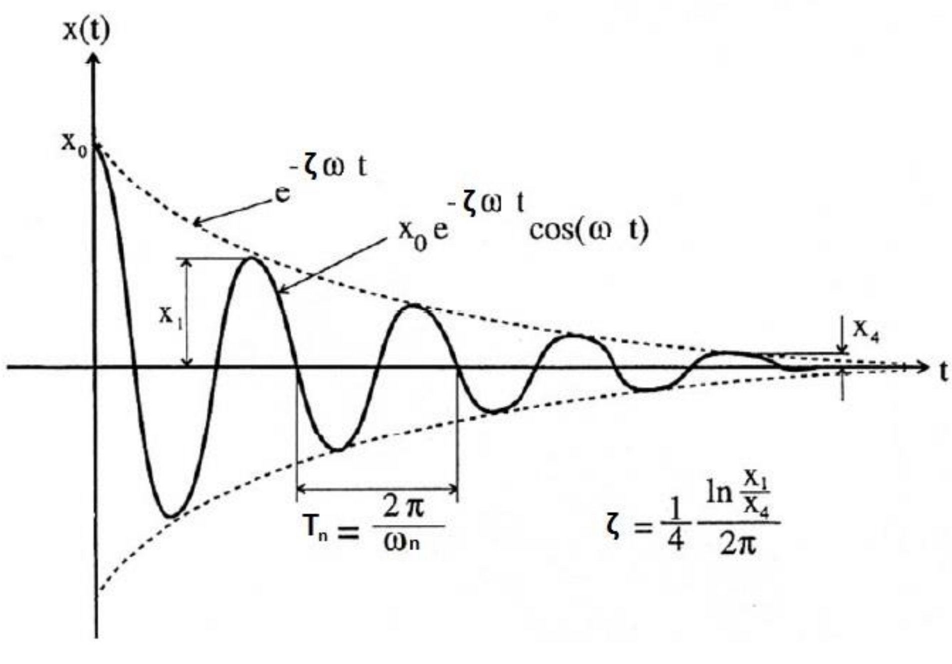
- $F_m=m\frac{d^2x}{\mathrm{dt}^2}$ οι δυνάμεις αδράνειας,
- $F_c=c\frac{dx}{dt}$ οι δυνάμεις απόσβεσης και
- $F_k=kx$ οι ελαστικές δυνάμεις.

Αν η διαφορική εξίσωση διαιρεθεί με τη μάζα και στα δύο μέλη προκύπτει

$\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{dt}^2}+2\zeta\omega\frac{dx}{dt}+\omega^2x=\frac{f(t)}{m}$ όπου $2\zeta\omega=\frac{c}{m}$ και $\omega^2=\frac{k}{m}$.

Το ζ που αναφέρθηκε παραπάνω είναι ο συντελεστής απόσβεσης και το ω η φυσική συχνότητα του συστήματος.

Κατά την ελεύθερη κίνηση δεν υπάρχουν εξωτερικές δυνάμεις οπότε η διαφορική εξίσωση γίνεται: $\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{dt}^2}+2\zeta\omega\frac{dx}{dt}+\omega^2x=0$. Οι λύσεις της ομογενούς εξίσωσης είναι της μορφής: $x(t)=e^{st}$. Λύνοντας τη διαφορική εξίσωση προκύπτουν οι ρίζες $s_{1,2}=\left(-\zeta\pm\sqrt{\zeta^2-1}\right)\omega$. Επειδή στην προκειμένη περίπτωση $\zeta<0$, η φυσική συχνότητα της απόσβεσης γίνεται: $\omega_n=\sqrt{1-\zeta^2}\omega$. Η κίνηση της ελεύθερης ταλάντωσης περιγράφεται από την σχέση $\mathrm{x(t)}=x_0e^{-\zeta\omega t}\cos(\omega_n t)$ υπό την προϋπόθεση ότι δεν ασκούνται άλλες εξωτερικές δυνάμεις και ότι η θέση ισορροπίας του συστήματος καθορίζεται από το x_0.



Σχήμα 4.2. Ελεύθερη ταλάντωση μονοβάθμιου δυναμικού συστήματος

$T_n = \frac{2\pi}{\omega_n}$ είναι η περίοδος ανάμεσα στα κύματα της ταλάντωσης και $\zeta = \frac{1}{n}\frac{ln\frac{x_1}{x_n}}{2\pi}$ είναι ο συντελεστής απόσβεσης όπου καθορίζεται από το λόγο μείωσης των μεγίστων πλατών του πρώτου και του ν-οστου πλάτους Σχήμα 4.2.

Στην περίπτωση που ασκείται μία εξωτερική f(t), τότε το σύστημα εκτελεί εξαναγκασμένη ταλάντωση. Υποθέτοντας ότι οι εξωτερικές δυνάμεις που ασκούνται στο σύστημα είναι αρμονικές, δηλαδή εκφέρονται από συναρτήσεις ημιτόνου, συνημιτόνου ή και συνδυασμό τους, μπορεί να δειχθεί η απόκριση του μονοβάθμιου δυναμικού συστήματος που διεγείρεται αρμονικά με τη διαφορική εξίσωση: $\frac{d^2x}{dt^2} + 2\zeta\omega\frac{dx}{dt} + \omega^2 x = f(t) = \frac{F_c cos\Omega t + F_s sin\Omega t}{m}$

Η περιοδική διέγερση μπορεί να γραφεί επίσης στη μορφή μίας αρμονικής συνάρτησης με εύρος F και διαφορά φάσης α.

$$f(t) = Fcos(\Omega t + \alpha) = (Fcos\alpha)cos\Omega t + (-Fsin\alpha)sin\Omega t$$

όπου $F_c = Fcos\alpha$ και $F_s = -Fsin\alpha$

οπότε $F = \sqrt{{F_c}^2 + {F_s}^2}$ και $tan\alpha = \frac{-F_s}{F_c}$

Στην περίπτωση που ζ<1 η παραπάνω εξίσωση έχει την εξής ομογενή (x_h) και μερική (x_p) λύση:

$$x_h(t) = e^{-\zeta\omega t}(A_1 cos\omega_n t + A_2 sin\omega_n t)$$

$$x_p(t) = P_c cos\Omega t + P_s sin\Omega t$$

Η συνάρτηση $x_h(t)$, αντιστοιχεί σε μια αποσβενόμενη ταλάντωση. Αυτό σημαίνει ότι μετά από ένα χρονικό διάστημα T_h θα είναι $x_h(t) => 0$ και συνεπώς θα παραμείνει μόνο η μόνιμη απόκριση του συστήματος $x_p(t)$. Οι συντελεστές της μόνιμης απόκρισης P_c και P_s υπολογίζονται από την ικανοποίηση της διαφορικής εξίσωσης, οπότε προκύπτει:

$$-\Omega^2(P_c cos\Omega t + P_s sin\Omega t) + 2\zeta\omega\Omega(-P_c sin\Omega t + P_s cos\Omega t) + \omega^2(P_c cos\Omega t + P_s sin\Omega t) = \frac{1}{m}(F_c cos\Omega t + F_s sin\Omega t)$$

Από τη σύγκριση των όρων με κοινό παράγοντα το ημίτονο και το συνημίτονο, γίνεται:

$$(\omega^2 - \Omega^2)P_c + 2\zeta\omega\Omega P_s = \frac{1}{m}F_c$$

$$-2\zeta\omega\Omega P_c + (\omega^2 - \Omega^2)P_s = \frac{1}{m}F_s$$

και μετά με διαίρεση των εξισώσεων με ω^2 και με την εισαγωγή των συναρτήσεων κ(Ω) και λ(Ω): $\kappa(\Omega) = 1 - (\frac{\Omega}{\omega})^2 \quad \lambda(\Omega) = 2\zeta(\frac{\Omega}{\omega})$

τα μεγέθη P_c και P_s προκύπτουν ίσα με:

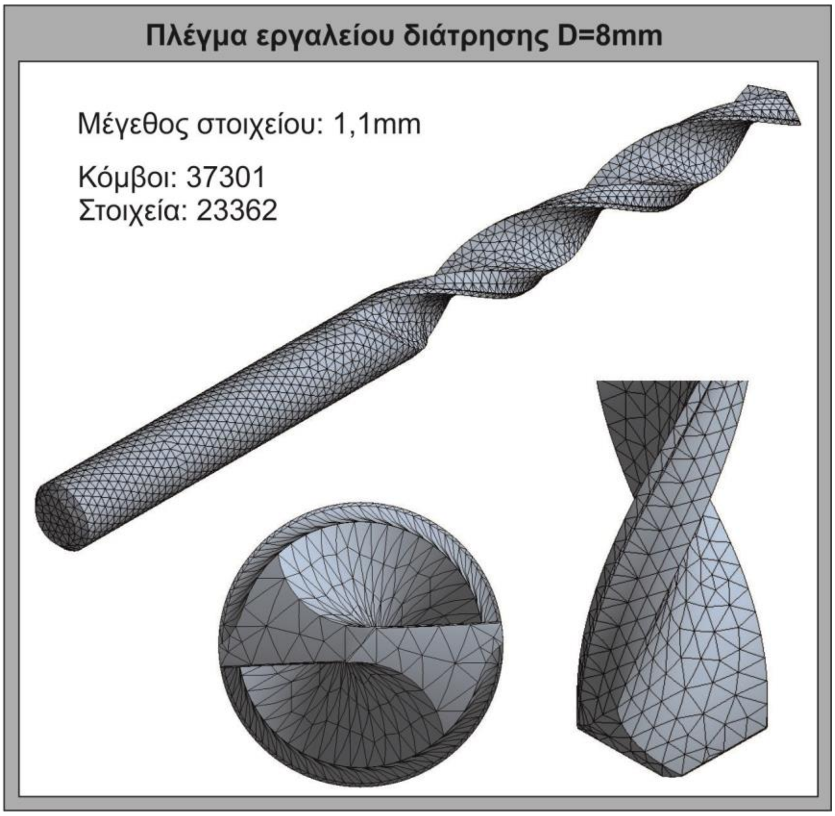
$$P_c = \frac{1}{k}\frac{F_c\kappa(\Omega) - F_s\lambda(\Omega)}{\kappa(\Omega)^2 + \lambda(\Omega)^2}$$

$$P_s = \frac{1}{k}\frac{F_c\lambda(\Omega) - F_s\kappa(\Omega)}{\kappa(\Omega)^2 + \lambda(\Omega)^2}$$

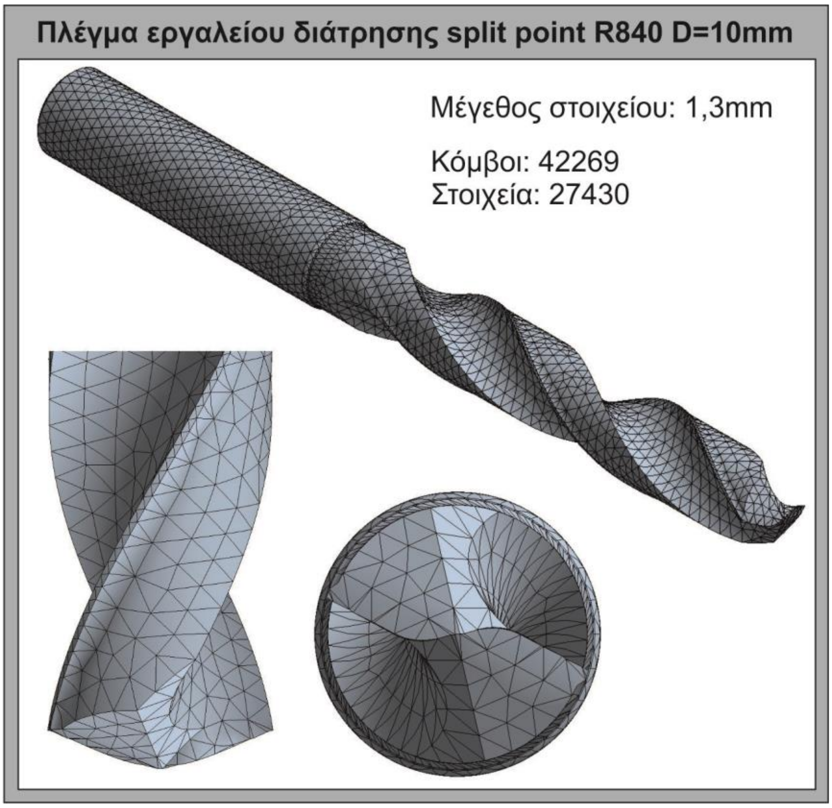
4.3 Δημιουργία του μοντέλου

Με τη βοήθεια του λογισμικού ANSYS, πραγματοποιήθηκε ιδιομορφική ανάλυση για τα κοπτικά εργαλεία διάτρησης από HSS των 8 mm, των 10 mm, των 12 mm και των 14 mm αλλά και για το κοπτικό R840 από καρβίδιο.

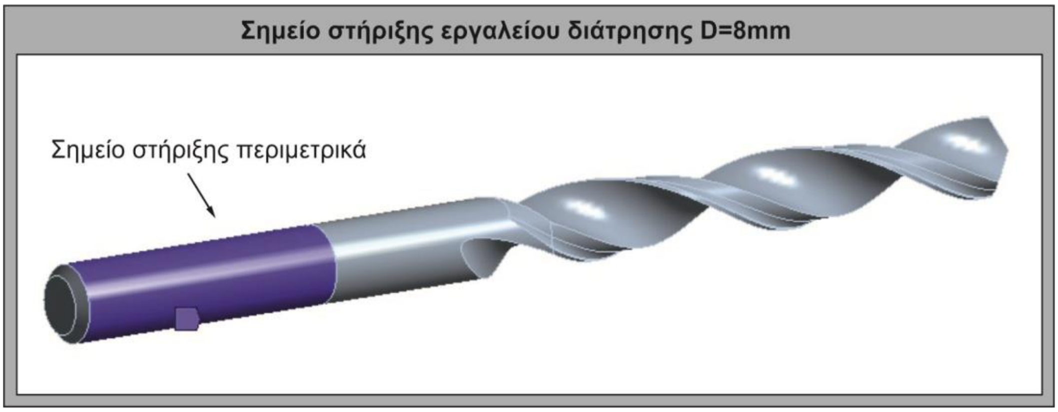
Αρχικά, μέσα από το πρόγραμμα επιλέγεται η ιδιομορφική ανάλυση. Έπειτα, μέσα στην επιλογή Engineering data προστίθενται τα χαρακτηριστικά των υλικών του HSS και του καρβιδίου. Στη συνέχεια, στην επιλογή Geometry εγκαθίστανται οι γεωμετρίες των 5 κοπτικών εργαλείων από αρχείο CAD. Ύστερα, μέσα από την επιλογή Model, αυξάνεται το πλέγμα (mesh) Σχήμα 4.3 και Σχήμα 4.4 ώστε να υπάρχει ακρίβεια στις μετρήσεις, επιλέγεται ένα σημείο στήριξης (fixed support) Σχήμα 4.5 όπου είναι το σημείο το οποίο κρατιέται το εργαλείο σταθερό και στην επιλογή λύση (solution) υπολογίζεται η ολική παραμόρφωση (total deformation) για όσες ιδιομορφές αναλυθούν. Μέσα από την ολική παραμόρφωση μπορεί να παρατηρηθεί η ολική μετατόπιση του εργαλείου και η φυσική συχνότητα σε κάθε ιδιομορφή. Κατά τη διάρκεια όλης της ανάλυσης υπάρχει η δυνατότητα παρατήρησης του κοπτικού εργαλείου στις 3 διαστάσεις, διακρίνοντας έτσι την κάθε λεπτομέρεια. Τέλος, μέσα στην επιλογή πληροφορίες της λύσης (solution information) υπολογίζονται οι παράγοντες συμμετοχής του εργαλείου σε κάθε διάσταση για κάθε μία ιδιοτιμή.



Σχήμα 4.3. Πλέγμα εργαλείου διάτρησης D=8mm



Σχήμα 4.4. Πλέγμα εργαλείου διάτρησης split point R840



Σχήμα 4.5. Σημείο στήριξης

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ανάλυσης για τα 5 κοπτικά εργαλεία και για τις 14 ιδιομορφές που αναλύθηκαν, με την ιδιοσυχνότητα και τον παράγοντα συμμετοχής σε κάθε άξονα, καθώς και φωτογραφίες των κοπτικών εργαλείων, όπου η μετατόπιση αυξάνεται από βαθύ μπλε χρώμα έως κόκκινο. Κάθε ιδιοσυχνότητα διεγείρει διαφορετικό ποσό μάζας σε κάθε κατεύθυνση. Ο παράγοντας συμμετοχής μετράει για κάθε ιδιοσυχνότητα το ποσό της μάζας που κινείται σε κάθε κατεύθυνση και για κάθε κόμβο.

4.4 Αποτελέσματα

Στο Σχήμα 4.6 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για το κοπτικό εργαλείο από HSS με D=8mm. Η $1^{η}$, η $2^{η}$, η $3^{η}$ και η $4^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 595,738Hz, στα 717,393Hz, στα 3464,5Hz και στα 3905,41Hz αντίστοιχα. Η

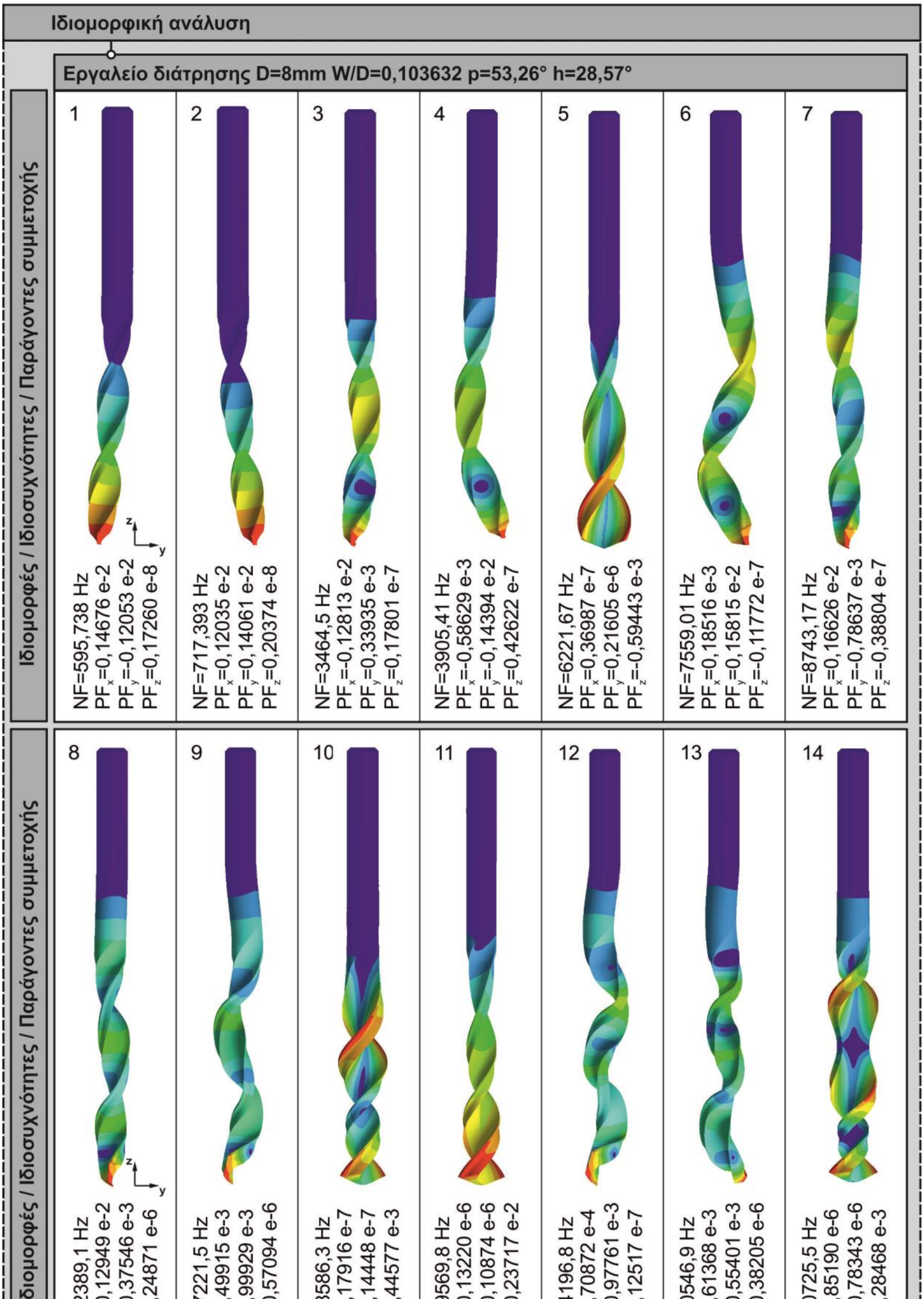
$5^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 6221,67Hz. Η $6^{η}$, η $7^{η}$, η $8^{η}$ και η $9^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες επίσης λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 7559,01Hz, στα 8743,17Hz, στα 12389,1Hz και στα 17221,5Hz αντίστοιχα. Η $10^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 18586,3Hz. Η $11^{η}$ ιδιομορφή είναι αξονική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στον άξονα z σε σχέση με τους άξονες x και y και έχει συχνότητα στα 19569,8Hz. Η $12^{η}$ και η $13^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 24196,8Hz και στα 30546,9Hz αντίστοιχα. Η $14^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 30725,5Hz.

Στο Σχήμα 4.7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για το κοπτικό εργαλείο από HSS με D=10mm. Η $1^{η}$, η $2^{η}$, η $3^{η}$ και η $4^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 467,887Hz, στα 561,232Hz, στα 2815,62Hz και στα 3273Hz αντίστοιχα. Η $5^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 5058,16Hz. Η $6^{η}$, η $7^{η}$ και η $8^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες επίσης λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 6863,93Hz, στα 8773,79Hz και στα 12588,2Hz αντίστοιχα. Η $9^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 15143,7Hz. Η $10^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχει συχνότητα στα 15951,9Hz. Η $11^{η}$ ιδιομορφή είναι αξονική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στον άξονα z σε σχέση με τους άξονες x και y και έχει συχνότητα στα 16157,8Hz. Η $12^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχει συχνότητα στα 21326,6Hz. Η $13^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 25300,7Hz. Η $14^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχει συχνότητα στα 27090,8Hz.

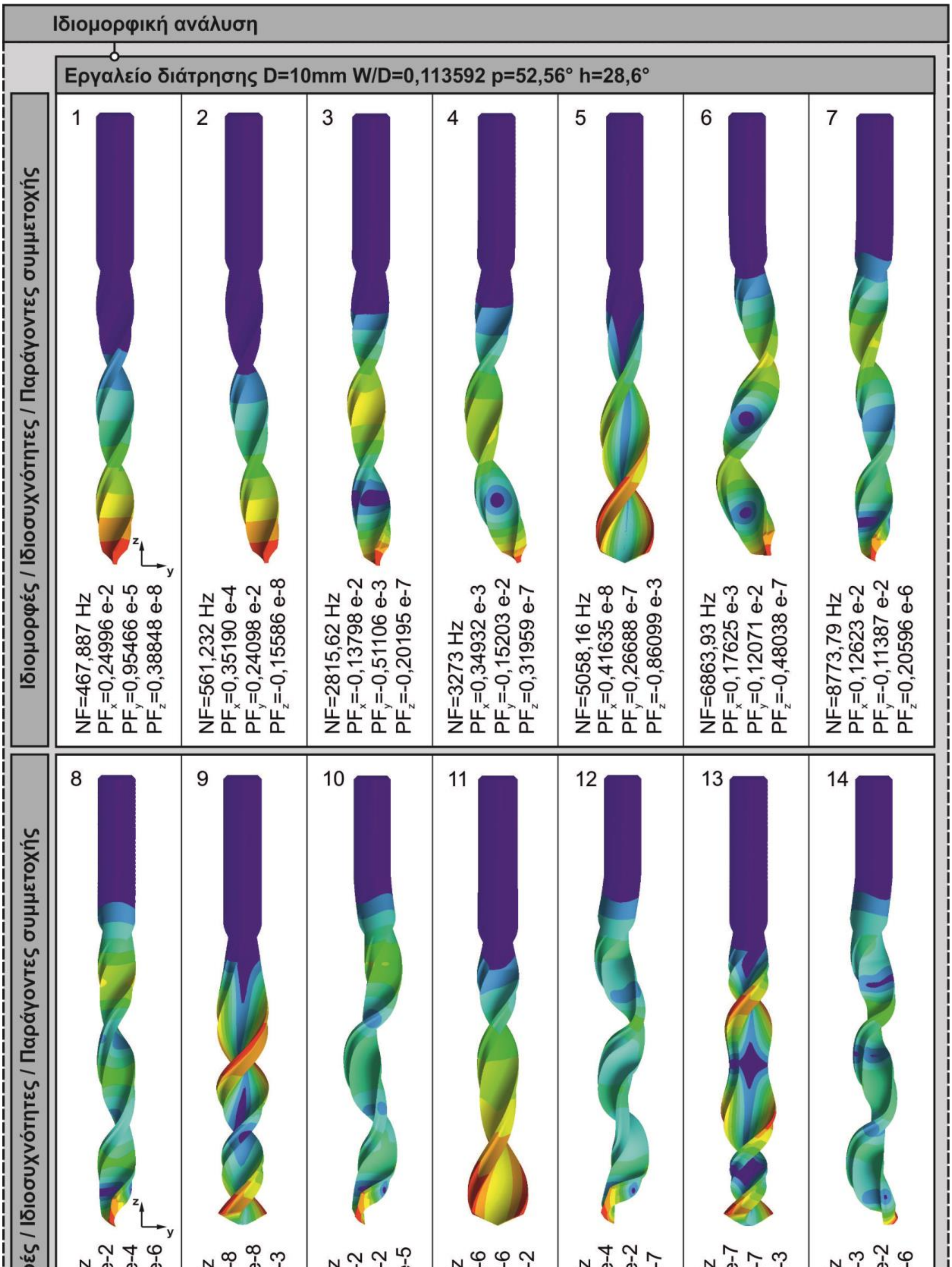
Στο Σχήμα 4.8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για το κοπτικό εργαλείο από HSS με D=12mm. Η $1^{η}$, η $2^{η}$, η $3^{η}$ και η $4^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 334,692Hz, στα 412,15Hz, στα 2052,58Hz και στα 2491,57Hz αντίστοιχα. Η $5^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 3720,11Hz. Η $6^{η}$, η $7^{η}$ και η $8^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες επίσης λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 5318,17Hz, στα 7465,33Hz και στα 11167,9Hz αντίστοιχα. Η $9^{η}$ και η $10^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτικές λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχουν συχνότητες στα 11186,9Hz και στα 12726Hz αντίστοιχα. Η $11^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχει συχνότητα στα 14826,6Hz. Η $12^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 18758,1Hz. Η $13^{η}$ και η $14^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 19526,1Hz και στα 23659,8Hz αντίστοιχα.

Στο Σχήμα 4.9 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για το κοπτικό εργαλείο από HSS με D=14mm. Η $1^{η}$, η $2^{η}$, η $3^{η}$ και η $4^{η}$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 391,97Hz, στα 484,69Hz, στα 2328,38Hz και στα 2833Hz αντίστοιχα. Η $5^{η}$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 3794,42Hz. Η $6^η$, η $7^η$ και η $8^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες επίσης λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 5842,61Hz, στα 7649,34Hz και στα 10948,4Hz αντίστοιχα. Η $9^η$ και η $10^η$ ιδιομορφή είναι στρεπτικές λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχουν συχνότητες στα 11381,7Hz και στα 12164,7Hz αντίστοιχα. Η $11^η$ και η $12^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχουν συχνότητες στα 14192,8Hz και στα 19037,2Hz αντίστοιχα. Η $13^η$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα z και έχει συχνότητα στα 19071,6Hz. Η $14^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες x και y σε σχέση με τον άξονα z και έχει συχνότητα στα 22161Hz.

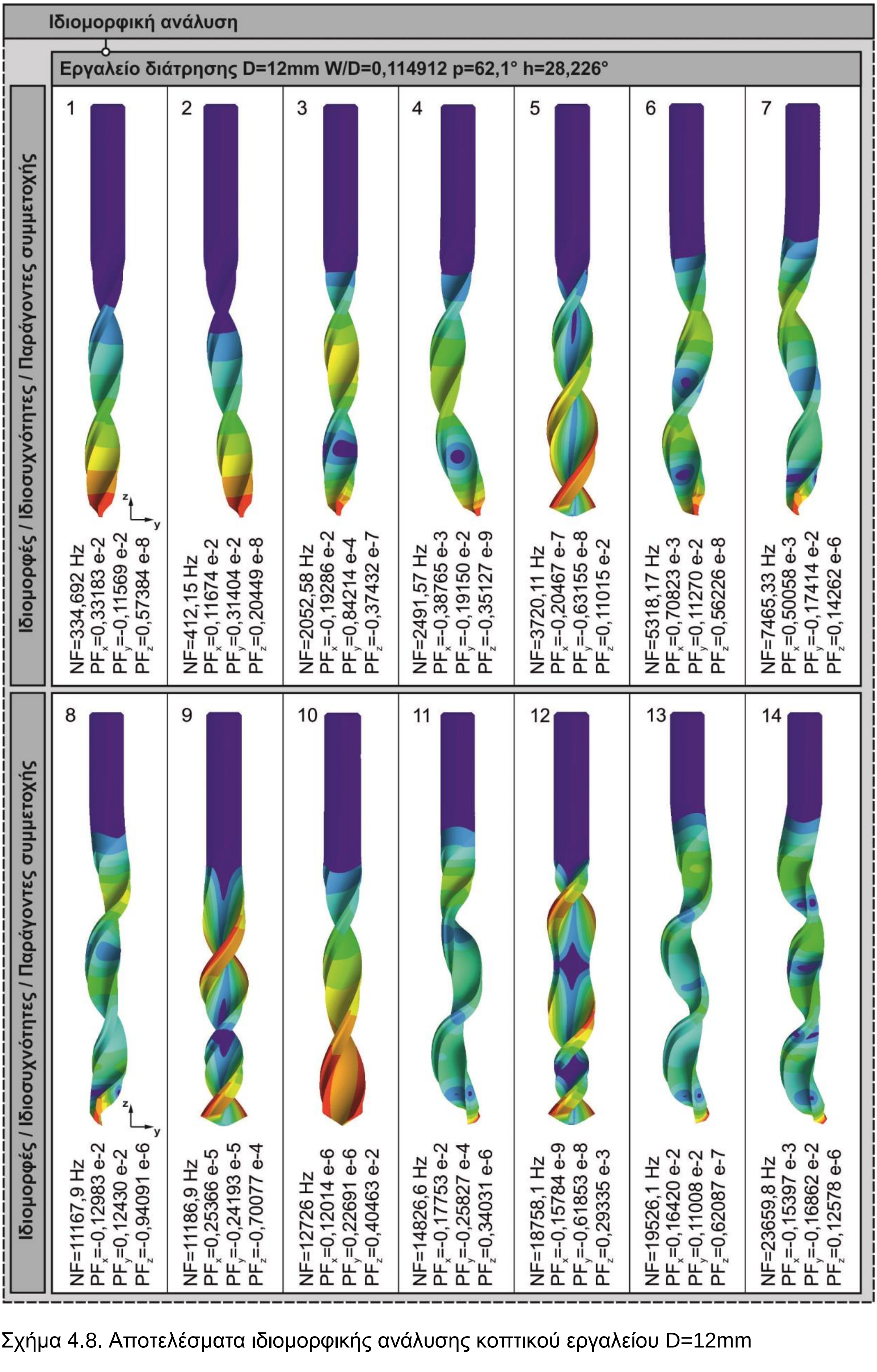
Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της ιδιομορφικής ανάλυσης για το κοπτικό εργαλείο από καρβίδιο με D=10mm. Οι άξονες είναι διαφορετικοί σε αυτό το κοπτικό εργαλείο, οπότε στην προκειμένη περίπτωση ο άξονας x βρίσκεται κατά μήκος του άξονα του κοπτικού εργαλείου. Η $1^η$, η $2^η$, η $3^η$ και η $4^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες y και z σε σχέση με τον άξονα x και έχουν συχνότητες στα 1305,9Hz, στα 1561,29Hz, στα 7196,08Hz και στα 7739,28Hz αντίστοιχα. Η $5^η$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα x και έχει συχνότητα στα 10880,6Hz. Η $6^η$ και η $7^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες επίσης λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες y και z σε σχέση με τον άξονα x και έχουν συχνότητες στα 15608,5Hz και στα 19438,9Hz αντίστοιχα. Η $8^η$ ιδιομορφή είναι αξονική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στον άξονα x σε σχέση με τους άξονες y και z και έχει συχνότητα στα 23131,4Hz. Η $9^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες y και z σε σχέση με τον άξονα x και έχει συχνότητα στα 30720,6Hz. Η $10^η$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα x και έχει συχνότητα στα 32340,4Hz. Η $11^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσια λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες y και z σε σχέση με τον άξονα x και έχει συχνότητα στα 36990Hz. Η $12^η$ ιδιομορφή είναι στρεπτική λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στην περιστροφή του άξονα x και έχει συχνότητα στα 50530,6Hz. Η $13^η$ και η $14^η$ ιδιομορφή είναι εγκάρσιες λόγω του αυξημένου παράγοντα συμμετοχής στους άξονες y και z σε σχέση με τον άξονα x και έχουν συχνότητες στα 50686,6Hz και στα 55402,8Hz αντίστοιχα.



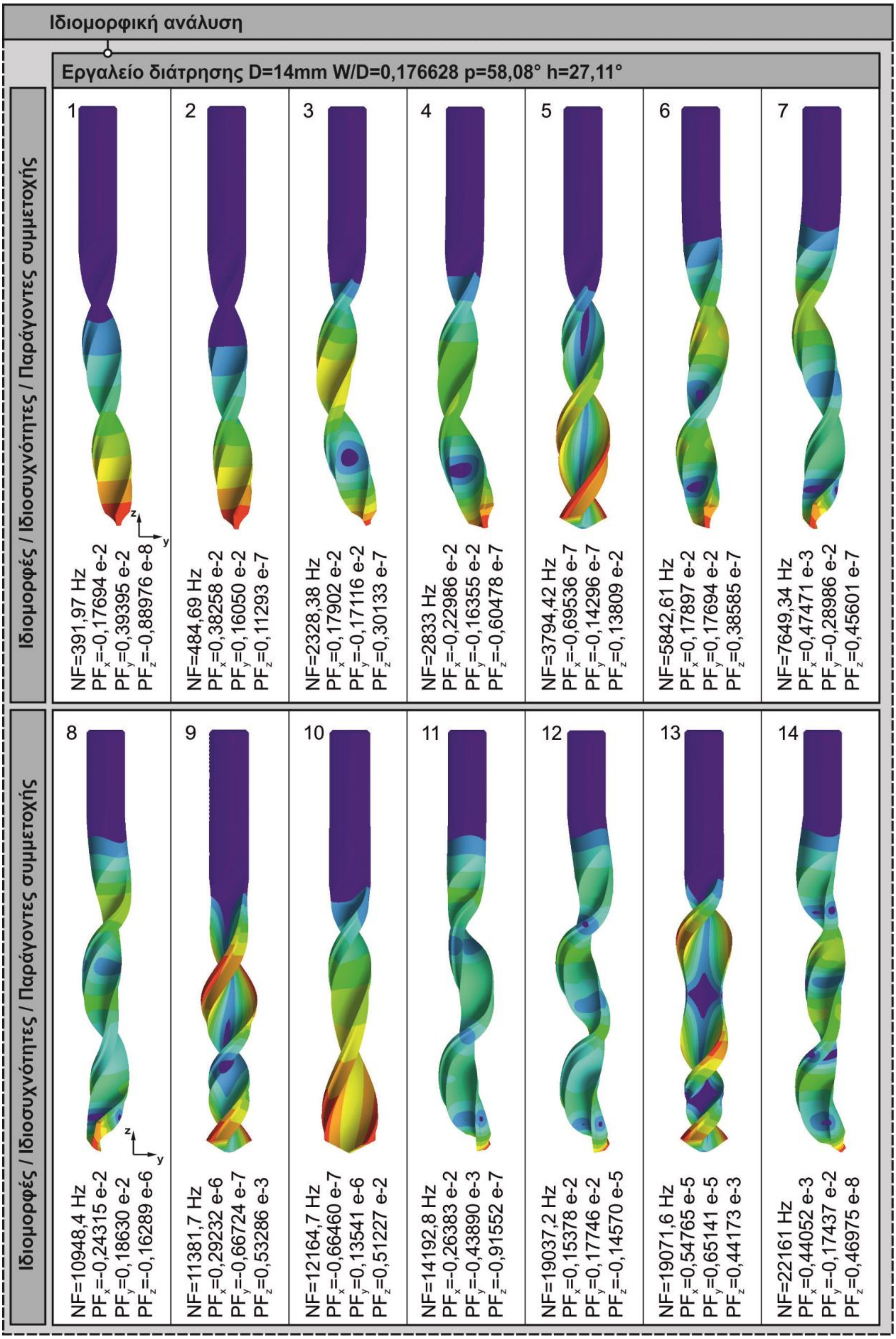
Σχήμα 4.6. Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κοπτικού εργαλείου D=8mm



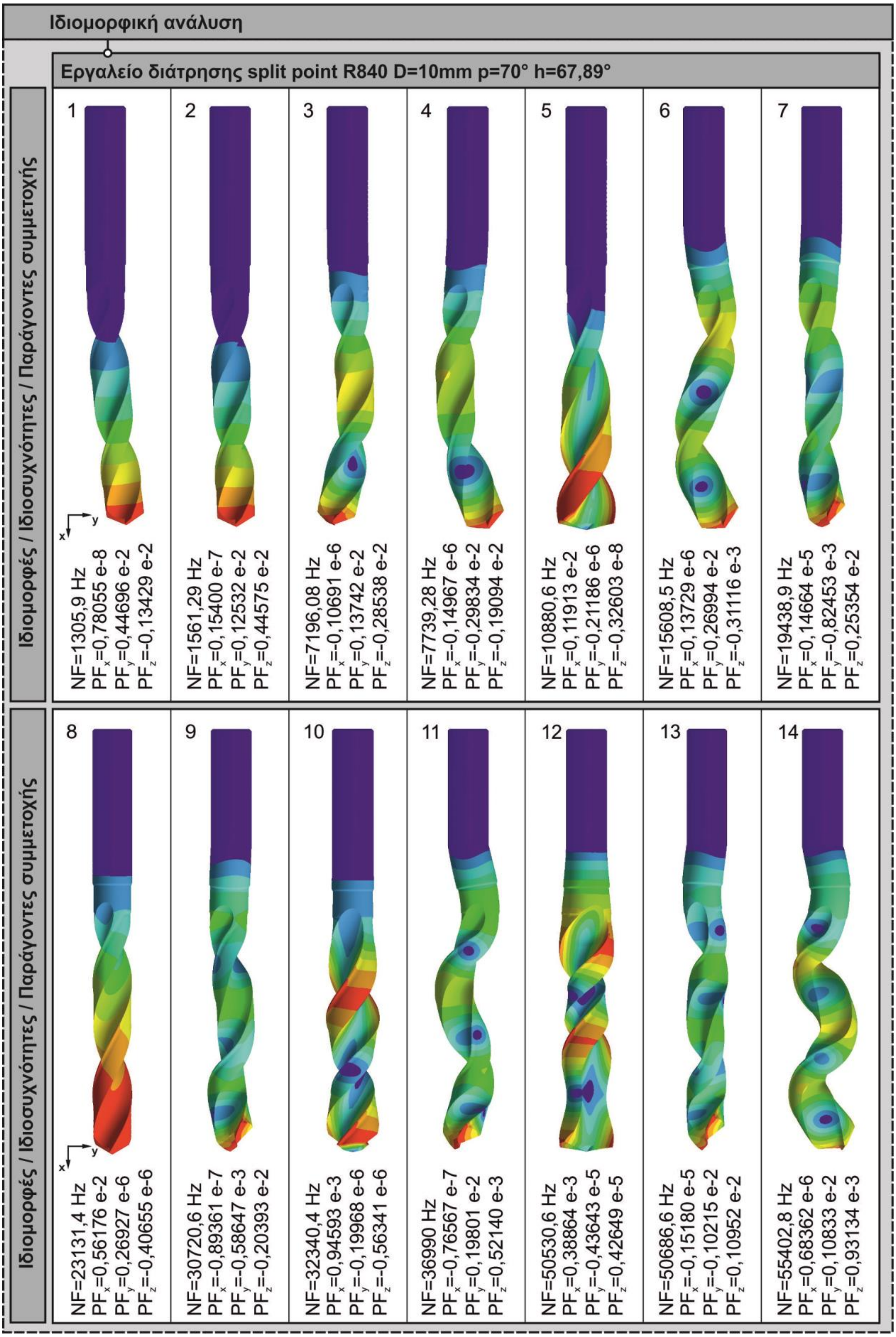
Σχήμα 4.7. Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κοπτικού εργαλείου D=10mm



Σχήμα 4.8. Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κοπτικού εργαλείου D=12mm



Σχήμα 4.9. Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κοπτικού εργαλείου D=14mm



Σχήμα 4.10. Αποτελέσματα ιδιομορφικής ανάλυσης κοπτικού εργαλείου R840

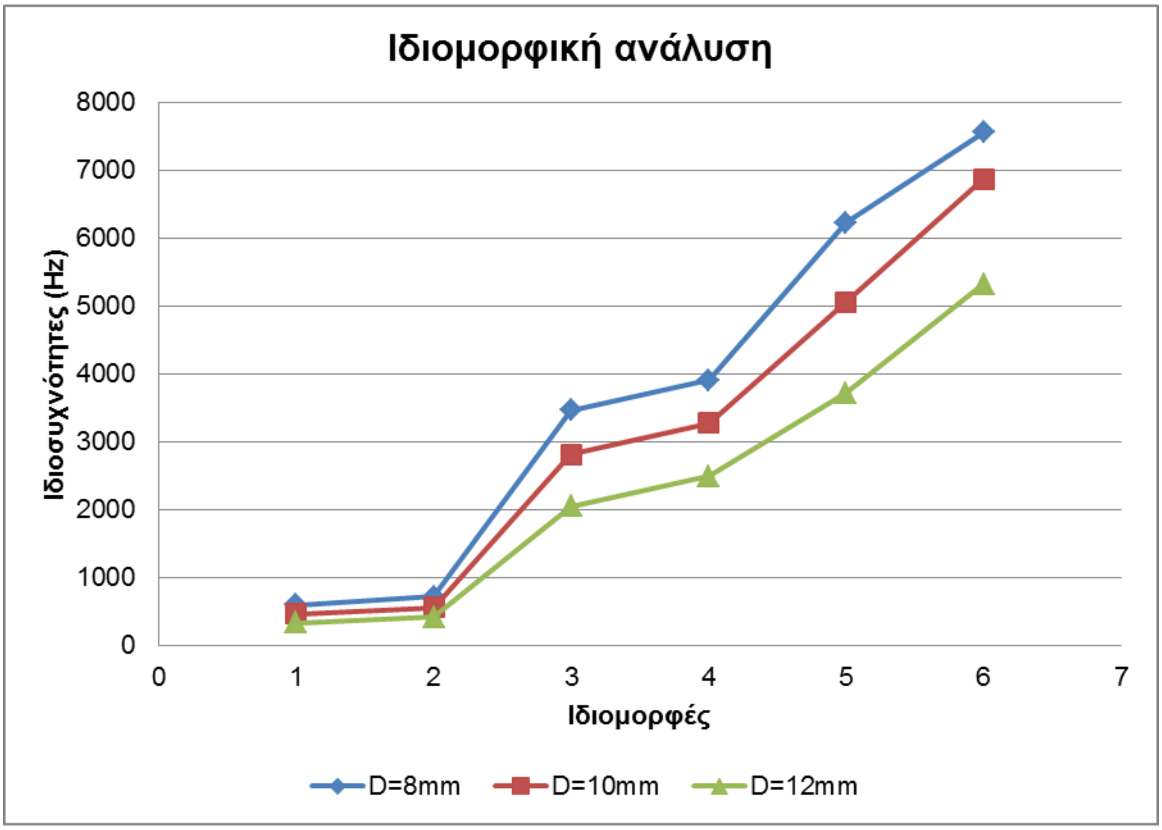
Στα παραπάνω αποτελέσματα παρατηρείται κυρίως η διαφορά που διαδραματίζει το υλικό στην ιδιοσυχνότητα. Όπως διακρίνεται το κοπτικό εργαλείο από καρβίδιο έχει ιδιαίτερα αυξημένη ιδιοσυχνότητα από τα άλλα κοινά κοπτικά εργαλεία από HSS. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το υλικό που χρησιμοποιείται έχει αυξημένες ιδιότητες οι οποίες το κάνουν πιο στιβαρό. Οι διαφορές μεταξύ των δύο υλικών παρουσιάζονται στο Σχήμα 4.11.

Ιδιότητες υλικών

Ιδιότητες \ Υλικά	HSS	Καρβίδιο
Πυκνότητα	8200 kg m^-3	14,95 g cm^-3
Μέτρο του Young	2,25 e+11 Pa	6,3 e+11 Pa
Λόγος Poisson	0,29	0,22
Αντοχή σε εφελκυσμό	2,2 e+9 Pa	3,8 e+9 Pa
Αντοχή σε θλίψη	2,2 e+9 Pa	3,8 e+9 Pa
Οριακή αντοχή σε εφελκυσμό	2,4 e+9 Pa	1100 MPa
Οριακή αντοχή σε θλίψη		6200 MPa

Σχήμα 4.11. Ιδιότητες υλικών HSS και καρβιδίου

Στα κοπτικά εργαλεία από HSS παρατηρείται η μείωση της ιδιοσυχνότητας σε όλες τις ιδιομορφές καθώς αυξάνεται η διάμετρος του τρυπανιού. Την εξαίρεση στον κανόνα πραγματοποιεί το κοπτικό εργαλείο των 14 mm για λόγους γεωμετρίας, επειδή έχει μικρότερο μήκος στελέγχους αναλογικά με τη διάμετρο του, καθώς είναι διαφορετικής εταιρείας από τα υπόλοιπα. Στο Σχήμα 4.12 φαίνεται η αντίστροφη αναλογία μεταξύ της ιδιοσυχνότητας και της διαμέτρου των κοπτικών εργαλείων των 8 mm, των 10 mm και των 12 mm στις πρώτες 6 ιδιομορφές.



Σχήμα 4.12. Σύγκριση ιδιοσυχνοτήτων για τα κοπτικά εργαλεία των 8 mm, των 10 mm και των 12 mm

Ο V. Ostasevicius και οι συνεργάτες του πραγματοποίησαν αντίστοιχα ιδιομορφική ανάλυση σε κοπτικό εργαλείο διάτρησης HSS με διάμετρο 10 mm [3]. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των ιδιοσυχνοτήτων της έρευνας του Ostasevicius με το παραπάνω μοντέλο, φαίνεται ότι έχουν μικρή απόκλιση. Οι τιμές των ιδιοσυχνοτήτων του μοντέλου εμφανίζονται ελαφρώς αυξημένες έναντι του Ostasevicius, για τον λόγο του ότι το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποίησε έχει περισσότερες αυλακώσεις και το σημείο στήριξης που επέλεξε ήταν μόνο η επιφάνεια στο πίσω μέρος του κοπτικού. Αυτά είχαν ως αποτέλεσμα το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιήθηκε για την εκπόνηση της διπλωματικής να είναι πιο στιβαρό από το εργαλείο του Ostasevicius και εν συνεχεία τις ελαφρώς αυξημένες ιδιοσυχνότητες.

5. ΑΡΜΟΝΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

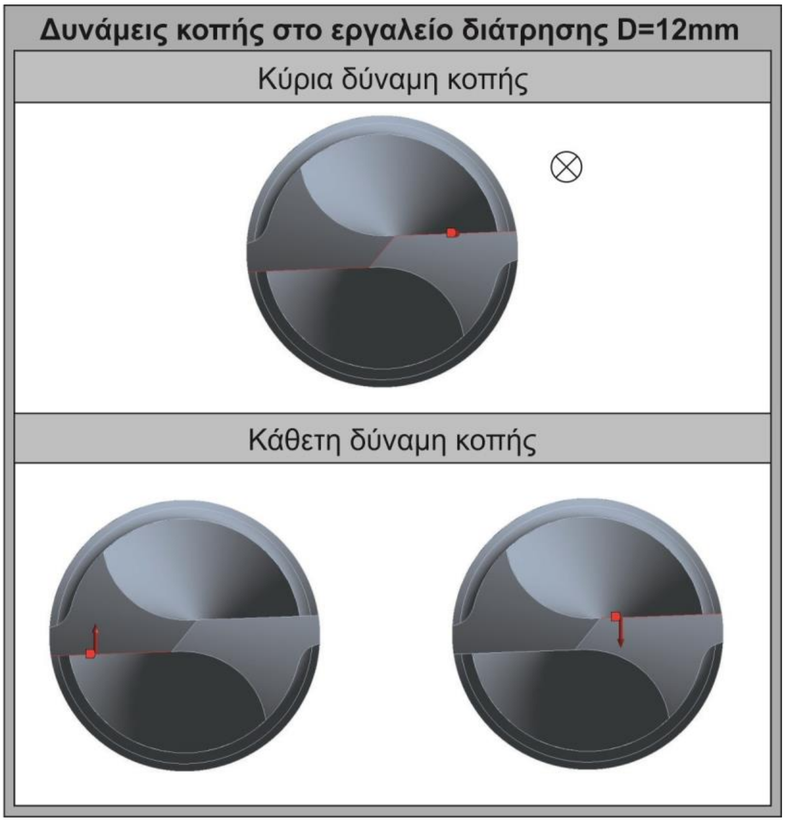
5.1 Ορισμός

Η αρμονική ανάλυση είναι η μελέτη της απόκρισης μιας κατασκευής που δέχεται φορτίο το οποίο έχει ημιτονοειδή μορφή. Με την αρμονική ανάλυση βρίσκεται κυρίως η απόκριση συχνότητας της κατασκευής. Πιο συγκεκριμένα, υπολογίζεται η απόκριση της κατασκευής σε διάφορες συχνότητες, έτσι δημιουργείται ένα διάγραμμα μετατόπισης σε κάθε άξονα ξεχωριστά σε σχέση με τη συχνότητα. Στο διάγραμμα εμφανίζονται τα κρίσιμα σημεία όπου υπάρχουν οι μέγιστες μετατοπίσεις στις συχνότητες συντονισμού.

5.2 Δημιουργία του μοντέλου

Με τη βοήθεια του λογισμικού ANSYS, πραγματοποιήθηκε αρμονική ανάλυση για τα κοπτικά εργαλεία διάτρησης από HSS των 10 mm, των 12 mm και των 14 mm αλλά και για το κοπτικό R840 από καρβίδιο. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δυναμομετρήσεις από 4 πειράματα διάτρησης, όπου για κάθε πείραμα ήταν διαφορετικό κοπτικό εργαλείο. Το σταθερό μέρος των δυναμομετρήσεων έχει ημιτονοειδή μορφή και γι' αυτό θεωρήθηκε αρμονικό.

Έχοντας πραγματοποιηθεί ιδιομορφική ανάλυση στα παραπάνω κοπτικά εργαλεία, μέσα από το ANSYS επιλέγεται η αρμονική ανάλυση συνδυαστικά με την υπάρχουσα ιδιομορφική, μοιραζόμενη τα δεδομένα και τις λύσεις της τελευταίας Σχήμα 2.11. Έτσι, τα χαρακτηριστικά του υλικού, η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου, το πλέγμα και το σημείο στήριξης είναι καθορισμένα από την ιδιομορφική ανάλυση. Μέσα στις ρυθμίσεις της ανάλυσης ορίζεται το εύρος της συχνότητας. Η μέγιστη συχνότητα καθορίζεται από τη μέγιστη συχνότητα που βρέθηκε από την ιδιομορφική ανάλυση διαιρεμένη με το 1,5. Στη συνέχεια προστίθενται οι δυνάμεις που ασκούνται στο εργαλείο. Συγκεκριμένα, μία δύναμη προστίθεται στο τσίζελ και στις δύο κύριες κόψεις, έχει μέτρο το μισό πλάτος της ταλάντωσης της δυναμομέτρησης και κατεύθυνση παράλληλα στον άξονα του κοπτικού προς αυτόν. Επίσης, προστίθενται δύο ίσες δυνάμεις στις δύο κύριες κόψεις αντίστοιχα με κατεύθυνση κάθετη στον άξονα του κοπτικού. Αυτές οι δυνάμεις αναπαριστούν τη ροπή που υφίσταται το εργαλείο και κάθε μία έχει μέτρο όσο έχει η κύρια δύναμη διαιρεμένη με το 250 και με το μέτρο της ακτίνας. Οι δυνάμεις που ασκούνται εικονίζονται στο Σχήμα 5.1.



Σχήμα 5.1. Δυνάμεις κοπής στο εργαλείο διάτρησης D=12mm

Τέλος, στην επιλογή λύση (solution) υπολογίζεται η απόκριση συχνότητας σε κάθε έναν από τους 3 άξονες για ένα σημείο στην άκρη της κύριας κόψης του κοπτικού εργαλείου. Το σημείο στην άκρη της κύριας κόψης φαίνεται στο Σχήμα 5.2.

Σχήμα 5.2. Σημείο στην άκρη της κύριας κόψης εργαλείου διάτρησης D=12mm

5.3 Αποτελέσματα

Το κυριότερο που δείχνουν τα αποτελέσματα με βάση τα διαγράμματα της απόκρισης συχνότητας είναι ποιες ιδιομορφές διεγείρονται στο κάθε κοπτικό εργαλείο. Από την ιδιομορφική ανάλυση έχουν μελετηθεί οι ιδιομορφές και οι ιδιοσυχνότητες των κοπτικών εργαλείων κι έτσι μπορεί εύκολα να γίνει μία σύγκριση και να βρεθεί ποια ιδιομορφή αντιστοιχεί κάθε φορά στη συχνότητα συντονισμού.

Στο Σχήμα 5.3 παρουσιάζεται η δυναμομέτρηση και οι συνθήκες κοπής του πειράματος διάτρησης του κοπτικού εργαλείου με D=12mm. Αντίστοιχα παρουσιάζονται οι δυναμομετρήσεις και οι συνθήκες κοπής των πειραμάτων για τα κοπτικά με D=14mm, με D=10mm και για το κοπτικό R840 Σχήμα 5.5, Σχήμα 5.7 και Σχήμα 5.9. Στα πειράματα μεταβάλλεται η ταχύτητα πρόωσης, η ταχύτητα κοπής και το υλικό του τεμαχίου.

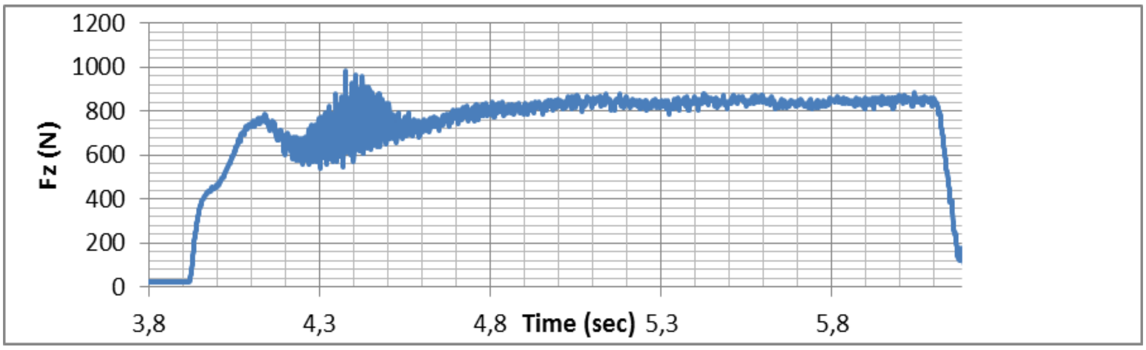
Το κοπτικό με D=12mm φαίνεται από το Σχήμα 5.4 ότι διεγείρεται περίπου στα 3800Hz, στα 11000Hz και στα 12800Hz, όπου από το Σχήμα 4.7 αυτό αντιστοιχεί στην $5^η$, στην $8^η$ και στην $10^η$ ιδιομορφή.

Το κοπτικό με D=14mm φαίνεται από το Σχήμα 5.6 ότι διεγείρεται περίπου στα 3800Hz, στα 11500Hz και στα 12100Hz, όπου από το Σχήμα 4.8 αυτό αντιστοιχεί στην $5^η$, στην $9^η$ και στην $10^η$ ιδιομορφή.

Το κοπτικό με D=10mm φαίνεται από το Σχήμα 5.8 ότι διεγείρεται περίπου στα 5000Hz, στα 15000Hz και στα 16000Hz, όπου από το Σχήμα 4.6 αυτό αντιστοιχεί στην $5^η$, στην $9^η$ και στην $10^η$ ιδιομορφή.

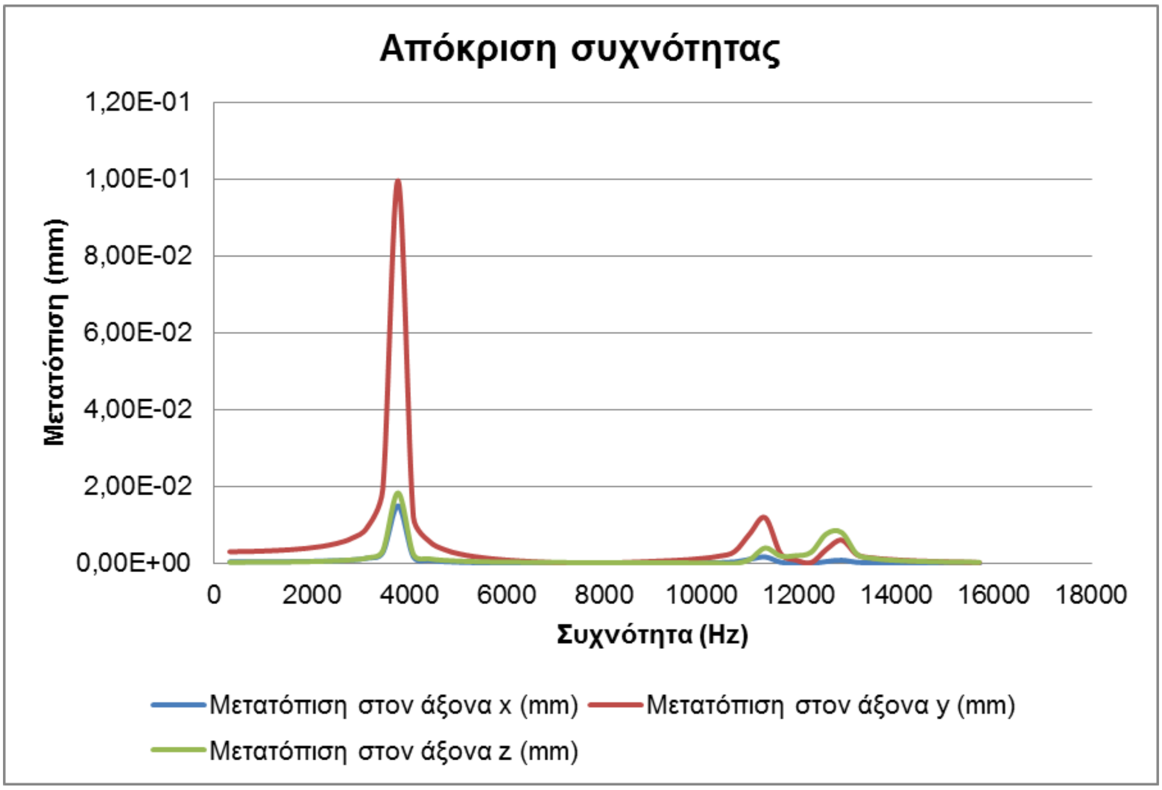
Το κοπτικό R840 φαίνεται από το Σχήμα 5.10 ότι διεγείρεται περίπου στα 11000Hz, στα 23000Hz και στα 33000Hz, όπου από το Σχήμα 4.9 αυτό αντιστοιχεί στην $5^η$, στην $8^η$ και στην $10^η$ ιδιομορφή.

Από τα παραπάνω φαίνεται ότι υπάρχει μια ομοιομορφία με τις ιδιομορφές που διεγείρονται. Επίσης, όπως και στην ιδιομορφική ανάλυση διακρίνεται η υπεροχή του κοπτικού εργαλείου R840 έναντι των υπολοίπων σε σχέση με τις μετατοπίσεις που εμφανίστηκαν, που αν και οι δυνάμεις ήταν αρμονικές, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μέτρο σύγκρισης για τα κοπτικά εργαλεία.

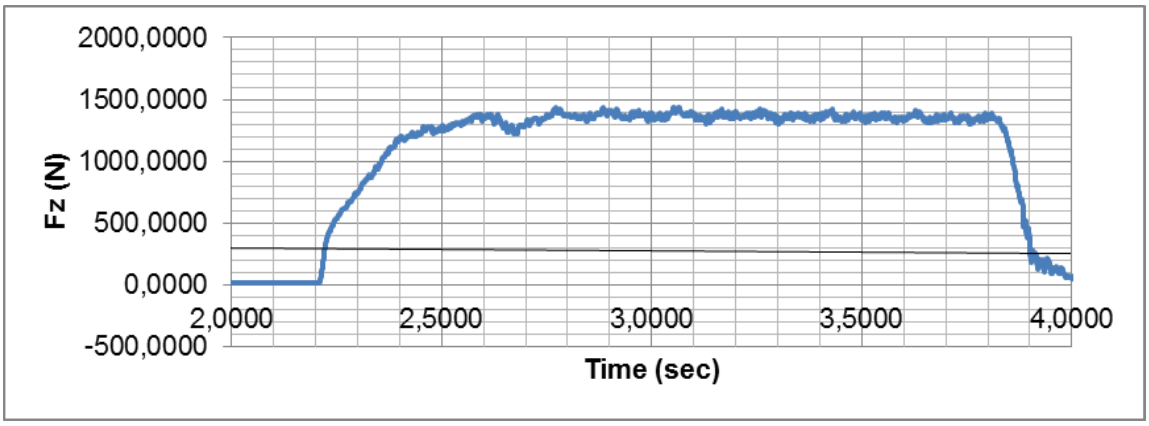


Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F’ (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
12	0,2	424,42	2122,07	80	AL7075

Σχήμα 5.3. Δυναμομέτρηση και συνθήκες κοπής πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου D=12mm

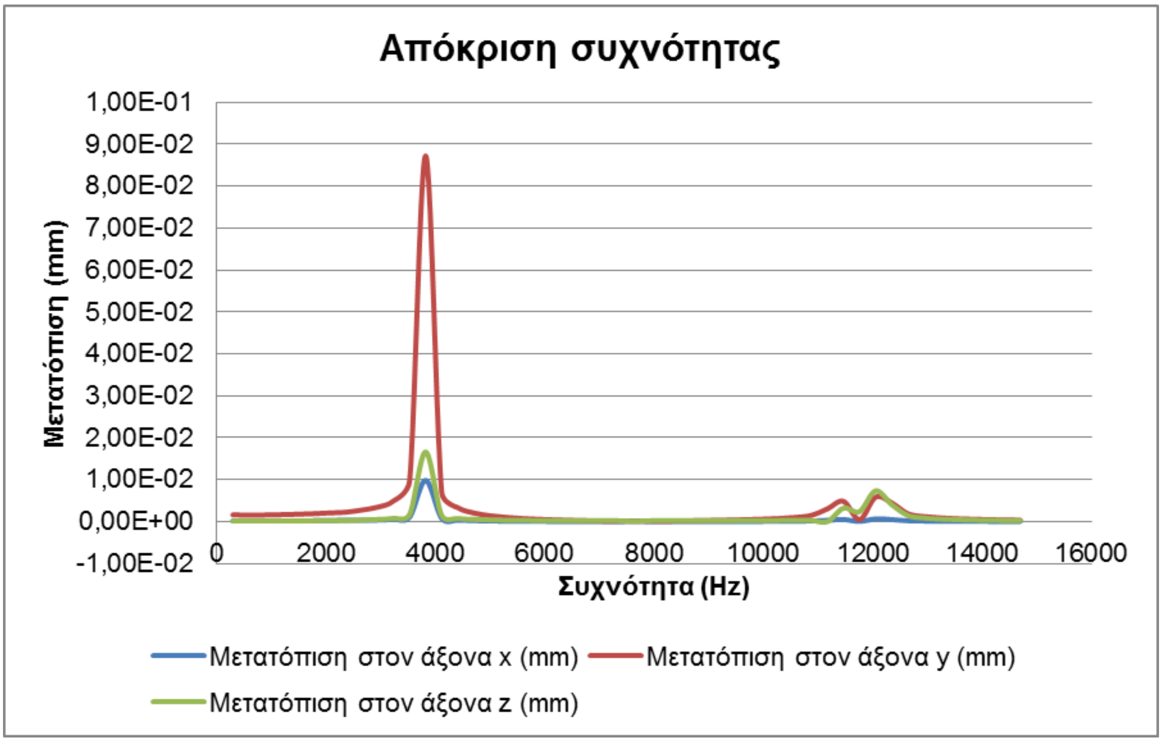


Σχήμα 5.4. Απόκριση συχνότητας κοπτικού εργαλείου D=12mm

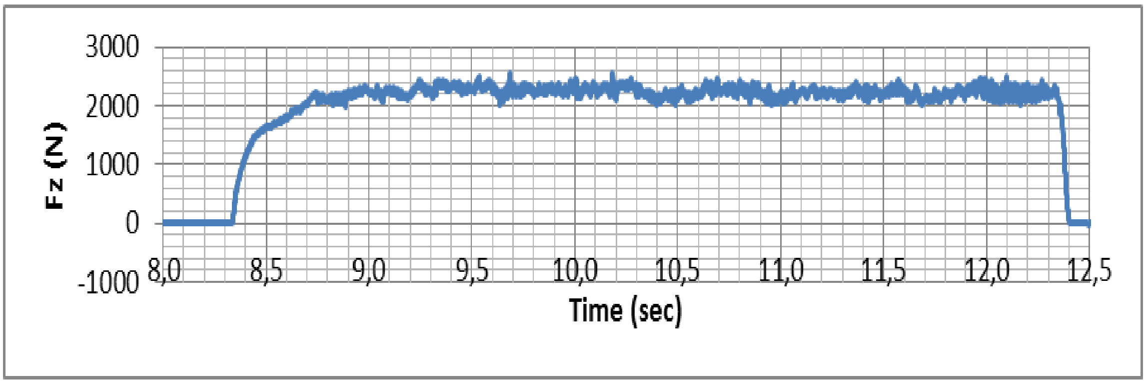


Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F’ (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
14	0,3	545,68	1818,92	80	AL7075

Σχήμα 5.5. Δυναμομέτρηση και συνθήκες κοπής πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου D=14mm

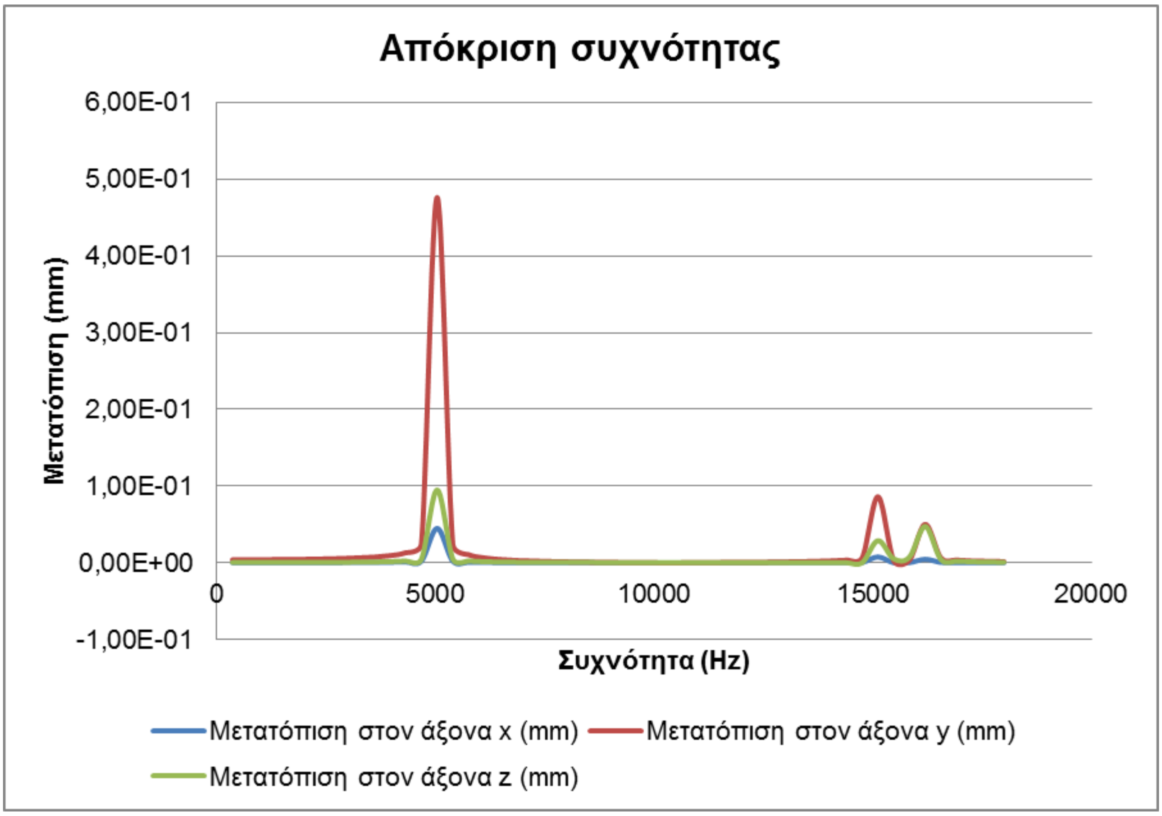


Σχήμα 5.6. Απόκριση συχνότητας κοπτικού εργαλείου D=14mm

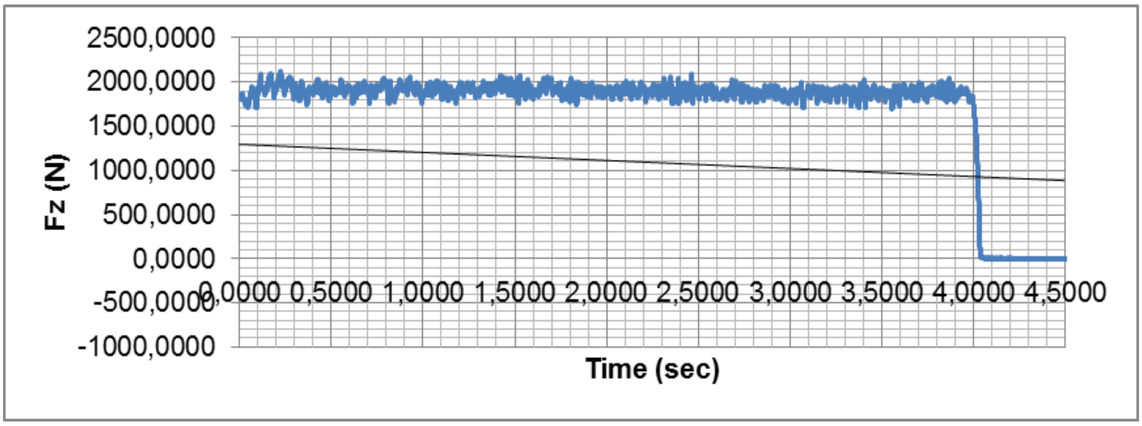


Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F' (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
10	0,2	445,64	2228,07	70	C 45

Σχήμα 5.7. Δυναμομέτρηση και συνθήκες κοπής πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου D=10mm

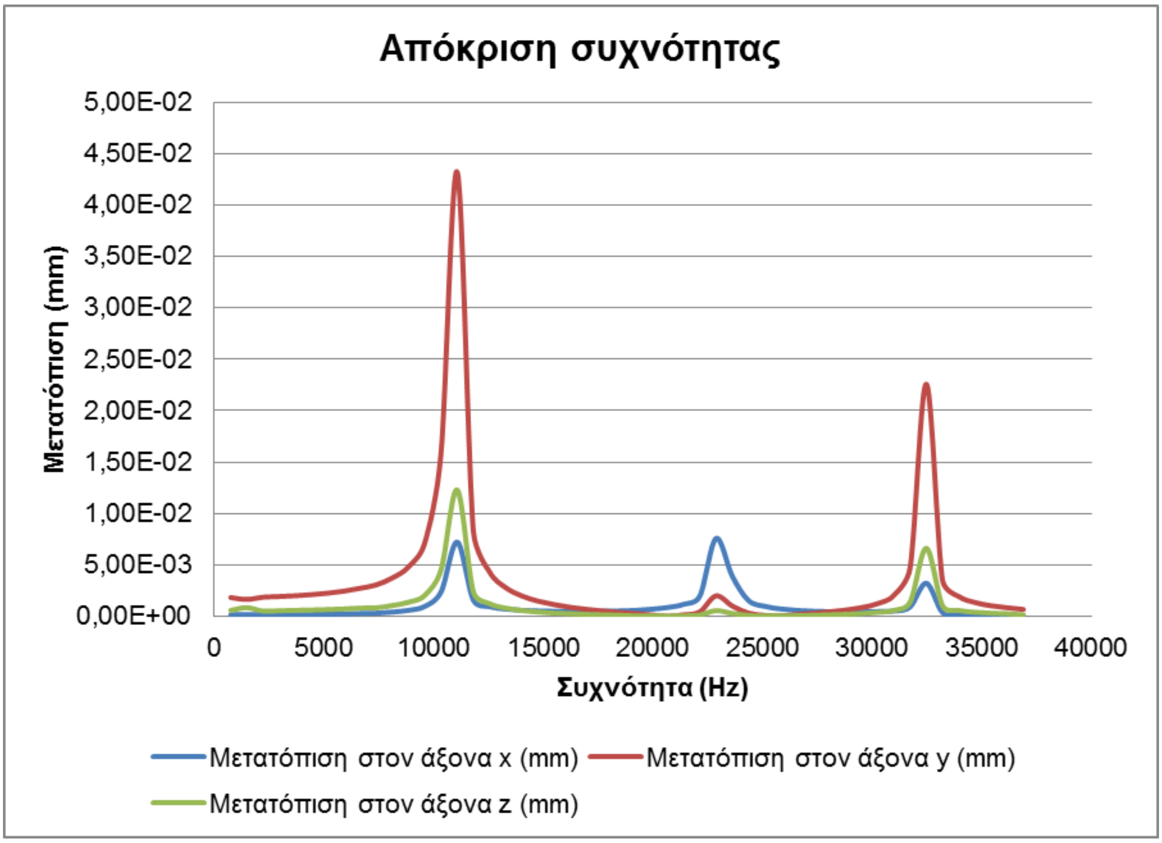


Σχήμα 5.8. Απόκριση συχνότητας κοπτικού εργαλείου D=10mm



Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F’ (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
10	0,2	445,64	2228,07	70	C 45

Σχήμα 5.9. Δυναμομέτρηση και συνθήκες κοπής πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου R840



Σχήμα 5.10. Απόκριση συχνότητας κοπτικού εργαλείου R840

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΜΕ ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ

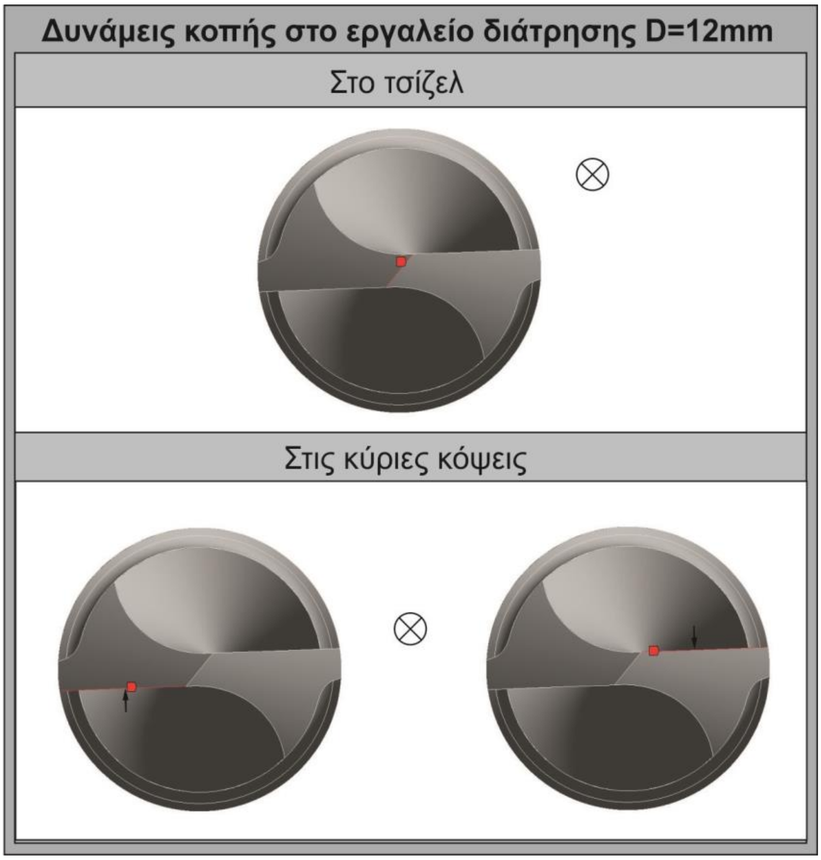
6.1 Ορισμός

Η ανάλυση με δυναμικό φορτίο είναι μία τεχνική που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της δυναμικής απόκρισης μιας κατασκευής υπό την επίδραση οποιονδήποτε χρονικά εξαρτημένων φορτίων. Η ανάλυση αυτή μπορεί να προσομοιώσει σε μεγάλο βαθμό την κατεργασία της διάτρησης. Για κάθε χρονική στιγμή ορίζονται οι δυνάμεις που ασκούνται και εξάγονται οι μετατοπίσεις και οι τάσεις που υφίστανται πάνω στο κοπτικό εργαλείο. Η συγκεκριμένη ανάλυση, λόγω της περιπλοκότητας που έχει, απαιτεί περισσότερους υπολογιστικούς πόρους και χρόνο από άλλες αναλύσεις.

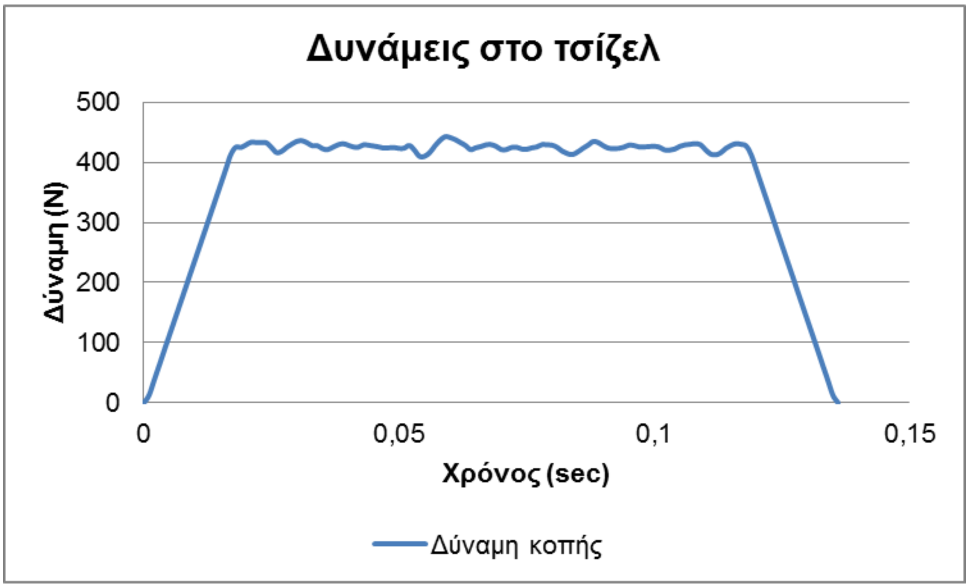
6.2 Δημιουργία του μοντέλου

Με τη βοήθεια του λογισμικού ANSYS, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με δυναμικό φορτίο για το κοπτικό εργαλείο διάτρησης από HSS των 12 mm. Για την ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δυναμομετρήσεις από 2 πειράματα διάτρησης. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκε ένα κομμάτι από το σταθερό μέρος των δυναμομετρήσεων.

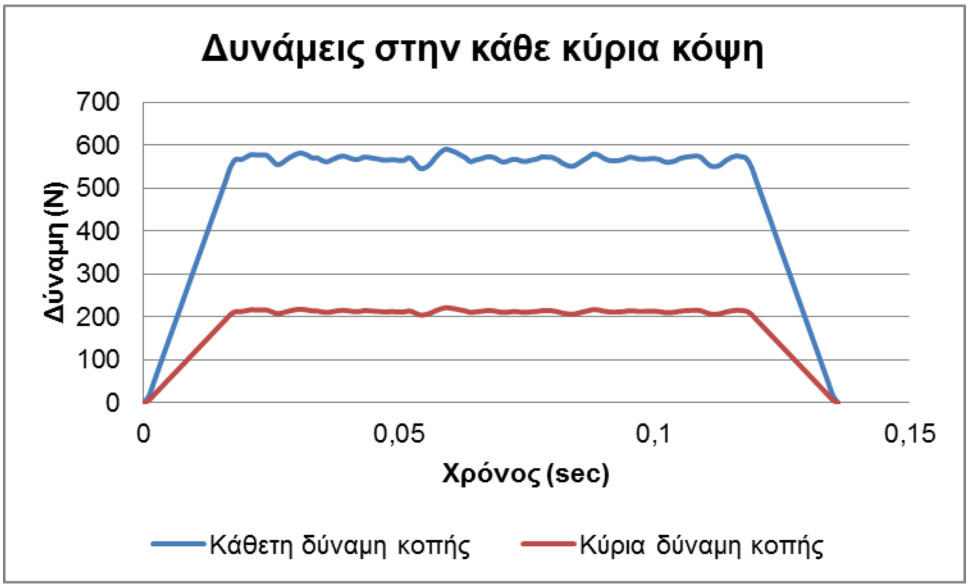
Αρχικά, μέσα από το ANSYS επιλέγεται η ανάλυση με δυναμικό φορτίο και όπως και στην ιδιομορφική ανάλυση, με τον ίδιο τρόπο, προστίθενται τα χαρακτηριστικά του υλικού HSS, εγκαθίσταται η γεωμετρία του κοπτικού εργαλείου, αυξάνεται το πλέγμα και επιλέγεται το ίδιο σημείο στήριξης. Στη συνέχεια ο χρήστης θα πρέπει να καθορίσει τις ρυθμίσεις της ανάλυσης και πιο συγκεκριμένα τον αριθμό των βημάτων, σε ποιο χρονικό σημείο θα περατώνεται η ανάλυση, αν θα ορίζεται από τον χρόνο ή από στοιχειώδη βήματα και πόσα θα είναι αυτά και αν θα δέχεται μεγάλες παραμορφώσεις. Ύστερα, όπως και στην αρμονική ανάλυση προστίθενται παρόμοια οι δυνάμεις που ασκούνται στο κοπτικό εργαλείο. Το μέτρο της δύναμης στο τσίζελ ορίζεται ως το μισό της δύναμης του σταθερού μέρους της δυναμομέτρησης με φορά παράλληλη στον άξονα του κοπτικού προς αυτό. Σε κάθε μία από τις δύο κύριες κόψεις ασκείται δύναμη ίση με το 25% του σταθερού μέρους της δυναμομέτρησης με φορά παράλληλη στον άξονα του κοπτικού προς αυτό και ροπή υπολογισμένη με τον ίδιο τρόπο όπως στην αρμονική ανάλυση με φορά κάθετη στον άξονα του κοπτικού. Οι δυνάμεις που ασκούνται εικονίζονται στο Σχήμα 6.1. Για το 1^{o} πείραμα, οι δυνάμεις που ασκούνται στο τσίζελ και στην κάθε κύρια κόψη σε κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στο Σχήμα 6.2 και Σχήμα 6.3 αντίστοιχα. Επίσης και για το 2^{o} πείραμα, οι δυνάμεις στο τσίζελ και στην κάθε κύρια κόψη φαίνονται στο Σχήμα 6.4 και Σχήμα 6.5 αντίστοιχα.



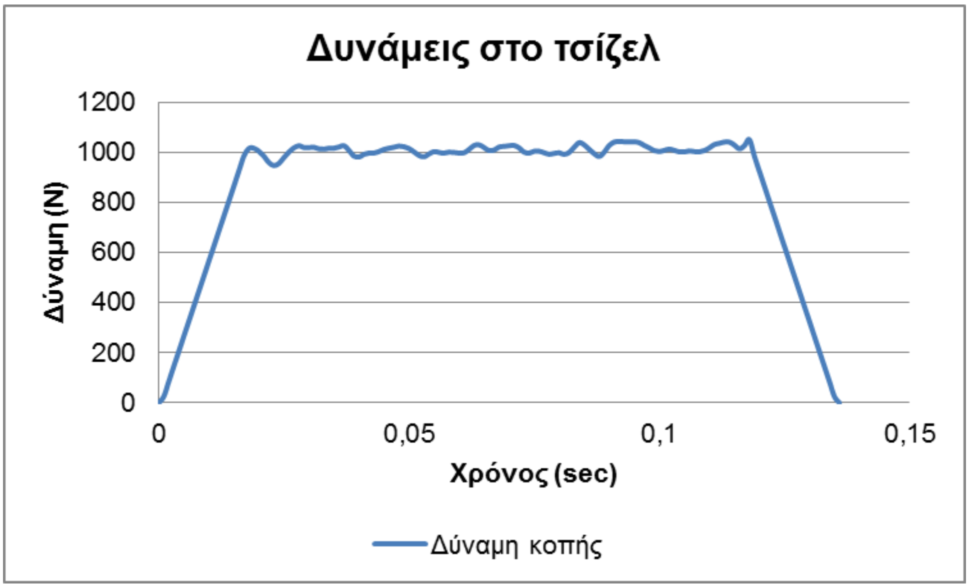
Σχήμα 6.1. Δυνάμεις στο εργαλείο διάτρησης D=12mm



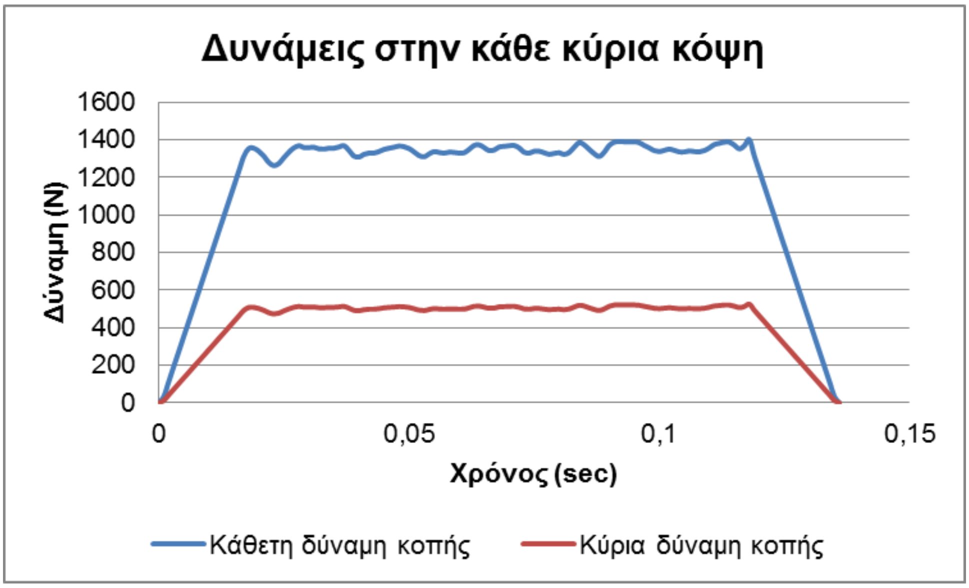
Σχήμα 6.2. 1^{o} πείραμα: Δυνάμεις που ασκούνται στο τσίζελ



Σχήμα 6.3. 1^{o} πείραμα: Δυνάμεις που ασκούνται στην κάθε κύρια κόψη



Σχήμα 6.4. 2^{o} πείραμα: Δυνάμεις που ασκούνται στο τσίζελ

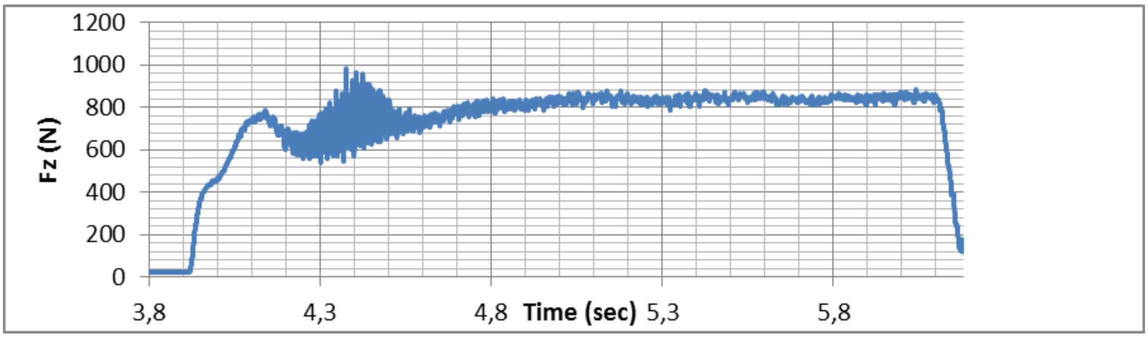


Σχήμα 6.5. 2^o πείραμα: Δυνάμεις που ασκούνται στην κάθε κύρια κόψη

Τέλος, στην επιλογή λύση (solution) υπολογίζεται η ολική παραμόρφωση, οι παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά σε όλο το κοπτικό εργαλείο, οι παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά για το σημείο στην άκρη της κάθε μίας από τις δύο κύριες κόψεις και οι τάσεις που αναπτύσσονται.

6.3 Αποτελέσματα

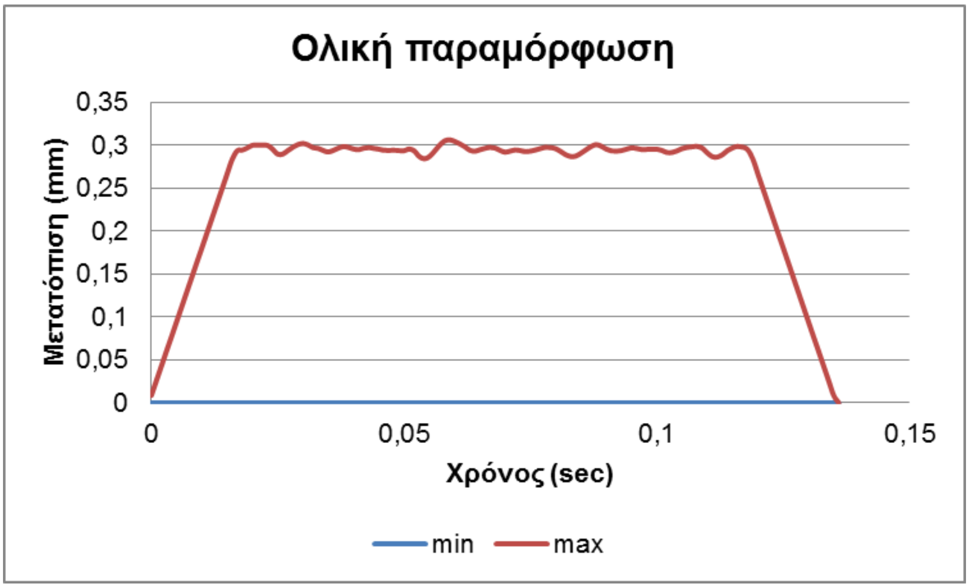
Στο Σχήμα 6.6 παρουσιάζεται η δυναμομέτρηση και οι συνθήκες κοπής του $1^{ου}$ πειράματος διάτρησης του κοπτικού εργαλείου με D=12mm.



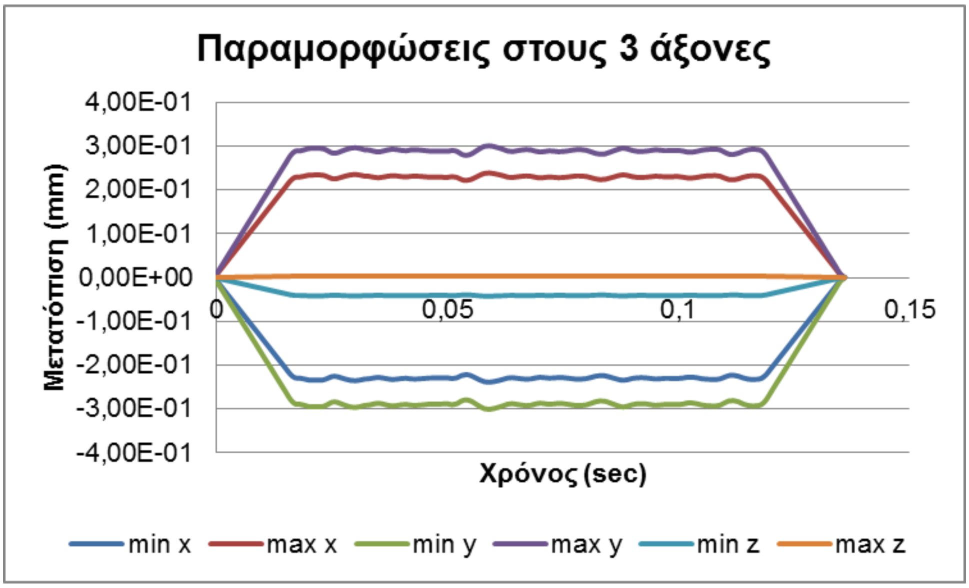
Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F' (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
12	0,2	424,42	2122,07	80	AL7075

Σχήμα 6.6. Δυναμομέτρηση και χαρακτηριστικά $1^{ου}$ πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου D=12mm

Στο Σχήμα 6.7 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση 0,30475mm. Η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων και στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Το υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά πολύ λιγότερο. Στην οδηγητική λωρίδα υπάρχει μέση μετατόπιση περίπου 0,169mm, στις αυλακώσεις περίπου 0,067mm και στο στέλεχος 0mm.



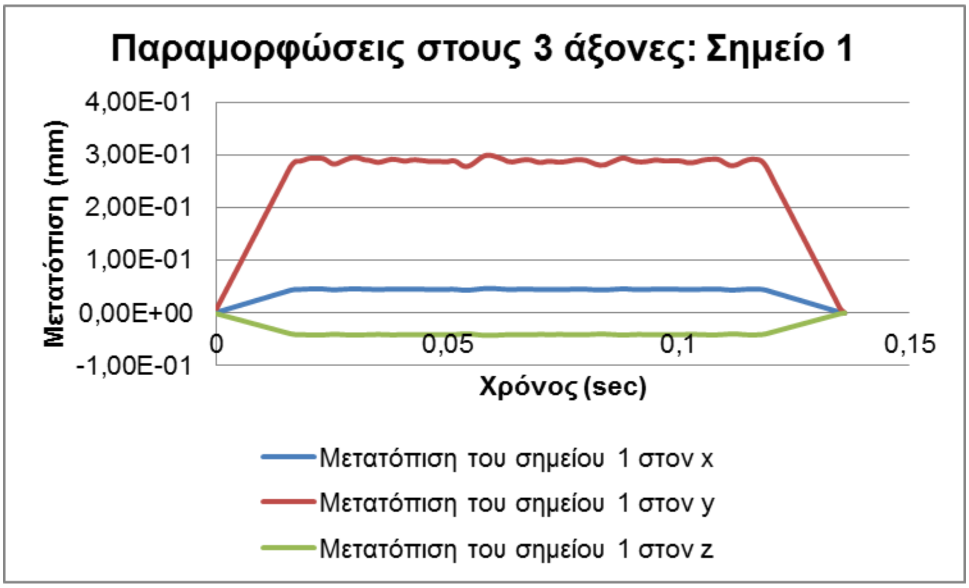
Σχήμα 6.7. 1ο πείραμα: Ολική παραμόρφωση
.
Στο Σχήμα 6.8 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,23759mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,29921mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,042319mm. Στον άξονα x η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση στις αυλακώσεις είναι περίπου 0,07mm και στο στέλεχος 0mm, ενώ όσο πιο κεντρικά στο κοπτικό τόσο ελαττώνεται η μετατόπιση. Στον άξονα y η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων και στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση στις αυλακώσεις είναι περίπου 0,099mm και στο στέλεχος 0mm, ενώ πάλι όσο πιο κεντρικά στο κοπτικό τόσο ελαττώνεται η μετατόπιση. Στον άξονα z η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση ελαττώνεται ομοιόμορφα από τις κύριες κόψεις προς το στέλεχος.



Σχήμα 6.8. 1ο πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά σε όλο το κοπτικό εργαλείο

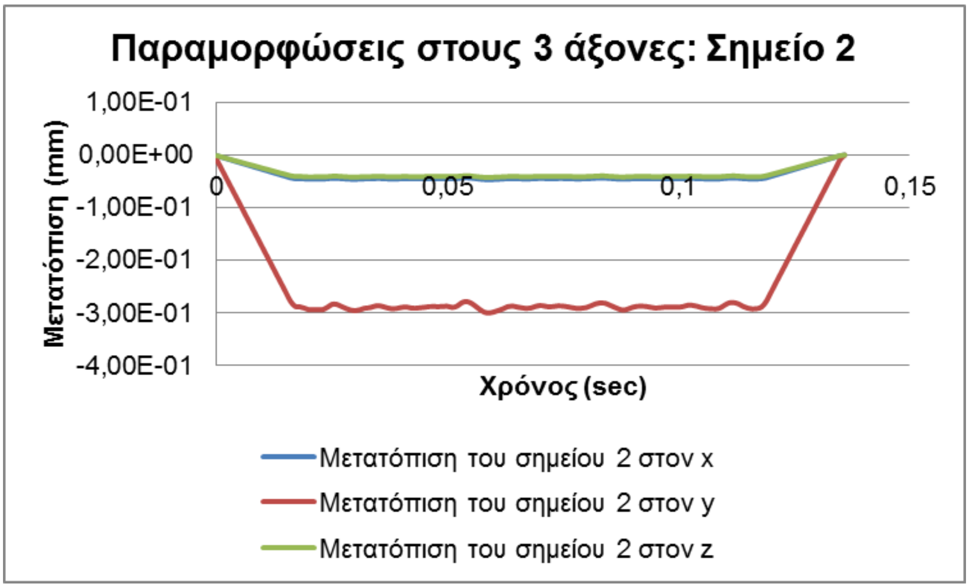
Στο Σχήμα 6.9 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,046478mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,29819mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,042319mm.

Αφού είναι μοναδικό σημείο, οι μετατοπίσεις του κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στο Σχήμα 6.9. Παρατηρείται επίσης, ότι το σημείο μετατοπίζεται μέγιστα στον άξονα y και στον άξονα z σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 6.9. 1^{ο} πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά στο σημείο στην άκρη της 1^{ης} κύριας κόψης

Στο Σχήμα 6.10 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,046505mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,2982mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,04231mm. Όπως και το προηγούμενο, αφού είναι μοναδικό σημείο, οι μετατοπίσεις του κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στο Σχήμα 6.10. Παρατηρείται πάλι, ότι και αυτό το σημείο μετατοπίζεται μέγιστα στον άξονα y και στον άξονα z σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του κοπτικού εργαλείου. Αυτό είναι λογικό γιατί το κοπτικό εργαλείο είναι συμμετρικό προς το κέντρο του και τα δύο αυτά σημεία βρίσκονται στην ίδια απόσταση από αυτό.

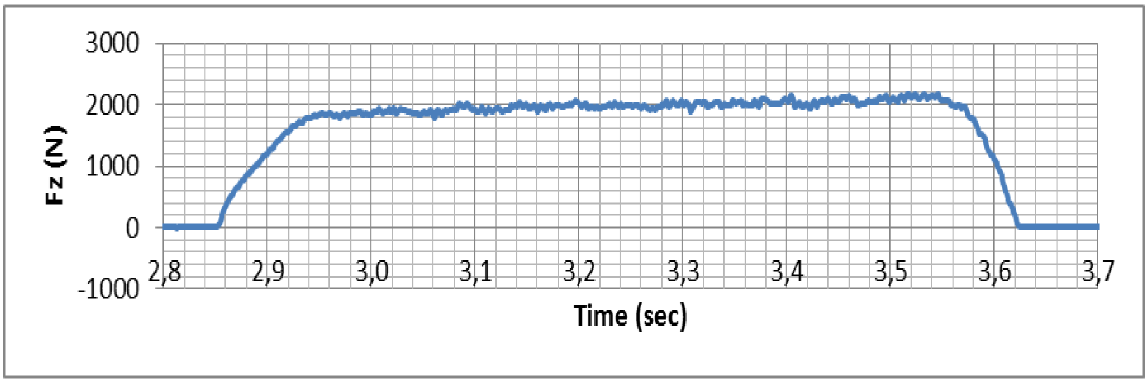


Σχήμα 6.10. 1^{ο} πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά στο σημείο στην άκρη της 2^{ης} κύριας κόψης

Στο Σχήμα 6.11 παρατηρείται μέγιστη τάση 667,21MPa. Η μέγιστη τάση βρίσκεται στο τσίζελ και στις δύο κύριες κόψεις. Αυτό έχει βάση επειδή σε εκείνα τα σημεία το κοπτικό εργαλείο δέχεται την περισσότερη φόρτιση. Στο υπόλοιπο κοπτικό, η τάση στην οδηγητική λωρίδα είναι περίπου 222MPa, στις αυλακώσεις περίπου 100MPa και στο στέλεχος 0MPa.

Σχήμα 6.11. 1ο πείραμα: Αναπτυσσόμενες τάσεις

Στο Σχήμα 6.12 παρουσιάζεται η δυναμομέτρηση και οι συνθήκες κοπής του 2ου πειράματος διάτρησης του κοπτικού εργαλείου με D=12mm.



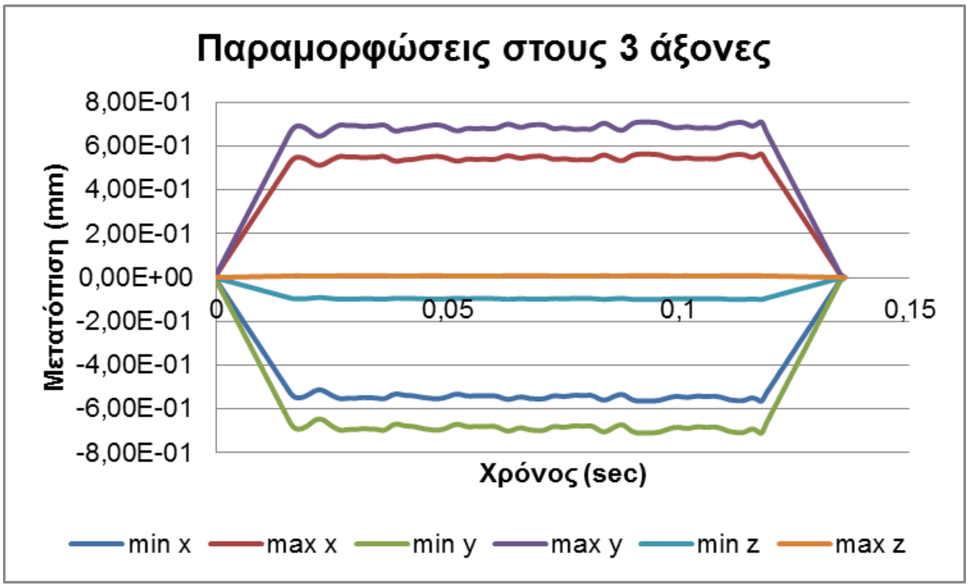
Διάμετρος τρυπανιού (mm)	F (mm/rev)	F' (mm/min)	S (rpm)	Vc (mm/min)	Τεμάχιο
12	0,6	1273,24	2122,07	80	AL7075

Σχήμα 6.12. Δυναμομέτρηση και χαρακτηριστικά 2ου πειράματος διάτρησης κοπτικού εργαλείου D=12mm

Στο Σχήμα 6.13 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση 0,71763mm. Η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων και στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Το υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο μετατοπίζεται κατά πολύ λιγότερο. Στην οδηγητική λωρίδα υπάρχει μέση μετατόπιση περίπου 0,398mm, στις αυλακώσεις περίπου 0,159mm και στο στέλεχος 0mm.

Σχήμα 6.13. 2^{ο} πείραμα: Ολική παραμόρφωση

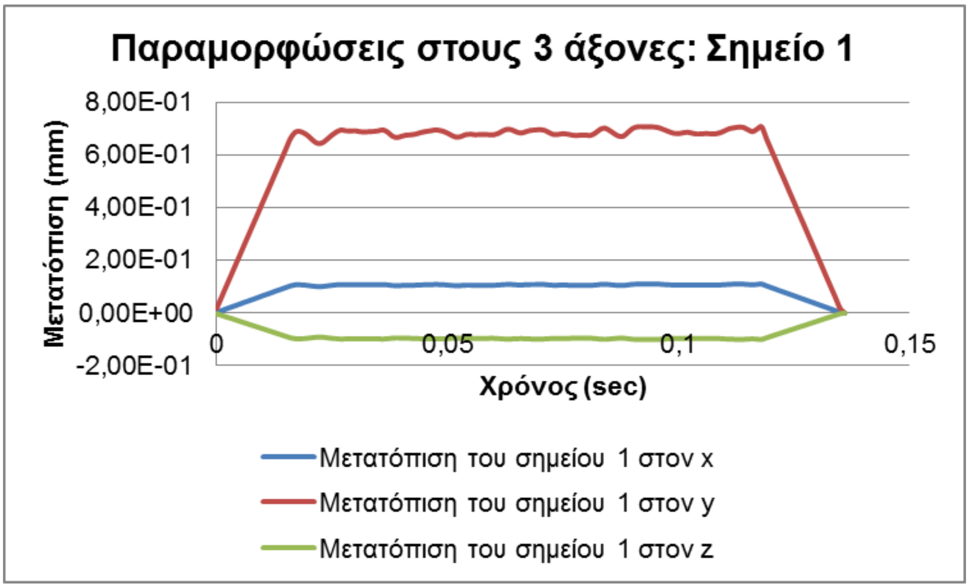
Στο Σχήμα 6.14 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,55948mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,70458mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,099654mm. Στον άξονα x η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση στις αυλακώσεις είναι περίπου 0,18mm και στο στέλεχος 0mm, ενώ όσο πιο κεντρικά στο κοπτικό τόσο ελαττώνεται η μετατόπιση. Στον άξονα y η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων και στην αρχή της οδηγητικής λωρίδας. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση στις αυλακώσεις είναι περίπου 0,23mm και στο στέλεχος 0mm, ενώ πάλι όσο πιο κεντρικά στο κοπτικό τόσο ελαττώνεται η μετατόπιση. Στον άξονα z η μέγιστη μετατόπιση βρίσκεται στην άκρη των δύο κύριων κόψεων. Στο υπόλοιπο κοπτικό εργαλείο, η μετατόπιση ελαττώνεται ομοιόμορφα από τις κύριες κόψεις προς το στέλεχος.



Σχήμα 6.14. 2^{ο} πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά σε όλο το κοπτικό εργαλείο

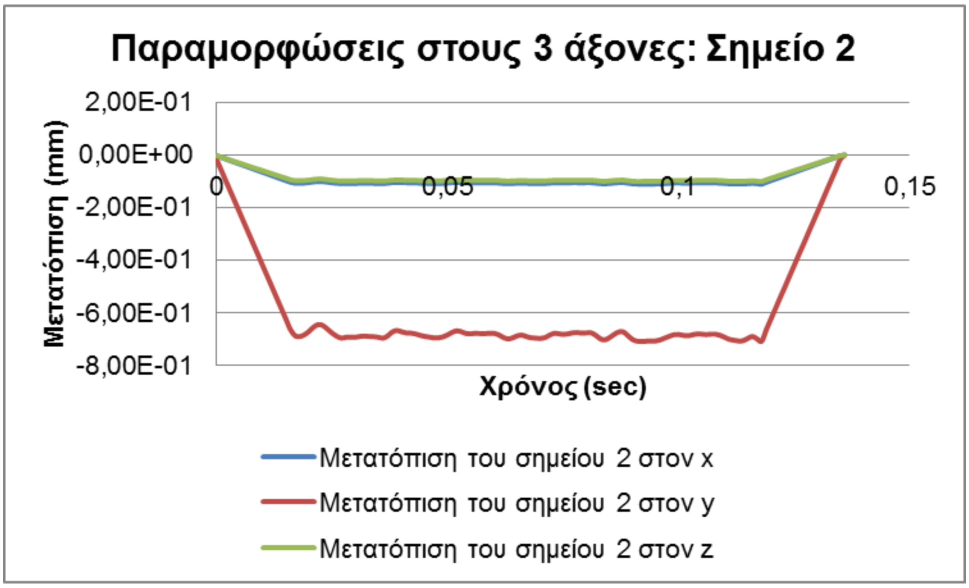
Στο Σχήμα 6.15 παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,10945mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,70218mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,099654mm.

Αφού είναι μοναδικό σημείο, οι μετατοπίσεις του κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στο Σχήμα 6.15. Παρατηρείται επίσης, ότι το σημείο μετατοπίζεται μέγιστα στον άξονα y και στον άξονα z σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 6.15. 2^{ο} πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά στο σημείο στην άκρη της 1^{ης} κύριας κόψης

Στο <u>Σχήμα 6.16</u> παρατηρείται μέγιστη μετατόπιση στον άξονα x 0,10951mm, μέγιστη μετατόπιση στον άξονα y 0,7022mm και μέγιστη μετατόπιση στον άξονα z 0,099632mm. Όπως και το προηγούμενο, αφού είναι μοναδικό σημείο, οι μετατοπίσεις του κάθε χρονική στιγμή φαίνονται στο Σχήμα 6.16. Παρατηρείται πάλι, ότι και αυτό το σημείο μετατοπίζεται μέγιστα στον άξονα y και στον άξονα z σε σχέση με τα υπόλοιπα σημεία του κοπτικού εργαλείου. Αυτό είναι λογικό γιατί το κοπτικό εργαλείο είναι συμμετρικό προς το κέντρο του και τα δύο αυτά σημεία βρίσκονται στην ίδια απόσταση από αυτό.



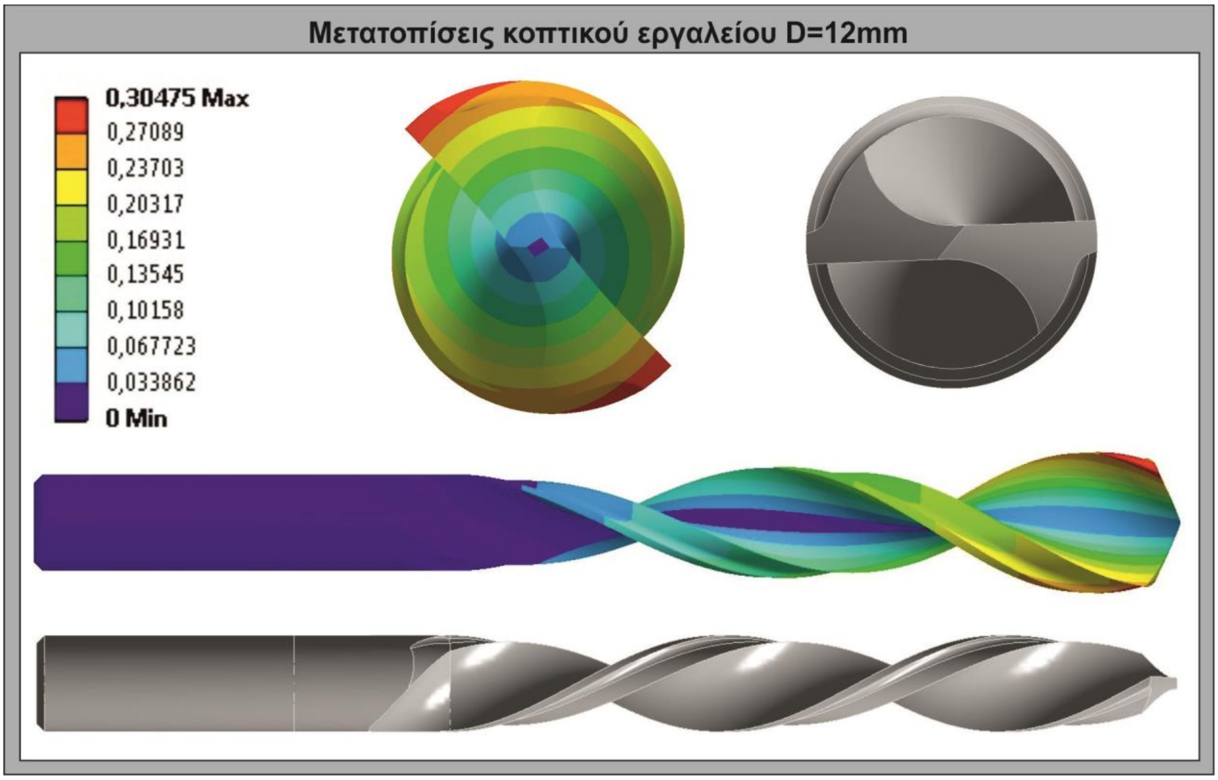
Σχήμα 6.16. 2^{ο} πείραμα: Παραμορφώσεις στους 3 άξονες ξεχωριστά στο σημείο στην άκρη της 2^{ης} κύριας κόψης

Στο Σχήμα 6.17 παρατηρείται μέγιστη τάση 1571,1MPa. Η μέγιστη τάση βρίσκεται στο τσίζελ και στις δύο κύριες κόψεις. Αυτό έχει βάση επειδή σε εκείνα τα σημεία το κοπτικό εργαλείο δέχεται την περισσότερη φόρτιση. Στο υπόλοιπο κοπτικό, η τάση στην οδηγητική λωρίδα είναι περίπου 523MPa, στις αυλακώσεις περίπου 240MPa και στο στέλεχος 0MPa.

Σχήμα 6.17. 2ο πείραμα: Αναπτυσσόμενες τάσεις

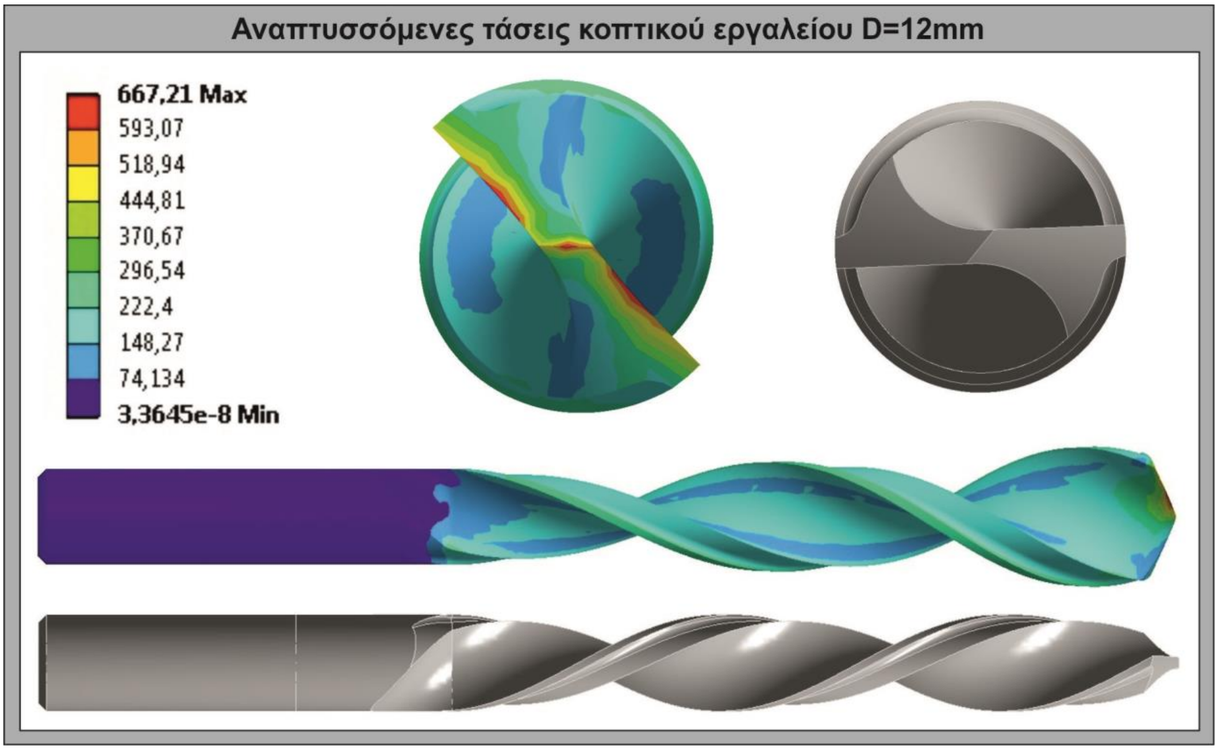
Συγκρίνοντας το 1ο πείραμα με το 2ο διακρίνεται η αύξηση της πρόωσης. Αυτή η αύξηση σηματοδοτεί αρχικά, αύξηση της κύριας δύναμης σε αντίστοιχο ποσοστό με αυτό της πρόωσης. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα, όλες οι μετατοπίσεις και οι τάσεις να αυξηθούν κατά τον ίδιο τρόπο.

Στο Σχήμα 6.18 εικονίζεται η ολική παραμόρφωση του κοπτικού εργαλείου με D=12mm στο 1ο πείραμα. Διακρίνεται εύκολα η διαφορά του κοπτικού πριν και μετά το πείραμα. Επίσης φαίνεται ότι το κοπτικό εργαλείο έχει την τάση να περιστρέφεται και γι’ αυτό τον λόγο εμφανίζει μετατοπίσεις μεγαλύτερες εξωτερικά.



Σχήμα 6.18. Μετατοπίσεις κοπτικού εργαλείου D=12mm

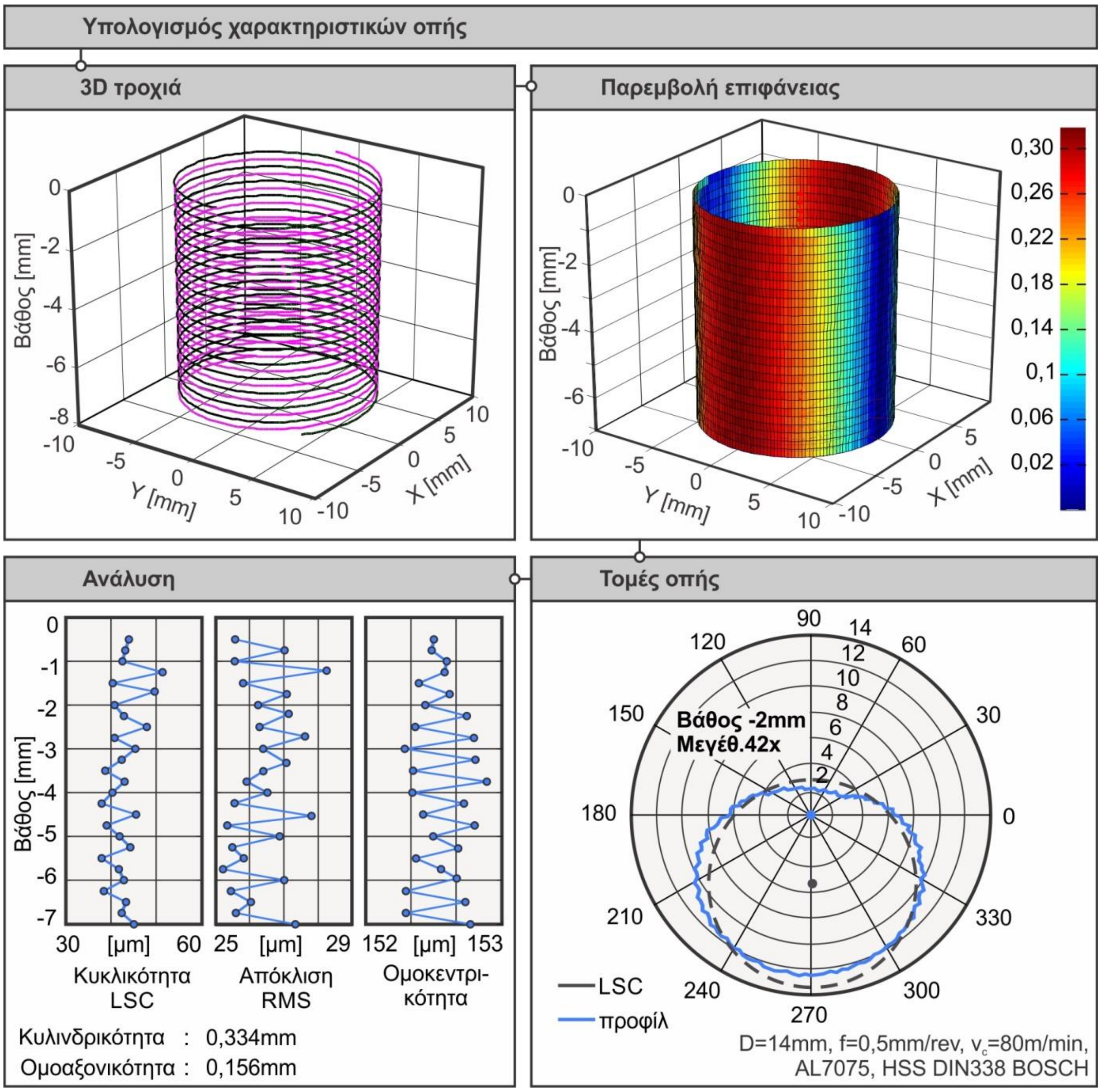
Στο Σχήμα 6.19 εικονίζονται οι τάσεις που αναπτύσσονται στο κοπτικό εργαλείο διάτρησης με D=12mm στο 1^{o} πείραμα. Διακρίνονται οι μέγιστες τιμές των τάσεων στο τσίζελ και στις δύο κύριες κόψεις και φαίνεται πως ελαττώνονται από τις δύο κύριες κόψεις προς το στέλεχος.



Σχήμα 6.19. Αναπτυσσόμενες τάσεις κοπτικού εργαλείου D=12mm

6.3.1 Χρήσεις των μετατοπίσεων που ευρέθησαν από την ανάλυση με δυναμικό φορτίο

Οι μετατοπίσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μοντέλα όπως αυτό που αναπτύχθηκε στο εργαστήριο που φαίνεται στο Σχήμα 6.20. Οι δυναμικές μετατοπίσεις παρεμβάλλονται στη 3D κινηματική του εργαλείου φτιάχνοντας μια παραμορφωμένη τροχιά. Στη συνέχεια γίνεται παρεμβολή μιας επιφάνειας και κατασκευάζεται μια παραμορφωμένη οπή. Η παραμορφωμένη οπή αναλύεται σύμφωνα με τους κανονισμούς ISO και εξάγονται οι αντίστοιχες ποιότητες των κατεργασμένων οπών.



Σχήμα 6.201. Μεθοδολογία υπολογισμού χαρακτηριστικών οπής

Αφού ολοκληρωθεί η επεξεργασία των μετρήσεων, γίνεται σύγκριση των ανοχών και εξάγεται η αντίστοιχη ποιότητα της οπής, σύμφωνα με το πρότυπο ISO286 [18] που παρουσιάζεται στο Σχήμα 6.21.

Διαστάσεις σε μm													
[mm]	**έως 3**	**3 έως 6**	**6 έως 10**	**10 έως 18**	**18 έως 30**	**30 έως 50**	**50 έως 80**	**80 έως 120**	**120 έως 180**	**180 έως 250**	**250 έως 315**	**315 έως 400**	**400 έως 500**
IT01	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1,2	2	2,5	3	4
IT0	0,5	0,6	0,6	0,8	1	1	12	1,5	2	3	4	5	6
IT1	0,8	1	1	1,2	1,5	1,5	2	2,5	3,5	4,5	6	7	8
IT2	1,2	1,5	1,5	2	2,5	2,5	3	4	5	7	8	9	10
IT3	2	2,5	2,5	3	4	4	5	6	8	10	12	13	15
IT4	3	4	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20
IT5	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	23	26	27
IT6	6	8	9	11	13	16	19	22	25	29	32	36	40
IT7	10	12	15	18	21	25	30	35	40	46	52	57	63
IT8	14	18	22	27	33	39	46	54	63	72	81	89	97
IT9	25	30	36	43	52	62	74	87	100	115	130	140	155
IT10	40	48	58	70	84	100	120	140	160	185	210	230	250
IT11	60	75	90	110	130	160	190	220	250	290	320	360	400
IT12	100	120	150	180	210	250	300	350	400	460	520	570	630
IT13	140	180	220	270	330	390	460	540	630	720	810	890	970
IT14	250	300	360	430	520	620	740	870	1000	1150	1300	1400	1550
IT15	400	480	580	700	840	1000	1200	1400	1600	1850	2100	2300	2500
IT16	600	750	900	1100	1300	1600	1900	2200	2500	2900	3200	3600	4000
IT17	1000	1200	1500	1800	2100	2500	3000	3500	4000	4600	5200	5700	6300
IT18	1400	1800	2200	2700	3300	3900	4600	5400	6300	7200	8100	8900	9700

Σχήμα 6.21. Ποιότητες ανοχών κατά ISO286

7. ΣΥΝΟΨΗ

Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε δυναμική ανάλυση με τη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων σε 5 κοπτικά εργαλεία διάτρησης. Αρχικά, έγινε ιδιομορφική ανάλυση, βρίσκοντας έτσι τις ιδιοσυχνότητες των κοπτικών εργαλείων σε κάθε ιδιομορφή. Έπειτα, με τη βοήθεια δυναμομετρήσεων από πειράματα διάτρησης, πραγματοποιήθηκε αρμονική ανάλυση. Σε αυτήν την ανάλυση βρέθηκαν, μέσα από τα διαγράμματα απόκρισης, σε ποιες συχνότητες και σε ποιες ιδιομορφές διεγείρονται τα κοπτικά εργαλεία. Τέλος, επίσης μέσω δυναμομετρήσεων από πειράματα διάτρησης, πραγματοποιήθηκε ανάλυση με δυναμικό φορτίο για το κοπτικό εργαλείο HSS με D=12mm. Σε αυτήν την ανάλυση βρέθηκαν και συγκρίθηκαν οι μετατοπίσεις που υφίσταται το κοπτικό εργαλείο σε κάθε χρονική στιγμή, καθώς και οι τάσεις που αναπτύσσονται.

Οι διαστάσεις για τη δημιουργία των κοπτικών εργαλείων HSS μετρήθηκαν με τη χρήση στερεοσκοπίου. Επίσης, για την πραγματοποίηση όλων των αναλύσεων χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό προσομοίωσης ANSYS.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

[1] Tobias S.A. “Dynamic acceptance tests for machine tools”, Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 2, pp. 267-280, 1962.

[2] Zhang Z. and Babitsky V.I. “Finite element modeling of a micro-drill and experiments on high speed ultrasonically assisted micro-drilling”, Journal of Sound and Vibration, Vol. 330, pp. 2124-2137, 2011.

[3] Ostasevicius V., Ubartas M., Gaidys R., Jurenas V., Samper S. and Dauksevicius R. “Numerical–experimental identification of the most effective dynamic operation mode of a vibration drilling tool for improved cutting performance”, Journal of Sound and Vibration, Vol 331, pp. 5175-5190, 2012.

[4] Altintas Y. and Weck M. “Chatter Stability of Metal Cutting and Grinding”.

[5] Yang J.A., Jaganathan V. and Du R. “A new dynamic model for drilling and reaming processes”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 42, pp. 299-311, 2002.

[6] Chanal H., Duc E. and Ray P. “A study of the impact of machine tool structure on machining processes”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 98-106, 2006.

[7] Arvajeh T. and Ismail F. “Machining stability in high-speed drilling – Part 1: Modeling vibration stability in bending”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 1563-1572, 2006.

[8] Yongchen P., Qingchang T. and Zhaojun Y. “A study of dynamic stresses in micro-drills under high-speed machining”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 46, pp. 1892-1900, 2006.

[9] Roukema J.C. and Altintas Y. “Generalized modeling of drilling vibrations. Part I: Time domain model of drilling kinematics, dynamics and hole formation”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 47, pp. 1455-1473, 2007.

[10] Gong Y., Ehmann K.F. and Lin C. “Analysis of dynamic characteristics of micro-drills”, Journal of Materials Processing Technology, Vol. 141, pp. 16-28, 2003.

[11] Afazov S.M., Ronaldo R., Londsdale D., Zdebski D. and Ratchev S.M. “Analysis of micro-drilling of glassy ceramic Macor nozzles for scanning droplet systems”, Journal of Materials Processing Technology, 2010.

[12] Madoliat R., Hayati S. and Ghalebahman A.G. “Investigation of chatter suppression in slender endmill via a frictional damper”, Scientia Iranica, Vol. 18, pp. 1069-1077, 2011.

[13] Belis T., Kyratsis P. and Antoniadis A. “Stress analysis on twist drill tools combining CAD based methodology and finite element analysis”.

[14] Denkena B., Deichmueller M., Kroeger M., Panning L., Carstensen C. and Kilian S. “Modeling and Simulation of the Process Machine Interaction during Tool Grinding Processes”.

[15] Gong Y., Lin C. and Ehmann K.F. “Dynamics of Initial Penetration in Drilling: Part 1 - Mechanistic Model for Dynamic Forces”, Transactions of the ASME, Vol. 127, pp. 280-288, 2005.

[16] Hsieh H-F. “Investigation of the Thrust and Torque Generated during Drilling Processes”, Master of Science, 1992.

[17] Κανάραχος Ανδρέας Ε. και Αντωνιάδης Ι. “Δυναμική Μηχανών”, Παπασωτηρίου, 1998.

[18] Standard, I., 2010, “ISO 286-2:2010 Geometrical product specifications (GPS) -- ISO code system for tolerances on linear sizes -- Part 2: Tables of standard tolerance classes and limit deviations for holes and shafts,” international Organization for Standardization.