



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Παρακολούθηση λειτουργικών παραμέτρων κέντρου κατεργασίας και εκτίμηση φθοράς κοπτικών εργαλείων: περίπτωση διάτρησης



Διπλωματική Εργασία

Ηρακλής Γ. Αμοιρίδης

Αρ. Μητρώου 450

Ξάνθη, Ιούλιος 2009



Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Τομέας Υλικών, Διεργασιών και Μηχανολογίας

Επιβλέπων Καθηγητής: Παντελής Ν. Μπότσαρης

Παρακολούθηση λειτουργικών παραμέτρων κέντρου κατεργασίας και εκτίμηση φθοράς κοπτικών εργαλείων: περίπτωση διάτρησης

Ηρακλής Γ. Αμοιρίδης
Αρ. Μητρώου 450

Πρόλογος

Στα μέσα του 18ου αιώνα άρχισε στην Αγγλία μια εξέλιξη η οποία μετέτρεψε αυτή τη χώρα σε κέντρο της σύγχρονης τεχνολογίας. Αυτή η εξέλιξη οδήγησε στην εκμηχάνιση της παραγωγής, ένα φαινόμενο που ήταν μέχρι τότε άγνωστο στην Ιστορία. Η εκμηχάνιση με τις αλληπάλληλες δομικές, τις λειτουργικές βελτιώσεις και τις αναδράσεις, οι οποίες προκαλούσαν αλυσιδωτά νεότερες βελτιώσεις, έδωσε τη θέση της στην εκβιομηχάνιση και αυτή με τη σειρά της το έναυσμα για τη βιομηχανική επανάσταση.

Η βιομηχανική επανάσταση, αναμφισβήτητα συντέλεσε στην εξέλιξη της βιομηχανικής παραγωγής, καθώς και στην αυτοματοποίησή της. Τα νέα συστήματα παραγωγής διαθέτουν πλέον υπερσύγχρονες εργαλειομηχανές CNC, οι οποίες αυξάνουν την παραγωγή μεγιστοποιώντας την ποιότητα των προϊόντων. Συνάρτηση της ποιότητας είναι και η φθορά των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιούνται στις κατεργασίες.

Επακόλουθο της αυτοματοποίησης των εργαλειομηχανών, είναι η μείωση της συμμετοχής του ανθρώπινου παράγοντα στις μηχανουργικές κατεργασίες. Η διάγνωση της φθοράς των κοπτικών εργαλείων, δεν γίνεται πλέον από το έμπειρο μάτι του μηχανουργού, αλλά έγκειται στον προγραμματισμό της προληπτικής αλλαγής τους μετά από συγκεκριμένες ώρες χρήσης, συντελώντας στην αύξηση του κόστους παραγωγής. Η επιβάρυνση του κόστους γίνεται μεγαλύτερη από τα τυχαία συμβάντα κατά τη διάρκεια των κατεργασιών. Η θραύση ενός κοπτικού εργαλείου, καθώς και η ραγδαία φθορά πριν από την προγραμματισμένη αλλαγή του, είναι απρόβλεπτα γεγονότα και έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή μη ποιοτικών προϊόντων. Ο χρόνος που απαιτούν τα συστήματα ελέγχου ποιότητας για την εύρεση του πρώτου μη ποιοτικού προϊόντος μέχρι την αντιμετώπιση της αιτίας του, συνήθως

είναι μεγάλος. Οι χρόνοι αυτοί επιβαρύνουν σημαντικά τον τελικό χρόνο παραγωγής του προϊόντος, δημιουργώντας πονοκεφάλους στους Μηχανικούς Παραγωγής και αυξάνοντας σημαντικά το κόστος παραγωγής.

Η λύση βρίσκεται στην εισαγωγή συστημάτων παρακολούθησης και εκτίμησης της κατάστασης των κοπτικών εργαλείων. Η εκτίμηση της φθοράς γίνεται με έμμεσο τρόπο, παρακολουθώντας τα παραγόμενα σήματα κατά τη διάρκεια των κατεργασιών, τα οποία συσχετίζονται με την ύπαρξη φθοράς στα κοπτικά εργαλεία. Μέσω της ανάλυσης των παραπάνω σημάτων, είναι δυνατή η διάγνωση της φθοράς αλλά και ο εκτιμώμενος χρόνος ζωής του κοπτικού εργαλείου.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, επιλέχθηκε η κατεργασία της διάτρησης για τη διάγνωση φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Δεδομένο ότι η διάτρηση είναι η περισσότερο χρησιμοποιούμενη κατεργασία αφαίρεσης υλικού, θεωρήθηκε αναγκαία η μελέτη της. Ο σχεδιασμός, η υλοποίηση και η εγκατάσταση του συστήματος παρακολούθησης και διάγνωσης φθοράς κοπτικών εργαλείων, έγινε στο χώρο του Εργαστηρίου Μηχανολογικού Σχεδιασμού (MeDiLab).

Στο πρώτο Κεφάλαιο γίνεται η γνωριμία με την ιστορία των εργαλειομηχανών, καθώς και οι διάφοροι τύποι φθοράς που συναντώνται στα κοπτικά εργαλεία. Επίσης γίνεται η μελέτη των διαφόρων έμμεσων μεθόδων διάγνωσης φθοράς και η ανάλυση του δυναμικού μοντέλου των παραγόμενων δονήσεων, κατά τη κατεργασία της διάτρησης.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο πραγματοποιείται η ανάλυση του μηχανολογικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού που χρησιμοποιήθηκε στην ανάπτυξη του συστήματος παρακολούθησης φθοράς των κοπτικών εργαλείων.

Το τρίτο Κεφάλαιο πραγματεύεται την ανάλυση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή και πρόσκτηση, την αποθήκευση, καθώς και την ανάλυση των σημάτων για τη εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων διάγνωσης φθοράς.

Στο τέταρτο Κεφάλαιο γίνεται η ανάλυση των σημάτων και η παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Επίσης αξιολογούνται τα μετρούμενα μεγέθη, καθώς και τα εξαγόμενα συμπεράσματα.

Στο πέμπτο και τελευταίο Κεφάλαιο παρουσιάζονται τα γενικά συμπεράσματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Τέλος διατυπώνονται οι προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη και εμπλουτισμό της διπλωματικής και καθορίζονται τα πεδία μελέτης για την πραγματοποίηση των νέων στόχων.

Ηρακλής Αμοιρίδης

Ευχαριστίες

Οφείλω να ευχαριστήσω θερμά για τη βοήθεια που μου προσέφεραν στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας:

Τον κύριο Παντελή Ν. Μπότσαρη, Επίκουρο Καθηγητή της Πολυτεχνικής Σχολής του Δ.Π.Θ., για τη συνεργασία του καθ' όλη την διάρκεια συγγραφής της διπλωματικής εργασίας.

Τον κύριο Ιωάννη Τσανάκα, Υποψήφιο Διδάκτορα του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης του Δ.Π.Θ. για την πολύτιμη και καταλυτική βοήθειά του.

Τον κύριο Δημήτριο Χριστοφορίδη, Ε.Ε.Δ.Ι.Π. του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, για τη μετάδοση των γνώσεων του στη λειτουργία των εργαλειομηχανών CNC.

Τον κύριο Ιωάννη Χατζησάββα, Μεταπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Η/Υ, για τη μετάδοση της τεχνογνωσίας των επιταχυνσιομέτρων.

Την οικογένειά μου, για την υπομονή και την υποστήριξή της.

Πίνακας περιεχομένων

Πρόλογος	i
Ευχαριστίες	iii
Πίνακας περιεχομένων	iv
Πίνακας σχημάτων	ix
Κατάλογος πινάκων	xiii
Περίληψη	xiv
Abstract	xv

Κεφάλαιο 1

Φθορά κοπτικών εργαλείων και έλεγχος φθοράς: περίπτωση διάτρησης	1
Περιεχόμενα	1
1.1 Εισαγωγή	2
1.2 Εργαλειομηχανές – Ιστορική αναδρομή	2
1.3 Δράπανο	5
1.4 Κοπτικά εργαλεία διάτρησης	5
1.5 Τύποι φθοράς κοπτικών εργαλείων	7
1.5.1 Πλευρική φθορά (Flank Wear)	8
1.5.2 Φθορά κρατήρα (Crater Wear)	9
1.5.3 Αποκόλληση (Chipping)	9
1.5.4 Φθορά λόγω ψευδοακμής	10

1.6 Διάρκεια ζωής των κοπτικών	11
1.7 Έλεγχος φθοράς κοπτικών εργαλείων	12
1.7.1 Φθορά κοπτικών εργαλείων διάτρησης	13
1.8 Μέθοδοι ελέγχου φθοράς κοπτικών εργαλείων	15
1.8.1 Μηχανικές Δονήσεις	17
1.8.2 Υπέρυθρη Θερμογραφία	18
1.8.3 Ακουστικές Εκπομπές	19
1.8.4 Ρεύμα του κινητήρα της ατράκτου	20
1.9 Δυναμική των δονήσεων	21
1.10 Σύνοψη	27
1.11 Βιβλιογραφία	28

Κεφάλαιο 2

Τεχνολογικός Εξοπλισμός (Hardware)	30
Περιεχόμενα	30
2.1 Εισαγωγή.....	32
2.2 Ανάλυση εξοπλισμού	32
2.2.1 Κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV-1000	32
2.2.2 Επιταχυνσιόμετρα	34
2.2.2.1 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο	35
2.2.2.2 Δομή τυπικού επιταχυνσιομέτρου	35
2.2.2.3 Επιταχυνσιόμετρα KISTLER τύπου 8702/4B25	36
2.2.2.4 Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων	37
2.2.2.5 Τροφοδοτικό επιταχυνσιομέτρων τύπου 5134B	38
2.2.3 Αισθητήριο θερμοκρασίας	39
2.2.3.1 Λειτουργία υπέρυθρων θερμομέτρων	40
2.2.3.2 IRtec Rayomatic 10	40
2.2.3.3 Εγκατάσταση θερμομέτρου	41
2.2.3.4. Τροφοδοτικό AFX – 9660SB	42
2.2.4 Μικροσκόπιο BioLux AL	44
2.2.5 Αισθητήριο μέτρησης ρεύματος	45
2.2.5.1 Αρχή λειτουργίας μετασχηματιστών	46
2.2.5.2 Μετατροπέας AK 50 C10	48
2.2.5.3 Εγκατάσταση μετατροπέων	49
2.2.6 Φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής	50

2.2.7 Data Acquisition (Μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων)	51
2.2.8 Υπομονάδες μέτρησης (modules)	52
2.2.8.1 NI 9206 αναλογικών εισόδων για μπαταρίες	52
2.2.8.2 NI 9219 24-Bit αναλογικών εισόδων	53
2.2.8.3 NI 9411 ψηφιακών εισόδων	53
2.2.8.4 NI 9233 24-Bit IEPΕ αναλογικών εισόδων	54
2.2.8.5 Εγκατάσταση Data Acquisition (Μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων) και υπομονάδων	54
2.3 Γενική μετρητική διάταξη	55
2.4 Σύνοψη	55
2.5 Βιβλιογραφία	57

Κεφάλαιο 3

Λογισμικό Μετρητικού Συστήματος (Software)	59
Περιεχόμενα	59
3.1 Εισαγωγή	60
3.2 TopSolid 2005	60
3.2.1 Σχεδιασμός και κατεργασία δοκιμίου	61
3.3 LabVIEW 8.0	64
3.3.1 Εικονόργανο λήψης, απεικόνισης και αποθήκευσης δεδομένων	65
3.3.1.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)	65
3.3.1.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)	67
3.3.2 Εικονόργανο στατιστικής ανάλυσης	72
3.3.2.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)	72
3.3.2.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)	73
3.4 Matlab R2008a	76
3.4.1 Κώδικας Matlab R2008a	76
3.5 Λογιστικό πακέτο Microsoft EXCEL	76
3.6 Σύνοψη	77
3.7 Βιβλιογραφία	78

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Μετρήσεων	79
Περιεχόμενα	79
4.1 Εισαγωγή	81
4.2 Παράμετροι πειράματος	82
4.2.1 Υλικό κατεργασίας	82
4.2.2 Γεωμετρία και υλικό τρυπανιού	83
4.2.3 Στροφές ατράκτου / πρόωση κατεργασίας	84
4.2.4 Ρυθμός δειγματοληψίας συλλέκτη δεδομένων (Data Acquisition)	85
4.2.5 Λοιπές παράμετροι	85
4.3 Στρατηγική φθοράς τρυπανιού	86
4.4 Εκτέλεση πειράματος	87
4.5 Προετοιμασία ακατέργαστων δεδομένων (Raw Data)	88
4.6 Επιλογή σετ οπών προς ανάλυση	89
4.7 Τεχνικές ανάλυσης σημάτων	91
4.8 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο ορισμού του χρόνου	91
4.8.1 Αριθμητικός μέσος (Mean)	92
4.8.2 Μέση τετραγωνική τιμή (Root Mean Square RMS)	96
4.8.3 Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)	100
4.8.4 Διακύμανση (Variance)	102
4.8.5 Κύρτωση (Kurtosis)	103
4.8.6 Λοξότητα (Skewness)	106
4.8.7 Μέγιστο (Maximum)	107
4.8.8 Ελάχιστο (Minimum)	108
4.8.9 Εύρος (Range)	108
4.9 Οπτική διάγνωση φθοράς	109
4.10 Σύνοψη	111
4.11 Βιβλιογραφία	112

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και Προτάσεις	114
Περιεχόμενα	114
5.1 Εισαγωγή	115

5.2 Συμπεράσματα	115
5.2.1 Σωστή επιλογή και τοποθέτηση εξοπλισμού	115
5.2.2 Επιλογή του λογισμικού LabVIEW 8.0 ως μέσο απόκτησης και καταγραφής δεδομένων	115
5.2.3 Ανάλυση δεδομένων στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Analysis)	116
5.2.4 Συνδυασμός μεθόδων για την επιτυχημένη διάγνωση	116
5.3 Προτάσεις	117
5.3.1 Χρήση ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z	117
5.3.2 Χρήση ακουστικών εκπομπών	117
5.3.3 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο συχνοτήτων (Frequency Domain)	118
5.3.4 Υπολογισμός του Λόγου Απόλυτης Μέσης Τιμής RAMV (Ratio of the Absolute Mean Value)	118
5.3.5 Δημιουργία συστήματος μέτρησης χρόνου ζωής κοπτικών εργαλείων ...	119
5.3.6 Δημιουργία συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής	120
5.3.7 Χρήση νευρωνικών δικτύων (Neural Networks) και ασαφής λογικής (Fuzzy Logic)	121
5.4 Βιβλιογραφία	122

Παράρτημα Α	123
--------------------------	------------

Παράρτημα Β	133
--------------------------	------------

Πίνακας σχημάτων

Σχήμα 1.1:	(a) Πρότυπα τόρνων του Leonardo da Vinci, (b) σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή με αυτόματο τροφοδότη παλέτας	4
Σχήμα 1.2:	(a) Σύγχρονο χειροκίνητο δράπανο, (b) κάθετο κέντρο κατεργασίας CNC, (c) αυτόματος τροφοδότης κοπτικών εργαλείων	5
Σχήμα 1.3:	Τρυπάνια διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών και υλικών κοπής	6
Σχήμα 1.4:	Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τρυπανιών	7
Σχήμα 1.5:	Ανάπτυξη πλευρικής φθοράς στα κοπτικά εργαλεία	9
Σχήμα 1.6:	Ανάπτυξη φθορά κρατήρα στα κοπτικά εργαλεία	9
Σχήμα 1.7:	Ανάπτυξη ψευδοακμής κατά την κατεργασία	11
Σχήμα 1.8:	Στάδια δημιουργίας ψευροακμής	11
Σχήμα 1.9:	Τα πέντε στάδια εξέλιξης της φθοράς στα κοπτικά εργαλεία	13
Σχήμα 1.10:	Αναπτυσσόμενες δυνάμεις στις έλικες του τρυπανιού	22
Σχήμα 1.11:	Μετατοπίσεις του τρυπανιού στους τρεις άξονες	22
Σχήμα 1.12:	Αναπτυσσόμενη κάμψη λόγω περιστροφής	23
Σχήμα 1.13:	Τροχιά τρυπανιού κατά την περιστροφική κίνηση	23
Σχήμα 1.14:	Σχηματισμός πλευρικών τοιχωμάτων της οπής, αλλαγές του πλέγματος σχηματισμού λόγω μετατοπίσεων	24
Σχήμα 1.15:	Αυξομειώσεις κοπτικών δυνάμεων λόγω μετατοπίσεων	25
Σχήμα 1.16:	Μεταβολές κατά άξονα Z και εναλλασσόμενη αφαίρεση υλικού από τις δύο κοπτικές ακμές	25
Σχήμα 1.17:	Προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου (a) 14,000 rpm με 5.5mm βάθος οπής – πλευρικές δονήσεις, (b) 10,000 rpm με 5.5mm βάθος οπής – στρεπτικές και αξονικές δονήσεις, (c) 11,000 rpm, 5.5mm βάθος οπής – σταθερή διάτρηση	26

Σχήμα 1.18:	Πρόσωπο οπής, (a) 1000 rpm – σταθερή διάτρηση, (b) 12mm βάθος οπής με 400 rpm – αξονικές δονήσεις, (c) 800 rpm – πλευρικές δονήσεις, (d) 800 rpm με 0.3mm/rev – συνδιασμός πλευρικών με αξονικών δονήσεων	27
Σχήμα 2.1:	Κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV – 1000	33
Σχήμα 2.2:	Ελεγκτής κάθετου κέντρου κατεργασίας	34
Σχήμα 2.3:	Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση των πειραμάτων .	34
Σχήμα 2.4:	Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σε κρυστάλλους χαλαζία	35
Σχήμα 2.5:	Δομή τυπικού επιταχυνσιόμετρου	36
Σχήμα 2.6:	Kistler Type 8702/4B25	36
Σχήμα 2.7:	Επιφάνεια τοποθέτησης	37
Σχήμα 2.8:	Εγκατεστημένα επιταχυνσιόμετρα	38
Σχήμα 2.9:	Τροφοδοτικό επιταχυνσιόμετρων τύπου 5134B	38
Σχήμα 2.10:	Κύκλωμα σύνδεσης επιταχυνσιόμετρων στο μετρητικό σύστημα	39
Σχήμα 2.11:	Rayomatic 10 θερμόμετρο υπερύθρων	40
Σχήμα 2.12:	Ηλεκτρονικό κύκλωμα Rayomatic 10	41
Σχήμα 2.13:	Μηχανολογικό σχέδιο στηρίγματος θερμομέτρου	42
Σχήμα 2.14:	Εγκατάσταση θερμομέτρου Rayomatic 10	42
Σχήμα 2.15:	Τροφοδοτικό AFX – 9660SB	43
Σχήμα 2.16:	Συνδεσμολογία θερμομέτρου , τροφοδοτικού και μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων	44
Σχήμα 2.17:	Το μικροσκόπιο BioLux AL	45
Σχήμα 2.18:	Σπειροειδής μετασχηματιστής αναλογίας 1:2	47
Σχήμα 2.19:	Μετατροπέας επαγωγής AK 50 C10	48
Σχήμα 2.20:	Μηχανολογικό σχέδιο μετατροπέα AK 50 C10	48
Σχήμα 2.21:	Συνδεσμολογία ωμικής αντίστασης στην έξοδο τάσης των μετατροπέων	49
Σχήμα 2.22:	Συνδεσμολογία 2 μετατροπέων στον ηλεκτρολογικό πίνακα του SMV-1000	50
Σχήμα 2.23:	Φορητός υπολογιστής LG E200	51
Σχήμα 2.24:	Πλαίσιο στήριξης μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων CompactDAQ – 9172	51
Σχήμα 2.25:	Αναλογική υπομονάδα μέτρησης NI 9206	52
Σχήμα 2.26:	Υπομονάδα γενικών αναλογικών εισόδων NI 9219	53
Σχήμα 2.27:	Υπομονάδα ψηφιακών εισόδων NI 9411	53
Σχήμα 2.28:	Υπομονάδα NI 9233 λήψης σημάτων από επιταχυνσιόμετρα	54
Σχήμα 2.29:	Εγκατεστημένος πίνακας και μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων	55
Σχήμα 2.30:	Γενική άποψη μετρητικής διάταξης	56
Σχήμα 3.1:	Δημιουργία δοκιμίου πειραμάτων	61
Σχήμα 3.2:	Ολοκλήρωση σχεδιασμού του δοκιμίου	62
Σχήμα 3.3:	Τοποθέτηση δοκιμίου στην τράπεζα εργασίας ενός εικονικού κέντρου	

	κατεργασίας	62
Σχήμα 3.4:	Καθορισμός του σημείου αναφοράς (σημείο 0) του δοκιμίου	63
Σχήμα 3.5:	Διαδρομή κοπτικού εργαλείου (tool path), κατά την κατεργασία	63
Σχήμα 3.6:	Όργανα απεικόνισης ρεύματος κινητήρα περιστροφής	65
Σχήμα 3.7:	Όργανα απεικόνισης ρεύματος κινητήρα οδήγησης άξονα Z	66
Σχήμα 3.8:	Όργανα απεικόνισης δονήσεων αξόνων Z και Y	66
Σχήμα 3.9:	Απεικόνιση θερμοκρασίας με τη χρήση εικονικού θερμομέτρου	67
Σχήμα 3.10:	Πλαίσιο ελέγχου λειτουργιών μετρητικού συστήματος	67
Σχήμα 3.11:	Εικονίδιο και παράθυρο βοηθητικού προγράμματος DAQ Assistant ...	68
Σχήμα 3.12:	Διακλαδωτής σημάτων (split signal)	69
Σχήμα 3.13:	Έλεγχος υποδιαγραμμάτων μέσω δομών Case	69
Σχήμα 3.14:	Υποδιάγραμμα ρευμάτων και έλεγχος συνθήκης Case	70
Σχήμα 3.15:	Υποδιάγραμμα μετατροπής ρεύματος πυρομέτρου σε θερμοκρασία	70
Σχήμα 3.16:	Υποδιάγραμμα εμφάνισης δονήσεων στο παράθυρο γραφικών	71
Σχήμα 3.17:	Παράθυρο παραμετροποίησης επιταχυνσιόμετρων του DAQ Assistant	71
Σχήμα 3.18:	Υποδιάγραμμα αποθήκευσης δεδομένων και παράθυρο το παραμετροποίησης	72
Σχήμα 3.19:	Παράθυρο απεικόνισης στατιστικών μεγεθών	73
Σχήμα 3.20:	Εικονίδιο και παράθυρο παραμετροποίησης στατιστικών	74
Σχήμα 3.21:	Τελικό διάγραμμα εικονογράφου στατιστικής επεξεργασίας	75
Σχήμα 4.1:	Τρυπάνι HSS κοβαλτίου 5%	83
Σχήμα 4.2:	Στρατηγική φθοράς κοπτικού εργαλείου	87
Σχήμα 4.3:	Συντεταγμένες οπών στο κομμάτι κατεργασίας	88
Σχήμα 4.4:	Μορφή αποθηκευμένης ακατέργαστης γραμμής (Raw Data) των δονήσεων	89
Σχήμα 4.5:	Δονήσεις οπής A4 μετά την αρχική επεξεργασία διάσπασης	89
Σχήμα 4.6:	Σετ οπών διαγωνίου (πράσινο) και σετ οπών καμπύλης (πορτοκαλί) προς ανάλυση	90
Σχήμα 4.7:	Δονήσεις με συμμετρία ως προς τον άξονα X	93
Σχήμα 4.8:	Δονήσεις κατά την υπερφόρτωση επιταχυνσιόμετρων και έλλειψη συμμετρίας	93
Σχήμα 4.9:	Γράφημα αριθμητικών μέσων δονήσεων	94
Σχήμα 4.10:	Γράφημα μέσων όρων θερμοκρασίας περιοχής κοπής	96
Σχήμα 4.11:	Γράφημα μέσου όρου τιμών RMS των δονήσεων στα κομμάτια κατεργασίας	98
Σχήμα 4.12:	Γράφημα μέσου όρου τιμών RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής στα κομμάτια κατεργασίας	100
Σχήμα 4.13:	Μέσος όρος τυπικών αποκλίσεων θερμοκρασίας των κομματιών κατεργασίας	101
Σχήμα 4.14:	Γράφημα αριθμητικού μέσου της διακύμανσης (g) των δονήσεων	103
Σχήμα 4.15:	Τιμή κύρτωσης απουσία αιχμών	104
Σχήμα 4.16:	Τιμή κύρτωσης παρουσία μίας αιχμής	105

Σχήμα 4.17:	Τιμή κύρτωσης παρουσία 98 αιχμών	105
Σχήμα 4.18:	Γράφημα αριθμητικού μεσου της κύρτωσης (g) των δονήσεων	106
Σχήμα 4.19:	Μέγιστες τιμές δονήσεων σετ διαγωνίου, για κάθε κομμάτι κατεργασίας	107
Σχήμα 4.20:	Μέγιστες τιμές δονήσεων σετ καμπύλης, για κάθε κομμάτι κατεργασίας	108
Σχήμα 4.21:	Εύρος δονήσεων του σετ διαγωνίου στα κομμάτια κατεργασίας	109
Σχήμα 4.22:	Κοπτικές ακμές καινούριου τρυπανιού, (a) κοπτική ακμή, (b) γωνία κοπτικής ακμής, (c) γωνία κοπτικής ακμής, (d) γωνία ακίδος	110
Σχήμα 4.23:	Φθορά κοπτικού εργαλείου (a) φθορά κρατήρα στην γωνία κοπτικής ακμής, (b) φθορά στη γωνία κοπτικής ακμής, (c) φθορά στη γωνία κοπτικής ακμής, (d) πλευρική φθορά κοπτικής ακμής	110
Σχήμα 4.24:	Επιφάνεια οπής (a) τρυπάνι χωρίς φθορά, (b) τρυπάνι με φθορά – αξονικές δονήσεις, (c) τρυπάνι με φθορά – πλευρικές και αξονικές δονήσεις, (d) τρυπάνι με φθορά – πλευρικές και αξονικές δονήσεις κατά τη διάτρηση της τελευταίας οπής του πειράματος.....	111
Σχήμα 5.1:	Γραφική απεικόνιση συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής	121

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1.1:	Προτεινόμενοι εκθέτες υπολογισμού διάρκειας ζωής, κατά Β. Κ. Srinivas	12
Πίνακας 2.1:	Διαφορές πιεζοηλεκτρικών υλικών [4]	35
Πίνακας 2.2:	Συναρτήσεις ρεύματος των μετασχηματιστών	45
Πίνακας 4.1:	Μηχανικές ιδιότητες και χημική σύσταση λαμαρίνας XAR 450	82
Πίνακας 4.2:	Παράμετροι πειράματος	86
Πίνακας 4.3:	Συνθήκες κοπής σε κάθε κομμάτι κατεργασίας	87
Πίνακας 4.4:	Αριθμητικοί μέσοι δονήσεων οπών του σετ διαγωνίου	94
Πίνακας 4.5:	Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το πρώτο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 1)	95
Πίνακας 4.6:	Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το δεύτερο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 2)	95
Πίνακας 4.7:	Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το τέταρτο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 4)	96
Πίνακας 4.8:	Τιμές RMS των δονήσεων του πρώτου κομματιού κατεργασίας	97
Πίνακας 4.9:	Τιμές RMS των δονήσεων του δεύτερου κομματιού κατεργασίας	97
Πίνακας 4.10:	Τιμές RMS των δονήσεων του τέταρτου κομματιού κατεργασίας	98
Πίνακας 4.11:	Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του πρώτου κομματιού κατεργασίας	99
Πίνακας 4.12:	Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του δεύτερου κομματιού κατεργασίας	99
Πίνακας 4.13:	Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του τέταρτου κομματιού κατεργασίας	100
Πίνακας 4.14:	Διακύμανση (g) δονήσεων των δύο σετ ανάλυσης	102
Πίνακας 4.15:	Κύρτωση (g) δονήσεων των δύο σετ ανάλυσης	105

Περίληψη

Η παρούσα διπλωματική εργασία πραγματεύεται το σχεδιασμό και την υλοποίηση ενός συστήματος παρακολούθησης λειτουργικών παραμέτρων μιας εργαλειομηχανής CNC, με σκοπό τη διάγνωση φθοράς στα κοπτικά εργαλεία κατά την κατεργασία της διάτρησης. Έγινε η συλλογή και πρόσκτηση σημάτων των παραγόμενων δονήσεων της διάτρησης, της θερμοκρασίας στην περιοχή κοπής και του ρεύματος κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z. Τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα αναλύθηκαν και μελετήθηκαν στο πεδίο του χρόνου για την εξαγωγή ασφαλών συμπερασμάτων. Τέλος, τα συμπεράσματα επαληθεύονται με οπτική μέθοδο.

Λέξεις – Κλειδιά: Σύστημα παρακολούθησης λειτουργικών παραμέτρων, Δονήσεις διάτρησης, Θερμοκρασία κοπτικού εργαλείου, Ρεύμα κινητήρα περιστροφής, Ρεύμα κινητήρα πρόωσης άξονα Z, Φθορά κοπτικού εργαλείου, Ανάλυση στο πεδίο του χρόνου.

Abstract

“Condition Monitoring System in Machine Center and Tool Wear Estimation - Case Study: Drilling”

Thesis submitted to the Department of Production and Management Engineering,
School of Engineering, Democritus University of Thrace, Greece, on July 2009

for the degree

Diploma in Production and Management Engineering (Dip. Eng.)

Supervisor: Ass. Prof. P. N. Botsaris

This thesis treats the design and implementation of a monitoring system for the functional parameters of a CNC machine, in order to determine the tool wear during the drilling process. Data was acquired from the vibration signals, tool temperature, spindle motor current and Z axis feed drive current. The recorded results were analyzed and studied in the time domain to draw safer conclusions. Finally the conclusions are verified using an optical method.

Keywords: Condition monitoring system, Drilling vibrations, Tool temperature, Spindle motor current, Z feed drive current, Tool wear, Time domain analysis.

Αφιερώνεται στην δασκάλα μου της Α' Δημοτικού
Κυρία Ζωή

Κεφάλαιο 1

Φθορά κοπτικών εργαλείων και έλεγχος φθοράς: περίπτωση διάτρησης

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	1
1.1 Εισαγωγή	2
1.2 Εργαλειομηχανές – Ιστορική αναδρομή	2
1.3 Δράπανο	5
1.4 Κοπτικά εργαλεία διάτρησης	5
1.5 Τύποι φθοράς κοπτικών εργαλείων	7
1.5.1 Πλευρική φθορά (Flank Wear)	8
1.5.2 Φθορά κρατήρα (Crater Wear)	9
1.5.3 Αποκολλήση (Chipping)	9
1.5.4 Φθορά λόγω ψευδοακμής	10
1.6 Διάρκεια ζωής των κοπτικών	11
1.7 Έλεγχος φθοράς κοπτικών εργαλείων	12
1.7.1 Φθορά κοπτικών εργαλείων διάτρησης	13
1.8 Μέθοδοι ελέγχου φθοράς κοπτικών εργαλείων	15
1.8.1 Μηχανικές Δονήσεις	17
1.8.2 Υπέρυθρη Θερμογραφία	18
1.8.3 Ακουστικές Εκπομπές	19
1.8.4 Ρεύμα του κινητήρα της ατράκτου	20
1.9 Δυναμική των δονήσεων	21
1.10 Σύνοψη	27
1.11 Βιβλιογραφία	28

1.1 Εισαγωγή

Η διάνοιξη οπών είναι αναμφισβήτητα η συνηθέστερη και ευρέως χρησιμοποιούμενη κατεργασία αφαίρεσης υλικού στη μηχανουργική παραγωγή, από τη βιομηχανική επανάσταση μέχρι και σήμερα. Έχει αναφερθεί ότι η διαδικασία της διάτρησης είναι η πλέον διαδεδομένη μεταξύ της τόννευσης, του φρεζαρίσματος και της λείανσης, φτάνοντας το 40% των κατεργασιών αφαίρεσης υλικού στην αεροναυπηγική βιομηχανία [1].

Με την εισαγωγή και τη χρήση των αυτόματων εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (Computer Numerical Control, CNC) στη βιομηχανική παραγωγή, η διαδικασία της διάτρησης έγινε αυτόματη όπως και οι υπόλοιπες κατεργασίες. Λόγω των εξελιγμένων συστημάτων που διαθέτουν οι σημερινές εργαλειομηχανές, οι χρόνοι κατεργασίας μειώθηκαν σε μεγάλο βαθμό, αυξάνοντας ταυτόχρονα την προαπαιτούμενη ποιότητα η οποία είναι ο βασικός στόχος των βιομηχανιών.

Συνέπεια της αυτοματοποίησης των κατεργασιών, είναι ο περιορισμός της ανάγκης σε ανθρώπινο παράγοντα κατά τη χρονική διάρκεια λειτουργίας των εργαλειομηχανών. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην γίνεται άμεσα η εκτίμηση της φθοράς των κοπτικών εργαλείων από τον άνθρωπο, αλλά να σχεδιάζονται στρατηγικές συντήρησης, στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η αλλαγή κοπτικών εργαλείων, σε συγκεκριμένα χρονικά διαστήματα. Καθώς είναι αδύνατη η πρόβλεψη τυχαίων συμβάντων κατά τις κατεργασίες, οι οποίες συντελούν στην θραύση των κοπτικών εργαλείων, η παραγωγή πολλές φορές διακόπτεται απρόσμενα με αποτέλεσμα τη σπατάλη χρόνου και αύξηση του κόστους παραγωγής.

Για το λόγο αυτό, είναι αναγκαία προϋπόθεση η χρήση μετρητικών διατάξεων παρακολούθησης των λειτουργικών παραμέτρων των εργαλειομηχανών, κατά τις κατεργασίες. Έτσι με τη χρήση άμεσων ή έμμεσων μεθόδων πρόγνωσης και διάγνωσης της φθοράς, καθίσταται δυνατή η ακριβής χρονική στιγμή αλλαγής των κοπτικών εργαλείων.

1.2 Εργαλειομηχανές – Ιστορική αναδρομή

Εργαλειομηχανές ονομάζονται οι μηχανές σταθερής θέσης με εξωτερική κίνηση, με τις οποίες πραγματοποιείται η επεξεργασία τεμαχίων στερεού υλικού (ξύλο, μέταλλο, κ.α.) για την δημιουργία διαφόρων προϊόντων. Η γνωστότερη από τους αρχαίους χρόνους εργαλειομηχανή είναι ο τόρνος, καθώς και οι υπόλοιπες που

έκαναν την εμφάνισή τους σε προγενέστερους αιώνες είναι το δράπανο, η φρέζα, η πλάνη, η πρέσα κ.ά.

Έχουν διασωθεί γραφικές αποτυπώσεις που παριστάνουν τεχνικούς στη Μεσοποταμία και την αρχαία Αίγυπτο να χειρίζονται ένα είδος τόννου, δηλαδή μιας «μηχανής» που περιστρέφει (με τη μυϊκή δύναμη του βοηθού, συνήθως δούλου) το προς επεξεργασία αντικείμενο και ο χειριστής να επεμβαίνει στη μορφή του προς διαμόρφωση αντικειμένου. Αντίστοιχες παραστάσεις βρέθηκαν στην Κίνα, στην αρχαία Ελλάδα και άλλες περιοχές της Ευρώπης και της Ασίας. Σημαντικά δημιουργήματα με χρήση τόννου έχουν διασωθεί από τους Κέλτες και τους Ετρούσκους. Συνηθέστερη και πρωταρχική μορφή αυτής της διαδικασίας επεξεργασίας είναι η διαμόρφωση με τα χέρια πήλινων κεραμικών στον περιστρεφόμενο τροχό.

Βέβαια, η σύγχρονη ιστορία των εργαλειομηχανών άρχισε το έτος 1775 στην πρώτη Βιομηχανική Επανάσταση, όταν ο Άγγλος John Wilkinson (1728-1808) κατασκεύασε ένα οριζόντιο δράπανο (φρεζοδράπανο) για την επεξεργασία των εσωτερικών επιφανειών πυροβόλων. Η κινητήρια δύναμη της μηχανής του ερχόταν από ένα υδροτροχό. Ο Henry Maudslay (1771-1831) κατασκεύασε το 1794 ένα μεταλλικό τόννο με αυτοδύναμη προώθηση του κοπτικού εργαλείου. Στη συνέχεια κατασκεύασε ο ίδιος διάφορους όμοιους τόννους με μεταβαλλόμενη ταχύτητα περιστροφής, καθώς επίσης κοπτικές μηχανές για σπειρώματα και γρανάζια.

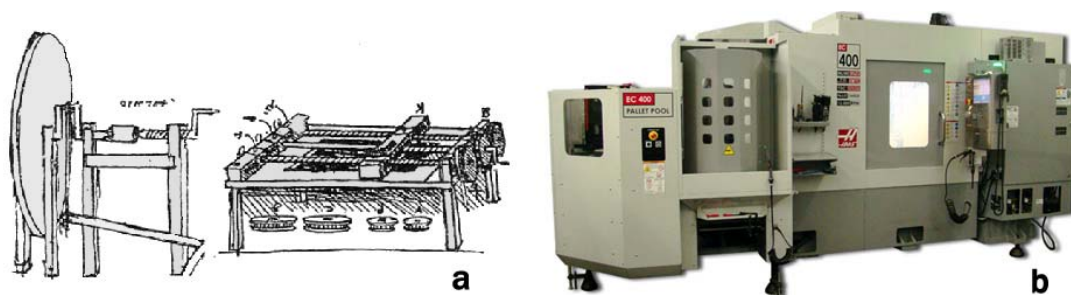
Ο James Watt κατασκεύασε στη δεκαετία του 1810 ένα παντογράφο, μια μηχανή που χρησιμοποιείται συχνά και σήμερα για να «αντιγράφει» ανάγλυφες επιφάνειες (νομίσματα κ.ά.) και ο Thomas Blanchard (1788-1864) κατασκεύασε ένα τόννο, στον οποίο το κοπτικό εργαλείο καθοδηγείτο από μια επαφή που «ακολουθούσε» ένα προκατασκευασμένο υπόδειγμα. Με τον τρόπο αυτό κατασκεύαζε ο Μπλάνσαρντ κανές μικρών όπλων. Στη δεκαετία του 1840 κατασκευάστηκε ο πρώτος αυτόματος τόννος (ρεβόλβερ), στον οποίο το εργαλειοφορείο έχει επάνω του όλα τα κοπτικά εργαλεία. Με μια περιστροφή του φορείου έρχεται το κατάλληλο εργαλείο σε θέση εργασίας και εξοικονομείται έτσι σημαντικός χρόνος.

Σημαντική στον τομέα των εργαλειομηχανών ήταν στα μέσα του 19ου αιώνα η συμβολή του Άγγλου Joseph Whitworth (1803-1887), ο οποίος ασχολήθηκε με κατασκευές οργάνων μετρήσεως και σπειρωμάτων. Ο σημαντικός αυτός μηχανικός δημιούργησε, εκτός από τις τεχνικές κατασκευές, και τις αρχές της τυποποίησης, σύμφωνα με την οποία, κάθε τεχνικό εξάρτημα που είχε μελετηθεί και δοκιμαστεί, έπρεπε να κατασκευάζεται, ανεξάρτητα από την υπόλοιπη μηχανή, με ακριβείς προδιαγραφές και σχέδια που προέβλεπαν διαστάσεις, ανοχές κλπ. Έτσι, κάθε εξάρτημα σε μια μηχανή θα ήταν εύκολο να αντικατασταθεί, σε περίπτωση βλάβης, με ένα ανταλλακτικό, ακριβώς ίδιο. Με αυτές τις ιδέες του Whitworth περνάει η

μηχανουργία από τη βιοτεχνική στη βιομηχανική εποχή, κατά την οποία η μηχανολογική παραγωγή μαζικοποιείται. Το όνομα του πρωτοπόρου αυτού τεχνικού έχει δοθεί σε ένα τυποποιημένο σπείρωμα (Whitworth thread, -Gewinde) που στηρίζεται σε ίντσες και είναι διαδεδομένο κυρίως στον αγγλοσαξονικό χώρο. Στην ηπειρωτική Ευρώπη κυριαρχεί το μετρικό σπείρωμα που βασίζεται στο δεκαδικό σύστημα.

Η ραγδαία εξέλιξη των εργαλειομηχανών έδωσε τη δυνατότητα, αφενός για μαζική παραγωγή τυποποιημένων προϊόντων, αφετέρου για ακριβείς κατασκευές, με αποτέλεσμα να αρχίσουν να προσφέρονται στην αγορά τεχνολογικά προϊόντα σε όλο και χαμηλότερες τιμές. Οι αυξημένες πωλήσεις οδηγούσαν σε υψηλά έσοδα, τα οποία σε μεγάλο βαθμό επενδύονταν σε όλο και καλύτερες μηχανές κ.ο.κ. Αυτή η συνεχής κλιμάκωση οδήγησε τις επινοήσεις και την παραγωγή σε ένα απρόβλεπτα υψηλό σημείο. Πέρα απ' αυτά, η ακρίβεια των εργαλειομηχανών διευκόλυνε την παραγωγή ήδη κατά το 19ο αιώνα υψηλής ποιότητας λεπτομηχανικών κατασκευών, όπως όργανα μετρήσεως, ρολόγια, βελτιωμένα μουσικά όργανα, μικρά όπλα κ.ά. [2].

Με την εμφάνιση του πρώτου υπολογιστή, στις αρχές τις δεκαετίας του 50, άρχισαν οι πρώτες προσπάθειες αυτοματοποίησης των εργαλειομηχανών. Έτσι το 1952 ο J. Parsons από το Τεχνολογικό Ινστιτούτο της Μασαχουσέτης (MIT), εφηύρε ένα σύστημα για τον άμεσο έλεγχο της θέσης των ατράκτων στις εργαλειομηχανές, μέσω εξόδων μιας υπολογιστικής μηχανής. Η επιτυχία βασίστηκε στη χρήση σερβοκινητήρων για την κίνηση των αξόνων της μηχανής, με βάση τα σήματα εισόδου. Δύο χρόνια αργότερα, το 1954, η εταιρία Bendix ξεκίνησε την παραγωγή των πρώτων εργαλειομηχανών αυτομάτου ελέγχου. Με τη ραγδαία εξέλιξη των υπολογιστικών συστημάτων τα τελευταία 60 χρόνια, οι νέες εργαλειομηχανές έφτασαν σε υψηλό επίπεδο ακρίβειας, ποιότητας και χρόνου κατεργασίας (Σχήμα 1.1).



Σχήμα 1.1: (a) Πρότυπα τόνων του Leonardo da Vinci, (b) σύγχρονη CNC εργαλειομηχανή με αυτόματο τροφοδότη παλέτας

1.3 Δράπανο

Η χρησιμοποιούμενη εργαλειομηχανή στην κατεργασία της διάτρησης είναι το δρέπανο. Στη βασική του μορφή το δρέπανο αποτελείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα, ο οποίος μέσω ενός κιβωτίου ταχυτήτων μεταδίδει περιστροφική κίνηση σε έναν άξονα συνήθως κατακόρυφο. Στο κατώτερο σημείο του άξονα υπάρχει ένα σύστημα πρόσδεσης του κοπτικού εργαλείου, το οποίο ονομάζεται τσοκ. Ο άξονας του δρεπάνου εκτός από την περιστροφική κίνηση, έχει επίσης τη δυνατότητα να κινείται κατακόρυφα ρυθμίζοντας το βάθος της οπής που δημιουργείται από την κίνηση του κοπτικού εργαλείου [3] (Σχήμα 1.2a).

Βέβαια για την αυτοματοποιημένη διάτρηση οπών χρησιμοποιούνται στις μέρες μας τα σύγχρονα κέντρα κατεργασίας (Σχήμα 1.2b), τα οποία έχουν τη δυνατότητα εκτέλεσης διαφόρων σύνθετων κατεργασιών. Διαθέτουν εργαλειοφορείς για την αυτόματη τοποθέτηση και αποθήκευση των κοπτικών εργαλείων (Σχήμα 1.2c), επιταχύνοντας τη διαδικασία μετάβασης από μια κατεργασία στην άλλη.

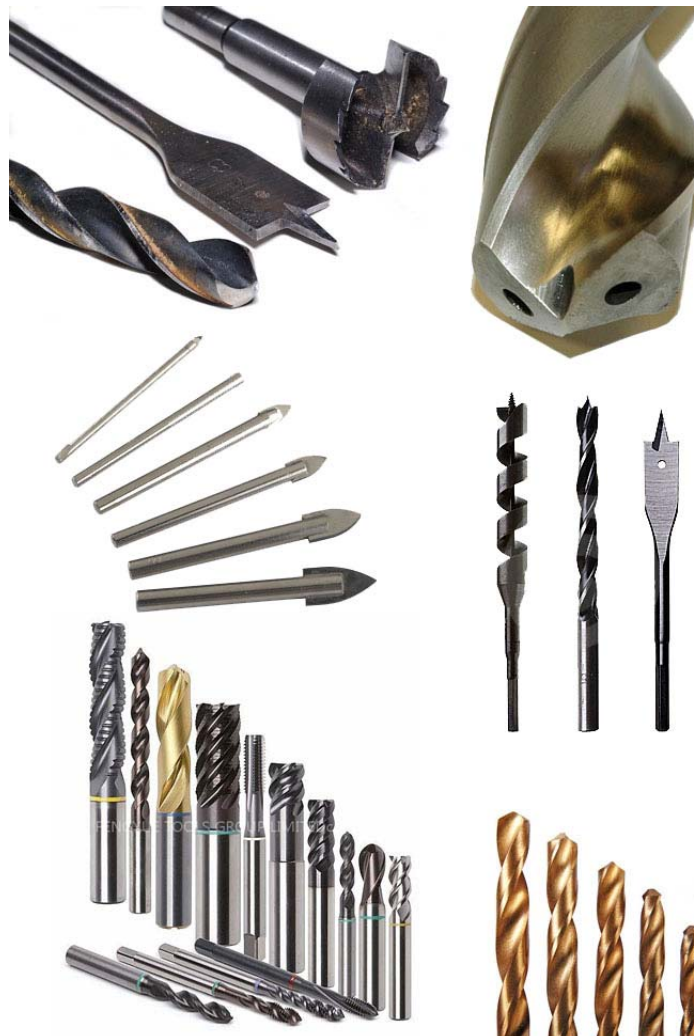


Σχήμα 1.2: (a) Σύγχρονο χειροκίνητο δρέπανο, (b) κάθετο κέντρο κατεργασίας CNC, (c) αυτόματος τροφοδότης κοπτικών εργαλείων

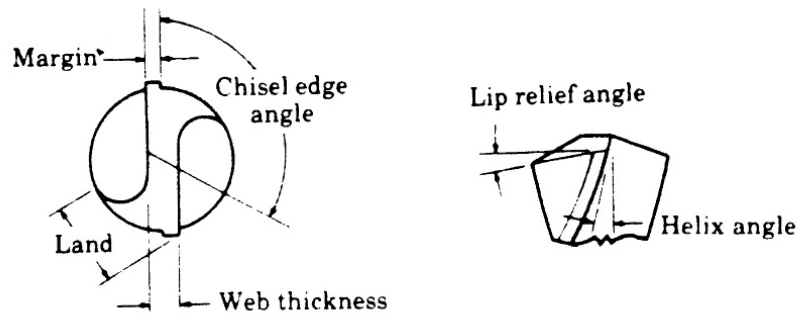
1.4 Κοπτικά εργαλεία διάτρησης

Κατά τη κατεργασία της διάτρησης χρησιμοποιούνται πολλών μορφών τρυπάνια [4] (Σχήμα 1.3) τα οποία συνήθως διαθέτουν δύο κύριες κοπτικές ακμές (περυγία), μια ακμή κορυφής όπου συναντώνται οι κύριες κοπτικές ακμές, καθώς και δευτερεύουσες ακμές περιφερειακά στον κύλινδρο συνήθως ελικοειδείς. Διαθέτουν επίσης αύλακες διαμέσου των οποίων απομακρύνεται το απόβλητο της κατεργασίας. Εκτός των γωνιών αποβλήτου και ελευθερίας που μεταβάλλονται κατά μήκος της κύριας κοπτικής ακμής με την απόσταση από τον άξονα του τρυπανιού

μεταβάλλεται επίσης και η ταχύτητα κοπής. Χαρακτηριστικά γεωμετρικά στοιχεία ενός τρυπανιού αποτελούν και οι γωνίες έλικος και ελευθερίας χειλέων, όπως επίσης και η γωνία της ακμής κορυφής (chisel edge angle) (Σχήμα 1.4). Επίσης βασικό ρόλο για την ορθή επιλογή τρυπανιού για κάθε κατεργάσιμο υλικό παίζει η γωνία κορυφής του τρυπανιού, η οποία για το τυπικό ελικοειδές τρυπάνι είναι ίση με 118° . Πρέπει βέβαια να σημειωθεί η μεγάλη ποικιλία τρυπανιών με αντίστοιχες μεταβολές στα παραπάνω αναφερθέντα γεωμετρικά χαρακτηριστικά: τρυπάνια με ελικοειδή ή ευθέα αυλάκια, με δύο ή τρία περύγια, δεξιόστροφα ή αριστερόστροφα, για διάνοιξη ή διεύρυνση οπών, με αξονική οπή για τροφοδότηση με λιπαντικό (βαθιάς οπής), τύπου «φτυαριού», με μικρό ή μεγάλο βήμα έλικος, με κωνικότητα ή μη, κεντραδόροι, καθώς και πολλοί ειδικοί τύποι τρυπανιών για συγκεκριμένους κλάδους της βιομηχανίας.



Σχήμα 1.3: Τρυπάνια διαφόρων γεωμετρικών χαρακτηριστικών και υλικών κοπής



Σχήμα 1.4: Γεωμετρικά χαρακτηριστικά τρυπανιών

1.5 Τύποι φθοράς κοπτικών εργαλείων

Η φθορά κοπτικών εργαλείων περιγράφει τη βαθμιαία αστοχία των κοπτικών εργαλείων υπό κανονικές συνθήκες λειτουργίας. Είναι ένας όρος που συνδέεται συχνά με αιχμηρά εργαλεία (μαχαίρια), κονδύλια ή τρυπάνια που χρησιμοποιούνται σε εργαλειομηχανές.

Η φθορά των τρυπανιών είναι μια προοδευτική διαδικασία η οποία πραγματοποιείται στο εξωτερικό περιθώριο των ραβδώσεων του τρυπανιού. Παρουσιάζεται λόγω της άμεσης επαφής και των υψηλών θερμοκρασιών στην επαφή κοπτικού εργαλείου – προς κατεργασία κομματιών. Εντούτοις, κάτω από σταθερές συνθήκες κοπής, η αστοχία τρυπανιών είναι μια πιθανολογική (στοχαστική) διαδικασία. Αυτό οφείλεται στις ανομοιογένειες των υλικών των προς κατεργασία κομματιών και των τρυπανιών, στη μη ομαλή κοπτική κίνηση και στην αναπόφευκτη ασυμμετρία των τεμνόμενων άκρων κατά τη διάρκεια της λείανσης.

Ένας σημαντικός παράγοντας που πρέπει να ληφθεί υπόψη σε μια εργαλειομηχανή είναι η δυνατότητά της να απομακρύνει τα γρέζια που παράγονται κατά την κοπτική διαδικασία. Εάν τα γρέζια δεν απομακρυνθούν το γρηγορότερο μετά την παραγωγή τους οι ραβδώσεις θα «μπουκώσουν» και αυτό θα παρεμποδίσει την αποτελεσματική κοπή προκαλώντας δόνηση, υπερθέρμανση και συνεπώς φθορά του κοπτικού. Αρκετοί παράγοντες επηρεάζουν την απομάκρυνση ρινισμάτων, συμπεριλαμβανομένου του βάθους και της γωνίας των ραβδώσεων, του μεγέθους και της μορφής των γρεζιών, της ροής του ψυκτικού και του περιβάλλοντος υλικού.

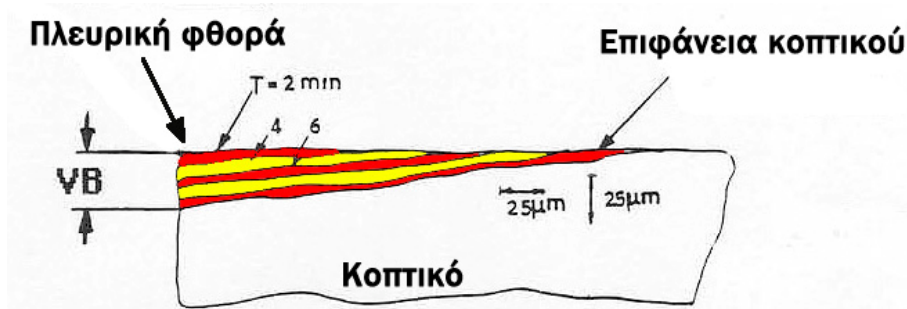
Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι φθοράς κοπτικών εργαλείων: i) η προοδευτική και ii) η καταστροφική [4]. Ο πρώτος τύπος είναι συνδεδεμένος με την προοδευτική εξέλιξη φαινομένων που εμφανίζονται ως προοδευτική απώλεια υλικού σε συγκεκριμένα σημεία του εργαλείου (πεδίο φθοράς, κρατήρας και μικρο-αποκολλήσεις) ενώ ο δεύτερος τύπος εμφανίζεται ως θραύση ή πλαστική

παραμόρφωση του εργαλείου και συμβαίνει είτε απότομα είτε ως επακόλουθο του πρώτου τύπου. Με τη στενή έννοια του όρου ως φθορά χαρακτηρίζεται μόνο ο πρώτος τύπος. Γενικά, οι παράγοντες που επηρεάζουν τη φθορά κοπτικών εργαλείων είναι πολλοί και διαφέρουν ανάλογα με το είδος και τις συνθήκες κοπής, καθώς και με το ζεύγος υλικών τεμαχίου-εργαλείου. Παρόλα αυτά, τρεις από αυτούς είναι καθοριστικοί:

- Η σκληρότητα του εργαλείου σε σχέση με το τεμάχιο και μάλιστα σε υψηλή θερμοκρασία (όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μικρότερη είναι η φθορά του εργαλείου)
- Η τάση που δείχνουν τα υλικά τεμαχίου – εργαλείου για «συγκόλληση» με διάφορους φυσικο-χημικούς μηχανισμούς (όσο μεγαλύτερη είναι αυτή, τόσο μεγαλύτερη είναι η φθορά του εργαλείου). Με αυτή την τάση συνδέεται και η δημιουργία ψευδο-ακμής (Built-up Edge) που αρχίζει με την προσκόλληση στρώματος υλικού του τεμαχίου στην ακμή κοπής, συνεχίζεται με την απόθεση νέων στρωμάτων (αυξημένης σκληρότητας σε σχέση με το τεμάχιο), τα οποία κάποια στιγμή θραύονται σε κομμάτια, ένα ποσοστό από τα οποία προσκολλώνται στην κατεργασμένη επιφάνεια και την καταστρέφουν. Η ψευδοακμή αλλάζει τη γεωμετρία του εργαλείου. Μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας, την αύξηση της γωνίας αποβλήτου, τη χρήση υγρού κοπής και αύξηση της ακτίνας καμπυλότητας της κορυφής του εργαλείου.
- Η θερμική αγωγιμότητα του εργαλείου, έτσι ώστε στην ιδανική περίπτωση να απάγεται εύκολα η θερμότητα.

1.5.1 Πλευρική φθορά (Flank Wear)

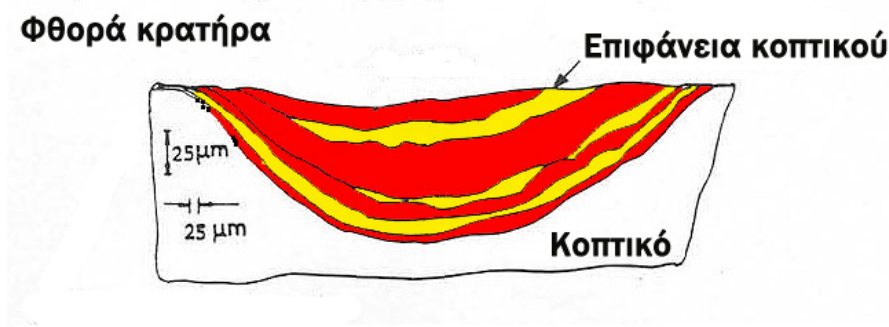
Η πλευρική φθορά αναπτύσσεται στην πλευρά του εργαλείου που ορίζει τη γωνία ελευθερίας (Σχήμα 1.5). Οφείλεται στην ολίσθηση / τριβή του εργαλείου επάνω στο τεμάχιο και συνδέεται με μηχανισμούς συγκόλλησης (Adhesion) και διάβρωσης / τριβής (Abrasion), που ενισχύονται από τις μεγάλες θερμοκρασίες της κοπής. Η πλευρική φθορά προκαλεί σταδιακή μείωση του βάθους κοπής. Συνήθως η διάρκεια ζωής του εργαλείου αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο όριο μέσης πλευρικής φθοράς VB [4].



Σχήμα 1.5: Ανάπτυξη πλευρικής φθοράς στα κοπτικά εργαλεία

1.5.2 Φθορά κρατήρα (Crater Wear)

Η φθορά κρατήρα εμφανίζεται στην πλευρά του εργαλείου που ορίζει τη γωνία αποβλήτου [4] (Σχήμα 1.6). Σε αυτή την περιοχή αναπτύσσονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες, όπως και οι μηχανικές τάσεις κατά την κοπή. Μέγιστη φθορά παρατηρείται μάλιστα στο σημείο όπου η θερμοκρασία κατά την κοπή είναι μέγιστη. Ο μηχανισμός φθοράς είναι διαφορετικός από αυτήν της πλάγιας φθοράς σε περιβάλλον υψηλών πιέσεων και θερμοκρασιών (υψηλών ταχυτήτων κοπής) και σχετίζεται με τη διάχυση ατόμων. Ο κρατήρας δεν επηρεάζει άμεσα την ακρίβεια της κοπής, όσο την αντοχή της κοπτικής ακμής με ενδεχόμενο αποτέλεσμα τη θραύση του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 1.6: Ανάπτυξη φθορά κρατήρα στα κοπτικά εργαλεία

1.5.3 Αποκολλήσεις (Chipping)

Οι αποκολλήσεις όταν συμβαίνουν μικροσκοπικά εμπίπτουν στη φθορά, ενώ όταν συμβαίνουν μακροσκοπικά εμπίπτουν στην καταστροφική θραύση του κοπτικού εργαλείου [4]. Οφείλονται σε μηχανικές διαταραχές που παρατηρούνται στη διακοπόμενη κοπή, αλλά και στη θερμική κόπωση που παρουσιάζεται στη

συνεχόμενη κοπή. Στη δεύτερη περίπτωση παρατηρούνται ρωγμές κάθετες στην κοπτική ακμή.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει τα φαινόμενα αποκολλήσεων, είναι η μικρή γωνία σφήνας του εργαλείου που αδυνατίζει την περιοχή της κοπτικής ακμής και αυξάνει τις πιθανότητες τέτοιων φαινομένων.

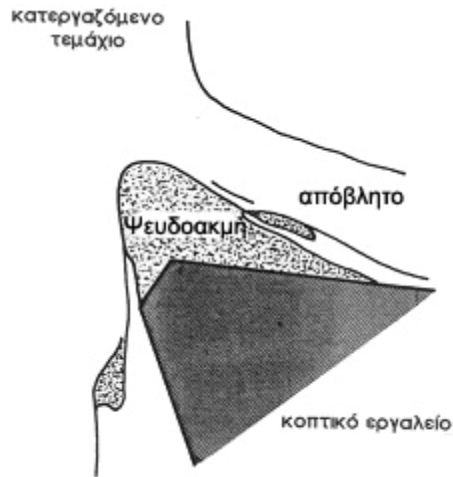
1.5.4 Φθορά λόγω ψευδοακμής

Κατά την διαδικασία δημιουργίας του αποβλήτου (γρεζιού), υπό κατάλληλες προϋποθέσεις, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί στην κόψη του εργαλείου η ψευδοακμή [5]. Πρόκειται για σφηνοειδές, ασύμμετρο σώμα από ισχυρά παραμορφωμένο και σκληρυμένο υλικό του τεμαχίου, όπως φαίνεται στο Σχήμα 1.7. Η ψευδοακμή δημιουργείται από αλεπάλληλα στρώματα υλικού του τεμαχίου, που προσκολλώνται στην επιφάνεια του κοπτικού εργαλείου.

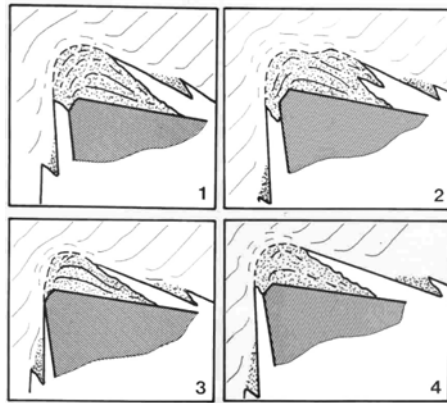
Η ψευδοακμή αναπτύσσεται καθώς η κοπή προχωρεί. Όταν αποκτά ένα ορισμένο μέγεθος, αποχωρίζονται από το σώμα της, λόγω των δυνάμεων κοπής, μικρά κομμάτια τα οποία προσκολλώνται είτε στο απόβλητο που ρέει, είτε στην νεοσχηματισμένη επιφάνεια του τεμαχίου. Ο περιοδικός αυτός σχηματισμός και τεμαχισμός της ψευδοακμής φαίνεται στο Σχήμα 1.8, όπου παρατηρείται στην φάση 2 ο διαχωρισμός της ψευδοακμής προς το απόβλητο και την κατεργασμένη επιφάνεια του τεμαχίου, τεμαχισμός που ολοκληρώνεται στη συνέχεια.

Η ύπαρξη της ψευδοακμής χειροτερεύει την ποιότητα της κατεργασμένης επιφάνειας, ενώ η συμπεριφορά της ως προς το κοπτικό εργαλείο εξαρτάται από τις συνθήκες κοπής. Έτσι υπάρχει περίπτωση η σταθερή παρουσία της ψευδοακμής να προστατεύει το κοπτικό εργαλείο, καθώς κόβει αυτή και όχι άμεσα η κοπτική ακμή του εργαλείου, ενώ υπάρχει και η περίπτωση, ανάλογα τις συνθήκες κοπής, η ψευδοακμή να φθείρει το εργαλείο κυρίως στην επιφάνεια αποβλήτου του, με τον μηχανισμό της απόξεσης. Η δημιουργία ή αποφυγή της ψευδοακμής μπορεί να ελεγχθεί από την κατάλληλη επιλογή των συνθηκών κατεργασίας. Έτσι το μέγεθος της ψευδοακμής μειώνεται αν :

- αυξηθεί η ταχύτητα κοπής
- χρησιμοποιηθεί εργαλείο με μεγαλύτερη γωνία αποβλήτου
- μειωθεί η χρησιμοποιούμενη πρόωση
- χρησιμοποιηθεί κατάλληλο υγρό κοπής



Σχήμα 1.7: Ανάπτυξη ψευδοακμής κατά την κατεργασία



Σχήμα 1.8: Στάδια δημιουργίας ψευδοακμής

1.6 Διάρκεια ζωής των κοπτικών

Η διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων προσδιορίζεται από την εξίσωση του F. W. Taylor [3]:

$$VT^n = \text{Constant} \quad (1.1)$$

όπου V η ταχύτητα κοπής, T η διάρκεια ζωής του κοπτικού εργαλείου και Constant μια σταθερά.

Τα τελευταία χρόνια ο B. K. Srinivas μετά από πειράματα που εκτέλεσε, προτείνει τη σχέση:

$$c = kT^n s^a d^b \quad (1.2)$$

όπου k σταθερά εξαρτώμενη από το υλικό και τη γεωμετρία του, n, a, b εκθέτες προσδιοριζόμενοι κατόπιν πειραμάτων. Οι εκθέτες n, a, b που προτείνει ο B. K. Srinivas, παρουσιάζονται στον Πίνακα 1.1.

Πίνακας 1.1: Προτεινόμενοι εκθέτες υπολογισμού διάρκειας ζωής, κατά B. K. Srinivas

	a	n	b
Καρβίδιο WC	-0.30	-0.31	-0.15
Καρβίδιο με επικάλυψη TiC	-0.27	-0.43	-0.13
Καρβίδιο TiC	-0.31	-0.41	-0.23
Νιτρίδια	-0.38	-0.40	-0.17
Al ₂ O ₃	-0.38	-0.48	-0.12

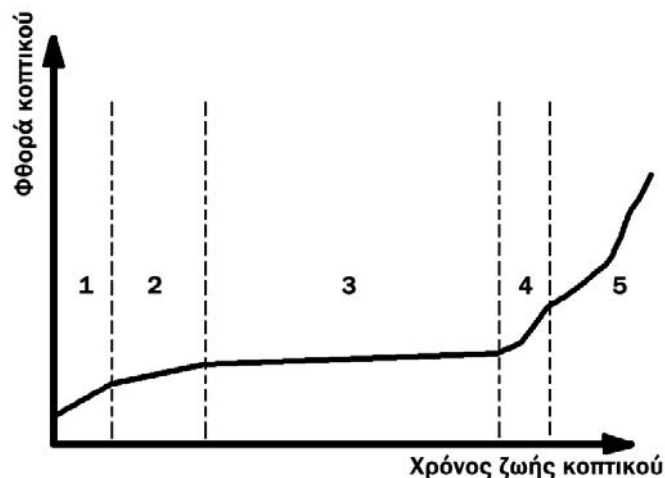
1.7 Έλεγχος φθοράς κοπτικών εργαλείων

Ορισμένες από τις πιο σημαντικές πληροφορίες σχετικά με την διαδικασία κοπής σε ένα αυτοματοποιημένο βιομηχανικό περιβάλλον, αφορούν στη κατάσταση των κοπτικών εργαλείων. Οι πληροφορίες αυτές μπορούν να συλλεχθούν χρησιμοποιώντας συστήματα παρακολούθησης κατάστασης κοπτικών εργαλείων, των οποίων η εξέλιξη της φθοράς παρουσιάζεται στο Σχήμα 1.9. Μια μεγάλη ποικιλία μεθόδων παρακολούθησης και συστημάτων έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια. Τα περισσότερα από αυτά βασίζονται στον εντοπισμό των δυνάμεων κοπής (Cutting Forces), των ακουστικών εκπομπών (Acoustic Emissions) και των δονήσεων (Vibrations). Ο αριθμός των εμπορικά διαθέσιμων συστημάτων παρακολούθησης είναι πολύ μικρός. Οι τιμές τους συνήθως είναι πολύ υψηλές λόγω της πολυπλοκότητας του υλικού και των εξαρτημάτων από τα οποία αποτελούνται. Επίσης, οι αλγόριθμοι που χρησιμοποιούνται περιορίζουν την αξιοπιστία τους. Ο στόχος των ερευνών που γίνονται είναι να αναπτυχθεί και να υλοποιηθεί ένα σχετικώς φθηνό και συνάμα αξιόπιστο σύστημα παρακολούθησης κατάστασης των κοπτικών εργαλείων για CNC τόρνους και φρέζες [6].

Η φθορά των κοπτικών εργαλείων και η παρακολούθησή των αστοχιών τους παρουσιάζει ολοένα αυξανόμενο ερευνητικό ενδιαφέρον που εκδηλώνεται με συνεχείς μελέτες, στο πλαίσιο πολλών ερευνητικών προγραμμάτων. Η παρακολούθηση της κατάστασης των εργαλείων θεωρείται σημαντική για τους ακόλουθους λόγους:

1. Πλήρως αυτοματοποιημένη παραγωγή είναι δυνατή μόνο εάν υπάρχει μια μέθοδος για την παρακολούθηση της φθοράς και την ανίχνευση της θραύσης των εργαλείων.
2. Η φθορά των κοπτικών εργαλείων επηρεάζει την ποιότητα της επιφάνειας και τις διαστάσεις των κομματιών που κατασκευάζονται.
3. Οι οικονομικές δαπάνες για εργαλεία δεν μπορούν να μειωθούν, χωρίς εξοπλισμό για τη παρακολούθηση της φθοράς εργαλείων.
4. Συνεπώς, με βάση τα προηγούμενα, ο αυτοματοποιημένος έλεγχος παραγωγής δεν είναι πραγματικά δυνατός χωρίς μέσα για τη παρακολούθηση της φθοράς εργαλείων.

Τα κόστη που περιλαμβάνονται στη σύγχρονη παραγωγή είναι πολύ υψηλά λόγω των υψηλών επενδύσεων σε παραγωγικό εξοπλισμό. Επομένως, είναι αναγκαίο για τη βιομηχανία να επωφεληθεί από τον εξοπλισμό με το βέλτιστο δυνατό τρόπο, συμπεριλαμβανομένης της αυτοματοποιημένης παραγωγής με υψηλή διαθεσιμότητα.



Σχήμα 1.9: Τα πέντε στάδια εξέλιξης της φθοράς στα κοπτικά εργαλεία

1.7.1 Φθορά κοπτικών εργαλείων διάτρησης

Η φθορά των κοπτικών εργαλείων και ειδικά η φθορά των εργαλείων διάτρησης (τρυπάνια), είναι ένα πολύπλοκο φαινόμενο. Η διαδικασία της διάτρησης διαφέρει σημαντικά από τις κατεργασίες της τόννευσης και του φρεζαρίσματος [7]. Η βασική διαφορά από τις άλλες κατεργασίες είναι ότι η διάτρηση είναι μια πολύπλοκη τρισδιάστατη διαδικασία αφαίρεσης υλικού, σε αντίθεση με την σχετικά απλή ορθογώνια και κεκλιμένη κοπή. Επίσης τα τρυπάνια έχουν μεγάλες διαφορές στα

γεωμετρικά τους χαρακτηριστικά, σε σχέση με τα κοπτικά εργαλεία της τόννευσης και του φρεζαρίσματος. Συνήθως έχουν πολύ μεγαλύτερο μήκος από τα κοπτικά της τόννευσης και μικρότερη διατομή από αυτά του φρεζαρίσματος. Μια άλλη βασική διαφορά είναι ότι στα κοπτικά της διάτρησης είναι αναγκαία η εισχώρηση μεγάλου μέρους του στο κατεργαζόμενο κομμάτι, σε αντίθεση με τα κοπτικά της τόννευσης και του φρεζαρίσματος τα οποία επεξεργάζονται επιφανειακά.

Υπάρχουν επτά διαφορετικοί τύποι φθοράς τρυπανιών, αρκετοί από αυτούς αναλύθηκαν παραπάνω [8]:

- Φθορά εξωτερικής γωνίας (Outer Corner Wear)
- Πλευρική φθορά (Flank Wear)
- Φθορά περιθωρίου (Margin Wear)
- Φθορά κρατήρα (Crater Wear)
- Φθορά κοπτικής ακμής (Chisel Edge Wear)
- Φθορά λόγω ψευδοακμής (Chipping at the Lip)

Λόγω των προσκολλημένων υλικών στις κοπτικές ακμές των τρυπανιών κατά τη διαδικασία της διάτρησης, η ανίχνευσή πολλών από τους παραπάνω τύπους φθοράς είναι αρκετά δύσκολη. Επίσης έχει αναγνωριστεί ότι στην αρχή της διάτρησης, η φθορά είναι μία επιταχυνόμενη διαδικασία που πραγματοποιείται στο εξωτερικό περιθώριο των αυλακώσεων του τρυπανιού, λόγω της επαφής του με το κομμάτι καθώς και λόγω της συνεχώς αυξανόμενης θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στην περιοχή της διάτρησης [9].

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η φθορά εξελίσσεται σε 5 περιόδους. Τα περισσότερα τρυπάνια κατά την κατασκευή τους, παράγονται ελαφρώς ασύμμετρα. Έτσι κατά τα πρώτα λεπτά λειτουργίας τους οι δύο γωνίες τους φθείρονται βαθμιαία, μέχρι να προκύψει στη συνέχεια η συμμετρία τους. Στις επόμενες φάσεις η διαδικασία της φθοράς συνεχίζεται μέχρις ότου η απόσταση των δύο κοπτικών ακμών από το περιθώριο μηδενιστεί. Στη συνέχεια το τρυπάνι κολλάει μέσα στο κατεργαζόμενο κομμάτι και σπάει, στην περίπτωση που δεν σταματήσει η διαδικασία διάτρησης. Επίσης η ροή των αποβλήτων δημιουργεί σημαντικές τριβές μεταξύ του τρυπανιού και του κομματιού κατεργασίας. Οι τριβές αυτές αλλάζουν την δυναμική του συστήματος, προκαλώντας θραύση του κοπτικού [10].

Αναφέρεται ότι σε τρυπάνια μικρότερης διαμέτρου από 3 mm υπάρχει η τάση της θραύσης, ενώ σε μεγαλύτερης διαμέτρου η αστοχία οφείλεται στην υπερβολική φθορά [9].

1.8 Μέθοδοι ελέγχου φθοράς κοπτικών εργαλείων

Μετά από πολλές ερευνητικές προσπάθειες, μεγάλη ποικιλία από μεθόδους ελέγχου έχουν δοκιμασθεί και χρησιμοποιηθεί για την παρακολούθηση της φθοράς κοπτικών εργαλείων. Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις μεθόδων ελέγχου: i) οι άμεσες και ii) οι έμμεσες μέθοδοι [11].

Οι άμεσες μέθοδοι μετρούν τη φθορά άμεσα (όπως αυτή αναπτύσσεται), βασισμένες στην οπτική επιθεώρηση ή στην όραση με τη χρήση υπολογιστών (Computer Vision). Λόγω του αυξημένου κόστους καθώς και των μη τεχνολογικά προηγμένων μεθόδων, δεν είναι δυνατή η βιομηχανική τους χρήση. Επομένως δεν γίνεται επιμέρους μελέτη στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής.

Στις έμμεσες μεθόδους μέτρησης φθοράς, η μέτρησή της δεν γίνεται απευθείας αλλά μετρώνται μεγέθη που αποτελούν συνάρτηση της φθοράς. Τέτοια μεγέθη είναι :

- Οι δονήσεις του κοπτικού εργαλείου
- Το ρεύμα κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης
- Η θερμοκρασία του κοπτικού εργαλείου
- Οι δυνάμεις κοπής
- Οι ακουστικές εκπομπές κ.α.

Υπάρχουν διαφορές μεταξύ των μεθόδων ελέγχου, ανάλογα με το σκοπό που χρησιμοποιούνται στον έλεγχο κατάστασης κοπτικού. Μερικές από τις τεχνικές ελέγχου είναι αποτελεσματικότερες για την ανίχνευση μιας ξαφνικής αστοχίας, ενώ άλλες είναι καταλληλότερες για έλεγχο σταδιακής φθοράς. Από αυτήν την άποψη υπάρχει ακόμα μεγαλύτερη διάκριση στην καταλληλότητα των διαφορετικών μεθόδων ανάλυσης σημάτων. Ακόμα και οι πιο αποτελεσματικές και αξιόπιστες τεχνικές ελέγχου φθοράς είναι τόσο αργές στην εφαρμογή τους που δεν είναι κατάλληλες για την ανίχνευση ξαφνικών αστοχιών.

Οι δεδομένες απαιτήσεις οδηγούν στην εκπόνηση ερευνών για τη χρήση on-line ελέγχου, με αναλύσεις σε ποικίλα σήματα αισθητηρίων, όπως της κοπτικής δύναμης, των ακουστικών εκπομπών και των δονήσεων. Ένας άλλος τρόπος είναι, με την πρόσκτηση του σήματος του ρεύματος της ατράκτου της εργαλειομηχανής, χρησιμοποιώντας πρόσθετα αισθητήρια.

Στα συστήματα ελέγχου κατάστασης εργαλείων, μετά την πρόσκτηση του σήματος της κοπτικής δύναμης, αυτό αναλύεται στο δυναμικό και στο στατικό του τμήμα. Το δυναμικό τμήμα του σήματος αναλύεται στο πεδίο των συχνοτήτων (Frequency Domain Analysis), καθώς και στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Analysis) για να ανιχνευθούν χαρακτηριστικά ευαίσθητα στη φθορά κοπτικών. Εντούτοις, καταστροφικότερες αστοχίες κοπτικών, όπως οι θραύσεις, παρατηρούνται καλύτερα με τη δυναμική ανάλυση σήματος. Από την άλλη, το στατικό τμήμα της δύναμης παρουσιάζει ένα καλό συσχετισμό μεταξύ της τριβής και της φθοράς. Ωστόσο, δεν είναι ευαίσθητο μόνο στη φθορά, αλλά και σε άλλες παραμέτρους, όπως στις συνθήκες κατεργασίας. Επομένως, γίνονται έρευνες και με τις δύο αναλύσεις: του δυναμικού σήματος και του στατικού σήματος της κοπτικής δύναμης.

Με χρήση κατάλληλων αισθητηρίων, μπορεί να γίνει πρόσκτηση σημάτων ακουστικών εκπομπών. Εντούτοις, τα σήματα αυτά, όπως το στατικό τμήμα των σημάτων κοπτικής δύναμης, είναι ευαίσθητα και σε άλλες παραμέτρους της εκάστοτε κατεργασίας. Το γεγονός ότι δεν εξαρτώνται μόνο από την κατάσταση των κοπτικών εργαλείων, κάνει την ανάλυση των σημάτων μάλλον δυσκολότερη από την πρόσκτησή τους. Επιπλέον, ο έλεγχος κατάστασης των κοπτικών εργαλείων με τη χρήση σημάτων ακουστικών εκπομπών δεν είναι αποτελεσματικός για τον εντοπισμό βαθμιαίων αστοχιών, όπως η φθορά εργαλείων. Αυτό απαιτεί πρόσθετες πληροφορίες για το στατικό τμήμα του σήματος της κοπτικής δύναμης. Η πρακτικότητα της χρησιμοποίησης των υπερηχητικών εκπομπών (Ultrasonic Emissions, UE) γίνεται αντιληπτή όταν συγκρίνεται με άλλες τεχνικές βασισμένες σε σήματα δόνησης. Οι ακουστικές εκπομπές φαίνεται να υστερούν λόγω των απωλειών και των αλλοιώσεων τους που προκαλούνται στην εργαλειομηχανή. Το σήμα χαμηλότερης συχνότητας που χρησιμοποιείται για την ανάλυση υπερηχητικών εκπομπών δεν υφίσταται τέτοιες αλλοιώσεις. Έτσι, ο μετατροπέας του σήματος μπορεί να τοποθετηθεί αρκετά μακριά από τη ζώνη δημιουργίας γρεζιών.

Όπως η δόνηση, έτσι και το σήμα επιτάχυνσης είναι ευρύτατα μελετημένο. Για τον έλεγχο φθοράς, η δόνηση αναλύεται στην περιοχή του χρόνου και της συχνότητας. Η δόνηση χρησιμοποιείται ευρέως για τον έλεγχο της κατάστασης περιστρεφόμενων μηχανών. Εντούτοις, δεν χρησιμοποιείται με την ίδια έκταση για τον έλεγχο της κατάστασης κοπτικών εργαλείων, ίσως γιατί ως μέθοδος είναι μάλλον ευαίσθητη στο θόρυβο ο οποίος είναι παρών στις κοπτικές διαδικασίες. Τα πλεονεκτήματα της μέτρησης της δόνησης συνίστανται στην εύκολη εφαρμογή και στο γεγονός ότι δεν απαιτείται καμία τροποποίηση στο κοπτικό εργαλείο ή στο προς κατεργασία κομμάτι. Εντούτοις, διάφοροι παράγοντες επηρεάζουν τον τρόπο που η μηχανική δόνηση μεταφέρεται και παράγεται στις διαφορετικές συχνότητες.

Στην πραγματικότητα, η δόνηση, ο ήχος, οι υπέρηχοι και οι ακουστικές εκπομπές είναι στο σύνολό τους μετρήσεις δόνησης, αν και το φάσμα συχνότητας σε

κάθε μια από αυτές διαφέρει. Επιπρόσθετα, ο ήχος είναι αερομεταφερόμενη δόνηση όταν όλες οι άλλες είναι μηχανικές δονήσεις της δομής.

Ένας σημαντικός λόγος για να μετρηθεί η ταχύτητα κοπής και ο ρυθμός πρόωσης του κοπτικού εργαλείου είναι η χρήση τους –ως παραμέτρων– στα προσαρμοστικά συστήματα ελέγχου. Ροπή, κλίση και δύναμη πρόωσης μαζί με την μέτρηση μηχανικής τάσης είναι όλα μετρήσεις των κοπτικών δυνάμεων και αντιμετωπίζονται από κοινού σε μελέτες. Τέλος, τα ρεύματα του κινητήρα της ατράκτου και του κινητήρα πρόωσης, συσχετίζονται επίσης έντονα με τις δυνάμεις.

Ο σημαντικότερος ερευνητικός στόχος για τον έλεγχο της κατάστασης των κοπτικών εργαλείων είναι η ανάπτυξη αυτορρυθμιζόμενων και ενσωματωμένων συστημάτων που θα μπορούν να ελέγχουν κάτω από διάφορες συνθήκες, με ελάχιστη επίβλεψη χειριστών. Ο σκοπός του αυτοματοποιημένου ελέγχου είναι [12]:

- η συσχέτιση του επεξεργασμένου σήματος με την κατάσταση του κοπτικού εργαλείου
- η ανίχνευση και η πρόβλεψη της αστοχίας του κοπτικού εργαλείου

Στην περίπτωση των μετρητικών τεχνικών, αρκετές τεχνικές ανάλυσης σημάτων έχουν εξεταστεί για τον έλεγχο της φθοράς. Κατά την κατεργασία υπάρχουν πολλές διαταραχές και η διαδικασία πρέπει να οργανωθεί, χρησιμοποιώντας διάφορες παραμέτρους. Έτσι, απαιτείται ανάλυση του σήματος για το διαχωρισμό της επιθυμητής πληροφορίας από το υπόλοιπο σήμα, τον «θόρυβο». Τα τελευταία χρόνια, καταγράφηκε αρκετή προσπάθεια για την ανάπτυξη μεθόδων αυτοματοποιημένης διάγνωσης της φθοράς των κοπτικών εργαλείων και την ένταξη τους στα αυτόματα συστήματα παραγωγής. Ειδικότερα, η χρήση ποικίλων τύπων νευρωνικών δικτύων (Neural Networks, NN) έχει προσελκύσει σημαντικό ερευνητικό ενδιαφέρον [6].

1.8.1 Μηχανικές Δονήσεις

Η λεπτομερής ανάλυση του σήματος δόνησης, το οποίο παράγεται κατά τη διάτρηση, παρέχει πολλές πληροφορίες για την κατάστασή του τρυπανιού (και γενικότερα των κοπτικών εργαλείων). Τα σήματα δόνησης περιέχουν πληροφορίες για τις φυσικές συχνότητες [12]:

- του προς κατεργασία αντικειμένου
- των εξαρτημάτων

- της ίδιας της μηχανής
- της ατράκτου

Οι δονήσεις είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μετρητική μέθοδος στα συστήματα παρακολούθησης λειτουργικών παραμέτρων της μηχανουργίας. Βέβαια, δεν είναι τόσο δημοφιλής στην παρακολούθηση φθοράς των κοπτικών εργαλείων της διάτρησης, λόγω του ισχυρού θορύβου που παράγεται κατά την κατεργασία. Οι μετρήσεις των δονήσεων χρησιμοποιούνται περισσότερο, από τη στιγμή που η εγκατάσταση των επιταχυνσιομέτρων έγινε ευκολότερη κοντά στην περιστρεφόμενη άτρακτο, χωρίς να είναι αναγκαίες οι μετατροπές στα μηχανικά της μέρη, στο κομμάτι κατεργασίας ή στα κοπτικά εργαλεία [13]. Χωρίς την επίδραση της ακαμψίας και απόσβεσης στις ιδιότητες της διάτρησης, είναι δυνατή η τοποθέτηση του αισθητηρίου στην τράπεζα κατεργασίας, κοντά στην περιοχή διάτρησης. Μονώνοντάς τα κατάλληλα έχουν καλή αντοχή στα κοπτικά υγρά, στα γρέζια, καθώς και στις ηλεκτρομαγνητικές και θερμικές επιρροές.

Οι παραγόμενες δονήσεις αλληλεπιδρούν με την ύπαρξη φθοράς, διότι αν σε ένα δυναμικό σύστημα, όπως η διάτρηση του κοπτικού εργαλείου, οι δυνάμεις κοπής αυξηθούν, τότε και η δυναμική αντίδραση θα αυξηθεί. Βέβαια υπάρχουν αδυναμίες της μεθόδου μέτρησης φθοράς μέσω των δονήσεων, όπως η συσχέτιση των παραγόμενων δονήσεων με το υλικό κατεργασίας του κομματιού, τις συνθήκες κοπής, καθώς και τη δομή της εργαλειομηχανής.

Η πρωτογενής εκτίμηση φθοράς των κοπτικών εργαλείων μέσω των σημάτων των παραγόμενων δονήσεων κατά την κατεργασία, προκύπτει από την αξιοποίηση των στατιστικών παραμέτρων στο πεδίο του χρόνου. Χρησιμοποιείται συνήθως για τη διάγνωση της γενικής φθοράς που υπάρχει σε ένα κοπτικό εργαλείο.

Η πιο βασική τεχνική ανάλυσης δονήσεων μετασχηματίζει το σήμα, από το πεδίο του χρόνου στο πεδίο της συχνότητας, με χρήση των μετασχηματισμών Fast Fourier (Fast Fourier Transforms, FFT), προκειμένου να ανιχνευθούν οι ασυνήθιστες αλλαγές στις συχνότητες της δόνησης, πιθανόν λόγω φθοράς ή γρεζιών. Επίσης καθίσταται δυνατή η εύρεση του τύπου φθοράς όπως φθορά κρατήρα, πλευρική φθορά, κοπτικής ακμής και εξωτερικής πλευρικής ακμής [13].

1.8.2 Υπέρυθρη Θερμογραφία

Η θερμοκρασία είναι ένα φυσικό μέγεθος που παρέχει πληροφορίες, σχετικά με τη κατάσταση του κοπτικού εργαλείου. Τα κοπτικά εργαλεία λειτουργούν με

αποδοτικό τρόπο σε συγκεκριμένο εύρος θερμοκρασιών. Υπερβολικές μεταβολές της θερμοκρασίας, δημιουργούν προβλήματα. Τα κοπτικά εργαλεία εκπέμπουν θερμότητα, η οποία απορροφάται και επανεκπέμπεται από άλλα αντικείμενα γύρω τους. Η θερμική ακτινοβολία είναι ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα υποδιαιρείται σε ένα αριθμό περιοχών. Η θερμική ακτινοβολία αποτελείται από την υπεριώδη (0,1 μm έως 0,4 μm), την ορατή (0,4 μm έως 0,8 μm) και την υπέρυθη (0,8 μm έως 100 μm) περιοχή. Στα περισσότερα συστήματα οι επιφανειακές θερμοκρασίες ακτινοβολούν στην υπέρυθη περιοχή [14].

Η θερμογραφία είναι εκείνη η διαδικασία που μετατρέπει την υπέρυθη (IR) ακτινοβολία σε ορατή και ικανή για ερμηνεία. Η μέτρηση γίνεται χωρίς επαφή και αποτυπώνει την κατανομή της θερμοκρασίας (θερμική εικόνα) μιας επιφανείας, ασπρόμαυρα ή έγχρωμα, σε πραγματικό χρόνο. Η θερμογραφία χρησιμοποιεί μια κάμερα IR και μια οθόνη για την απεικόνιση. Στην κάμερα το σημαντικότερο κομμάτι είναι ο ανιχνευτής IR, ο οποίος είναι ένας μετατροπέας θερμικής ενέργειας σε ηλεκτρική. Σήμερα χρησιμοποιούνται ημιαγωγοί για την αποφυγή ανάπτυξης υψηλών θερμοκρασιών στον ανιχνευτή αλλά και την μετατροπή της ενέργειας φωτονίων σε ηλεκτρική. Η ενέργεια φωτονίου είναι αντιστρόφως ανάλογη του μήκους κύματός του. Εφόσον υπάρχει καλύτερη ψύξη, υπάρχει ταυτόχρονα μείωση του μεγέθους, του βάρους, της ισχύος και του κόστους μιας κάμερας IR. Υψηλή ποιότητα θερμικής εικόνας μπορεί να επιτευχθεί με τη χρήση πλέγματος ανιχνευτών. Η θερμογραφία χρησιμοποιείται στη βιομηχανία ως διαγνωστικό εργαλείο.

Τα έλαια ελαχιστοποιούν την τριβή που προκαλεί θερμότητα και υπό κανονικές συνθήκες περιορίζουν τη θερμότητα μέσα σε επιτρεπτά όρια. Η θερμότητα όμως αυξάνεται λόγω ανεπαρκούς λίπανσης, υπερβολικής φθοράς, αυξημένου φορτίου κτλ. Η θερμογραφία μπορεί να εντοπίσει την αύξηση αυτή σε έδρανα, κοπτικά εργαλεία, σφονδύλους, αλυσίδες κλπ. Σε γενικές γραμμές, η εικόνα αποτυπώνεται και αναλύεται από το προσωπικό. Αυτή είναι μια αργή διαδικασία, αλλά έχει χαμηλό αρχικό κόστος. Η on-line θερμογραφία έχει γίνει δημοφιλής με την πρόοδο της πληροφορικής και των καμερών IR, των οπτικών ινών και τη διαθεσιμότητα λογισμικών τεχνητής νοημοσύνης.

1.8.3 Ακουστικές Εκπομπές

Αντιθέτως με τις μηχανικές δονήσεις μικρότερες των 20 KHz που παράγονται κατά την κατεργασία, ένα εύρος υψηλότερων συχνοτήτων χρησιμοποιείται για τη διάγνωση φθοράς. Η μέτρηση δονήσεων με εύρος συχνοτήτων από 20 KHz μέχρι 80

KHz, στη βιβλιογραφία ονομάζονται ως υπερηχητικές δονήσεις (Ultrasonic Vibrations) [15], ενώ συχνότητες μεγαλύτερες των 100 KHz λέγονται ακουστικές εκπομπές (Acoustic Emissions).

Η μηχανική διαδικασία αφαίρεσης μετάλλου από ένα κομμάτι με τη χρήση κοπτικών εργαλείων, απαιτεί την πλαστική παραμόρφωση του μετάλλου σε υψηλές δυνάμεις ροπής. Σε πολλές περιπτώσεις όμως η θραύση του κοπτικού εργαλείου παίζει σημαντικό ρόλο. Οι παραπάνω κατεργασίες είναι πηγές ακουστικών εκπομπών και η παρακολούθηση των σημάτων τους από περιοχή πολύ κοντά στην κατεργασία, μπορεί να αποδώσει χρήσιμες πληροφορίες που συσχετίζονται με τη φθορά των κοπτικών ακμών. Λόγω του μεγάλου εύρους συχνοτήτων τους, είναι αναγκαίος ο συνδυασμός κατάλληλων αισθητηρίων με υψηλοπερατά φίλτρα ώστε τα σήματα να προστατευθούν από τον παραγόμενο θόρυβο των χαμηλών δονήσεων του συστήματος.

Αποτελέσματα από τη χρήση των ακουστικών εκπομπών, έχουν δείξει ότι η διάγνωση φθοράς σε τρυπάνια διαμέτρου από 1 μέχρι 3 mm είναι εφικτή και με πολύ καλά αποτελέσματα. Επίσης αναφέρεται ότι σε τόσο μικρής διαμέτρου τρυπάνια, η ανάλυση του ρεύματος κινητήρα περιστροφής, καθώς και οι κοπτικές δυνάμεις δεν είναι ικανά μεγέθη για την πρόγνωση της θραύσης των κοπτικών εργαλείων, σε αντίθεση με τα σήματα των ακουστικών εκπομπών [16]. Ο υπολογισμός του μέσου όρου των ακουστικών εκπομπών σε συχνότητες από 0,1 μέχρι 1 MHz, προτείνεται για την πρόγνωση φθοράς ή θραύσης των τρυπανιών [17].

1.8.4 Ρεύμα του κινητήρα της ατράκτου

Έρευνες έχουν δείξει ότι ο έλεγχος του ρεύματος των κινητήρων της ατράκτου και της πρόωσης, μπορεί να ανιχνεύσει επιτυχώς την αστοχία κοπτικών εργαλείων (κατά κύριο λόγο των τρυπανιών). Οι ενδείξεις προέρχονται από τις διακυμάνσεις των τιμών των ρευμάτων αυτών, τις οποίες προκαλούν οι δονήσεις λόγω των κοπτικών δυνάμεων και της ροπής. Διάφοροι αλγόριθμοι επεξεργασίας σήματος και λήψης αποφάσεων έχουν χρησιμοποιηθεί, ώστε να αποφασιστεί αν το ρεύμα είναι η καλύτερη ένδειξη για τον έλεγχο της φθοράς τρυπανιών [12].

Η πιο βασική μέθοδος είναι ο έλεγχος του κατώτατου ορίου του ρεύματος στο στάτη. Το σήμα του ρεύματος αποκτάται από το στάτη του κινητήρα και ελέγχεται συγκρινόμενο με ένα προκαθορισμένο κατώτατο όριο. Σήματα στα οποία το ρεύμα στάτη υπερβαίνει το κατώτατο όριο, λόγω της αυξανόμενης ροπής, αντιστοιχούν σε τρυπάνι το οποίο έχει υποστεί καταστροφική θραύση. Το πραγματικό ρεύμα στάτη δεν είναι σε μεγάλο βαθμό ευαίσθητο στις μεταβολές της ροπής, λόγω του

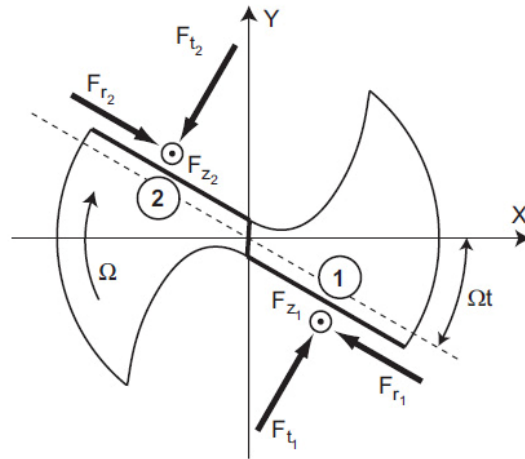
περιορισμένου εύρους ζώνης του. Εντούτοις, ο χρόνος απόκρισης για την ανίχνευση εκτεταμένης αστοχίας κοπτικών εργαλείων είναι αποδεκτός. Από την άλλη πλευρά, η μηδενική ευαισθησία της μεθόδου σε μικρή φθορά του κοπτικού εργαλείου, λόγω του περιορισμένου εύρους ζώνης, καθιστά τον απλό έλεγχο κατώτατων ορίων αναξιόπιστο. Απαιτείται ένας πιο σύνθετος αλγόριθμος, με μια αξιόπιστη τεχνική ανίχνευσης. Μεγαλύτερη, λοιπόν, ευαισθησία θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη χρήση μεθόδων Μετασχηματισμών Κυματίων (Wavelet Transforms, WT) για την ανάλυση των ρευμάτων των κινητήρων ατράκτου και πρόωσης. Το ρεύμα του AC σερβοκινητήρα της ατράκτου αναλύεται με τη χρήση Συνεχών Μετασχηματισμών Κυματίων (Continuous Wavelet Transforms, CWT) για την ανίχνευση της φθοράς των τρυπανιών. Το σήμα του ρεύματος του AC σερβοκινητήρα πρόωσης απλουστεύεται, μέσω ενός αλγορίθμου Διακριτού Μετασχηματισμού Κυματίων (Discrete Wavelet Transform, DWT), για επιπλέον έλεγχο της αστοχίας τρυπανιών. Λόγω του ότι η αποτελεσματικότητα των Μετασχηματισμών Κυματίων βασίζεται στην ικανότητά τους να εντοπίζουν μεταβολές στη συχνότητες του σήματος και να τις αναλύουν στο πεδίο του χρόνου, η μέθοδος αυτή αποδεικνύεται ιδανική.

Το ρεύμα του κινητήρα ατράκτου είναι γενικά ένα μετρήσιμο μέγεθος ίδιας φύσεως με τη ροπή. Και τα δύο μεγέθη καθορίζουν την ποσότητα της δύναμης που χρησιμοποιείται στην κοπτική διαδικασία και επίσης «συμβουλεύουν» για τη δυναμική της κοπής.

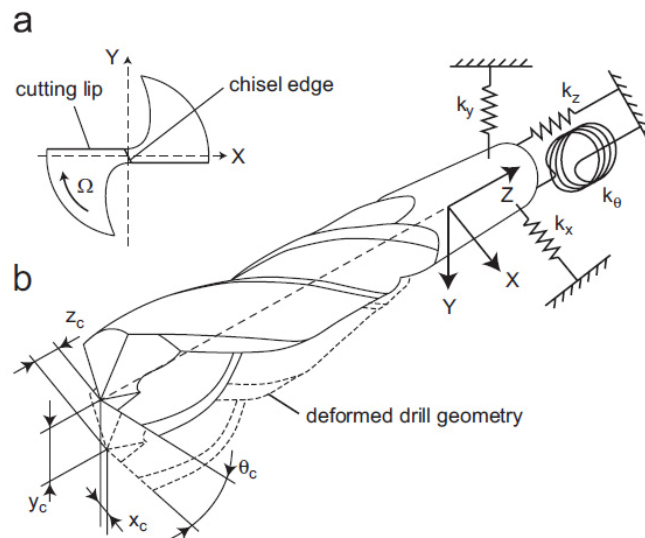
1.9 Δυναμική των δονήσεων

Οι παραγόμενες δονήσεις του τρυπανιού κατά τη διάρκεια της διάτρησης, προκαλούν σφάλματα στο μέγεθος και στο σχήμα της οπής [18]. Το τρυπάνι διεισδύει στο προς κατεργασία υλικό καθώς περιστρέφεται και οι κοπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται, διεγείρουν τον κορμό του τρυπανιού προκαλώντας πλευρικές, αξονικές και στρεπτικές δονήσεις.

Η εφαπτομενική δύναμη F_t είναι κάθετη στην κοπτική ακμή και η ακτινική δύναμη F_r ενεργεί κατά μήκος των δύο αυλακώσεων, ενώ οι αξονικές δυνάμεις F_z είναι παράλληλες με τον άξονα του τρυπανιού (Σχήμα 1.10). Οι προβλεπόμενες δυνάμεις που αναπτύσσονται στα τρυπάνια προκαλούν μικρές μετατοπίσεις από τον άξονά τους και φαίνονται στο Σχήμα 1.11 όπου (x_c, y_c) οι πλευρικές και (z_c) η αξονική μετατόπιση.



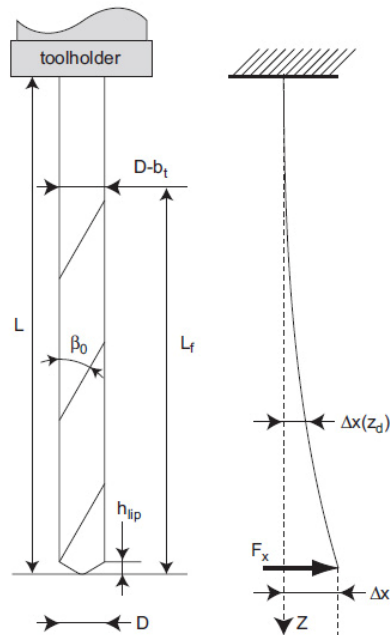
Σχήμα 1.10: Αναπτυσσόμενες δυνάμεις στις έλικες του τρυπανιού



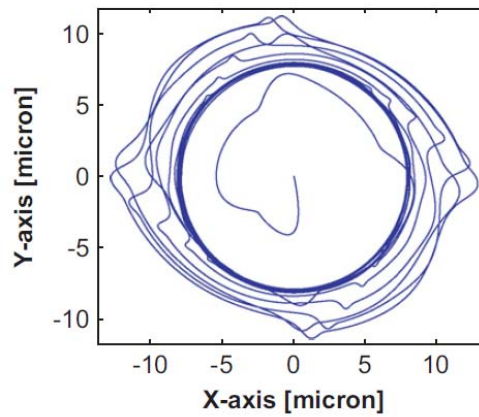
Σχήμα 1.11: Μετατοπίσεις του τρυπανιού στους τρεις άξονες

Επίσης, όσο μεγαλύτερο είναι το μήκος του τρυπανιού που εξέρχεται από τον εργαλειοδέτη (τσοκ), τόσο μεγαλύτερες είναι οι μετατοπίσεις του, Δx , στο άλλο άκρο (Σχήμα 1.12). Οι μετατοπίσεις αυτές είναι αποτέλεσμα της ακαμψίας του τρυπανιού, σε συνδυασμό με τις φυγόκεντρες δυνάμεις που αναπτύσσονται κατά την περιστροφή του. Έτσι καθώς περιστρέφεται, ο άξονας μετατοπίζεται συνεχώς εκτελώντας κυκλική ή παραβολική τροχιά γύρω από τον άξονα του κινητήρα περιστροφής (Σχήμα 1.13). Οι αποκλίσεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία των

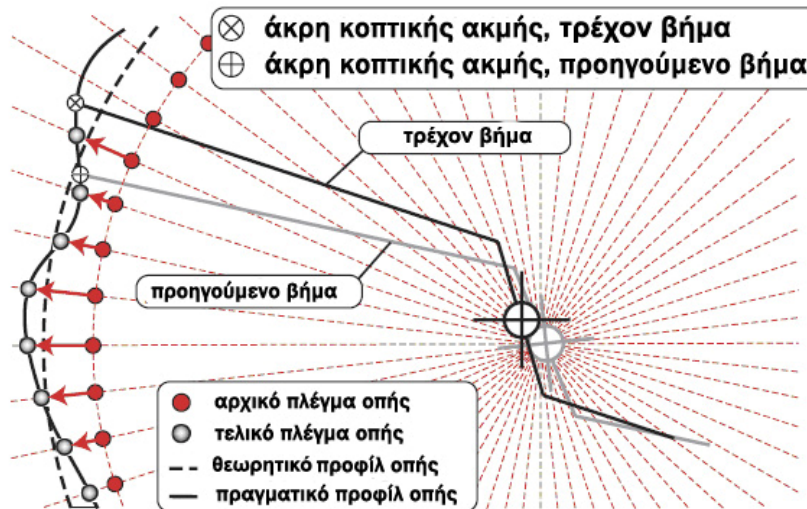
πλευρικών δονήσεων, καθώς το τρυπάνι χτυπάει στα πλευρά της οπής [18] (Σχήμα 1.14).



Σχήμα 1.12: Αναπτυσσόμενη κάμψη λόγω περιστροφής



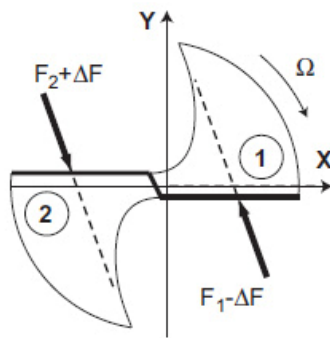
Σχήμα 1.13: Τροχιά τρυπανιού κατά την περιστροφική κίνηση



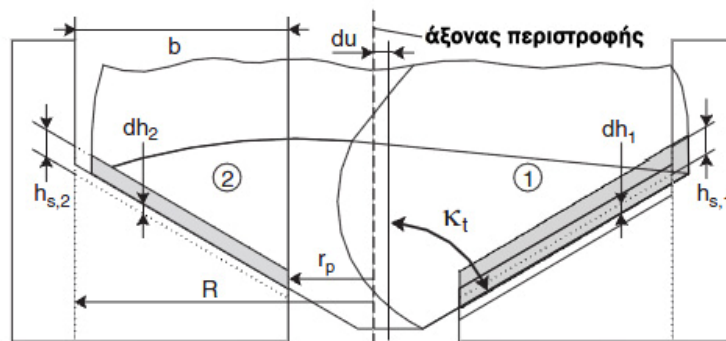
Σχήμα 1.14: Σχηματισμός πλευρικών τοιχωμάτων της οπής, αλλαγές του πλέγματος σχηματισμού λόγω μετατοπίσεων

Κατά την περιστροφική κίνηση του τρυπανιού μέσα στην οπή, η αφαίρεση του υλικού είναι ένα δυναμικό σύστημα. Η αφαίρεση του υλικού από τις δύο κοπτικές ακμές του τρυπανιού δεν πραγματοποιείται ομοιόμορφα καθ' όλη τη διάρκεια της εισχώρησής του μέσα στο υλικό. Αντιθέτως το κοπτικό εργαλείο, λόγω της μετατόπισής του στον άξονα X έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της κοπτικής δύναμης στη δεύτερη κοπτική ακμή κατά $F_2 + \Delta F$ και μείωση της κοπτικής δύναμης στην πρώτη κατά $F_1 - \Delta F$ (Σχήμα 1.15).

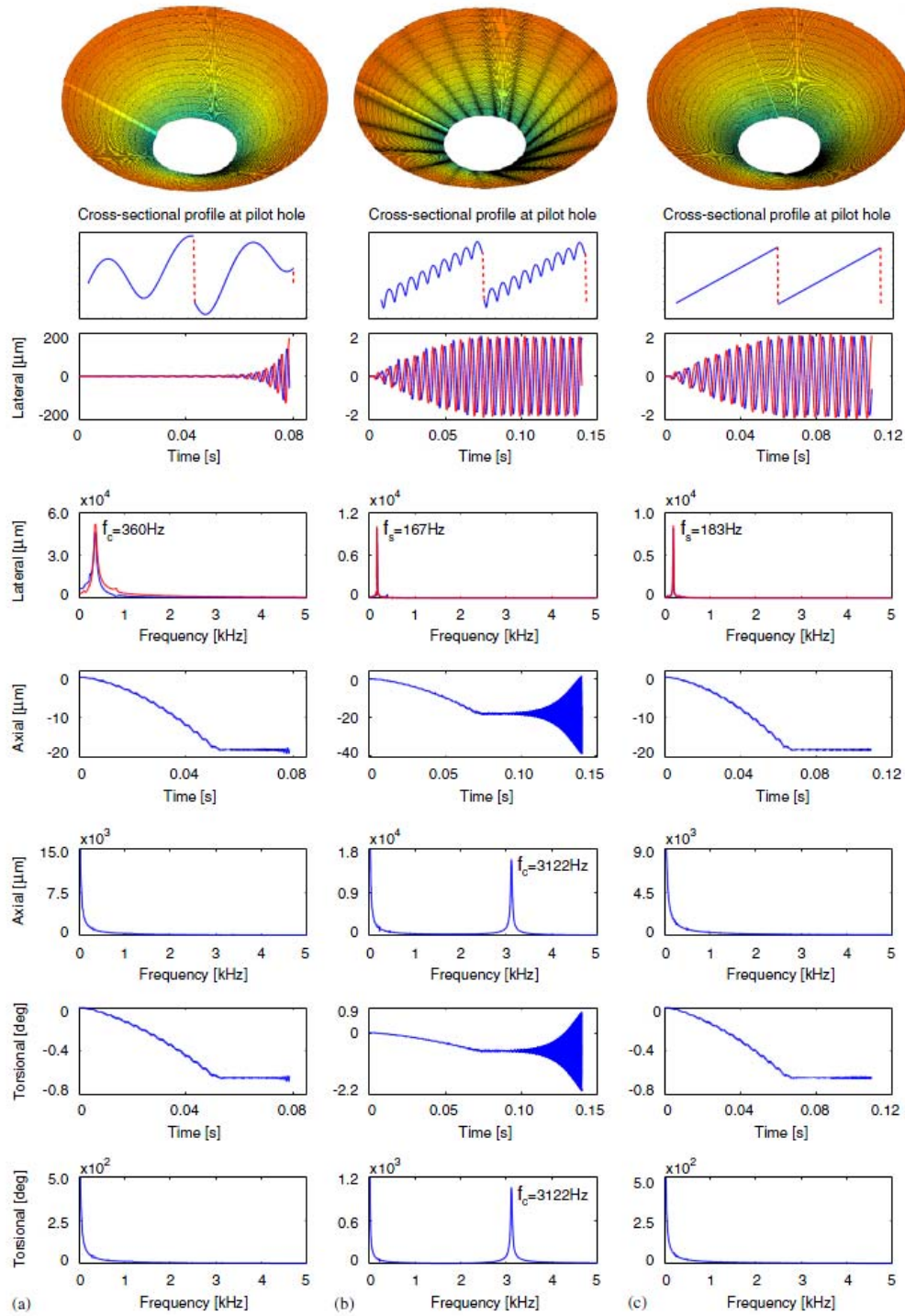
Αυτή η μικρή αυξομείωση των κοπτικών δυνάμεων, συντελεί στην αφαίρεση υλικού πάντα από τη μία κοπτική ακμή. Στο Σχήμα 1.16 φαίνεται το βάθος κοπής dh_1 από την πρώτη κοπτική ακμή, ενώ τη δεύτερη κοπτική ακμή απέχει κατά dh_2 από την κάτω επιφάνεια της οπής. Καθώς περιστρέφεται το τρυπάνι, η αφαίρεση του υλικού εναλλάσσεται από τις κοπτικές ακμές 1 και 2, παράγοντας γρέζι πάχους dh_1 και dh_2 αντίστοιχα ($dh_1 = dh_2$). Κατά την παραπάνω εναλλαγή παράγονται οι αξονικές δυνάμεις που επιδρούν στο κομμάτι κατεργασίας, καθώς και δυνάμεις αντίδρασης ίσου μέτρου. Οι δυνάμεις αυτές έχουν ως αποτέλεσμα την παραγωγή των αξονικών δονήσεων [19]. Στο Σχήμα 1.17 φαίνονται οι προσομοιωμένες επιφάνειες των οπών που προήλθαν από τρεις διαφορετικές καταστάσεις, ενώ στο Σχήμα 1.18 οι πραγματικές επιφάνειες τεσσάρων περιπτώσεων.



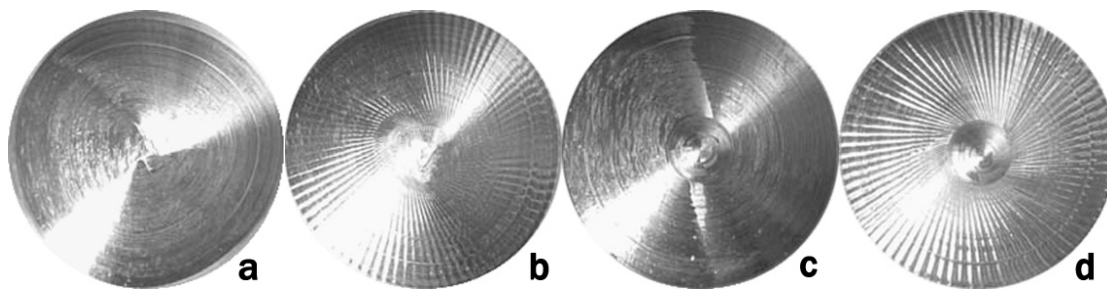
Σχήμα 1.15: Αυξομειώσεις κοπτικών δυνάμεων λόγω μετατοπίσεων



Σχήμα 1.16: Μεταβολές κατά άξονα Z και εναλλασσόμενη αφαίρεση υλικού από τις δύο κοπτικές ακμές



Σχήμα 1.17: Προσομοίωση στο πεδίο του χρόνου (a) 14,000 rpm με 5.5mm βάθος οπής – πλευρικές δονήσεις, (b) 10,000 rpm με 5.5mm βάθος οπής – στρεπτικές και αξονικές δονήσεις, (c) 11,000 rpm, 5.5mm βάθος οπής – σταθερή διάτρηση



Σχήμα 1.18: Πρόσωπο οπής, (a) 1000 rpm – σταθερή διάτρηση, (b) 12mm βάθος οπής με 400 rpm – αξονικές δονήσεις, (c) 800 rpm – πλευρικές δονήσεις, (d) 800 rpm με 0.3mm/rev – συνδιασμός πλευρικών με αξονικών δονήσεων

1.10 Σύνοψη

Μελετώντας την ιστορική αναδρομή των εργαλειομηχανών, γίνεται κατανοητή η προσπάθεια των ανθρώπων για την εξέλιξή τους. Το μεγάλο βήμα προόδου έγινε κατά την βιομηχανική επανάσταση, καθώς και τη δεκαετία του 50 με την αυτοματοποίησή τους. Αναπόσπαστο κομμάτι των εργαλειομηχανών είναι τα κοπτικά τους εργαλεία, στα οποία γίνεται η προσπάθεια εύρεσης του χρόνου ζωής τους. Η φθορά των κοπτικών εργαλείων και οι μέθοδοι ελέγχου της φθοράς μέσω των ακουστικών εκπομπών, ρεύματος κινητήρα περιστροφής, δονήσεων και θερμοκρασίας κοπτικού εργαλείου, αναλύονται σε αυτό το κεφάλαιο. Επίσης γίνεται αναφορά στο δυναμικό μοντέλο των παραγόμενων δονήσεων κατά τις κατεργασίες.

Στο Κεφάλαιο 2 αναλύεται ο μηχανικός και ηλεκτρονικός εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του συστήματος παρακολούθησης και διάγνωσης φθοράς. Βασικό μέρος του κεφαλαίου, είναι τα κριτήρια επιλογής του εξοπλισμού ώστε να επιτευχθεί η αξιοπιστία του συστήματος κατά τη διάρκεια των μετρήσεων.

1.11 Βιβλιογραφία

- [1] K. Subramanian, NH. Cook, “*Sensing of drill wear and prediction of drill life.*”, ASME J Eng Ind, Volume 99, Pages 295–301, 1997.
- [2] Στ. Γ. Φραγκόπουλος, “*Ιστορία της Τεχνολογίας: Ατμοκίνηση, Βιομηχανική επανάσταση*”, Δρ. Μηχανικός, Καθηγητή TEI Αθήνας
<http://sfrang.com/historia/selida500.htm> (12/6/2009).
- [3] Π. Ν. Μπότσαρης, Π. Δ. Σπάρης, “*Στοιχεία Τεχνολογίας Παραγωγής*”, Ξάνθη, 2008.
- [4] S. Kalpakjan, “*Manufacturing Processes for Engineering Materials*”, Addison-Wesley, 1984.
- [5] “*Κατεργασίες με Αφαίρεση Υλικού*”, TEI Μηχανολογίας Κρήτης.
- [6] Erkki Jantunen, “*A summary of methods applied to tool condition monitoring in drilling*”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, Volume 42, Pages 997–1010, 2002.
- [7] A. G. Rehorn, J. Jiang, P. E. Orban, “*State-of-the-Art Methods and Results in Tool Condition Monitoring: A Review*”, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2004.
- [8] M. Kanai, Y. Kanda, “*Statistical Characteristics of Drill Wear and Drill Life for the Standardized Performance Tests*”, Annals of the CIRP, Vol. 27, No. 1, Pages 61.66, 1978.
- [9] A. Thangaraj, P. K. Wright, “*Computer-assisted Prediction of Drill- Failure Using In-Process Measurements of Thrust Force.*” Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME 110, Pages 192-200, 1988.
- [10] M. Z. Zhang, Y. B. Liu, H. Zhou, “*Wear Mechanism Maps of Uncoated HSS Tools Drilling Die-cast Aluminum Alloy.*”, Tribology International, Vol. 34, Pages 727-731, 2001.

- [11] Erkki Jantunen, "*Indirect multisignal monitoring and diagnosis of drill wear*", VTT Publications 590, 2005.
- [12] Mo A. Elbestawi, Mihaela Dumitrescu, Eu-Gene Ng, "*Monitoring and Control for Intelligent Manufacturing*", Springer, London, 2006.
- [13] Issam Abu-Mahfouz, "*Drilling wear detection and classification using vibration signals and artificial neural network*", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 43, Issue 7, Pages 707-720, May 2003.
- [14] N. Tandon, A. Parey, "*Condition Monitoring of Rotary Machines*", Indian Institute of Technology, New Delhi.
- [15] S. R. Hayashi, C. E. Thomas, D. G. Wildes, "*Tool Break Detection by Monitoring Ultrasonic Vibrations.*", Annals of the CIRP, Volume 37, No. 1, Pages 61-64, 1988.
- [16] W. König, G. Ketteler, T. Klumpen, "*Process Monitoring in Turning, Milling, Drilling and Grinding Processes.*", Proceedings of the 8th IMEKO International Symposium on Technical Diagnosis, Dresden, Federal Republic of Germany, Pages 433-446, 1992.
- [17] E. Waschkies, C. Sklarczyk, E. Schneider, "*Tool Wear Monitoring at Turning and Drilling.*", Non-Destructive Characterization of Materials VI, Pages 215 – 222, 1994.
- [18] Jochem C. Roukema, Yusuf Altintas, "*Generalized modeling of drilling vibrations. Part I: Time domain model of drilling kinematics, dynamics and hole formation*", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 47, Issue 9, July 2007, Pages 1455-1473.
- [19] Jochem C. Roukema, Yusuf Altintas, "*Generalized modeling of drilling vibrations. Part II: Chatter stability in frequency domain*", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 47, Issue 9, Pages 1474-1485, July 2007.

Κεφάλαιο 2

Τεχνολογικός Εξοπλισμός (Hardware)

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	30
2.1 Εισαγωγή.....	32
2.2 Ανάλυση εξοπλισμού	32
2.2.1 Κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV-1000	32
2.2.2 Επιταχυνσιόμετρα	34
2.2.2.1 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο	35
2.2.2.2 Δομή τυπικού επιταχυνσιομέτρου	35
2.2.2.3 Επιταχυνσιόμετρα KISTLER τύπου 8702/4B25	36
2.2.2.4 Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων	37
2.2.2.5 Τροφοδοτικό επιταχυνσιομέτρων τύπου 5134B	38
2.2.3 Αισθητήριο θερμοκρασίας	39
2.2.3.1 Λειτουργία υπέρυθρων θερμομέτρων	40
2.2.3.2 IRtec Rayomatic 10	40
2.2.3.3 Εγκατάσταση θερμομέτρου	41
2.2.3.4. Τροφοδοτικό AFX – 9660SB	42
2.2.4 Μικροσκόπιο BioLux AL	44
2.2.5 Αισθητήριο μέτρησης ρεύματος	45
2.2.5.1 Αρχή λειτουργίας μετατροπών	46
2.2.5.2 Μετατροπείς AK 50 C10	48

2.2.5.3 Εγκατάσταση μετασχηματιστών	49
2.2.6 Φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής	50
2.2.7 Data Acquisition (Μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων)	51
2.2.8 Υπομονάδες μέτρησης (modules)	52
2.2.8.1 NI 9206 αναλογικών εισόδων για μπαταρίες	52
2.2.8.2 NI 9219 24-Bit αναλογικών εισόδων	53
2.2.8.3 NI 9411 ψηφιακών εισόδων	53
2.2.8.4 NI 9233 24-Bit IEPΕ αναλογικών εισόδων	54
2.2.8.5 Εγκατάσταση Data Acquisition (Μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων) και υπομονάδων	54
2.3 Γενική μετρητική διάταξη	55
2.4 Σύνοψη	55
2.5 Βιβλιογραφία	57

2.1 Εισαγωγή

Για την περάτωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αρχικά έγινε η μελέτη και η επιλογή των καταλληλότερων φυσικών μεγεθών προς παρακολούθηση, για τη δημιουργία ενός συστήματος παρακολούθησης λειτουργικών παραμέτρων και την εκτίμηση φθοράς των κοπτικών εργαλείων, σε κέντρο κατεργασίας.

Τα βασικά κριτήρια επιλογής των φυσικών μεγεθών προς παρακολούθηση [1] ήταν: η ευαισθησία των αισθητήριων οργάνων στις μεταβολές των φυσικών μεγεθών κατά τη φθορά του κοπτικού, η συσχέτιση μεταξύ του παραγόμενου σήματος κατά τη διαδικασία διάτρησης και της φθοράς, το επίπεδο της απόκλισης, η λειτουργικότητα των μεγεθών, καθώς και το οικονομικό κόστος του εξοπλισμού που είναι αναγκαίος για τη μέτρηση των μεγεθών. Τα φυσικά μεγέθη και οι τεχνικές ελέγχου τους οι οποίες επιλέχθηκαν, είναι:

- Δονήσεις κοπτικού εργαλείου
- Θερμοκρασία περιοχής κοπής
- Ρεύμα (I) κινητήρα περιστροφής εργαλείου
- Ρεύμα (I) κινητήρα πρόωσης του άξονα Z

Στη συνέχεια έγινε η καταγραφή του απαραίτητου εξοπλισμού, των μετρητικών συστημάτων και εξαρτημάτων καθώς και του υπολοίπου τεχνικού εξοπλισμού, με σκοπό να πραγματοποιηθεί η παρακολούθηση των παραπάνω φυσικών μεγεθών. Η προσεκτική επιλογή του καταλληλότερου εξοπλισμού, έγινε με βάση των κριτηρίων: της αξιοπιστίας των αισθητήριων οργάνων στις μετρήσεις των μεγεθών, η αποφυγή λειτουργικών δυσκολιών στην τοποθέτησή τους, η άρτια επικοινωνία όλων των αισθητήριων και μετρητικών συστημάτων, καθώς και το οικονομικό κόστος το οποίο δεν έπρεπε να είναι ανώτερο του προϋπολογισμού [1].

2.2 Ανάλυση εξοπλισμού

2.2.1 Κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV-1000

Η ανάπτυξη του μετρητικού συστήματος για την παρακολούθηση των λειτουργικών παραμέτρων, έγινε στο κάθετο κέντρο κατεργασίας (CNC φρέζα) Yang

Eagle SMV – 1000 (Σχήμα 2.1) το οποίο κατασκευάζεται από την εταιρία «Yang Iron Works Company» Το κάθετο κέντρο κατεργασίας βρίσκεται στο μηχανουργείο της Πολυτεχνικής Σχολής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου.

Το κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV – 1000, έχει τη δυνατότητα να κατεργάζεται στους τρεις άξονες X, Y και Z. Το τραπέζι εργασίας του μπορεί να κινείται στους άξονες X και Y, ενώ η κεφαλή του στον άξονα Z, κάνοντας το κατάλληλο για την περάτωση των πειραμάτων στην περίπτωση της διάτρησης. Στον Πίνακα Α.1 του Παραρτήματος Α μπορούμε να δούμε τα τεχνικά χαρακτηριστικά του [2].



Σχήμα 2.1: Κάθετο κέντρο κατεργασίας Yang Eagle SMV – 1000

Η λειτουργία του Yang Eagle SMV – 1000 γίνεται από το ελεγκτής (Controller) (Σχήμα 2.2) της εταιρίας FANUC. Επίσης για τη στερέωση του δοκιμίου πάνω στο τραπέζι εργασίας, καθώς και τη συγκράτηση του κοπτικού εργαλείου στην περιστρεφόμενη κεφαλή, χρησιμοποιήθηκαν τα παρακάτω εργαλεία (Σχήμα 2.3):

- Κεφαλή πρόσδεσης κονδυλίου
- Κλειδί σφίξης
- Δέστρες συγκράτησης
- Μέγκενη κεφαλής



Σχήμα 2.2: Ελεγκτής κάθετου κέντρου κατεργασίας



Σχήμα 2.3: Εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση των πειραμάτων

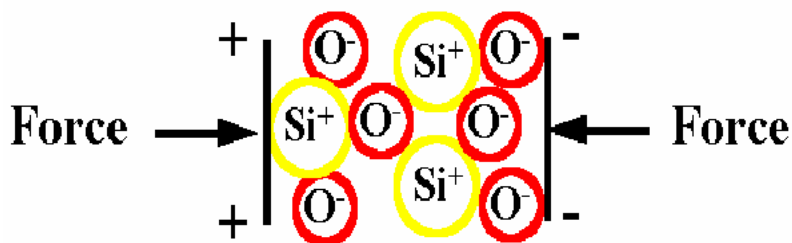
2.2.2 Επιταχυνσιόμετρα

Τα επιταχυνσιόμετρα είναι ηλεκτρομηχανικές συσκευές που έχουν την ικανότητα να μετρούν δυνάμεις επιτάχυνσης. Οι δυνάμεις αυτές μπορεί να είναι στατικές, όπως είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας, ή δυναμικές όταν προκαλούνται από

αλλαγές στην ταχύτητα ή στην διεύθυνση της κίνησης [3]. Η λειτουργία τους στηρίζεται στην αρχή του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου.

2.2.2.1 Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο

Το πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο εμφανίζεται όταν τα στοιχεία του πιεζοηλεκτρικού υλικού συμπιέζονται λόγω μιας εξωτερικής δύναμης, παράγοντας ηλεκτρικό φορτίο το οποίο συσσωρεύεται στις άκρες του (Σχήμα 2.4). Το υλικό αυτό μπορεί να είναι κρύσταλλοι χαλαζία ή πολυκρυσταλλικό κεραμικό, με διαφορετικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα το καθένα (Πίνακας 2.1) [4].



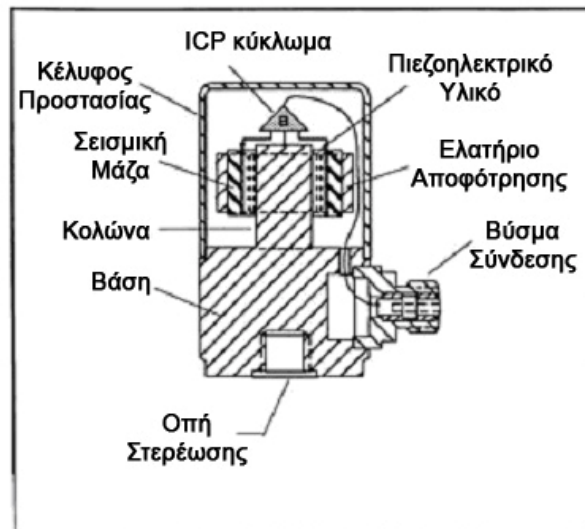
Σχήμα 2.4: Πιεζοηλεκτρικό φαινόμενο σε κρυστάλλους χαλαζία

Πίνακας 2.1 : Διαφορές πιεζοηλεκτρικών υλικών [4]

Κρύσταλλοι Χαλαζία	Πολυκρυσταλλικά Κεραμικά
Φυσικό πιεζοηλεκτρικό υλικό	Τεχνητό πιεζοηλεκτρικό υλικό
Ακαμψία εφάμιλλη του σιδήρου	Διαθέσιμο σε όλα τα μεγέθη και σχήματα
Άριστη σταθερότητα στο χρόνο	Υψηλή θερμοκρασία λειτουργίας
Μη – αλλαγή πόλωσης λόγω θερμοκρασίας	αλλαγή πόλωσης λόγω θερμοκρασίας
Μικρός θερμικός συντελεστής	Χαρακτηριστικά ανάλογα της θερμοκρασίας

2.2.2.2 Δομή τυπικού επιταχυνσιομέτρου

Η κυρίως δομή ενός τυπικού επιταχυνσιομέτρου αποτελείται από την βάση και την κολώνα, τα οποία κατασκευάζονται συνήθως από τιτάνιο. Η κολώνα περιβάλλεται από το πιεζοηλεκτρικό υλικό (κρύσταλλοι χαλαζία ή πολυκρυσταλλικό κεραμικό), το οποίο με τη σειρά του περιβάλλεται από τη σεισμική μάζα. Όλη η κατασκευή είναι εμφωλευμένη σε ένα κέλυφος προστασίας από τιτάνιο. (Σχήμα 2.5)



Σχήμα 2.5: Δομή τυπικού επιταχυνσιόμετρου

2.2.2.3 Επιταχυνσιόμετρα KISTLER τύπου 8702/4B25

Για την διεκπεραίωση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν δύο ολοκληρωμένα σετ επιταχυνσιόμετρων της εταιρίας Kistler, τύπου 8702/4B25 (Σχήμα 2.6). Τα προϋπάρχοντα επιταχυνσιόμετρα ήταν γενικού σκοπού, ικανά για λήψη μετρήσεων των δονήσεων σε μεγάλο εύρος εφαρμογών.

Τα επιταχυνσιόμετρα τύπου 8702/4B25 χρησιμοποιούν πιεζοηλεκτρικά στοιχεία από κρύσταλλο χαλαζία εξαιρετικής σταθερότητας στο χρόνο, ο οποίος διασφαλίζει την ακρίβεια και την επαναληψιμότητα των μετρήσεων σε βάθος χρόνου. Επιπλέον, παρέχει χαμηλή εγκάρσια ευαισθησία και θερμική μεταβατικότητα. Τέλος το εσωτερικό κύκλωμα Piezotron® μετατροπέας αντίστασης, παρέχει υψηλό επίπεδο σημάτων, με μικρή αντίσταση εξόδου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των επιταχυνσιόμετρων παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.2 του Παραρτήματος Α [5].



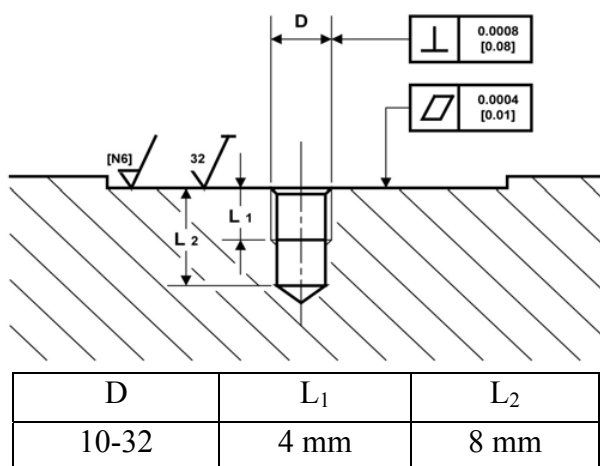
Σχήμα 2.6: Kistler Type 8702/4B25

2.2.2.4 Τοποθέτηση επιταχυνσιομέτρων

Ένας από τους σημαντικότερους παράγοντες στην εγκατάσταση των επιταχυνσιομέτρων είναι η σωστή επιλογή της τεχνικής στερέωσής τους, πάνω στην κατασκευή από την οποία θα γίνει η λήψη των δονήσεων. Σε συνδυασμό με την προσεκτική εγκατάστασή τους, θα επιφέρει μεγαλύτερη συχνότητα απόκρισης, μεγαλύτερη ακρίβεια και αξιοπιστία στις μετρήσεις [6].

Γνωρίζοντας ότι η συχνότητα του φαινομένου της διάτρησης, με σκοπό την πρόγνωση φθοράς του τρυπανιού, είναι της τάξεως των 10 KHz [7,8,9] και σύμφωνα με το εγχειρίδιο εγκατάστασης του κατασκευαστή [6] επιλέχθηκε η τεχνική της στερέωσης με βίδα. Η προετοιμασία της επιφάνειας (Σχήμα 2.7) που θα δεχόταν τα επιταχυνσιόμετρα, έγινε σε 4 βήματα τα οποία είναι :

1. Άνοιγμα οπής διαμέτρου 5mm και δημιουργία σπειρώματος M6, βάθους 12mm. Δοκιμή της βίδας στερέωσης ώστε να μην εφάπτεται στο κάτω μέρος της οπής, κατά την συναρμολόγηση με το επιταχυνσιόμετρο. Επιφανειακό πλάνισμα στη περιοχή γύρω από την οπή και γυάλισμα με γυαλόχαρτο Νο. 600, ώστε να επιτευχθεί η πλήρης επαφή του αισθητηρίου με την επιφάνεια πρόσδεσης.
2. Ολικό καθαρίσμα της επιφάνειας, γύρω από την περιοχή στερέωσης.
3. Εφαρμογή μιας λεπτής στρώσης από σιλικονούχο γράσο, στη βάση του επιταχυνσιομέτρου και στην περιοχή τοποθέτησης.
4. Εγκατάσταση του αισθητηρίου με τη χρήση ροπόκλειδου και ροπή σύσφιξης 2 Nm όπως προδιαγράφει ο κατασκευαστής.



Σχήμα 2.7: Επιφάνεια τοποθέτησης

Η παραπάνω διαδικασία έγινε σε υλικό Steel 40 διαστάσεων 170mm x 20mm x 210 mm, το οποίο τοποθετείται μεταξύ της τράπεζας εργασίας και του δοκιμίου εκτέλεσης των μετρήσεων. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας εγκατάστασης και η καλωδίωση των επιταχυνσιομέτρων φαίνεται στο Σχήμα 2.8



Σχήμα 2.8: Εγκατεστημένα επιταχυνσιόμετρα

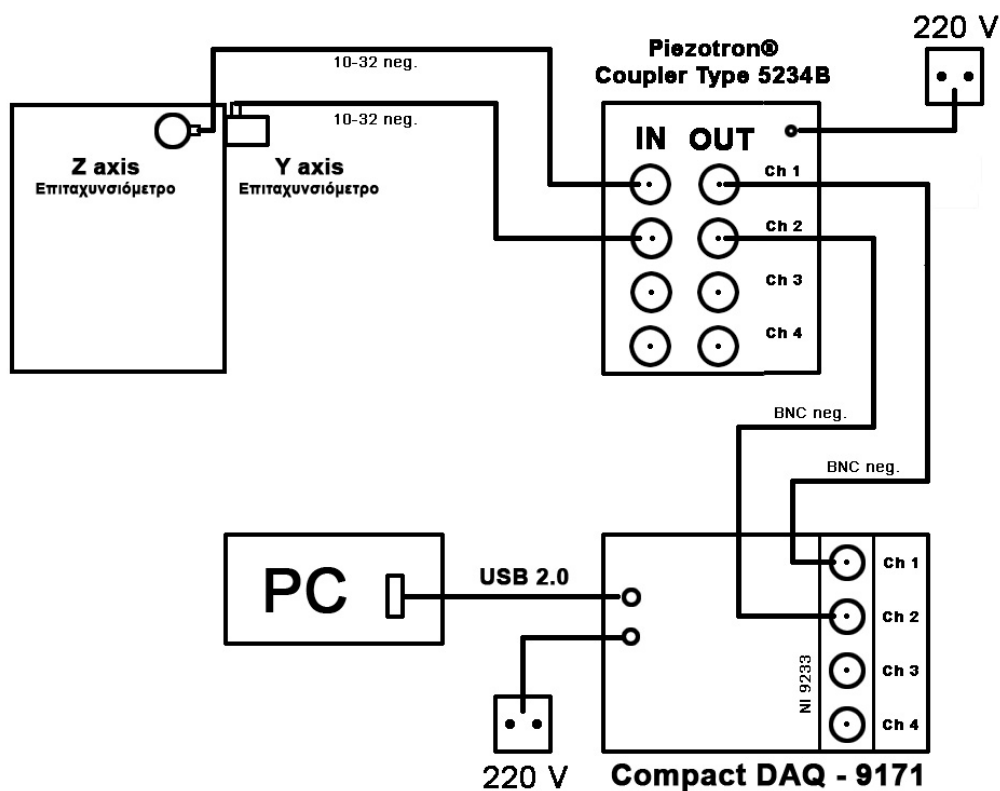
2.2.2.5 Τροφοδοτικό επιταχυνσιομέτρων τύπου 5134B

Η τροφοδοσία των επιταχυνσιομέτρων έγινε με το τροφοδοτικό τύπου 5134B0E (Σχήμα 2.9) της εταιρίας KISTLER. Ελέγχεται από μικροεπεξεργαστή παρέχοντας συνεχές ρεύμα DC σε 4 κανάλια, με τη δυνατότητα ρύθμισης του ρεύματος σε κάθε κανάλι ξεχωριστά. Επίσης διαθέτει χαμηλοπερατό φίλτρο, ρυθμιστή κέρδους και ορίου υπερφόρτωσης. Στον Πίνακα Α.3 του Παραρτήματος Α παρατίθενται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του τροφοδοτικού [10].



Σχήμα 2.9: Τροφοδοτικό επιταχυνσιομέτρων τύπου 5134B

Το κύκλωμα συνδεσμολογίας των επιταχυνσιόμετρων με το τροφοδοτικό καθώς και με την μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων, παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.10 .



Σχήμα 2.10: Κύκλωμα σύνδεσης επιταχυνσιόμετρων στο μετρητικό σύστημα

2.2.3 Αισθητήριο θερμοκρασίας

Το εγχείρημα της λήψης και καταγραφής της θερμοκρασίας του κοπτικού εργαλείου, υλοποιήθηκε με την επιλογή και αγορά ενός υπέρυθρου θερμομέτρου μη – επαφής (infrared thermometer). Λόγω της περιστροφής της ατράκτου και του κοπτικού εργαλείου, δεν ήταν εφικτή η καλωδίωση με σκοπό τη λήψη της θερμοκρασίας με θερμόμετρο επαφής, γνωστό ως θερμοηλεκτρικό ζεύγος (Thermocouple).

Αντιθέτως, σε πολλές περιπτώσεις βιομηχανικών και εμπορικών εφαρμογών, η υπέρυθρη θερμομέτρηση είναι η καλύτερη επιλογή, δεδομένου ότι εξασφαλίζει ασφάλεια, ελαχιστοποιεί τα υλικά απόβλητα και οι μετρήσεις γίνονται πιο γρήγορα και πιο αποδοτικά. Αυτή η λύση επιτρέπει την ασφαλή, μη καταστρεπτική μέτρηση της

θερμοκρασίας σε σημεία που είναι ευαίσθητα, κινούμενα, υψηλής τάσης, καθώς και εξαιρετικά θερμά ή απρόσιτα.

2.2.3.1 Λειτουργία υπέρυθρων θερμομέτρων

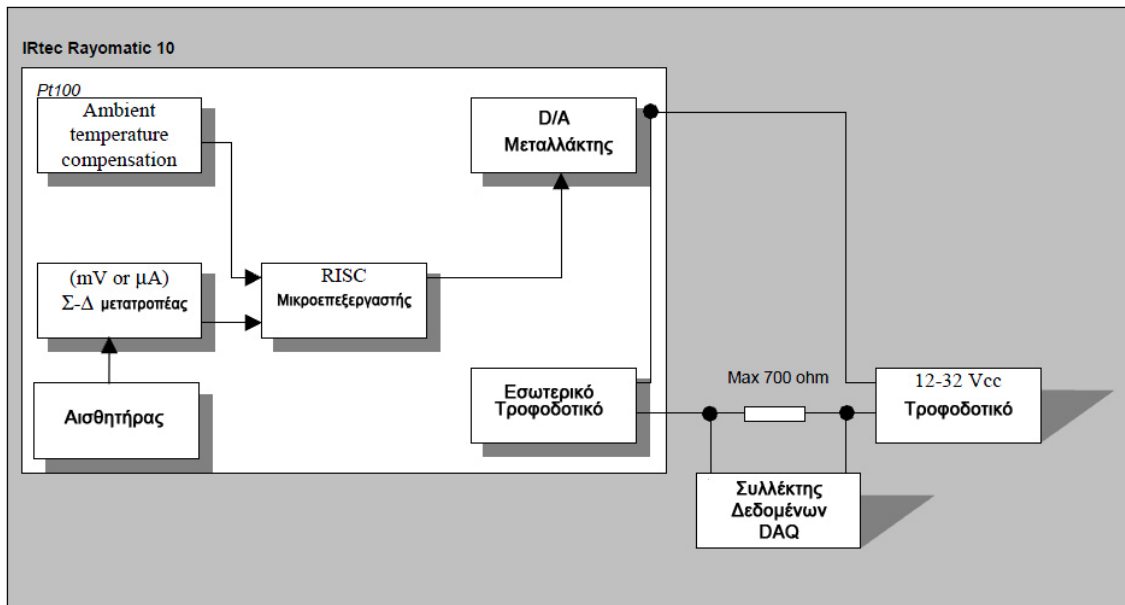
Κάθε υλικό με θερμοκρασία μεγαλύτερη από το απόλυτο μηδέν (-273°C) εκπέμπει υπέρυθρη ακτινοβολία, λόγω της εσωτερικής κίνησης των μορίων του. Η ένταση αυτής της κίνησης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του υλικού. Στοχεύοντας στο υλικό, το υπέρυθρο θερμομέτρο συλλέγει την εκπεμπόμενη υπέρυθρη ενέργεια που περνά στην ατμόσφαιρα και μέσω του οπτικού του συστήματος και του ηλεκτρονικού του κυκλώματος τη μετατρέπει σε ηλεκτρικό σήμα που απεικονίζεται ως θερμοκρασιακό μέγεθος. Το ηλεκτρικό αυτό σήμα, με μορφή αναλογικού σήματος ($4\ldots 20\text{mA}$, $0\ldots 10\text{V}$), μπορεί να μεταφερθεί σε οποιοδήποτε μονάδα καταγραφής σημάτων, ηλεκτρονικό υπολογιστή ή PLC κύκλωμα [11].

2.2.3.2 IRtec Rayomatic 10

Το θερμομέτρο υπέρυθρων Rayomatic 10 (Σχήμα 2.11) της εταιρίας IRtec, διαθέτει ειδικούς φακούς υψηλής ποιότητας για τη συλλογή, την εστίαση και το φιλτράρισμα της μετρούμενης ακτινοβολίας. Ο αισθητήρας ανίχνευσης υπέρυθρων, παράγει το αντίστοιχο ηλεκτρικό σήμα στο οποίο δίνεται γραμμική μορφή και το οποίο επεξεργάζεται από τον μικροεπεξεργαστή του ηλεκτρονικού κυκλώματος (Σχήμα 2.12) και στη συνέχεια αποκτά αναλογική ή ψηφιακή μορφή. Στον Πίνακα Α.4 του Παρατήματος Α φαίνονται αναλυτικά τα τεχνικά χαρακτηριστικά του θερμομέτρου.



Σχήμα 2.11: Rayomatic 10 θερμομέτρο υπέρυθρων



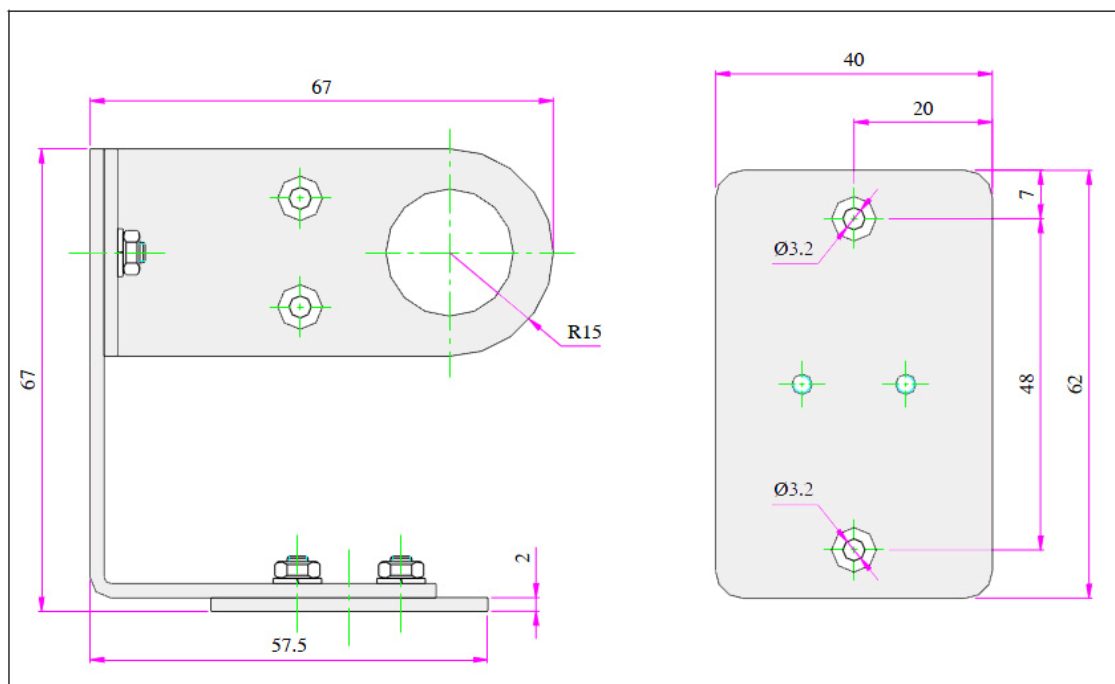
Σχήμα 2.12: Ηλεκτρονικό κύκλωμα Rayomatic 10

2.2.3.3 Εγκατάσταση θερμομέτρου

Η επιλογή της θέσης προς τοποθέτηση του θερμομέτρου υπερύθρων, έγινε μετά από προσεκτική μελέτη των γεωμετρικών χαρακτηριστικών του κάθετου κέντρου κατεργασίας Yang Eagle SMV-1000. Κατά τη διαδικασία της διάτρησης των δοκιμίων του πειράματος, η τράπεζα εργασίας κινείται στους άξονες X και Y με αποτέλεσμα να είναι αδύνατη η παρακολούθηση της διαδρομής του κοπτικού εργαλείου από το θερμόμετρο, εάν αυτό είχε τοποθετηθεί σε σημείο της τράπεζας.

Για το λόγο αυτό η τοποθέτηση έγινε στην βάση της ατράκτου, πολύ κοντά στο κοπτικό εργαλείο. Η στερέωση του θερμομέτρου έγινε με την κατασκευή μιας λάμας στήριξης από αλουμίνιο πάχους 3mm, πάνω στο οποίο βιδώθηκε το εξάρτημα του τριαξονικού ρυθμιστή θέσης (Σχήμα 2.13) του θερμομέτρου. Στη συνέχεια όλη η κατασκευή στερεώθηκε με κοχλία τριγωνικού σπειρώματος και διαμέτρου 8 mm σε προϋπάρχουσα οπή πάνω στη βάση της κεφαλής.

Το θερμόμετρο τοποθετήθηκε 110 mm από την ακμή του κοπτικού εργαλείου και με γωνία πρόσπτωσης $< 30^\circ$, σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή [12]. Με τη βοήθεια ενός οργάνου λείζερ έγινε το κεντράρισμα της οπτικής δέσμης πάνω στο κοπτικό εργαλείο. Η τελική διάταξη του θερμομέτρου τοποθετημένο πάνω στο κέντρο κατεργασίας, φαίνεται στο Σχήμα 2.14 .



Σχήμα 2.13: Μηχανολογικό σχέδιο στηρίγματος θερμομέτρου

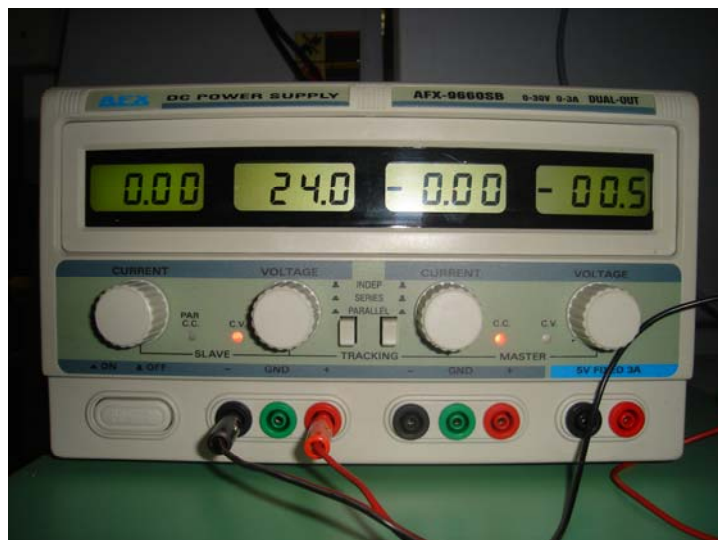


Σχήμα 2.14: Εγκατάσταση θερμομέτρου Rayomatic 10

2.2.3.4. Τροφοδοτικό AFX – 9660SB

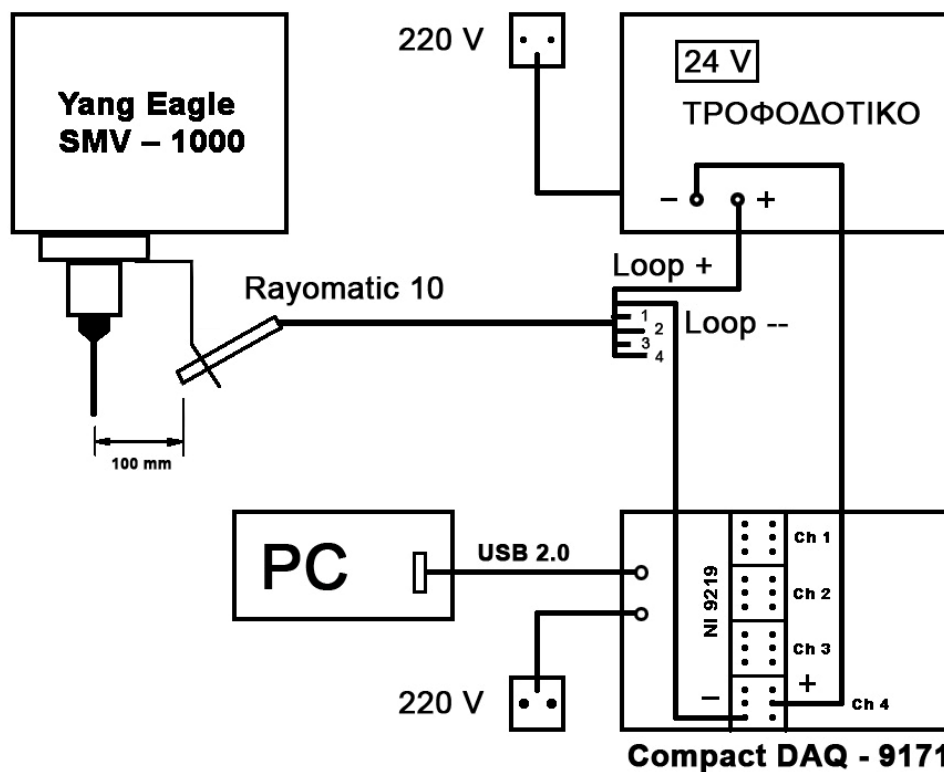
Η τροφοδοσία του θερμομέτρου υπερύθρων έγινε από το τροφοδοτικό AFX – 9660SB της εταιρίας AFX (Σχήμα 2.15). Το τροφοδοτικό έχει τη δυνατότητα να παρέχει 3 εξόδους, 2 ρυθμιζόμενες και μία σταθερή, τάση 60 V σε σειρά και 6 A σε παράλληλη συνδεσμολογία των εξόδων του. Χάρη στο αποδοτικό κύκλωμα που

διαθέτει, παρέχει τάση και ρεύμα μεγάλης σταθερότητας καθώς και προστασία από υπερφορτίσεις. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα Α.5 του Παραρτήματος Α [13].



Σχήμα 2.15: Τροφοδοτικό AFX – 9660SB

Το κύκλωμα της συνδεσμολογίας του θερμομέτρου IRtec Rayomatic 10 με το τροφοδοτικό και τη μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων (Data Acquisition Unit, DAQ), φαίνεται στο Σχήμα 2.16 .



Σχήμα 2.16: Συνδεσμολογία θερμομέτρου , τροφοδοτικού και μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων

2.2.4 Μικροσκόπιο BioLux AL

Στην οπτική αξιολόγηση της φθοράς των κονδυλίων μετά το πέρας των πειραμάτων, χρησιμοποιήθηκε το μικροσκόπιο BioLux AL της εταιρίας BRESSER (Σχήμα 2.17). Έχει ικανότητα μεγέθυνσης του εξεταζόμενου αντικειμένου από 20x μέχρι 1280x, αρκετή για την οπτική διάγνωση της φθοράς. Διαθέτει ηλεκτρονικό οπτικό αισθητήρα, ο οποίος συνδέεται σε Η/Υ μέσω καλωδίου USB καθώς και κατάλληλο πρόγραμμα επεξεργασίας εικόνας, παρέχοντας τη δυνατότητα αποθήκευσης των εικόνων σε ηλεκτρονική μορφή.



Σχήμα 2.17: Το μικροσκόπιο BioLux AL

2.2.5 Αισθητήριο μέτρησης ρεύματος

Στις μετρήσεις του ρεύματος κινητήρα περιστροφής καθώς και του ρεύματος κινητήρα οδήγησης του άξονα Z, χρησιμοποιήθηκαν 2 επαγωγικοί μετασχηματιστές. Σύμφωνα με την αρχή του Rogowski [14], όταν ένας αγωγός διαρρέεται από ρεύμα και περνά μέσα από πηνίο σε διάταξη 360 μοιρών, το πηνίο αυτό παράγει τάση στην έξοδό του.

Λόγω ότι οι συναρτήσεις μεταφοράς που συνδέουν την τάση εξόδου με το ρεύμα εισόδου δεν είναι γνωστές, πρέπει να γίνει αρχικά η βαθμονόμηση του μετασχηματιστή με βάση τη λειτουργία του κινητήρα περιστροφής ή του κινητήρα πρόωσης του άξονα Z του κάθετου κέντρου κατεργασίας. Από τη βαθμονόμηση [15] προκύπτουν οι συναρτήσεις του ρεύματος των μετασχηματιστών και παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2: Συναρτήσεις ρεύματος των μετασχηματιστών

Τιμή V_{out} (V)	Τιμή $I_{spindle}$ (A)
$V_{out} \leq 1,2$ V	$I = 4,4 \cdot V_{out} + 0,3$ (A)
$V_{out} > 1,2$ V	$I = 19,8 \cdot V_{out} - 18,1$ (A)

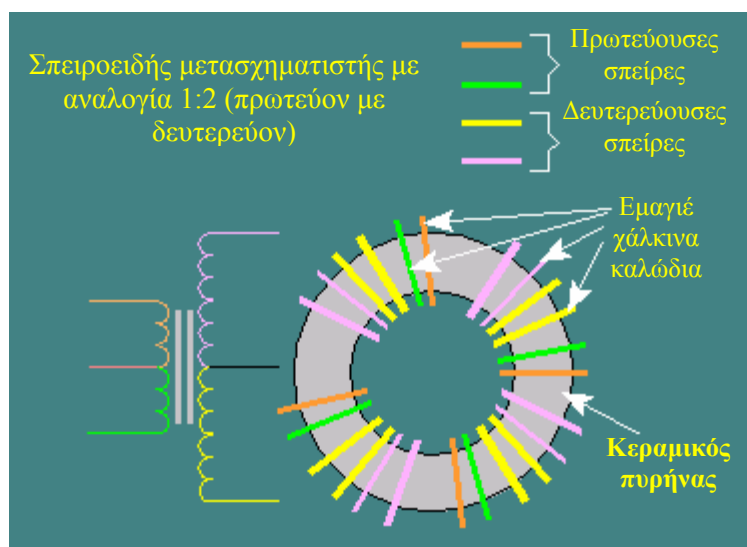
2.2.5.1 Αρχή Λειτουργίας μετασχηματιστών

Οι σπειροειδείς μετασχηματιστές έχουν την υψηλότερη απόδοση, μεταξύ των μετασχηματιστών. Προσφέρουν σε μικρό μέγεθος (βάσει όγκου και βάρους), τις μικρότερες απώλειες αυτεπαγωγής και τη χαμηλότερη ηλεκτρομαγνητική παρενόχληση (Electromagnetic Interference, EMI). Επίσης, οι σπείρες τους ψύχονται καλύτερα, λόγω της αναλογικά μεγαλύτερης επιφάνειας [16,17,18].

Ένας σπειροειδής μετασχηματιστής τυλίγματος 360 μοιρών (τοροειδής), έχει υψηλό βαθμό συμμετρίας. Η γεωμετρία του αυτή, οδηγεί σε πλήρη απομόνωση των μαγνητικών πεδίων, εκτός των σπειρών του. Ως εκ τούτου, οι σπειροειδείς μετασχηματιστές έχουν τη μικρότερη διαρροή αυτεπαγωγής και το μικρότερο EMI σε σχέση με άλλους μετασχηματιστές της ίδιας ισχύος, όπως ειπώθηκε και παραπάνω. Οι σπειροειδείς μετασχηματιστές με κυκλική διατομή πυρήνα, έχουν καλύτερη απόδοση από τους εκείνους με ορθογωνική διατομή. Η απομόνωση είναι πληρέστερη για τη κυκλική διατομή. Επίσης, δίνει πιο μικρό μήκος περιέλιξης, ανά μονάδα της περιοχής διατομής κι έτσι μικρότερες αντιστάσεις σπειρών. Ο σπειροειδής μετασχηματιστής έχει επίσης καλύτερη μαγνητική σύζευξη, μεταξύ σπειρών, λόγω της μορφής του. Η σύζευξη εξαρτάται, από το αν το τύλιγμα, τυλίγεται πλήρως για 360 μοίρες γύρω από τον πυρήνα και άμεσα πάνω από το προγενέστερο τύλιγμα. Ως εκ τούτου, το τύλιγμα των σπειρών του τομέα, δεν έχει το ίδιο καλή σύζευξη και έχει μεγαλύτερη διαρροή αυτεπαγωγής. Όσο οι σπείρες, τοποθετούνται μακρύτερα από τον πυρήνα, τόσο θα επιτυγχάνεται μικρότερη πλήρης σύζευξη. Έτσι, οι σπειροειδείς μετασχηματιστές με πολυστρωματική περιέλιξη θα εμφανίσουν μεγαλύτερη διαρροή αυτεπαγωγής.

Η περιέλιξη των μετασχηματιστών, είναι μαγνητικά καλώδια επενδυμένα με μονωτικό εμαγιέ υλικό, που τυλίγονται γύρω από τον πυρήνα. Ο αριθμός των περιελίξεων καθορίζεται από το πόσες φορές ένα κομμάτι καλωδίου, κάνει μια πλήρη στροφή γύρω από τον πυρήνα. Το πρωτεύον τύλιγμα είναι το τύλιγμα εισόδου. Το δευτερεύον τύλιγμα είναι το τύλιγμα εξόδου. Το δευτερεύον οδηγείται από το μαγνητικό πεδίο που προκαλεί το πρωτεύον στον πυρήνα. Ένας μετασχηματιστής με αναλογία 1:1 δεν θα προκαλέσει αύξηση ή μείωση τάσης (μην λαμβάνοντας υπόψη τις μικρές απώλειες) από το πρωτεύον, στο δευτερεύον. Εάν, η αναλογία είναι 1:2 (πρωτεύον:δευτερεύον), η τάση στο δευτερεύον θα είναι διπλάσια της τάσης του πρωτεύοντος και το αντίστροφο. Μια αναλογία 1:3 σημαίνει ότι το δευτερεύον θα έχει τριπλάσια τάση από αυτήν στο πρωτεύον. Φυσικά, όλο αυτό ισχύει για έναν μετασχηματιστή υπό μικρό ή καθόλου φορτίο (ελάχιστη τρέχουσα ροή). Όταν το ρεύμα προέρχεται από το δευτερεύον τύλιγμα, θα υπάρξει μια πτώση τάσης και επομένως, μια αναλογία τάσης που μπορεί να μην είναι ίση με την αναλογία τυλίγματος. Αυτή η

απώλεια τάσης οφείλεται πρώτιστα, στην μικρότερη του 100% αποδοτικότητα της μαγνητικής σύζευξης, μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος τυλίγματος, μέσω του πυρήνα και επίσης σε μερικές απώλειες (αντίστασης) χαλκού. Αυτό σημαίνει, ότι όλη η μεταφορά ισχύος μεταξύ πρωτεύοντος και δευτερεύοντος, μεταφέρεται (μαγνητικά) μέσω του πυρήνα. Η αναλογία τυλίγματος του παρακάτω μετασχηματιστή είναι 1:2. Παρατηρώντας καλύτερα, υπάρχουν δύο φορές περισσότερες δευτερεύουσες σπείρες, από τις πρωτεύουσες. Το Σχήμα 2.18 επιδεικνύει, πώς συσχετίζονται οι σπείρες μεταξύ τους. Το κεντρικό καλώδιο του πρωτεύοντος (κόκκινο) συνδέεται με την είσοδο (πηγή). Το κεντρικό καλώδιο του δευτερεύοντος (μαύρο) συνδέεται με την έξοδο.



Σχήμα 2.18: Σπειροειδής μετασχηματιστής αναλογίας 1:2

Οι σπειροειδείς μετασχηματιστές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε οποιαδήποτε ηλεκτρονική εφαρμογή μετασχηματιστών, που μπορεί να ταιριάζει στη μορφή τους. Αν και χρησιμοποιούνται ευρύτατα, οι σπειροειδείς μετασχηματιστές, δεν είναι πάντα πρακτικοί για μερικές εφαρμογές. Αυτοί που έχουν κενά, συνήθως απαιτούν την κάλυψή τους με κάποιο μονωτικό υλικό, για τη διευκόλυνση της διαδικασίας τυλίγματος. Αυτό είναι μια πρόσθετη δαπάνη. Κατά γενική όμως ομολογία, οι σπειροειδείς μετασχηματιστές είναι ακριβότεροι από τους κοινούς μετασχηματιστές.

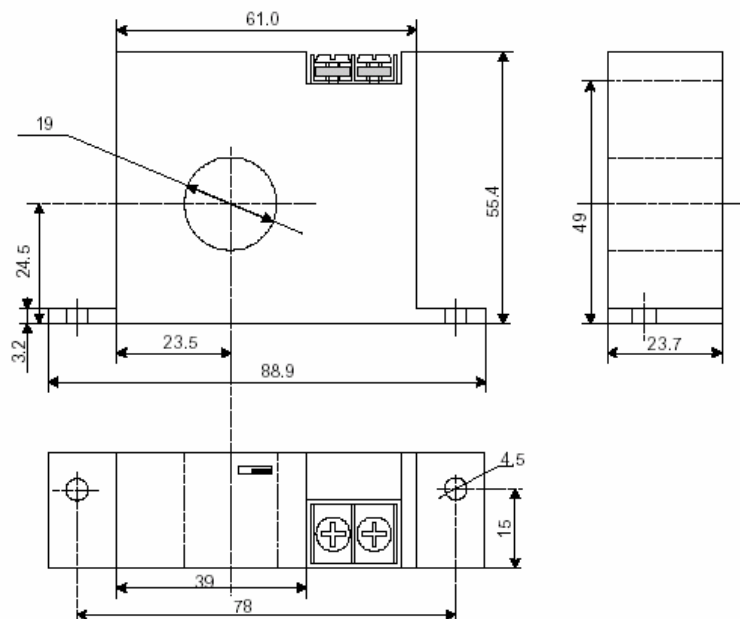
Η κατηγορία αυτού του μετασχηματιστή, μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτοματοποιημένα συστήματα για απομακρυσμένο αναλογικό έλεγχο του ρεύματος π.χ. ενός κινητήρα. Επίσης για καταχωρήσεις δεδομένων, κυρίως λόγω του ότι δεν τροφοδοτείται από τους καταχωρητές αλλά από μόνος του, καθώς και σε ηχεία. Τέλος, και σε ηλεκτρολογικούς πίνακες όπου συνδέεται για να εμφανίζει την κατανάλωση.

2.2.5.2 Μετατροπέας AK 50 C10

Οι μετατροπείς που επιλέχθηκαν για τη μέτρηση του ρεύματος των κινητήρων περιστροφής και πρόωσης άξονα Z, ήταν το μοντέλο AK 50 C10 της εταιρίας LEM (Σχήμα 2.19). Αποτελούνται από μία διάταξη μετασχηματιστή και ένα ηλεκτρονικό κύκλωμα παρακολούθησης και φιλτραρίσματος των σημάτων ρεύματος. Παρέχουν υψηλή ακρίβεια μετρήσεων, εύκολη συνδεσιμότητα, μειωμένο κόστος καθώς και εξοικονόμηση χώρου χάρη στο περιορισμένο μέγεθός τους (Σχήμα 2.20). Η είσοδός τους I_{in} είναι 0-50A RMS, ενώ η έξοδός τους V_{out} είναι τάση εύρους 0-10V DC. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα Α.6 του Παραρτήματος Α [19].



Σχήμα 2.19: Μετατροπέας επαγωγής AK 50 C10



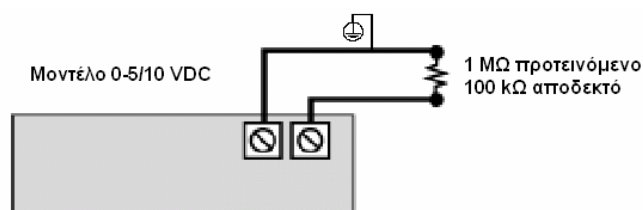
Σχήμα 2.20: Μηχανολογικό σχέδιο μετατροπέα AK 50 C10

2.2.5.3 Εγκατάσταση μετατροπέων

Η εγκατάσταση των δύο μετατροπέων AK 50 C10 με σκοπό τη μέτρηση του ρεύματος κινητήρα περιστροφής και του κινητήρα οδήγησης του άξονα Z, έγινε στον ηλεκτρολογικό πίνακα του κάθετου κέντρου κατεργασίας. Από το εγχειρίδιο χρήσης του κατασκευαστή καθώς και από το ηλεκτρολογικό σχέδιο της μηχανής, βρέθηκαν τα καλώδια τα οποία τροφοδοτούν με ρεύμα τους 2 κινητήρες.

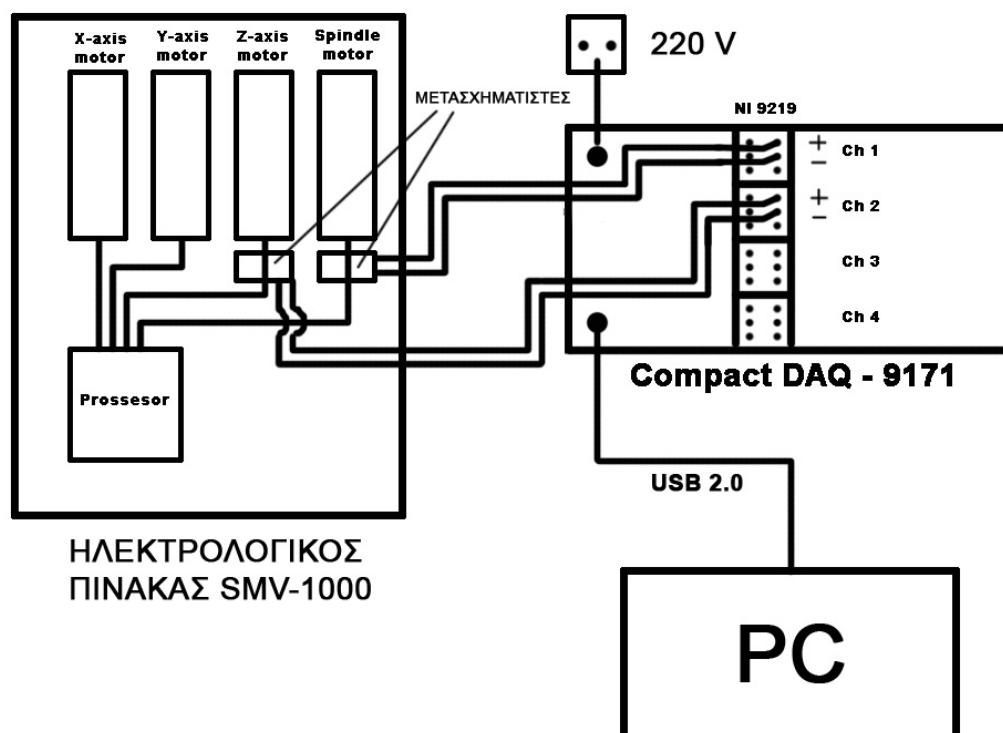
Αρχικά αποσυνδέθηκε το καλώδιο τροφοδοσίας του κινητήρα περιστροφής και περάστηκε μέσα από τον δακτύλιο του μετατροπέα. Μετά τη στερέωση του μετατροπέα μέσα στον πίνακα, το καλώδιο συνδέθηκε στην αρχική του θέση.

Στη συνέχεια με καλώδια μικρής αντίστασης και διαμέτρου 1mm, συνδέθηκε η έξοδος του μετατροπέα με την μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων (Data Acquisition). Μεταξύ του θετικού και αρνητικού πόλου της εξόδου του μετατροπέα, τοποθετήθηκε ωμική αντίσταση 1 MΩ και 1,5 Watt (Σχήμα 2.21) σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή.



Σχήμα 2.21: Συνδεσμολογία ωμικής αντίστασης στην έξοδο τάσης των μετατροπέων

Η παραπάνω διαδικασία εκτελέστηκε παρομοίως και για την τοποθέτηση του μετατροπέα, στο καλώδιο τροφοδοσίας του κινητήρα πρόωσης του άξονα Z. Το τελικό σχέδιο της εγκατάστασης παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.22 .



Σχήμα 2.22: Συνδεσμολογία 2 μετατροπέων στον ηλεκτρολογικό πίνακα του SMV-1000

2.2.6 Φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής

Για την περάτωση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκε ένας φορητός ηλεκτρονικός υπολογιστής, ο οποίος ήταν αναγκαίος για την καταγραφή και αποθήκευση των μετρήσεων από την μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων. Επίσης χρησιμοποιήθηκε για την επεξεργασία τους καθώς και για τη δημιουργία του κώδικα G της κατεργασίας των δοκιμών που θα χρησιμοποιούνταν στα πειράματα.

Επιλέχθηκε ο φορητός υπολογιστής E200 A CP12HS της εταιρίας LG (Σχέδιο 2.23). Χάρη στον τελευταίας τεχνολογίας επεξεργαστή ,στη μεγάλη μνήμη RAM και στον άφθονο αποθηκευτικό του χώρο, συντέλεσε στην αξιοπιστία και στην ταχύτητα του μετρητικού συστήματος. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του υπολογιστή παρουσιάζονται στον Πίνακα A.7 του Παραρτήματος A [20].



Σχέδιο 2.23: Φορητός υπολογιστής LG E200

2.2.7 Data Acquisition (μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων)

Η συλλογή των δεδομένων από τα περιφερειακά αισθητήρια όργανα που εγκαταστάθηκαν με σκοπό την πρόγνωση φθοράς κοπτικών εργαλείων, έγινε από το Data Acquisition (μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων) CompactDAQ – 9172 (Σχήμα 2.24) της εταιρίας National Instruments. Στο 8 θέσεων μεταλλικό πλαίσιό του, υπάρχει η δυνατότητα να τοποθετηθούν 8 υπομονάδες μέτρησης (modules) αναλογικών ή ψηφιακών εισόδων και εξόδων. Επίσης διαθέτει δύο ολοκληρωμένα κυκλώματα χρονομετρητών των 32 bit, καθώς και σύνδεση με H/Y μέσω USB καλωδίου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρουσιάζονται αναλυτικά στον Πίνακα Α.8 του Παραρτήματος Α [21].



Σχήμα 2.24: Πλαίσιο στήριξης μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων CompactDAQ – 9172

2.2.8 Υπομονάδες μέτρησης (modules)

Για τη δημιουργία του μετρητικού συστήματος, χρησιμοποιήθηκαν 5 διαφορετικές υπομονάδες μέτρησης (modules) της εταιρίας National Instruments, οι οποίες τοποθετήθηκαν στο πλαίσιο στήριξης της μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων CompactDAQ – 9172. Οι υπομονάδες εξασφαλίζουν την υψηλή απόδοση μετρήσεων σε μεγάλο εύρος βιομηχανικών και εργαστηριακών αισθητήρων καθώς και σε πολλούς τύπους σημάτων. Χάρη στο μικρό τους μέγεθος και στην εύκολη συνδεσιμότητα, μειώνουν το κόστος καλωδίωσης. Οι υπομονάδες μέτρησης που χρησιμοποιήθηκαν, είναι:

- NI 9206 αναλογικών εισόδων για μπαταρίες
- NI 9219 24-Bit αναλογικών εισόδων
- NI 9411 ψηφιακών εισόδων
- NI 9233 24-Bit IEPΕ αναλογικών εισόδων

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους καθώς και η χρήση τους στη μετρητική διάταξη, αναλύονται παρακάτω.

2.2.8.1 NI 9206 αναλογικών εισόδων για μπαταρίες

Η υπομονάδα μέτρησης NI 9206 (Σχήμα 2.25), διαθέτει 16 αναλογικά κανάλια εισόδου για μετρήσεις ρεύματος από -200mA μέχρι +200mA, καθώς και τάση εύρους $\pm 10V$. Έχει ανάλυση 16 bit και μέγιστη ταχύτητα δειγματοληψίας 250 Ks/s . Τα τεχνικά χαρακτηριστικά, παρουσιάζονται στον Πίνακα Α.9 του Παραρτήματος Α [22].



Σχήμα 2.25: Αναλογική υπομονάδα μέτρησης NI 9206

2.2.8.2 NI 9219 24-Bit αναλογικών εισόδων

Η NI 9219 της National Instruments (Σχήμα 2.26) είναι υπομονάδα μέτρησης διαφόρων αισθητηρίων, όπως θερμοζεύγη, RTD, αισθητήρες πίεσης, αντιστάσεων, ρεύματος και τάσης. Διαθέτει 4 αναλογικά κανάλια εισόδου, από τα οποία μπορεί να γίνει λήψη μετρήσεων από διαφορετικούς αισθητήρες σε κάθε κανάλι. Χρησιμοποιήθηκε στις μετρήσεις του ρεύματος του κινητήρα περιστροφής και κινητήρα οδήγησης του άξονα Z, μετρώντας την τάση από τους 2 μετατροπείς. Επίσης σε ένα από τα 4 κανάλια συνδέθηκε το θερμόμετρο υπερύθρων, από το οποίο μετρήθηκε το ρεύμα εξόδου του. Στον Πίνακα A.10 του Παραρτήματος A παρουσιάζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά του NI 9219 [23].



Σχήμα 2.26: Υπομονάδα γενικών αναλογικών εισόδων NI 9219

2.2.8.3 NI 9411 ψηφιακών εισόδων

Η NI 9411(Σχήμα 2.27) είναι σχεδιασμένη για 6 κανάλια ψηφιακών εισόδων. Κάθε κανάλι είναι συμβατό από ± 5 μέχρι ± 24 V σήματα, ικανό για τη λήψη από μεγάλου εύρους βιομηχανικούς διακόπτες, μετατροπείς και άλλων συσκευών. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά παρατίθενται στον Πίνακα A.11 του Παραρτήματος A [24].



Σχήμα 2.27: Υπομονάδα ψηφιακών εισόδων NI 9411

2.2.8.4 NI 9233 24-Bit IEPΕ αναλογικών εισόδων

Η NI 9233 (Σχήμα 2.28) της National Instruments είναι υπομονάδα για τη λήψη μετρήσεων ακουστικών συχνοτήτων καθώς και μετρήσεις από πιεζοηλεκτρικά αισθητήρια όργανα, όπως μικρόφωνα και επιταχυνσιόμετρα. Στα 2 από τα 4 κανάλια που διαθέτει, συνδέθηκαν τα αισθητήρια των επιταχυνσιομέτρων για τη μέτρηση των δονήσεων στους άξονες Z και Y. Η ικανότητα μέτρησης μπορεί να φτάσει τα 51,2 KHz ανά κανάλι καθώς και το antialiasing φίλτρο που διαθέτει, προσαρμόζεται αυτόματα στη συχνότητα δειγματοληψίας. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά του παρατίθενται στον Πίνακα Α.12 του Παραρτήματος Α [25].



Σχήμα 2.28: Υπομονάδα NI 9233 λήψης σημάτων από επιταχυνσιόμετρα

2.2.8.5 Εγκατάσταση Data Acquisition (Μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων) και υπομονάδων

Η εγκατάσταση της μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων μαζί με τις υπομονάδες (modules), έγινε μέσα σε μεταλλικό πίνακα διανομής τύπου Pilar κατασκευασμένο από χαλβοέλασμα γαλβανιζέ πάχους 2mm ηλεκτροστατικής βαφής. Προσφέρει προστασία βαθμού IP55, ικανό να προστατέψει τα ευαίσθητα στην υγρασία ηλεκτρονικά κυκλώματα του DAQ.

Ο πίνακας στερεώθηκε με μεταλλική κατασκευή στην δεξιά πλευρά του κάθετου κέντρου κατεργασίας SMV-1000, κοντά στον ηλεκτρολογικό πίνακα της μηχανής. Στο Σχήμα 2.29 φαίνεται ο πίνακας, μετά την τοποθέτησή του στο κέντρο κατεργασίας.



Σχήμα 2.29: Εγκατεστημένος πίνακας και μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων

2.3 Γενική μετρητική διάταξη

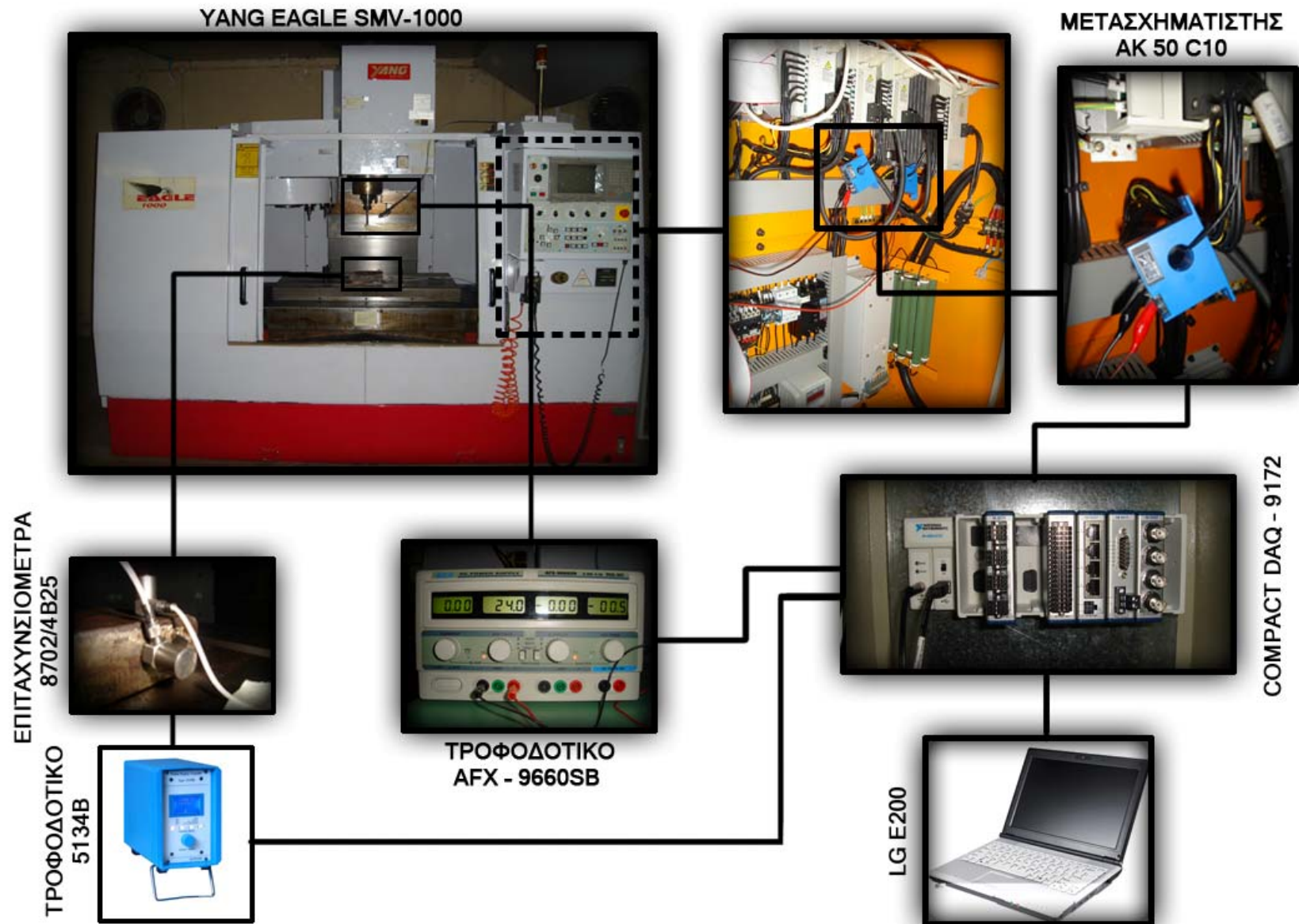
Τελειώνοντας την εγκατάσταση όλων των αισθητήριων οργάνων στο κάθετο κέντρο κατεργασίας, καθώς και την καλωδίωση τους με την μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων, η μετρητική διάταξη είχε ολοκληρωθεί (Σχήμα 2.30).

Τα εγκατεστημένα αισθητήρια και ο ηλεκτρονικός εξοπλισμός, δεν απεγκαταστάθηκε καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων, ώστε οι συνθήκες των πειραμάτων να παραμείνουν όσον το δυνατόν σταθερές.

2.4 Σύνοψη

Στο κεφάλαιο αυτό, γίνεται η παρουσίαση και η ανάλυση των τεχνικών χαρακτηριστικών του εξοπλισμού (hardware), που χρησιμοποιήθηκε στην υλοποίηση του συστήματος παρακολούθησης των λειτουργικών παραμέτρων του κάθετου κέντρου κατεργασίας Yang Eagle SMV-1000. Επίσης αναφέρονται τα κριτήρια επιλογής του κάθε αισθητήριου οργάνου, καθώς και η αρχή λειτουργίας τους.

Στο κεφάλαιο 3 γίνεται η ανάλυση του λογισμικού που χρησιμοποιήθηκε για τη συλλογή και πρόσκτηση των δεδομένων, από τα εγκατεστημένα αισθητήρια.



Σχήμα 2.30: Γενική άποψη μετρητικής διάταξης

2.4 Βιβλιογραφία

- [1] Erkki Jantunen & Harri Jokinen, “*Automated On-Line Diagnosis of Cutting Tool Condition*”, International Journal of Flexible Automation and Integrated Manufacturing, 4(3&4) 273-287, 1996.
- [2] Εγχειρίδιο λειτουργίας κάθετου κέντρου κατεργασίας EAGLE SMV-1000.
- [3] Dimension Engineering LLC,
<http://www.dimensionengineering.com/accelerometers.htm> (2/4/2009).
- [4] PCB Piezotronics,
http://www.pcb.com/techsupport/tech_gen.php (2/4/2009).
- [5] K-Shear® Accelerometers Type 8702B, Data sheet, Kistler.
- [6] K-Shear and Piezostar Accelerometers, Instruction Manual, Kistler.
- [7] Erkki Jantunen, “*Indirect multisignal monitoring and diagnosis of drill wear*”, VTT Publications, 2005.
- [8] Ann Arbor, “*A Sensor for every Application*”, Brochure of Montronix Company, USA, 1996.
- [9] “*Acceleration Instrumentation for a Dynamic World*”, Brochure of Kistler Company, Switzerland, 1993.
- [10] Piezotron® Coupler Type 5134B, Data sheet, Kistler.
- [11] Νεκτάριος Βλάχος, “*RED ή INFRARED; Ποιος ο λόγος για τη βιομηχανία να λειτουργεί στο «κόκκινο», όταν υπάρχει η τεχνολογία υπερύθρων;*”, Βιοτεχνικό Επιμελητήριο Πειραιά,
http://www.bep.gr/index.php?option=com_content&task=view&id=927&Itemid=192 (8/4/2009).
- [12] Rayomatic 10, Instruction manual.

- [13] AFX – 9660SB Instructions Manual, Data sheet, AFX.
- [14] D. A. Ward and J. La T. Exon, “*Using Rogowski coils for transient current measurements*”, Engineering Science and Education Journal, June 1993.
- [15] Σουρουτζίδης Γιάννης, “*Ανάπτυξη μετρητικού συστήματος σε κέντρο τórνευσης μετάλλου*”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Διπλωματική εργασία.
- [16] Butler Winding, Toroidal Transformer.
<http://www.butlerwinding.com/electronic-transformer/toroidal/index.html>
(16/4/2008).
- [17] Rod Elliott, “*Beginners' Guide to Transformers*”, Elliott Sound Products,
<http://sound.westhost.com/xfmr.htm> (16/4/2009).
- [18] Perry Babin, “*Basic car audio electronics*”, © 1998-2008 Perry Babin,
<http://www.bcae1.com> (16/4/2009).
- [19] AC Current transducer AK 50 C10, Manual, LEM.
- [20] Specifications sheet E200, LG United Kingdom.
- [21] CompactDAQ – 9172 Specifications, Manual, National Instruments.
- [22] NI 9206 Specifications, Manual, National Instruments.
- [23] NI 9219 Specifications, Manual, National Instruments.
- [24] NI 9411 Specifications, Manual, National Instruments.
- [25] NI 9233 Specifications, Manual, National Instruments.

Κεφάλαιο 3

Λογισμικό Μετρητικού Συστήματος (Software)

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	59
3.1 Εισαγωγή	60
3.2 TopSolid 2005	60
3.2.1 Σχεδιασμός και κατεργασία δοκιμίου	61
3.3 LabVIEW 8.0	64
3.3.1 Εικονόργανο λήψης, απεικόνισης και αποθήκευσης δεδομένων	65
3.3.1.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)	65
3.3.1.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)	67
3.3.2 Εικονόργανο στατιστικής ανάλυσης	72
3.3.2.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)	72
3.3.2.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)	73
3.4 Matlab R2008a	76
3.4.1 Κώδικας Matlab R2008a	76
3.5 Λογιστικό πακέτο Microsoft EXCEL	76
3.6 Σύνοψη	77
3.7 Βιβλιογραφία	78

3.1 Εισαγωγή

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καταλυτικό ρόλο έπαιξε το λογισμικό (Software) που χρησιμοποιήθηκαν για την ολοκλήρωση της. Λόγω της πολυπλοκότητας του προς εκτέλεση εργαστηριακού πειράματος των μετρήσεων, δεν ήταν δυνατή η ολοκλήρωσή του από ένα και μόνο πρόγραμμα, αλλά από μια σειρά προγραμμάτων.

Το βασικό κριτήριο της επιλογής λογισμικού, ήταν η ευκολία του χρήστη στη δημιουργία μιας πλατφόρμας επικοινωνίας μεταξύ χρηστών – μηχανημάτων, που είχε ως στόχο τη λήψη, την καταγραφή και την επεξεργασία όλων των λειτουργικών παραμέτρων του κάθετου κέντρου κατεργασίας. Επίσης λόγω των απρόβλεπτων προβλημάτων που εμφανίζονται συχνά στα εργαστηριακά πειράματα, η αντιμετώπισή τους από τον χρήστη θα έπρεπε να είναι άμεση και εύκολη. Έτσι, επιλέχθηκαν τα παρακάτω λογισμικά :

- TopSolid, Missler ολοκληρωμένο πακέτο CAD/CAM/ERP
- LabVIEW 8.0, National Instruments
- Matlab R2008a, MathWorks
- Λογιστικό πακέτο Excel, Microsoft

Η χρήση των προγραμμάτων, παρουσιάζεται και αναλύεται παρακάτω.

3.2 TopSolid 2005

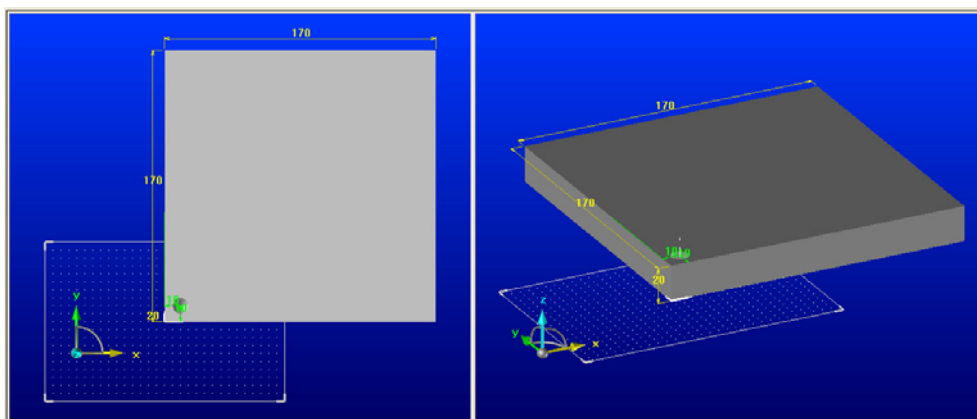
Το TopSolid είναι ένα πλήρως παραμετρικό και ολοκληρωμένο CAD/CAM λογισμικό, που παρέχει τη δυνατότητα σχεδιασμού αντικειμένων τριών διαστάσεων, καθώς και την ολοκληρωμένη εικονική κατεργασίας τους για την εξαγωγή του G και M κώδικα. Η ευκολία σχεδιασμού, η βάση δεδομένων κοπτικών εργαλείων, η βάση δεδομένων υλικών και οι έτοιμοι κύκλοι κατεργασιών, είναι μερικά από τα πλεονεκτήματα που προσφέρει.

Παρακάτω παρουσιάζεται η διαδικασία σχεδιασμού και κατεργασίας, του δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκε στην εκτέλεση των πειραμάτων.

3.2.1 Σχεδιασμός και καταργασία δοκιμίου

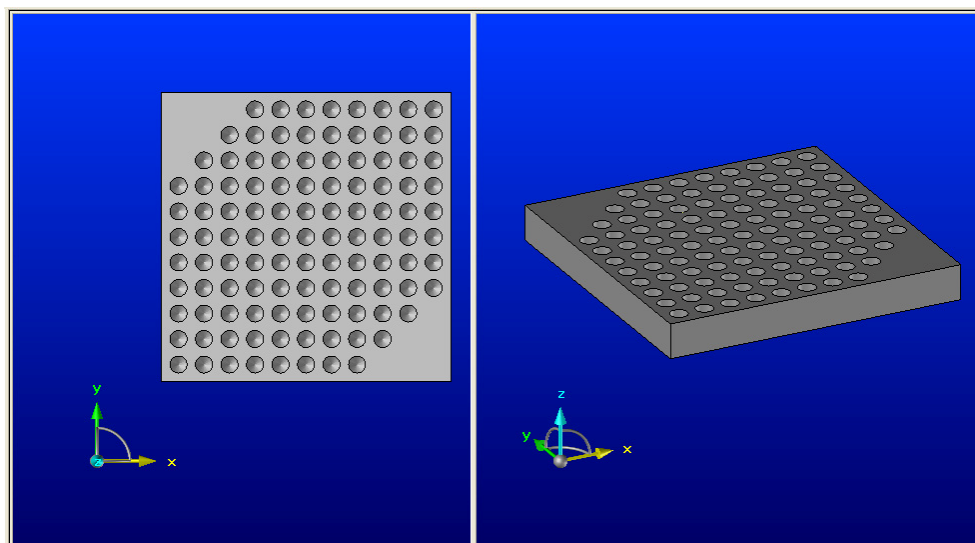
Για την περάτωση των πειραμάτων χρησιμοποιήθηκαν τετράγωνες πλάκες διαστάσεων 170mm X 170mm, με πάχος 20mm και υλικού λαμαρίνα αντιτριβής XAR 450. Στην άνω επιφάνεια κάθε πλάκας πραγματοποιήθηκε η διάτρηση 109 τυφλών οπών, βάθους 15mm με ίσες αποστάσεις μεταξύ των κέντρων τους 15mm.

Αρχικά, ο σχεδιασμός ξεκίνησε από τη δημιουργία καμπύλης μορφής τετραγώνου με πλευρές 170mm και στη συνέχεια του δόθηκε στερεή μορφή από προέκταση με ύψος 20mm. Έπειτα από το μενού του προγράμματος επιλέχτηκε η εντολή του τρυπήματος τυφλής οπής, διαμέτρου 10mm, βάθους 15mm και γωνία βάσης 120° , με πρόσωπο τρυπήματος την άνω επιφάνεια του στερεού (Σχήμα 3.1).



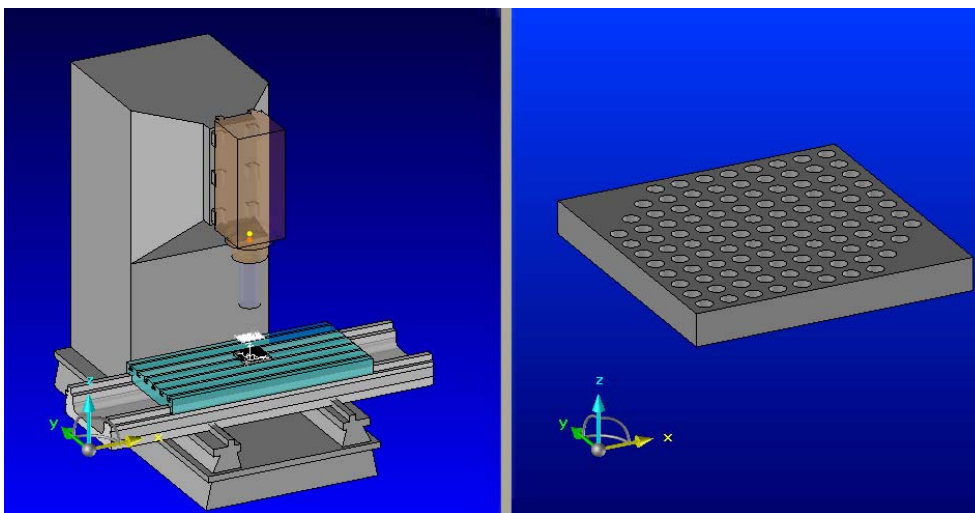
Σχήμα 3.1: Δημιουργία δοκιμίου πειραμάτων

Στη συνέχεια, με την αντιγραφή της διαδικασίας τρυπήματος, τοποθετήθηκαν οι υπόλοιπες 108 οπές στην άνω επιφάνεια του στερεού, με ίσες αποστάσεις από τα κέντρα τους 15mm. Η ολοκλήρωση του σχεδιασμού του δοκιμίου, φαίνεται στο Σχήμα 3.2.



Σχήμα 3.2: Ολοκλήρωση σχεδιασμού του δοκιμίου

Το επόμενο βήμα ήταν η δημιουργία της λίστας κατεργασιών που θα πραγματοποιούνταν πάνω στο δοκίμιο. Από τη βάση δεδομένων επιλέχτηκε ένα κάθετο κέντρο κατεργασίας παρόμοιων χαρακτηριστικών με το Yang Eagle SMV-1000. Έπειτα, το μοντέλο του δοκιμίου τοποθετήθηκε πάνω στην τράπεζα εργασίας του κέντρου και προσδιορίστηκε ο τρόπος συγκράτησής του με αυτό. Η ολοκλήρωση της διαδικασίας φαίνεται στο Σχήμα 3.3.

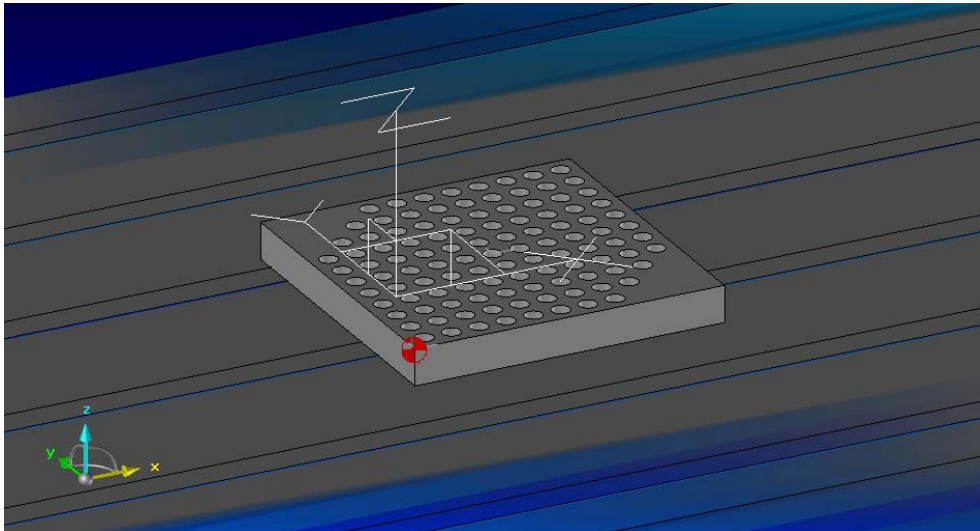


Σχήμα 3.3: Τοποθέτηση δοκιμίου στην τράπεζα εργασίας ενός εικονικού κέντρου κατεργασίας

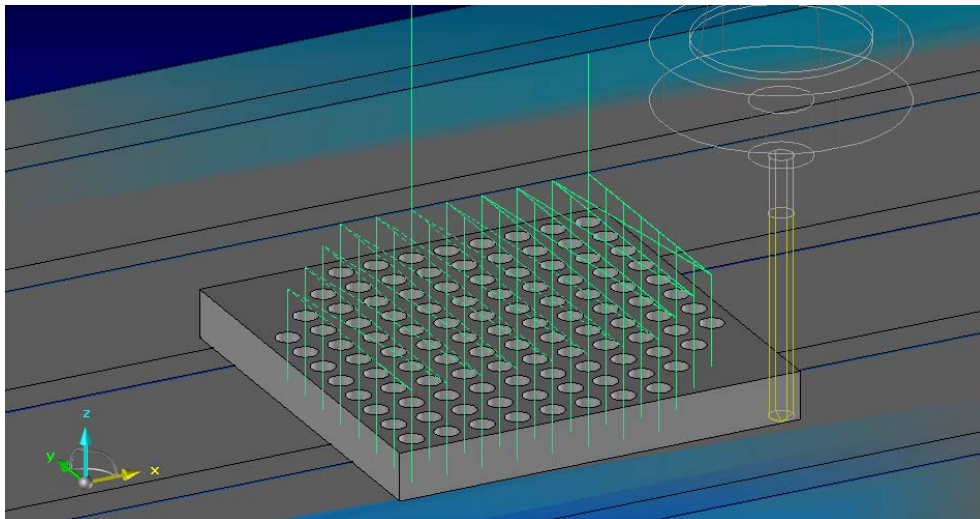
Μετά την τοποθέτηση του μοντέλου στην τράπεζα εργασίας, έγινε η επιλογή του μηδενικού σημείου του κομματιού, δηλαδή το σημείο αναφοράς με συντεταγμένες

$(x,y,z)=(0,0,0)$. Με βάση το σημείο αυτό γίνεται ο μετέπειτα προγραμματισμός των κινήσεων των κοπτικών εργαλείων [1] (Σχήμα 3.4).

Τέλος, επιλέχθηκε η κατεργασία της δημιουργίας κύκλου οπών, καθώς και οι συνθήκες διάτρησης. Μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας έγινε η προσομοίωση της κατεργασίας για να διαπιστωθούν τυχόν σφάλματά της. Στο Σχήμα 3.5 φαίνεται το ίχνος του κοπτικού εργαλείου μετά την προσομοίωση.



Σχήμα 3.4: Καθορισμός του σημείου αναφοράς (σημείο 0) του δοκιμίου



Σχήμα 3.5: Διαδρομή κοπτικού εργαλείου (tool path), κατά την κατεργασία

Αφού διαπιστώθηκαν και λύθηκαν τα σφάλματα της κατεργασίας, έγινε η εξαγωγή του κώδικα G και M (Πίνακας B.1, Παράρτημα B), σύμφωνα με το Post Processing του Controller Meldas του κάθετου κέντρου κατεργασίας.

3.3 LabVIEW 8.0

Το LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) της εταιρίας National Instruments, είναι μια πανίσχυρη γλώσσα προγραμματισμού μετρήσεων, ελέγχου και ανάλυσης. Διαφέρει από τις κοινές γλώσσες προγραμματισμού (C, Fortran, Visual Basic, C++, κ.α.) καθώς προσφέρει στο χρήστη τη δυνατότητα προγραμματισμού σε γραφικό περιβάλλον, περιλαμβάνοντας εργαλεία για τη συλλογή μετρήσεων, έλεγχο οργάνων, ανάλυση και παρουσίαση των μετρήσεων.

Κατά τη σύνδεση της μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων (Data Acquisition DAQ) με τον υπολογιστή, γίνεται η λήψη των ακατέργαστων σημάτων. Μέσω του λογισμικού LabVIEW 8.0 ελέγχεται η λειτουργία του DAQ για την απόκτηση αυτών των σημάτων, καθώς και η παρουσίασή τους σε μορφή που μπορεί να κατανοήσει και να επεξεργαστεί ο χρήστης. Επίσης, οι υπομονάδες της μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων δεν έχουν ενδείξεις λειτουργιών, οπότε το λογισμικό είναι το μόνο οπτικό περιβάλλον που διαθέτει το σύστημα. Ενσωματώνοντας τους μετατροπείς, τις διατάξεις βελτίωσης σήματος και το υλικό ανάλυσης, το πρόγραμμα παρέχει ολοκληρωμένη λύση στην ανάπτυξη ενός μετρητικού συστήματος [1].

Σε αυτή τη γλώσσα προγραμματισμού που καλείται G, ο προγραμματισμός επιτυγχάνεται σε διαγραμματικά μπλοκ (Block Diagrams) και στη συνέχεια μεταφράζεται σε κώδικα μηχανής. Η γραφική απεικόνιση των μπλοκ, γίνεται στο παράθυρο γραφικών με τη βοήθεια εικονικών οργάνων, όπως διακόπτες, ποτενσιόμετρα, γραφήματα, δείκτες και άλλα πολλά εξαρτήματα ελέγχου.

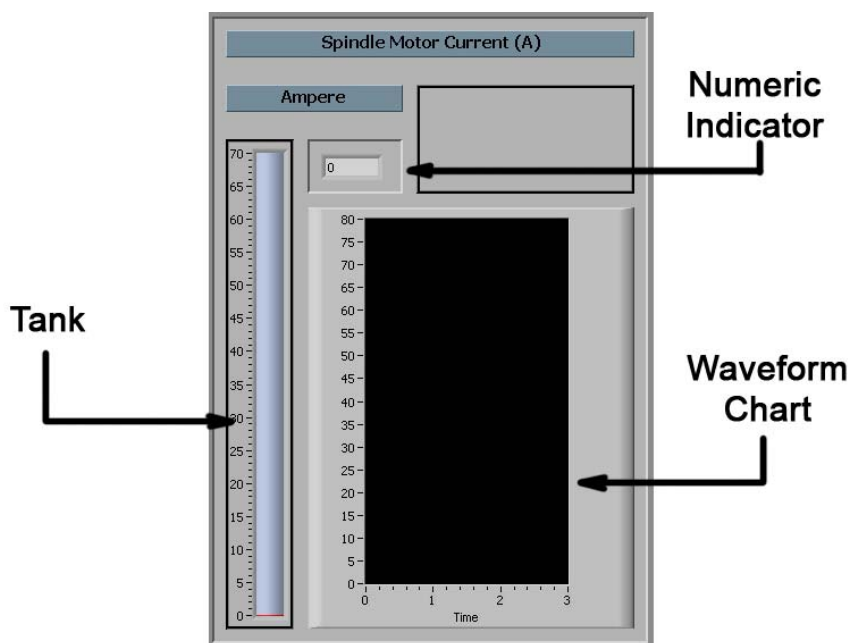
Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας αναπτύχθηκαν 2 εικονόργανα (Virtual Instruments) με τη χρήση του λογισμικού LabView 8.0 . Το πρώτο εικονόργανο προγραμματίστηκε για τη λήψη, την απεικόνιση και την αποθήκευση των δεδομένων που συλλέγονται από το Data Acquisition. Το δεύτερο εικονόργανο που αναπτύχθηκε παρείχε την δυνατότητα της επεξεργασίας των δεδομένων, πραγματοποιώντας τη στατιστική ανάλυσή τους.

3.3.1 Εικονόργανο λήψης, απεικόνισης και αποθήκευσης δεδομένων

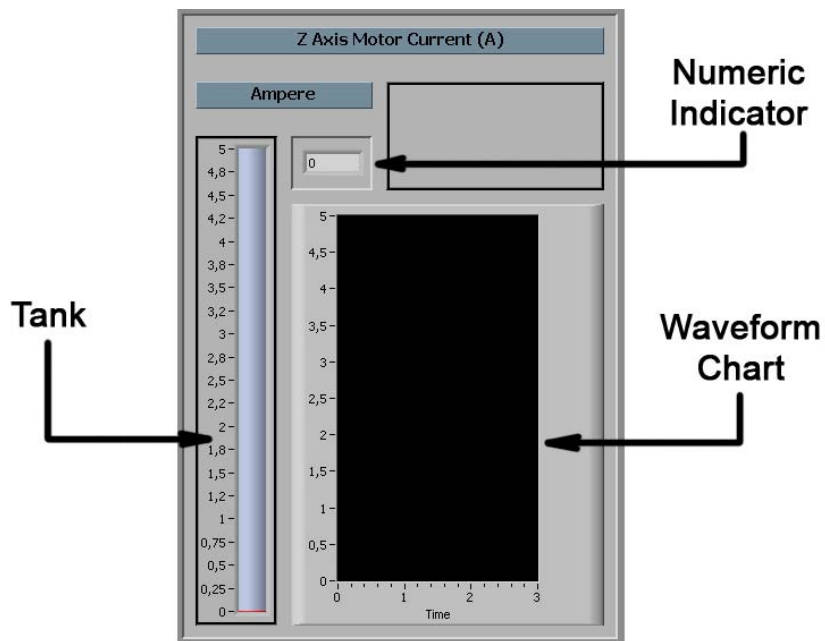
3.3.1.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)

Η διαδικασία δημιουργίας του εικονοργάνου ξεκίνησε από το σχεδιασμό του παραθύρου γραφικών του μετρητικού συστήματος. Αφού έγινε η επιλογή των μετρούμενων μεγεθών όπως το ρεύμα κινητήρα περιστροφής, το ρεύμα κινητήρα πρόωσης άξονα Z, η θερμοκρασία εργαλείου κοπής, οι δονήσεις αξόνων Z και Y, επιλέχθηκαν τα όργανα απεικόνισης των παραπάνω μεγεθών.

Πρώτα σχεδιάστηκαν τα όργανα απεικόνισης του ρεύματος περιστροφής και του ρεύματος κινητήρα πρόωσης άξονα Z, τοποθετώντας έναν αριθμητικό δείκτη (Numeric Indicator), ένα διάγραμμα κυματομορφής (Waveform Chart) και μια δεξαμενή (Tank). Έπειτα καθορίστηκαν οι κλίμακες των αξόνων σε κάθε όργανο, η στοίχιση και η τοποθέτησή τους μέσα σε πλαίσια ώστε να έρθουν στην τελική τους μορφή (Σχήμα 3.6, Σχήμα 3.7).

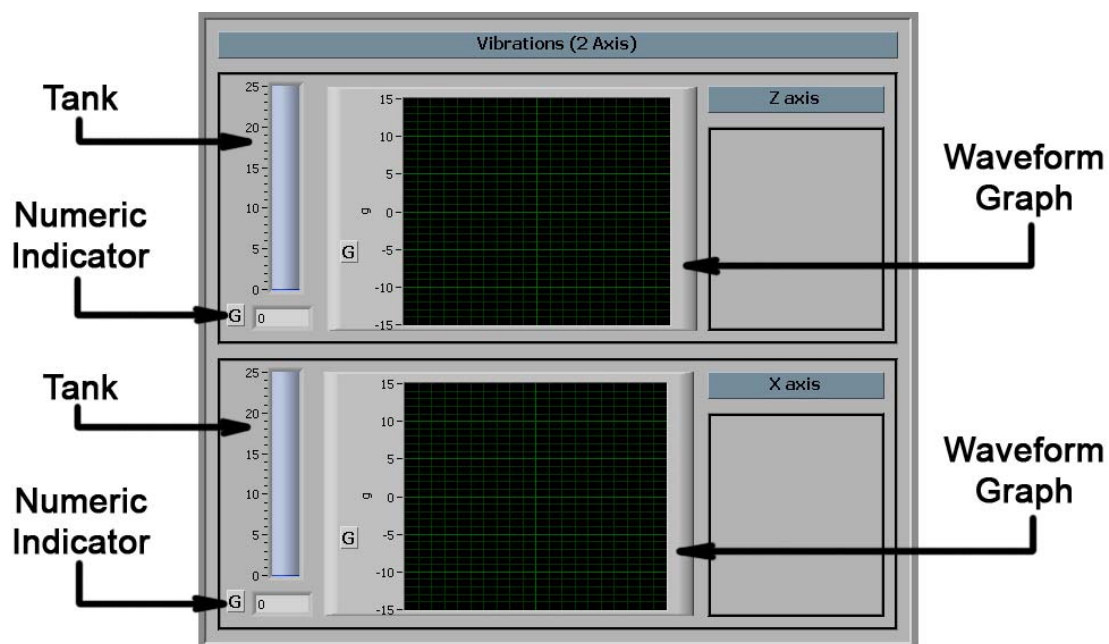


Σχήμα 3.6: Όργανα απεικόνισης ρεύματος κινητήρα περιστροφής



Σχήμα 3.7: Όργανα απεικόνισης ρεύματος κινητήρα οδήγησης άξονα Z

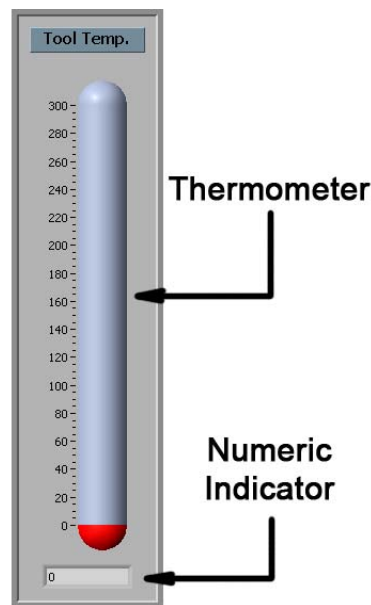
Στη συνέχεια έγινε ο σχεδιασμός των οργάνων απεικόνισης των δονήσεων, με τη χρήση αριθμητικών δεικτών (Numeric Indicators), διαγραμμάτων κυματομορφής (Waveform Graphs) και δεξαμενών (Tanks). Καθορίζοντας τις κλίμακες των οργάνων και τοποθετώντας τα σε πλαίσια, ολοκληρώνεται η διαδικασία και φαίνεται στο Σχήμα 3.8 .



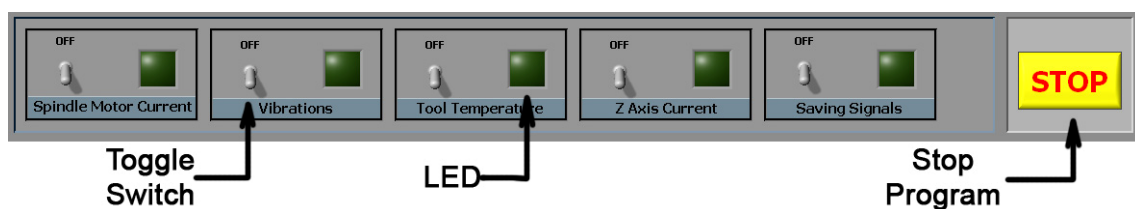
Σχήμα 3.8: Όργανα απεικόνισης δονήσεων αξόνων Z και Y

Οι μετρήσεις του υπέρυθρου θερμομέτρου απεικονίστηκαν με τη χρήση εικονικού θερμομέτρου (Thermometer), κλίμακας από 0° έως 300° Κελσίου (Σχήμα 3.9).

Τέλος, η διαχείριση των παραπάνω οργάνων, έγινε μέσα από ένα πλαίσιο ελέγχου με διακόπτες (Vertical Toggle Switch) και LED (Σχήμα 3.10).



Σχήμα 3.9: Απεικόνιση θερμοκρασίας με τη χρήση εικονικού θερμομέτρου

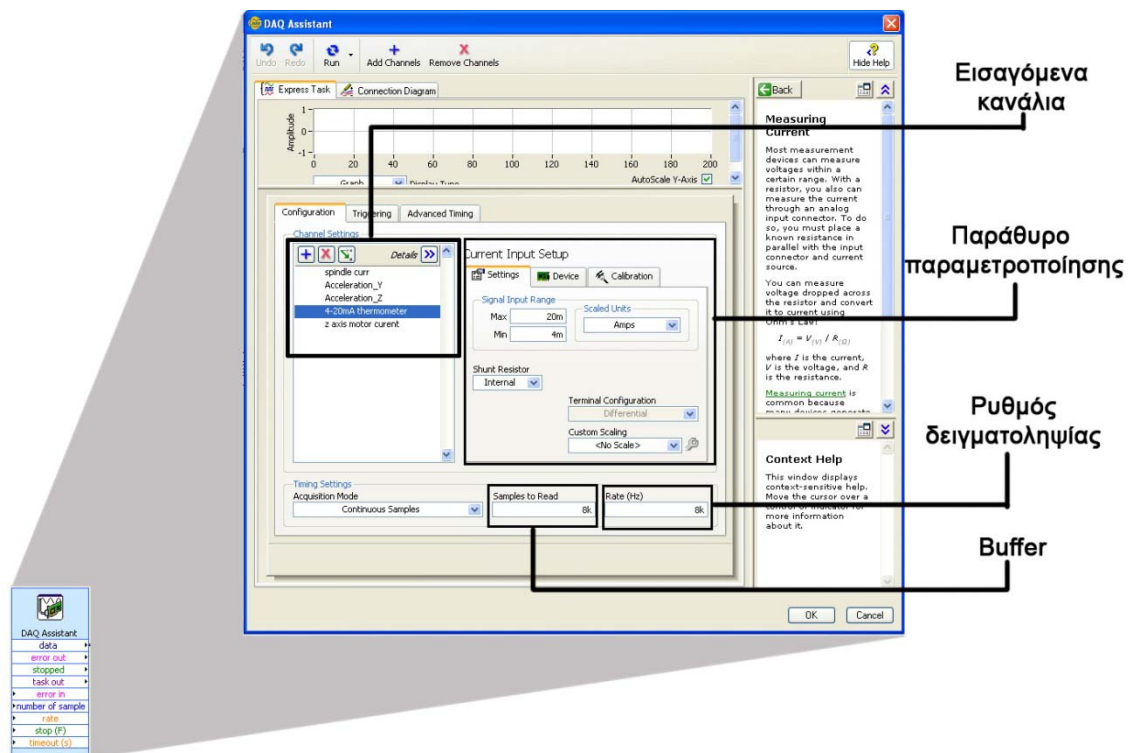


Σχήμα 3.10: Πλαίσιο ελέγχου λειτουργιών μετρητικού συστήματος

3.3.1.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)

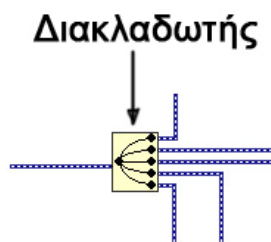
Με την εισαγωγή των οργάνων στο παράθυρο γραφικών, αυτόματα δημιουργούνται τα αντίστοιχα εικονίδια τους στο παράθυρο του κώδικα. Κάθε εικονίδιο διαθέτει εισόδους ή εξόδους δεδομένων και παραμέτρων, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με καλώδια (Wires) στους αντίστοιχους ακροδέκτες (Terminals) σχηματίζοντας τη ροή του προγράμματος.

Για να επιτευχθεί η είσοδος των δεδομένων από τη συσκευή του συλλέκτη δεδομένων (Data Acquisition) στο παράθυρο του κώδικα, χρησιμοποιείται το βοηθητικό πρόγραμμα DAQ Assistant του LabView. Τοποθετώντας το εικονίδιο του στο διάγραμμα, αυτόματα ανοίγει ένα παράθυρο στο οποίο γίνεται η επιλογή του είδους των εισαχθέντων δεδομένων και στη συνέχεια η επιλογή του φυσικού καναλιού της υπομονάδας. Γνωρίζοντας τη συνδεσμολογία των αισθητηρίων οργάνων με τα κανάλια των υπομονάδων του συλλέκτη δεδομένων, ακολουθείται η παραπάνω διαδικασία για την εισαγωγή και των υπολοίπων δεδομένων. Στο νέο παράθυρο που εμφανίζεται (Σχήμα 3.11), γίνεται η παραμετροποίηση των επιλεγμένων καναλιών, καθώς και ο ορισμός του ρυθμού δειγματοληψίας του συλλέκτη δεδομένων. Επισημαίνεται ότι ο ρυθμός δειγματοληψίας που καθορίζεται είναι κοινός για όλα τα κανάλια εισόδου.



Σχήμα 3.11: Εικονίδιο και παράθυρο βοηθητικού προγράμματος DAQ Assistant

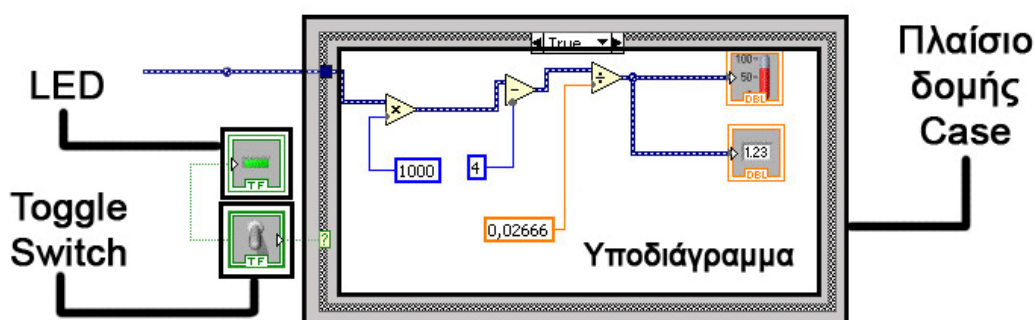
Στη συνέχεια, τα εξαγόμενα δεδομένα από το εικονίδιο DAQ Assistant διαχωρίζονται με τη βοήθεια ενός διακλαδωτή (Σχήμα 3.12), για να φτάσουν στα υποδιαγράμματα όπου θα γίνει η επεξεργασία τους για την τελική τους απεικόνιση στο παράθυρο οργάνων.



Σχήμα 3.12: Διακλαδωτής σημάτων (split signal)

Πλαίσιο ελέγχου λειτουργιών

Όπως προαναφέρθηκε το πλαίσιο ελέγχου ενεργοποιεί ή απενεργοποιεί τα όργανα ένδειξης των μετρήσεων και πραγματοποιείται με τη χρήση της δομής Case στο παράθυρο του κώδικα. Κάθε υποδιάγραμμα εμφωλεύεται μέσα σε μια δομή Case, της οποίας ο ακροδέκτης συνδέεται με τον ακροδέκτη ενός διακόπτη (toggle switch) τύπου Boolean (αληθές – ψευδές). Όταν ο διακόπτης είναι στη θέση ON, τότε δίνεται σήμα αληθές στη δομή με άμεσο αποτέλεσμα την εκτέλεσή της, ενώ όταν είναι στη θέση OFF δεν εκτελείται. Σε κάθε δομή έχει συνδεθεί πρόσθετα ένα LED Boolean, το οποίο ανάβει ή σβήνει ανάλογα με το αν εκτελείται ή δεν εκτελείται το υποδιάγραμμα. Στο Σχήμα 3.13 φαίνεται η λειτουργία της δομής Case , στο υποδιάγραμμα ένδειξης της θερμοκρασίας.



Σχήμα 3.13: Έλεγχος υποδιαγραμμάτων μέσω δομών Case

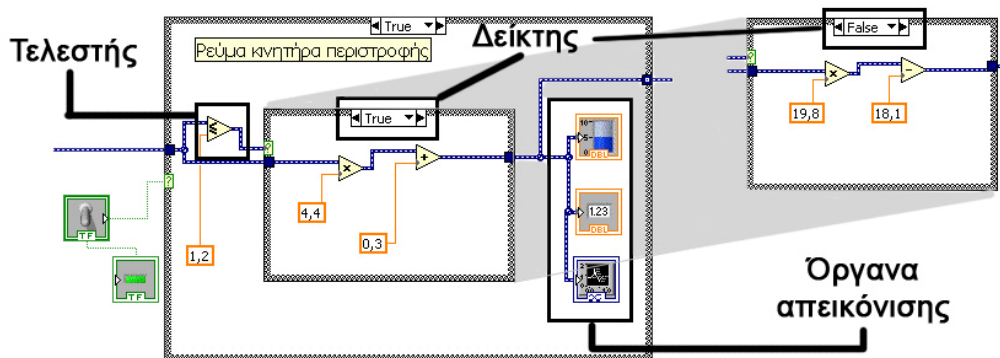
Υποδιαγράμματα ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα οδήγησης άξονα Z

Η λειτουργία των συγκεκριμένων υποδιαγραμμάτων, αφορά στη μετατροπή της τάσης εξόδου των μετατροπέων AK 50 C10 στα ρεύματα του κινητήρα περιστροφής

και κινητήρα πρόωσης άξονα Z, σύμφωνα με τις συναρτήσεις που προέκυψαν από τη βαθμονόμησή τους.

Αρχικά γίνεται ο έλεγχος των δεδομένων της εισόδου, με τη χρήση ενός τελεστή σύγκρισης ο οποίος συνδέεται με μια δομή Case. Όταν το αποτέλεσμα της σύγκρισης είναι αληθές, τότε εκτελούνται οι πράξεις της δομής με δείκτη True, ενώ αντίστοιχα όταν είναι ψευδής με False (Σχήμα 3.14).

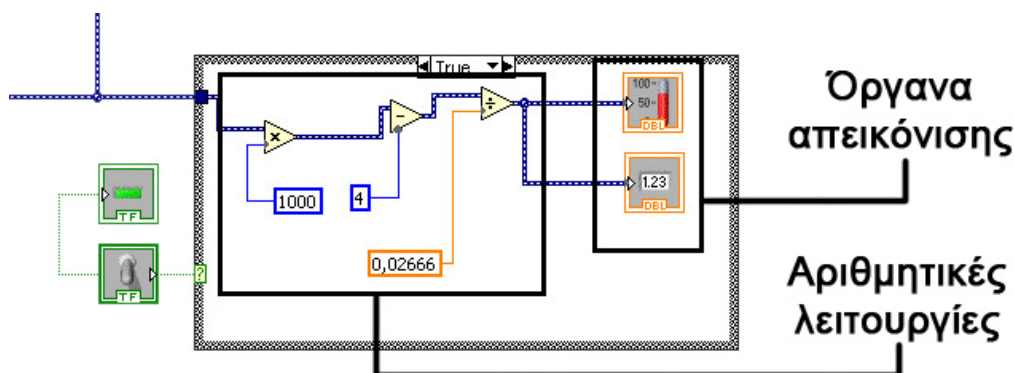
Αφού έχει πραγματοποιηθεί η μετατροπή των τάσεων σε ρεύμα, οι εξοδοι των δομών συνδέονται με τους ακροδέκτες των οργάνων απεικόνισης και τέλος περνούν στο υποδιάγραμμα της αποθήκευσης των δεδομένων



Σχήμα 3.14: Υποδιάγραμμα ρευμάτων και έλεγχος συνθήκης Case

Υποδιάγραμμα θερμομέτρου

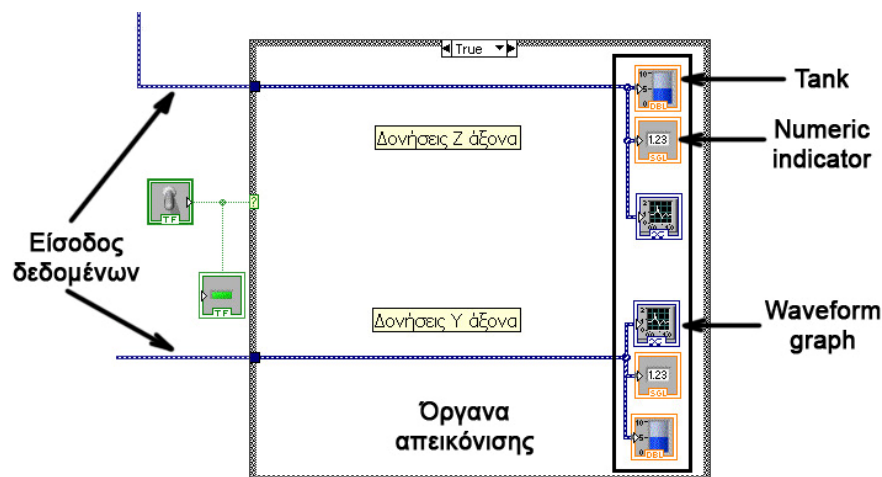
Γνωρίζοντας το ρεύμα εξόδου του θερμομέτρου υπερύθρων που κυμαίνεται μεταξύ 4-20 mA, σχεδιάστηκε το υποδιάγραμμα μετατροπής του ρεύματος σε θερμοκρασία της κλίμακας Κελσίου. Πραγματοποιείται εύκολα με τη χρήση βασικών αριθμητικών λειτουργιών και το αποτέλεσμα φαίνεται στο Σχήμα 3.15 .



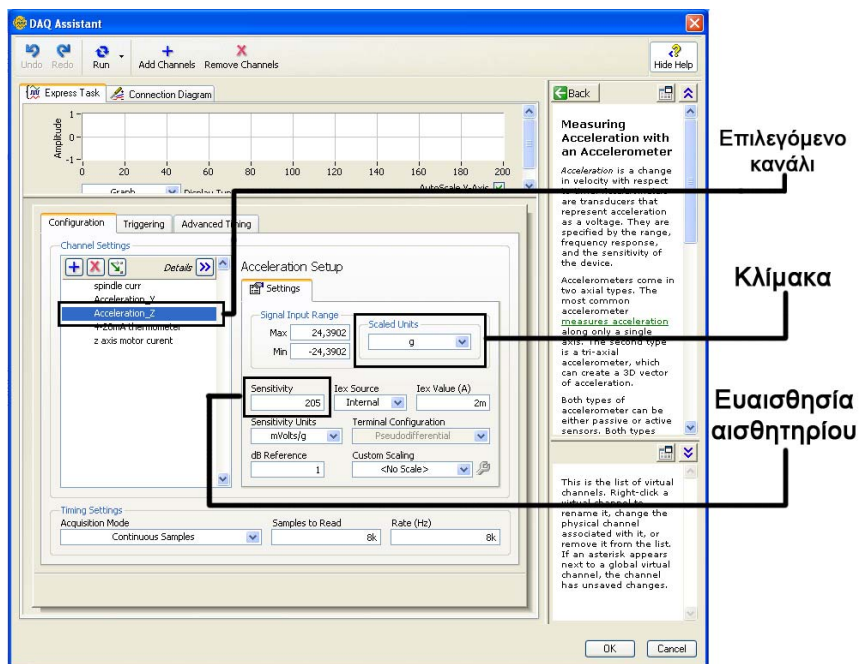
Σχήμα 3.15: Υποδιάγραμμα μετατροπής ρεύματος πυρομέτρου σε θερμοκρασία

Υποδιάγραμμα δονήσεων

Το υποδιάγραμμα των δονήσεων περιέχει μόνο τα εικονίδια των οργάνων απεικόνισης (Σχήμα 3.16), καθώς τα εξαγόμενα δεδομένα από το υποπρόγραμμα DAQ Assistant είναι εκφρασμένα σε G. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια της παραμετροποίησης των δύο καναλιών εισόδου των δονήσεων του υποπρογράμματος. Ρυθμίζοντας την ευαισθησία των επιταχυνσιομέτρων και επιλέγοντας την κλίμακα εξόδου (Σχήμα 3.17), δεν χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία των δεδομένων.



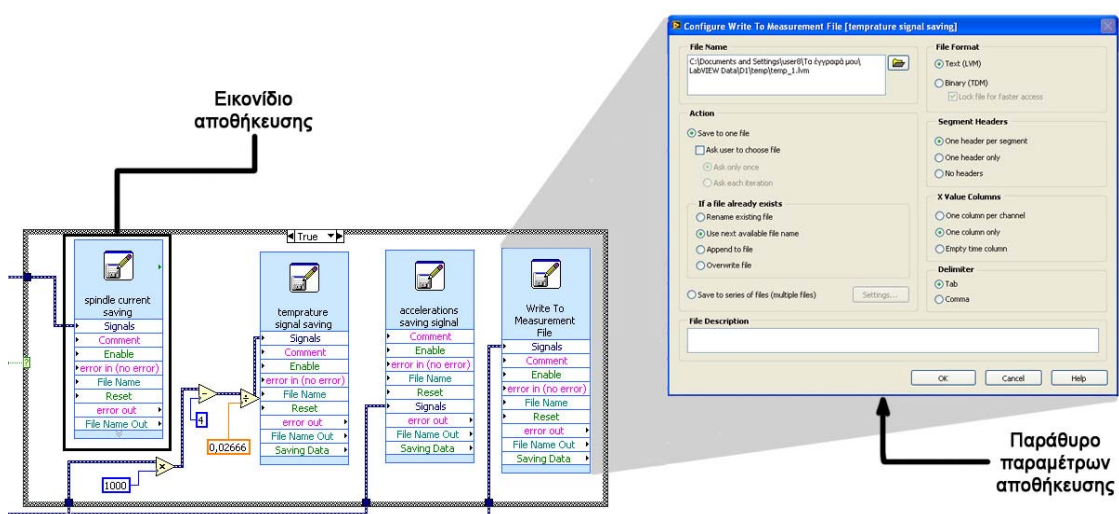
Σχήμα 3.16: Υποδιάγραμμα εμφάνισης δονήσεων στο παράθυρο γραφικών



Σχήμα 3.17: Παράθυρο παραμετροποίησης επιταχυνσιομέτρων του DAQ Assistant

Υποδιάγραμμα αποθήκευσης δεδομένων

Όλα τα εξαγόμενα δεδομένα από το υποπρόγραμμα DAQ Assistant συγκεντρώνονται στο υποδιάγραμμα της αποθήκευσης δεδομένων, αφού γίνει η μετατροπή τους στην επιθυμητή κλίμακα. Η αποθήκευση γίνεται σε αρχεία επέκτασης *.lvm , με την προσθήκη του εικονιδίου έγγραφης μετρήσεων (write measurement file) και μπορεί να γίνει η προσπέλασή τους από το LabVIEW και από το λογιστικό φύλλο Excel. Η τελική διάταξη του υποδιαγράμματος καθώς και το παράθυρο της παραμετροποίησης του εικονιδίου αποθήκευσης, παρουσιάζεται στο Σχήμα 3.18 .

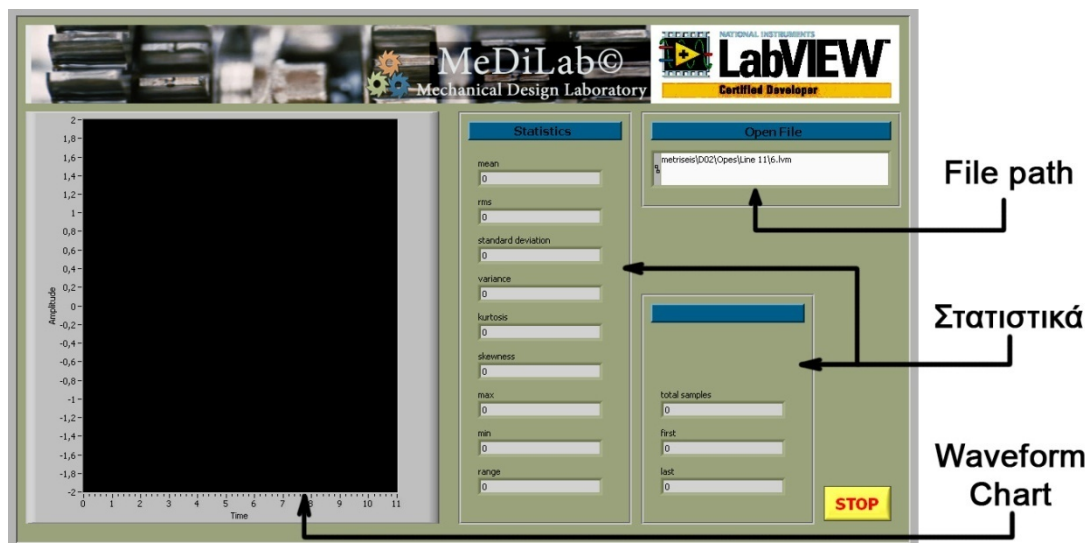


Σχήμα 3.18: Υποδιάγραμμα αποθήκευσης δεδομένων και παράθυρο το παραμετροποίησης

3.3.2 Εικονόργανο στατιστικής ανάλυσης

3.3.2.1 Σχεδιασμός παραθύρου γραφικών (front panel)

Η απεικόνιση του σήματος προς ανάλυση έγινε με τη χρήση ενός διαγράμματος κυματομορφής (Waveform Chart), ενώ τα εξαγόμενα στατιστικά μεγέθη απεικονίστηκαν με αριθμητικούς δείκτες (Arithmetic Indicator). Η επιλογή του αρχείου προς ανάλυση έγινε με την προσθήκη ενός ελεγκτή διαδρομής αρχείου (File Path Control). Στο Σχήμα 3.19 παρουσιάζεται το παράθυρο γραφικών του εικονοργάνου μετά την ολοκλήρωσή του.

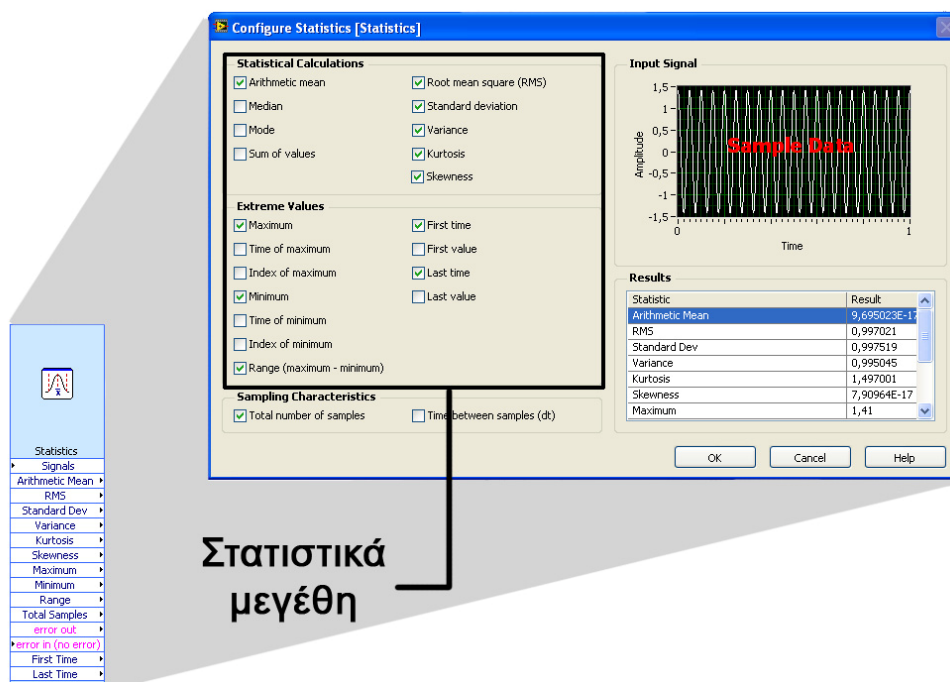


Σχήμα 3.19: Παράθυρο απεικόνισης στατιστικών μεγεθών

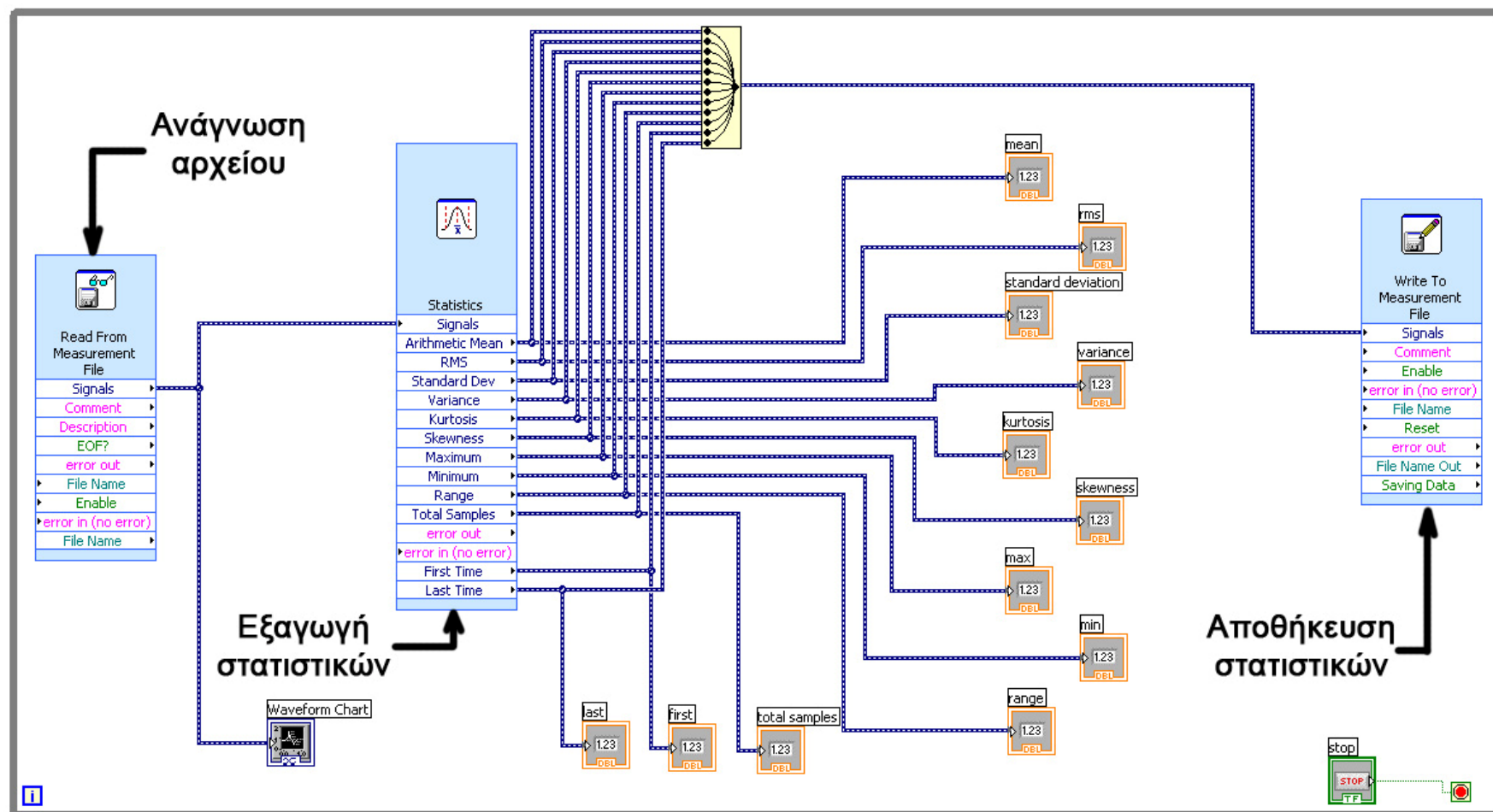
3.3.2.2 Σχεδιασμός παραθύρου κώδικα (Block Diagram)

Ο σχεδιασμός του διαγράμματος ξεκίνησε με τη δημιουργία μιας δομής While Loop, η οποία περιελάμβανε όλα τα στοιχεία του διαγράμματος. Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το εικονίδιο ανάγνωσης δεδομένων από αρχείο (Read from Measurement File) από το οποίο γίνεται η εισαγωγή των προς ανάλυση δεδομένων. Από την παλέτα των εργαλείων επιλέχθηκε το εικονίδιο των στατιστικών μεγεθών (Statistics) και από το παράθυρο της παραμετροποίησής του, μπορούν να επιλεγθούν τα στατιστικά μεγέθη προς υπολογισμό (Σχήμα 3.20).

Στη συνέχεια έγινε η καλωδίωση των ακροδεκτών των αριθμητικών δεικτών, με τους ανάλογους ακροδέκτες από το εικονίδιο Statistics καθώς και η συγχώνευση των σημάτων για την τελική τους αποθήκευση σε ένα αρχείο. Το ολοκληρωμένο διάγραμμα φαίνεται στο Σχήμα 3.21 .



Σχήμα 3.20: Εικονίδιο και παράθυρο παραμετροποίησης στατιστικών



Σχήμα 3.21: Τελικό διάγραμμα εικονοργάνου στατιστικής επεξεργασίας

3.4 Matlab R2008a

Λόγω της πολυπλοκότητας κατά τον προγραμματισμό σε LabView 8.0 καθώς και της χρονοβόρας διαδικασίας κατά την εξαγωγή των αποτελεσμάτων της στατιστικής ανάλυσης, επιλέχθηκε το λογισμικό Matlab R2008a σαν εφεδρικό λογισμικό για την στατιστική επεξεργασία των δεδομένων.

Ένα ισχυρό πλεονέκτημα που παρέχει το λογισμικό Matlab R2008a είναι ο μικρός χρόνος επεξεργασίας μεγάλου όγκου δεδομένων. Έτσι το καθιστά ιδανικό για την επεξεργασία των δεδομένων σε μετρητικές διατάξεις, με υψηλή συχνότητα δειγματοληψίας και μεγάλο πλήθος αισθητηρίων.

3.4.1 Κώδικας Matlab R2008a

Η διαδικασία ανάγνωσης των αρχείων έγινε με τη χρήση του Import Wizard του λογισμικού, των οποίων τα δεδομένα καταχωρούνταν σε ένα πίνακα διαστάσεων $n \times n$. Στη συνέχεια γινόταν η αφαίρεση των δεδομένων της χρονικής διάρκειας κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο βρισκόταν στον αέρα και αποθηκεύονταν τα δεδομένα σε πίνακα για κάθε οπή ξεχωριστά.

Τέλος, μέσω μιας αυτοματοποιημένης μεθόδου γινόταν η επεξεργασία των στατιστικών μεγεθών σε κάθε οπή και η αποθήκευση των αποτελεσμάτων σε πίνακα. Στον Πίνακα Β.2 του Παραρτήματος Β παρουσιάζεται ο κώδικας σε περιβάλλον Matlab R2008a .

3.5 Λογιστικό πακέτο Microsoft EXCEL

Με τη χρήση του ευρέως διαδεδομένου λογιστικού πακέτου Microsoft EXCEL, έγινε η τελική επεξεργασία των στατιστικών μεγεθών. Όλα τα εξαγόμενα αποτελέσματα από τα λογισμικά LabVIEW 8.0 και Matlab R2008a συγκεντρώθηκαν σε πίνακες του Excel, ούτως ώστε να δημιουργηθούν τα κατάλληλα γραφήματα για την εξαγωγή των συμπερασμάτων

3.6 Σύνοψη

Το επιλεγμένα λογισμικά για την περάτωση της διπλωματικής εργασίας, συνέβαλαν στη μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την πρόσκτηση των δεδομένων από τα αισθητήρια, καθώς και στην ευκολία προγραμματισμού από το χρήστη. Με τη χρήση του λογισμικού TopSolid 2005 έγινε ο σχεδιασμός του κομματιού κατεργασίας και η εξαγωγή του κώδικα G και M. Το LabVIEW 2008 και η μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων, χρησιμοποιήθηκαν για τη συλλογή, πρόσκτηση και αποθήκευση των δεδομένων στον ηλεκτρονικό υπολογιστή. Επίσης με LabVIEW 2008 και το Matlab 2008a, έγινε η ανάλυση των αποθηκευμένων δεδομένων για την εξαγωγή συμπερασμάτων στη διάγνωση φθοράς.

Στο κεφάλαιο 4 πραγματοποιείται η ανάλυση των συλλεγόμενων δεδομένων και αξιολογούνται τα εξαγόμενα αποτελέσματα.

3.6 Βιβλιογραφία

- [1] Κωνσταντίνος Ιπ. Καλοβρέκτης, “*LabVIEW για Μηχανικούς Προγραμματισμός Συστημάτων DAQ*”, Εκδόσεις Τζιολα, Θεσσαλονίκη, 2005.

Κεφάλαιο 4

Ανάλυση Μετρήσεων

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	79
4.1 Εισαγωγή	81
4.2 Παράμετροι πειράματος	82
4.2.1 Υλικό κατεργασίας	82
4.2.2 Γεωμετρία και υλικό τρυπανιού	83
4.2.3 Στροφές ατράκτου / πρόωση κατεργασίας	84
4.2.4 Ρυθμός δειγματοληψίας συλλέκτη δεδομένων (Data Acquisition)	85
4.2.5 Λοιπές παράμετροι	85
4.3 Στρατηγική φθοράς τρυπανιού	86
4.4 Εκτέλεση πειράματος	87
4.5 Προετοιμασία ακατέργαστων δεδομένων (Raw Data)	88
4.6 Επιλογή σετ οπών προς ανάλυση	89
4.7 Τεχνικές ανάλυσης σημάτων	91
4.8 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο ορισμού του χρόνου	91
4.8.1 Αριθμητικός μέσος (Mean)	92
4.8.2 Μέση τετραγωνική τιμή (Root Mean Square RMS)	96
4.8.3 Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)	100
4.8.4 Διακύμανση (Variance)	102
4.8.5 Κύρτωση (Kurtosis)	103

4.8.6 Λοξότητα (Skewness)	106
4.8.7 Μέγιστο (Maximum)	107
4.8.8 Ελάχιστο (Minimum)	108
4.8.9 Εύρος (Range)	108
4.9 Οπτική διάγνωση φθοράς	109
4.10 Σύνοψη	111
4.11 Βιβλιογραφία	112

4.1 Εισαγωγή

Μετά την εγκατάσταση του απαραίτητου εξοπλισμού μετρήσεων καθώς και τη δημιουργία κατάλληλων προγραμμάτων παρακολούθησης και καταγραφής δεδομένων μέσω ειδικού λογισμικού, ξεκίνησε η διαδικασία διεξαγωγής των πειραμάτων. Το σύνολο των πειραμάτων διεξήχθη στο χώρο του μηχανουργείου της Πολυτεχνικής Σχολής του Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, σε διάστημα 7 μηνών.

Με επιμέρους στόχο την αξιοπιστία της μετρητικής διάταξης στην παρακολούθηση και καταγραφή των δεδομένων, το εργαστηριακό πείραμα χωρίστηκε σε 3 φάσεις.

Η πρώτη φάση περιελάμβανε δοκιμές του ηλεκτρονικού εξοπλισμού της μετρητικής διάταξης, για να διαπιστωθεί η ομαλή λειτουργία του καθώς και η αξιοπιστία του στη λήψη μετρήσεων για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Επίσης έγινε η βαθμονόμηση (Calibrating) και ο έλεγχος όλων των αισθητήριων οργάνων της διάταξης, με σκοπό την μέγιστη ακρίβεια των μετρήσεων. Η παρούσα φάση υπήρξε η περισσότερο χρονοβόρα, λόγω της αδυναμίας του εξοπλισμού να ανταποκριθεί στις αυξημένες απαιτήσεις του πειράματος.

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης, διεξήχθησαν σύντομα πειράματα για να διαπιστωθούν σημαντικές παράμετροι για την περάτωση του τελικής φάσης του πειράματος. Παράμετροι όπως η βέλτιστη γεωμετρία και το υλικό του τρυπανιού, η εύρεση της βέλτιστης πρόωσης και του αριθμού στοφών κατά την διαδικασία διάτρησης, η αντοχή στην καταπόνηση σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας του τρυπανιού και οι μέγιστες θερμοκρασίες λειτουργίας των διαφορετικών τύπων τρυπανιών, διαπιστώθηκαν από τα πειράματα. Στη συνέχεια έγινε η εξαγωγή ενδεικτικών στατιστικών μεγεθών των μετρήσεων και η σύγκριση τους με αντίστοιχα αποτελέσματα άλλων ερευνητικών προσπαθειών που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία, με σκοπό την διαπίστωση ομοιοτήτων και διαφορών. Επίσης, στα πλαίσια της δεύτερης φάσης σχεδιάστηκε η στρατηγική φθοράς του τρυπανιού [1] του πειράματος, βάσει των παραμέτρων που διαπιστώθηκαν κατά την παρούσα φάση.

Η τρίτη και σημαντικότερη φάση του πειράματος ήταν η συνεχόμενη διάτρηση οπών, μέχρι να προκληθεί εκτεταμένη φθορά στο τρυπάνι. Επίσης κατά τη διάρκεια του πειράματος, έγινε η συλλογή και καταγραφή των δεδομένων όλων των αισθητήριων οργάνων, για περαιτέρω ανάλυση και εξαγωγή συμπερασμάτων.

Η διάκριση των μεθόδων μέτρησης φθοράς των κοπτικών εργαλείων καθώς και τα αποτελέσματα των αναλύσεων, παρουσιάζονται παρακάτω.

4.2 Παράμετροι πειράματος

Ένα μεγάλο πλήθος παραμέτρων ήταν αναγκαίο να υπολογιστούν και να καθιερωθούν για την εκτέλεση των πειραμάτων, διότι κατά τη διάρκειά τους δεν ήταν εφικτή η μεταβολή των παραμέτρων λόγω των σταθερών πειραματικών συνθηκών που έπρεπε να υπάρχουν, καθ' όλη τη διάρκεια διεξαγωγής τους. Οι παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι:

- Υλικό κατεργασίας
- Γεωμετρία / Υλικό τρυπανιού
- Στροφές ατράκτου / πρόωση κατεργασίας
- Ρυθμός δειγματοληψίας συλλέκτη δεδομένων (Data Acquisition)
- Λοιπές παράμετροι

Αναλυτικότερα παρουσιάζονται παρακάτω.

4.2.1 Υλικό κατεργασίας

Η κατεργασία της διάτρησης των οπών στα πλαίσια των πειραμάτων, επιλέχθηκε να γίνει σε υλικό λαμαρίνα αντιτριβής XAR 450 υψηλής σκληρότητας. Οι διαστάσεις του υλικού ήταν 170mm X 170mm και 20mm πάχος.

Λόγω της υψηλής σκληρότητας και των μηχανικών ιδιοτήτων του, το υλικό καθίσταται ιδανικό για την άμεση και γρήγορη φθορά των τρυπανιών του πειράματος. Οι μηχανικές ιδιότητες του υλικού κατεργασίας φαίνονται στον Πίνακα 4.1 .

Πίνακας 4.1: Μηχανικές ιδιότητες και χημική σύσταση λαμαρίνας XAR 450

Σκληρότητα (Hb)	410-490
Όρια διαρροής - Yield Point $R_{p0.2}$ (N/mm²)	1200
Αντοχή εφελκυσμού Tensile strength R_m (N/mm²)	1350
Επιμήκυνση - Elongation A5 (%)	10
Χημική Σύσταση	0,95 C 1,10 Mn 0,60 Cr 0,10 V 0,60 W

4.2.2 Γεωμετρία και υλικό τρυπανιού

Μια πολύ σημαντική παράμετρος των πειραμάτων, ήταν η επιλογή του ιδανικού κοπτικού εργαλείου (τρυπάνι), για την διάτρηση των οπών και την εκτίμηση της φθοράς του. Η διάνοιξη οπών είναι αναμφισβήτητα η συνηθέστερη κατεργασία κοπής στην μηχανουργική παραγωγή, με αποτέλεσμα να υπάρχει μια τεράστια γκάμα από διαφορετικές γεωμετρίες και υλικά κατασκευής τρυπανιών.

Λόγω της υψηλής σκληρότητας του προς κατεργασία υλικού, επιλέχθηκε τρυπάνι με γωνία ακίδος (Point Angle) 135° [2] και γωνία έλικας (Helix Angle) 35° με 42° (Πίνακας Β.3 Παράρτημα Β). Επίσης για μεγαλύτερη ακαμψία του τρυπανιού, το μήκος του παρέμεινε σε κανονικό επίπεδο των 133 mm και με διάμετρο 10mm.

Κατά τη διάρκεια της δεύτερης φάσης των πειραμάτων, δοκιμάστηκαν και αξιολογήθηκαν τρυπάνια ομοίων γεωμετρικών χαρακτηριστικών αλλά διαφορετικών υλικών κατασκευής. Τα κοινά τρυπάνια HSS (High Speed Steel) δεν μπορούσαν να αντεπεξέλθουν στην συνεχόμενη διάτρηση οπών, καθώς λόγω των θερμικών χαρακτηριστικών τους συσσωρεύουν την παραγόμενη θερμοκρασία τριβής, με αποτέλεσμα την υπέρβαση του ορίου θερμοκρασίας λειτουργίας και στη συνέχεια την τήξη τους. Τα τρυπάνια καρβιδίου (Carbide) λόγω του απαγορευτικού κόστους τους καθώς και της αυξημένης αντοχής στη φθορά, δεν δοκιμάστηκαν και απορρίφθηκαν. Τα τρυπάνια υλικού HSS με πρόσμειξη κοβαλτίου περιεκτικότητας 5%, θεωρήθηκαν η βέλτιστη επιλογή για την διάτρηση των οπών. Εξαιτίας της ικανότητας του υλικού να επαγάγει μεγάλα ποσά θερμότητας, καθιστούν τα τρυπάνια ικανά στη συνεχόμενη λειτουργία τους. Στο Σχήμα 4.1 φαίνεται το επιλεγμένο τρυπάνι σύμφωνα με τα πρότυπα DIN 338.



Σχήμα 4.1: Τρυπάνι HSS κοβαλτίου 5%

4.2.3 Στροφές ατράκτου / πρόωση κατεργασίας

Οι στροφές τις ατράκτου καθώς και η πρόωση του τρυπανιού κατά την κατεργασία της διάτρησης, επηρεάζουν άμεσα την φθορά των κοπτικών ακμών του εργαλείου. Με σκοπό τη δημιουργία συνθηκών ομοίων με αυτών των μηχανουργείων και όχι ακραίων συνθηκών, οι στροφές ατράκτου και η πρόωση επιλέχθηκαν σύμφωνα με τις προτεινόμενες από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή των τρυπανιών.

Από τον Πίνακα B.4 του Παραρτήματος B γίνεται η επιλογή του 18 mt/min και του γράμματος της πρόωσης ανά στροφή με “b”. Στη συνέχεια από τον Πίνακα B.5 του Παραρτήματος B για γράμμα “b” και διάμετρο τρυπανιού 10mm, επιλέγεται η πρόωση ανά στροφή 0,180 mm/rev .

Σύμφωνα με τον τύπο 4.1 γίνεται η μετατροπή των mt/min σε rpm δηλαδή σε στροφές ανά λεπτό :

$$rpm = \frac{(mt / min) \times 1000}{d \times \pi} \quad (4.1)$$

όπου d η διάμετρος του τρυπανιού, mt/min ο επιλεγμένος αριθμός του Πίνακα 4.2 και $\pi = 3,14$. Έτσι γίνεται:

$$rpm = \frac{18 \times 1000}{10 \times 3,14} = \frac{18000}{31,4} = 573,24 \quad rpm \quad (4.2)$$

Στρογγυλοποιώντας τις 573,24 rpm, προκύπτουν 600 στροφές ανά λεπτό.

Στη συνέχεια γίνεται η μετατροπή της πρόωσης ανά στροφή σε πρόωση ανά λεπτό, σύμφωνα με τον τύπο 4.3 :

$$mm / min = (mm / rev) \times rpm \quad (4.3)$$

όπου mm/rev ο αριθμός από τον Πίνακα B.4 και rpm η ταχύτητα περιστοφής που βρέθηκαν παραπάνω. Έτσι γίνεται:

$$mm / min = 0,180 \times 573,24 = 103,18 \text{ mm/min} \quad (4.4)$$

Στρογγυλοποιώντας την τιμή 103,18 mm/min , προκύπτει η πρόωση των 100 mm/min.

4.2.4 Ρυθμός δειγματοληψίας μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων (Data Acquisition)

Ο ρυθμός με τον οποίο δειγματοληπτεί η μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων της μετρητικής διάταξης, είναι μια κρίσιμη παράμετρος που καθορίζει τη σωστή παρακολούθηση των αισθητήριων οργάνων.

Σύμφωνα με το εγχειρίδιο του κατασκευαστή του θερμομέτρου υπερύθρου, ο χρόνος απόκρισής του είναι 150 ms, με αποτέλεσμα ο ρυθμός δειγματοληψίας των $f=7$ Hz να καθιστά δυνατή την συλλογή του συνόλου πληροφοριών του αισθητηρίου.

Επίσης γνωρίζοντας τον χρόνο απόκρισης των δύο μετασχηματιστών AK 50 C10 ο οποίος είναι μικρότερος από 100 ms, είναι εφικτή η δειγματοληψία με ρυθμό $f=11$ Hz.

Επιπλέον, το φαινόμενο των παραγόμενων δονήσεων κατά τη διαδικασία της διάτρησης, έχει συχνότητα 3KHz με τρυπάνι διαμέτρου 6 mm [3]. Γνωρίζοντας ότι η συχνότητα των παραγόμενων δονήσεων είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου και ανάλογη των στροφών [4], θεωρείται η συχνότητα του φαινομένου ίση με $f=2$ KHz. Σύμφωνα με το θεώρημα του Nyquist η ελάχιστη συχνότητα δειγματοληψίας για την αποφυγή της ψεύδισης (aliasing), πρέπει να είναι τουλάχιστον διπλάσια της συχνότητας του φαινομένου προς παρακολούθηση και ονομάζεται συχνότητα ή ρυθμός δειγματοληψίας Nyquist [5].

Καθώς τα επιταχυνσιόμετρα έχουν τη δυνατότητα δειγματοληψίας 8KHz, ο ρυθμός δειγματοληψίας του συλλέκτη δεδομένων παραμετροποιείται στα 8 KHz για όλα τα κανάλια εισόδου δεδομένων.

4.2.5 Λοιπές παράμετροι

Κατά τη διαδικασία της διάτρησης των οπών δεν χρησιμοποιήθηκε ψυκτικό υγρό, λόγω των ευαίσθητων αισθητήριων οργάνων και του ηλεκτρονικού εξοπλισμού κοντά στη περιοχή διάτρησης. Επίσης ο Πίνακας B.3 του Παραρτήματος Β προβλέπει τη ξηρά διάτρηση του συγκεκριμένου υλικού.

Η στερέωση των υλικών κατεργασίας πάνω στην τράπεζα εργασίας, έγινε με τη χρήση δεστρών. Η σύσφιξη των περικοχλίων των δύο δεστρών στερέωσης, έγινε με δυναμόκλειδο (ροπόκλειδο) κλίμακας 5Nm έως 30Nm και ροπή σύσφιξης 22Nm.

Επίσης καθ' όλη τη διάρκεια των πειραμάτων η θερμοκρασία περιβάλλοντος ήταν μεταξύ 12° C με 14° C.

Στον Πίνακα 4.2 φαίνονται συνοπτικά όλες οι παράμετροι διάτρησης των οπών κατά τη διεξαγωγή των πειραμάτων.

Πίνακας 4.2: Παράμετροι πειράματος

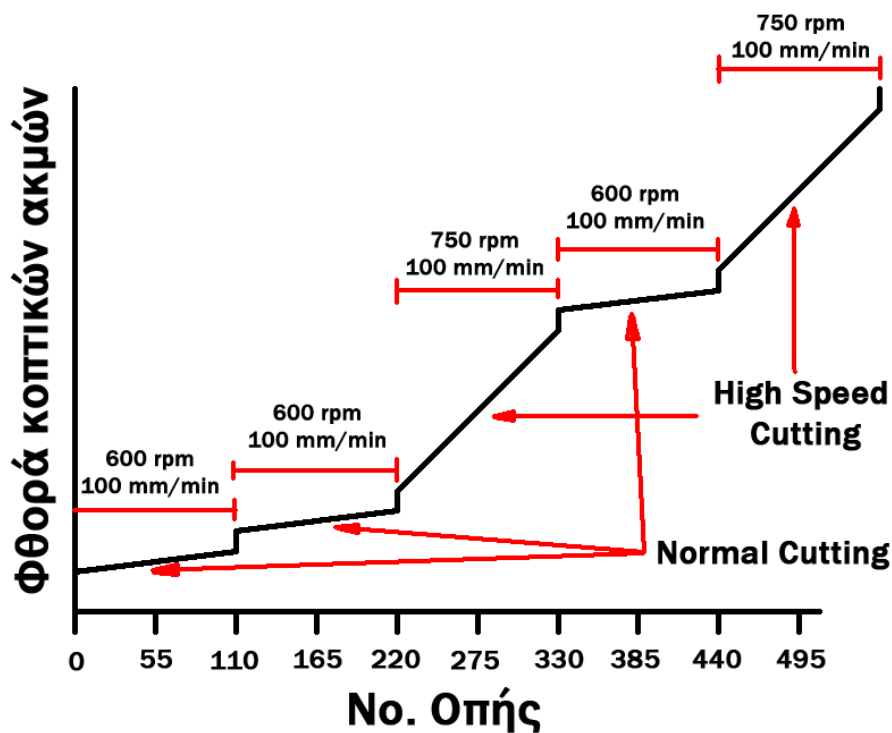
Υλικό κατεργασίας	Λαμαρίνα XAR 450
Εργαλείο διάτρησης	Τρυπάνι HSS με 5% Co
Διάμετρος τρυπανιού	10 mm
Στροφές ατράκτου	600 rpm
Πρόωση	100 mm/min
Ρυθμός δειγματοληψίας	8 KHz
Ροπή σύσφιξης δεστρών	22 Nm
Χρήση ψυκτικού υγρού	Όχι

4.3 Στρατηγική φθοράς τρυπανιού

Κατά τη δεύτερη φάση του εργαστηριακού πειράματος, χρησιμοποιώντας την προτεινόμενη από τον κατασκευαστή των τρυπανιών ταχύτητα περιστροφής, καθώς και την προτεινόμενη πρόωση διάτρησης, δεν παρατηρήθηκε φθορά στις κοπτικές ακμές του τρυπανιού μετά από 109 οπές (μία πλάκα υλικού κατεργασίας). Για το λόγο αυτό σχεδιάστηκε σε αυτή τη φάση και εφαρμόστηκε στην τρίτη φάση μια στρατηγική επιτάχυνσης της φθοράς του τρυπανιού.

Σύμφωνα με τη στρατηγική φθοράς, το πείραμα ξεκινάει με τη χρήση ενός μη χρησιμοποιημένου (χωρίς φθορά) τρυπανιού, εκτελώντας 109 συνεχόμενες διατρήσεις με τις προτεινόμενες συνθήκες κοπής (600rpm και 100mm/min) σε κομμάτι υλικού XAR 450. Οι διατρήσεις συνεχίζουν με τις ίδιες συνθήκες κοπής (600rpm και 100mm/min) για το επόμενο σετ 109 οπών, με σκοπό την αποτύπωση της φθοράς στο αρχικό της στάδιο. Στη συνέχεια χρησιμοποιώντας το ίδιο τρυπάνι, γίνεται η διάτρηση 109 οπών σε ίδιο υλικό με προσαύξηση των στροφών κατά 25% [1]. Οι νέες συνθήκες κατεργασίας είναι 750rpm και πρόωση 100mm/min. Έπειτα η διαδικασία συνεχίζει με τη διάτρηση των επόμενων 109 οπών, χρησιμοποιώντας το ίδιο τρυπάνι και κανονικές συνθήκες κοπής (600rpm και 100mm/min). Η διαδικασία της εναλλαγής συνθηκών κοπής, επαναλαμβάνεται μέχρι την τελική φθορά του τρυπανιού. Στο Σχήμα 4.2 απεικονίζεται γραφικά η στρατηγική φθοράς.

Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων που αποκτήθηκαν κατά την παραπάνω διαδικασία της τρίτης φάσης, επιλέχθηκε να γίνει μόνο στα σετ οπών με κανονικές συνθήκες κοπής (600rpm και 100mm/min).



Σχήμα 4.2: Στρατηγική φθοράς κοπτικού εργαλείου

4.4 Εκτέλεση πειράματος

Η τρίτη φάση του πειράματος εκτελέστηκε σύμφωνα με την στρατηγική φθοράς που σχεδιάστηκε. Κατά την διάτρηση του πέμπτου σετ οπών, ενώ το πείραμα βρισκόταν σε διαδικασία φθοράς, το τρυπάνι έφτασε σε κρίσιμο σημείο φθοράς κάνοντας τη συνέχεια της διάτρησης αδύνατη. Στον Πίνακα 4.3 φαίνονται αναλυτικά οι συνθήκες κοπής κάθε σετ οπών.

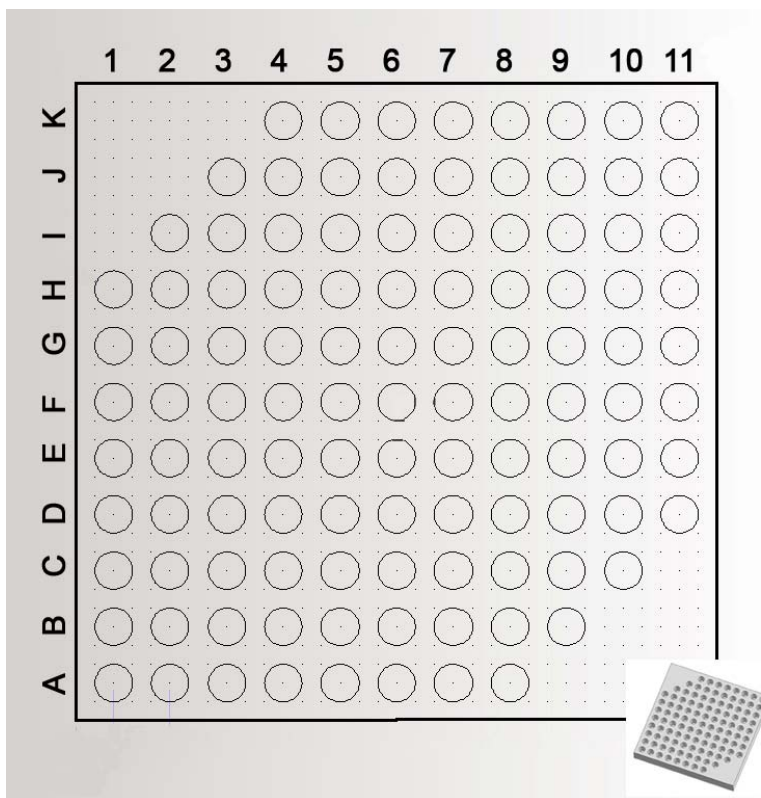
Πίνακας 4.3: Συνθήκες κοπής σε κάθε κομμάτι κατεργασίας

Κωδικός κομματιού κατεργασίας	Στροφές	Πρόωση	Συνθήκες	Αριθμός περατωμένων οπών
Workpiece 1	600 rpm	100 mm/min	Κανονικές	109
Workpiece 2	600 rpm	100 mm/min	Κανονικές	109
Workpiece 3	750 rpm	100 mm/min	Φθοράς	109
Workpiece 4	600 rpm	100 mm/min	Κανονικές	109
Workpiece 5	750 rpm	100 mm/min	Φθοράς	76

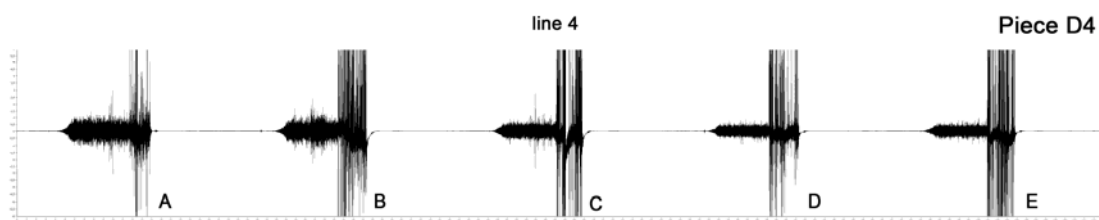
4.5 Προετοιμασία ακατέργαστων δεδομένων (Raw Data)

Κατά την τρίτη φάση του πειράματος, έγινε η αποθήκευση των συλλεγόμενων σημάτων των αισθητήριων οργάνων, στο σκληρό δίσκο του φορητού υπολογιστή. Σύμφωνα με την τοπολογία των οπών στο κομμάτι κατεργασίας (Σχήμα 4.3), η αποθήκευση των δεδομένων έγινε κατά γραμμές, συμπεριλαμβάνοντας και τις χρονικές περιόδους μη διάτρησης μεταξύ των οπών.

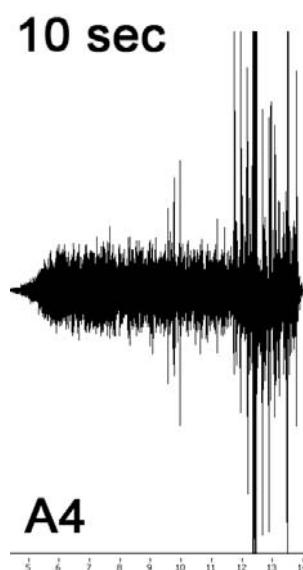
Για την ανάλυση των παραπάνω δεδομένων, πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή των σημάτων κατά την οποία το κοπτικό εργαλείο (τρυπάνι) βρισκόταν σε διαδικασία διάτρησης. Η χρονική διάρκεια της διάτρησης κάθε οπής υπολογίστηκε στα 10 δευτερόλεπτα, με αρχή το επαφή των κοπτικών ακμών στην επιφάνεια του υλικού κατεργασίας και τέλος την εξαγωγή του τρυπανιού από την οπή. Με βάση τη συχνότητα δειγματοληψίας του πειράματος 8KHz, κάθε οπή περιείχε 83330 τιμές. Τα παραπάνω δεδομένα κατηγοριοποιήθηκαν σύμφωνα με το είδος μέτρησής τους (δονήσεις, θερμοκρασία, ρεύμα κινητήρα περιστροφής κ.α.) και αποθηκεύτηκαν με βάση τη θέση τους στο κομμάτι κατεργασίας. Στο Σχήμα 4.4 φαίνονται τα δεδομένα των δονήσεων μιας γραμμής και στο Σχήμα 4.5 τα δεδομένα μιας οπής μετά την απόσπασή τους από το αρχικό αρχείο.



Σχήμα 4.3: Συντεταγμένες οπών στο κομμάτι κατεργασίας



Σχήμα 4.4: Μορφή αποθηκευμένης ακατέργαστης γραμμής (Raw Data) των δονήσεων



Σχήμα 4.5: Δονήσεις οπής A4 μετά την αρχική επεξεργασία διάσπασης

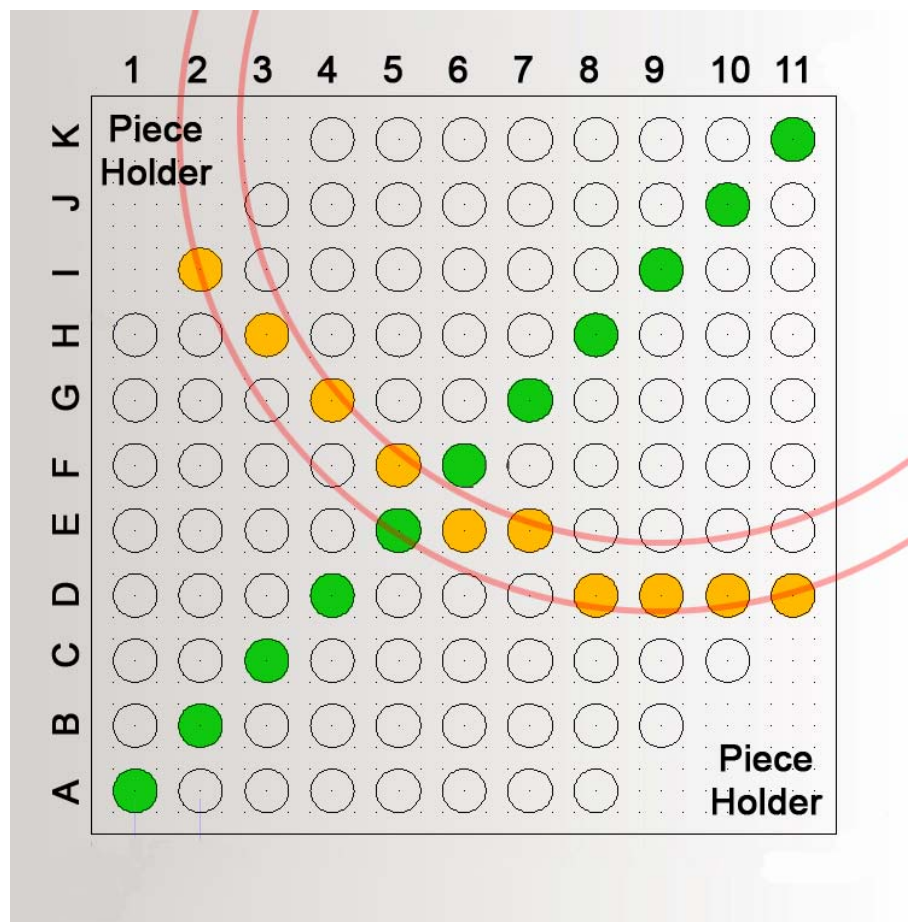
4.6 Επιλογή σετ οπών προς ανάλυση

Τα αισθητήρια της μέτρησης του ρεύματος κινητήρα περιστροφής και του κινητήρα πρόωσης του άξονα Z, καθώς και του θερμομέτρου υπερύθρων, δεν επηρεάζονται από την γεωμετρία του υλικού προς διάτρηση. Η αλλαγή θέσης της διάτρησης πάνω στο υλικό, δεν μεταβάλλει τις μετρήσεις τους κρατώντας τις συνθήκες μέτρησης σταθερές.

Δεν συμβαίνει όμως το ίδιο με τη μέτρηση των δονήσεων από τα δύο εγκατεστημένα επιταχυνσιόμετρα. Λόγω της πρόσδεσης του κομματιού πάνω στην τράπεζα εργασίας (με τη χρήση δεστρών), καθώς και του σταθερού σημείου εγκατάστασης των αισθητηρίων, υπάρχει διακύμανση της απόστασης μεταξύ του σημείου διάτρησης και της θέσης τους. Η αυξομείωση αυτής της απόστασης μεταβάλλει τα μετρούμενα σήματα, λόγω της απόσβεσής των σημάτων κατά τη μεταφορά τους μέσα από το υλικό.

Για το λόγο αυτό, στις αναλύσεις των δεδομένων των δονήσεων έγινε η επιλογή 2 σετ οπών. Η επιλογή του πρώτου σετ έγινε σύμφωνα με τα σημεία που ισαπέχουν από τις δύο δέστρες συγκράτησης του υλικού και τα οποία είναι όλες οι οπές που βρίσκονται πάνω στην διαγώνιο του υλικού (Σχήμα 4.6) και παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα. Το δεύτερο σετ οπών επιλέχθηκε σύμφωνα με τις οπές που ισαπέχουν από τα αισθητήρια των δονήσεων. Οι οπές αυτές βρίσκονται πάνω σε κύκλο με κέντρο τα αισθητήρια και ακτίνα 140 mm (Σχήμα 4.6) και παρουσιάζονται με πορτοκαλί χρώμα.

Επίσης για την εξαγωγή περισσότερο αξιόπιστων συμπερασμάτων, στις αναλύσεις συμπεριλήφθηκε και ένα τρίτο σετ οπών το οποίο περιελάμβανε όλες τις οπές (109) του υλικού.



Σχήμα 4.6: Σετ οπών διαγωνίου (πράσινο) και σετ οπών καμπύλης (πορτοκαλί) προς ανάλυση

4.7 Τεχνικές ανάλυσης σημάτων

Με σκοπό την εύρεση φθοράς των εργαλείων κοπής, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες τεχνικές ανάλυσης σημάτων. Κατά την ανάλυση των σημάτων γίνεται η προσπάθεια να προσδιοριστεί το σημαντικό μέρος των σημάτων που δίνει την ένδειξη φθοράς καθώς και να αφαιρεθεί ο θόρυβος των σημάτων για μεγαλύτερη αξιοπιστία του αποτελέσματος.

Επίσης πολύ σημαντική είναι η ταχύτητα των μεθόδων στην εύρεση της φθοράς, διότι κατά την διαδικασία της διάτρησης η εξέλιξη της φθοράς είναι μεγάλη.

Καθώς οι μετρητικές διατάξεις διαθέτουν πολλά αισθητήρια όργανα για τη συλλογή δεδομένων για μεγάλες χρονικές περιόδους, η αποθήκευση των ακατέργαστων δεδομένων είναι ανέφικτη. Για το λόγο αυτό οι εκάστοτε χρησιμοποιούμενες τεχνικές ανάλυσης οφείλουν την εξαγωγή «συμπυκνωμένων» δεδομένων που περιέχουν αποτελέσματα φθοράς.

Υπάρχουν δύο βασικές τεχνικές ανάλυσης σημάτων, οι οποίες χρησιμοποιούνται ευρέως στις ερευνητικές προσπάθειες διάγνωσης φθοράς [6]. Η πρώτη τεχνική βασίζεται στην ανάλυση των σημάτων στο πεδίο ορισμού του χρόνου (Time Domain Signal Analysis) και η δεύτερη τεχνική στο πεδίο των συχνοτήτων των σημάτων (Frequency Domain Analysis). Στην παρούσα διπλωματική εργασία τα εξαγόμενα αποτελέσματα της διάγνωσης φθοράς ήταν προϊόντα ανάλυσης των σημάτων στη χρονική περιοχή και μόνο.

4.8 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο του χρόνου

Η ανάλυση των σημάτων στο πεδίο του χρόνου, είναι η πρωτογενής τεχνική ανάλυσης για την διάγνωση φθοράς. Ένα σύνολο από στατιστικές παραμέτρους υπολογίστηκε με βάση τα ακατέργαστα δεδομένα (Raw Data) συναρτήσει του χρόνου και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν για να χρησιμοποιηθούν στη διάγνωση φθοράς των κοπτικών εργαλείων. Οι στατιστικές παράμετροι που υπολογίστηκαν είναι [6] :

- Αριθμητικός μέσος (Mean)
- Μέση τετραγωνική τιμή (Root Mean Square RMS)
- Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)
- Διακύμανση (Variance)
- Κύρτωση (Kurtosis)
- Λοξότητα (Skewness)

- Μέγιστο (Maximum)
- Ελάχιστο (Minimum)
- Εύρος (Range)

Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των παραπάνω στατιστικών μεγεθών, καθώς και η εξαγωγή των συμπερασμάτων διάγνωσης φθοράς κατά την εκτέλεση του εργαστηριακού πειράματος.

Πρέπει να επισημανθεί ότι κατά τη διαδικασία ανάλυσης των δεδομένων και την εξαγωγή των στατιστικών παραμέτρων, δεν υπήρξε η χρήση φίλτρου αποκοπής του θορύβου από τα ακατέργαστα δεδομένα.

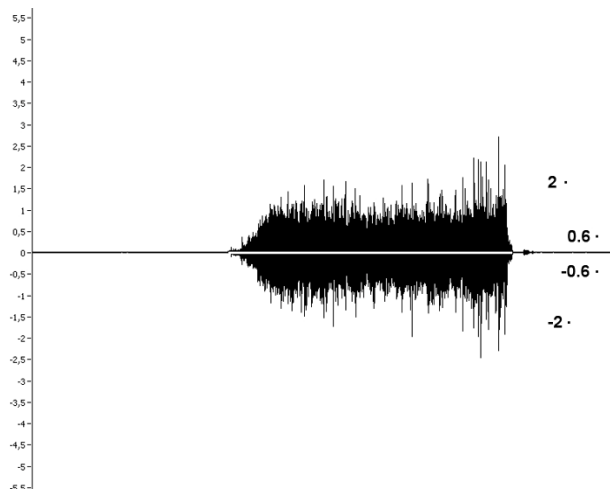
4.8.1 Αριθμητικός μέσος (Mean)

Η μέση τιμή $\bar{x}$, των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N είναι ο αριθμητικός μέσος όρος τους και υπολογίζεται από τη σχέση [7]:

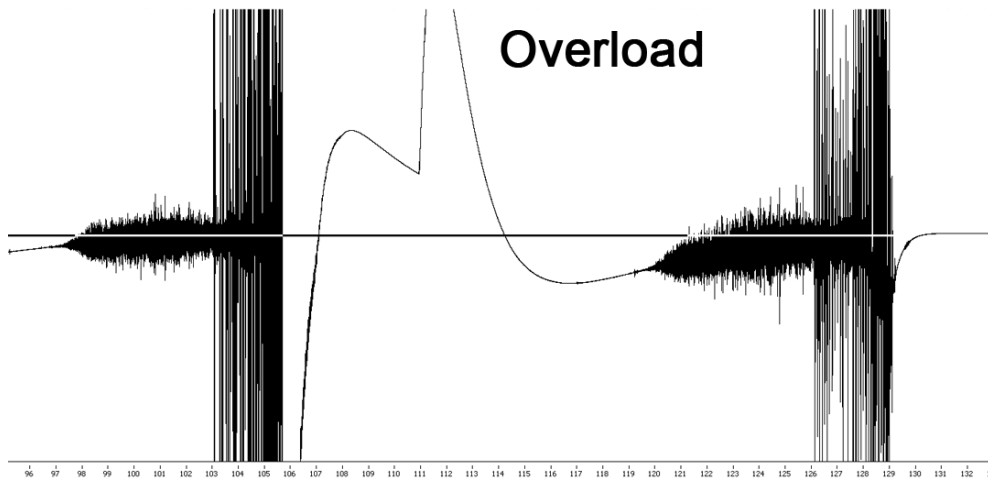
$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad (4.5)$$

Σύμφωνα με έρευνες που έχουν βρεθεί στη βιβλιογραφία [1,8,9], ο αριθμητικός μέσος των δονήσεων που παράγονται κατά τη διάρκεια της διάτρησης δεν έχει συσχέτιση με τη φθορά του τρυπανιού. Αυτό μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό, διότι οι δονήσεις είναι συμμετρικές ως προς τον άξονα X (Σχήμα 4.7) με αποτέλεσμα ο αριθμητικός μέσος να είναι πολύ κοντά στο 0.

Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων παρατηρήθηκαν υψηλές τιμές αριθμητικών μέσων των δονήσεων σε ένα σύνολο οπών. Διαπιστώθηκε ότι η αύξηση του μέσου όρου των δονήσεων δεν οφειλόταν στη φθορά του τρυπανιού, αλλά στην υπερφόρτωση (Overload) των επιταχυνσιομέτρων λόγω υπέρβασης του ορίου μέτρησής τους στην προηγούμενη διάτρηση. Το φαινόμενο της μη κανονικής λειτουργίας τους για μερικά δευτερόλεπτα, είχε ως αποτέλεσμα την απουσία της συμμετρίας στην επόμενη διάτρηση (Σχήμα 4.8). Οι παραπάνω τιμές δεν λαμβάνονται υπόψη στη μέτρηση της φθοράς.



Σχήμα 4.7: Δονήσεις με συμμετρία ως προς τον άξονα X

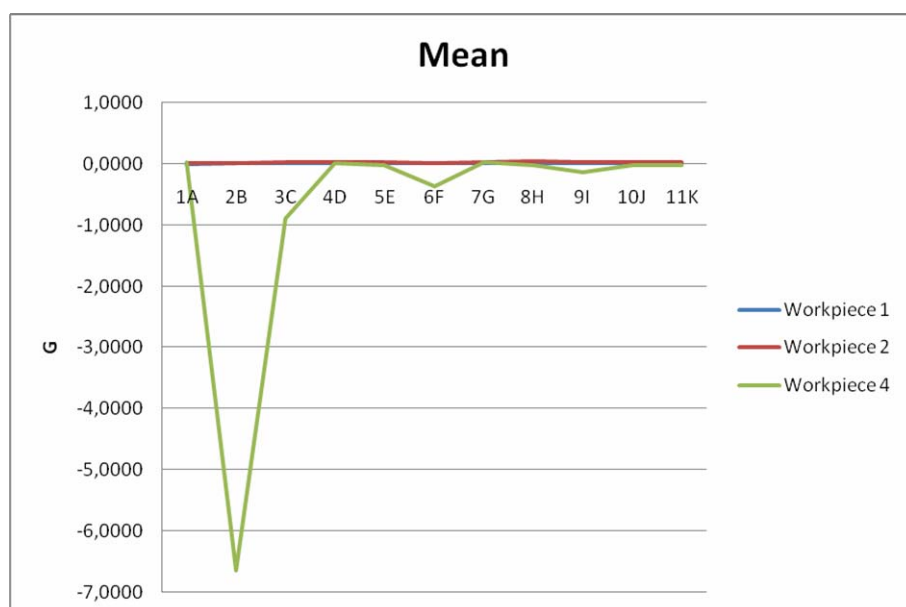


Σχήμα 4.8: Δονήσεις κατά την υπερφόρτωση επιταχυνσιόμετρων και έλλειψη συμμετρίας

Οι αριθμητικοί μέσοι (Mean) των δονήσεων στον άξονα Z για κάθε οπή του πρώτου σετ ανάλυσης που προέκυψαν, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.4. Από το γράφημα (Σχήμα 4.9) του πίνακα φαίνεται η ραγδαία μεταβολή του μεγέθους της οπής 2B του κομματιού 4 (Workpiece 4), που οφείλεται στην υπερφόρτωση των επιταχυνσιόμετρων και όχι στη φθορά του τρυπανιού.

Πίνακα 4.4: Αριθμητικοί μέσοι δονήσεων οπών του σετ διαγωνίου

Mean Vibration g* Z Axis			
Γραμμή-οπή	Workpiece 1	Workpiece 2	Workpiece 4
1A	-0,0095	0,0025	0,0107
2B	0,0062	0,0080	-6,6427
3C	0,0061	0,0116	-0,9020
4D	0,0060	0,0153	0,0092
5E	0,0068	0,0250	-0,0324
6F	0,0061	0,0013	-0,3732
7G	0,0061	0,0121	0,0188
8H	0,0136	0,0376	-0,0309
9I	0,0049	0,0109	-0,1478
10J	0,0077	0,0234	-0,0341
11K	0,0052	0,0126	-0,0269
$g=9.81 \text{ m/sec}^2$			



Σχήμα 4.9: Γράφημα αριθμητικών μέσων δονήσεων

Κατά την ανάλυση και εξαγωγή των αριθμητικών μέσων θερμοκρασίας περιοχής κοπής στη διάρκεια διάτρησης κάθε οπής, παρουσιάζεται μια αυξητική τάση των τιμών. Στον Πίνακα 4.5, 4.6 και 4.7 φαίνονται οι τιμές αυτές, καθώς και ο μέσος όρος των αριθμητικών μέσων θερμοκρασίας περιοχής κοπής για κάθε 109 οπές των κομματιών κατεργασίας. Στο Σχήμα 4.10 παρουσιάζεται το γράφημα των μέσων

όρων και παρατηρείται η αύξησή τους κατά την εξέλιξη της φθοράς των κοπτικών ακμών του τρυπανιού.

Πίνακας 4.5 : Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το πρώτο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 1)

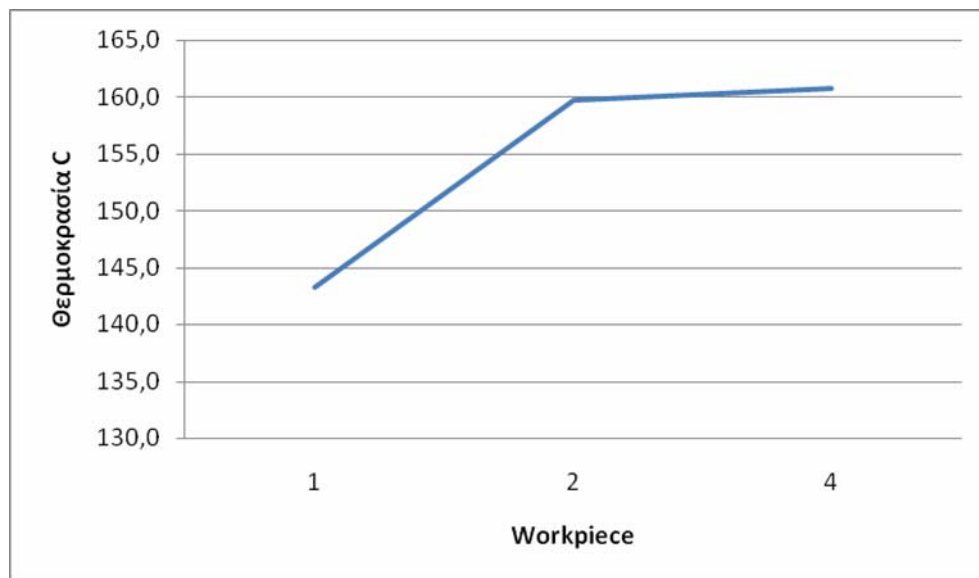
Μέσος όρος (Mean) Θερμοκρασίας °C												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average
1	70,9	92,6	106,7	118,9	119,6	118,6	124,3	124,8				109,6
2	110,7	119,5	129,8	126,4	133,2	134,3	135,9	135,7	129,9			128,4
3	121,6	138,1	143,3	138,1	139,9	141,9	141,1	134,8	133,5	134,9		136,7
4	132,0	133,7	140,5	150,2	140,6	144,6	137,3	141,2	144,7	132,0	139,8	139,7
5	128,9	127,7	139,2	143,8	138,3	150,8	155,4	144,3	139,7	139,8	147,0	141,4
6	124,5	144,3	145,9	150,2	147,9	152,0	144,1	147,5	146,5	149,4	152,9	145,9
7	137,7	144,4	145,3	149,9	147,9	155,2	147,7	149,8	150,7	152,6	159,0	149,1
8	140,3	146,0	153,1	148,3	153,9	149,8	161,4	158,6	155,8	158,6	162,2	153,5
9		144,0	151,6	156,8	157,5	149,7	154,7	156,2	158,5	167,6	166,3	156,3
10			135,0	143,1	148,1	151,3	155,1	155,2	162,2	161,6	160,0	152,4
11				135,2	150,6	155,4	156,8	158,7	164,5	163,6	175,5	157,5
Workpiece Average												143,2

Πίνακας 4.6 : Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το δεύτερο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 2)

Μέσος όρος (Mean) Θερμοκρασίας °C												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average
1	72,5	95,2	116,5	129,6	129,8	126,2	133,0	128,2				116,4
2	121,0	144,5	137,0	152,3	146,9	145,8	146,9	147,6	147,5			143,3
3	130,3	142,6	153,9	161,4	154,8	162,6	152,7	156,5	149,8	144,4		150,9
4	131,5	153,6	161,1	163,2	165,5	162,5	158,3	157,9	150,1	149,0	148,9	154,7
5	138,4	161,4	156,3	164,4	166,3	173,2	162,2	166,4	162,8	150,6	156,6	159,9
6	148,6	157,0	161,5	170,5	170,8	170,8	167,2	169,3	162,0	165,5	172,0	165,0
7	130,8	152,0	154,3	164,0	167,3	171,8	181,5	181,1	168,1	170,5	173,1	165,0
8	146,2	150,9	174,8	168,0	177,9	169,4	162,8	180,8	169,0	180,6	178,1	169,0
9		156,6	152,4	163,4	166,0	184,1	179,6	174,4	179,8	179,8	184,8	172,1
10			155,9	155,2	178,6	173,9	180,3	170,2	184,3	180,2	188,0	174,1
11				152,2	180,3	187,1	186,7	184,9	186,1	173,9	186,9	179,8
Workpiece Average												159,7

Πίνακας 4.7: Μέσος όρος θερμοκρασιών περιοχής κοπής για το τέταρτο κομμάτι κατεργασίας (Workpiece 4)

Μέσος όρος (Mean) Θερμοκρασίας °C													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average	
1	69,0	105,9	122,8	127,5	130,2	129,4	133,1	139,6				119,7	
2	132,8	141,3	152,1	147,0	151,0	156,4	150,3	148,9	152,8			148,1	
3	143,9	154,4	151,9	158,9	157,2	151,9	152,1	157,2	155,4	153,6		153,7	
4	139,1	148,9	160,2	159,6	164,7	168,5	161,0	161,6	154,5	155,7	152,1	156,9	
5	147,8	155,2	160,6	171,5	175,1	167,0	168,8	164,6	169,3	168,7	167,1	165,1	
6	139,8	163,9	168,2	167,3	172,5	161,9	172,8	170,2	177,8	158,2	168,8	165,6	
7	155,7	155,1	175,8	163,5	159,0	168,1	169,9	169,3	173,1	173,7	167,4	166,4	
8	141,2	161,2	160,8	168,3	166,4	169,2	169,0	171,1	175,3	167,6	174,3	165,9	
9			155,7	165,7	171,1	170,9	171,4	169,2	175,4	165,5	179,4	176,1	170,1
10				153,1	161,8	164,1	162,6	166,0	173,3	172,3	175,7	184,2	168,1
11					157,7	161,6	169,0	178,5	192,6	190,0	200,2	212,3	182,7
Workpiece Average												160,7	



Σχήμα 4.10: Γράφημα μέσων όρων θερμοκρασίας περιοχής κοπής

4.8.2 Μέση τετραγωνική τιμή (Root Mean Square RMS)

Η μέση τετραγωνική τιμή x_{rms} των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N είναι η τετραγωνική ρίζα του αριθμητικού μέσου των τετραγώνων των τιμών (RMS) και υπολογίζεται από τη σχέση [10] :

$$x_{rms} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + x_3^2 + \dots + x_n^2}{N}} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (4.6)$$

Η ρίζα του μέσου όρου των τετραγώνων των τιμών, είναι ένα αξιόπιστο στατιστικό μέγεθος διάγνωσης της φθοράς [11]. Σε έρευνες που έχουν γίνει αποδείχθηκε ότι η τιμή RMS των δονήσεων είναι ο καλύτερος δείκτης φθοράς [12]. Η διαπίστωση αυτή έγινε και στην παρατήρηση των εξαγόμενων τιμών από την ανάλυση που έγινε στα δεδομένα των πειραμάτων.

Στους Πίνακες 4.8, 4.9 και 4.10 διακρίνονται οι τιμές RMS των δονήσεων για κάθε οπή ξεχωριστά, στα 3 κατεργασμένα κομμάτια. Από τον υπολογισμό του μέσου όρου των 109 οπών σε κάθε κομμάτι, φαίνεται η αύξηση του μεγέθους RMS η οποία παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.11. Με την αύξηση του RMS διαπιστώνεται η παρουσία φθοράς στο τρυπάνι, η οποία επιβεβαιώνεται παρακάτω και με οπτικά μέσα.

Πίνακας 4.8: Τιμές RMS των δονήσεων του πρώτου κομματιού κατεργασίας

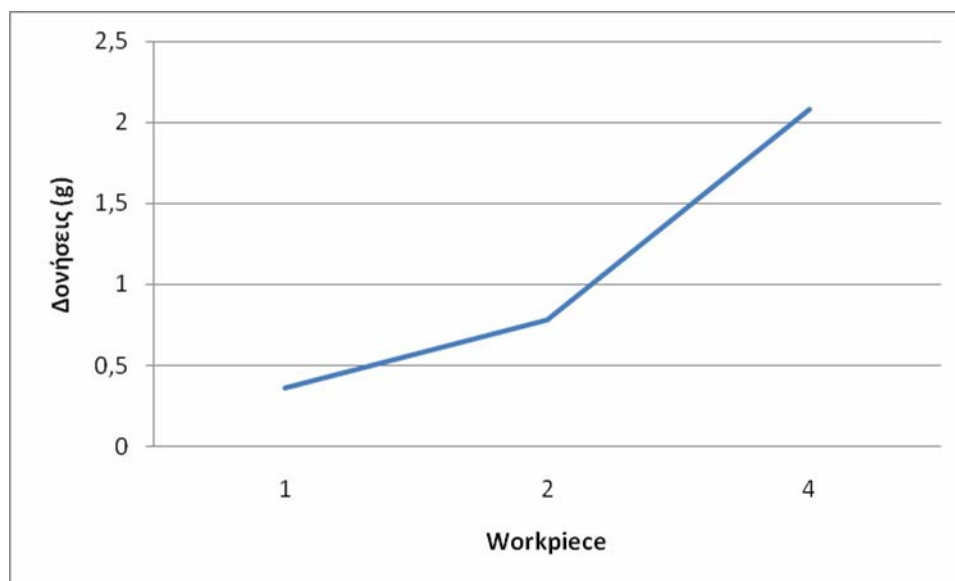
RMS Δονήσεων (g*)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average	
1	0,879	0,184	0,160	0,150	0,142	0,147	0,149	0,155				0,246	
2	0,169	0,166	0,159	0,154	0,150	0,153	0,318	0,187	0,189			0,183	
3	0,172	0,164	0,158	0,160	0,158	0,168	0,182	0,207	0,243	0,267		0,188	
4	0,171	0,176	0,155	0,153	0,161	0,183	0,205	0,313	0,289	0,344	0,407	0,232	
5	0,164	0,181	0,147	0,174	0,290	0,349	0,242	0,279	0,342	0,417	0,453	0,276	
6	0,664	0,253	0,175	0,228	0,550	0,215	0,244	0,395	0,369	0,477	0,435	0,364	
7	0,372	0,689	0,179	0,184	1,027	0,250	0,510	0,280	0,336	0,428	0,390	0,422	
8	0,195	0,208	0,616	0,362	0,257	0,276	0,237	0,405	1,882	0,342	0,379	0,469	
9		0,234	1,157	1,000	0,414	0,351	0,356	0,482	0,562	0,367	0,380	0,530	
10			0,723	0,385	1,707	0,304	0,637	1,040	0,507	0,473	0,441	0,691	
11				0,400	0,229	0,204	0,384	0,543	0,423	0,401	0,393	0,372	
Όπου g=9.81 m/sec ²												Workpiece Average	0,361

Πίνακας 4.9: Τιμές RMS των δονήσεων του δεύτερου κομματιού κατεργασίας

RMS Δονήσεων (g*)													
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average	
1	1,098	1,027	1,660	0,433	0,422	0,510	0,274	1,148				0,822	
2	0,357	0,675	0,394	0,877	0,279	0,255	0,346	0,753	0,454			0,488	
3	0,315	0,402	0,523	0,430	0,258	0,736	0,383	0,283	0,399	0,532		0,426	
4	0,321	0,727	0,851	0,477	0,378	0,898	0,522	0,340	0,533	0,273	0,676	0,545	
5	0,461	0,166	0,423	0,253	0,923	1,343	0,877	0,528	0,532	0,600	0,404	0,592	
6	0,248	0,350	1,361	0,254	1,275	1,020	3,271	0,726	0,764	0,359	0,425	0,914	
7	0,226	1,174	1,115	1,028	1,665	0,650	0,368	1,228	0,350	0,900	0,388	0,827	
8	0,201	1,179	1,931	0,550	1,295	0,969	2,393	2,487	1,279	0,541	0,460	1,208	
9		0,318	0,759	1,491	0,595	0,692	0,329	0,240	0,321	0,859	1,883	0,749	
10			1,519	0,492	1,658	0,617	0,646	0,731	0,450	0,737	0,569	0,824	
11				2,632	2,137	0,465	0,452	2,265	0,739	0,399	0,499	1,199	
Όπου g=9.81 m/sec ²												Workpiece Average	0,777

Πίνακας 4.10: Τιμές RMS των δονήσεων του τέταρτου κομματιού κατεργασίας

RMS Δονήσεων (g*)												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average
1	0,321	1,788	2,962	2,879	0,203	0,808	0,361	0,472				1,224
2	2,181	1,148	0,906	2,130	5,682	2,732	1,417	1,932	1,335			2,163
3	1,060	1,161	5,035	1,127	1,230	3,148	2,550	2,098	2,066	0,185		1,966
4	0,685	1,385	1,592	0,754	1,542	1,896	1,360	5,089	2,506	1,604	1,133	1,777
5	0,711	0,739	2,362	0,951	1,953	1,817	0,369	1,748	5,344	1,095	0,953	1,640
6	0,987	2,531	2,041	5,041	5,169	1,519	1,906	1,618	1,852	0,968	1,637	2,297
7	0,891	0,882	0,735	5,363	2,746	1,317	1,317	1,432	2,737	1,951	0,909	1,844
8	0,704	2,826	3,816	2,792	2,728	2,133	3,916	2,428	0,236	2,428	1,541	2,323
9		1,054	1,052	3,034	1,698	1,196	3,440	1,880	3,641	4,629	1,939	2,356
10			1,133	1,341	2,505	3,810	1,463	1,469	2,328	3,338	3,962	2,372
11				0,715	2,574	5,202	1,193	2,067	5,377	2,084	4,229	2,930
Όπου $g=9.81 \text{ m/sec}^2$												
Workpiece Average												2,073



Σχήμα 4.11: Γράφημα μέσου όρου τιμών RMS των δονήσεων στα κομμάτια κατεργασίας

Πραγματοποιώντας την ίδια ανάλυση στα δεδομένα του αισθητηρίου θερμοκρασίας, προκύπτουν οι Πίνακες 4.11, 4.12, 4.13 όπου παρουσιάζονται οι τιμές RMS για κάθε σπή, καθώς και ο μέσος όρος RMS για κάθε κομμάτι κατεργασίας. Η αύξηση του μέσου όρου RMS (Σχήμα 4.12) συσχετίζεται με τη φθορά του τρυπανιού, καθώς κατά την αύξηση της φθοράς του εκλύεται περισσότερη θερμότητα λόγω της μικρής απαγωγής της από το ακανόνιστο γρέζι (Chip) [13].

Πίνακας 4.11 : Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του πρώτου κομματιού κατεργασίας

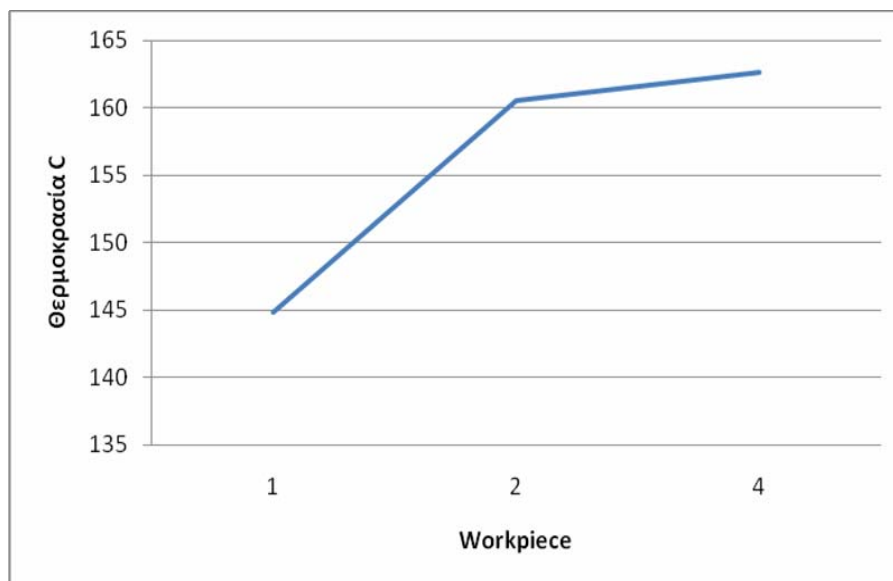
RMS Θερμοκρασίας °C												Average
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	76,6	96,8	109,4	124,3	122,5	120,8	127,2	127,5				113,1
2	113,0	121,0	131,8	127,5	135,6	135,6	137,4	136,8	131,2			130,0
3	123,2	140,8	145,6	140,0	141,4	143,0	142,3	135,8	134,4	136,3		138,3
4	133,0	133,5	140,9	150,9	140,7	144,8	137,3	141,1	144,3	131,7	139,1	139,8
5	131,4	129,6	141,0	146,2	139,4	153,2	157,3	145,8	141,0	141,1	148,3	143,1
6	125,6	146,3	147,3	153,2	150,1	153,9	145,6	148,5	147,9	150,5	155,0	147,6
7	138,7	144,8	145,9	149,8	148,0	155,8	148,0	150,0	151,1	153,3	159,4	149,5
8	143,6	148,1	158,3	151,4	156,5	152,7	165,7	160,9	157,9	160,8	164,8	156,4
9		145,0	152,6	157,7	157,8	150,0	154,7	156,8	158,9	168,5	166,8	156,9
10			136,5	144,0	149,2	152,6	156,0	156,7	164,7	162,3	161,6	153,7
11				136,2	151,9	156,6	158,2	159,8	165,6	164,6	177,5	158,8
Workpiece Average												144,8

Πίνακας 4.12 : Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του δεύτερου κομματιού κατεργασίας

RMS Θερμοκρασίας °C												Average
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	
1	78,7	98,9	120,8	132,4	133,0	128,3	135,5	129,9				119,7
2	123,5	147,2	138,2	154,6	147,7	147,2	148,1	149,2	148,9			145,0
3	131,3	142,8	155,5	162,9	155,7	164,7	153,1	157,6	150,2	144,7		151,9
4	132,3	156,0	163,1	165,1	167,6	164,5	160,0	158,8	151,1	149,8	150,2	156,2
5	138,7	162,2	157,0	165,0	167,0	173,9	162,4	166,5	163,1	151,0	157,5	160,4
6	149,1	156,5	161,7	171,4	171,5	171,3	167,7	169,2	161,4	165,2	172,4	165,2
7	132,0	154,5	156,0	166,7	169,4	173,8	184,8	183,7	170,0	172,8	174,9	167,1
8	146,6	151,6	176,2	168,3	178,7	170,0	162,7	182,1	169,5	181,9	178,0	169,6
9		156,4	152,7	162,8	165,7	184,2	179,1	174,6	180,6	180,3	184,2	172,1
10			155,6	154,6	178,3	173,5	179,6	169,1	184,3	179,8	188,4	173,7
11				150,4	176,7	183,5	185,0	183,0	184,9	173,1	184,9	177,7
Workpiece Average												160,5

Πίνακας 4.13 : Τιμές RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής κατά τη διάτρηση του τέταρτου κομματιού κατεργασίας

RMS Θερμοκρασίας °C												
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	Average
1	73,4	108,3	125,5	130,4	131,1	130,3	134,0	141,8				121,8
2	135,9	143,3	155,5	149,0	153,6	159,7	152,3	150,9	156,3			150,7
3	145,5	156,6	153,7	160,8	158,9	153,8	154,1	159,3	156,8	154,6		155,4
4	142,2	152,1	163,9	162,3	167,3	172,1	163,7	164,2	156,4	157,7	154,4	159,7
5	149,1	155,3	161,4	172,9	177,0	169,2	169,9	164,9	170,3	169,3	168,2	166,1
6	140,8	166,6	170,7	169,6	176,9	164,2	174,6	172,8	179,8	159,1	170,1	167,8
7	157,9	156,9	179,0	164,6	160,6	169,6	171,9	172,3	174,7	175,3	168,9	168,3
8	142,4	163,8	163,8	171,1	167,9	172,1	170,7	173,6	178,1	168,6	176,4	168,0
9		155,9	164,8	170,2	170,3	171,3	168,6	175,2	164,6	178,6	175,1	169,5
10			157,3	165,3	167,9	165,5	168,4	177,2	176,3	178,1	187,2	171,5
11				158,6	162,7	170,4	179,6	193,6	190,9	201,2	213,9	183,9
Workpiece Average												162,6



Σχήμα 4.12: Γράφημα μέσου όρου τιμών RMS της θερμοκρασίας περιοχής κοπής στα κομμάτια κατεργασίας

4.8.3 Τυπική απόκλιση (Standard Deviation)

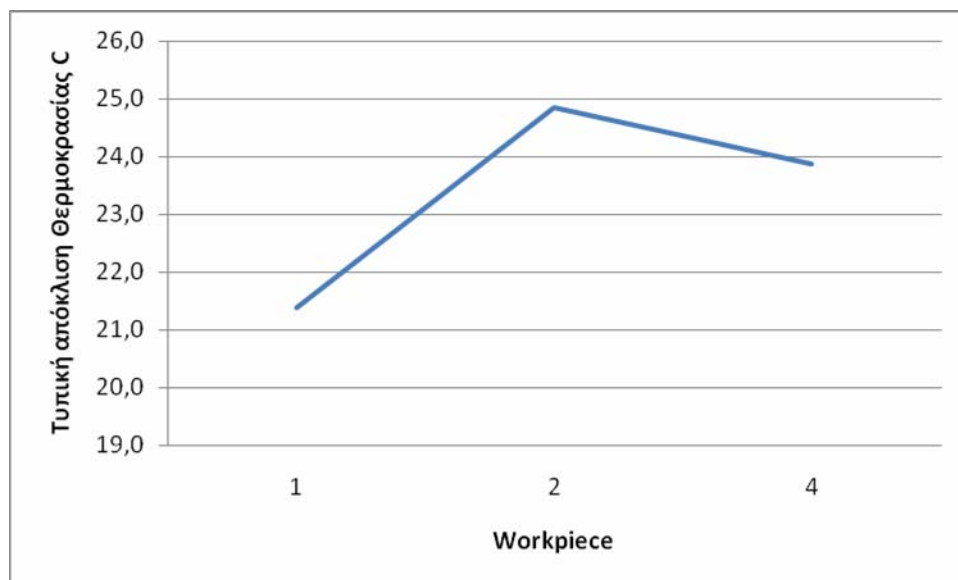
Η τυπική απόκλιση σ των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N είναι η διακύμανση ή διασπορά του πληθυσμού N και υπολογίζεται από τον τύπο [14]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \mu)^2 + (x_2 - \mu)^2 + \dots + (x_N - \mu)^2}{N}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N}} \quad (4.7)$$

όπου μ ο αριθμητικός μέσος των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$

Επειδή ο αριθμητικός μέσος των δονήσεων βρίσκεται πολύ κοντά στο 0, η σχέση (4.7) της τυπικής απόκλισης προσεγγίζει τη σχέση (4.6) της μέσης τετραγωνικής τιμής. Για το λόγο αυτό οι τιμές RMS είναι περίπου ίδιες με αυτές των τυπικών αποκλίσεων. Ως εκ τούτου η φθορά του τρυπανιού μπορεί να διαπιστωθεί και από τις τιμές που προέκυψαν κατά την ανάλυση του RMS.

Από την εξαγωγή των τυπικών αποκλίσεων θερμοκρασία περιοχής κοπής, δεν συμπεραίνεται ξεκάθαρα η εξέλιξη της φθοράς (Σχήμα 4.13), καθώς αρχικά ο μέσος όρος των τυπικών αποκλίσεων παρουσιάζει σημαντική αύξηση από το πρώτο στο δεύτερο κομμάτι κατεργασίας, ενώ στη συνέχεια έχει πτωτική τάση στο τέταρτο κομμάτι. Βέβαια λαμβάνεται υπόψη η τυχαιότητα του συμβάντος λόγω μικρού αριθμού δείγματος (κομμάτια κατεργασίας), καθώς και η άγνωστη θερμική συμπεριφορά του κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 4.13: Μέσος όρος τυπικών αποκλίσεων θερμοκρασίας των κομματιών κατεργασίας

4.8.4 Διακύμανση (Variance)

Η διακύμανση ή διασπορά των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N συμβολίζεται με σ^2 και δηλώνει πόσο συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή μ είναι οι τιμές του πληθυσμού N . Ο τύπος της διακύμανσης είναι [15]:

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.8)$$

όπου $\bar{x}$ η μέση τιμή μ του πληθυσμού N .

Ο υπολογισμός των διακυμάνσεων των δονήσεων καθώς και οι μέσοι όροι τους από τα δύο σετ ανάλυσης, καμπύλης και διαγωνίου, παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.14. Στον σχεδιασμό του γραφήματος των μέσων όρων (Σχήμα 4.14), φαίνεται η αυξητική τάση της διακύμανσης και εμμέσως η τάση αύξηση της φθοράς του τρυπανιού.

Πίνακας 4.14: Διακύμανση (g) δονήσεων των δύο σετ ανάλυσης.

Σετ διαγωνίου				Σετ καμπύλης			
	Workpiece 1	Workpiece 2	Workpiece 4		Workpiece 1	Workpiece 2	Workpiece 4
1A	0,773	1,206	0,103	2I	0,036	0,206	1,782
2B	0,028	0,455	1,319	3H	0,043	0,080	4,400
3C	0,025	0,273	24,536	4G	0,042	0,272	1,850
4D	0,023	0,227	0,569	5F	0,122	1,802	3,299
5E	0,084	0,851	3,815	6E	0,303	1,626	24,864
6F	0,046	1,041	2,167	7E	1,053	2,772	7,531
7G	0,260	0,136	1,735	8D	0,131	0,302	7,795
8H	0,164	6,182	5,894	9D	1,000	2,225	9,202
9I	0,316	0,103	13,232	10D	0,148	0,242	1,798
10J	0,224	0,543	11,142	11D	0,160	6,922	0,511
11K	0,155	0,249	17,883				
Average	0,191	1,024	7,490	Average	0,304	1,645	6,303



Σχήμα 4.14: Γράφημα αριθμητικού μεσου της διακύμανσης (g) των δονήσεων

4.8.5 Κύρτωση (Kurtosis)

Κύρτωση ή αλλιώς αιχμηρότητα ονομάζεται ο βαθμός οξύτητας της κορυφής μιας κατανομής. Η αιχμηρότητα εκφράζεται συνήθως ως προς την κανονική κατανομή. Η κύρτωση δίνεται από τον τύπο [16] :

$$\alpha_4 = \frac{m_4}{(m_2)^2} \quad (4.9)$$

όπου m_4 και m_2 είναι η ροπή τέταρτης και δεύτερης τάξης ως προς την μέση τιμή του πληθυσμού αντίστοιχα. Η ροπή δεύτερης τάξης m_2 είναι η διακύμανση σ^2 του πληθυσμού [7]. Ο τύπος (4.9) μετασχηματίζεται ως :

$$Kurtosis = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^4}{\sigma^2} \quad (4.10)$$

όπου N ο πληθυσμός, σ^2 η διακύμανση και $\bar{x}$ η μέση τιμή του πληθυσμού.

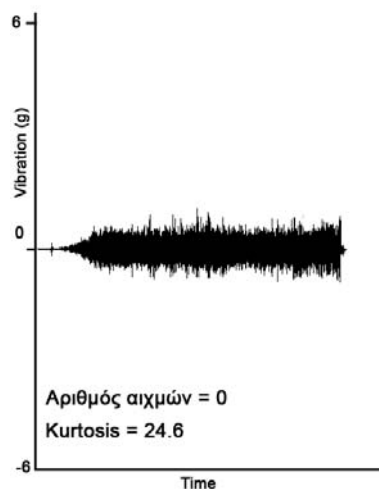
Η τιμή της κύρτωσης είναι χρήσιμη στον προσδιορισμό των αιφνίδιων μεταβολών και των τυχαίων γεγονότων που προκύπτουν από τα σήματα των δονήσεων [17], έχοντας μεγάλη ευαισθησία στις απότομες αιχμές (Spikes). Στο

Σχήμα 4.15 φαίνεται η τιμή της κύρτωσης σε δονήσεις χωρίς την παρουσία αιχμών, ενώ στο Σχήμα 4.16 φαίνεται η αυξημένη τιμή της κύρτωσης με μία αιχμή. Επίσης στην αύξηση της τιμής της κύρτωσης συντελεί και η αύξηση του λόγου A/B [17]. Με την αύξηση των αιχμών στα σήματα των δονήσεων, η τιμή της κύρτωσης μειώνεται και είναι ανάλογη του πλήθους των αιχμών (Σχήμα 4.17).

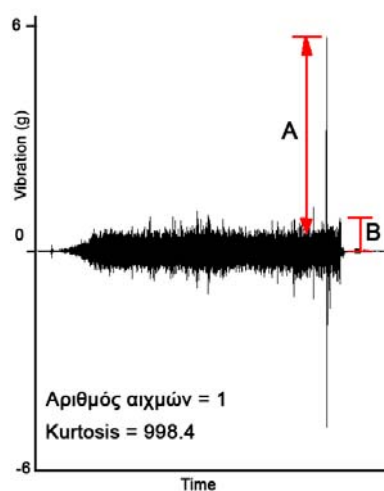
Τα παραπάνω αποτελέσματα δείχνουν ξεκάθαρα ότι η τιμή της κύρτωσης είναι ευαίσθητη στην εμφάνιση μιας αιχμής στα σήματα των δονήσεων. Εντούτοις είναι επίσης ευαίσθητη στην εμφάνιση πολλών αιχμών, έχοντας την τάση να μειώνεται η τιμή σε σύγκριση με την τιμή παρουσία μιας αιχμής. Έτσι η τιμή της κύρτωσης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάγνωση φθοράς των κοπτικών εργαλείων, καθώς η αύξηση των αιχμών συντελεί στην παρουσία της.

Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων παρουσιάστηκαν σχεδόν σε όλες τις δονήσεις των οπών, αιχμές οι οποίες θα μπορούσαν να προκαλέσουν λανθασμένη διάγνωση φθοράς. Ακόμα και αν το κοπτικό εργαλείο δεν έχει υποστεί φθορά, η παρουσία αιχμών είναι συχνή και οφείλεται στην ανομοιογένεια του υλικού, στη μη ομοιόμορφη σκληρότητά του, στην προσκόλληση υλικού πάνω στην κοπτική ακμή του κοπτικού εργαλείου και στην παρουσία μικρορωγμών [17]. Βέβαια το πλάτος αυτών των αιχμών είναι μικρότερο από το πλάτος των αιχμών που οφείλονται στην παρουσία φθοράς.

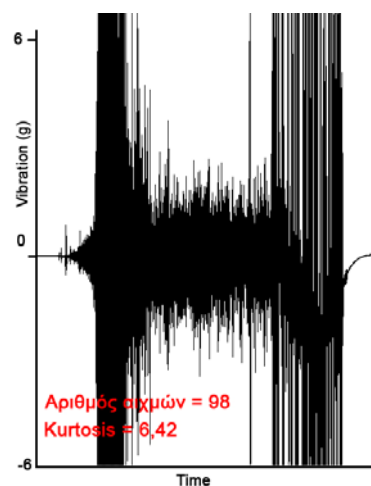
Συγκρίνοντας τους αριθμητικούς μέσους των τιμών της κύρτωσης από τα δύο σετ ανάλυσης (Πίνακας 4.15), συμπεραίνεται η μείωση αυτών κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, λόγω αύξησης των αιχμών στα σήματα των δονήσεων. Λαμβάνοντας υπόψη το Σχήμα 4.18 φαίνεται ξεκάθαρα η απότομη αύξηση της φθοράς μεταξύ των κομματιών κατεργασίας 2 και 4, λόγω της ενδιάμεσης διαδικασίας εσκεμμένης φθοράς.



Σχήμα 4.15: Τιμή κύρτωσης απουσία αιχμών



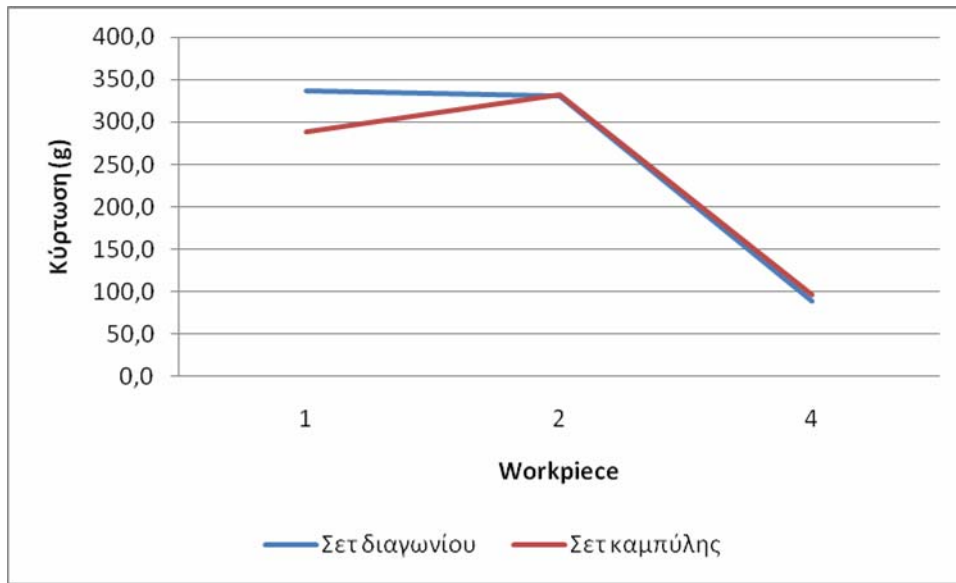
Σχήμα 4.16: Τιμή κύρτωσης παρουσία μίας αιχμής



Σχήμα 4.17: Τιμή κύρτωσης παρουσία 98 αιχμών

Πίνακας 4.15: Κύρτωση (g) δονήσεων των δύο σετ ανάλυσης

Σετ διαγωνίου				Σετ καμπύλης			
	Workpiece 1	Workpiece 2	Workpiece 4		Workpiece 1	Workpiece 2	Workpiece 4
1A	819,0	319,9	4,7	2I	4,0	793,4	87,4
2B	3,9	893,2	229,6	3H	3,7	3,9	48,3
3C	3,7	221,0	18,7	4G	3,9	154,0	129,7
4D	3,7	1078,1	100,4	5F	247,6	216,8	46,5
5E	301,8	346,2	93,6	6E	373,6	296,1	17,6
6F	7,5	365,5	176,0	7E	250,0	135,2	52,3
7G	2014,6	84,6	199,7	8D	578,9	421,5	45,6
8H	333,0	73,7	53,6	9D	223,8	226,2	39,7
9I	198,2	12,0	37,1	10D	407,4	1195,4	134,8
10J	11,0	216,0	38,1	11D	364,7	71,0	998,7
11K	5,2	31,7	24,9				
Average	336,5	331,1	88,8	Average	245,8	351,3	160,1



Σχήμα 4.18: Γράφημα αριθμητικού μεσου της κύρτωσης (g) των δονήσεων

4.8.6 Λοξότητα (Skewness)

Ο βαθμός ασυμμετρίας μιας κατανομής ονομάζεται λοξότητα. Διακρίνεται σε θετική ή αρνητική, ανάλογα με την κατεύθυνση στην οποία βρίσκεται το μεγαλύτερο άκρο της σε σχέση με το μέγιστο της κατανομής. Η θετική και αρνητική λοξότητα λέγεται συχνά και λοξότητα προς τα δεξιά ή προς τα αριστερά αντίστοιχα. Η λοξότητα δίνεται από τον τύπο [7]:

$$\alpha_3 = \frac{m_3}{(m_2)^{\frac{3}{2}}} \quad (4.11)$$

όπου m_3 και m_2 είναι η ροπή τρίτης και δεύτερης τάξης ως προς την μέση τιμή του πληθυσμού αντίστοιχα. Η ροπή δεύτερης τάξης m_2 είναι η διακύμανση σ^2 του πληθυσμού [7]. Ο τύπος (4.11) μετασχηματίζεται ως :

$$Skewness = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x})^3}{\sigma^2} \quad (4.12)$$

όπου N ο πληθυσμός, σ^2 η διακύμανση και $\bar{x}$ η μέση τιμή του πληθυσμού.

Οι τιμές της λοξότητας δεν εμφάνισαν κανένα στοιχείο για την διάγνωση φθοράς των κοπτικών εργαλείων, από τις αναλύσεις που έγιναν σε όλα τα είδη δεδομένων (δονήσεις, ρεύμα και θερμοκρασία). Αυτό οφείλεται για κάθε είδος δεδομένων, σε ξεχωριστούς λόγους.

Από τις αναλύσεις των δεδομένων προέκυψε ότι ο αριθμητικός μέσος των δονήσεων σε κάθε οπή είναι κοντά 0. Σύμφωνα με τον τύπο 4.10 το ποσό της λοξότητας γίνεται λιγότερο ευαίσθητο στις μεταβολές των δονήσεων λόγω φθοράς. Επίσης οι ακραίες τιμές δονήσεων που παρουσιάζονται κατά τη φθορά, είναι αναλογικά πολύ λιγότερες από τις υπόλοιπες δονήσεις σε κάθε οπή, με συνέπεια τα δεδομένα να έχουν κανονική κατανομή χωρίς της παρουσία λοξότητας. Τα δεδομένα της θερμοκρασίας και του ρεύματος παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά με κανονικές κατανομές σε κάθε οπή, με αποτέλεσμα η λοξότητα να μην θεωρείται στατιστική παράμετρος διάγνωσης φθοράς.

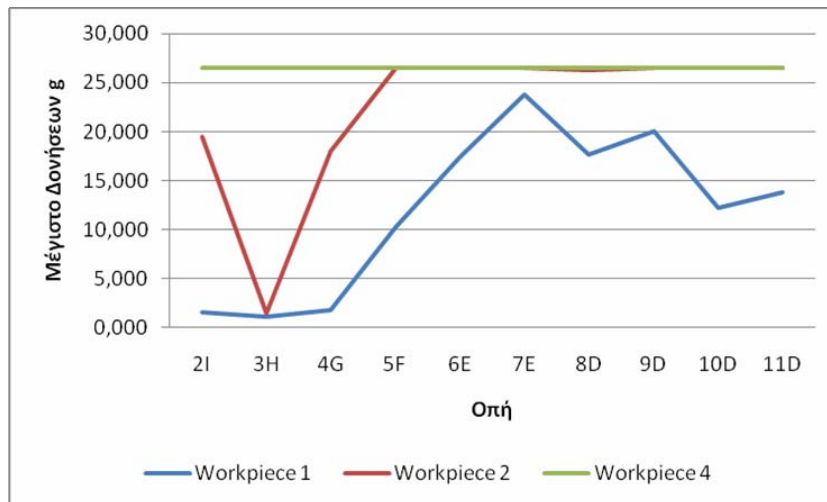
4.8.7 Μέγιστο (Maximum)

Το μέγιστο $x_{\max}$ των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N είναι η μέγιστη τιμή του πληθυσμού N.

Από τις αναλύσεις που έγιναν στα δύο σετ δονήσεων, γίνεται αντιληπτό ότι κατά τη φθορά του κοπτικού εργαλείου εμφανίζονται μεγαλύτερες τιμές μεγίστου που οφείλονται στο μεγαλύτερο πλάτος της παραγόμενης δόνησης. Στο Σχήμα 4.19 του σετ ανάλυσης της διαγωνίου, φαίνεται ότι στο τέταρτο κομμάτι κατεργασίας οι δονήσεις έφτασαν το όριο μέτρησης των επιταχυνσιομέτρων στις 9 από τις 11 οπές. Στο σετ ανάλυσης της καμπύλης (Σχήμα 4.20) γίνεται αντιληπτή η φθορά του κοπτικού εργαλείου λόγω της βαθμιαίας αύξησης του μεγίστου των τιμών κατά την εξέλιξη διάτρησης των οπών στα κομμάτια κατεργασίας.



Σχήμα 4.19: Μέγιστες τιμές δονήσεων σετ διαγωνίου, για κάθε κομμάτι κατεργασίας



Σχήμα 4.20: Μέγιστες τιμές δονήσεων σετ καμπύλης, για κάθε κομμάτι κατεργασίας

4.8.8 Ελάχιστο (Minimum)

Το ελάχιστο $x_{\min}$ των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N είναι η ελάχιστη τιμή του πληθυσμού N .

Λόγω της συμμετρίας που εμφανίζεται στα δεδομένα των δονήσεων, αντίστοιχα αποτελέσματα με αυτά της μέγιστης τιμής, εμφανίζονται και στις αναλύσεις του ελαχίστου. Για το λόγω αυτό δεν παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα.

4.8.9 Εύρος (Range)

Το εύρος x_{range} των τιμών $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ ενός δείγματος N υπολογίζεται με την αφαίρεση της μικρότερης παρατήρησης του πληθυσμού από την μεγαλύτερη παρατήρηση και δίνεται από τον τύπο [7] :

$$x_{range} = x_{\max} - x_{\min} \quad (4.13)$$

όπου $x_{\max}$ και $x_{\min}$, η μέγιστη και η ελάχιστη παρατήρηση του πληθυσμού αντίστοιχα.

Η διάγνωση φθοράς του κοπτικού εργαλείου που προέκυψε από τις αναλύσεις, είναι εμφανέστερη στα δεδομένα των δονήσεων. Στο Σχήμα 4.21 φαίνεται

το αυξημένο εύρος των δονήσεων στο τέταρτο κομμάτι κατεργασίας. Επίσης παρατηρείται το μικρό εύρος κατά την διάτρηση των τεσσάρων πρώτων γραμμών στο πρώτο κομμάτι κατεργασίας, καθώς και η σταδιακή αύξησή του στις υπόλοιπες γραμμές.



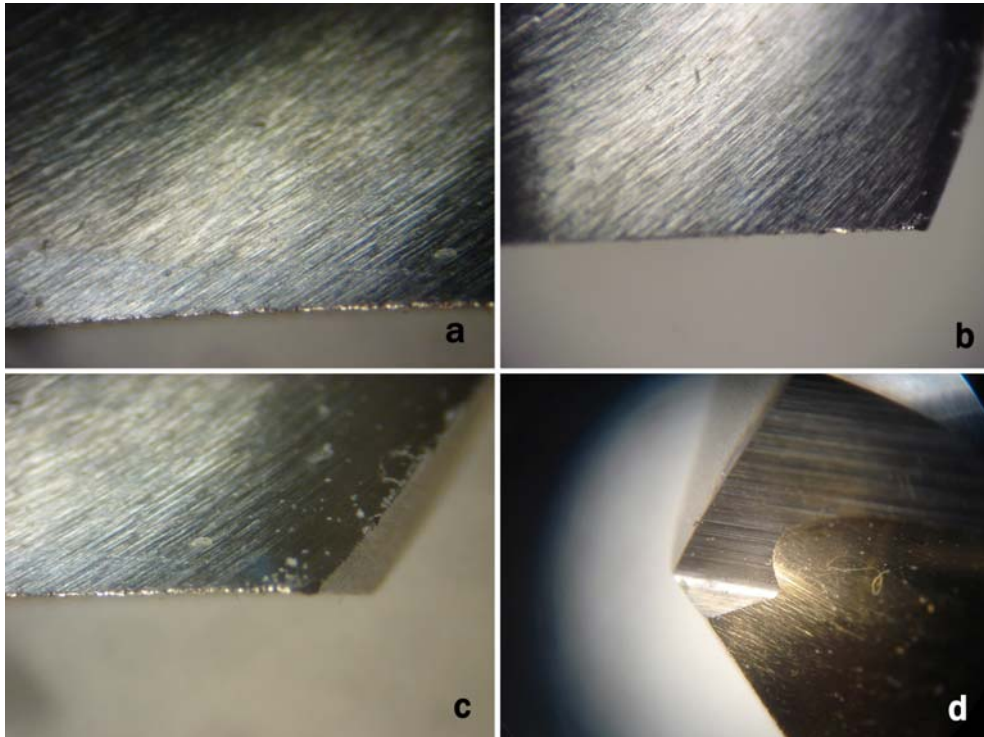
Σχήμα 4.21: Εύρος δονήσεων του σετ διαγωνίου στα κομμάτια κατεργασίας

4.9 Οπτική διάγνωση φθοράς

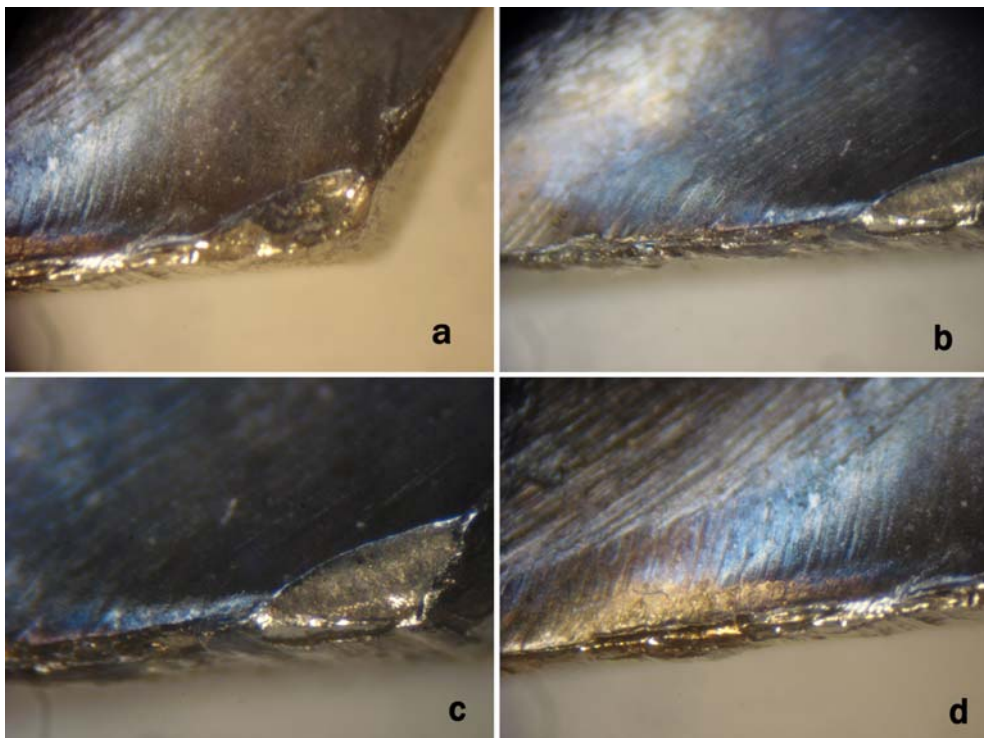
Μετά το πέρας των πειραμάτων, με τις κοπτικές ακμές του τρυπανιού να έχουν υποστεί φθορά τέτοια ούτως ώστε να μην είναι δυνατή η διάτρηση οπής, έγινε η διάγνωση της φθοράς με άμεσο τρόπο. Συγκεκριμένα, με τη χρήση του μικροσκοπίου Biolux AL, έγινε η οπτική αναγνώριση της φθοράς των κοπτικών ακμών, καθώς και η φωτογράφησή τους.

Στο Σχήμα 4.22 φαίνονται οι κοπτικές ακμές ενός καινούριου τρυπανιού, ενώ στο Σχήμα 4.23 διακρίνεται η μεγάλη φθορά που έχει προκληθεί στις κοπτικές ακμές και κυρίως στις γωνίες των ακμών, κατά τη διάτρηση 403 οπών.

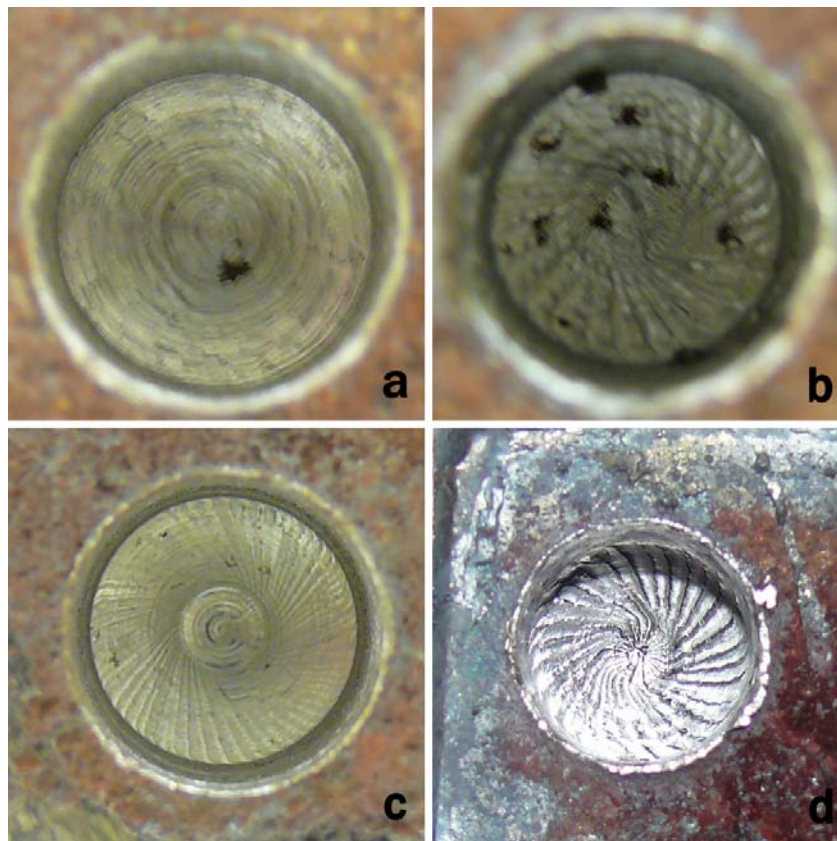
Επίσης στο Σχήμα 4.24 διακρίνονται οι επιφάνειες των οπών κατά τη διαδικασία διάτρησης, με τρυπάνι χωρίς φθορά και με φθορά.



Σχήμα 4.22: Κοπτικές ακμές καινούριου τρυπανιού, (a) κοπτική ακμή, (b) γωνία κοπτικής ακμής, (c) γωνία κοπτικής ακμής, (d) γωνία ακίδος



Σχήμα 4.23: Φθορά κοπτικού εργαλείου (a) φθορά κρατήρα στην γωνία κοπτικής ακμής, (b) φθορά στη γωνία κοπτικής ακμής, (c) φθορά στη γωνία κοπτικής ακμής, (d) πλευρική φθορά κοπτικής ακμής



Σχήμα 4.24: Επιφάνεια οπής (a) τρυπάνι χωρίς φθορά, (b) τρυπάνι με φθορά – αξονικές δονήσεις, (c) τρυπάνι με φθορά – πλευρικές και αξονικές δονήσεις, (d) τρυπάνι με φθορά – πλευρικές και αξονικές δονήσεις κατά τη διάτρηση της τελευταίας οπής του πειράματος.

4.10 Σύνοψη

Στη διάρκεια της πρώτης φάσης των πειραμάτων, πραγματοποιήθηκε η παραμετροποίησή του, ενώ κατά τη δεύτερη φάση διαπιστώθηκε η άρτια λειτουργία του συστήματος. Στη τρίτη και πιο σημαντική φάση του πειράματος, έγινε η αποθήκευση των δεδομένων προς ανάλυση, για τη διάγνωση φθοράς στο κοπτικό εργαλείο. Τα δεδομένα αναλύθηκαν στο πεδίο του χρόνου, εξάγοντας πλήθος στατιστικών παραμέτρων και αξιολογώντας τη συσχέτισή τους με την ύπαρξη φθοράς στο τρυπάνι των πειραμάτων.

Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα που αποκομίσθηκαν κατά τη διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και οι ενδιαφέρουσες προτάσεις για μελλοντική εξέλιξη του θέματος.

4.10 Βιβλιογραφία

- [1] A. Noori-Khajavi, R. Komanduri, “*Frequency and time domain analyses of sensor signals in drilling—II. Investigation on some problems associated with sensor integration*”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 35, Issue 6, Pages 795-815, June 1995.
- [2] Παντελής Ν. Μπότσαρης, Παναγιώτης Δ. Σπάρης, “*Τεχνολογία Παραγωγής Ι*”, Εταιρία Αξιοποίησης και Διαχειρίσεις Περιουσίας Δημοκρίτειου Πανεπιστημίου Θράκης, Ξάνθη, 2008.
- [3] Amor Messaoud, Claus Weihs, Franz Hering, “*Detection of chatter vibration in a drilling process using multivariate control charts*”, Computational Statistics & Data Analysis, Volume 52, Pages 3208 – 3219, 2008.
- [4] Jochem C. Roukema & Yusuf Altintas, “*Generalized modeling of drilling vibrations. Part I: Time domain model of drilling kinematics, dynamics and hole formation*”, International Journal of Machine Tools & Manufacture, No 47, 1455-1473, 2007.
- [5] Ευάγγελος Ζέρβας, “*Δειγματοληψία - Θεώρημα του Nyquist*”, Εθνικό & Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών, 2004
http://gallagher.di.uoa.gr/eap/plh22_node13.html (24/5/2009).
- [6] Erkki Jantunen, “*Indirect multisignal monitoring and diagnosis of drill wear*”, VTT Publications 590, 2005.
- [7] Δημήτριος Π. Ψωινός, “*Στατιστική*”, Εκδόσεις Ζήτη, Οκτώβριος 1999, Θεσσαλονίκη.
- [8] A. Noori-Khajavi, R. Komanduri, “*On Multisensor Approach to Drill Wear Monitoring*”, CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 42, Issue 1, Pages 71-74, 1993.
- [9] A. Noori-Khajavi, R. Komanduri, “*Frequency and time domain analyses of sensor signals in drilling—I. Correlation with drill wear*”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 35, Issue 6, Pages 775-793, June 1995.

- [10] L. Hoehn and I. Niven, "*Averages on the Move*", Math. Magazine 58, Pages 151-156, 1985.
- [11] T. I. Liu and K. S. Anantharaman, "*Intelligent classification and measurement of drill wear*", Journal of engineering for industry, Vol. 116, No3, pp. 392-397, 1996.
- [12] T. Radhakrishnan, R. K. Kawlra and S. M. Wu, "*A mathematical model of the grinding wheel profile required for a specific twist drill flute*" International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 22 No 4, pp 239 251, 1982.
- [13] P.N. Botsaris, J.A. Tsanakas, "*Mechanical and thermal signatures as indirect tool wear monitoring indices – case study: drilling*" 22th International Congress and Exhibition on Condition Monitoring and Diagnostic Engineering Management - COMADEM, San Sebastian, Spain, 9-11 June 2009.
- [14] Dodge, Yadolah, "*The Oxford Dictionary of Statistical Terms*", Oxford University Press, 2003.
- [15] Michel Loeve, "*Probability Theory*", Graduate Texts in Mathematics, Volume 45, 4th edition, Springer-Verlag, p. 12, 1977.
- [16] John R. Fanchi, "*Math Refresher for Scientists and Engineers*", 3rd Edition, Wiley-IEEE Press.
- [17] T. I. El-Wardany, D. Gao and M. A. Elbestawl, "*Tool condition monitoring in drilling using vibration signature analysis*", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 36, No. 6, pp. 687-711, 1996.

Κεφάλαιο 5

Συμπεράσματα και Προτάσεις

Περιεχόμενα

Περιεχόμενα	114
5.1 Εισαγωγή	115
5.2 Συμπεράσματα	115
5.2.1 Σωστή επιλογή και τοποθέτηση εξοπλισμού	115
5.2.2 Επιλογή του λογισμικού LabView 8.0 ως μέσο απόκτησης και καταγραφής δεδομένων	115
5.2.3 Ανάλυση δεδομένων στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Analysis)	116
5.2.4 Συνδυασμός μεθόδων για την επιτυχημένη διάγνωση	116
5.3 Προτάσεις	117
5.3.1 Χρήση ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z	117
5.3.2 Χρήση ακουστικών εκπομπών	117
5.3.3 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο συχνοτήτων (Frequency Domain)	118
5.3.4 Υπολογισμός του Λόγου Απόλυτης Μέσης Τιμής RAMV (Ratio of the Absolute Mean Value)	118
5.3.5 Δημιουργία συστήματος μέτρησης χρόνου ζωής κοπτικών εργαλείων ...	119
5.3.6 Δημιουργία συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής	120
5.3.7 Χρήση νευρωνικών δικτύων (Neural Networks) και ασαφής λογικής (Fuzzy Logic)	121
5.4 Βιβλιογραφία	122

5.1 Εισαγωγή

Με την περάτωση των αναλύσεων και την εξαγωγή των στατιστικών παραμέτρων, η παρούσα διπλωματική ολοκληρώνεται επιτυχάνοντας το στόχο της. Παρακάτω παρατίθενται τα συμπεράσματα τα οποία εξήχθησαν κατά την προσπάθεια ολοκλήρωσής της, καθώς και η αξιολόγηση των στατιστικών μεγεθών που προήλθαν από τις αναλύσεις.

Επίσης καταγράφονται πολλές νέες ιδέες για την εξέλιξη του θέματος, οι οποίες προήλθαν από τη γνώση που αποκομίστηκε κατά τη χρονική διάρκεια εκτέλεσης της παρούσας εργασίας. Οι ιδέες αυτές παρουσιάζονται ως προτάσεις.

5.2 Συμπεράσματα

5.2.1 Σωστή επιλογή και τοποθέτηση εξοπλισμού

Το πρώτο βήμα καθώς και το πιο σημαντικό, ήταν η επιλογή των κατάλληλων αισθητήριων και εξοπλισμού μέσα από μια μεγάλη γκάμα που διατίθεται στην αγορά, με σκοπό την πετυχημένη περάτωση των πειραμάτων. Η καταγραφή των αναγκών καθώς και η γνώση του προϋπολογισμού, έκαναν ευκολότερη την επιλογή του εξοπλισμού.

Η αξιοπιστία των μετρήσεων είναι συνδεδεμένη με την σωστή τοποθέτηση των αισθητήριων οργάνων καθώς και του εξοπλισμού. Ακολουθώντας τις αναλυτικές οδηγίες των κατασκευαστών, έγινε η τοποθέτησή τους και ο έλεγχος σωστής λειτουργίας τους. Οι πολύωρες προσπάθειες βαθμονόμησης (Calibration) κατά τη Φάση 1 του πειράματος, αποζημιώθηκαν από το αποτέλεσμα.

5.2.2 Επιλογή του λογισμικού LabView 8.0 ως μέσο απόκτησης και καταγραφής δεδομένων

Η επιλογή του λογισμικού LabView 8.0 ως πρόγραμμα για την απόκτηση και την καταγραφή των δεδομένων, που συλλέγονται από της μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων (Data Acquisition), ήταν καταλυτική. Ο τρόπος προγραμματισμού, βασισμένος στον προγραμματισμό με τη χρήση εικονοστοιχείων, καθώς και η εύκολη διαχείριση των δεδομένων είχαν σαν αποτέλεσμα τη μείωση του απαιτούμενου χρόνου για την υλοποίηση των προγραμμάτων.

Επίσης, λόγω της άριστης επικοινωνίας μεταξύ της μονάδας συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων και του LabVIEW 8.0, καθώς και τα δύο προϊόντα είναι της εταιρίας National Instruments, αποφεύχθηκε περαιτέρω εξοπλισμός για τη σύνδεσή τους.

5.2.3 Ανάλυση δεδομένων στο πεδίο του χρόνου (Time Domain Analysis)

Πολύτιμα συμπεράσματα αποκομίσθηκαν κατά την ανάλυση και εξαγωγή των στατιστικών παραμέτρων στο πεδίο του χρόνου. Η πρωτογενής ανάλυση, όπως ονομάζεται, εξάγει σημαντικά συμπεράσματα για την διάγνωση φθοράς των κοπτικών εργαλείων.

Επεξεργάζοντας και αναλύοντας περισσότερο τα σήματα των δονήσεων, η τιμή RMS θεωρείται ως η πιο αξιόπιστη στατιστική παράμετρος για την διάγνωση της φθοράς. Επίσης η τιμή της κύρτωσης αποδίδει καλά αποτελέσματα, αλλά παρουσιάζει σε αρκετές περιπτώσεις λανθασμένες διαγνώσεις.

5.2.4 Συνδυασμός μεθόδων για την επιτυχημένη διάγνωση

Ο συνδυασμός των μεθόδων ανάλυσης στο πεδίο του χρόνου και των συχνοτήτων, μπορεί να δώσει πιο αξιόπιστες διαγνώσεις φθοράς, σε αντίθεση με τη μεμονωμένη ανάλυση. Επιπλέον ο συνδυασμός των διαφόρων στατιστικών παραμέτρων, προσεγγίζει περισσότερο το επιθυμητό αποτέλεσμα.

Κατατάσσοντας τις στατιστικές παραμέτρους ανάλογα με την ικανότητά τους στην διάγνωση της φθοράς και αντιστοιχώντας σε αυτές ένα ποσοστό ανάλογο με τη θέση κατάταξης, είναι δυνατή η εξαγωγή μιας μόνο τιμής για την εξακρίβωση της φθοράς.

5.3 Προτάσεις

5.3.1 Χρήση ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε και δόθηκε μεγαλύτερη βαρύτητα, στην ανάλυση των δονήσεων για την διάγνωση της φθοράς του κοπτικού εργαλείου, μέσω στατιστικών παραμέτρων. Επίσης μεγάλο όφελος αποκομίστηκε από τις αναλύσεις των δεδομένων του θερμομέτρου υπερύθρων κατά την παρακολούθηση της θερμοκρασίας του κοπτικού εργαλείου, ως μέτρο εκτίμησης φθοράς.

Αντιθέτως, τα δεδομένα των μετατροπών μέτρησης του ρεύματος κινητήρα περιστροφής (Spindle Motor Current) και του κινητήρα πρόωσης του άξονα Z (Feed Motor Current), δεν υπέστησαν περαιτέρω επεξεργασία και ανάλυση. Γνωρίζοντας από τη βιβλιογραφία [1,2] ότι υπάρχει συσχέτιση των ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z, με τη θραύση ή την ανεπάρκεια διάτρησης του κοπτικού εργαλείου, θα μπορούσαν να πραγματοποιηθούν διεξοδικές αναλύσεις.

Η εξαγωγή στατιστικών παραμέτρων όπως οι τιμές RMS των ρευμάτων κινητήρα περιστροφής και κινητήρα πρόωσης του άξονα Z, υποδηλώνουν την αύξηση της κοπτικής ροπής και της κάθετης δύναμης αντίστοιχα [3], που είναι συνάρτηση της αύξησης φθοράς των κοπτικών εργαλείων.

5.3.2 Χρήση ακουστικών εκπομπών

Σε αντίθεση με τη μέτρηση μηχανικών δονήσεων μικρότερων συχνοτήτων των 20 KHz, προτείνεται η χρήση ακουστικών εκπομπών ή των υπερηχητικών δονήσεων (Ultrasonic Vibration) της τάξεως των 20 με 80 KHz, για τη διάγνωση φθοράς κοπτικών εργαλείων [4].

Καθώς εξελίσσεται η φθορά των κοπτικών εργαλείων και φτάνει στο τελικό στάδιο, οι υψηλές συχνότητες είναι κυρίαρχες, κάνοντας τις ακουστικές εκπομπές κατάλληλες για τη διάγνωσή της. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η χρήση τεχνικών διάγνωσης φθοράς με ακουστικές εκπομπές, δίνουν καλά αποτελέσματα σε διαγνώσεις τριπανιών μικρής διαμέτρου, της τάξεως των 1mm με 3mm. Επισημαίνεται ότι σε τόσο μικρής διαμέτρου τρυπάνια, τεχνικές όπως η μέτρηση του ρεύματος κινητήρα περιστροφής κ.α. δεν δίνουν αποτελέσματα φθοράς σε αντίθεση με τις ακουστικές εκπομπές [5].

5.3.3 Ανάλυση σημάτων στο πεδίο συχνοτήτων (Frequency Domain)

Εκτός από τις αναλύσεις που πραγματοποιήθηκαν στο πεδίο του χρόνου και την εξαγωγή των στατιστικών παραμέτρων, πολύ χρήσιμες είναι οι αναλύσεις των σημάτων στο πεδίο των συχνοτήτων.

Οι μετασχηματισμοί Fourier (Fast Fourier Transforms) είναι ένα μέσο που προσδιορίζει το περιεχόμενο των συχνοτήτων στα σήματα. Η ιδέα της αναζήτησης στο περιεχόμενο των συχνοτήτων για την εύρεση φθοράς, βασίζεται στη αρχή ότι σε κάποιες συχνότητες η φθορά του εργαλείου επηρεάζει περισσότερο τα μετρηθέντα σήματα, σε σχέση με κάποιες άλλες. Οι μετασχηματισμοί Fourier βοηθούν στη εξάλειψη των ασήμαντων πληροφοριών, δίνοντας έμφαση στις σημαντικές πληροφορίες [6]. Έτσι με αυτούς τους μετασχηματισμούς γίνεται ευκολότερη η διάγνωση της φθοράς, καθώς και ο τύπος της φθοράς (Flank wear, Chisel Wear, Margin wear).

5.3.4 Υπολογισμός του Λόγου Απόλυτης Μέσης Τιμής RAMV (Ratio of the Absolute Mean Value)

Στο Κεφάλαιο 4 αποδείχθηκε ότι η τιμή της κύρτωσης στα σήματα των δονήσεων, είναι μια στατιστική παράμετρος η οποία μπορεί να προσδιορίσει την ύπαρξη φθοράς στα κοπτικά εργαλεία. Η διάγνωση της φθοράς γίνεται μέσω των αιχμών που παρουσιάζονται στα σήματα των δονήσεων, οι οποίες δημιουργούνται κατά τη διάτρηση. Όμως η χρήση της κύρτωσης ως μέσο διάγνωσης φθοράς, κρύβει ένα σημαντικό μειονέκτημα.

Η αναισθησία που υπάρχει στην τιμή της κύρτωσης σε διαδοχικές αιχμές, πολλές φορές οδηγεί σε λανθασμένες διαγνώσεις φθοράς ή και θραύσης του εργαλείου. Οι λανθασμένες διαγνώσεις συσχετίζονται με τον τρόπο δημιουργίας αυτών των αιχμών, οι οποίες παρουσιάζονται και κατά τη διάτρηση με καινούριο (χωρίς φθορά) εργαλείο κοπής. Βέβαια το πλάτος αυτών των αιχμών είναι πάντα μικρότερο από αυτές που προκλήθηκαν από την παρουσία φθοράς.

Για να γίνει δυνατή η εξάλειψη ή η μείωση των λανθασμένων διαγνώσεων, προτείνεται η δημιουργία ενός δεύτερου χαρακτηριστικού του οποίου η σύνδεσή με την τιμή της κύρτωσης, είναι αναγκαία. Το νέο αυτό χαρακτηριστικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως σκανδαλισμός ενεργοποίησης στον υπολογισμό της κύρτωσης και ονομάζεται Λόγος Απόλυτης Μέσης Τιμής RAMV (Ratio of the Absolute Mean Value) [6]. Ο υπολογισμός του γίνεται από τον τύπο :

$$RAMV_i = \frac{AMV_i}{AMV_b} \quad (5.1)$$

όπου AMV_b είναι ο στιγμιαίος Λόγος Απόλυτης Μέσης Τιμής υπολογισμένος κατά την αρχή της διαδικασίας διάτρησης και AMV_i είναι ο τρέχων Λόγος Απόλυτης Μέσης Τιμής υπολογισμένος στην i περιστροφή του κοπτικού εργαλείου.

$$AMV_{i \forall b} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=N} |x_i| \quad (5.2)$$

όπου x_i είναι το στιγμιαίο πλάτος της δόνησης.

Ο λόγος RAMV μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως δείκτης για την ενεργοποίηση του υπολογισμού της κύρτωσης. Ο δείκτης ή αλλιώς κατώφλι (threshold), καθορίζεται από τις δοκιμές βαθμονόμησης (Calibration Tests).

5.3.5 Δημιουργία συστήματος μέτρησης χρόνου ζωής κοπτικών εργαλείων

Πολλές εταιρίες κατασκευής CNC εργαλειομηχανών σε συνεργασία με κατασκευάστριες εταιρίες κοπτικών εργαλείων, βρίσκονται στην προσπάθεια δημιουργίας ενός συστήματος μέτρησης του εναπομείναντος χρόνου ζωής των κοπτικών εργαλείων [7].

Το σύστημα αυτό, λαμβάνοντας στοιχεία από μια βάση δεδομένων με τις απαραίτητες πληροφορίες των κοπτικών εργαλείων και σε συνδυασμό με τις τρέχων συνθήκες κοπής (στροφές και πρόωση εργαλείου, χρήση ψυκτικού), θα μπορεί να υπολογίσει τις εναπομείνουσες ώρες ζωής του κοπτικού εργαλείου μέχρι την τελική φθορά του ή θραύση.

Παρόμοιο σύστημα είναι ο υπολογιστής ταξιδιού, ο οποίος υπολογίζει την κατανάλωση και τα εναπομείναντα χιλιόμετρα μέχρι την εξάντληση των αποθεμάτων βενζίνης του ρεζερβουάρ.

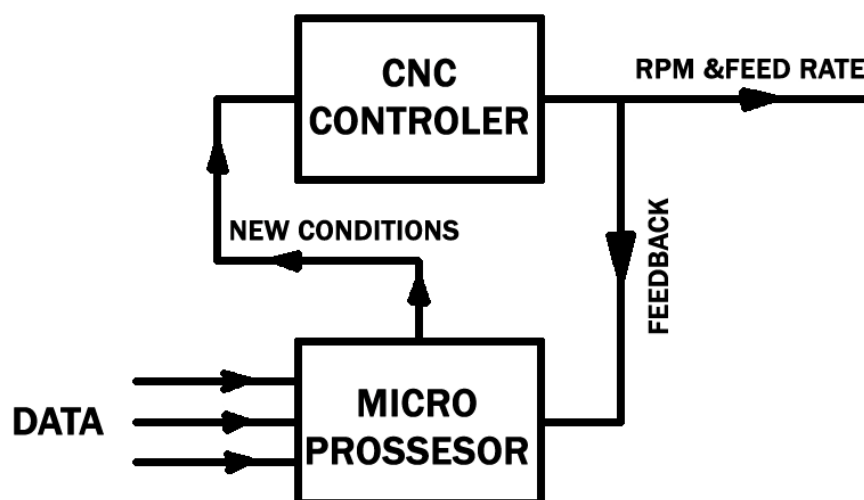
5.3.6 Δημιουργία συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής

Ο απώτερος σκοπός της παρακολούθησης και καταγραφής των λειτουργικών παραμέτρων στις εργαλειομηχανές CNC, είναι η ενσωμάτωση συστημάτων αυτόματης αναπροσαρμογής των συνθηκών κοπής κατά το χρόνο λειτουργίας τους.

Τα σημερινά εξελιγμένα λογισμικά CAD/CAM, διαθέτουν βάσεις δεδομένων από τις οποίες ο σχεδιαστής μπορεί να επιλέξει συγκεκριμένα εργαλεία για ανάλογες κατεργασίες, καθώς και τις πρώτες ύλες των προς κατεργασία αντικειμένων. Οι βάσεις αυτές έχουν ένα μεγάλο πλήθος από παραμέτρους οι οποίες χρησιμοποιούνται από το εκάστοτε λογισμικό, για τον υπολογισμό των συνθηκών κοπής κατά την δημιουργία του κώδικα G και M. Βέβαια οι συνθήκες αυτές ποτέ δεν είναι οι βέλτιστες για να επιτευχθούν αντικείμενα με υψηλό λόγο ποιότητας προς χρόνο κατεργασίας.

Αντιθέτως με τη δημιουργία και τη χρήση ενός συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής, θα μπορούσαν να επιτευχθούν μικρότεροι χρόνοι κατεργασίας, οι οποίοι είναι πάρα πολύ σημαντικοί στην σημερινή βιομηχανία, καθώς και ποιοτικότερων κατασκευαστικά κομματιών.

Η βασική ιδέα με την οποία μπορεί να υλοποιηθεί ένα τέτοιο σύστημα, βασίζεται στην αρχή της ανατροφοδότησης (Feedback) με δεδομένα στον μικροεπεξεργαστή ελέγχου. Αρχικά τα τοποθετημένα αισθητήρια όργανα, θα συλλέγουν τα δεδομένα και θα τα τροφοδοτούν σε έναν υπολογιστή ο οποίος με βάση τα δεδομένα που έχει λάβει εκείνη τη χρονική στιγμή, θα τα επεξεργάζεται και θα εξάγει τις συνθήκες κοπής. Στη συνέχεια οι συνθήκες κοπής θα μεταφέρονται στον υπολογιστή ελέγχου της εργαλειομηχανής για την εκτέλεση της κατεργασίας (Σχήμα 5.1). Το σύστημα αυτό δουλεύοντας σε πραγματικό χρόνο (Real Time), θα έχει τη δυνατότητα να κατεργάζεται τα υλικά με καλύτερους χρόνους και υψηλότερη ποιότητα, καθώς και να αυξήσει τη διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων μειώνοντας το κόστος αλλαγής τους.



Σχήμα 5.1: Γραφική απεικόνιση συστήματος αυτόματης αναπροσαρμογής συνθηκών κοπής

5.3.7 Χρήση νευρωνικών δικτύων (Neural Networks) και ασαφής λογικής (Fuzzy Logic)

Όπως προαναφέρθηκε, πολλές φορές από τα εξαγόμενα στατιστικά δεδομένα μπορεί να εμφανιστεί λανθασμένα ένδειξη φθοράς. Αυτό οφείλεται στην διαφορετική συμπεριφορά των κοπτικών εργαλείων ακόμα και αν εκτελούν την ίδια κατεργασία με τις ίδιες ακριβώς συνθήκες κοπής. Κατά την εκτέλεση των πειραμάτων, παρατηρήθηκαν φαινόμενα λανθασμένης ένδειξης φθοράς τα οποία δύσκολα θα μπορούσαν να ερμηνευθούν, προκαλώντας σύγχυση. Ακραίες τιμές στις εξαγόμενες στατιστικές παραμέτρους κατά την κατεργασία χωρίς την ύπαρξη φθοράς, αναφέρονται ως διαφορετικές συνθήκες φυσιολογικής λειτουργίας. Οι διαφορετικές αυτές συνθήκες, θα πρέπει κατά την επεξεργασία να αναγνωρίζονται ως φυσιολογικές και να μην λαμβάνονται υπόψη στην διάγνωση της φθοράς.

Η υλοποίηση της παραπάνω ιδέας, θα μπορούσε να επιτευχθεί με την χρήση νευρωνικών δικτύων ή και τη χρήση ασαφούς λογικής. Δίνοντας δεδομένα κατά την εκμάθηση του νευρωνικού δικτύου, η αποκτημένη γνώση συσσωρεύεται στους νευρώνες του, με αποτέλεσμα την αναγνώριση των διαφορετικών συνθηκών κατά τη χρήση του δικτύου στην επεξεργασία των νέων δεδομένων.

5.4 Βιβλιογραφία

- [1] Γιάννης Σουρουτζίδης, “*Ανάπτυξη μετρητικού συστήματος σε κέντρο τóρνευσης μετάλλου*”, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Διπλωματική εργασία
- [2] K. Ramamurthi, C. L. Hough Jr., “*A hybrid approach for robust diagnostics of cutting tools*”, IEEE Transactions on Systems Man and Cybernetics 24, Pages 482-492, 1994
- [3] Mauri Routio, Matti Saynatjoki, “*Tool Wear and Failure in the Drilling of Stainless Steel*”, J. Mat. Processing Tech., Vol. 52, Pages 35–43, 1995
- [4] W. Konig, K. Kutzner, U. Schehl, “*Tool Monitoring of Small Drills with Acoustic Emission*”, International Journal of Machine Tools and Manufacture Vol. 32, No.(4), Pages 487–493, 1992.
- [5] J. Roget, P. Souquet, N. Gsib, “*Application of Acoustic Emission to The Automatic Monitoring of Tool Condition During Machining*”, ASNDT Materials Evaluation, Vol.46, Pages 225–229, 1988
- [6] T. I. El-Wardany, D. Gao and M. A. Elbestawl, “*Tool condition monitoring in drilling using vibration signature analysis*”, International Journal of Machine Tools and Manufacture, Volume 36, No. 6, pp. 687-711, 1996
- [7] European Tool & Mould Making Magazine, An Access Communications INC. Publication, Volume XI, Number 1, January/February 2009

Παράρτημα Α

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξοπλισμού

Πίνακας Α.1: Πίνακας χαρακτηριστικών SMV-1000 [2]

Τραπέζι εργασίας	Διαστάσεις (mm x mm)	1070mm x 500mm
	Περιοχή εργασίας (mm x mm)	1020mm x 510mm
	Τραπέζι με διατομές T	CD 150mm x 18mm x 3
	Μέγιστο βάρος κατεργαζόμενου αντικειμένου	300Kg
Όρια αξόνων	X-άξονας (mm)	1020mm
	Y-άξονας (mm)	510mm
	Z-άξονας (mm)	510mm
	Απόσταση τσοκ-τραπεζιού (mm)	100-610mm
	Απόσταση κέντρου περιστροφής-κεντρικής κολώνας (mm)	625mm
Περιστροφή	Κώνος	ISO No 40
	Διάμετρος (mm)	Ø75mm
	Ταχύτητα περιστροφής (rpm)	45-4500rpm/60-6000opt
Πρόωση	Πρόωση κοπής	1-4000 mm/min
	Ταχύτητα επιστροφής σε X, Y και Z	X, Y, και Z 30 m/min

Μύλος εργαλείων	Αριθμός θέσεων εργαλείων	16 εργαλεία/ 20εργαλεία
	Μέθοδος διαλογής εργαλείων	Bi-direction & Shortest path
	Μέγιστο μέγεθος εργαλείων διάμετρος x μήκος	Ø89mm x 250mm
	Μέγιστο βάρος εργαλείου Τύποι συγκράτησης εργαλείων	6 Kg BT40, V40 CT, V40 ANSI
Κινητήρας	Ισχύς περιστροφής κινητήρα	5.5 KW/ 7.5 KW / 30 min
	Ισχύς ανά άξονα X, Y και Z	1 KW (Στο Z-άξονα έχει φρένο)
	Ισχύς για ψύξη	860 KW
	Ισχύς μετάδοσης κίνησης	¼ Hp
Γενικά χαρακτηριστικά	Συνολικές διαστάσεις (Μ x Π x Υ)	2900mm x 2220mm x 2686mm
	Καθαρό βάρος (προσεγγιστικά)	3700 Kg
	Μικτό βάρος (προσεγγιστικά)	4200 Kg

Πίνακας Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά επιταχυνσιομέτρου 8702/4B25 [5]

<i>Γενικά</i>		
Εύρος επιτάχυνσης	g	±25
Όριο επιτάχυνσης	gpk	±50
Εγκάρσιο όριο επιτάχυνσης	gpk	±50
Κατώφλι	grms	0,002
Ευαισθησία ±5 %	mV/g	200
Συχνότητα συντονισμού	kHz	54
Συχνότητα απόκρισης	Hz	1 ... 8 000
Πλάτος μη – γραμμικότητας	%FSO	±1
Χρονική σταθερά	s	1
Εγκάρσια ευαισθησία, (max.3)	%	1,5
<i>Περιβαλλοντικά</i>		
Ευαισθησία σύσφιξης @ 250 με	g/με	0,01
Σοκ όριο (1 ms pulse)	gpk	2 000
Συντελεστής θερμοκρασίας ευαισθησίας	%/°C	-0,06
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	-55 ... 100

Θερμοκρασία αποθήκευσης	°C	-75 ... 120
Έξοδος		
Τάση πόλωσης	VDC	11
Αντίσταση	Ω	<100
Τάση	V	±5
Ρεύμα	mA	2
Πηγή		
Τάση	VDC	20 ... 30
Σταθερό ρεύμα	mA	4
Ελάχιστη αντίσταση.	kΩ	100
Κατασκευή		
Στοιχείο αισθητήρα	Τύπος	quartz-shear
Κέλυφος / βάση	Υλικό	Titanium/St. Stl.
Βαθμός προστασίας θήκης / (EN 60529)		IP68
Καλώδιο σύνδεσης	Τύπος	10-32 neg.
Γείωση		with pad/M1
Μάζα	grams	8,7/7,5
Στήριξη (10-32 thd. x 3,3 dp)	Τύπος	Βίδα
Ροπή στήριξης	N·m	2
1 g = 9,80665 m/s ² , 1 Inch = 25,4 mm, 1 gram = 0,03527 oz, 1 lbf-in = 0,1129 N·m		

Πίνακας Α.3: Τεχνικά χαρακτηριστικά τροφοδοτικού Type 5134B0E [10]

Διέγερση		
Τάση, ελάχιστη	V	24
Ρεύμα, προγραμματιζόμενο, 16 επιπέδων	mA	0 ... 15
Προστασία ESD	kV	15
Επεξεργασία σημάτων		
Κανάλια		4
Κέρδος, προγραμματιζόμενο		0,5 ... 150
Βήμα κέρδους (G) 0,5 ... 99,99		0,01
Ακρίβεια κέρδους 0,5 ... 150	%	±0,5
Εύρος θορύβου, 1 ... 10 kHz (Gain = 1, 0 Ω shunt on input)	μVrms	≤35
Μέση πυκνότητα θορύβου	μVrms/√Hz	0,35

(Gain = 1, Rin = 0 Ω)		
Εξασθένιση σήματος (Signal 10 Vpp at 1,2 kHz in any 1 channel, G = 1)	dB	-90
Συχνότητα απόκρισης, ±5 %, Filter = bypassed 2 Vpp Input	Hz	0,1 ... 68 k
Ανίχνευση σφάλματος		open, short
Ανίχνευση υπερφόρτωσης, προγραμματιζόμενη	V	1 ... 10 (±5 % of FS)
Προγραμματιζόμενες LP συχνότητες φίλτρου (-3 dB), ±10 %	Hz	100, 1 k, 10 k, 30 k
Τύπος φίλτρου		Butterworth
Πόλοι		4
Παράκαμψη φίλτρου		Προγραμματιζόμενη
Smart Sensor (PiezoSmart®)		
Interface		IEEE 1451.4 with TEDS
Είσοδος		
Αντίσταση	MΩ	2 at 1 nF
Χρονική σταθερά, προγραμματιζόμενη	s	10/1/0,1
Προστασία ESD	kV	15
Έξοδος		
Αντίσταση	Ω	<100
RLoad, min.	Ω	300
Εύρος τάσης	V	±5 or ±10 selectable
Περιβαλλοντικά		
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	0 ... 60
Θερμοκρασία αποθήκευσης	°C	-25 ... 85
Υγρασία λειτουργίας	%	0 ... 95
Τροφοδότηση		
Τάση, -23 %, +18 % 230	VAC	178 ... 270
Συχνότητα	Hz	48 ... 62
Ισχύς μέγιστη	VA	14
Φυσικά χαρακτηριστικά		
Διαστάσεις	mm	195,1x141x93,5
Βάρος	kg	1,75
1 g = 9,80665 m/s ² , 1 Inch = 25,4 mm, 1 gram = 0,03527 oz, 1 lbf-in = 0,113 N·m		

Πίνακας Α.4: Τεχνικά χαρακτηριστικά Rayomatic 10

Ρεύμα εξόδου	mA	4 to 20
Χρόνος απόκρισης	ms	150 (t95)
Εκπεμπτικότητα	ρυθμιζόμενο	0.10 to 1.00
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	-10 to +60
Περιβαλλοντική βαθμολόγηση		IP65 (NEMA-4)
Διολίσθηση		±0.02% rdg/°C for temperatures exceeding the band +23°C ±5°C
Επεξεργασία σημάτων		°C/°F, Peak, Valley, emissivity, range, Average, Peak-Picker
Τάση Τροφοδοσίας	Vdc	24 ±10%
Θερμοκρασία αποθήκευσης	°C (°F)	-30...+70(-22...158)
Διαστάσεις	mm (in)	Ø 18 (M18x1) x 120 (0.71" x 4.72")
Βάρος	g (lb)	100 (0.22)

Πίνακας Α.5: Τεχνικά χαρακτηριστικά τροφοδοτικού AFX – 9660SB [13]

Τάση εισόδου	AC	220 ± 10%
Συχνότητα εισόδου	Hz	50 ± 2
Τάση εξόδου (2 έξοδοι μεταβαλλόμενοι)	V	0...30
Ρεύμα εξόδου (2 έξοδοι μεταβαλλόμενοι)	A	0...3
Source effect	mV	CV < 1 x 10 ⁻⁴ + 0.5
	mA	CC < 2 x 10 ⁻³ + 1
Load effect	mV	CV < 1 x 10 ⁻⁴ + 2
	mA	CC < 2 x 10 ⁻³ + 3
Κυμάτωση και θόρυβος	mV	CV < 1
	mA r.m.s.	CC < 3
Προστασία		Όριο ρεύματος
Τάση εξόδου (σταθερή)	V	5 ± 3%
Ρεύμα εξόδου (σταθερή)	A	3
Source effect	mV	CV < 1 x 10 ⁻⁴ + 1
Load effect	mA	CC < 1 x 10 ⁻³
Κυμάτωση και θόρυβος	mV r.m.s.	<0.5
Προστασία		Όριο ρεύματος και μικρο-κυκλωμα προστασίας
Θερμοκρασία λειτουργίας	°C	0...+40
Επιτρεπόμενη υγρασία		<90%
Διαστάσεις	mm	360 x 265 x 165
Ωρες λειτουργίας		Συνεχόμενη λειτουργία 8 ωρών

Πίνακας Α.6: Τεχνικά χαρακτηριστικά μετατροπέα AK 50 C10 [19]

Τάση τροφοδοσίας	V	αυτοτροφοδοτούμενο
Αντίσταση φορτίου	MΩ	1
Τάση αναφοράς (CAT III, PD2)	V AC	150
RMS Τάση απομόνωσης, 50Hz, 1mn	kV AC	3
Εύρος συχνοτήτων	Hz	50-60
Ακρίβεια @ I_{PN} $T_A = 25^{\circ}C$	%	± 1
Χρόνος Απόκρισης @ 90% of I_{PN}	mS	< 100
Θερμοκρασία Λειτουργίας (0-95% RH)	$^{\circ}C$	-20...+50
Θερμοκρασία Αποθήκευσης	$^{\circ}C$	-20...+85
Βάρος	gram	120
Προστασία		IEC 61010 – 1
EMC		EN 61326

Πίνακας Α.7: Τεχνικά χαρακτηριστικά LG E200 [20]

Επεξεργαστής	Intel® Core™2 Duo Processor T5550, 2MB L2 Cache, 1.83GHz, 667MHz FSB
Λειτουργικό Σύστημα	Genuine Windows® Vista™ Home Premium
Chipset	ATI RS600ME
Μνήμη	2GB DDR2(667MHz, Dual Channel Support, Up to 4GB)
Οθόνη	12.1" WXGA(1280x800),*Fine Bright Technology
Κάρτα Γραφικών	ATI Radeon™ Xpress 1250
Σκληρός Δίσκος	160GB SATA
Οπτική Συσκευή	DVD Super Multi Dual Layer (DVD-R/RW, +R/RW, RAM)
Ασύρματη	802.11 b/g
WLAN Κεραία	Dual Hexa-band Antenna
Κάρτα Δικτύου	10/100MB Ethernet
Bluetooth	*Yes (Bluetooth v2.0+EDR)
Ασφάλεια	HDD Security
Πληκτρολόγιο	84 keys
Pointing Device	Touchpad with Scroll Function

Θύρα Κάρτας Πολυμέσων	5-in-1 (XD/SD/MMC/MS/MS Pro)
PC Card Slot	ExpressCard/34
Ήχος	24bit High Definition
Θύρα Εισόδου/Εξόδου	3xUSB, VGA,HDMI, RJ45, Mic-in, Headphone, DC In
Μπαταρία	6Cell(Li-Ion)
Φορτιστής Ρεύματος	65W
Προεγκατεστημένα προγράμματα	Battery Miser, On Screen Display, LG Magnifier,LG SmartCam, LG Intelligent Update, LG Fan Mode Tile, LG Touchpad Tile, LG Smart Indicator,CyberLink Power2Go, Recovery Center, LG Intelligent Update (Norton Anti-Virus, Drivers, Applications, Easy Manual and Easy trouble shooting Guide)
Διαστάσεις (ΠxΥxB)	306 x 226 x 34.9~36.7 mm
Βάρος	1.98Kg(1.78Kg with weight saver)

Πίνακας Α.8: Τεχνικά χαρακτηριστικά μονάδα συλλογής και πρόσκτησης δεδομένων CompactDAQ – 9172 [21]

Γενικά	
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	Windows, Linux, Mac OS
LabVIEW RT υποστήριξη	Όχι
Αριθμός θέσεων	8
Μέγιστη ταχύτητα συστήματος	5 MS/s
Ενσωματωμένος σκανδαλισμός	Όχι
Μέγεθος αναλογικής εισόδου FIFO (μέγιστο)	2047
Μέγεθος αναλογικής εξόδου FIFO	8191
Ηλεκτρικά	
Τηλεχειριστήριο και παρακολούθηση τάσης	Όχι
Συνολική διαθέσιμη ισχύς	15 W
Εύρος τάσης εισόδου	11..30 V
Μηδενιστές / Χρονομετρητές	
Πλήθος χρονομετρητών	2
Ανάλυση	32 bits
Τρόπος διασύνδεσης	
Προδιαγραφές USB	USB 2.0 Hi-Speed
Φυσικά χαρακτηριστικά	
Μήκος	25.4 cm

Πλάτος	8.81 cm
Ύψος	5.89 cm
Βάρος	840 gram
Θερμοκρασία λειτουργίας	-20..55 °C

Πίνακας Α.9: Τεχνικά χαρακτηριστικά NI 9206 [22]

Γενικά	
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	Windows, Real-Time
Τύπος μετρήσεων	Τάση
Τύπος απομόνωσης	Bank Isolation
Αναλογική είσοδος	
Πλήθος καναλιών	16 DI
Ταχύτητα δειγματοληψίας	250 kS/s
Ανάλυση	16 bits
Ταυτόχρονη δειγματοληψία	Όχι
Μέγιστο εύρος τάσης	-10..10 V
Ακρίβεια	6220 μ V
Ελάχιστο εύρος τάσης	-0.2..0.2 V
Ακρίβεια	157 μ V
Χρονομέτρηση / Σκανδαλισμός / Συγχρονισμός	
Σκανδαλισμός	Αναλογικός
Φυσικά χαρακτηριστικά	
I/O σύνδεση	36-θέσεων ακροδέκτες
Μήκος	9 cm
Πλάτος	2.3 cm
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40..70 °C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-40..85 °C

Πίνακας Α.10: Τεχνικά χαρακτηριστικά NI 9219 [23]

Γενικά	
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	Windows, Real-Time
Τύπος μετρήσεων	Bridge-based Αισθητήρες, Ρεύμα, RTD, Αντίσταση, Θερμίστορ, Θερμοζεύγη, Τάση
Τύπος απομόνωσης	Ch-Ch Isolation
Αναλογική είσοδος	
Αναλογική είσοδος	4 DI

Πλήθος καναλιών	100 S/s/ch
Ταχύτητα δειγματοληψίας	24 bits
Ταυτόχρονη δειγματοληψία	Ναι
Μέγιστο εύρος τάσης	-60..60 V
Ακρίβεια	243 mV
Ελάχιστο εύρος τάσης	-0.125..0.125 V
Ακρίβεια	271 μ V
Μέγιστο εύρος ρεύματος	-0.0025..0.0025 A
Ακρίβεια	152 μ A
Ελάχιστο εύρος Ρεύματος	-0.0025..0.0025 A
Ακρίβεια	152 μ A
Signal Conditioning	0-20 mA current input, Bridge completion, Cold-junction compensation, Current excitation, Voltage excitation
Τάση διέγερσης	2.5 V
Bridge Configurations	Full Bridge, Half Bridge, Quarter Bridge
Φυσικά χαρακτηριστικά	
I/O σύνδεση	9 cm
Μήκος	2.3 cm
Πλάτος	MINI-COMBICON, 3.81 mm (6-Position)
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40..70 °C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-40..70 °C

Πίνακας A.11: Τεχνικά χαρακτηριστικά NI 9411 [24]

Γενικά	
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	Windows, Real-Time
Τύπος μετρήσεων	Ψηφιακά
Τύπος απομόνωσης	Ch-Earth Ground Isolation
Ψηφιακή είσοδος / έξοδος	
Πλήθος καναλιών	6 DI
Χρονισμός	Hardware
Μέγιστη συχνότητα ρολογιού	2 MHz
Logic Levels	2.5 V
Μέγιστο εύρος τάσης	0..24 V
Υποστήριξη ανταλλαγής σημάτων εισόδου / εξόδου	Ναι
Υποστήριξη Pattern εισόδου / εξόδου	Ναι
Χρονομέτρηση / Σκανδαλισμός / Συγχρονισμός	

Σκανδαλισμός	Ψηφιακός
Σκανδαλισμός cDAQ Chassis	Ναι
Φυσικά χαρακτηριστικά	
I/O σύνδεση	15-pin D-Sub
Μήκος	9 cm
Πλάτος	2.3 cm
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40..70 °C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-40..85 °C

Πίνακας A.12: Τεχνικά χαρακτηριστικά NI 9233 [25]

Γενικά	
Υποστηριζόμενα λειτουργικά συστήματα	Windows, Real-Time
Τύπος μετρήσεων	IEPE επιταχυνσιόμετρα
LabVIEW RT Υποστήριξη	Ναι
Αναλογική είσοδος	
Πλήθος καναλιών	4 DI
Ταχύτητα δειγματοληψίας	51.2 kS/s/ch
Εύρος ζώνης	23.04 kHz
Ανάλυση	24 bits
Ταυτόχρονη δειγματοληψία	Ναι
Μέγιστο εύρος ζώνης	23.04 kHz
Αντίσταση εισόδου	305 kOhm
Signal Conditioning	Anti-aliasing filter, Current excitation
Ρεύμα διέγερσης	2 mA
Φυσικά χαρακτηριστικά	
I/O σύνδεση	BNC connectors
Μήκος	9 cm
Πλάτος	2.3 cm
Θερμοκρασία λειτουργίας	-40..70 °C
Θερμοκρασία αποθήκευσης	-40..85 °C

Παράρτημα Β

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Εξοπλισμού

Πίνακας Β.1: Κώδικας G και M του κομματιού κατεργασίας

%	N39 Y86.	N79 Y26.
(DOKIMIO_NEW KAT ZIG)	N40 Y101. Z-16.	N80 Y41.
N1 G0 G17 G40 G49 G80 G90 G98	N41 Y116.	N81 Y56. Z-16.
N2 T2 M6	N42 Y131.	N82 Y71. Z-16.003
N3 M3 S600	N43 Y146. Z-16.003	N83 Y86.
N4 G0 G54 X11. Y11.	N44 Y161.	N84 Y101.
N5 G43 H2 Z20. M9	N45 X71. Y11.	N85 Y116. Z-16.
N6 (TROU D= 10 PROF=DEBOUCHANT LE BRUT PERCE D= 10)	N46 Y26.	N86 Y131. Z-16.003
N7 G81 G99 Z-16.003 R20. P0. F100.	N47 Y41. Z-16.	N87 Y146. Z-16.
N8 Y26. Z-16.	N48 Y56.	N88 Y161. Z-16.003
N9 Y41.	N49 Y71.	N89 X131. Y26.
N10 Y56. Z-16.003	N50 Y86.	N90 Y41.
N11 Y71.	N51 Y101. Z-16.003	N91 Y56.
N12 Y86. Z-16.	N52 Y116. Z-16.	N92 Y71.
N13 Y101.	N53 Y131. Z-16.003	N93 Y86.
N14 Y116. Z-16.003	N54 Y146.	N94 Y101.
N15 X26. Y11.	N55 Y161.	N95 Y116. Z-16.
N16 Y26.	N56 X86. Y11.	N96 Y131.
N17 Y41.	N57 Y26.	N97 Y146.
N18 Y56.	N58 Y41.	N98 Y161. Z-16.003
N19 Y71.	N59 Y56.	N99 X146. Y41.
N20 Y86.	N60 Y71.	N100 Y56. Z-16.

N21 Y101.	N61 Y86.	N101 Y71. Z-16.003
N22 Y116. Z-16.	N62 Y101.	N102 Y86. Z-16.
N23 Y131.	N63 Y116. Z-16.	N103 Y101. Z-16.003
N24 X41. Y11. Z-16.003	N64 Y131. Z-16.003	N104 Y116. Z-16.
N25 Y26.	N65 Y146.	N105 Y131. Z-16.003
N26 Y41.	N66 Y161.	N106 Y146. Z-16.
N27 Y56.	N67 X101. Y11.	N107 Y161.
N28 Y71.	N68 Y26. Z-16.	N108 X161. Y56.
N29 Y86. Z-16.	N69 Y41. Z-16.003	N109 Y71. Z-16.003
N30 Y101. Z-16.003	N70 Y56.	N110 Y86.
N31 Y116.	N71 Y71.	N111 Y101. Z-16.
N32 Y131.	N72 Y86.	N112 Y116.
N33 Y146.	N73 Y101. Z-16.	N113 Y131. Z-16.003
N34 X56. Y11. Z-16.	N74 Y116. Z-16.003	N114 Y146.
N35 Y26. Z-16.003	N75 Y131. Z-16.	N115 Y161.
N36 Y41. Z-16.	N76 Y146. Z-16.003	N116 G80 G94 Z20.
N37 Y56. Z-16.003	N77 Y161.	N117 G0 Z200. G28
N38 Y71.	N78 X116. Y11.	N118 M30 %

Πίνακας Β.2: Κώδικας προγράμματος σε Matlab εξαγωγής στατιστικών μεγεθών

clc, clf, close
time_start=8; %xronos enarksis protis opis se second
opes=8; %arithmos opon stin troxon grammi
data_start=time_start*8333;
arxi=data_start;
telos=data_start+83333;
for i=1:opes
opes_array(:,i)=data(arxi:telos,2);
arxi=telos+104163;
telos=arxi+83333;
end
for i=1:opes
sum1=0;
for j=1:83334
sum1=sum1+(opes_array(j,i)^2);
end
rms1=sqrt(sum1/83334);
statistic(1,i)=rms1; %RMS
clear rms1

clear sum1
end
Statistic(2,i)=mean(opes_array);
Statistic(3,i)=std(opes_array);
Statistic(4,i)=var(opes_array);
Statistic(5,i)=kurtosis(opes_array);
Statistic(6,i)=skewness(opes_array);
Statistic(7,i)=min(opes_array);
Statistic(8,i)=max(opes_array);
% telos programmatos

Πίνακας Β.3: Επιλογή γωνίας ακίδος και χρήσης ψυκτικού υγρού

Drills Guide for Drill Selection and Use (Drill Recommendation):							
The table below should be only taken as a general guide							
MATERIAL TO BE CUT	DRILL TYPE	DRILL HELIX	CUTTING SPEED RANGE		POINT ANGLE (Degrees)	LUBRICANT	FEED RATE
			meter/min	feet/min			
STEELS, mild free cutting	Standard	Standard	30 - 60	100 - 200	118	Soluble oil	Heavy
STEELS, low alloy carbon/tool steels	Standard	Standard	15 - 40	50 - 130	118	Soluble oil	Medium
STEELS, Cr / Mo alloy, annealed HSS, ferritic stainless	Standard / Heavy Duty Co	Standard	5 - 16	15 - 50	118	Soluble oil	Medium
STEELS, Cr / Ni alloy Austenitic stainless (1)	Standard / Heavy duty Co	Standard	4 - 12	12 - 40	135 Split / Notched	Mineral oil	Light
STEELS, Mn alloy Rail, Armour, some spring steels	Co, very heavy duty	Slow	3 - 5	10 - 12	135 Split / Notched	Dry (2)	Light
NIMONIC alloys	Standard, Cobalt	Fairly quick	3 - 8	10 - 26	135 Split	Mineral oil	Light
IRON, soft grey malleable	Standard	Standard	20 - 80	60 - 100	118	Dry (2)	Heavy
IRON, hard cast (1)	Standard / Cobalt	Standard	10 - 20	30 - 65	90 or 118	Dry (2)	Medium
COPPER, pure electrolytic, ductile alloys	Standard	Quick	30 - 60	100 - 200	118 or 135	Mineral oil	Heavy
COPPER, hard alloys including Cu / Be	Standard	Standard	20 - 30	60 - 100	118 or 135	Mineral oil	Medium
NICKEL-SILVER	Standard	Quick	30 - 40	100 - 130	118	Soluble oil	Medium
BRASS	Standard	Slow	40 - 80	130 - 260	118	Dry (2) soluble	Heavy
PHOSPHOR-BRONZE (1), GUN METAL	Standard	Slow	30 - 70	100 - 220	118	Dry (2) soluble	Medium
ZINC, Zn Alloy, Mazak	Standard	Standard	30 - 40	100 - 140	118	Soluble oil	Heavy
ALUMINIUM, pure Al / Si Al / Mn Al / Cr Alloy	Standard	Quick	50 - 100	160 - 330	118 or 135	Soluble oil	Very Heavy
ALUMINIUM-MAGNESIUM alloy	Standard	Quick	50 - 80	160 - 260	118 or 135	Dry (2) soluble	Very Heavy
MAGNESIUM alloy	Standard	Quick	80 - 100	250 - 330	135	Dry (2)	Very Heavy
TITANIUM	Very Heavy Duty	Standard	5 - 12	16 - 40	118 - 135	Soluble oil	Light
PLASTICS Thermo ductile, PVC polyethylene, polypropylene	Standard	Quick	50 - 100	160 - 330	118 - 135	Water or Dry (2)	Medium
PLASTIC Thermo setting, ebonite, bakelite, phenolite	Standard	Quick	20 - 60	60 - 200	60 or 90	Dry (2)	Medium
GLASSFIBRE RE-INFORCED PLASTIC	Standard wide flute	Slow	50 - 100	160 - 330	80 - 90	Dry (2)	Medium
PERSPEX	Standard wide flute	Slow	20 - 40	80 - 130	135	Water	Medium

(1) Tungsten Carbide Drills may be considered for these materials
(2) Compressed air may be used

Πίνακας Β.4: Επιλογή τρυπανιού και υλικού για την εύρεση της κατάλληλης πρόωσης και του αριθμού στροφών

		PUNTE EXTRA CORTE TWIST DRILLS, STUB LENGHT								PUNTE CORTE TWIST DRILLS, JOBBER LENGHT							
 rpm = (mt/min x 1000) / (D x 3,14)																	
 mm/min = mm/rev x rpm																	
 = mt/min																	
 = mm/rev (vedi tabella - see table page pag. 9)																	
		DIN 1897								DIN 338							
		HSS				HSS+8%Co				HSS				HSS+5%Co		HSS+8%Co	
																	
		Pagina Page				Pagina Page				Pagina Page				Pagina Page		Pagina Page	
Pag. 228		TIPO DI ACCIAIO TYPE OF STEEL		N/mm ²	HV	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev	mt/min mm/rev
ACCIAI COMUNI COMMON STEEL	Acciai teneri Soft steel 1	500	157	30 b	42 d	55 c	60 c	30 b	37 c					35 c	50 c	57 c	42 d
	Acciai da costruzione Structural steel 2	700	219	22 c	35 c	45 b	55 b	22 c	30 b					20 b	40 b	50 b	35 c
	Acciai da tempra Hardening steel 3	900	280	13 c		35 b	40 b	13 c	20 b					18 b	30 b	38 b	35 b
	Acciaio automatico Automatic steel 4	1200	373														
ACCIAI INOX STAINLESS STEEL	Acciaio automatico Automatic steel 3	850	265	17 b	26 c	32 b	36 b	17 b	22 b					20 b	28 b	34 b	26 c
	Austenitico Austenitic 3	850	265	8 c	18 d	18 c	22 c	8 c	12 c					10 c	15 c	20 c	18 d
	Fertitico+austenitico Ferritic austenitic 4	1000	311	10 b		22 c	26 c	10 b	15 b					13 b	18 c	24 c	22 c
GHISA CAST IRON	Ghisa fino a 180 hb Cast iron up to 180hb 2	500	157	30 d	38 d	45 c	48 d	30 d	37 d					35 d	42 c	45 d	38 d
	Ghisa oltre 180 hb Cast iron over 180hb 3	700	219	20 b	28 c	32 c	35 d	20 b	25 b					23 b	30 c	32 d	28 c
ANIO NIUM	Titanio non legato Unalloyed titanium 5	500	157	22 b	33 d	36 d	40 d	22 b	26 b					24 b	31 c	38 d	33 d

Πίνακας Β.5: Αντιστοιχία γράμματος πρόωσης και διαμέτρου τρυπανιού

FORATURA DRILLING	TABELLA PARAMETRI DI AVANZAMENTO mm/giro - RECOMMENDED FEED DATA mm/rev. 																
	DIAMETRO DELLA PUNTA DRILL DIAMETER																
LETTERA DI RIFERIMENTO REFERENCE LETTER	D. 1	D. 2	D. 3	D. 4	D. 5	D. 6	D. 8	D. 10	D. 12	D. 14	D. 16	D. 20	D. 25	D. 30	D. 35	D. 40	D. 50
a	0,015	0,030	0,038	0,047	0,053	0,060	0,075	0,090	0,100	0,120	0,127	0,160	0,200	0,230	0,250	0,300	0,350
b	0,020	0,050	0,070	0,085	0,100	0,120	0,150	0,180	0,200	0,230	0,250	0,270	0,290	0,330	0,350	0,380	0,400
c	0,023	0,080	0,100	0,130	0,150	0,180	0,250	0,270	0,280	0,300	0,330	0,370	0,420	0,450	0,470	0,500	0,550
d	0,030	0,100	0,160	0,180	0,220	0,240	0,300	0,370	0,400	0,450	0,480	0,500	0,530	0,550	0,580	0,600	0,630
e	0,035	0,120	0,200	0,250	0,270	0,300	0,350	0,450	0,470	0,500	0,530	0,550	0,600	0,640	0,680	0,700	0,730
f	0,050	0,150	0,220	0,250	0,320	0,400	0,490	0,620	0,650	0,720	0,850	0,900	1,100	1,130	1,170	1,200	1,250
g	0,070	0,160	0,250	0,270	0,360	0,470	0,620	0,830	0,900	0,950	1,100	1,200	1,280	1,330	1,400	1,470	1,520
h	0,090	0,200	0,270	0,300	0,400	0,520	0,750	1,000	1,100	1,200	1,300	1,350	1,430	1,500	1,650	1,700	1,800

