



ΤΕΙ Κρήτης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα
Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής

Μεταπτυχιακή εργασία
Σχεδιασμός, κατασκευή και συναρμολόγηση έξυπνου εργαλείου
κρουστικής λάξευσης



Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: Μανιάδη Αθηνά
Επιβλέπων Καθηγητής: Καθ., Δρ. Νεκτάριος Βιδάκης

Ηράκλειο 2016



TEI of Crete

Graduate Program
Advanced Production, Automation and Robotic Systems

Masters' Thesis on
Design, manufacturing and assembly of Smart Percussion Carving Tool



Post graduate student: Maniadi Athena
Supervisor: Professor, Dr. Vidakis Nectarios

Heraklion 2016



Ευχαριστίες

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας αυτής και μέντορά μου, καθηγητή του τμήματος μηχανολόγων μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης, Βιδάκη Νεκτάριο, Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό, για την ευκαιρία που μου έδωσε την ευκαιρία να συνεχίσω τις σπουδές μου και να μάθω δίπλα του. Θα ήθελα να τον ευχαριστήσω επίσης για τη τρομερή υπομονή που μου έδειξε και την εμπιστοσύνη του και υποστήριξή του όλα αυτά τα χρόνια διότι χωρίς αυτόν δε θα ήμουν στο σημείο και επίπεδο που βρίσκομαι.

Παράλληλα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό Πετούση Μάρκο, επιστημονικό συνεργάτη του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης για τη πολύτιμη βοήθειά του και τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε όλη τη διάρκεια του μεταπτυχιακού αυτού προγράμματος. Ευχαριστώ επίσης τον καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης κ. Βαΐρη Αχιλλέα, και τον κ. Στεφανάκη Γιάννη, ως ειδικό τεχνικό προσωπικό του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης για τις γνώσεις τους και τη στήριξή τους.

Επίσης, ένα μεγάλο ευχαριστώ στον σπουδαστή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΤΕΙ Κρήτης Κόντε Γιώργο για τη βοήθεια που παρείχε στο κατασκευαστικό τμήμα της εργασίας αυτής, τον σπουδαστή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Μουντάκη Νίκο για τη βοήθεια που παρείχε στο τμήμα του σχεδιασμού και φυσικά ένα ευχαριστώ στο συνάδελφο και φίλο Αράπη Μανώλη, Ηλεκτρολόγο Μηχανικό του ΤΕΙ Κρήτης για την άψογη συνεργασία του και βοήθειά του σε κάθε εμπόδιο και δυσκολία στο έργο αυτό.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου και την οικογένειά μου που με στήριξαν σε όλες μου τις επιλογές.

Μανιάδη Αθηνά, Μηχ. Μηχανικός Τ.Ε.



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες.....	1
Περιεχόμενα.....	2
Περιεχόμενα εικόνων.....	5
Executive Summary.....	11
Επιτελική σύνοψη.....	15
1. Εισαγωγή.....	20
Μέρος Α'.....	22
2. Εισαγωγή στη γλυπτική τέχνη.....	23
2.1 Ιστορική εξέλιξη γλυπτικής τέχνης στην Ελλάδα (από τη Πρωτοκυκλαδική εποχή μέχρι την Ελληνιστική).....	23
2.2 Στάδια της γλυπτικής διαδικασίας.....	26
2.2.1 Επιλογή λίθου λάξευσης.....	26
2.2.2 Η κατεργασία εκχόνδρισης.....	28
2.2.3 Η διαδικασία του εξευγενισμού.....	29
2.2.4 Η κατεργασία λείανσης.....	29
2.2.5 Η διαδικασία αντιγραφής με χρήση σημείων.....	30
3. Εργαλεία γλυπτικής.....	31
3.1 Σμίλη σημείου – διάτρησης.....	31
3.2 Σμίλη οδοντωτή.....	33
3.3 Σμίλη επίπεδη.....	35
3.4 Σμίλη κυρτή τύπου roundel.....	36
3.5 Εργαλεία χειρός για σκληρότερους λίθους.....	38
3.6 Σφυριά χειρός.....	39
3.7 Πνευματικά σφυριά.....	40
3.8 Ειδικού τύπου εργαλεία.....	41
3.9 Λίμες και λειαντικά εργαλεία.....	42
4. Φυσικοί λίθοι γλυπτικής.....	44
4.1 Πυριγενή πετρώματα.....	44
4.1.1 Εισαγωγή στα πυριγενή πετρώματα (ή και εκρηξιγενή πετρώματα).....	44
4.1.2 Ο γρανίτης.....	45
4.2 Ιζηματογενή πετρώματα.....	46
4.2.1 Εισαγωγή στα ιζηματογενή πετρώματα.....	46
4.2.2 Ο ψαμμίτης.....	46
4.2.3 Ο ασβεστόλιθος.....	47
4.3 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα.....	48
4.3.1 Εισαγωγή στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα.....	48
4.3.2 Το μάρμαρο.....	48
4.3.3 Ο σαπωνόλιθος.....	51
4.3.4 Το αλάβαστρο.....	52
4.4 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες φυσικών λίθων.....	53
4.4.1 Εισαγωγή στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των φυσικών λίθων.....	53
4.4.2 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μαρμάρου.....	57
4.4.3 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες γρανίτη.....	61
4.4.4 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ψαμμίτη.....	62
4.4.5 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ασβεστόλιθου.....	62
4.4.6 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σαπωνόλιθου.....	63
4.4.7 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες αλαβάστρου (με βάση το γύψο).....	63
5. Προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	64
5.1 Εργονομία.....	64
5.2 Προβλεπόμενα μηχανικά φορτία.....	65
5.3 Ηλεκτρονικές διατάξεις και εξαγόμενα μεγέθη.....	65
5.4 Αυτονομία.....	66
6. Σχεδιασμός έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	68
6.1 Υλικό κατεργασίας.....	70
6.2 Πρώιμα στάδια σχεδιασμού έξυπνου εργαλείου.....	71
6.2.1 Σχεδιασμός της αρχικής ιδέας του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	71
6.2.2 Βελτίωση σχεδιασμού εμπρόσθιου τμήματος σμίλης και μηχανοσιόμετρων.....	75
6.2.3 Βελτίωση σχεδιασμού εναλλάξιμης σμίλης.....	76
6.2.4 Βελτίωση σχεδιασμού πίσω τμήματος.....	77



6.2.5	Σχεδιασμός καλυμμάτων εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων	79
6.2.6	Σχεδιασμός εναλλάξιμου οπίσθιου τμήματος κρούσης	80
6.2.7	Σχεδιασμός εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	81
6.2.8	Σχεδιασμός οπίσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	82
6.2.9	Βελτίωση σχεδιασμού εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	83
6.2.10	Βελτίωση σχεδιασμού οπίσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	84
6.3	Σχεδιασμός προ τυποποιημένου έξυπνου εργαλείου	85
6.3.1	Σχεδιασμός πίσω τμήματος	86
6.3.2	Σχεδιασμός ενιαίου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	87
6.3.3	Σχεδιασμός εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων	88
6.3.4	Σχεδιασμός εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης	89
6.3.5	Βελτίωση σχεδιασμού τμήματος εφαρμογής μηκυνσιομέτρων και των καλυμμάτων του	90
6.3.6	Σχεδιασμός εναλλάξιμου οπίσθιου τμήματος κρούσης	91
6.3.7	Σχεδιασμός εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης	92
6.3.8	Σχεδιασμός εναλλάξιμης σμίλης διάτρησης – σημείου και ορθογωνικής σμίλης τύπου frosting	93
6.3.9	Σύγκριση σχεδιαστικών μοντέλων και βημάτων σχεδιασμού	94
7.	Κατασκευή βελτιστοποιημένου έξυπνου εργαλείου	96
7.1	Κατασκευή κύριου, πίσω τμήματος	96
7.2	Κατασκευή ενιαίου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων	99
7.3	Κατασκευή τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων	103
7.4	Κατασκευή τελικών καλυμμάτων εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων	106
7.5	Κατασκευή εναλλάξιμου δίσκου κρούσης	109
7.6	Κατασκευή εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης	109
7.7	Κατασκευή εναλλάξιμης σμίλης σημείου / διάτρησης	112
7.8	Κατασκευή εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης	113
7.9	Κατασκευή εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting	115
7.10	Στίλβωση τεμαχίων	118
7.10.1	Υλικά, εργαλεία και διαδικασία στίλβωσης	118
7.10.2	Στίλβωση οπίσθιου τμήματος και εναλλάξιμου δίσκου κρούσης	119
7.10.3	Στίλβωση εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων	120
7.10.4	Στίλβωση εναλλάξιμων σμιλών	121
7.11	Τεχνικές προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	122
8.	Κοστολόγηση σχεδιασμού και κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	123
Μέρος Β'	125
9.	Έλεγχος και βελτιστοποίηση	126
9.1	Έλεγχος χρησιμότητας	126
9.2	Έλεγχος ορθής συναρμολόγησης	126
9.3	Έλεγχος σκληρότητας ανοξείδωτου χάλυβα 304 και χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582	127
10.	Ανάλυση θλίψης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης μέσω πεπερασμένων στοιχείων	128
10.1	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση εργαλείου 300 Newton για έλεγχο της πειραματικής διάταξης	128
10.2	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση εργαλείου 100 Newton για έλεγχο χειροκίνητης χρήσης	132
11.	Διεξαγωγή πειραμάτων επαλήθευσης ορθής λειτουργίας έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	135
11.1	Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-300 Newton	136
11.2	Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-300-0 Newton	137
11.3	Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-800-0 Newton	139
11.4	Πειράματα κρούσης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-39,7-0 Newton	140
12.	Διεξαγωγή πειραμάτων σκληρότητας λίθινων δοκιμών	141
12.1	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Vickers	142
12.1.1	Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Vickers	142
12.1.2	Προετοιμασία λίθινων δοκιμών	142
12.1.3	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών και αποτελέσματα	144
12.2	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell C, Rockwell B και Rockwell T	146
12.2.1	Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Rockwell C και Rockwell B, T	146
12.2.2	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell C, Rockwell B και Rockwell T και αποτελέσματα	147
12.3	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Mohs	151
12.3.1	Τα εργαλεία μέτρησης σκληρότητας κατά Mohs	151
12.3.2	Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Mohs και αποτελέσματα	151
12.4	Σύγκριση μετρήσεων σκληρότητας και μετατροπών τους	152



13.	Διεξαγωγή πειραμάτων θλίψης εργαλείου σε λίθινα δοκίμια.....	153
13.1.1	Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε ασβεστόλιθο	153
13.1.2	Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε γρανίτη.....	155
13.1.3	Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Νάξου	156
13.1.4	Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Νέστου.....	157
13.1.5	Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Μαρμαρά.....	158
14.	Αξιοποίηση αποτελεσμάτων.....	159
15.	Συμπεράσματα και μελλοντική εξέλιξη.....	159
	Βιβλιογραφία.....	161
	Παράρτημα.....	163
16.1	Κατασκευαστικά σχέδια	163
16.1.1	Μηχανολογικό σχέδιο συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	163
16.1.2	Κατασκευαστικά σχέδια εναλλάξιμου δίσκου κρούσης.....	164
16.1.3	Κατασκευαστικά σχέδια κύριου μεταλλικού τμήματος.....	165
16.1.4	Κατασκευαστικά σχέδια τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων	166
16.1.5	Κατασκευαστικά σχέδια δεξιού καλύμματος τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων	167
16.1.6	Κατασκευαστικά σχέδια αριστερού καλύμματος τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων	168
16.1.7	Κατασκευαστικά σχέδια επίπεδης σμίλης	169
16.1.8	Κατασκευαστικά σχέδια σμίλης σημείου - διάτρησης	170
16.1.9	Κατασκευαστικά σχέδια ειδικής σμίλης τύπου frosting.....	171
16.1.10	Κατασκευαστικά σχέδια οδοντωτής σμίλης.....	172
16.2	Μετρήσεις Σκληρότητας.....	173
16.2.1	Μετρήσεις μεταλλικών τμημάτων με Vickers 1 kgf.....	173
16.2.2	Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 0.2 kgf	174
16.2.3	Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 1 kgf	175
16.2.4	Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 1 kgf και επίστρωση στιλβωτικής πάστας	176
16.2.5	Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers και στιλβωση δια χειρός	177
16.2.6	Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Νάξου.....	178
16.2.7	Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Νέστου.....	179
16.2.8	Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Μαρμαρά	180
16.2.9	Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στον ασβεστόλιθο Κρήτης.....	181
16.2.10	Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στον γρανίτη Ιταλίας	182
	Πληροφορίες εγγράφου.....	183



Περιεχόμενα εικόνων

Εικόνα 1.1:	Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, το πρωτότυπο σε διάφορες όψεις, συμπεριλαμβανομένου του πλήρως συναρμολογημένου εργαλείου (1), του εργαλείου με τα καλύμματα των μκκησιομέτρων αποσυναρμολογημένα και δύο όψεις του έξυπνου εργαλείου πλήρως αποσυναρμολογημένα.	15
Εικόνα 1.2:	Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης στα στάδια σχεδιασμού του, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού της πρώτης έκδοσης του εργαλείου σε ημιτομή (1) και σε αποσυναρμολογημένη όψη (2), του επανασχεδιασμού του έξυπνου εργαλείου σε πλήρως αποσυναρμολογημένη όψη (3) και της τελικής έκδοσης του εργαλείου σε αποσυναρμολογημένη όψη (4).	17
Εικόνα 1.3:	Τα στάδια κατασκευής του εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομέτρων του έξυπνου εργαλείου, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού του όγκου κατεργασίας (1), του σχεδιασμού της τροχιάς του επιλεγμένου εργαλείου (2), της εξαγωγής και της εφαρμογής του κώδικα από την εργαλειομηχανή (3) και το τελικό κομμάτι που δημιουργήθηκε από τη κατεργασία (4).....	18
Εικόνα 1.4:	Εικόνες από τα πραγματικά πειράματα στη μηχανή εφέλκυσμού – θλίψης (1), των αποτελεσμάτων του πειράματος στη μηχανή εφέλκυσμού σε προφίλ φόρτισης (4) και από την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων του έξυπνου εργαλείου με το μοντέλο στο λογισμικό προσομοίωσης (3) και των αποτελεσμάτων της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (4).....	19
Εικόνα 2.1:	Αγαλματίδια πρωτοκυκλαδικής εποχής με απλοϊκή γεωμετρία φτιαγμένα από ασβεστόλιθο.....	23
Εικόνα 2.2:	Ευρήματα της Αρχαϊκής εποχής σε μάρμαρο, στα αριστερά η κόρη, στο κέντρο η Αφροδίτη της Κνίδου και στα δεξιά ο κροίσος της Ανάβυσσου.....	24
Εικόνα 2.3:	Ο Λαοκώντας και οι γιοί του, μαρμάρινο άγαλμα Κλασικής περιόδου στο Μουσείο του Βατικανού.....	25
Εικόνα 2.4:	Τμήμα μαρμάρινου αγάλματος της Αθηνάς και της Νίκης, από το βωμό Περγάμου, Ελληνιστικής περιόδου 2ου αιώνα.....	26
Εικόνα 2.5:	Οι κυριότερες κατεργασίες γλυπτικής, η επιλογή λίθου, η εκχόνδριση (2) και ο εξευγενισμός, λείανση του αγάλματος (3).....	28
Εικόνα 2.6:	Το εργαλείο για την αντιγραφή γλυπτών (1) καθώς και η εφαρμογή του για την αντιγραφή μαρμάρινης προτομής (2).....	30
Εικόνα 3.1:	Σχέδια σμιλών σημείου ή διάτρησης (1) και πραγματικές σμίλες σημείου, πνευματικού σφυριού (2), χειρός (3).....	31
Εικόνα 3.2:	Χαρακτηριστικά ίχνη στην επιφάνεια του λίθου από την εφαρμογή της σμίλης σημείου στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία.....	32
Εικόνα 3.3:	Σχέδια οδοντωτών σμιλών (1) και πραγματικές οδοντωτές σμίλες χειρός, σε διάφορες διαστάσεις (2).....	33
Εικόνα 3.4:	Αποτύπωμα οδοντωτής σμίλης σε τμήματα μαρμάρινων αγαλμάτων στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία.....	34
Εικόνα 3.5:	Σχέδια επίπεδων σμιλών (1) και πραγματικές επίπεδες σμίλες χειρός (2) σε διάφορες διαστάσεις.....	35
Εικόνα 3.6:	Χαρακτηριστικά ίχνη στην επιφάνεια του γλυπτού από την εφαρμογή της επίπεδης σμίλης στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία.....	36
Εικόνα 3.7:	Αποτυπώματα όλων των κύριων τύπων λαξευτικών σμιλών σε ασβεστόλιθο, συμπεριλαμβανομένου (από αριστερά προς δεξιά) της σμίλης διάτρησης, των οδοντωτών σμιλών και της επίπεδης σμίλης.....	36
Εικόνα 3.8:	Σχέδια κυρτών σμιλών (1) και πραγματικές κυρτών σμιλών χειρός (2) σε διάφορες διαστάσεις....	37
Εικόνα 3.9:	Αποτύπωμα σμίλης roundel σε τμήματα αγαλμάτων από ασβεστόλιθο και μάρμαρο, στη πρώτη περίπτωση για λείανση κυρτών περιοχών (1) και στη δεύτερη περίπτωση για τη δημιουργία λεπτομερειών φύλλων δέντρου (2).....	37
Εικόνα 3.10:	Λαξευτική σμίλη με εναλλάξιμη μύτη από καρβίδιο του βολφραμίου (1) και επικαλυμμένες σμίλες καρβιδίου του βολφραμίου (2).....	38
Εικόνα 3.11:	Σφυριά χειρός σε διάφορα μεγέθη και βάρη ξεκινώντας από σφυριά τριών κιλών (1) καταλήγοντας σε μεγαλύτερα χαλύβδινα σφυριά.....	39
Εικόνα 3.12:	Πνευματικά σφυριά τύπου Cuturi σε διάφορα μεγέθη για όλες τις κατεργασίες κρουστικής λάξευσης.....	40



Εικόνα 3.13:	Διαφόρων ειδών λαξευτικές σμίλες, συμπεριλαμβανομένων των σμιλών τεσσάρων (4) σημείων και έξι σημείων, της σμίλης τύπου cup και frosting (από τα αριστερά προς τα δεξιά).....	41
Εικόνα 3.14:	Σχέδια λίμας ή gasp, σε διάφορα μεγέθη (1) καθώς και πραγματικές λίμες χειρός από χάλυβα (2).....	42
Εικόνα 3.15:	Λείανση με λίθο ψαμμίτη σε τμήμα μαρμάρινου αγάλματος, δημιουργώντας επίπεδες επιφάνειες με λεία υφή εξομαλύνοντας τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνεια του μαρμάρου.....	43
Εικόνα 4.1:	Γρανίτης, φυσικές αποχρώσεις λίθου (1) και χρήση του στη γλυπτική (2).....	45
Εικόνα 4.2:	Ο ψαμμίτης λίθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2).....	46
Εικόνα 4.3	Ο ασβεστόλιθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2).....	47
Εικόνα 4.4:	Ο φυσικός μαρμάρινος λίθος (1) και ένα παράδειγμα χρήσης του στη γλυπτική (2).....	49
Εικόνα 4.5:	Ο φυσικός σαπωνόλιθος σε δύο χρωματισμούς (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2).....	51
Εικόνα 4.6:	Ο φυσικός αλάβαστρος λίθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2).....	52
Εικόνα 4.7:	Δοκιμασίες ελέγχου φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων για την εύρεση του ειδικού βάρους και της πυκνότητας (1) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του λίθου (2).....	54
Εικόνα 4.8:	Δοκιμασίες ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων λίθου σε σενάρια θλίψης, εφελκυσμού και θραύσης.....	55
Εικόνα 4.9:	Πίνακας σκληρότητας κατά Mohs για κάποια χαρακτηριστικά άλατα όπως η τάλκη, το κορούνδιο και το διαμάντι.....	56
Εικόνα 4.10:	Πίνακας καταγραφής μαρμάρων Ελλάδας με χρώμα και κωδικό για τη περαιτέρω ανάλυσή τους.....	57
Εικόνα 4.11:	Πίνακας αξιολόγησης ορίου αντοχής σε κάμψη των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων.....	58
Εικόνα 4.12:	Πίνακας φυσικών ιδιοτήτων των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων, συμπεριλαμβανομένης της βαθμολόγησής τους και της κατάταξής τους βάση των φυσικών ιδιοτήτων τους σε κλίμακα από 0-100 μονάδες.....	59
Εικόνα 4.13:	Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων, συμπεριλαμβανομένης της βαθμολόγησής τους και της κατάταξής τους βάση των μηχανικών ιδιοτήτων τους σε κλίμακα από 0-100 μονάδες.....	60
Εικόνα 4.14:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων μαρμάρινου λίθου.....	61
Εικόνα 4.15:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων γρανίτη λίθου.....	61
Εικόνα 4.16:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων ψαμμίτη λίθου.....	62
Εικόνα 4.17:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων ασβεστόλιθου.....	62
Εικόνα 4.18:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων σαπωνόλιθου.....	63
Εικόνα 4.19:	Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων αλάβαστρου λίθου.....	63
Εικόνα 6.1:	Διάγραμμα ροής σχεδιασμού και σχεδιασμού παραγωγής / κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και εξέλιξης, βελτιστοποίησης τελικού εργαλείου.....	69
Εικόνα 6.2:	Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων ανοξείδωτου χάλυβα 304.....	70
Εικόνα 6.3:	Ο αρχικός σχεδιασμός του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, σε πλήρη συναρμολόγηση με δύο διαφορετικά εμπρόσθια τμήματα (1), (2) και η συναρμολόγηση του εργαλείου σε ημιτομή και με τα δύο εμπρόσθια τμήματα.....	71
Εικόνα 6.4:	Το πρώτο μοντέλο του οπίσθιου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τρισδιάστατη απεικόνιση και σε δισδιάστατη.....	72
Εικόνα 6.5:	Οι πρώτες εναλλάξιμες σμίλες που σχεδιάστηκαν, η επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), η οδοντωτή σμίλη (2), η επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και η σμίλη σημείου (4).....	73
Εικόνα 6.6:	Οι πρώτες εναλλάξιμες σμίλες που σχεδιάστηκαν σε δισδιάστατα σχέδια με διαστάσεις, η επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), η οδοντωτή σμίλη (2), η επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και η σμίλη σημείου (4).....	74
Εικόνα 6.7:	Το εμπρόσθιο εναλλάξιμο τμήμα εφαρμογής των μηχανοσμιόμετρων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).	75
Εικόνα 6.8:	Το εμπρόσθιο εναλλάξιμο τμήμα σμίλης όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).	77
Εικόνα 6.9:	Το οπίσθιο τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).....	78
Εικόνα 6.10:	Ο αρχικός σχεδιασμός των καλυμμάτων των ηλεκτρονικών μηχανοσμιόμετρων για το εμπρόσθιο τμήμα εφαρμογής τους.....	79
Εικόνα 6.11:	Το μοντέλο του εναλλάξιμου δίσκου κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	80
Εικόνα 6.12:	Ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων.....	81
Εικόνα 6.13:	Ο σχεδιασμός του οπίσθιου πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων.....	82



Εικόνα 6.14:	Το εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα ηλεκτρονικών διατάξεων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού.....	83
Εικόνα 6.15:	Το οπίσθιο πλαστικό τμήμα ηλεκτρονικών διατάξεων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δυο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Z (3).....	84
Εικόνα 6.16:	Ολόκληρη η συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, βιομηχανοποιημένου πρωτοτύπου, σε πλήρη συναρμολόγηση (1), σε δύο όψεις exploded view (2), (3) και σε τομή κατά τον άξονα Y (4).	85
Εικόνα 6.17:	Το οπίσθιο τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπως προέκυψε από το στάδιο του επανασχεδιασμού για το βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο εργαλείο, σε τρεις όψεις (1), (2), (3) και σε ημιτομή (4).....	86
Εικόνα 6.18:	Το επανασχεδιασμένο πλαστικό, ενιαίο τμήμα συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων του βιομηχανοποιημένου πρωτοτύπου εργαλείου.....	87
Εικόνα 6.19:	Το μοντέλο του τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, βιομηχανοποιημένου πρωτοτύπου, σε τρεις όψεις (1), (2), (3) και σε τομή κατά τον άξονα Y (4).....	88
Εικόνα 6.20:	Ο βελτίωση σχεδιασμού της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης για το βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή (3).....	89
Εικόνα 6.21:	Τα τμήματα εφαρμογής των μηχανομετρών, καλύμματα και κύριο τμήμα, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (3).....	90
Εικόνα 6.22:	Ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης, όπως προέκυψε μετά τη βελτίωση του σχεδιασμού,, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (3)	91
Εικόνα 6.23:	Σχεδιασμός οδοντωτής σμίλης, σε μονή όψη (1) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (2).....	92
Εικόνα 6.24:	Τα μοντέλα των σμιλών σημείου – διάτρησης (1) και σμίλης τύπου frosting (2) σε μονές όψεις και σε όψεις με ημιτομή κατά τον άξονα X (3), (4)	93
Εικόνα 6.25:	Σχήμα σύγκρισης σχεδιασμού, αρχικού μοντέλου και τελικού του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	95
Εικόνα 7.1:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή κύριο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	96
Εικόνα 7.2:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του κύριου, μεταλλικού, πίσω τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	97
Εικόνα 7.3:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του κύριου, μεταλλικού, πίσω τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	98
Εικόνα 7.4:	Το κατασκευασμένο, κύριο, οπίσθιο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις	98
Εικόνα 7.5:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	99
Εικόνα 7.6:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	100
Εικόνα 7.7:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή πλαστικό τμήμα εφαρμογής των ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	101
Εικόνα 7.8:	Το κατασκευασμένο, πλαστικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις εκ των οποίων οι δύο (3), (4), περιλαμβάνουν συναρμολογημένες τις ηλεκτρονικές διατάξεις εντός του τμήματος.....	102
Εικόνα 7.9:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	103
Εικόνα 7.10:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	103
Εικόνα 7.11:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή μεταλλικό τμήμα εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	104
Εικόνα 7.12:	Κατεργασίες κατασκευής τμήματος εφαρμογής μηχανομετρών σε εργαλειομηχανή CNC (1), (2) και το τελικό μεταλλικό τμήμα σε δύο (2) όψεις (3), (4).....	105
Εικόνα 7.13:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής των καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	106



Εικόνα 7.14:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής των καλυμμάτων του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	107
Εικόνα 7.15:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στα προς κατασκευή μεταλλικά καλύμματα του τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	107
Εικόνα 7.16:	Κατεργασίες κατασκευής καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων σε εργαλειομηχανή CNC (1), (2) και τα τελικά μεταλλικά τμήματα σε δύο (2) όψεις (3), (4)	108
Εικόνα 7.17:	Ο κατασκευασμένος εναλλάξιμος δίσκος κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις	109
Εικόνα 7.18:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	110
Εικόνα 7.19:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	110
Εικόνα 7.20:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη επίπεδη σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	111
Εικόνα 7.21:	Η κατασκευασμένη εναλλάξιμη επίπεδη σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις	111
Εικόνα 7.22:	Η κατασκευασμένη εναλλάξιμη σμίλη σημείου - διάτρησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις.....	112
Εικόνα 7.23:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	113
Εικόνα 7.24:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	113
Εικόνα 7.25:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	114
Εικόνα 7.26:	Η διαδικασία κατασκευής στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου (1), (2) και η κατασκευασμένη εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε δυο (2) όψεις (3), (4)	115
Εικόνα 7.27:	Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	115
Εικόνα 7.28:	Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	116
Εικόνα 7.29:	Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη σμίλη τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	116
Εικόνα 7.30:	Η κατασκευασμένη σμίλη τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις	117
Εικόνα 7.31:	Κατεργασία στίλβωσης στην εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος αριθμητικού ελέγχου (1) και καθαρισμός των τεμαχίων κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (2)	118
Εικόνα 7.32:	Το κύριο μεταλλικό τμήμα και ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4).....	119
Εικόνα 7.33:	Το τμήμα εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων πριν τη στίλβωση (1), (2) και μετά τη στίλβωση και το καθαρισμό του, κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (3), (4)	120
Εικόνα 7.34:	Η επίπεδη σμίλη και η οδοντωτή σμίλη, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4) κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα	121
Εικόνα 7.35:	Η σμίλη σημείου / διάτρησης και η σμίλη τύπου frosting, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4) κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα.....	122
Εικόνα 7.36:	Τεχνικές προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	122
Εικόνα 8.1:	Πίνακας κοστολόγησης κοπτικών εργαλείων που απαιτήθηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	123
Εικόνα 8.2:	Πίνακας κοστολόγησης στίλβωτικών εργαλείων και προϊόντων για μέταλλα που απαιτήθηκαν για τη στίλβωση και το καθαρισμό των τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης	123
Εικόνα 8.3:	Πίνακας κοστολόγησης στίλβωτικών εργαλείων και προϊόντων για λίθους που απαιτήθηκαν για τη στίλβωση και το καθαρισμό των λίθινων δοκιμών και τη σκληρομέτρησή τους.....	124
Εικόνα 8.4:	Πίνακας κοστολόγησης υλικών κατεργασίας που απαιτήθηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	124



Εικόνα 10.1:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, το αρχικό μοντέλο με τη πάκτωση και την εφαρμογή φορτίου (1), το μοντέλο υπό έλεγχο δομής AutoGem (2), το μοντέλο μετά την ανάλυση σε έλεγχο επικάλυψης (convergence) (3) και το μοντέλο σε αποτελέσματα μεγίστων τάσεων (4).....	129
Εικόνα 10.2:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, αποτελέσματα παραμορφώσεων σε μη κατά τον άξονα X (1), κατά τον άξονα Y (2), κατά τον άξονα Z (3) και κατά τη μέγιστη κατανομή (4).....	130
Εικόνα 10.3:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, αποτελέσματα κατανομής τάσεων, κατά το πρότυπο von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τον άξονα XY (4).....	131
Εικόνα 10.4:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, το μοντέλο με τη πάκτωση και την εφαρμογή φορτίου (1), το μοντέλο υπό έλεγχο δομής AutoGem (2), το μοντέλο μετά την ανάλυση σε έλεγχο επικάλυψης (convergence) (3) και μερικά από τα αποτελέσματα σύγκλισης αποτελεσμάτων (4).....	132
Εικόνα 10.5:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, αποτελέσματα παραμορφώσεων σε μη κατά τον άξονα X (1), κατά τον άξονα Y (2), κατά τον άξονα Z (3) και κατά τη μέγιστη κατανομή (4).....	133
Εικόνα 10.6:	Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, αποτελέσματα κατανομής τάσεων, κατά το πρότυπο von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τις μέγιστες διαμητικές τάσεις (4).....	134
Εικόνα 11.1:	Η μηχανή θλίψης εφελκυσμού Imada FSA – K2 του εργαστηρίου.....	135
Εικόνα 11.2:	Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής με βαθμονόμηση 100N (1) και μετά τη βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων σε 300 N (2).....	136
Εικόνα 11.3:	Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής από 0-300-0 N, με βαθμονόμηση 100N (1) και προφίλ αποτελεσμάτων φόρτισης μετά το πέρας μιας ημέρας, χωρίς νέα βαθμονόμηση.....	138
Εικόνα 11.4:	Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής από 0-800-0 N, με βαθμονόμηση 100N (1) και προφίλ αποτελεσμάτων φόρτισης μετά το πέρας τριών ωρών, χωρίς νέα βαθμονόμηση.....	139
Εικόνα 11.5:	Γραφήματα προφίλ φόρτισης σε δοκιμασία κρούσης με εναπόθεση βαριδίων από 0 έως 39 N με αποφόρτιση στα 0 N.....	140
Εικόνα 12.1:	Τα λίθινα δοκίμια στο εργαστήριο, ασβεστόλιθος, μάρμαρο Νάξου, Νέστου, Μαρμαρά και γρανίτης (αριστερά προς δεξιά) (1) και το δοκίμιο μικρών διαστάσεων από ασβεστόλιθο (2).....	141
Εικόνα 12.2:	Η μέθοδος αποτυπώματος πυραμίδας Vickers (1) και η μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers στο εργαστήριο (2).....	142
Εικόνα 12.3:	Προετοιμασία στίλβωσης επιφανειών λίθινων δοκιμών προς μέτρηση σκληρότητας κατά Vickers. Στίλβωση δοκιμών ποικιλιών μαρμάρου (1), (2), ασβεστόλιθου (3) και γρανίτη (4) με πέντε διαφορετικούς βαθμούς υαλόχαρτου.....	143
Εικόνα 12.4:	Αρχική μέτρηση της μηχανής σε δοκίμιο κατασκευαστή (1), αποτύπωμα μέτρησης πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου μαρμάρου Νάξου (2), αποτύπωμα μέτρησης στην επιφάνεια δοκιμίου μαρμάρου Νέστου (4) και τα συνολικά αποτελέσματα με εκτύπωση από τη μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers (4).....	144
Εικόνα 12.5:	Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Vickers 0,2 kgf, με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.....	145
Εικόνα 12.6:	Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Vickers 1 kgf, με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.....	145
Εικόνα 12.7:	Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Rockwell B και C (1) και η μηχανή μέτρησης στο εργαστήριο με δοκίμιο του κατασκευαστή (2).....	146
Εικόνα 12.8:	Μέτρηση λίθινων δοκιμών κατά Rockwell B και C (1), μέτρηση δοκιμίου Νέστου κατά Rockwell T (2), τα αποτυπώματα των μετρήσεων στις επιφάνειες των δοκιμών (3), και μεγέθυνση των αποτυπωμάτων για καλύτερη κατανόηση κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (4).....	148
Εικόνα 12.9:	Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε για τη μεγέθυνση των αποτυπωμάτων του κάθε δοκιμίου (1), το αποτύπωμα της Rockwell T στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (2), το αποτύπωμα της Rockwell B στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (3), το αποτύπωμα της Rockwell C στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (4).....	149
Εικόνα 12.10:	Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell B με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.....	149
Εικόνα 12.11:	Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell C με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.....	150



Εικόνα 12.12:	Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell T με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.....	150
Εικόνα 12.13:	Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Mohs και τα εργαλεία μέτρησης στο εργαστήριο (2).....	151
Εικόνα 12.14:	Πίνακας αποτελεσμάτων και μετατροπών σκληρότητας από πίνακες μετατροπής και μετασηματισμός σκληρότητας Vickers σε τάση θραύσης σγ [MPa].	152
Εικόνα 13.1:	Η διάταξη των πειραμάτων θλίψης του εργαλείου, με τη μηχανή θλίψης εφελκυσμού, το έξυπνο εργαλείο και το λίθινο δοκίμιο προς θλίψη.....	153
Εικόνα 13.2:	Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο ασβεστόλιθου με τη χρήση της σμίλης σημείου	154
Εικόνα 13.3:	Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο γρανίτη με τη χρήση της σμίλης σημείου	155
Εικόνα 13.4:	Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Νάξου με τη χρήση της σμίλης σημείου	156
Εικόνα 13.5:	Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Νέστου με τη χρήση της σμίλης σημείου	157
Εικόνα 13.6:	Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Μαρμαρά με τη χρήση της σμίλης σημείου	158
Εικόνα 15.1:	Σχέδιο συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, με κατάλογο τεμαχίων και προδιαγραφές κύριου υλικού κατασκευής.....	163
Εικόνα 15.2:	Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμου δίσκου κρούσης	164
Εικόνα 15.3:	Κατασκευαστικό σχέδιο κύριου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.....	165
Εικόνα 15.4:	Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών.....	166
Εικόνα 15.5:	Κατασκευαστικό σχέδιο καλύμματος, δεξιού, τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών	167
Εικόνα 15.6:	Κατασκευαστικό σχέδιο καλύμματος, αριστερού, τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών ...	168
Εικόνα 15.7:	Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης.....	169
Εικόνα 15.8:	Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης σμίλης σημείου - διάτρησης.....	170
Εικόνα 15.9:	Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting.....	171
Εικόνα 15.10:	Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης	172
Εικόνα 15.11:	Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers, για τα μεταλλικά δοκίμια του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, του δίσκου κρούσης από χάλυβα επιβελτίωσης, του δίσκου κρούσης και του κύριου μεταλλικού τεμαχίου από ανοξείδωτο χάλυβα 304.....	173
Εικόνα 15.12:	Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 0,2 kgf, σε καθαρή και στιλβωμένη με τριβείο επιφάνεια, για τα λίθινα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη	174
Εικόνα 15.13:	Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 1 kgf, σε καθαρή και στιλβωμένη με τριβείο επιφάνεια, για τα λίθινα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη	175
Εικόνα 15.14:	Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 0,2 kgf, σε στιλβωμένη με τριβείο επιφάνεια με επίσ. πάστας, για τα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη	176
Εικόνα 15.15:	Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers, σε στιλβωμένη δια χειρός επιφάνεια, καθαρή, για τα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη.....	177
Εικόνα 15.16:	Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Νάξου.....	178
Εικόνα 15.17:	Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Νέστου.....	179
Εικόνα 15.18:	Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Μαρμαρά.....	180
Εικόνα 15.19:	Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο ασβεστόλιθου	181
Εικόνα 15.20:	Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο γρανίτη.....	182

Executive Summary

This thesis examines the purpose, the design and manufacturing of a smart, percussion carving tool, capable of processing brittle materials like marble and other carving stones, either manually by the hand of a sculptor or adjusted in a percussive pneumatic hammer or guided by a digitally driven machine in order to measure and record the technological variables and sizes that describe and document the very carving process through the sensors and electronic devices that the smart tool incorporates.

The smart percussion carving tool presented in this thesis is designed and manufactured to act both as a manual hand tool, or attached in a pneumatic hammer or as a complete smart tool system attached in a digitally guided carving machine whilst it has the ability by design and manufacturing to have its front chisel part removed and replaced by any type of chisel available. Besides the ability to have its front part replaced, so the tool can be used in all carving procedures, it also incorporates the ability to have the strain gauges' part replaced and the back piece that is being hit by the hammer replaced as well. That gives the end user, the choice and the freedom to change how the tool responds to each stone and each carving procedure and adapt the tool to current needs while mapping the entire carving process.

Smart carving tool

The complete industrialized smart carving tool including a view on the internal components and structure

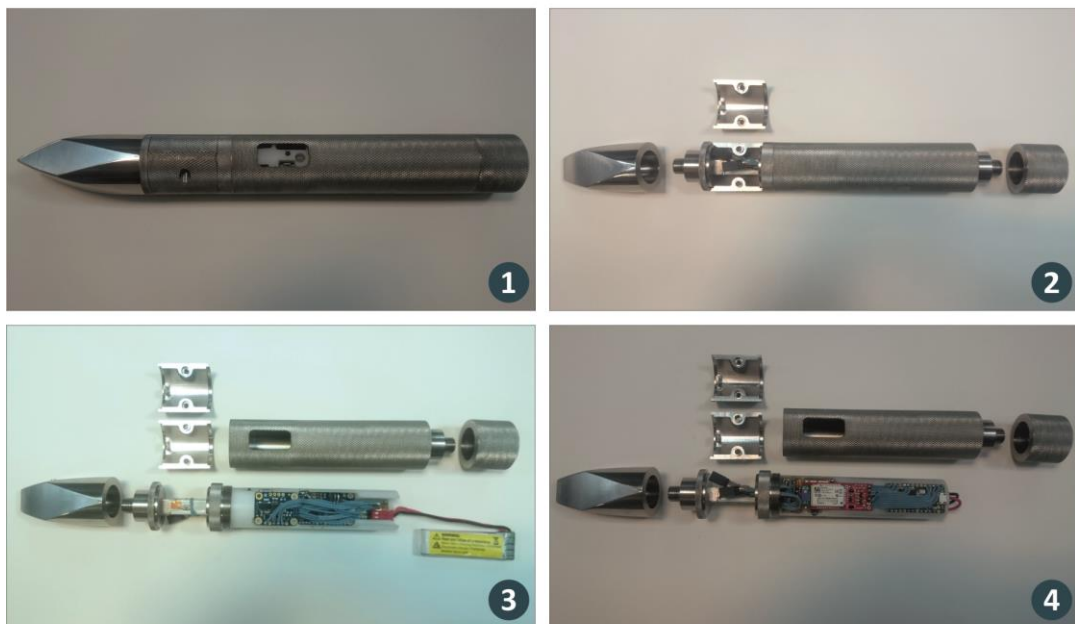


Figure 1.1: Several views of the smart carving tool, including the full assembly (1), the tool view with the strain gauges cover opened (2) and the full disassembled views of the smart carving tool (3 and 4)

In the figures above it is illustrated the complete assembly of the final industrialized tool (figure 1), the semi exploded view of the smart carving tool with the strain gauges' covers opened, the front chisel part removed and the back piece dismantled (figure 2), and in the last two (2) figures is the full exploded view of the smart carving tool, including its electronic devices in both front and back views figures 3 – 4). The smart tool is manufactured mostly by Stainless Steel and it incorporates sensors and electronic systems on the inside of the main part in order to save and export measurements like the tool's load and forces upon it, carving frequency, angles in three axes, angle speeds in three axes, linear

velocities in all three axes and temperatures, wirelessly, via Bluetooth or via micro SD card and USB cable.

Presented herein is the complete study of percussion carving tools, modern and old, methods of carving stone, including all the tools used and their application in stone, all the types of stone used in carving and their mechanical properties, the steps and criteria of designing the smart carving tool and thorough manufacturing and testing of all the parts and the whole smart carving tool.

Included in this thesis, are all the stages of designing, including the very first stages of prototyping and idea brainstorming regarding the smart tool's appearance and functionality. The idea for the smart carving tool was to create a tool - product, that meets all the market's standards and the requirements set by the mechatronic sculptor machine, including the aesthetics of the design, the easy manufacturing, to be budget efficient and fully functional both in the hands of experienced sculptors or attached to a numerical control machine. At this point it needs to be mentioned that the current market regarding sculpting tools does not have a smart tool of such capabilities. Following the previous statement, a patent was filled for both the smart carving tool (child patent) and the mechatronic sculptor machine (parent patent). This gives the project a professional and business philosophy that needs to be followed in every single step of the way as the business sector commands.

Smart carving tool in designing stages

From the design of the first smart carving tool idea to a final industrialized tool

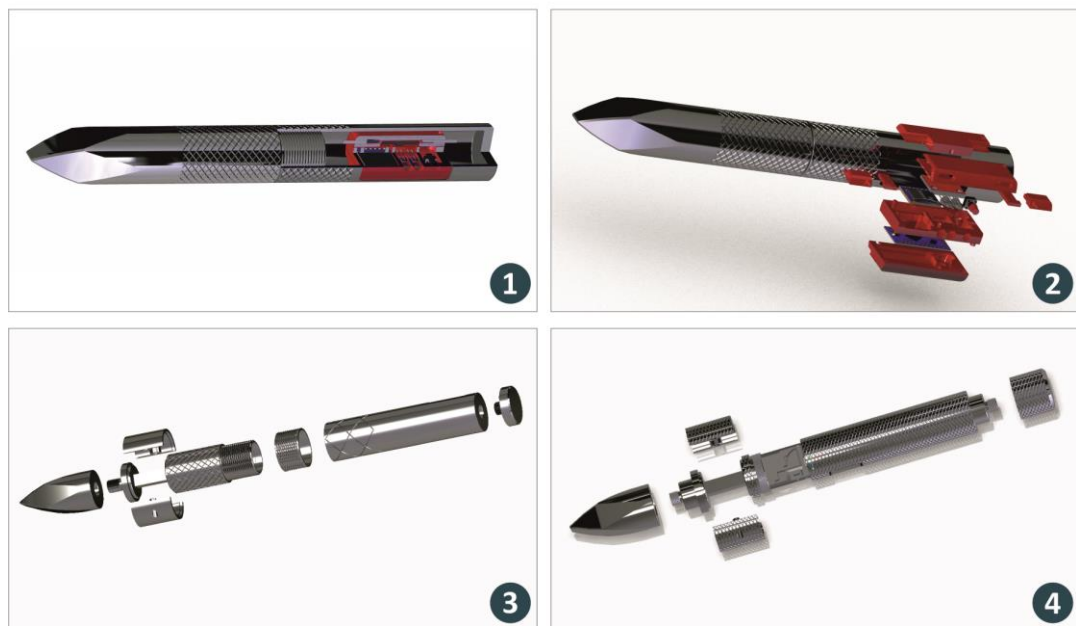


Figure 1.2: The smart carving tool design stages including the design of the first carving tool in semi dissected view (1) and exploded view (2) and the next two stages in fully exploded views (3 and 4)

In the above figure they are illustrated the stages of designing a complete smart percussion carving tool. In the figures 1 and 2 it is shown the first complete smart carving tool design including the electronics compartment in exploded view (figure 2). In the figures below, in figure 3 it is illustrated the revised and more functional smart carving tool and finally in figure 4 is illustrated the final design of the tool. All of the above designs were manufactured in order to verify and evaluate their capabilities, properties and requirements to be lead to an even more complete edition.

Detailed herein as well are the two stages of smart carving tool manufacturing, one for prototyping the idea into a functional tool and the second manufacturing to create an industrial, fully optimized and functional smart carving tool. The method used for manufacturing all the plans consists mostly of creating the machining processes needed in the 3D file in CAD/CAM systems like CREO 3.0 and planning the tools' paths, afterwards extracting the G-code of the whole manufacturing process and uploading it to CNC machines. Intermediate steps in the above procedure can be the verification of the tools' path via virtual simulation and the evaluation of integrity of the G-code in order to find faulty commands.

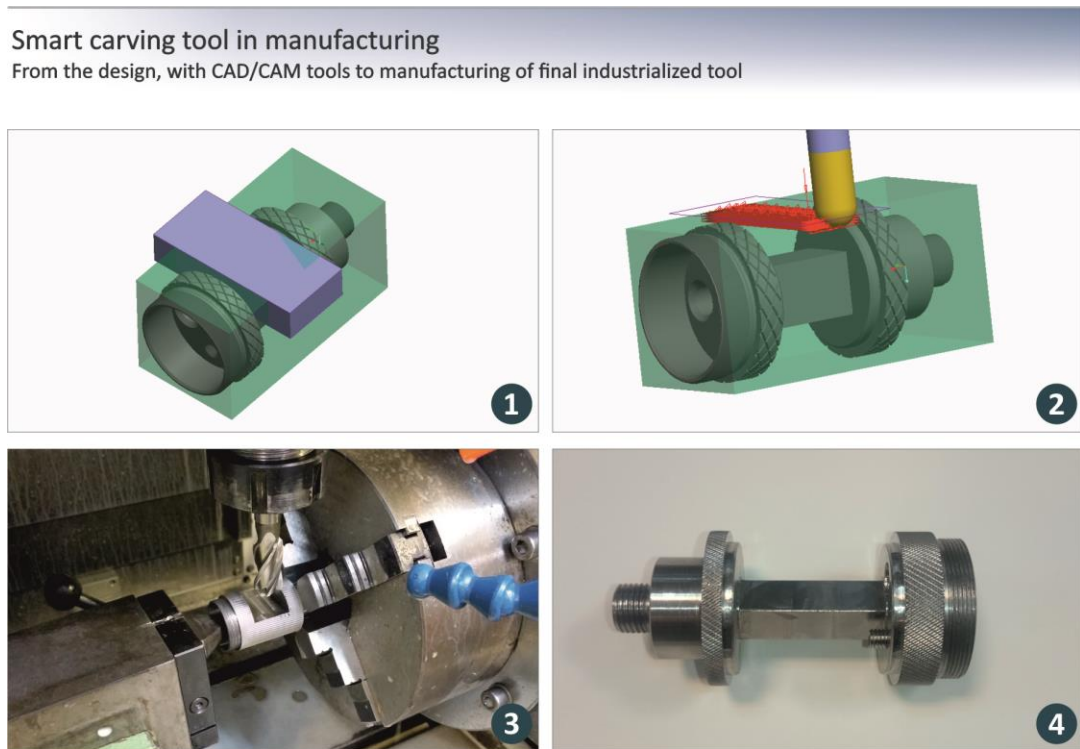


Figure 1.3: Manufacturing stages of strain gauges' part of smart carving tool. Including the first step of designing the manufacturing procedure and the volumes to be cut (1), creating the tool path along the volume with selected tool (2), running the code in the cnc machine (3) and having the part completed for inspection (4)

In the above figure 1.3 are depicted the stages of the manufacturing. In the first sub figure (figure 1) it is depicted the basic 3D model of the strain gauges' part of the smart tool in the manufacturing mode that includes the workpiece (green rectangle) and the first mill volume process (grey rectangle). In the figure 2 it is illustrated the selected tool's path while virtually simulating the cutting procedure of the mill volume shown before. In the sub figure 3 it is depicted the actual manufacturing of the part in a CNC mill station while running the exported G-code. In the final sub figure 4, is depicted the final part right out of the CNC and well-polished, completing its manufacturing process.

Finally included in this thesis are all the verification experiments that were made in order to test the functionality of the smart carving tool and technological experiments to extract the technological variables needed to map the stone carving process. Those experiments include the evaluation and calibration of electronics centred mostly on mechanical loads and their distribution on the tool. Those particular experiments were made with the use of a tension-compression machine capable of mechanically loading the tool's structure with max 2.500 Newtons. In this scenario the data from experiments in the tension – compression machine was compared to the ones derived from Finite

Elements Analysis in CREO 3.0 in order to verify that the 3D model and the FEA model are yielding the same results and have the same behaviour (within limits) with the actual smart carving tool.

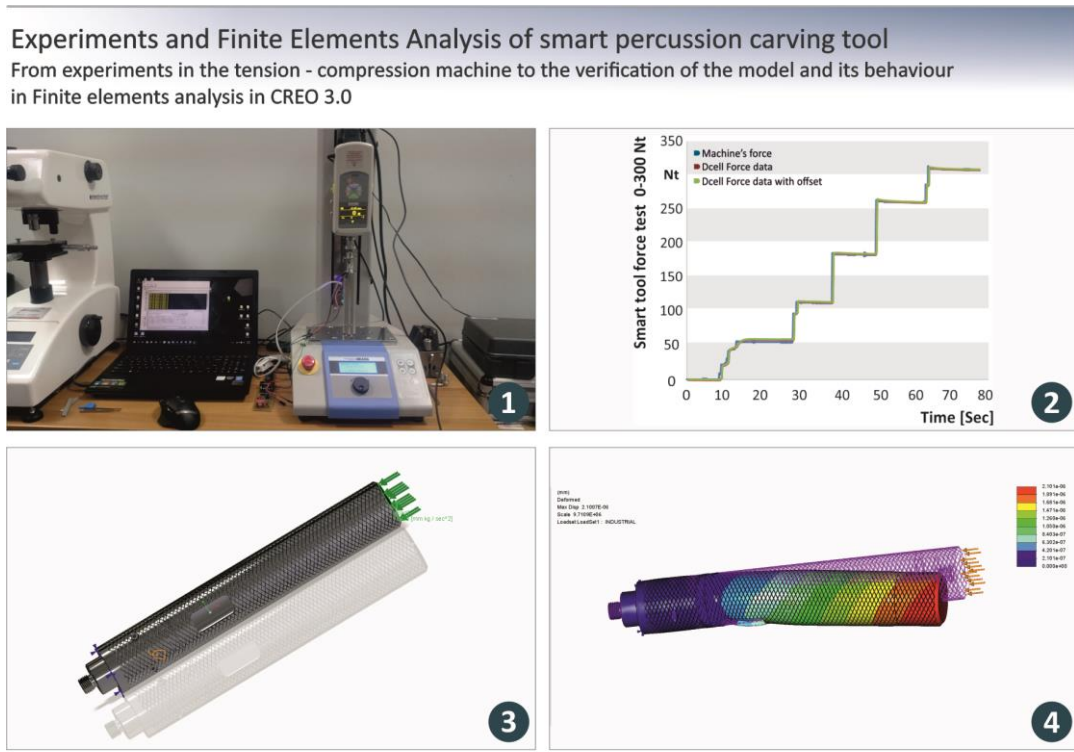


Figure 1.4: Real mechanical force test and Finite Elements Analysis for force and displacement, including the real time force measure experiment of the smart carving tool (1), the force graph derived from the previous experiment (2), the analysis model in finite elements (3) and the finite elements analysis results of the smart carving tool (4)

In the figure 1.4 above, in picture 1, is illustrated the actual experiment equipment used, the tool and the tension – compression machine while measuring the force from the strain gauges and the machine simultaneously. The second picture shows the data exported both from the machine and the smart carving tool demonstrating an exact match for the tool’s data and the machine’s force profile. In the next two pictures is depicted the finite elements analysis of the tool, showing in the picture 3 the one of the simulation models used including the displacement area and applied force area in the tool while in last picture, 4, it is shown the displacement results on the smart carving tool’s 3d model for a known force of 300 Newtons.

One more stage of experiments was made, directly on natural stones, including marble, sandstone, soapstone and asbestos, while using the smart carving tool to carve out basic shapes.



Επιτελική σύνοψη

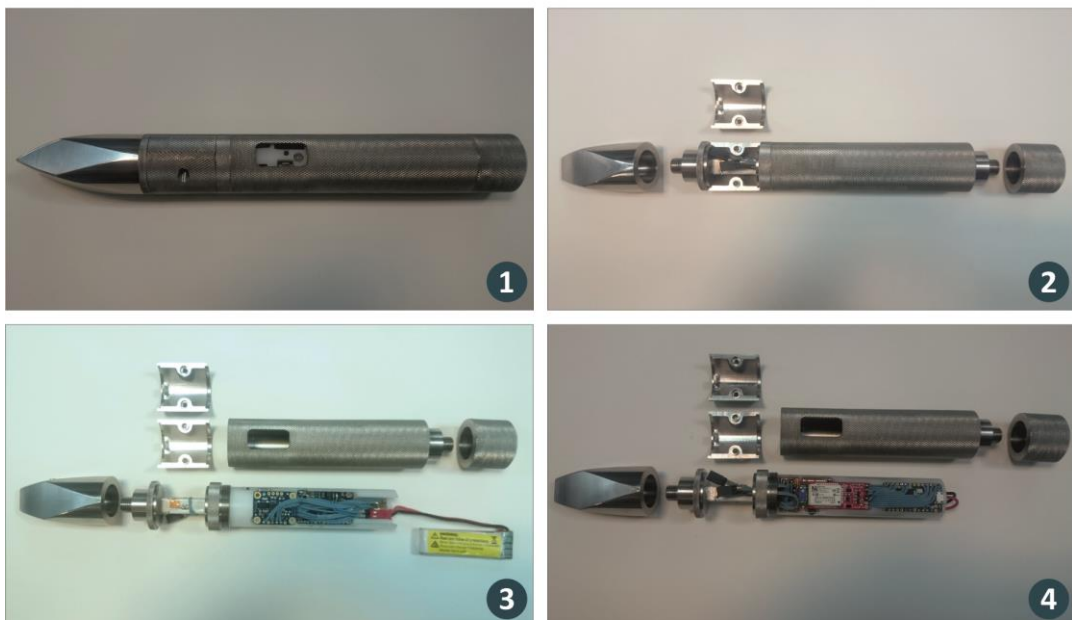
Στην παρούσα μεταπτυχιακή εργασία εξετάζεται ο σκοπός, ο σχεδιασμός και η κατασκευή ενός έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ικανό να κατεργάζεται εύθραυστα, ψαθυρά υλικά όπως το μάρμαρο και άλλους λίθους που χρησιμοποιούνται στη γλυπτική, χρησιμοποιούμενο είτε χειροκίνητα από το χέρι ενός τεχνίτη / γλύπτη ή προσαρμοσμένο σε πνευματικό σφυρί, ή προσαρμοσμένο σε μηχανή ψηφιακής καθοδήγησης προκειμένου να καταγράφει και να εξάγει τεχνολογικά μεγέθη και μεταβλητές που περιγράφουν και τεκμηριώνουν τη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης μέσω αισθητηρίων και ηλεκτρονικών διατάξεων που ενσωματώνονται σε αυτό.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης που παρουσιάζεται στη παρούσα διατριβή, έχει σχεδιαστεί και κατασκευαστεί για να λειτουργεί τόσο ως εργαλείο χειρός, ή προσαρμοσμένο σε πνευματικό σφυρί ή ως ένα έξυπνο εργαλείο λάξευσης σε ολοκληρωμένο σύστημα ψηφιακά καθοδηγούμενης μηχανής γλυπτικής, ενώ από τον σχεδιασμό και τη κατασκευή έχει τη δυνατότητα εναλλαγής της μπροστινής σμίλης με οποιαδήποτε άλλη σμίλη κρίνεται αναγκαία.

Εκτός από τη δυνατότητα εναλλαγής της σμίλης, ώστε το εργαλείο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις διαδικασίες και διεργασίες κρουστικής λάξευσης, ενσωματώνει επίσης τη δυνατότητα εναλλαγής του οπίσθιου τμήματος που δέχεται τις κρούσεις και της εναλλαγής του τμήματος των μηχανοσυστοιχιών. Οι επιλογές εναλλαγής δίνουν στο τελικό χρήστη την επιλογή και την ελευθερία να αλλάξει τον τρόπο ανταπόκρισης του εργαλείου σε κάθε λίθο και διαδικασία σκαλίσματος και να προσαρμόσει το εργαλείο για τις τρέχουσες ανάγκες ενώ παράλληλα γίνεται η χαρτογράφηση της διαδικασίας κρουστικής λάξευσης.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης

Το ολοκληρωμένο πρωτότυπο έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης και τα επιμέρους τμήματά του



Εικόνα 1.1: Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, το πρωτότυπο σε διάφορες όψεις, συμπεριλαμβανομένου του πλήρως συναρμολογημένου εργαλείου (1), του εργαλείου με τα καλύμματα των μηχανοσυστοιχιών αποσυναρμολογημένα και δύο όψεις του έξυπνου εργαλείου πλήρως αποσυναρμολογημένα.

Στο παραπάνω σχήμα απεικονίζεται η πλήρης συναρμολόγηση της τελικής έκδοσης του πρωτότυπου εργαλείου (υπό σχήμα 1), η ημι-αναπτυγμένη όψη του εργαλείου κρουστικής λάξευσης με τα



καλύμματα των μηκυσιομέτρων αποσυναρμολογημένα, με την εμπρόσθια μύτη και το πίσω κρουστικό τμήμα αποσυναρμολογημένα (υπό σχήμα 2) και τα τελευταία δύο (2) σχήματα της εικόνας 1.1 δείχνουν τη πλήρη αναπτυγμένη όψη του έξυπνου εργαλείου συμπεριλαμβανομένων των ηλεκτρονικών συσκευών και διατάξεων σε δύο όψεις.

Το έξυπνο εργαλείο κατασκευάστηκε κυρίως από ανοξείδωτο χάλυβα και ενσωματώνει αισθητήρες και ηλεκτρονικά συστήματα στο εσωτερικό του κύριου τμήματος προκειμένου να αποθηκεύει και να εξάγει μετρήσεις όπως το φορτίο και τις δυνάμεις που ασκούνται στο εργαλείο, τη συχνότητα χτυπημάτων, τις γωνίες, τις γραμμικές επιταχύνσεις, τις γωνιακές επιταχύνσεις σε τρεις άξονες και τις θερμοκρασίες, ασύρματα, μέσω Bluetooth ή μέσω κάρτας Micro SD και USB καλωδίου.

Στη παρούσα πτυχιακή παρουσιάζονται, η πλήρης μελέτη των εργαλείων της γλυπτικής, σύγχρονα και παλιά, οι μέθοδοι της γλυπτικής σε λίθους, συμπεριλαμβανομένων όλων των εργαλείων που χρησιμοποιούνται και η εφαρμογή τους, όλα τα είδη των λίθων που χρησιμοποιούνται και οι μηχανικές τους ιδιότητες, τα αναλυτικά βήματα και τα κριτήρια του σχεδιασμού και της κατασκευής του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης καθώς και τα εμπειριστατωμένα κατασκευαστικά σχέδια, κώδικες και δοκιμές όλων των τμημάτων και του συνόλου του έξυπνου εργαλείου.

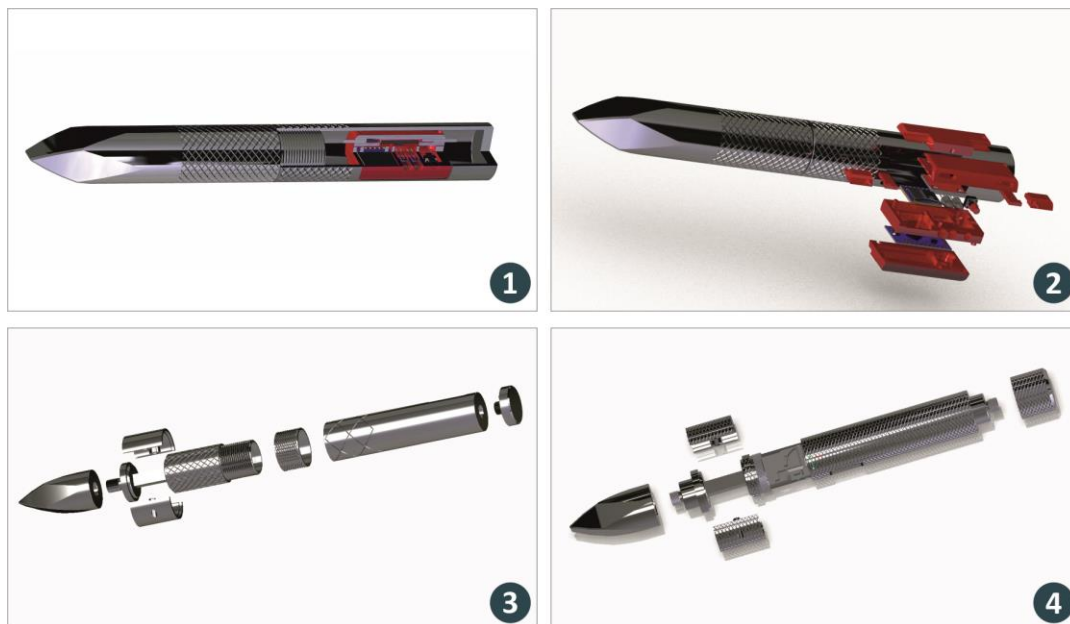
Στη παρούσα διατριβή, περιλαμβάνονται όλα τα στάδια του σχεδιασμού και τα στάδια της προτυποποίησης της αρχικής ιδέας με έμφαση στην εμφάνιση και στη λειτουργικότητα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Η ιδέα για το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης ήταν να δημιουργηθεί ένα έξυπνο εργαλείο – προϊόν το οποίο να πληροί όλες τις προδιαγραφές της αγοράς και της εργαλειομηχανής του μηχανολογικού γλύπτη, συμπεριλαμβανομένων της αισθητικής του σχεδιασμού, της εύκολης κατασκευής και του κόστους και της πλήρους λειτουργικότητάς του τόσο στα χέρια έμπειρων γλυπτών ή στην εφαρμογή του σε εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου.

Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι η τρέχουσα αγορά όσον αφορά τα εργαλεία γλυπτικής και τη διαδικασία γλυπτικής, δεν διαθέτει ούτε εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου δυνατότητας δημιουργίας γλυπτών με κρουστική λάξευση ούτε έξυπνο εργαλείο με τις παραπάνω δυνατότητες που προαναφέρθηκαν. Με βάση τη προηγούμενη δήλωση, φτιάχτηκαν και κατατέθηκαν διπλώματα ευρεσιτεχνίας τόσο για το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης (child patent), όσο και για τον μηχανολογικό γλύπτη (parent patent). Αυτό δίνει στη παρούσα εργασία μια επαγγελματική και επιχειρηματική φιλοσοφία όπου περιλαμβάνει βήματα που πρέπει να ακολουθηθούν πλήρως όπως προostάζει ο επιχειρηματικός τομέας.



Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης στα στάδια σχεδιασμού

Από το σχεδιασμό του έξυπνου εργαλείου από την αρχική ιδέα έως το ολοκληρωμένο πρωτότυπο εργαλείο



Εικόνα 1.2: Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης στα στάδια σχεδιασμού του, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού της πρώτης έκδοσης του εργαλείου σε ημιτομή (1) και σε αποσυναρμολογημένη όψη (2), του επανασχεδιασμού του έξυπνου εργαλείου σε πλήρως αποσυναρμολογημένη όψη (3) και της τελικής έκδοσης του εργαλείου σε αποσυναρμολογημένη όψη (4).

Στη παραπάνω εικόνα 1.2 απεικονίζονται τα στάδια σχεδιασμού ενός πλήρους έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Στα σχήματα 1 και 2 φαίνεται το πρώτο ολοκληρωμένο σχέδιο – συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, συμπεριλαμβανομένου του κουτιού των ηλεκτρονικών διατάξεων και σε αναπτυγμένη μορφή συναρμολόγησης στο σχήμα 2. Στα επόμενα σχήματα, στο σχήμα 3, απεικονίζεται η αναθεωρημένη έκδοση του έξυπνου εργαλείου και τέλος στο σχήμα 4 της εικόνας 1.2 απεικονίζεται το τελικό σχέδιο του εργαλείου.

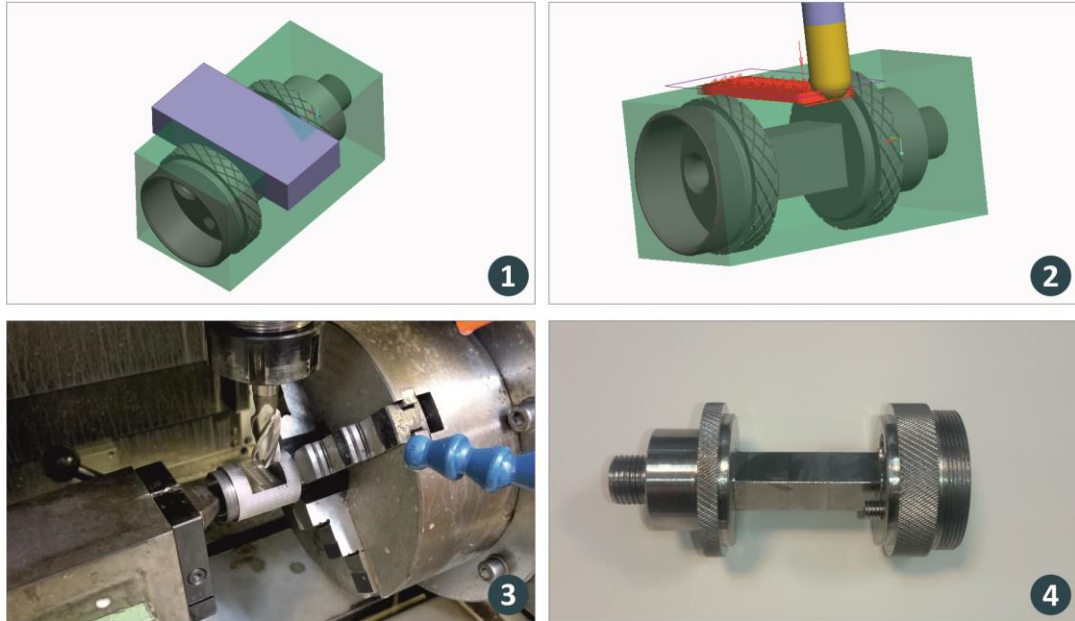
Όλα τα παραπάνω σχέδια κατασκευάστηκαν με σκοπό να ελεγχθούν και να αξιολογηθούν τα κατασκευαστικά μεγέθη του εργαλείου, οι δυνατότητές του και οι απαιτήσεις που θα οδηγήσουν σε μια ακόμα πιο πλήρη έκδοση.

Λεπτομερώς στο παρόν έγγραφο, είναι τα δύο στάδια της κατασκευής του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ένα για τη πιλοτική κατασκευή της αρχικής ιδέας σε λειτουργικό εργαλείο και το δεύτερο για τη κατασκευή πρωτότυπης έκδοσης, πλήρως βελτιστοποιημένου και λειτουργικού εργαλείου. Η μέθοδος που χρησιμοποιείται για την κατασκευή όλων των σχεδίων αποτελείται κυρίως από τη δημιουργία των διαδικασιών κατεργασίας που απαιτούνται, στο αρχείο 3D του μοντέλου σε συστήματα CAD / CAM, όπως το CREO 3.0 και το σχεδιασμό των διαδρομών των επιλεγμένων εργαλείων, μετά την εξαγωγή του G-κώδικα της όλης διαδικασίας κατασκευής και το φόρτωμά του στις μηχανές CNC.

Ενδιάμεσα στάδια στην παραπάνω διαδικασία μπορεί να είναι ο έλεγχος της πορείας των εργαλείων μέσω της εικονικής προσομοίωσης και η αξιολόγηση της ακεραιότητας του G-κώδικα, προκειμένου να βρεθούν εσφαλμένες εντολές.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης στα στάδια κατασκευής

Από το σχεδιασμό, με CAD/CAM συστήματα, στη κατασκευή του ολοκληρωμένου πρωτότυπου εργαλείου



Εικόνα 1.3: Τα στάδια κατασκευής του εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου, συμπεριλαμβανομένου του σχεδιασμού του όγκου κατεργασίας (1), του σχεδιασμού της τροχιάς του επιλεγμένου εργαλείου (2), της εξαγωγής και της εφαρμογής του κώδικα από την εργαλειομηχανή (3) και το τελικό κομμάτι που δημιουργήθηκε από τη κατεργασία (4).

Στο παραπάνω σχήμα 1.3 απεικονίζονται τα στάδια της κατασκευής του εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών του έξυπνου εργαλείου. Στο πρώτο σχήμα της εικόνας (σχήμα 1) απεικονίζεται το βασικό 3D μοντέλο του τμήματος του εργαλείου όπου περιλαμβάνει το ακατέργαστο τμήμα (ο πράσινος όγκος, παραλληλεπίπεδο) και τη πρώτη κατεργασία φρεζαρίσματος όγκου (mill volume, με γκρι χρώμα). Στο σχήμα 2 απεικονίζεται η διαδρομή του επιλεγμένου κοπτικού εργαλείου ενώ ουσιαστικά προσομοιώνεται η διαδικασία κοπής φρεζαρίσματος όγκου που φάνηκε στη προηγούμενη εικόνα.

Στο σχήμα 3 απεικονίζεται η πραγματική κατασκευή του τμήματος σε κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος ενώ εκτελείται ο κώδικας που εξάχθηκε από το σύστημα CAD/CAM για τις προαναφερθείσες κατεργασίες και διαδρομές κοπτικών. Τέλος, στο σχήμα 4 απεικονίζεται το τελικό κομμάτι στιλβωμένο, ολοκληρώνοντας τη διαδικασία παραγωγής του.

Τέλος στη παρούσα διατριβή, περιλαμβάνονται όλα τα πειράματα επαλήθευσης που έγιναν προκειμένου να δοκιμαστεί η λειτουργικότητα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και περιλαμβάνονται και τα τεχνολογικά πειράματα για την εξαγωγή των τεχνολογικών μεταβλητών και παραμέτρων που απαιτούνται για τη χαρτογράφηση της διαδικασίας της λιθοτεχνίας. Τα εν λόγω πειράματα περιλαμβάνουν την αξιολόγηση και τη βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων και επικεντρώνονται κυρίως σε μηχανικές καταπονήσεις και τη κατανομή μηχανικών τάσεων στο εργαλείο. Τα συγκεκριμένα πειράματα έγιναν με τη χρήση μηχανής θλίψης – εφελκυσμού, ικανή για μηχανικές φορτίσεις στο σώμα του έξυπνου εργαλείου έως και 2500 Newton.

Σε αυτό το σενάριο, τα δεδομένα από τα πειράματα της μηχανής θλίψης – εφελκυσμού, συγκρίνονται άμεσα με αυτά που προέρχονται από την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων στο μοντέλο του

εργαλείου προκειμένου να επαληθευτεί ότι το μοντέλο 3D και το εργαλείο κρουστικής λάξευσης δίδουν τα ίδια αποτελέσματα και έχουν την ίδια συμπεριφορά (εντός κάποιας ανοχής).



Εικόνα 1.4: Εικόνες από τα πραγματικά πειράματα στη μηχανή εφελκυσμού – θλίψης (1), των αποτελεσμάτων του πειράματος στη μηχανή εφελκυσμού σε προφίλ φόρτισης (2) και από την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων του έξυπνου εργαλείου με το μοντέλο στο λογισμικό προσομοίωσης (3) και των αποτελεσμάτων της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (4)

Στο σχήμα 1.4, στο σχήμα 1, απεικονίζεται ο πραγματικός εργαστηριακός εξοπλισμός για τα πειράματα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης συμπεριλαμβανομένου του ίδιου του εργαλείου και της μηχανής θλίψης – εφελκυσμού όπου μετρούνται ταυτόχρονα τα μηχανικά φορτία που ασκεί η μηχανή στο εργαλείο και τα μηχανικά φορτία που αντιλαμβάνεται το ίδιο το εργαλείο μέσω των μυκηνοσιόμετρων. Η δεύτερη εικόνα δείχνει ένα χαρακτηριστικό γράφημα με ταυτόχρονη απεικόνιση του προφίλ μηχανικής φόρτισης της μηχανής και το μηχανικό φορτίο όπως το αντιλαμβάνεται το εργαλείο κάθε χρονική στιγμή, στο συγκεκριμένο γράφημα γίνεται πλήρη ταύτιση των μηχανικών φορτίσεων μηχανής-εργαλείου.

Στα επόμενα δύο σχήματα της εικόνας 1.4 (σχήμα 3 και 4) απεικονίζεται ένα από τα μοντέλα του έξυπνου εργαλείου σε ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων όπου φαίνονται και η επιφάνεια μηχανικής φόρτισης και η επιφάνεια πάκτωσης του εργαλείου (σχήμα 3) ενώ στο τελευταίο σχήμα (σχήμα 4) εμφανίζονται τα αποτελέσματα των πεπερασμένων στοιχείων για το προηγούμενο μοντέλο δείχνοντας το προφίλ μετατοπίσεων και παραμορφώσεων του σώματος του εργαλείου για γνωστή δύναμη της τάξης των 300 Newton.

Τέλος, πραγματοποιήθηκε ακόμα ένα στάδιο πειραμάτων απευθείας σε φυσικούς λίθους εκ των οποίων περιλαμβάνονται το μάρμαρο και ο ψαμμίτης, ενώ χρησιμοποιείται το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης για το σκάλισμα βασικών σχημάτων. Στο τέλος αυτής της διατριβής, γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων και έρευνα για μελλοντική χρήση και βελτιστοποίηση του εργαλείου.



1. Εισαγωγή

Η παρούσα μεταπτυχιακή πτυχιακή εργασία βασίζεται στο σχεδιασμό και κατασκευή εργαλείου κατεργασίας ψαθυρών υλικών με κρουστική λάξευση, το οποίο έχει τη δυνατότητα αφενός στο άκρο του να εναλλάσσει όλους τους τύπους των λαξευτικών σμιλών και αφετέρου να φέρει αισθητήρια μέτρησης όλων των συνθηκών, που αφορούν την κρουστική λάξευση, μαζί με σύστημα καταγραφής, επεξεργασίας και εξαγωγής δεδομένων. Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης βρίσκει εφαρμογή τόσο ως ένα εργαλείο χειρός με αντικατάσταση του παραδοσιακού καλεμιού όσο και προσαρμοσμένος σε πνευματικό σφυρί ή εργαλειομηχανή με πνευματικό σφυρί.

Έως τώρα, η κατεργασία των ψαθυρών υλικών (γλυπτική), (όπως ενδεικτικά ο γρανίτης, το μάρμαρο, οι λίθοι, το σκυρόδεμα, το ξύλο, το κρύσταλλο, διάφορα μέταλλα ή κράματα μετάλλων, διάφορα πλαστικά και συνθετικά υλικά, ο πάγος κλπ.), γίνεται (α) είτε με κρουστικά εργαλεία χειρός, (β) είτε με εργαλεία εκχόνδρισης, τα οποία αφαιρώντας υλικό δημιουργούν το γεωμετρικό περίγραμμα του αντικειμένου που θα παραχθεί (γλυπτό ή ανάγλυφο), και του οποίου η αποπεράτωση ή οι λεπτομέρειες εν γένει, θα δημιουργηθούν σε επόμενα στάδια, (γ) είτε με σμιλευτικά εργαλεία χειρός για την λάξευση λεπτομερειών όπως γράμματα, (δ) είτε με περιστροφικά εργαλεία τύπου φρέζας (όπως routers), (ε) είτε με λειαντικά (abrasive) εργαλεία, (στ) είτε με την εστιασμένη εφαρμογή υψηλών θερμοκρασιών που παράγονται από δομημένες πηγές φωτός (laser) ή καύση, (ζ) είτε με διαμαντο-σύρματα για την αφαίρεση μεγάλων τμημάτων των όγκων των ψαθυρών υλικών.

Τα τελευταία χρόνια έχει εξαπλωθεί η χρήση ηλεκτρικών ή πνευματικών σφυριών χειρός (όπως το Cuturi), τα οποία επιτρέπουν στους τεχνίτες ή στους καλλιτέχνες ή στους γλύπτες να εκχονδρίζουν υλικό χειροκίνητα από μεγάλες επιφάνειες με ταχύτητα και ευκολία. Τα εργαλεία αυτά φέρουν στο άκρο τους σμίλες διαφόρων τύπων (βελόνια, καλέμια, σμίλες κτενοειδούς απόληξης κλπ.) και παράγουν παλινδρομικές κινήσεις, οι οποίες επιφέρουν ομαλά και συνεχή κρουστικά κτυπήματα στο κατεργαζόμενο υλικό, προκαλώντας ταχεία απολέπιση μικρών κομματιών (απόβλητα ή θραύσματα ή σκόνη) από την επιφάνεια του κατεργαζόμενου όγκου.

Ο τεχνίτης, όπως και με τα απλά εργαλεία χειρός του (σύστημα σφυριού-σμίλης), τοποθετεί και κινεί με τα χέρια και το σώμα του το κρουστικό εργαλείο χειρός, υπό διάφορες κλίσεις και προσανατολισμούς, ενώ ασκεί την κατ' εκτίμησή του (εμπειρικά) βέλτιστη πίεση επί αυτού, για να απολεπίσει και να εκχονδρίζει το κατεργαζόμενο τεμάχιο σύμφωνα με το σχεδιαστικό ή καλλιτεχνικό του στόχο και ανάλογα με το υλικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου.

Το αποτέλεσμα της γλυπτικής μέσω της κρουστικής λάξευσης συναρτάται άμεσα με την τεχνική, την εμπειρία και την ικανότητα ξεχωριστά του κάθε γλύπτη. Η οποιαδήποτε προσπάθεια της αυτοματοποίησης με αριθμητικό έλεγχο της γλυπτικής εξαντλείται στην μέθοδο αφαίρεσης του ψαθυρού υλικού μέσω περιστρεφόμενου εργαλείου. Στην μέθοδο της κρουστικής λάξευσης δεν υπάρχει αντίστοιχη τεχνογνωσία αφού όλες οι παράμετροι που ορίζουν το αποτέλεσμα δεν περιγράφονται επιστημονικά με φυσικά μεγέθη αλλά ορίζονται, ελέγχονται και ασκούνται από τον κάθε γλύπτη.

Η παρούσα πτυχιακή επιδιώκει να παράσχει ένα βελτιωμένο και έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης και να φωτίσει τη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης ώστε να κατανοηθεί και σε επόμενο βήμα να αυτοματοποιηθεί.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί χειροκίνητα από τεχνίτη ή καλλιτέχνη γλύπτη με τη βοήθεια σφυριού χειρός ή να προσαρμοστεί σε κρουστικό εργαλείο τύπου cuturi, ή να τοποθετηθεί και να λειτουργήσει από ψηφιακά καθοδηγούμενη αυτόματα ή ημιαυτόματα



μηχανή κρουστικής λάξευσης. Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης έχει τη δυνατότητα να φέρει στο άκρο του όλους τους τύπους των λαξευτικών σμιλών που πραγματοποιούν αφαίρεση και μορφοποίηση ψαθυρών υλικών, που συνιστούν την γλυπτική μέσω κρουστικής λάξευσης.

Ταυτόχρονα το έξυπνο εργαλείο ενσωματώνει αισθητήρια μέτρησης συνθηκών όπως για παράδειγμα γωνία λειτουργίας, θερμοκρασία, επιτάχυνση κ.λπ. Οι μετρούμενες τιμές των αισθητήριων οργάνων είναι δυνατόν να επεξεργασθούν και να καταγραφούν σε κατάλληλο ψηφιακό αποθηκευτικό μέσο ή να μεταδοθούν σε κάποιο δέκτη που δεν είναι τμήμα του εργαλείου. Επομένως είναι δυνατή η καταγραφή, επεξεργασία και αποθήκευση όλων των στοιχείων εκείνων που περιγράφουν τις κινήσεις και τις συνθήκες, που εφαρμόζει ένας τεχνίτης ή καλλιτέχνης προκειμένου να δώσει το προσδοκώμενο αποτέλεσμα μορφής ή υφής ή και τεχνοτροπίας σε ψαθυρό υλικό.

Τα δεδομένα που προκύπτουν από την καταγραφή κατά τη λειτουργία του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, επεξεργάζονται και αναλύονται από κατάλληλο λογισμικό, με σκοπό την παραγωγή υπολογιστικών μοντέλων και εξισώσεων πρόβλεψης της εξέλιξης κρίσιμων τεχνολογικών μεγεθών για την κατεργασία της κρουστικής λάξευσης και της γλυπτικής ψαθυρών υλικών.

Σε κάθε περίπτωση το έξυπνο εργαλείο καταγράφει τις συνθήκες λάξευσης κάτω από τις οποίες λειτουργήσει. Αυτό είναι ένα μοναδικό πλεονέκτημα καθώς για πρώτη φορά καταγράφονται τεχνολογικές παράμετροι κρουστικής λάξευσης για κάθε τύπο λαξευτικής σμίλης και εργαλείου συσχετιζόμενα με κάθε τύπο ψαθυρού υλικού ανά τύπο κατεργασίας ή τεχνοτροπία.

Οι καταγεγραμμένες χρονοσειρές των πρωτογενών τεχνολογικών παραμέτρων, εισάγονται στο σχετικό λογισμικό του έξυπνου εργαλείου, αναλύονται και επεξεργάζονται με σκοπό τη δημιουργία υπολογιστικών μοντέλων και εξισώσεων για την κατεργασία της κρουστικής λάξευσης και γλυπτικής ψαθυρών υλικών. Τα υπολογιστικά μοντέλα και οι αντίστοιχες εξισώσεις θα δώσουν το έναυσμα της τεχνολογικής εξέλιξης της παραγωγής γλυπτών μέσω κρουστικής λάξευσης, καθώς θα είναι εφικτός ο προγραμματισμός ψηφιακά ελεγχόμενων μηχανών. Επίσης η αξιοποίηση των στοιχείων που μπορούν να συλλεχθούν ή να παραχθούν, είναι άμεσα αξιοποιήσιμα για την βελτίωση ή παραγωγή λαξευτικών εργαλείων.



Μέρος Α'

Περιγραφή, ανάλυση, σχεδιασμός, κατασκευή



2. Εισαγωγή στη γλυπτική τέχνη

Γλυπτική αποκαλείται η τέχνη της καλλιτεχνικής δημιουργίας ή έκφρασης, που εκτελείται μέσω της δημιουργίας τρισδιάστατων μορφών σε οποιοδήποτε μέσο. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι διάφορα, σκληρά και ψαθυρά όπως ο λίθος, το μάρμαρο, τα μέταλλα, όπως ο χάλυβας το ξύλο ή ακόμα και πιο μαλακά όπως ο πηλός ή διάφορα πλαστικά (σύγχρονη γλυπτική).

Κάθε άνθρωπος αντιλαμβάνεται τη τέχνη και το «αισθητικά καλό» διαφορετικά. Αυτό είναι το αξίωμα για τη θεμελίωση του αισθητικού κανόνα. Εκεί έγκειται και η δυσκολία της υπόθεσης. Μέχρι σήμερα υπερσχύει η λογική στις περισσότερες στιγμές της ζωής. Τα κριτήρια για το «αισθητικά ωραίο» όχι μόνο δε μπορούν να προσδιορισθούν αλλά αλλάζουν συνεχώς και προσαρμόζονται ανάλογα τον άνθρωπο, τα βιώματα και την εποχή. Ακριβώς για αυτό το λόγο η γλυπτική τέχνη δεν έχει κανόνες ούτε περιβάλλεται από όρια. Ο καλλιτέχνης είναι ελεύθερος από κάθε άποψη να δημιουργήσει ότι έχει φανταστεί με οποιοδήποτε τρόπο θέλει εκείνος.

2.1 Ιστορική εξέλιξη γλυπτικής τέχνης στην Ελλάδα (από τη Πρωτοκυκλαδική εποχή μέχρι την Ελληνιστική)

Η γλυπτική στην αρχαία Ελλάδα δεν θεωρούνταν Τέχνη αλλά τεχνική. Παρ' όλη την μαζική απήχηση που είχαν τα γλυπτά στον πολιτισμικό ιστό, η γλυπτική βρισκόταν στο περιθώριο των Τεχνών. Στην αρχαία Ελλάδα ο Γλύπτης αποτελούσε τον «είλωτα της Τέχνης» ενώ οι Έλληνες απαγόρευαν στους δούλους να μαθαίνουν ζωγραφική γιατί η Τέχνη της ζωγραφικής ήταν ανέκαθεν αξία των ελευθέρων πνευμάτων και των ευγενών ψυχών σε αντίθεση με την Τέχνη της γλυπτικής.

Το πρώτο διακριτό ύφος της αρχαίας ελληνικής γλυπτικής ήταν στη πρωτοκυκλαδική περίοδο της εποχής του Χαλκού (3^η χιλιετία π.Χ.) μικρά μαρμάρινα αγαλματίδια με απλοποιημένη γεωμετρία. Στη παρακάτω εικόνα 2.1, απεικονίζονται αγαλματίδια τέτοιας μορφής σε μάρμαρο.

Η Πρωτοκυκλαδική περίοδος ξεκίνησε περίπου το 3200- μέχρι το 2000 π.Χ. και διακρίνεται σε τρεις (3) διαφορετικές περιόδους, όπου η πρώτη από το 2800-2500 π.Χ. εκπροσωπείται από τη τέχνη των νησιών Πάρος, Αντίπαρος και Αμοργός, η δεύτερη από το 2500-2200 π.Χ. εκπροσωπείται κυρίως από τη Σύρο και τέλος από το 2200 μέχρι και το 2000 π.Χ. από τη Μήλο.

Πρωτοκυκλαδική Ελληνική γλυπτική
Τα πρώτα δημιουργήματα της περιόδου



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Keros-Syros_culture

Εικόνα 2.1: Αγαλματίδια πρωτοκυκλαδικής εποχής με απλοϊκή γεωμετρία φτιαγμένα από ασβεστόλιθο

Η διάκριση αυτή έγινε με κριτήριο την εξέλιξη της κεραμικής τέχνης, των μαρμάρινων αγγείων και των ειδωλίων όπως της εικόνας 2.1, φτιαγμένα από ασβεστόλιθο (πραγματικά αντίγραφα), όπου σήμερα φιλοξενούνται στο Αρχαιολογικό μουσείο Αθηνών.

Η σημαντική αυτή περίοδος του πολιτισμού της εποχής του χαλκού είναι περισσότερο γνωστή για τη δημιουργία των σχετικά επίπεδων γυναικείων ειδωλίων σκαλισμένα από καθαρό λευκό μάρμαρο ή ασβεστόλιθο, αιώνες πριν από τη μεσαία εποχή του χαλκού ή αλλιώς Μινωική εποχή που άνθησε στη περιοχή της Κρήτης. Αυτά τα αγαλματίδια κλάπηκαν από τυμβωρύχους για να ικανοποιηθεί η αγορά των Κυκλαδικών αρχαιοτήτων. Από αυτή την εποχή έχει διασωθεί πολύ μικρός αριθμός γλυπτών με περίπου 1300 ειδώλια γνωστής προέλευσης [9][10].



Η Αρχαϊκή εποχή. Η Αρχαϊκή εποχή είναι περίοδος ανάμεσα στο 800 π.Χ. μέχρι το 480 π.Χ.. Στη συγκεκριμένη περίοδο υπήρξαν καθοριστικές αλλαγές για τον ελληνικό πολιτισμό όπου τον κατέστησαν στα τέλη του όγδοου αιώνα εντελώς αγνώριστο και διαφορετικό από τη σκοπιά των αρχών του αιώνα.

Σε αυτή τη περίοδο υπήρξε άνθηση των επιστημών και των τεχνών και τέθηκαν οι βάσεις για τη κλασική περίοδο που θα ακολουθήσει. Τη περίοδο αυτή ήταν που αναπτύχθηκε η ελληνική αλφάβητος και η μνημειακή γλυπτική μαζί με τα ερυθρόμορφα αγγεία και υπήρξε ραγδαία ανάπτυξη όλων των τεχνών και όχι μόνο της γλυπτικής τέχνης.

Σχετικά με τη τέχνη της γλυπτικής, ξεκίνησαν να δημιουργούνται ρεαλιστικά ανθρώπινα αγάλματα σε πραγματικές διαστάσεις. Αυτή η κίνηση ξεκίνησε από την έμπνευση των τεχνιτών από την αρχαία Αιγυπτιακή τέχνη και άλλα ανατολικά πρότυπα. Στην εικόνα 2.2 απεικονίζονται χαρακτηριστικά αγάλματα εποχής με τη κόρη να εμφανίζεται στα αριστερά της εικόνας, στη μέση η Αφροδίτη της Κνίδου και τέλος, δεξιά ο κροίσος της Ανάβυσσου με χρονολογία κατασκευής κοντά στο 530 π.Χ., όλα σε φτιαγμένα σε μάρμαρο, τα οποία διασώζονται σε ομοιώματα, τόσο στο Βρετανικό μουσείο, όσο και στο μουσείο της Ακρόπολης.

Τα μεγαλύτερα δείγματα τέχνης αυτής της περιόδου είναι οι Κούροι και οι κόρες (όπως απεικονίζονται στην εικόνα 2.2) όπου είναι φυσικού μεγέθους ανθρώπινα αγάλματα νεαρού άντρα ή

Αρχαϊκή Ελληνική γλυπτική
Κούροι, κόρες και ανθρώπινες μορφές



Πηγή: <https://www.studyblue.com/notes/note/n/greek-sculpture-vase-painting/deck/7711160>

Εικόνα 2.2: Ευρήματα της Αρχαϊκής εποχής σε μάρμαρο, στα αριστερά η κόρη, στο κέντρο η Αφροδίτη της Κνίδου και στα δεξιά ο κροίσος της Ανάβυσσου

γυναίκας τα οποία αναπτύχθηκαν κοντά στον έβδομο αιώνα π.Χ. στις Κυκλάδες. Με αυτά τα αγάλματα απεικονιζόντουσαν τόσο άνθρωποι όσο και θεότητες.

Τα περισσότερα αγάλματα της εποχής είναι στατικά, με κολλημένα τα χέρια στο σώμα τους και χωρίς πολλές ζωντανές εκφράσεις στο πρόσωπο.

Μετά τον έκτο αιώνα οι κούροι της Αττικής ξεκινούν να αλλάζουν αυτό το στατικό πρότυπο και αποκτούν περισσότερη εκφραστικότητα, φυσικότητα και κίνηση.

Το είδος γλυπτικής των κούρων άρχισε να γίνεται λιγότερο συχνές κατά το τελευταίο μέρος του έκτου αιώνα καθώς σταμάτησε η αγορά να τους απαιτεί.



Κλασική εποχή ονομάζεται η περίοδος που αρχίζει το 480 π.Χ. και τελειώνει το 323 π.Χ.. Κέντρο του πολιτισμού υπήρξε η Αθήνα. Η κλασική περίοδος ήταν μια επανάσταση για την ελληνική γλυπτική και

Κλασική και Ελληνιστική περίοδος γλυπτικής Περισσότερη κίνηση και έκφραση



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Laoco%C3%B6n_and_His_Sons

Εικόνα 2.3: Ο Λαοκόωντας και οι γιοί του, μαρμάρινο άγαλμα Κλασικής περιόδου στο Μουσείο του Βατικανού

τα αγάλματα καθώς συνδέονται με την εισαγωγή της δημοκρατίας και το τέλος της αριστοκρατικής κουλτούρας που συνδέθηκε με τους κούρους.

Με τη κλασική περίοδο εισήχθησαν αλλαγές στο ύφος και στην λειτουργία της γλυπτικής. Οι πόζες των αγαλμάτων έγιναν πιο φυσικές και αυξήθηκε και η ικανότητα των Ελλήνων τεχνιτών να απεικονίζουν την ανθρωπινή μορφή.

Ταυτόχρονα με την ανάπτυξη της γλυπτικής τα αγάλματα τέθηκαν σε ευρύτερες χρήσεις. Οι μεγάλοι ναοί της κλασικής εποχής, όπως ο Παρθενώνας στην Αθήνα και ο ναός του Δία στην Ολυμπία περιλάμβαναν πλέον διακοσμητικά διαζώματα και γλυπτά.

Η πολυπλοκότητα των τεχνικών που εφαρμόστηκαν τόνωσε πολύ τον τρόπο της καινοτομίας της γλυπτικής. Δυστυχώς αυτά τα έργα διασώθηκαν μόνο σε μικρά θραύσματα με τα πιο διάσημα, τα Μάρμαρα του Παρθενώνα, τα μισά από τα οποία βρίσκονται στο Βρετανικό μουσείο.

Η εικόνα 2.3 απεικονίζει το άγαλμα του Λαοκόωντα και των γιών του, ένα κλασικό έργο τέχνης του 200-150 π.Χ., φτιαγμένο από άσπρο μάρμαρο, από τον Πολύδωρο της Ρόδου και τον Αγήσανδρο της Ρόδου που φιλοξενείται στο μουσείο του Βατικανού στο Βατικανό, Ιταλία. Στα γυναικεία αγάλματα προβάλλει ο δωρικός πέπλος και η ανάδειξη του σώματος γίνεται με τον περιορισμό των πτυχών του. Στις πολυπρόσωπες συνθέσεις, πάλι, οι μορφές δεν είναι πια παρατακτικές αλλά υποταγμένες σε μια κεντρομόλο σύνθεση. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το άγαλμα του Λαοκόωντα στην εικόνα 2.3.

Στη κλασική περίοδο για πρώτη φορά μαθαίνονται τα ονόματα μεμονωμένων γλυπτών της εποχής. Ο Φειδίας επέβλεψε το σχεδιασμό και τη κατασκευή του Παρθενώνα. Ο Πραξιτέλης έκανε για πρώτη φορά το γυναικείο γυμνό αξιосέβαστο, με την Αφροδίτη της Κνίδου, δημιούργημά του λίγο πριν από τη κλασική εποχή, το οποίο σώζεται σε αντίγραφα.

Η ευσέβεια προς τους θεούς παραμένει, αλλά τα αγάλματά τους διαφοροποιούνται σε σχέση με τα παλαιότερα χρόνια, ενώ στην τέχνη εισάγονται και θέματα ειδυλλιακού χαρακτήρα. Τα σπουδαιότερα έργα της κλασικής περιόδου είναι το άγαλμα του Δία στην Ολυμπία και το άγαλμα της Αθηνάς της Παρθένου (και τα δύο χρυσελεφάντινα φτιαγμένα από τον Φειδία ή υπό την επίβλεψή του) όπου έχουν χαθεί αν και σώζονται μικρότερα αντίγραφα τους και καλές τους περιγραφές.

Έπειτα τη κλασική εποχή διαδέχθηκε η Ελληνιστική. Η μετάβαση αυτή σημειώθηκε κατά τη διάρκεια του 4^{ου} αιώνα π.Χ. Μετά τις κατακτήσεις του Μεγάλου Αλεξάνδρου (από το 336 π.Χ. έως το 323 π.Χ.), ο Ελληνικός πολιτισμός είχε εξαπλωθεί έως την Ινδία. Έτσι η Ελληνική τέχνη έγινε πολύ πιο ποικιλόχρωμη και επηρεάστηκε από άλλους λαούς. Κατά την άποψη ορισμένων ιστορικών της εποχής, μειώθηκε η ποιότητα των αγαλμάτων και η πρωτοτυπία. Πολλά αγάλματα που προηγουμένως θεωρούνταν ως κλασικά κατέληξαν να είναι από την ελληνιστική εποχή.



Ελληνιστική περίοδος γλυπτικής

Εξέλιξη στην αποτύπωση του συναισθήματος και της κίνησης



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Sculpture#/media/File:Fregio_della_gigantomachia_02.JPG

Εικόνα 2.4: Τμήμα μαρμάρινου αγάλματος της Αθηνάς και της Νίκης, από το θωμό Περγάμου, Ελληνιστικής περιόδου 2ου αιώνα

Επίσης, η τεχνική ικανότητα των ελληνιστικών γλυπτών είναι σαφώς εμφανής σε τέτοια μεγάλα έργα όπως η Νίκη της Σαμοθράκης και της Περγάμου.

Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι αυτό της εικόνας 2.4 που απεικονίζει τμήμα αγάλματος από το θωμό Περγάμου όπου απεικονίζει την Αθηνά και τη Νίκη, άγαλμα φτιαγμένο από λευκό μάρμαρο κατά τον 2^ο αιώνα π.Χ. όπου φιλοξενείται στο μουσείο τέχνης του Βερολίνου [9][10].

Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου, τα γλυπτά γίναν πιο φυσικά. Εμφανίστηκαν γλυπτά με κοινούς ανθρώπους, γυναίκες, παιδιά, ζώα και εγχώριες σκηνές όπου πλέον ήταν αποδεκτά θέματα για τη γλυπτική η οποία ανατέθηκε από πλούσιες οικογένειες για το στολισμό των σπιτιών και τους κήπους τους.

Οι γλύπτες παρήγαγαν ρεαλιστικά πορτρέτα ανδρών και γυναικών όλων των ηλικιών και οι γλύπτες δεν ένιωθαν πλέον υποχρεωμένοι να απεικονίζουν ανθρώπους ως ιδεώδη της ομορφιάς ή της σωματικής τελειότητας. Έτσι τα αγάλματα κατασκευάζονταν πιο ελεύθερα στην έκφραση, με κίνηση και έντονα χαρακτηριστικά προσώπου και με πιο πολλές καμπύλες.

Ταυτόχρονα, οι νέες ελληνιστικές πόλεις που αναπτύχθηκαν σε όλη την Αίγυπτο, τη Συρία και την Ανατολία απαιτούσαν αγάλματα που απεικονίζουν τους θεούς και τους ήρωες της Ελλάδας για τους ναούς και τους δημόσιους χώρους. Αυτό οδήγησε τη γλυπτική, όπως και την αγγειοπλαστική, σε μια βιομηχανία με την συνακόλουθη τυποποίηση και κάποια αναγκαία μείωση της ποιότητας. Για τους λόγους αυτούς πολλά περισσότερα ελληνιστικά αγάλματα έχουν διασωθεί από ότι κλασικά.

Μερικά από τα πιο κλασικά ελληνιστικά γλυπτά είναι η Νίκη της Σαμοθράκης (2^{ος} ή 1^{ος} αιώνας π.Χ.) και το άγαλμα της Αφροδίτης της Μήλου (μέσα του 2^{ου} αιώνα π.Χ.). Όλα αυτά τα αγάλματα απεικονίζουν κλασικά θέματα αλλά η στάση τους είναι πολύ πιο εκφραστική και συναισθηματική από ότι η αυστηρότητα των αγαλμάτων της κλασικής περιόδου.

Την ίδια ακριβώς περίοδο, αναπτύχθηκαν τεχνικές για την αντιγραφή γλυπτών, είτε με χρήση καλουπιών είτε με χρήση τρισδιάστατου παντογράφου. Αυτό οδήγησε σταδιακά στην εξάπλωση και διάσωση αγαλμάτων αντιγράφων ενώ τα αυθεντικά καταστρέφονταν είτε σε πολέμους είτε από φυσικά αίτια. Στη σημερινή εποχή τα περισσότερα αγάλματα που διασώζονται είτε είναι γνήσια αντίγραφα (plaster original), δηλαδή το διαφυλαγμένο άγαλμα είναι το πρωτότυπο που χρησιμοποιήθηκε για καλούπι ή το πρώτο που βγήκε από το καλούπι και τα αντίγραφα όπου είναι προϊόντα αντιγραφής με τρισδιάστατο παντογράφο ή από καλούπι.

2.2 Στάδια της γλυπτικής διαδικασίας

2.2.1 Επιλογή λίθου λάξευσης

Όπως προκύπτει από όσα αναφέρονται στο κεφάλαιο 4.4.1 μηχανικές και φυσικές ιδιότητες λίθων, οι λίθοι είναι σώματα με πολλές και ποικίλες φυσικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες και με μεγάλες διαφορές στο βαθμό εκδηλώσεως των ιδιοτήτων αυτών ακόμη και σε λίθους του ίδιου είδους. Ο σκοπός του γλύπτη είναι να επιλέξει κάθε φορά τους καταλληλότερους λίθους. Δηλαδή εκείνους που



παρουσιάζουν στο μεγαλύτερο βαθμό μόνο τις ιδιότητες, που θα συντελέσουν στο να ανταποκριθεί το έργο κατά τον καλύτερο και οικονομικότερο τρόπο στον ειδικό σκοπό, για τον οποίο προορίζονται.

Ο καλλιτέχνης γλύπτης έχει κυρίως τρία (3) κριτήρια επιλογής λίθου. Το χρώμα, τη λαξευσιμότητα, δηλαδή τη σκληρότητα του λίθου και την ομοιομορφία του και το κόστος. Οι αρχάριοι γλύπτες, ξεκινούν συνήθως επιλέγοντας μαλακούς λίθους όπως ο σαπωνόλιθος και ο αλάβαστρος ενώ οι πιο έμπειροι επιλέγουν σκληρότερους και πιο μηχανικά ανώτερους λίθους όπως το μάρμαρο, ο ψαμμίτης και ο γρανίτης. Ίσως ο πιο σημαντικός παράγοντας ποιότητας λίθου είναι η ομοιομορφία και η καθαρότητά του.

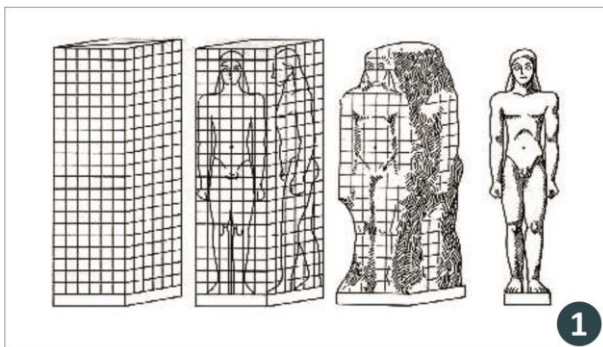
Λίθος με αυξημένη καθαρότητα και μεγάλο πορώδες είναι πιο προβλέψιμος στις διάφορες κατεργασίες, χωρίς να δημιουργούνται επιπλέον σπασίματα και ρωγμές. Επιπλέον οι ακαθαρσίες και οι προσμίξεις που μπορεί να εμπεριέχει ο λίθος, αλλάζουν και το χρώμα του και δυναμικά τις φυσικές και μηχανικές του ιδιότητες. Για το λόγο αυτό κατά την αγορά του λίθου ο καλλιτέχνης / τεχνίτης μελετάει τη προέλευση του λίθου, το χρώμα, επιθεωρεί τον λίθο για ρωγμές, σπασίματα και άλλες ανομοιομορφίες και μελετά και επιλέγει με γνώμονα το αν ο λίθος μπορεί να μεταποιηθεί στο τέχνημα όπου εκείνος έχει φαντασθεί.

Συνήθως ο γρανίτης και το μάρμαρο αποφεύγονται κατά την επιλογή του λίθου για τους περισσότερους γλύπτες διότι απαιτούν τη χρήση ειδικών επικαλυμμένων εργαλείων και τροχών όπως και την εμπειρία στις γωνίες που θα εφαρμοστούν στις σμίλες κατά τις κατεργασίες. Ο κάθε καλλιτέχνης μελετά τις διαστάσεις του αρχικού όγκου λίθου και την επιφάνεια της ώστε να προβλέψει ψεγάδια του λίθου όπως ρωγμές και να γνωρίζει πόσο ποσοστό λάθους μπορεί να έχει και να διορθώσει κατά τη κατεργασία του λίθου. Για αυτό ακριβώς το λόγο επιλέγονται λίθοι όπου είναι τουλάχιστον δύο (2) φορές μεγαλύτεροι σε διαστάσεις από αυτές του γλυπτού που έχει φαντασθεί ο τεχνίτης [21].

2.2.2 Η κατεργασία εκχόνδρισης

Κατεργασίες γλυπτικής

Από την επιλογή λίθου στην εκχόνδριση και τη λείανση της πέτρας



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_sculpture

Εικόνα 2.5: Οι κυριότερες κατεργασίες γλυπτικής, η επιλογή λίθου, η εκχόνδριση (2) και ο εξευγενισμός, λείανση του αγάλματος (3)

του εξευγενισμού και της λείανσης με σμίλες όπως η οδοντωτή.

Στην εικόνα 2.5 φαίνονται οι πιο χαρακτηριστικές διαδικασίες γλυπτικής, σχεδιασμός, εκχόνδριση, λείανση σε σχέδιο (1), η κύρια εκχόνδριση ενός αγάλματος υπό ολοκλήρωση από ψαμίτη, όπου φαίνεται η άμεση διαφορά από τον αρχικό όγκο στο εκχονδρισμένο γλυπτό (2) και τέλος στο σχήμα 3 της εικόνας 2.5 φαίνεται το στάδιο του εξευγενισμού και της λείανσης (3) σε τμήμα αγάλματος από μάρμαρο όπου προσδίδονται οι τελευταίες λεπτομέρειες στο προς ολοκλήρωση άγαλμα.

Η πρώτη κατεργασία που γίνεται στον επιλεγμένο λίθο είναι η εκχόνδρισή της. Κατά τη διαδικασία αυτή ο λίθος καθαρίζεται από περιττά τμήματα, ο τεχνίτης τον προσαρμόζει στις διαστάσεις που τη θέλει καθώς και της δίνει ένα πρώτο σχήμα.

Η εργασία αυτή γίνεται κυρίως στο λατομείο, γιατί ο λίθος είναι μαλακότερος μόλις εξορυχθεί και συνεπώς η κατεργασία του γίνεται ευκολότερα προτού μεσολαβήσει η μεταφορά του.

Εκτός απ' αυτό η ελάττωση του όγκου και του βάρους με την απόρριψη των άχρηστων τμημάτων του μειώνουν τα έξοδα μεταφοράς και επιπλέον γίνεται κατηγοριοποίηση του λίθου ανάλογα με τη μορφή, το χρώμα και τις διάφορες προσμίξεις που βρίσκονται εκείνη τη στιγμή.

Επιπλέον πριν τη διαδικασία εκχόνδρισης και κατά τη κατεργασία, ο τεχνίτης πρέπει να δει και να καταλάβει τα στρώματα του λίθου αυτού και προς ποια κατεύθυνση σχηματισθήκαν. Αντίστοιχα λοιπόν με τα νερά του ξύλου, ο λίθος έχει παρόμοια.

Ο καλλιτέχνης θα πρέπει να λαξεύει πάνω σε αυτές τις γραμμές του λίθου αρχικά γιατί η λάξευση γίνεται πιο εύκολη και πιο προβλέψιμη λόγω αντίστασης του υλικού και έπειτα επειδή η κάθετη λάξευση σε αυτές τις γραμμές προκαλεί σπασίματα του λίθου ακανόνιστα [21].

Η εκχόνδριση γίνεται κυρίως με σμίλες σημείου ή αλλιώς σμίλες διάτρησης και τροχούς. Αυτά τα εργαλεία αφήνουν χαρακτηριστικά ίχνη τα οποία εξομαλύνονται κατά το επόμενο στάδιο, αυτό

2.2.3 Η διαδικασία του εξευγενισμού

Μόλις έχει καθοριστεί το γενικό σχήμα του αγάλματος, ο γλύπτης χρησιμοποιεί άλλα εργαλεία για να βελτιώσει την εικόνα του και να το φέρει στις διαστάσεις που θέλει. Το εργαλείο που χρησιμοποιεί ο γλύπτης σε αυτή τη κατεργασία είναι κυρίως η οδοντωτή σμίλη σε συνδυασμό με λίμες και ειδικού τύπου εργαλεία και τροχούς. Με τη χρήση αυτής της σμίλης ο καλλιτέχνης φέρνει το λίθο στις διαστάσεις που τον θέλει, στο σχήμα και τη μορφή που έχει φαντασθεί, αφήνοντας μικρές λεπτομέρειες για το στάδιο της λείανσης.

Σε αυτό το στάδιο έχουν δοθεί στο λίθο οι κύριες διαστάσεις της, αν όχι οι απόλυτες, το κύριο σχήμα του, όπως το έχει φαντασθεί ο γλύπτης, χωρίς να υπάρχουν πλέον ανομοιομορφίες προηγούμενων κατεργασιών και υφής στον υπό κατεργασία λίθο. Τυχόν διορθώσεις του καλλιτέχνη, στο σχήμα και τη μορφή του γλυπτού γίνονται σε αυτό το στάδιο κατεργασίας προτού γίνει η λείανση και πρόσδοση ειδικής υφής και μικρό-λεπτομερειών.

Για τη κατεργασία αυτή ο γλύπτης μαρκάρει πολλές φορές την επιφάνεια του λίθου με μολύβι ή μαρκαδόρο σχεδιάζοντας έτσι γραμμές οδηγούς για ευκολότερη λάξευση και ακρίβεια. Ταυτόχρονα με τη λάξευση χρησιμοποιείται επίσης παχύμετρο για αυτούς που απαιτούν απόλυτες διαστάσεις και αναλογίες και κιμωλία για το μαρκάρισμα σκούρων επιφανειών που χρειάζονται περεταίρω λάξευση.

2.2.4 Η κατεργασία λείανσης

Τελικά ο γλύπτης, με τις παραπάνω κατεργασίες, έχει καταφέρει να μετασχηματίσει το λίθο από ένα τραχύ ογκόλιθο με ακανόνιστο σχήμα σε ένα σχετικά καλό και ακριβές σχήμα του τελικού αγάλματός του. Στη τελική κατεργασία λείανσης, χρησιμοποιούνται εργαλεία, λίμες ή αλλιώς rasps ή fillers, για να ενισχύσουν τη τελική μορφή του αγάλματος και για να προστεθεί το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας.

Για το σχηματισμό των λεπτομερειών αυτών οι τεχνίτες, σχεδιάζουν, δημιουργούν ή και μεταποιούν άλλα εργαλεία ή λίμες ανάλογα με τις ανάγκες της μορφής που θέλουν να αναδείξουν. Σημαντικός επίσης παράγοντας είναι το ποσοστό κυρτότητας της λίμας και το πόσο καλά ακονισμένη στα άκρα της είναι. Για τους αντίστοιχους λειαντικούς τροχούς παράγοντας καθοριστικός για την υφή είναι η τραχύτητά τους, μετρούμενη σε βαθμούς grit, όπου πρακτικά είναι η ποσότητα μικρών σωματιδίων λίθου ή άμμου, προσκολλημένα στο τροχό ή το ύφασμα και το χαρτί.

Ο καλλιτέχνης χρησιμοποιεί αυτά τα εργαλεία για να λειάνει τις επιθυμητές επιφάνειες και να απομακρύνει το περίσσιο λίθο με τη μορφή σκόνης πλέον. Σε αυτό το στάδιο, δημιουργούνται λεπτομέρειες όπως μαλλιά, ρουχισμός, φύλλα, νερά, χαρακτηριστικά προσώπου και άλλα. Τα περισσότερα λειαντικά εργαλεία βρίσκουν εφαρμογή στο λίθο μαζί με την εφαρμογή νερού.

Το νερό βοηθά τόσο στην απομάκρυνση της περιττής σκόνης όσο και στη διατήρηση της κατάλληλης τριβής για τη σωστή εφαρμογή των εργαλείων. Δεν είναι απαραίτητη η εφαρμογή της κατεργασίας της λείανσης και έγκειται καθαρά στην επιλογή της τελικής υφής από τον καλλιτέχνη όπου το κρίνει εκείνος απαιτούμενο.

Εκτός από τις διάφορες σμίλες, σε αυτή τη κατεργασία χρησιμοποιούνται και λίθοι από σμύριδα καθώς και λειαντικοί τροχοί όπου μετά την εφαρμογή τους, εμφανίζουν τα πραγματικά χρώματα και την υφή του λίθου. Μαζί με τη λείανση γίνεται και η στίλβωση του λίθου συνήθως με τη χρήση οξειδίων του κασσίτερου και του σιδήρου για να δώσουν στο λίθο μια ιδιαίτερα αντανakλαστική επιφάνεια. Οι σύγχρονοι γλύπτες χρησιμοποιούν πλέον λειαντικά διαμαντιών με άμμο στις τελικές διεργασίες φινιρίσματος που κυμαίνονται από 36 έως 3000 βαθμούς grit.



2.2.5 Η διαδικασία αντιγραφής με χρήση σημείων

Η αντιγραφή ενός πρωτότυπου αγάλματος στο λίθο, η οποία ήταν πολύ σημαντική διαδικασία στην αρχαία Ελλάδα για τα Ελληνικά αγάλματα, παραδοσιακά επιτυγχάνεται με δημιουργία σημείων και με πιο αφαιρετικές τεχνικές δια χειρός.

Αντιγραφή γλυπτών

Ο μηχανισμός αντιγραφής γλυπτών από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα



Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/Pointing_machine

Εικόνα 2.6: Το εργαλείο για την αντιγραφή γλυπτών (1) καθώς και η εφαρμογή του για την αντιγραφή μαρμάρινης προτομής (2)

Η χρήση του μηχανισμού σημείων χρησιμοποιείται για την αντιγραφή μοντέλων από μαλακά υλικά όπως πλαστελίνη ή κερι σε υλικά όπως ο λίθος και το ξύλο.

Δεν είναι εφικτό με αυτή τη μέθοδο η αντιγραφή αγαλμάτων σε μεγαλύτερη ή μικρότερη κλίμακα από αυτή του πρωτότυπου. Τα παραδοσιακά εργαλεία για την αντιγραφή είναι ένα σύνολο από ειδικές δαγκάνες, ένα ξύλινο ορθογώνιο πλαίσιο με επιμέρους τετράγωνα από χορδές και μια τρισδιάστατη εκδοχή του παντογράφου.

Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός πλέγματος τετραγώνων από χορδές σε ξύλινο πλαίσιο, γύρω από το πρωτότυπο και έπειτα τη μέτρηση της θέσης και της απόστασης του αγάλματος επί του πλέγματος με μια σειρά από επιμέρους σημεία. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως το πλέγμα με τα σημεία δε χρησιμοποιείται πάντα ως μέθοδος.

Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι ότι το τελικό αποτέλεσμα είναι πολύ ελεγχόμενο,

γρήγορο και η πιθανότητα δημιουργίας ανεπανόρθωτων λαθών είναι μειωμένη. Το αρνητικό της μεθόδου αυτής, είναι πως υπάρχει κίνδυνος απώλειας της έκφρασης του τελικού γλυπτού. Έπειτα χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες από αυτά τα σημεία, ο γλύπτης χαράζει μέσα στο τετράγωνο του αντιγράφου προς δημιουργία.

Ιδιαίτερα κατά τον 19^ο αιώνα, οι γλύπτες ακολουθούσαν μια συγκεκριμένη διαδικασία αντιγραφής με δημιουργία και χρήση καλουπιών. Πρώτα δημιουργούσαν ένα κέρινο, λίθινο ή πήλινο μοντέλο του αγάλματος προς αντιγραφή, φτιαγμένο αποκλειστικά για χρήση της μεθόδου αντιγραφής, εκ του οποίου φτιαχνόταν γύψινο καλούπι. Το πρωτότυπο μέσα από το γύψο συνήθως καταστρέφονταν ή τεμαχιζόταν και το γύψινο καλούπι έπειτα υπηρετούσε ως το μοντέλο για την αντιγραφή σε λίθο ή και τη χύτευση διάφορων υλικών. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται ως έμμεση μέθοδος γλυπτικής και από αυτή διασώζονται μέχρι σήμερα πραγματικά αντίγραφα και αντίγραφα καλουπιών.

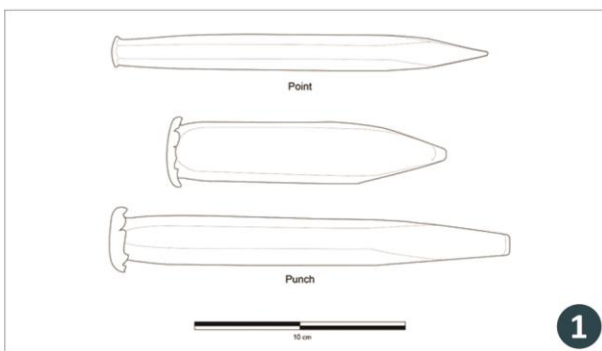
Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως πλέον υπάρχουν και πιο σύγχρονες μέθοδοι αντιγραφής γλυπτών, που όμως απαιτούν τη παρουσία εργαλειομηχανών και ψηφιακών σαρωτών με δέσμη λέιζερ και δεν έχουν καμία απολύτως εφαρμογή και χρησιμότητα για τους γλύπτες που ασχολούνται και εξασκούν τη παραδοσιακή τέχνη της γλυπτικής.

3. Εργαλεία γλυπτικής

3.1 Σμίλη σημείου – διάτρησης

Η λαξευτική σμίλη, σημείου ή διάτρησης, είναι το πρωταρχικό και το πιο σημαντικό εργαλείο στη γλυπτική τέχνη. Χρησιμοποιείται για το ξεχόνδρισμα της επιφάνειας του λίθου και για γρήγορη αφαίρεση υλικού. Τουλάχιστον το 85% του αφαιρούμενου λίθου στη γλυπτική διαδικασία απομακρύνεται με το συγκεκριμένο εργαλείο και αποτελεί το πιο παλιό, απλό και ευέλικτο εργαλείο των τεκτόνων και των καλλιτεχνών.

Σμίλες σημείου ή διάτρησης Οι διάφοροι τύποι και τα μεγέθη σμιλών διάτρησης



Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.1: Σχέδια σμιλών σημείου ή διάτρησης (1) και πραγματικές σμίλες σημείου, πνευματικού σφυριού (2), χειρός (3)

Η σμίλη σημείου, αποτελείται από έναν μεταλλικό άξονα μήκους 20-30 εκ. και περίπου 1-2,5 εκ. σε διάμετρο, με μυτερή ή κωνική απόληξη στο ένα άκρο. Το μήκος της σμίλης ποικίλλει ανάλογα με το υλικό και την εφαρμογή.

Για μάρμαρο ή ασβεστόλιθο το άκρο της σμίλης συνήθως είναι μακρύτερο και πιο μυτερό ενώ για εφαρμογές σε γρανίτη η μύτη είναι πιο στρογγυλεμένη. Το άλλο άκρο της σμίλης αυτής είναι είτε επίπεδο είτε στρογγυλό ώστε να δέχεται χτυπήματα από μεταλλικό σφυρί ή ξύλινη σφύρα ή ακόμα και πνευματικό σφυρί τύπου Cuturi.

Στην εικόνα 3.1 στα αριστερά απεικονίζονται και τα σχέδια τέτοιων σμιλών (1) μαζί με πραγματικές χαλύβδινες σμίλες σημείου για πνευματικό σφυρί (2) αλλά και σμίλες χειρός (3).

Οι σμίλες που απεικονίζονται στο σχήμα 2 της εικόνας 3.1, είναι από βαμμένο χάλυβα που λειτουργεί καλά με λίθους χαμηλής σκληρότητας και χαμηλής σκληρότητας μάρμαρα. Για σκληρότερα υλικά, όπως ο γρανίτης, οι σμίλες αυτές απαιτούνται να είναι καρβιδίου ή με επικάλυψη καρβιδίου [4][5].

Οι σμίλες σημείου ή διάτρησης είναι κυρίως εργαλεία που προήλθαν από τη τοιχοποιία, φτιαγμένα για το σπάσιμο του λίθου με πολύ ελεγχόμενο τρόπο. Γενικά με την εφαρμογή της σμίλης σημείου η επίδραση της κρούσης διαδίδεται από ένα πολύ μικρό κεντρικό σημείο ή επιφάνεια το οποίο θα προκαλέσει μικρή αποκοπή του λίθου στο σημείο εκείνο ή θρυμματισμό παρά μεγάλο ανεξέλεγκτο σπάσιμο του λίθου.

Ο τρόπος με τον οποίο το σημείο της σμίλης, το άκρο της εφαρμόζεται στο λίθο ποικίλλει ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα και το υλικό. Στο γρανίτη και άλλους σκληρούς λίθους τείνει η εφαρμογή να διεξάγεται κάθετα προς την επιφάνεια του λίθου, ένα ταχύ χτύπημα σε αυτή τη γωνία θρυμματίζει αποτελεσματικά την επιφάνεια του λίθου αυτού.



Σε μια πιο ρηχή γωνία η σμίλη απλά θα αναπηδήσει μακριά σε αυτά τα σκληρά υλικά. Για μαρμαρογλυπτική και για εφαρμογή σε γρανίτη ή ψαμμίτη, αυτή η σμίλη χρησιμοποιείται μόνο σε γωνία 90 ° για την αφαίρεση μεγάλης ποσότητας λίθου ή για το τετραγωνισμό ενός τεμαχίου λίθου.

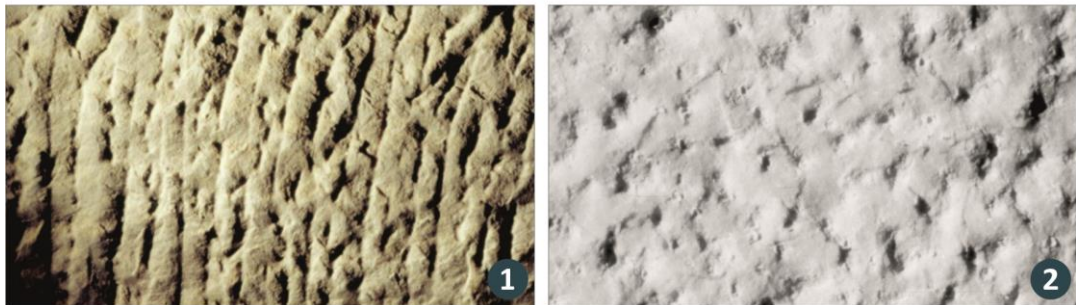
Για πιο ακριβέστερη γλυπτική, ειδικά σε μάρμαρο, το άκρο της σμίλης εφαρμόζεται σε πιο ρηχή γωνία, περίπου στις 70° ή λιγότερες ώστε η επιφάνεια του λίθου να κοπεί και όχι να θρυμματιστεί. Δουλεύοντας με διαδοχικά ακαριαία χτυπήματα, σηκώνοντας τη σμίλη μεταξύ εκάστου χτυπήματος για την κοπή και διαμόρφωση μια σειράς σύντομων αυλακώσεων σε όλη την επιφάνεια, ένας χαράκτης, γλύπτης, μπορεί να αφαιρέσει μεγάλες ποσότητες υλικού γρήγορα. Η μέθοδος αυτή μερικές φορές ονομάζεται «mason's stroke» ή αλλιώς «το χτύπημα του τέκτονα».

Δουλεύοντας σε ακόμα πιο ρηχή γωνία, περίπου στις 45°, και χωρίς την επανατοποθέτηση της σμίλης μετά από κάθε χτύπημα, δημιουργούνται σειρές από ελεγχόμενες παράλληλες γραμμές που βοηθούν να καθοριστεί η μορφή ενός σχήματος. Αυτή η τεχνική ονομάζεται «το χτύπημα του γλύπτη», ή «sculptor's stroke». Πολύ χαρακτηριστικά ίχνη από αυτή τη τεχνική φαίνονται στη παρακάτω εικόνα 3.2 όπου απεικονίζει το εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία.

Μια μικρή παραλλαγή του εργαλείου αυτού είναι η σμίλη σημείου για ασβεστόλιθο που τείνει να έχει μια ευρύτερη άκρη κοπής, συνήθως 0,5 εκ.. Αυτή η ευρύτερη άκρη ταιριάζει καλύτερα για λίθους με χαμηλή σκληρότητα που μπορούν να συντριβούν και να καταστραφούν χωρίς να γίνει σωστή μορφοποίηση από το κλασικό εργαλείο σμίλης σημείου.

Τα ίχνη της σμίλης σημείου σε επιφάνεια λίθου

Πραγματικά ίχνη χρήσης και το χαρακτηριστικό χάραγμα της σμίλης σημείου σε λίθο



Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5]
Εικόνα 3.2: Χαρακτηριστικά ίχνη στην επιφάνεια του λίθου από την εφαρμογή της σμίλης σημείου στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία

Σε λίθους με χαμηλή σκληρότητα, η συγκεκριμένη σμίλη σημείου μπορεί εύκολα να αφήσει λευκά ίχνη στην επιφάνεια ή αλλιώς όπως ονομάζονται «μελανιές λίθου», όπου δημιουργούνται όταν το εργαλείο έχει πάει βαθύτερα στην επιφάνεια του λίθου από τη προβλεπόμενη. Πρέπει λοιπόν να ληφθεί μέριμνα ώστε το εργαλείο να μην «θαφτεί», να μη προχωρήσει βαθιά στην επιφάνεια του λίθου διότι αυτά τα ακούσια λευκά ίχνη θα εμφανιστούν μόλις ο λίθος στιλβωθεί [4][5].

Τα ίχνη αυτά από το συγκεκριμένο εργαλείο αφαιρούνται μόνο με την επανακατεργασία του λίθου πιο κάτω από την επισημασμένη επιφάνεια και σε πολλές περιπτώσεις αυτό είναι απαγορευτικό λόγω των διαστάσεων του λίθου και των προ απαιτούμενων διαστάσεων που πρέπει να έχει το τέχνημα βάση του γλύπτη.

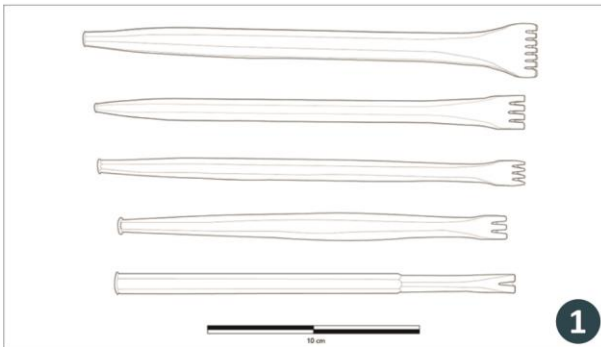


3.2 Σμίλη οδοντωτή

Η οδοντωτή σμίλη, ή αλλιώς claw chisel όπως ονομάζεται στο Ηνωμένο Βασίλειο, είναι μια μεταλλική σμίλη αποτελούμενη από άξονα μήκους 16-22 εκ., περίπου 1-2 εκ. σε διάμετρο και μια οδοντωτή ακμή στο ένα άκρο πλάτους περίπου 0,5-10 εκ.. Ο αριθμός των δοντιών στην αιχμή κυμαίνεται συνήθως μεταξύ τριών και πέντε δοντιών αλλά υπάρχει και σμίλη με δύο δόντια Ιταλικής προέλευσης εν ονόματι «Dente di Cane» ή αλλιώς «σμίλη κυνοδόντων».

Σμίλες οδοντωτές

Οι διάφοροι τύποι και τα μεγέθη οδοντωτών σμιλών



1



2

Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.3: Σχέδια οδοντωτών σμιλών (1) και πραγματικές οδοντωτές σμίλες χειρός, σε διάφορες διαστάσεις (2)

Η οδοντωτή σμίλη χρησιμοποιείται αμέσως μετά την εφαρμογή της σμίλης σημείου αφού έχει γίνει η πρώτη εκχόνδριση του υλικού. Πρακτικά χρησιμοποιείται για να βελτιώσει περαιτέρω τη μορφή του λίθου και να αφαιρέσει τις κορυφές, τα ίχνη και τις κουλάδες που άφησε η χρήση του προηγούμενου εργαλείου.

Μία σμίλη σημείου, όπως προαναφέρθηκε, δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας βαθιάς αυλακώσης χωρίς την ανησυχία μεγάλου σπασίματος του λίθου. Οι οδοντωτές σμίλες κάνουν ακριβώς το ίδιο αλλά εφαρμόζοντας πολλά μικρότερα σημεία αντί για ένα και σχηματίζοντας πολλές μικρότερες αυλακώσεις παρά μια κύρια.

Αυτός ο τύπος σμίλης δεν κόβει τον λίθο βαθύτερα από το βάθος των δοντιών, το οποίο συνήθως είναι περίπου 1-2 χιλιοστά. Το κύριο αρνητικό της συγκεκριμένης σμίλης είναι πως είναι δύσκολο στο να ακονιστεί χωρίς τη σταδιακή αφαίρεση των δοντιών.

Παρακάτω απεικονίζονται τέτοιες σμίλες στην εικόνα 3.3, οι οποίες ποικίλουν σε μέγεθος και αριθμό δοντιών, ανάλογα τη προς κατεργασία επιφάνεια και το ίχνος που θέλει να αφήσει ο καλλιτέχνης σε κάθε περίπτωση και κατεργασία.

Στο σχήμα 1 της εικόνας 3.3 απεικονίζονται τα σχέδια σε διάφορες διαστάσεις της οδοντωτής σμίλης και στο σχήμα 2 απεικονίζονται πραγματικές χαλύβδινες οδοντωτές σμίλες χειρός σε διάφορες διαστάσεις και με διαφορετικό αριθμό οδοντώσεων [4][5].

Τυπικά η συγκεκριμένη σμίλη διατηρείται υπό γωνία 35-60° ως προς την επιφάνεια του λίθου και αφήνει πίσω τις χαρακτηριστικές σειρές ρηχών παράλληλων γραμμών. Κατά τις περισσότερες κατεργασίες η εφαρμογή της σμίλης αυτής ξεκινάει από τη πιο τραχιά επιφάνεια του λίθου ως σημείο εκκίνησης ώστε να σχηματισθούν με ευκολία οι πρώτες αυλακώσεις – οδηγοί.

Μερικές φορές συγκρατείται πλησιέστερα προς τη κατακόρυφο για τη πιο βαθιά κοπή στο λίθο και σε αυτή τη περίπτωση τα ίχνη είναι λιγότερο κανονικά. Η εφαρμογή της οδοντωτής σμίλης επιβάλλεται να γίνεται με αρκετά μεγάλη πίεση της οδόντωσης πάνω στο λίθο ώστε να αποφευχθεί τυχόν σπάσιμο κάποιου δοντιού.



Επίσης για τη καλύτερη χρήση της σμίλης αυτής και το καλύτερο αποτέλεσμά της ο τεχνίτης την εφαρμόζει διαδοχικά ξαναπερνώντας την πάνω από τα ίχνη που άφησε κατά το προηγούμενο πέρασμα της, μέχρι να κατεργαστεί όλη η επιφάνεια του λίθου.

Έπειτα το σχήμα των οδοντώσεων το οποίο μπορεί να είναι είτε μυτερό είτε τετραγωνισμένο επηρεάζει εξίσου τα ίχνη που θα αποτυπωθούν στην επιφάνεια του λίθου. Οι σμίλες με πολύ πλατιά οδόντωση είναι κατάλληλες για εργασία σε μεγάλη επίπεδη ή κυρτή περιοχή επί του λίθου. Αντίθετα, σε μικρές και κοίλες περιοχές η σμίλη πρέπει να είναι πιο στενή. Για πρώτη εφαρμογή στο λίθο χρησιμοποιούνται πρώτα μεγάλες οδοντωτές σμίλες (μεγάλη οδόντωση) ενώ στη συνέχεια εφαρμόζονται οδοντωτές σμίλες με μικρότερα ή λεπτότερα δόντια.

Σε γενικές γραμμές η οδοντωτή σμίλη με μικρό αριθμό δοντιών, χρησιμοποιείται μόνο ευρέως στη μαρμαρογλυπτική και σε εφαρμογές με λίθους μεγάλης σκληρότητας. Αντίστοιχα οδοντωτές σμίλες με μεγάλο αριθμό οδόντωσης βρίσκουν εφαρμογή σε λίθους με μικρή σκληρότητα κοντά στο 3 της κλίμακας Mohs. Αυτές οι σμίλες δεν χρησιμοποιούνται ποτέ σε γρανίτη επειδή η σκληρότητα του λίθου θα προκαλούσε σπάσιμο της οδόντωσης.

Τα ίχνη μιας τέτοιας σμίλης, μπορούν να φανούν πολύ καθαρά στα δύο τμήματα αγαλμάτων της εικόνας 3.4 όπου απεικονίζουν τμήματα από μαρμάρινα αγάλματα στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία. Όπως φαίνεται παρακάτω, τα ίχνη των οδοντώσεων που αφήνει αυτή η σμίλη είναι εμφανέστατα και στις δύο περιπτώσεις αγαλμάτων της εικόνας 3.4 ανεξαρτήτως το υλικό ή τη πυκνότητά του.

Τα ίχνη της οδοντωτής σμίλης σε λίθο

Πραγματικά αποτυπώματα χρήσης και το χαρακτηριστικό χάραγμα της οδοντωτής σμίλης σε λίθο



Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5]
Εικόνα 3.4: Αποτύπωμα οδοντωτής σμίλης σε τμήματα μαρμάρινων αγαλμάτων στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία

Σε λίθους με μικρότερη σκληρότητα όπως ο ασβεστόλιθος ή κάποια είδη αμμόλιθου δε χρειάζεται απαραίτητα η εφαρμογή αυτής της σμίλης, καθώς ο καλλιτέχνης ή ο τεχνίτης μπορούν μετά από τη κατεργασία με τη σμίλη σημείου να χρησιμοποιήσουν κατευθείαν την επίπεδη σμίλη για τη λείανση της επιφάνειας και της ανάδειξης του τελικού σχήματος. Τέλος προσοχή πρέπει να δίνεται στα λευκά εκούσια ίχνη, παρόμοια με αυτά της σμίλης σημείου, που μπορούν να σχηματισθούν κατά την εφαρμογή και αυτού του τύπου σμίλης όταν η γωνία εφαρμογής είναι σχεδόν κάθετη και ασκηθεί μεγάλη κρουστική δύναμη.

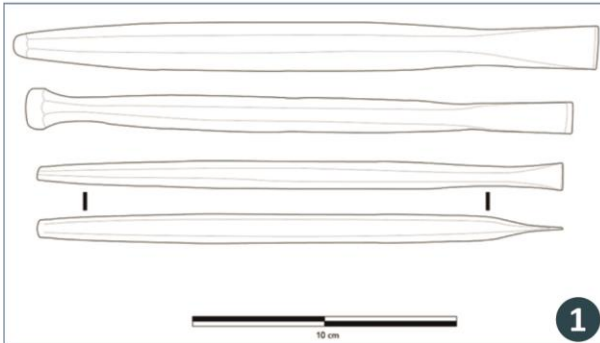


3.3 Σμίλη επίπεδη

Η επίπεδη σμίλη είναι μεταλλική σμίλη με άξονα μήκους από 15-25 εκ., με 1-2 εκ. διάμετρο και στο ένα άκρο της έχει μια επίπεδη ακονισμένη αιχμή κάθετα προς τη γραμμή του άξονα. Το πλάτος της ακμής αυτής μπορεί να ποικίλει σημαντικά, μεταξύ 0,5 και 10 εκ..

Επίπεδες σμίλες

Οι διάφοροι τύποι και τα μεγέθη επίπεδων σμιλών



1



2

Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.5: Σχέδια επίπεδων σμιλών (1) και πραγματικές επίπεδες σμίλες χειρός (2) σε διάφορες διαστάσεις

Οι επίπεδες σμίλες και κατ' επέκταση οι σμίλες Roundel, χρησιμοποιούνται για την εξομάλυνση της υφής που άφησε η σμίλη η οδοντωτή, καθώς ετοιμάζει το λίθο για το φινίρισμα. Τέτοιες σμίλες, σχέδια και πραγματικές πνευματικού σφυριού απεικονίζονται στο σχήμα 3.5.

Τυχόν ίχνη, κορυφές, ασυνέχειες, οπές από τη σμίλη σημείο ή τη σμίλη δοντιών μπορούν να αφαιρεθούν και να λειανθούν με τις επίπεδες σμίλες [4][5].

Η επίπεδη σμίλη συνήθως διατηρείται σε γωνία 35-60 ° ως προς την επιφάνεια του λίθου, αλλά όπως και στις άλλες σμίλες μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορους τρόπους και σε διαφορετικές γωνίες, ανάλογα με τον τύπο του υλικού και αν χρησιμοποιείται με προσοχή μπορεί να εφαρμοστεί για την εξομάλυνση ή για τη γρήγορη διαμόρφωση του υλικού.

Το αποτύπωμα που αφήνει ένα τέτοιο εργαλείο, είναι μικρές ομαλές σειρές διακριτικών παράλληλων γραμμών που μερικές φορές δεν είναι ιδιαίτερα εμφανής αν ο γλύπτης έχει εργαστεί προσεκτικά.

Οι επίπεδες σμίλες είναι ιδανικές για τη γρήγορη αφαίρεση υλικού σε λίθους με χαμηλή σκληρότητα καθώς μπορούν να αφαιρέσουν

ταχύτερα υλικό σε αυτούς τους λίθους από ότι η σμίλη σημείου που περιεγράφηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Αυτού του τύπου οι σμίλες, ανεξάρτητα από το πλάτος τους, εφαρμόζονται σε ρηχές γωνίες και με μεγάλη πίεση στην επιφάνεια του λίθου.

Στην εικόνα 3.5 απεικονίζονται τα σχέδια τέτοιων σμιλών (1) καθώς και επίπεδες λαξευτικές σμίλες πνευματικού σφυριού (2). Ενώ παρακάτω, στην εικόνα 3.6 απεικονίζονται τα χαρακτηριστικά ίχνη που αφήνει αυτός ο τύπος λαξευτικής σμίλης σε φυσικό λίθο και πιο συγκεκριμένα στο εσωτερικό της στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως το αποτύπωμα που αφήνει κάθε εργαλείο είναι διαφορετικό, χρησιμοποιούνται όλα σε διαφορετική σειρά, ανάλογα με τις εργασίες και τις ανάγκες του λίθου και κατ' επέκταση του καλλιτέχνη και φυσικά ανάλογα τη διαδικασία αφαίρεσης υλικού.

Τα ίχνη της επίπεδης σμίλης σε λίθο

Πραγματικά ίχνη χρήσης και το χαρακτηριστικό χάραγμα της επίπεδης σμίλης σε λίθο



Εικόνα 3.6: Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5] Χαρακτηριστικά ίχνη στην επιφάνεια του γλυπτού από την εφαρμογή της επίπεδης σμίλης στο εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, Ιταλία

Τα αποτελέσματα εφαρμογής κάθε εργαλείου φαίνονται πολύ χαρακτηριστικά στη παρακάτω εικόνα 3.7.

Τα χάραγματα όλων των κύριων σμιλών σε λίθο

Πραγματικά ίχνη χρήσης και το χαρακτηριστικό χάραγμα των κύριων σμιλών, σμίλης σημείου, οδοντωτής, επίπεδης, σε λίθο



Εικόνα 3.7: Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5] Αποτυπώματα όλων των κύριων τύπων λαξευτικών σμιλών σε ασβεστόλιθο, συμπεριλαμβανομένου (από αριστερά προς δεξιά) της σμίλης διάτρησης, των οδοντωτών σμιλών και της επίπεδης σμίλης.

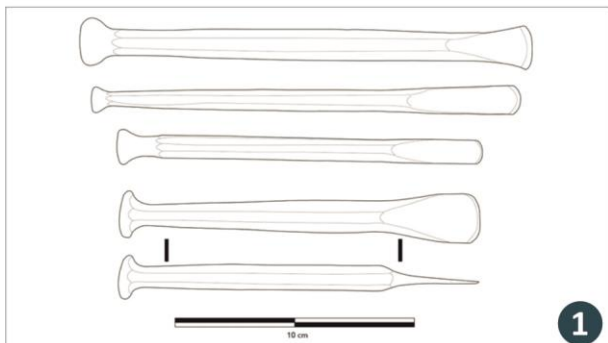
3.4 Σμίλη κυρτή τύπου roundel

Οι σμίλες roundel είναι σχεδόν ίδιες με τις επίπεδες, με τη μοναδική διαφορά πως η αιχμή στο άκρο τους είναι κυρτή και όχι επίπεδη. Η καμπύλη της αιχμής, ποικίλει σημαντικά από ένα ημικύκλιο σε δυσδιάκριτη καμπύλη και τα ίχνη που αφήνει πάνω στο λίθο διατηρούν την ίδια μορφή.



Κυρτές σμίλες τύπου roundel

Οι διάφοροι τύποι και τα μεγέθη κυρτών σμιλών



Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.8: Σχέδια κυρτών σμιλών (1) και πραγματικές κυρτών σμιλών χειρός (2) σε διάφορες διαστάσεις

κατάλληλο για το σκάλισμα μαλλιών ή άλλων χαρακτηριστικών προσώπου. Μπορεί να καταταχθεί στα εργαλεία δημιουργίας λεπτομερειών. Στη παρακάτω εικόνα 3.9 απεικονίζεται το χάραγμα της σμίλης αυτής, σε ένα τμήμα αγάλματος από μάρμαρο και στο δεύτερο σχήμα της ίδιας εικόνας απεικονίζεται το αποτέλεσμα της κυρτής σμίλης για τη δημιουργία φύλλων δέντρου σε μάρμαρο και τα δύο τμήματα από το εσωτερικό της Στήλης του Τραϊανού στη Ρώμη, στην Ιταλία [4][5].

Είναι δύσκολο να γίνει διάκριση μεταξύ επίπεδης σμίλης και σμίλης με στρογγυλεμένη απόληξη. Μια μικρή διαφοροποίηση του σχεδιασμού της επίπεδης σμίλης, οδηγεί στη σμίλη τη κυρτή. Όπως και η επίπεδη σμίλη και η οδοντωτή, η roundel σμίλη μπορεί και αυτή να εφαρμοστεί σε γωνία 35-60 μοιρών κατά τη χρήση της. Πολύ συχνά χρησιμοποιείται σε μάρμαρο και λίθους με μικρή σκληρότητα, αλλά σχεδόν ποτέ σε γρανίτη.

Οι σμίλες roundel χρησιμοποιούνται για πρόχειρες και ομαλές κατεργασίες και είναι κατάλληλες για ευαίσθητες περιοχές του γλυπτού δεδομένου ότι οι σμίλες αυτές περιλαμβάνουν γωνίες που δε θα κατεργαστούν υλικό.

Στα αριστερά στην εικόνα 3.8 απεικονίζονται τα αντίστοιχα σχέδια κυρτών σμιλών (1) καθώς και πραγματικές χαλύβδινες σμίλες κυρτές χειρός (2). Είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για λάξευση βαθουλωμάτων καθώς το σχήμα αυτού του εργαλείου ταιριάζει τέλεια με τις καμπύλες.

Περιστασιακά χρησιμοποιείται για τη δημιουργία επιφανειακής υφής φυσικών μορφών, όπως τα δέντρα, οι βράχοι και το νερό.

Το σχήμα του εργαλείου το καθιστά επίσης

Τα ίχνη της κυρτής σμίλης σε λίθο

Πραγματικά ίχνη χρήσης και το χαρακτηριστικό χάραγμα της κυρτής σμίλης σε λίθο



Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5]
Εικόνα 3.9: Αποτύπωμα σμίλης roundel σε τμήματα αγαλμάτων από ασβεστόλιθο και μάρμαρο, στη πρώτη περίπτωση για λείανση κυρτών περιοχών (1) και στη δεύτερη περίπτωση για τη δημιουργία λεπτομερειών φύλλων δέντρου (2)

3.5 Εργαλεία χειρός για σκληρότερους λίθους

Τα εργαλεία για σκληρότερους λίθους, όπως ο γρανίτης ή ο ψαμμίτης/αμμόλιθος και κάποιες κατηγορίες μαρμάρων, απαιτούνται να έχουν οπωσδήποτε μύτη καρβιδίου ή μύτη επικαλυμμένη με καρβίδιο, προκειμένου να κατεργαστούν.

Λαξευτικές σμίλες για σκληρότερα υλικά
Σμίλες με επικάλυψη και σμίλες καρβιδίου



Στην εικόνα που ακολουθεί, 3.10 και σχήμα 1, απεικονίζεται μύτη καλεμιού χειρός, εναλλασσόμενη φτιαγμένη από καρβίδιο βολφραμίου (tungsten carbide), όπου ενδείκνυται για κατεργασίες σκληρών λίθων και μπορεί να αλλάξει μόλις φθαρεί.

Στο παρακάτω σχήμα 2 της εικόνας 3.10, απεικονίζεται ένα σετ σμιλών πνευματικού σφυριού με επικάλυψη καρβιδίου μόνο στην ακμή της σμίλης.

Ενώ το καρβίδιο είναι πολύ σκληρό σαν μέταλλο, είναι επίσης πολύ εύθραυστο και μπορεί να σπάσει αν χτυπηθεί στο λίθο με λάθος τρόπο ή αν κολλήσει κατά τη κατεργασία στο λίθο σε κάποια απότομη τραχιά επιφάνεια [4][5].

Σε αντίθεση με το χάλυβα, το καρβίδιο απαγορεύεται να υποστεί κατεργασία βαφής διότι η απότομη αλλαγή θερμοκρασίας κατά τη ψύξη του, θα μπορούσε να προκαλέσει το θρυμματισμό του εργαλείου.

Σε γενικές γραμμές, αυτά τα εργαλεία είτε με επικάλυψη είτε κατασκευασμένα εξ ολοκλήρου από καρβίδιο, θέλουν προσοχή και στη χρήση και στη συντήρησή τους.

Πηγή: <http://www.trowandholden.com/carbidetech> [8]

Εικόνα 3.10: Λαξευτική σμίλη με εναλλάξιμη μύτη από καρβίδιο του βολφραμίου (1) και επικαλυμμένες σμίλες καρβιδίου του βολφραμίου (2)

Όταν οι σμίλες αυτές τροχίζονται, απαγορεύεται η δημιουργία μεγάλων κοπτικών - απότομων ακμών καθώς συνιστάται οι ακμές να είναι σχετικά στρογγυλεμένες. Επίσης, χρειάζονται μεγάλη προσοχή κατά τη μεταφορά τους διότι εάν και το υλικό είναι σκληρό, είναι ιδιαίτερα εύθραυστο όταν χτυπηθεί από άλλα εργαλεία καρβιδίου [8].

Η εφαρμογή τους δεν περιορίζεται μόνο σε σκληρά υλικά με 5 και άνω τιμή στη κλίμακα Mohs αλλά ενδείκνυται και για λίθους με μικρότερη σκληρότητα. Οι σμίλες αυτές είναι διαθέσιμες σε όλες τις μορφές και τύπους που μελετήθηκαν στα παραπάνω κεφάλαια και αξίζει να αναφερθεί ότι σε κόστος η αξία τους είναι τριπλάσια από ότι μια συμβατική σμίλη από χάλυβα ή ακόμα και βαμμένο χάλυβα. Για το λόγο αυτό, χρησιμοποιούνται από τους τεχνίτες / γλύπτες μόνο εφόσον κριθεί απαραίτητο για τη κατεργασία του λίθου.



3.6 Σφυριά χειρός

Όλα τα καλέμια – σμίλες που προαναφέρθηκαν, κρούονται από ένα σφυρί. Τα περισσότερα σφυριά της λιθοτεχνίας είναι μεταλλικά ή ξύλινα, εάν και σε παλαιότερα χρόνια ήταν μάλλον απλοί λίθοι. Το μέγεθος και το σχήμα του κεφαλιού του σφυριού και το μήκος της λαβής του μπορεί να ποικίλει σημαντικά, ανάλογα με το λίθο που χρησιμοποιείται και την εκάστοτε διαδικασία γλυπτικής ή ακόμα και από τις διάφορες παραδόσεις που έχουν αναπτύξει τις διάφορες μορφές των σφυριών.

Λαξευτικά σφυριά χειρός

Διάφοροι τύποι σφυριών και μεγεθών για κάθε κατεργασία και τεχνίτη



Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.11: Σφυριά χειρός σε διάφορα μεγέθη και θάρη ξεκινώντας από σφυριά τριών κιλών (1) καταλήγοντας σε μεγαλύτερα χαλύβδινα σφυριά

Στα δεξιά του παραπάνω σχήματος 1 απεικονίζονται τα σφυριά περικοπής, όπου διαθέτουν κεφάλι από μαλακό χάλυβα. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν με σμίλες που έχουν βαφτεί και σκληρυνθεί τα άκρα τους και με αυτό το συνδυασμό, θα υπάρξει παραμόρφωση στη κεφαλή του σφυριού.

Σε αυτό τα σημείο πρέπει να αναφερθεί πως απαγορεύεται η χρήση σφυριού από σκληρυμένο χάλυβα σε συνδυασμό με βαμμένη/σκληρυμένη μύτη σμίλης. Ο λόγος είναι διότι κατά τη διάρκεια

Τα μοντέρνα ιταλικά σφυριά μαρμαρογλυπτικής έχουν συνήθως ένα τετράγωνο κεφάλι και μια σχετικά κοντή λαβή, μήκους 15-20 εκ..

Στη Βρετανία και τη Γαλλία, χρησιμοποιούνται κυρίως στρογγυλεμένα σφυριά κυρίως για φινιρίσμα. Τα ξύλινα σφυριά είναι επίσης κοινά στη βορειοδυτική Ευρώπη και αυτά τείνουν να έχουν μεγαλύτερες στρογγυλεμένες κεφαλές, με λαβές των 15-20 εκ..

Οι περισσότεροι σύγχρονοι καλλιτέχνες χρησιμοποιούν μόνο έναν τύπο σφυριού, ανάλογα με το που έμαθαν τη τέχνη και το τύπο του λίθου που χρησιμοποιούν. Ένα μεγάλο μέρος σκαλίσματος μαρμάρου και γρανίτη στη σύγχρονη εποχή γίνεται και με τη χρήση πνευματικών σφυριών.

Τα σφυριά που χρησιμοποιούνται στη γλυπτική, έρχονται σε μεγάλη ποικιλία μεγέθους αλλά και βάρους για διάφορες χρήσεις το κάθε ένα.

Το σφυρί δύο (2) κιλών είναι καλό για γενικές εργασίες γλυπτικής και για σχετικά γρήγορη λάξευση. Στην εικόνα που ακολουθεί 3.10 και σχήμα 1, τα δύο πρώτα σφυριά στο αριστερό άκρο, έχουν σχεδιαστεί για χρήση σε γρανίτη και διαθέτουν ένα σκληρό κεφάλι φτιαγμένο από χάλυβα.

Χρησιμοποιούνται με σμίλες που δεν έχουν υποστεί βάψιμο και προκαλεί συνήθως ανοίγματα και παραμορφώσεις στο πίσω μέρος επαφής των σμιλών.



δυνατής κρούσης μπορεί να αποσπασθούν μεταλλικά θραύσματα από τη σμίλη όπου προκαλούν σωματικό κίνδυνο και ανούσια φθορά του εργαλείου.

Τέλος, στην εικόνα 3.11 και στο σχήμα 2, φαίνονται τα σφυριά τριών (3) κιλών και άνω όπου οδηγούν το επαρκές βάρος ώστε να οδηγηθεί αποτελεσματικά η λαξευτική σμίλη σημείου και να γίνει αφαίρεση μεγάλου όγκου υλικού [4][5].

3.7 Πνευματικά σφυριά

Εκτός από τα σφυριά χειρός, υπάρχουν και πνευματικά σφυριά. Αυτά τα πνευματικά σφυριά, λειτουργούν βάση ενός εσωτερικού εμβόλου που κινείται με πεπιεσμένο αέρα. Διαδίδει πολλά ταχεία χτυπήματα ανά δευτερόλεπτο. Ιστορικά, η εταιρία Cuturi εφηύρε και πατένταρε το πρώτο πνευματικό σφυρί και το κατασκεύασε ενώ δύο (2) δεκαετίες μετά κατασκεύασε και η εταιρία Trow & Holden ένα παρόμοιο εργαλείο.

Πνευματικά σφυριά κρουστικής λάξευσης
Σφυριά πνευματικά σε διάφορα μεγέθη για γρήγορες κατεργασίες σε λίθους



Στη παρακάτω εικόνα 3.12 φαίνονται τα πνευματικά σφυριά Cuturi (1) και έπειτα στο υπό σχήμα 2 τα ίδια πνευματικά σφυριά στα εμπορικά μεγέθη που υπάρχουν.

Αυτά τα σφυριά βρίσκονται σε διάφορα μεγέθη ανάλογα τη κατεργασία και το καλλιτέχνη. Τα μεσαίου μεγέθους πνευματικά σφυριά, χρησιμοποιούνται για γενικές εργασίες λάξευσης ενώ τα μεγαλύτερα, για την αφαίρεση μεγαλύτερου όγκου υλικού καθώς είναι ικανά λόγω μεγαλύτερης διαδρομής εμβόλου να ασκούν περισσότερη δύναμη.

Από την άλλη πλευρά, τα μικρά μεγέθη πνευματικών σφυριών, μεγέθους πέννας, χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία λεπτομερειών και χάραξης ακριβείας.

Πηγή: <http://shop.g-gibson.com/cuturi-air-hammers-bottle-type-1476-p>

Εικόνα 3.12: Πνευματικά σφυριά τύπου Cuturi σε διάφορα μεγέθη για όλες τις κατεργασίες κρουστικής λάξευσης

Τα θετικά της ανακάλυψης και εφαρμογής των πνευματικών σφυριών είναι τα ακόλουθα:

1. Επιτρέπουν τη ταχύτερη αφαίρεση υλικού με

- ρυθμιζόμενη ταχύτητα κρούσεων,
- Ενεργοποιούνται με την επαφή της σμίλης στο λίθο ή με την επαφή της σμίλης στο κλείστρο του πνευματικού σφυριού,
- Υπάρχει σε διάφορα μεγέθη για όλες τις κατεργασίες,
- Μπορεί να χειριστεί άνετα από τον καλλιτέχνη και με ακρίβεια, λόγω της μορφής του.

Τα αρνητικά των πνευματικών σφυριών είναι τα ακόλουθα:

- Με τη συνεχή χρήση η σταθερή δόνηση του σφυριού μπορεί να προκαλέσει μούδιασμα στα χέρια,
- Δεν υπάρχει μηχανισμός συγκράτησης λαξευτικής σμίλης σε αυτά τα εργαλεία, επομένως υπάρχει σοβαρός κίνδυνος τραυματισμού του χρήστη,
- Είναι απαραίτητος επιπλέον εξοπλισμός, υψηλού κόστους, όπως κομπρεσέρ αέρα.



Οι σμίλες που χρησιμοποιούνται για τα πνευματικά σφυριά είναι διαφορετικές από τις σμίλες χειρός. Το σώμα τους είναι εξαγωνικό και η απόληξή τους στο άκρο που εισάγεται στο εργαλείο είναι στρογγυλεμένη. Επίσης τα εργαλεία αυτά για τα πνευματικά σφυριά κατεργάζονται θερμικά με διαφορετικό τρόπο. Οι σμίλες αυτές πρέπει να είναι θερμικά κατεργασμένες και στα δύο άκρα τους όσο να μη παραμορφώνονται και δημιουργούν ζημιές από τα χτυπήματα στο ίδιο το εργαλείο.

3.8 Ειδικού τύπου εργαλεία

Υπάρχουν επίσης εξειδικευμένα εργαλεία, όπως σμίλες πολλών σημείων ή σμίλες τύπου bushing, frosting, σταυρωτές ή cur που χρησιμοποιούνται σε ειδικές διεργασίες ανάλογα το υλικό. Τέτοιες διεργασίες είναι είτε το ξεχόνδρισμα του λίθου, ή το γενικό σκάλισμα, ο εξευγενισμός του λίθου ή ακόμα και η πρόσδοση συγκεκριμένης υφής κατά τη διεργασία της λείανσης.



Ειδικές λαξευτικές σμίλες

Για απαλοιφή σημαδιών κατεργασίας μέχρι και για δημιουργία συγκεκριμένης υφής στον λίθο

Οι σμίλες με τα τέσσερα (4) σημεία τύπου bushing, χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για να διαλύσουν τους κρυστάλλους του γρανίτη, όταν γίνεται η τελική διαμόρφωση του λίθου.

Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται οι σμίλες αυτές για την κατεργασία της εκχόνδρισης σε λίθους με έντονες κρυσταλλικές επιφάνειες. Αυτές οι σμίλες απεικονίζονται στην εικόνα 3.13, οι δύο πρώτες στα αριστερά με τα τέσσερα (4) δόντια.

Το σταυρωτό εργαλείο (εικόνα 3.13 η τελευταία δεξιά σμίλη), μπορεί να δημιουργήσει σύνθετες επιφάνειες όπως αναπαραστάσεις υφασμάτων και νερού ενώ η σμίλη τύπου cur ή αλλιώς κυπέλου, είναι ικανό να δημιουργήσει κοίλες επιφάνειες όπως αυτές που απαιτούνται σε μια προτομή.

Πηγή: http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools [4], [5]

Εικόνα 3.13: Διαφόρων ειδών λαξευτικές σμίλες, συμπεριλαμβανομένων των σμιλών τεσσάρων (4) σημείων και έξι σημείων, της σμίλης τύπου cur και frosting (από τα αριστερά προς τα δεξιά)

Τέλος το εργαλείο τύπου frosting, όπου απεικονίζεται σε δύο διαστάσεις στο κέντρο της εικόνας 3.13, χρησιμοποιείτε για να προσδώσει τη τέλεια υφή σε επιφάνεια κρυσταλλικού μαρμάρου. Αυτά τα εργαλεία χρησιμοποιούνται σχετικά συχνά για την απαλοιφή ιχνών από τις οδοντωτές σμίλες και της σμίλες διάτρησης [4][5].

Τα παραπάνω εργαλεία χρησιμοποιούνται ανάλογα την υφή που θέλει να προσδώσει ο γλύπτης στο τέχνημά του και οι γωνίες εφαρμογής τους δεν είναι συγκεκριμένες. Η χρήση τους δεν είναι απαραίτητη παρά μόνο όταν χρειάζεται ο καλλιτέχνης να προσδώσει ειδική υφή στο γλυπτό του και συνήθως εφαρμόζονται κατά τη κατεργασία του εξευγενισμού και όχι της λείανσης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως ο καλλιτέχνης / γλύπτης σε πάρα πολλές περιπτώσεις σχεδιάζει και κατασκευάζει τα δικά του εργαλεία χωρίς κάποια τυποποίηση ως προς τη μύτη και το υλικό της λαξευτικής σμίλης, ανάλογα με την απαίτηση της γεωμετρίας και της υφής της επιφάνειας προς κατεργασία.

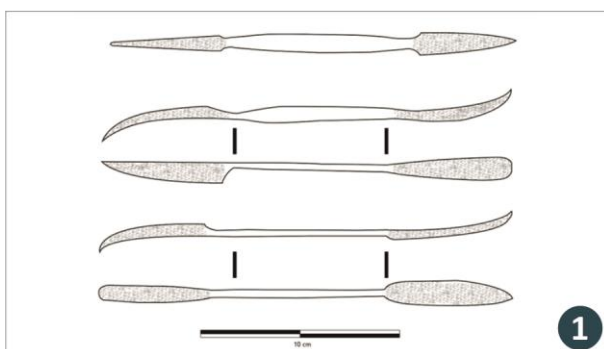


3.9 Λίμες και λειαντικά εργαλεία

Η ράσπα, είναι ένα είδος λίμας. Οι σύγχρονες λειαντικές λίμες, έχουν δύο ακμές και το μήκος τους κυμαίνεται από 12-40 εκ. το οποίο περιλαμβάνει έναν άξονα στη μέση και δύο επίπεδες ακμές στα άκρα του άξονα, υπερβολικά ακονισμένες και με αιχμηρές γωνίες. Τα άκρα αυτά, μπορεί να είναι τετράγωνα, στρογγυλεμένα, επίπεδα ή ακόμα και καμπυλωτά ανάλογα με το επιδιωκόμενο φινιρίσμα.

Λίμες και λειαντικά εργαλεία

Τα απαραίτητα εργαλεία για τη χάραξη λεπτομεριών στα γλυπτά



Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/2-stoneworking-tools-and-toolmarks-w-wootton-b-russell-p-rockwell> [5]

Εικόνα 3.14: Σχέδια λίμας ή rasp, σε διάφορα μεγέθη (1) καθώς και πραγματικές λίμες χειρός από χάλυβα (2)

Η λίμα, γνωστή και ως rasp ή filler, εφαρμόζεται σε όλη την επιφάνεια του γλυπτού και χρησιμοποιείται για την εξομάλυνση της επιφάνειας μετά την εφαρμογή της επίπεδης σμίλης ή της σμίλης roundel και λόγω του λεπτού σχήματός της, αποτελεί ένα ευέλικτο εργαλείο δημιουργίας λεπτομερειών γύρω από σύνθετες επιφάνειες και σχήματα.

Χρησιμοποιείται κυρίως από γλύπτες μαρμάρου, δεδομένου ότι λόγω σκληρότητας των λίθων, θα έχουν μικρή επίδραση σε γρανίτη, ενώ οι ξύστρες στα άκρα του εργαλείου είναι πιο εύκολες στη χρήση για την εξομάλυνση μαλακότερων λίθων.

Αριστερά στην εικόνα 3.14 απεικονίζονται τα σχέδια τέτοιων λειαντικών σμιλών (1) καθώς και πραγματικές λειαντικές λίμες χειρός από χάλυβα (2). Οι λίμες αυτές δε χρησιμοποιούνται σε σκληρούς λίθους, παρά μόνο σε μαλακούς και δεν βάζονται ούτε επικαλύπτονται.

Για την επίτευξη ενός πολύ λείου φινιρίσματος στην επιφάνεια του λίθου, χρησιμοποιούνται

διάφορα είδη λειαντικών υλικών που εφαρμόζονται με τριβή σε όλη την επιφάνεια του κατεργασμένου λίθινου τεμαχίου. Τέτοια υλικά είναι άλλοι λειαντικοί λίθοι, σε μορφή πλακών, λειαντικά υφάσματα με ρινίσματα ή ακόμα και τροχοί. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως οι λίμες ως εργαλεία είναι αποκλειστικά και μόνο χειρός και δεν μπορούν να εφαρμοστούν σε λίθο με χρήση πνευματικού σφυριού ή ηλεκτρικού περιστροφικού εργαλείου.

Αυτά τα εργαλεία κυμαίνονται από σχετικά χοντρά υλικά, όπως σμύριδα, σε μαλακότερα υλικά όπως ψαμμίτης ή ελαφρόπετρα. Τα συγκεκριμένα υλικά εφαρμόζονται στην επιφάνεια του λίθου με νερό, το οποίο βοηθά στην απομάκρυνση της σκόνης από το λίθο που έχει κατακαθίσει κατά τη κατεργασία της απόξεσης. Αυτό επίσης βοηθά στη στίλβωση της επιφάνειας και στο βαθύ γυάλισμά της.

Παρακάτω στην εικόνα 3.15 απεικονίζεται η εφαρμογή του λίθου ψαμμίτη σε τμήμα μαρμάρινου αγάλματος προς κατασκευή για τη δημιουργία επίπεδων και λείων επιφανειών.

Λείανση με πέτρα ψαμμίτη

Όταν οι επιφάνειες είναι μεγάλες και με δύσκολη γεωμετρία εφαρμόζονται οι λειαντικές πέτρες από διάφορους λίθους ανάλογα τον γλυπτικό λίθο



Πηγή: <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/1-making-the-art-of-making-in-antiquity-w-wootton-j-bradley-b-russell/> [4],[5]

Εικόνα 3.15: Λείανση με λίθο ψαμμίτη σε τμήμα μαρμαρίνου αγάλματος, δημιουργώντας επίπεδες επιφάνειες με λεία υφή εξομαλύνοντας τυχόν ανωμαλίες στην επιφάνεια του μαρμάρου

Προκειμένου να επιτευχθεί ένα υψηλό επίπεδο στίλβωσης, ο καλλιτέχνης / τεχνίτης θα πρέπει να εφαρμόσει σκληρότερα λειαντικά μέσα και έπειτα λεπτότερα, εφαρμόζοντας το κάθε ένα με τη σειρά του. Υψηλό επίπεδο στίλβωσης μπορεί να επιτευχθεί μόνο σε ορισμένα είδη λίθων όπως μάρμαρο ή ασβεστόλιθος.

Σύγχρονοι καλλιτέχνες / γλύπτες χρησιμοποιούν διάφορα βιομηχανοποιημένα λειαντικά για να στιλβώσουν τους λίθους. Σε αυτά περιλαμβάνονται, υαλόχαρτο, σμυριδόχαρτο, καθώς και διάφορα είδη οξέων.

Τα ηλεκτρικά εργαλεία επίσης, όπως οι τροχοί και τα περιστροφικά ηλεκτρικά εργαλεία βοηθούν εξίσου στη μείωση του χρόνου που χρειάζεται για να εφαρμοστεί το στιλβωτικό. Ένα τεχνητό μέσο στιλβώματος, μπορεί να αποτελέσει και το κερί, εφαρμόζοντας το στην επιφάνεια του γλυπτού, προσδίδει γυαλάδα και αντανακλά το φως με τον ίδιο τρόπο όπως οι προηγούμενες μέθοδοι. Στην εποχή της Αναγέννησης, μια σειρά από Ρωμαϊκά αγάλματα και ιδιαίτερα οι σαρκοφάγοι, γυαλιζόντουσαν με τέτοιο τρόπο, με κερί, το οποίο στο πέρασμα του χρόνου αποχρωματιζόταν δίνοντας μια κιτρινωπή απόχρωση [4][5].



4. Φυσικοί λίθοι γλυπτικής

Οι φυσικοί λίθοι είναι συνήθως στερεά σώματα, πετρώματα, διαφόρων γεωμετριών και διαστάσεων που προέρχονται από προσμίξεις πετρωμάτων της γης. Το σχήμα τους γενικά είναι απροσδιόριστο και εξαρτάται από τον τρόπο εξόρυξής τους. Γενικά επιδιώκεται να έχουν πρισματική μορφή, όπου η μια διάσταση είναι μεγαλύτερη από τις άλλες δύο, ή μορφή πλάκας, όπου είναι η πιο εύκολη γεωμετρία προς κατεργασία. Οι φυσικοί λίθοι προέρχονται από τα πετρώματα των επιφανειακών στρωμάτων του στερεού φλοιού της γης και λαμβάνονται στα λατομεία με εξόρυξη. Τα πετρώματα και οι φυσικοί λίθοι είναι πρακτικά πεπεσμένες προσμίξεις διάφορων πετρωμάτων, απολιθωμάτων και ιζημάτων και αλάτων. Ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες, τα εκρηξιγενή, τα ιζηματογενή και τα μεταμορφωσιγενή.

Τα φυσικά πετρώματα είναι σώματα με ανομοιογενή μορφή. Αυτό συνεπάγεται πως δεν διαθέτουν σταθερή χημική ή ορυκτολογική σύσταση και επομένως δε παρουσιάζει κάθε λίθος του ίδιου είδους τις ιδιότητες, τόσο φυσικές όσο και μηχανικές στον ίδιο βαθμό. Για παράδειγμα υπάρχουν ασβεστόλιθοι με περίπου ίδια χημική σύσταση αλλά διαφέρουν πολύ ως προς το ειδικό βάρος τους, στη πυκνότητά τους και το χρώμα τους. Επιπρόσθετα οι φυσικοί λίθοι είναι σώματα πορώδη και όχι συμπαγή διότι αποτελούνται από κόκκους ύλης συνδεδεμένους μαζί δημιουργώντας μικρά κενά ενδιάμεσα.

Οι κόκκοι των πετρωμάτων συνήθως είναι συνδεδεμένοι μεταξύ τους με μια ορυκτή συγκολλητική ύλη και μπορεί να είναι τόσο μικροί ώστε να διακρίνονται μόνο με μικροσκόπιο ή να είναι πολύ μεγαλύτεροι και ορατοί με γυμνό μάτι. Η ποιότητα της κόλλας αυτής σε συνδυασμό με το μέγεθος των κόκκων είναι αυτά που προσδιορίζουν τις περισσότερες μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Βασικό χαρακτηριστικό των λίθων, που τους κατατάσσει επικεφαλής όλων των άλλων υλικών και μάλιστα με μεγάλη διαφορά, είναι η μεγάλη διάρκεια της ζωής τους. Και αυτό διότι προέρχονται από τα στερεά πετρώματα του φλοιού της γης τα οποία έχουν υποστεί κατά τη διάρκεια εκατομμυρίων ετών ισχυρές επιδράσεις θερμοκρασίας, πίεσεως κ.λπ. [13].

4.1 Πυριγενή πετρώματα

4.1.1 Εισαγωγή στα πυριγενή πετρώματα (ή και εκρηξιγενή πετρώματα)

Τα πυριγενή ή αλλιώς εκρηξιγενή πετρώματα σχηματίστηκαν και σχηματίζονται από τη στερεοποίηση μαγματικής ύλης σε μεγάλο βάθος (πλουτώνια πετρώματα π.χ. γρανίτης), σε σχισμές ή ρήγματα (φλεβιτικά πετρώματα π.χ. πορφυρίτες) ή στην επιφάνεια της γης (ηφαιστειακά πετρώματα π.χ. βασάλτης).

Δηλαδή πιο αναλυτικά, μερικές φορές η στερεοποίηση γίνεται σε μικρά βάθη, οπότε τα πετρώματα χαρακτηρίζονται ως υποηφαιστειακά. Όταν το μάγμα εισχωρήσει μέσα σε μεγάλα ρήγματα ή ανοίγματα δημιουργούνται τα φλεβικά πετρώματα. Τα πιο χαρακτηριστικά από τα πυριγενή πετρώματα, παρουσιάζονται παρακάτω [11] [13].

Τα εκρηξιγενή, ή πυριγενή, ή μαγματογενή πετρώματα αποτελούν και το μεγαλύτερο μέρος των πετρωμάτων επί των οποίων και δημιουργήθηκαν τα ιζηματογενή. Αποτελούν μια από τις τρεις κύριες ομάδες των πετρωμάτων, (η τρίτη ομάδα είναι τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα), που παρατηρούνται στους γεωλογικούς αυτούς σχηματισμούς.

Τα πετρώματα αυτά δημιουργήθηκαν από διάπυρο υλικό (μάγμα), που στερεοποιήθηκε στο εσωτερικό ή τελικά καλύφθηκε από άλλα πετρώματα του εξωτερικού φλοιού της Γης. Μερικά από αυτά τα μάγματα περιέχουν πολύ πυρίτιο, είναι πυκνόρρευστα όπως όταν λιώνει το γυαλί. Σε άλλες περιπτώσεις το μάγμα έχει διεισδύσει σε πτυχώσεις, σχισμές βράχων σε μεγάλο μήκος. Τα μάγματα



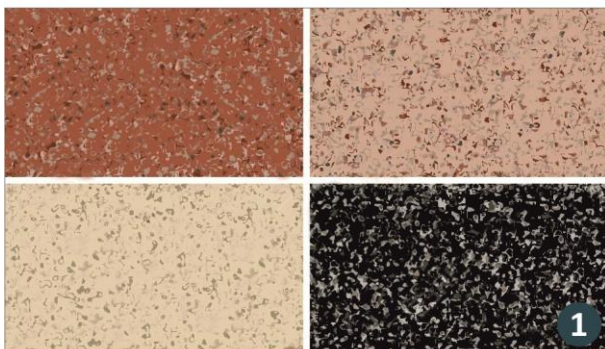
αρχίζουν να προβάλλουν στην επιφάνεια της γης μετά πολύ καιρό από τη σκλήρυνσή τους όταν πλέον η διάβρωση καταστρέφει τα υπερκείμενα πετρώματα από τα οποία καλύπτονται.

4.1.2 Ο γρανίτης

Ο γρανίτης είναι ένας κοινός τύπος παρεμβατικού πυριγενούς πετρώματος όπου είναι αρχικά πολύ κοκκώδης στην υφή. Οι γρανιτικοί λίθοι, εξορύσσονται σε πολλές αποχρώσεις οι οποίες μπορεί να είναι από λευκό, ροζ, μέχρι μαύρο χρώμα ανάλογα με την ορυκτολογία τους. Η λέξη γρανίτης προέρχεται από τη λατινική λέξη granum, ενός κόκκου, σε σχέση με τη χονδρόκοκκη δομή του λίθου αυτού. Εξ ορισμού, ο γρανίτης είναι ένα πυριγενές πέτρωμα με τουλάχιστον 20% χαλαζία και έως 65% αλκαλικών αστρίων κατ' όγκο. Τα κύρια χαρακτηριστικά γνωρίσματα του γρανίτη είναι πως είναι άστριος, χαλαζίας, μαρμαρυγίας και κοκκώδης. Ο χαλαζίας καθορίζει την σκληρότητα, ο άστριος το χρώμα και ο μαρμαρυγίας τον βαθμό εξαλλοιώσεως.

Ο φυσικός γρανίτης

Μεγάλη ποικιλία σε χρώματα, με διαφορετικές ιδιότητες σε κάθε είδος του



Πηγή: <http://www.littlefieldgallery.com/songul-telek.html>

Εικόνα 4.1: Γρανίτης, φυσικές αποχρώσεις λίθου (1) και χρήση του στη γλυπτική (2)

Σχετικά με τις φυσικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητές του γρανίτη, έχει σχετικά μεγάλο βάρος, μεγάλη σκληρότητα και είναι συμπαγής, σχετικά δύσκολος στις κατεργασίες, επιδέχεται εύκολα λείανση, είναι ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις ενώ παράλληλα δεν είναι ανθεκτικός καθόλου σε απότομες διαφορές θερμοκρασίας που του προκαλούν τον άμεσο θρυμματισμό.

Στο αριστερό τμήμα της εικόνας 4.1 απεικονίζονται στο πρώτο τμήμα της τα διάφορα χρώματα που μπορεί να βρεθεί και να εξορυχθεί ο γρανίτης (1) και στο σχήμα 2 της ίδιας εικόνας η εφαρμογή του στη γλυπτική, με ένα έργο του καλλιτέχνη Songul Telek το 2009 στη Τουρκία.

Ο γρανίτης κατά την εξόρυξή του βρίσκεται σχεδόν πάντα σε μεγάλα κοιτάσματα (με απουσία οποιασδήποτε εσωτερικής δομής), με μεγάλη επιφανειακή σκληρότητα και ανθεκτικότητα και ως εκ τούτου, έχει αποκτήσει ευρεία χρήση σε όλη την ανθρώπινη ιστορία τόσο ως λίθος κατασκευαστικός όσο και λίθος τεχνημάτων γλυπτικής.

ο αλλοιωμένος άστριος (όχι καθαρό αλλά θαμπό χρώμα), με σημαντική ποσότητα μαρμαρυγίας, κυρίως σε φυλλίδια μεγάλου μεγέθους, οι χονδροί κόκκοι, ο πορώδης ιστός και η περιεκτικότητά του σε σιδηροπυρίτη.

Η απαρχή αποσαθρώσεως του γρανίτη διαπιστώνεται από κηλίδες και φλέβες χρώματος σκούρου, πού παρουσιάζονται σ' ολόκληρο το πέτρωμα. Ο έλεγχος γίνεται τοποθετώντας μερικά τεμάχια γρανίτη σε ανοικτό δοχείο πού γεμίζεται με νερό μέχρι τη μέση τού ύψους των κομματιών. Αν μετά την πάροδο 28 ημερών εμφανιστούν ίχνη σκουριάς, τότε υπάρχει κίνδυνος αποσαθρώσεως [13].



4.2 Ιζηματογενή πετρώματα

4.2.1 Εισαγωγή στα ιζηματογενή πετρώματα

Τα ιζηματογενή πετρώματα είναι τα είδη των πετρωμάτων που σχηματίζονται από την εναπόθεση και την επακόλουθη συγκόλληση του υλικού στην επιφάνεια της Γης και μέσα σε υδατικά συστήματα. Καθίζηση είναι το συλλογικό όνομα για τις διαδικασίες που προκαλούν τα ορυκτά ή και τα οργανικά σωματίδια να εγκαθίστανται και να πακτώνονται στη θέση τους. Πριν την εναπόθεσή τους το ίζημα σχηματίζεται κυρίως από τις καιρικές συνθήκες, τις διάφορες διαβρώσεις του περιβάλλοντος ενώ στη συνέχεια μεταφέρονται στο τόπο εναπόθεσης μέσω του νερού, του ανέμου και του πάγου. Αυτή η καθίζηση μπορεί επίσης να εμφανιστεί όπως τα ορυκτά καθιζάνουν από το διάλυμα του νερού μαζί με άλατα και κελύφη υδρόβιων πλασμάτων [12] [13].

Το κάλυμμα των ιζηματογενών πετρωμάτων των ηπείρων του φλοιού της γης είναι τεράστιο και εκτεταμένο αλλά η συνολική συνεισφορά των ιζηματογενών πετρωμάτων εκτιμάται ότι είναι μόνο 8% του συνολικού όγκου του φλοιού. Τα ιζηματογενή πετρώματα αποτελούνται κυρίως από πυριγενή πετρώματα και μεταμορφωσιγενή πετρώματα. Τα ιζηματογενή πετρώματα εναποτίθενται σε στρώσεις ως στρώματα, σχηματίζοντας μια δομή που ονομάζεται κρεβάτι (bedding). Τα κυριότερα πετρώματα αυτής της κατηγορίας είναι ο ψαμμίτης και ο ασβεστόλιθος.

4.2.2 Ο ψαμμίτης

Υπάρχουν πολλά είδη ψαμμιτών, οι κυριότεροι και τα χαρακτηριστικά τους αναλύονται παρακάτω. Αρχικά μελετώνται οι χαλικοψαμμίτες. Γενικά ο χαλικοψαμμίτης εξορύσσεται σε χρώμα λευκό ή

Ο φυσικός ψαμμίτης

Ενωμένοι χαλαζιακοί κόκοι σε διάφορες αποχρώσεις και με πολλές ιδιότητες



καστανότεφρο. Παρουσιάζει μεγάλη σκληρότητα ανάλογα τις φυσικοχημικές του ιδιότητες και είναι αρκετά ανθεκτικός στις καιρικές επιδράσεις ενώ παράλληλα δεν είναι ανθεκτικός στις απότομες θερμοκρασιακές μεταβολές.

Έπειτα υπάρχουν και οι αργιλικό ψαμμίτες όπου εξορύσσονται κυρίως ανοιχτόχρωμοι, με ποικιλία χρωματισμών. Έχουν χαρακτηριστική αργιλική οσμή όταν υγραθούν. Είναι γενικά Μικρής αντοχής λίθοι. Μόνον οι συμπαγείς τύποι του που δεν απορροφούν νερό είναι ανθεκτικοί στις καιρικές επιδράσεις.



Στην εικόνα 4.2 αριστερά απεικονίζεται η φυσική μορφή του ψαμμίτη κατά την εξόρυξή του (1) και η εφαρμογή του λίθου στη γλυπτική, με ένα έργο του γλύπτη Ron Holliday το έτος 2008 σε προσωπική του έκθεση (2).

Έπειτα υπάρχουν σαν υποκατηγορία ψαμμιτών, οι ασβεστολιθικοί και δολομιτικοί ψαμμίτες, όπου είναι συχνά κιτρινωποί μέχρι τεφροπράσινοι. Αναβράζουν με υδροχλωρικό οξύ ενώ είναι αρκετά μαλακοί, με χαμηλή σκληρότητα κοντά στο 2,5 της κλίμακας Mohs,

Πηγή: http://www.wallstreetranch.ca/art_gallery_of%20Ronald%20Holliday.htm

Εικόνα 4.2: Ο ψαμμίτης λίθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2)



ενώ είναι διόλου ανθεκτικοί στη φωτιά. Αποσαθρώνονται σε βιομηχανικό περιβάλλον και στο περιβάλλον της θάλασσας με υψηλή υγρασία.

Συνέχεια έχουν οι Μαργαϊκοί ψαμμίτες. Ως προς τις φυσικές, μηχανικές και χημικές ιδιότητες και τα γνωρίσματά τους βρίσκονται μεταξύ των δύο προηγούμενων ειδών που μελετήθηκαν. Αυτός ο τύπος είναι συχνά κατωτέρας ποιότητας λόγω αντοχής. Μετά υπάρχουν και οι σιδηρούχοι ψαμμίτες, όπου είναι σχετικά δυσεύρετοι. Όταν βρίσκονται και εξορύσσονται είναι κίτρινοι, καστανό ή ερυθροί. Συνήθως μεγάλης αντοχής, σκληρότητας και μεγάλης ανθεκτικότητας λόγω μεγάλης πυκνότητας και χαμηλού πορώδους.

Τέλος, υπάρχουν ως κατηγορία οι πράσινοι ψαμμίτες. Το χρώμα τους οφείλεται από την ύπαρξη γλαυκονίτη. Είναι συμπαγής ως ψαμμίτες, συχνά προσβαλλόμενοι από τις καιρικές επιδράσεις και συχνά εμφανίζουν απανθίσματα ή κηλίδες στην επιφάνειά τους. Χαρακτηριστικά γνωρίσματα και ιδιότητες είναι πως κυρίως οι χαλαζιακοί κόκκοι συνδέονται μεταξύ τους με ορυκτή κόλλα που καθορίζει και το χρώμα τους.

Ενδείξεις καλής ποιότητας είναι οι ομοιόμορφοι κόκκοι, ο μικρός αριθμός άλλων ορυκτών εκτός του χαλαζία στο πέτρωμα και η ύπαρξη πυριτικής ορυκτής κόλλας. Αντίστοιχα, ενδείξεις κακής ποιότητας είναι ο μεγάλος αριθμός κόκκων αστρίων και μαρμαρυγίας, η ορυκτή κόλλα ασβεστολιθικής, αργιλικής, μαρμαρυγιακής ή γλαυκονιτικής φύσεως χωρίς προσμίξεις πυριτίου, η λεπτή σχιστώδης διάστρωση και τα τυχόν εγκλείσματα αργίλου ή σιδήρου ή σιδηροπυριτίου [13].

4.2.3 Ο ασβεστόλιθος

Ο ασβεστόλιθος

Ένα από τα πιο χρησιμοποιημένα υλικά στη γλυπτική



1



2

Πηγή: <http://www.everystockphoto.com/photo.php?imageId=2762148>

Εικόνα 4.3 Ο ασβεστόλιθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2)

Οι ασβεστόλιθοι είναι άστρωτα ιζηματογενή πετρώματα που συναντώνται σε τεράστιους όγκους. Στην Ελλάδα είναι τα πιο διαδεδομένα πετρώματα.

Το κύριο συστατικό τους σε αναλογία μεγαλύτερη του 75% είναι το ανθρακικό ασβέστιο, τα συνήθη προσμίγματα είναι το ανθρακικό μαγνήσιο, το οξείδιο του πυριτίου με τη μορφή χαλαζιακής άμμου, και το οξείδιο του αργίλου υπό τη μορφή αργίλου. Επίσης περιέχονται στη μάζα του διάφορα οξείδια του σιδήρου, καθώς επίσης και μικρά θαλάσσια κογχύλια ή κελύφη ή ακόμη και μικροί κόκκοι παλαιού ασβεστόλιθου.

Στη εικόνα 4.3 απεικονίζεται τόσο το φυσικό πέτρωμα του ασβεστόλιθου (1) όσο και η εφαρμογή του στη τέχνη της γλυπτικής, από την Conceta Maria Scaravaglio, στο Apex building στη Washington DC.

Οι πορώδεις ασβεστόλιθοι (κοινώς αναφερόμενοι ως πουριά) έχουν πολλά κενά στη μάζα τους και κατά συνέπεια μεγάλο πορώδες. Η κατεργασία τους (κόψιμο, μορφοποίηση σε πρισματική μορφή κλπ.) είναι εύκολη.

Πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι οι αρχικά σχηματισθέντες ασβεστόλιθοι υπέστησαν επί σειρά εκατομμυρίων ετών τις επιδράσεις εξωτερικών παραγόντων, όπως θερμότητα, υψηλές πιέσεις, χημικές δράσεις άλλων υλικών και τη δράση ζωικών και φυτικών οργανισμών. Έτσι σήμερα εμφανίζεται εξαιρετικά μεγάλη ποικιλία ασβεστόλιθων.

Πολλοί απ' αυτούς στιλβώνονται εύκολα και παρουσιάζουν ωραία και λεία επιφάνεια. Με πωρόλιθους της Πειραιϊκής χερσονήσου κατασκευάστηκε το μνημείο του Αγνώστου Στρατιώτη. Είναι ελαφροί και μαλακοί λίθοι και κόβονται σε πλάκες από 2 εκ. έως 5 εκ. ενώ παρουσιάζουν σημαντική θερμική μονωτική ικανότητα λόγω των πολλών μικρών πόρων που έχουν .

Υπάρχουν σαν κατηγορία και οι συμπαγείς ασβεστόλιθοι. Έχουν λιγότερα κενά και είναι σκληρότεροι από τους πορώδεις. Η κατεργασία τους και η μορφοποίησή τους είναι όμως δυσκολότερη. Έχουν ποικίλους χρωματισμούς οι οποίοι οφείλονται στα πολλά προσμίγματα και τα οξείδια που περιέχουν. Οι καθαροί ασβεστόλιθοι, χωρίς δηλαδή ξένες ουσίες, είναι κυρίως λευκοί. Οι υπόλοιποι είναι συνήθως γκριζοί αλλά συναντώνται και χρωματιστοί (ροδόχρωμοι, κόκκινοι, ιόχρωμοι κ.λπ.) [13].

4.3 Μεταμορφωσιγενή πετρώματα

4.3.1 Εισαγωγή στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα

Οι μεταμορφωσιγενής λίθοι είναι πρακτικά πετρώματα που έχουν μεταποιηθεί λόγω υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Το όνομά τους προέρχεται από τη λέξη «μορφή» (που σημαίνει μορφή), και «meta» (που σημαίνει αλλαγή). Ο αρχικός λίθος αρχίζει να θερμαίνεται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 150 έως 200 ° C και πιέσεις όσο 1500 bars. Αυτό προκαλεί έντονη φυσική ή / και χημική μεταβολή στο λίθο όπου ξεκινάει να αλλάζει σταδιακά μορφή. Το αρχικό πέτρωμα μπορεί να είναι ιζηματογενές πέτρωμα, εκρηξιγενές πέτρωμα ή άλλο μεγαλύτερης ηλικίας μεταμορφωσιγενές πέτρωμα.

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα δημιουργούνται κυρίως από αλλοιώσεις και προσμίξεις των δύο πρώτων κατηγοριών. Παρουσιάζουν στρωματογραφία ανάλογη των Ιζηματογενών πετρωμάτων και μεταλλοφορία ανάλογη των εκρηξιγενών (όπως για παράδειγμα ο γνεύσιος, μαρμαρυγιακός σχιστόλιθος).

Παραδείγματα μεταμορφωσιγενών πετρωμάτων είναι τα ακόλουθα:

- Το μάρμαρο όπου είναι μεταμορφωσιγενές πέτρωμα που σχηματίστηκε από ασβεστόλιθο,
- Ο χαλαζίτης, είναι πέτρωμα που σχηματίστηκε από προσμίξεις ψαμμίτη και τέλος,
- Ο σαπωνόλιθος που δημιουργείται από προσμίξεις σχιστόλιθου και τάλκης [13].

4.3.2 Το μάρμαρο

Το μάρμαρο προήλθε κυρίως από ασβεστόλιθους, που υπέστησαν μερική ή ολική κρυστάλλωση λόγω της δράσεως εξωτερικών παραγόντων. Επομένως χημικά μοιάζει με τα ασβεστολιθικά πετρώματα. Το κύριο δηλαδή συστατικό του είναι το ανθρακικό ασβέστιο με μικρή αναλογία άλλων οξειδίων. Δεν περιέχει όμως απολιθώματα. Τη μάζα του διασχίζουν συνήθως διαφόρων χρωμάτων και σχημάτων φλέβες.

Το μάρμαρο, που πήρε το όνομα αυτό από τη λάμψη που παρουσιάζει, στιλβώνεται πολύ εύκολα, εμφανίζει επιφάνεια εξαιρετικά διακοσμητική και θεωρείται ένα από τα πιο πολύτιμα γλυπτικά υλικά. Τα χρώματά του καλύπτουν όλες τις αποχρώσεις και όλους τους τόνους. Από το κατάλευκο (μάρμαρο Καρύστου) ως το κατάμαυρο (μάρμαρο Μάνης) και από το ερυθρό ως το ιώδες. Λαξεύεται εύκολα και αποτελεί άριστο υλικό για την κατασκευή έργων τέχνης.



Το μάρμαρο

Ο πιο διάσημος και πολυχρησιμοποιημένος λίθος στη γλυπτική



Πηγή: <http://www.onlinegalleries.com/art-and-antiques/detail/rare-grand-tour-marble-sculpture-of-the-sleeping-hermaphrodite/111619>

Εικόνα 4.4: Ο φυσικός μαρμάρινος λίθος (1) και ένα παράδειγμα χρήσης του στη γλυπτική (2)

γλυπτική τέχνη (2), από τον καλλιτέχνη Martin Carlier, το 1810-1840 όπου φιλοξενείται στο Εθνικό μουσείο της Ρώμης στην Ιταλία.

Όσο λεπτότεροι είναι οι κόκκοι του και καθαρότερα τα βασικά συστατικά του, τόσο καταλληλότερο θεωρείται για το σκοπό αυτό. Αντέχει πολύ στους εξωτερικούς παράγοντες (ψύχος, θερμότητα, υγρασία κλπ.) και η διάρκεια της ζωής του είναι μεγάλη.

Αυτό διαπιστώνεται από την κατάσταση, στην οποία βρίσκονται σήμερα τα μαρμάρινα έργα των αρχαίων γλυπτών και μνημείων.

Καταστρέφεται όμως εύκολα από τη φωτιά όπως και οι κοινοί ασβεστόλιθοι. Σε όλες σχεδόν τις περιοχές της Ελλάδας υπάρχουν μάρμαρα.

Όλες οι ποικιλίες είναι άριστης ποιότητας και εμφανίσεως, αλλά η εξαγωγή τους από τα λατομεία δεν είναι καλά οργανωμένη και γι' αυτό και η τιμή τους είναι υψηλή.

Τα μάρμαρα διακρίνονται συνήθως από τον τόπο της προελεύσεώς τους και σπανίως ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους (χρώμα, σύσταση, μέγεθος κόκκου).

Στην εικόνα 4.4 πιο πάνω απεικονίζεται φυσικό λευκό μάρμαρο ακατέργαστο, κατά την εξόρυξή του (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη

Τα σπουδαιότερα ελληνικά μάρμαρα ανάλογα με τον τόπο προελεύσεώς τους είναι τα εξής:

- Το μάρμαρο της Πάρου, όπου είναι κατάλευκο μάρμαρο χωρίς στίγματα ή φλέβες. Αποτελείται από χημικά καθαρό ανθρακικό ασβέστιο, έχοντας μεγάλη διαφάνεια, καθώς πλάκες από το μάρμαρο αυτό με πάχος λίγα εκατοστά είναι ημιδιαφανείς. Θεωρείται το καλύτερο μάρμαρο του κόσμου και χρησιμοποιήθηκε πολύ κατά την αρχαιότητα (παράδειγμα ο Ερμής του Πραξιτέλους).
- Έπειτα το πεντελικό μάρμαρο όπου είναι περίφημο και αυτό το μάρμαρο γνωστό από την αρχαιότητα. Είναι λευκό και διασχίζεται από υπότεφρες ή από κυανίζουσες γραμμές. Δεν αποτελείται, όπως το παριανό μάρμαρο, από καθαρό ανθρακικό ασβέστιο, αλλά περιέχει και μικρή αναλογία διαφόρων οξειδίων, κυρίως του σιδήρου.
- Στα τελευταία αυτά οξείδια οφείλεται και το χρώμα της σκουριάς, που αποκτά, όταν εκτεθεί στην ατμόσφαιρα για πολύ χρόνο. Αυτό παρατηρείται στους αρχαίους ναούς και στα αγάλματα, που είναι κατασκευασμένα από πεντελικό μάρμαρο. Περιέχει επίσης, αλλά σπάνια κρυστάλλους χαλαζία (γυαλί), οι οποίοι δυσχεραίνουν την επεξεργασία του.



Σήμερα χρησιμοποιείται ευρύτατα τόσο στην Ελλάδα όσο και σε άλλες χώρες. Τα κυριότερα λατομεία πεντελικού μαρμάρου βρίσκονται κοντά στο Διόνυσο της Αττικής και φέρονται στο εμπόριο ως μάρμαρα Διονύσου. Από πεντελικό μάρμαρο έχουν κατασκευασθεί πολλά σύγχρονα μνημειακά έργα, όπως π.χ. τα παλαιά Ανάκτορα.

- Στη συνέχεια υπάρχει το μάρμαρο του Μαραθώνα και της Αγίας Μαρίνας. Συνηθισμένο υλικό για εσωτερικές και εξωτερικές επενδύσεις. Το χρώμα της μάζας τους είναι σκοτεινό προς κυανότεφρο. Και τα δύο διασχίζονται από σκοτεινές και ανοικτές γραμμές και φλέβες δημιουργώντας έτσι σχήματα, που θυμίζουν τον αφρό.
- Έπειτα το μάρμαρο της Δόμβραιννας κοντά στη Θήβα. Το χρώμα του είναι βαθύ κίτρινο ως κιτρινοκόκκινο με νερά ανοικτότερου χρώματος. Χρησιμοποιείται κυρίως σε επενδύσεις τοίχων και κατασκευαστικά έργα παρά έργα γλυπτικής λόγω των εξαιρετικών μηχανικών ιδιοτήτων του.
- Ακολουθεί το μάρμαρο της Ερέτριας στην Εύβοια όπου περιέχει πυκνές ερυθρές ή ερυθρόφαιες κηλίδες και γραμμές. Χρησιμοποιείται σε διακοσμήσεις παραστάδων θυρών, επένδυση τζακιών κ.α. Μπορεί να εξαχθεί σε μεγάλους όγκους και το κύριο χαρακτηριστικό του είναι οι ερυθρές έντονες αποχρώσεις που προαναφέρθηκαν. Από το μάρμαρο αυτό κατασκευάστηκαν αρκετοί στύλοι της Αγίας Σοφίας, του Αγίου Μάρκου στη Βενετία κ.α..
- Στη συνέχεια υπάρχει το μάρμαρο της Καρύστου, Ευβοίας. Γνωστό από αρχαιότατων χρόνων για το χρώμα του το λευκοπράσινο έως τεφροπράσινο με τις σκοτεινότερες γραμμές και φλέβες ελλειψοειδούς μορφής. Χρησιμοποιείται και αυτό για διακοσμητικές εργασίες.
- Ακολουθούν, τα μάρμαρα της Μάνης όπου είναι πολύ καλής ποιότητας μάρμαρα από τα πιο γνωστά. Γνωστότερα απ' αυτά είναι το βαθύ κόκκινο του Ταινάρου και το μαύρο μάρμαρο Μάνης χωρίς καμιά κηλίδα, σημάδι καθαρότητας και ομοιομορφίας.
- Τέλος, άλλες κατηγορίες μαρμάρων είναι το λευκό της Νάξου, με το οποίο κατά την αρχαιότητα κατασκεύαζαν αγάλματα, το λευκό της Τήνου της Θάσου κ.α. Έγχρωμα μάρμαρα εξαγονται επίσης από τα Ιωάννινα, τη Σκύρο, την Αράχωβα, τη Λάρισα, τη Ρόδο κ.α. [13].



4.3.3 Ο σαπωνόλιθος

Ο φυσικός σαπωνόλιθος

Η πιο ενδιαφέρουσα μεταμορφική πέτρα



Πηγή: <http://indianica.com/product/seedna-soapstone-sculpture/>

Εικόνα 4.5: Ο φυσικός σαπωνόλιθος σε δύο χρωματισμούς (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2)

Ο στεατίτης ή σαπωνόλιθος (αγγλ. soapstone) είναι πέτρωμα το οποίο συνίσταται κυρίως από τάλκη με ποικίλες προσμίξεις κυρίως χλωρίτη (κυρίως από τρεμολίτη και από ανθοφυλλίτη).

Πρόκειται για ένα μαλακό, πυκνό και ανθεκτικό στη θερμότητα πέτρωμα όπου έχει υψηλή θερμοχωρητικότητα. Αυτές του οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες το καθιστούν χρήσιμο πέτρωμα σε διάφορες εφαρμογές τόσο στη γλυπτική όσο και στις κατασκευές.

Ο σαπωνόλιθος ως λίθος μπορεί να διαφέρει στις μηχανικές και φυσικές του ιδιότητες ανάλογα το τόπο εξόρυξής του και την ορυκτολογική του σύσταση, όπως όλοι οι λίθοι που μελετώνται στη παρούσα εργασία.

Η σύνθεσή του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες όπου οι κυριότεροι είναι οι συνθήκες θερμοκρασίας και πίεσης κατά τη μεταποίησή του και τις διάφορες προσμίξεις όπου περιλάμβανε το αρχικό πέτρωμα πριν τη μεταποίηση.

Παράγεται από δυναμοθερμικές μεταμορφώσεις και μετασωματισμούς οι οποίοι δημιουργούνται στις ζώνες όπου καταδύονται οι τεκτονικές πλάκες, μετασχηματίζοντας τα πετρώματα με τη

θερμότητα, τη πίεση και την εισροή ρευστών, αλλά χωρίς τήξη. Ο σαπωνόλιθος υπήρξε κύριο μέσο για τη τέχνη της γλυπτικής για χιλιάδες χρόνια σε όλο το κόσμο.

Για φυσικός λίθος είναι σχετικά μαλακός και εύκολα λαξεύσιμος. Δεν υπάρχει σταθερή σκληρότητα για τον σαπωνόλιθο καθώς εξαρτάται από το ποσοστό τάλκης που εμπεριέχει. Χαρακτηριστικό του γνώρισμα, όπου από αυτό προήλθε η ονομασία του, είναι το γεγονός πως σε σαπωνόλιθους με μικρό βαθμό σκληρότητας, η υφή τους είναι παρόμοια με του οικιακού σαπουνιού.

Ως λίθος βρίσκει εφαρμογή κυρίως στη γλυπτική λόγω της εύκολης κατεργασίας, του λόγω χαμηλής σκληρότητας και σε οικιστικές εγκαταστάσεις όπως πάγκοι κουζίνας, νεροχύτες και σουβέρ. Χαρακτηριστικό γνώρισμά του είναι η πολύ χαμηλή του σκληρότητα, 1,5 - 2 στη κλίμακα Mohs, όπου επιτρέπει σε αυτό το πέτρωμα να χαραχθεί εύκολα με άλλους λίθους, με μαχαίρι ή ακόμα και με νύχι.

Όπως όλα τα πετρώματα, τα χρώματά του μπορεί να διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή. Στη παραπάνω εικόνα 4.5 απεικονίζονται και τα πιο χαρακτηριστικά χρώματα του σαπωνόλιθου κατά την εύρεση και εξόρυξή του (1) αλλά και ένα αγαλματίδιο σαπωνόλιθου του γλύπτη Killiktee Shorty από τη προσωπική του έκθεση το 2013 (2) [13].



4.3.4 Το αλάβαστρο

Ο αλάβαστρος λίθος είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα πετρώματα στη γλυπτική τέχνη και σε άλλες εφαρμογές. Με το όνομα αλάβαστρος λίθος ονομάζονται πρακτικά δύο ειδών λίθοι με πολύ διαφορετικές ιδιότητες και η κύριά τους διαφορά είναι η σκληρότητά τους. Και οι δύο τύποι όμως εξωτερικά είναι απαλοί, λείοι, λεπτόκοκκοι, γενικά ημιδιάφανοι και επιτρέπουν το φως να περάσει μέσα από αυτούς.

Ο πρώτος τύπος αλάβαστρου λίθου, είναι μία ποιότητα ημιδιάφανου καλσίτη που υπήρχε σε μεγάλες ποσότητες στην Αίγυπτο, μάλιστα δίπλα σε μία πόλη που είχε το όνομα Αλάβαστρον. Λόγω της διαφάνειάς του σε αρχαία κείμενα αναφέρεται και σαν φεγγίτης λίθος.

Το υλικό αυτό έχει σκληρότητα σχετικά μικρή, 2-3 στη κλίμακα Mohs και σκαλίζεται, κατεργάζεται εύκολα. Στην αρχαία Αίγυπτο, όπου η κατασκευή αντικειμένων από γυαλί ήταν σε πρώιμο στάδιο, χρησιμοποιούσαν το αλάβαστρο για να κατασκευάζουν αγάλματα και χρηστικά σκεύη όπως τα μικρά βαζάκια – μυροδοχεία.

Ο αλάβαστρος

Ο πιο ακριβός λίθος της αγοράς των γλυπτών



1



2

Πηγή: <http://rosieprice.com/>

Εικόνα 4.6: Ο φυσικός αλάβαστρος λίθος (1) και ένα παράδειγμα εφαρμογής του στη γλυπτική (2)

δυσεύρετος, τα λατομεία εξόρυξης του δεν είναι καλά οργανωμένα και επομένως είναι σχετικά ακριβός σε σύγκριση με άλλους λίθους γλυπτικής. Στην εικόνα 4.6 απεικονίζεται ο φυσικός αλάβαστρος λίθος κατά την εύρεσή του, πριν την εξόρυξή του (1) και ένα παράδειγμα γλυπτικής εφαρμογής του από τη καλλιτέχνη Rosie Irwin Prince από τη προσωπική της έκθεση στο San Francisco το 2014 (2).

Αυτά τα βαζάκια (*vasa unguentaria*) ήταν περιζήτητα στον αρχαίο κόσμο, και ονομάζονταν επίσης Αλάβαστρα λόγω του υλικού κατασκευής τους. Η πιο χαρακτηριστική κατασκευή από αυτό το υλικό, είναι η σαρκοφάγος του Φαραώ Σέτη του 1ου, που είναι σκαλιστή ολόκληρη σε ένα μασίφ βράχο από αλάβαστρο, και βρίσκεται στο μουσείο Σλόαν στο Λονδίνο.

Το δεύτερο ορυκτό που επίσης έχει το όνομα αλάβαστρο, είναι μία ποιότητα, κατηγορία μικρόκοκκου γύψου. Υπήρχε στην περιοχή της Μεσοποταμίας, όπου οι άνθρωποι σκάλιζαν χρηστικά και διακοσμητικά αντικείμενα από την 3η χιλιετία π.Χ..

Είναι πρακτικά ένα πολύ μαλακό υλικό και χαράζει με το νύχι, δηλαδή 1-2 βαθμούς στη κλίμακα Mohs. Μεγάλες ποσότητες από αυτό, υπάρχουν σε διάφορες περιοχές της Μεγάλης Βρετανίας, όπου από τον 15ο αιώνα το εξορύσσουν και το χρησιμοποιούν για κατασκευή εικόνων, σκευών, αλλά και για κατασκευή διακοσμητικών σε οικοδομές. Συνήθως το υλικό αυτό συναντάται και εξορύσσεται σε αποχρώσεις του μπλεζ [13].

Σε γενικές γραμμές ο αλάβαστρος λίθος είναι



4.4 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες φυσικών λίθων

4.4.1 Εισαγωγή στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των φυσικών λίθων

Όταν πρόκειται να δημιουργηθεί ένα έργο είτε καλλιτεχνικό είτε τεχνικό, στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν φυσικοί λίθοι, είναι απαραίτητο να γίνουν, πριν ακόμη αρχίσει η εκτέλεση του έργου, δύο εργασίες καθοριστικής σημασίας για την επιλογή του λίθου:

- Πρώτα είναι απαραίτητο να προσδιορισθούν οι ιδιότητες που πρέπει να έχουν οι λίθοι, φυσικές και μηχανικές, για να μπορέσουν να ανταποκριθούν κατά τον καλύτερο τρόπο στις ειδικές συνθήκες και στους ιδιαίτερους εξωτερικούς παράγοντες που επικρατούν στην περιοχή που θα εγκατασταθεί το γλυπτό.
- Δεύτερο πρέπει να βρεθούν αυτοί οι λίθοι και να ελεγχθούν αν έχουν τις απαιτούμενες αυτές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που αναφέρθηκαν.

Όλα τα πετρώματα μπορούν να ταυτοποιηθούν από τη χημική σύνθεση του ορυκτού ή από τους επιμέρους συνδυασμούς των μετάλλων και μη κρυσταλλικών ουσιών από τα οποία είναι δημιουργημένα. Οι ιδιότητες που πρέπει να έχουν οι λίθοι που χρησιμοποιούνται στη γλυπτική και ο έλεγχος των ιδιοτήτων αυτών, δηλαδή ο προσδιορισμός του βαθμού εκδηλώσεώς τους, εξετάζονται στη συνέχεια εάν και οι γλύπτες και γενικά οι τεχνίτες λίθου δεν είναι απόλυτοι ως αναφορά τις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των λίθων αλλά κυρίως ενδιαφέρονται για τη καθαρότητα, τον χρωματισμό και τη πυκνότητα, ή και την ομοιομορφία του λίθου.

Ξεκινώντας, αναλύονται οι κυριότερες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των πετρωμάτων. Αρχικά υψίστης σημασίας είναι η πυκνότητα και το πορώδες του λίθου. Η πυκνότητα ενός λίθου τυπικά μετράται ως η μάζα της ανά μονάδα όγκου (γραμμάρια ανά κυβικό εκατοστό), γνωστή και ως ειδικό βάρος. Όπως είναι ήδη γνωστό οι λίθοι δεν είναι τελείως συμπαγή σώματα. Αποτελούνται από κάποια ποσότητα ύλης και από ένα όγκο κενών, που είναι κατανομημένα μέσα στη μάζα του λίθου. Τα κενά αυτά έχουν ποικίλα σχήματα και μεγέθη. Η πυκνότητα, ρ , χαρακτηρίζει το ποσοστό του όγκου της ύλης, που περιέχεται σε ένα λίθο, και η αραιότητα, α , ή το πορώδες χαρακτηρίζει το ποσοστό των κενών, που περιέχονται στο λίθο.

Έπειτα, υπάρχει το ειδικό βάρος που είναι εξίσου σημαντικό. Το ειδικό βάρος πρακτικά μετράει πόσες περισσότερες φορές θα ζυγίζει ο λίθος, σε σύγκριση με έναν ίσο όγκου νερού που ζυγίζει ένα (1) γραμμάριο ανά κυβικό εκατοστό ή χίλια κιλά ανά κυβικό μέτρο. Για παράδειγμα, ένα ορυκτό με ειδικό βάρος 5 θα έχει 5 φορές το βάρος του ίδιου όγκου νερού. Ένα πολύ ελαφρύ ορυκτό θα έχει ειδικό βάρος μικρότερο του 2 ενώ αντίστοιχα ένα βαρύ ορυκτό θα έχει 10 και πάνω. Μερικά παραδείγματα της έννοιας του ειδικού βάρους είναι τα ακόλουθα: ειδικό βάρος ασβεστίτη (π.χ. Μάρμαρο)= 2,71 (μεταφράζεται σε 77 κιλά) και ειδικό βάρος γύψου (π.χ. Αλάβαστρος)= 2,35 (όπου μεταφράζεται σε 66.67 κιλά).

Αντίστοιχη ιδιότητα προς την πυκνότητα είναι το φαινόμενο και το απόλυτο ειδικό βάρος που πρέπει πάντοτε να εξετάζεται στους λίθους. Όπως είναι γνωστό το φαινόμενο ειδικό βάρος εξαρτάται από το είδος της ύλης, από την οποία αποτελείται ο λίθος, και από την ποσότητα της ύλης που περιέχει, δηλαδή από την πυκνότητά του, ενώ το απόλυτο ειδικό βάρος εξαρτάται μόνο από το είδος της ύλης. Παρατηρείται ότι όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα, τόσο πιο συμπαγής και με λιγότερα κενά στο εσωτερικό του είναι ο λίθος

Η ποιότητα και η καταλληλότητα του λίθου για τις διάφορες χρήσεις που προορίζεται, εξαρτώνται βασικά από την πυκνότητα και το πορώδες του. Η ικανότητα του λίθου να απορροφά νερό ή να επιτρέπει τη διέλευση του νερού και του αέρα από τη μάζα του, η αντοχή στον παγετό, το φαινόμενο ειδικό βάρος του και η μηχανική του αντοχή εξαρτώνται άμεσα από την πυκνότητα του.



Στις κατασκευές και τα γλυπτά τη μεγαλύτερη σημασία την έχει συνήθως το φαινόμενο ειδικό βάρος. Ο προσδιορισμός του φαινόμενου ειδικού βάρους, σ , και της πυκνότητας, ρ , ενός λίθου γίνεται με διάφορους τρόπους, μερικοί από τους οποίους αναλύονται παρακάτω.

Υπάρχουν μέθοδοι που εκτελούνται στο εργαστήριο, όταν επιζητείται μεγάλη ακρίβεια, και άλλες, που εκτελούνται στο εργοτάξιο, όταν δεν χρειάζεται μεγάλη ακρίβεια.

Η βασικότερη μέθοδος εξέτασης του ειδικού βάρους και του φαινόμενου όγκου είναι η λήψη ενός τμήματος του λίθου με συγκεκριμένο, μετρημένο βάρος, το οποίο στη συνέχεια θα ξηραθεί και θα καλυφθεί με παραφίνη ώστε να καλυφθούν τελείως οι πόροι του πετρώματος. Έπειτα βυθίζεται το δοκίμιο σε καθαρό νερό και ο εκτοπιζόμενος από το δείγμα όγκος του νερού παριστάνει το φαινόμενο όγκο του λίθου. Μια τέτοια διαδικασία απεικονίζεται στην εικόνα 4.7 που ακολουθεί στο πρώτο σχήμα (σχήμα 1).



Πηγή: <https://ctasc.com/ctasc-services/testing-services-2/>, [13]

Εικόνα 4.7: Δοκιμασίες ελέγχου φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων για την εύρεση του ειδικού βάρους και της πυκνότητας (1) και της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του λίθου (2)

Έπειτα υπάρχει και ο σημαντικός παράγοντας της υδροαπορροφητικότητας. Σε πολλές κατασκευές ο λίθος βρίσκεται μέσα στο νερό ή σε επαφή με πάντοτε υγρά εδάφη. Στην περίπτωση αυτή το νερό εισχωρεί μέσα στα κενά του λίθου και μεταβάλλει ορισμένες μηχανικές ιδιότητές του.

Όταν το νερό ή μεγάλο ποσοστό υγρασίας εισχωρήσει μέσα στον λίθο τότε υπάρχει μεγάλη πιθανότητα αλλοιώσεων των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων του λίθου με καίριας σημασίας τη μείωση της αντοχής του λίθου λόγω αλλαγής σκληρότητας και ελαστικότητας.

Το τελευταίο συμβαίνει γιατί μέσα στο νερό που εισχωρεί στους πόρους του λίθου βρίσκονται σε διάλυση άλατα και οξέα, που με τον τρόπο αυτό εισδύουν μέσα στη μάζα του λίθου και προκαλούν χημικές αλλοιώσεις και πιθανές βλάβες στη δομή του.

Έπειτα, η υδροαπορροφητικότητα του πετρώματος εξαρτάται κυρίως από την πυκνότητά του και το πορώδες του παρά από τις χημικές ιδιότητές του και την ορυκτολογική σύστασή του.

Στο σχήμα 2 της εικόνας 4.7 απεικονίζεται η μέτρηση της ηλεκτρικής αγωγιμότητας του λίθου

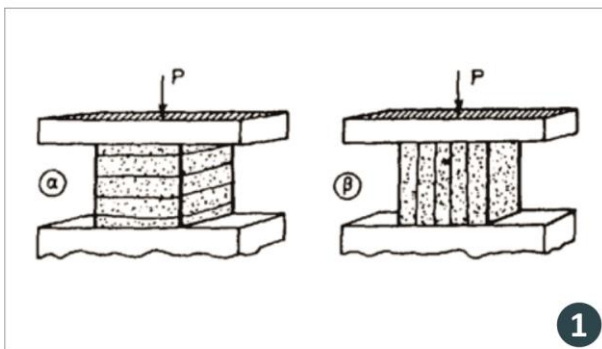
απευθείας μετά την εξόρυξή του και μετά από τη πρώτη κατεργασία του. Ο παράγοντας της ηλεκτρικής αγωγιμότητας μελετάται παρακάτω στο παρόν κεφάλαιο.

Από πειραματικά δεδομένα έχει προκύψει ότι υπάρχουν λίθοι με μεγάλη πυκνότητα (μικρό πορώδες), που απορρόφησαν περισσότερο νερό από άλλους λίθους με μικρότερη πυκνότητα. Ο χαμηλός βαθμός απορροφήσεως του νερού είναι κύρια ένδειξη καλής ποιότητας του λίθου.

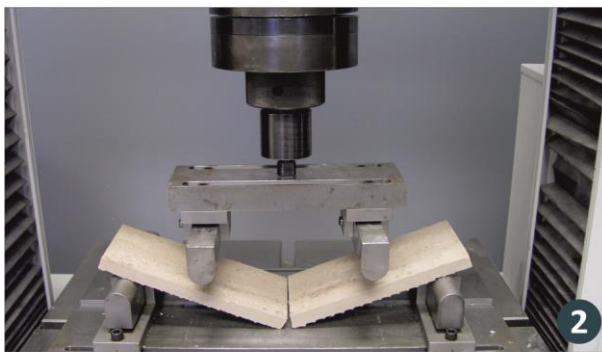
Έπειτα σημαντικός παράγοντας για τους λίθους και της επιλογής τους είναι η αντοχή στον παγετό. Το νερό που έχει εισχωρήσει στους πόρους ενός λίθου παγώνει, στερεοποιείται και κατά την πήξη του διαστέλλεται, δημιουργώντας μεγάλες δυνάμεις στη μάζα του λίθου. Έτσι μπορεί να καταστραφεί η συνοχή των κόκκων και να αποσαθρωθεί ο λίθος με μεγάλη ευκολία και ταχύτητα. Η αντοχή στην πύρωση και στην πυρκαγιά ακολουθεί. Αυτό οφείλεται στη διαστολή που παθαίνουν οι λίθοι κατά την πύρωση, στις ακραίες θερμοκρασιακές μεταβολές καθώς και σε χημικές αλλοιώσεις.

Δοκιμασίες ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων

Δοκιμασίες θλίψης, εφελκισμού και θραύσης λίθων



1



2

Πηγή: <https://ctasc.com/ctasc-services/testing-services-2/>, [13]

Εικόνα 4.8: Δοκιμασίες ελέγχου μηχανικών ιδιοτήτων λίθου σε σενάρια θλίψης, εφελκισμού και θραύσης

μηχανικών αντοχών στο λίθο και οι διάφορες κατεργασίες μπορούν να γίνουν, ταχύτερα, ευκολότερα και πιο ελεγχόμενα χωρίς έντονα, ακανόνιστα σπασίματα και εκούσιες φθορές.

Στην εικόνα 4.8 και στο σχήμα 1 απεικονίζονται δύο πειράματα θλίψης λίθων (1) το ένα με τη κατεύθυνση του εφαρμοζόμενου μηχανικού φορτίου παράλληλα στα νερά του λίθου και το δεύτερο πείραμα, κάθετα στα νερά του πετρώματος.

Ο ίδιος λίθος, όταν προέρχεται από στρωσιγενή πετρώματα, παρουσιάζει διαφορετική αντοχή σε θλίψη, όταν φορτίζεται με δύναμη κάθετη στις στρώσεις του και διαφορετική, και πολύ μικρότερη, όταν φορτίζεται παράλληλα με αυτές. Συμπερασματικά και κατά κανόνα, όσο μεγαλύτερη η πυκνότητα του λίθου και όσο μεγαλύτερο ειδικό βάρος έχει, τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή του σε

Ανάλογα την ορυκτολογική σύσταση του κάθε λίθου εμφανίζεται κάποια αντίσταση στη πύρωση. Συνήθως οι πυριγενείς λίθοι, που περιέχουν χαλαζία, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη αντίσταση.

Παρ όλα αυτά, λόγω συστολής - διαστολής των πετρωμάτων σε μεγάλες θερμοκρασιακές αλλαγές αλλά και χημικές, δημιουργείται ταχεία αποσάθρωση του λίθου.

Έπειτα, καθοριστική παράμετρος μηχανικής ιδιότητας λίθου είναι η αντοχή σε θλίψη. Οι φυσικοί λίθοι, όπως κάθε άλλο υλικό, όταν υποστούν την επιρροή εξωτερικών δυνάμεων, αντιστέκονται στη μεταβολή του σχήματος και των διαστάσεών τους. Η αντίσταση αυτή είναι διαφορετικού βαθμού για κάθε είδος λίθου, και πολλές φορές διαφορετική και για τον ίδιο λίθο, όταν αυτός φορτισθεί με εξωτερικά φορτία κατά τη μία ή την άλλη διεύθυνση.

Τα πετρώματα όπως και το ξύλο εμφανίζουν στρώσεις ή αλλιώς νερά από τη δημιουργία τους. Γνωρίζοντας τη κατεύθυνση αυτών των στρώσεων στον εκάστοτε λίθο και κατανέμοντας σωστά τις δυνάμεις και κατεργάζοντας το υλικό με τη σωστή φορά, αυξάνονται τα όρια











θλίψη. Στο δεύτερο σχήμα της εικόνας 4.8 (2), απεικονίζεται μια σύγχρονη μέθοδος εύρεσης του ορίου θραύσης των λίθων και του ελέγχου της αντοχής του, με τη χρήση μηχανικής πρέσας.

Ακολουθεί ο παράγοντας της αντοχής σε τριβή και η σκληρότητα. Η σκληρότητα δεν πρέπει με κανένα τρόπο να συγχέεται με τη μηχανική αντοχή του λίθου, δηλαδή την αντοχή του σε θλίψη, κάμψη κλπ. Το διαμάντι (αδάμας), όπως είναι γνωστό, είναι το σκληρότερο από τα σώματα. Εν τούτοις η μηχανική αντοχή του είναι μηδαμινή σε σχέση με τη σκληρότητά του. Η αντοχή σε τριβή και η σκληρότητα εξαρτώνται αποκλειστικά από την ορυκτολογική σύσταση του λίθου και τη πυκνότητα.

Οι λίθοι ενός γλυπτού έργου, που εκτίθενται ελεύθερα στην ατμόσφαιρα, όπως συμβαίνει στην περίπτωση μνημειακών κατασκευών, υφίστανται τη μηχανική ενέργεια του περιβάλλοντος, του ανέμου, των διάφορων δονήσεων. Για να αποφευχθεί η γρήγορη φθορά τους, πρέπει να χρησιμοποιούνται λίθοι, που παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στις μηχανικές αυτές επιδράσεις και η σκληρότητα είναι ένα σημαντικό κριτήριο για την ενίσχυση της αντίστασης σε αυτές τις εξωτερικές επιδράσεις.

Κλίμακα Mohs σκληρότητας λίθων
Συνοπτικός πίνακας κυριότερων αλάτων που απαρτίζονται οι φυσικοί λίθοι και η σκληρότητά τους

Mohs hardness	Mineral	Chemical formula	Absolute hardness	Image
1	Talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	1	
2	Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	3	
3	Calcite	$CaCO_3$	9	
4	Fluorite	CaF_2	21	
5	Apatite	$Ca_5(PO_4)_3(OH, Cl, F)$	48	
6	Feldspar	$KAlSi_3O_8$	72	
7	Quartz	SiO_2	100	
8	Topaz	$Al_2SiO_4(OH, F)_2$	200	
9	Corundum	Al_2O_3	400	
10	Diamond	C	1600	

Πηγή: <http://jakgems.blogspot.gr/2013/04/mohs-scale-of-mineral-hardness.html>

Εικόνα 4.9: Πίνακας σκληρότητας κατά Mohs για κάποια χαρακτηριστικά άλατα όπως η τάλκη, το κορούνδιο και το διαμάντι

Η αντοχή αυτή εξαρτάται από τη σκληρότητα των υλικών. Η σκληρότητα στους λίθους εξαρτάται από τη σκληρότητα των ορυκτών, που αποτελούν το λίθο και τα επιπλέον χημικά συγκολλητικά υλικά που τους απαρτίζουν δηλαδή από τη συγκολλητική ύλη, που συνδέει τους κόκκους μεταξύ τους και από τη θέση, που έχουν μεταξύ τους οι κόκκοι.

Η σκληρότητα των λίθων καθορίζεται από τη σκληρογραφική κλίμακα του Mohs. Η κλίμακα σκληρότητας ορυκτών του Mohs είναι μια τακτική, ποιοτική κλίμακα που χαρακτηρίζει την αντοχή στη χάραξη, διάφορων ανόργανων συστατικών λίθων μέσα από την ικανότητα των σκληρότερων υλικών να χαράζουν τα μαλακότερα υλικά.

Για παράδειγμα, άλατα που μπορούν να χαραχθούν από νύχι, καλούνται ως πολύ μαλακά με σκληρότητα έως 2,5 ενώ υλικά που μπορούν να χαραχθούν με μαχαίρι καλούνται ημισκληρα με σκληρότητα 5,5 της κλίμακας Mohs.

Έπειτα σημαντικός παράγοντας αποτελεί η λαξευσιμότητα. Ο βαθμός της σκληρότητας ενός λίθου και της αντιστάσεως του στην τριβή χαρακτηρίζει κατά μεγάλο ποσοστό και το εργάσιμο του. Εργάσιμο καλείται η ικανότητα που παρουσιάζει ένα πέτρωμα να μπορεί να υποστεί οποιαδήποτε κατεργασία όπως είναι το κόψιμο, η απόξεση, η λείανση, η στίλβωση και γενικά όποια κατεργασία διέπει η λάξευση.



Γενικώς πρέπει να γνωρίζεται ότι οι πολύ σκληροί λίθοι είναι δυσκατέργαστοι, δηλαδή κόβονται, μορφοποιούνται και λειαινούνται πολύ δύσκολα, πράγμα που αυξάνει το χρόνο κατεργασίας τους και το κόστος τους και συνεπώς και το κόστος των εργαλείων που απαιτούνται (για την αναγκαιότητα χρήσης επικαλυμμένων εργαλείων) και τις ώρες που θα χρειαστεί να εργασθεί παραπάνω ο τεχνίτης.

Πολλές φορές ορισμένοι λίθοι απορρίπτονται ως ακατάλληλοι για την κατασκευή διαφόρων γλυπτικών έργων, λόγω της σκληρότητας τους, παρά το γεγονός ότι κατά τα άλλα είναι άριστης ποιότητας με βάση τις φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες.

Ακολουθεί και εξετάζεται ο παράγοντας του χρώματος. Η ιδιότητα αυτή εξαρτάται κατά κύριο λόγο από ορισμένα συστατικά, που περιέχουν σε μικρή ποσότητα οι λίθοι. Είναι κυρίως οι διάφορες ενώσεις του σιδήρου και του άνθρακα και σε μικρότερη κλίμακα οι ενώσεις του θείου, νικελίου και χαλκού. Οι ενώσεις αυτές αποτελούν τις χρωστικές ουσίες των λίθων. Οι κόκκινες, κίτρινες και καφέ αποχρώσεις οφείλονται στα ελεύθερα οξείδια του σιδήρου, ενώ οι μπλε, γκρι ή μαύρες αποχρώσεις οφείλονται στις ανθρακικές ενώσεις. Όταν ο λίθος δεν περιέχει σίδηρο, είναι συνήθως άσπρος ή περίπου άσπρος.

Το χρώμα του λίθου δεν επηρεάζει καμιά από τις ιδιότητες που αναφέρθηκαν προηγουμένως και επομένως δεν είναι ενδεικτικό της ποιότητας του. Απλώς επιδρά στην εμφάνιση του και λαμβάνεται υπ' όψη μόνο προκειμένου για λίθους, που θα χρησιμοποιηθούν για επενδύσεις τοίχων. Το χρώμα αλλοιώνεται από τα οξέα της ατμόσφαιρας, καθώς και από το φως. Οι γρανίτες π.χ. φαίνονται περισσότερο σκοτεινοί, όταν οι άστριοι, που περιέχουν, είναι καθαροί και υαλώδεις, οπότε απορροφούν περισσότερο φως παρά όταν οι άστριοι αυτοί είναι θαμποί και αντανακλούν το φως [13].

4.4.2 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μαρμάρου

Ξεκινώντας και αναλύοντας εις βάθος το μάρμαρο, πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν πολλοί τύποι μαρμάρων, με διαφορές μεγάλες στις ιδιότητές τους, τόσο στις φυσικές όσο και στις μηχανικές. Σε

Μάρμαρα Ελλάδας

Οι κύριες κατηγορίες διακοσμητικών μαρμάρων

Είδος	Χρώμα	Κωδικός ανάλυσης
Άνω Πεντέλης	Χιονόλευκο	M1
Κάτω Πεντέλης	Κυανόλευκο	M2
Αγ. Μαρίνας	Υπόλευκο	M5
Αλιβερίου	Τεφρό	M6
Ερέτριας	Ερυθροϊώδες	M8
Σκύρου	Ροδόχρωμο	M7
Πάρου	Λευκό	M3
Τήνου	Πράσινο	M9
Φαρσάλων	Μαύρο	M10
Βόλου	Κυανόλευκο	M4
Βέροιας	Λευκό	M11
Νάουσας	Πράσινο	M12
Φωτιάς Βερμίου	Λευκό	M13

Πηγή: Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4 [14]

Εικόνα 4.10: Πίνακας καταγραφής μαρμάρων Ελλάδας με χρώμα και κωδικό για τη περαιτέρω ανάλυσή τους

αυτό το υπό κεφάλαιο γίνεται εστίαση κυρίως στα Ελληνικά μάρμαρα και στις ιδιότητές τους. Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας με τις κυριότερες κατηγορίες Ελληνικών μαρμάρων που χρησιμοποιούνται στη γλυπτική [14] [22].

Όπως φαίνεται στο πίνακα του σχήματος 4.10, καταγράφονται όλα τα Ελληνικά μάρμαρα που βρίσκουν εφαρμογή στη γλυπτική, αναγράφοντας το χρώμα τους και τον κωδικό τους για την ανάλυση που ακολουθεί.

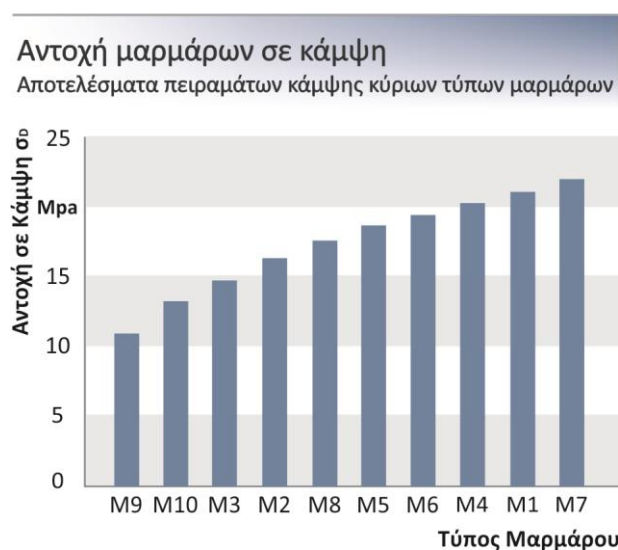
Γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για το ίδιο πέτρωμα, το μάρμαρο, υπάρχουν πάνω από 10 διαφορετικές ποικιλίες, κάθε μια από αυτές με διαφορετικά χαρακτηριστικά, χρώμα και ιδιότητες. Συνολικά επομένως μελετήθηκαν δεκατρείς (13) κατηγορίες Ελληνικών μαρμάρων, όπου τους δόθηκαν οι κωδικοί από M1 έως M13 για την ευκολία ανάλυσής τους και ταξινόμησής τους.



Αυτοί οι λίθοι, μελετήθηκαν ως προς την αντοχή τους σε κάμψη, την αντοχή τους σε κάμψη κατά την επίδραση παγετού και μελετήθηκαν και συγκρίθηκαν ως προς τις ιδιότητές τους, φυσικές και χημικές.

Εδώ πρέπει να αναφερθεί ότι οι ιδιότητες των λίθων αλλάζουν δυναμικά ανάλογα τις συνθήκες περιβάλλοντος και φυσικά ανάλογα τις φυσικές τους ιδιότητες. Επομένως οι επιδράσεις του παγετού, της αλλαγής θερμοκρασίας και υγρασίας, επηρεάζουν άμεσα την αντοχή τους σε κάμψη καθώς και τις ελαστικές σταθερές τους.

Παρακάτω ακολουθεί ο πίνακας του σχήματος 4.11 όπου δείχνει με ακρίβεια πως μια κατηγορία λίθου όπως το μάρμαρο, εμφανίζει διαφορετικά όρια κάμψης ανάλογα με το τύπο που ανήκει. Τα αποτελέσματα του πίνακα αυτού απεικονίζουν τα όρια αντοχής σε κάμψη των συνολικά δεκατριών (13) μαρμάρων που προαναφέρθηκαν.



Πηγή: Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4 [14]

Εικόνα 4.11: Πίνακας αξιολόγησης ορίου αντοχής σε κάμψη των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων

τους.

Στους πίνακες που ακολουθούν, πίνακες 4.12 και 4.13, οι φυσικοί μαρμαρίνοι λίθοι των παραπάνω κατηγοριών, βαθμολογούνται και κατατάσσονται με βάση τη βαθμολογία των ιδιοτήτων τους. Για κάθε ιδιότητα, χρησιμοποιήθηκε κλίμακα βαθμολόγησης από το 0 έως το 100.

Τα σχετικά τους αθροίσματα, τόσο για τις φυσικές τους ιδιότητες όσο και για τις μηχανικές τους, δίνουν το μέτρο της συμπεριφοράς τους ανάλογα τη ποικιλία. Παρακάτω απεικονίζεται στην εικόνα 4.12 ο πίνακας βαθμολόγησης και κατάταξης των ποικιλιών μαρμάρου με βάση τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως το χρώμα, το πορώδες, η υδρο-απορρόφηση, η υδατοπερατότητα, η θερμική αγωγιμότητα, το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή τους σε παγετό, η αντοχή σε διοξείδιο του άνθρακα, σε διοξείδιο του θείου και στην αντοχή τους σε διοξείδιο του αζώτου.

Έπειτα ακολουθεί το συνολικό άθροισμα των επιμέρους βαθμολογιών τους και η τελική τους κατάταξη με βάση τη βαθμολογία των φυσικών ιδιοτήτων τους. Όπως επομένως φαίνεται από το πίνακα της εικόνας 4.12, πρώτο σε κατάταξη μάρμαρο με βάση τις φυσικές του ιδιότητες είναι το



μάρμαρο Ερέτριας με συνολική βαθμολογία 862 ενώ στο τέλος της κατάταξης βρίσκεται το μάρμαρο Σκύρου με αθροιστική βαθμολογία 379.

Παραπάνω στο διάγραμμα της εικόνας 4.11 το μάρμαρο της Σκύρου εμφανίζει τη καλύτερη αντοχή στη κάμψη ενώ όμως αθροιστικά με τις φυσικές ιδιότητές είναι ευτελέστερο σε σχέση με τα υπόλοιπα μάρμαρα. Συμπερασματικά λοιπόν οι φυσικές ιδιότητες των λίθων δεν είναι απαραίτητο να επηρεάζουν και τις μηχανικές. Καθοριστική παράμετρος στη συγκεκριμένη ποικιλία είναι η αντοχή στο παγετό (όπου το μάρμαρο Σκύρου βαθμολογήθηκε με μηδέν (0)), όπου με βάση αυτή μπορούν να αλλάξουν δυναμικά οι μηχανικές ιδιότητες του λίθου.

Φυσικές ιδιότητες Ελληνικών μαρμάρων

Όλες οι φυσικές ιδιότητες των κύριων Ελληνικών μαρμάρων γλυπτικής και κατασκευών σε βαθμολογία κατάταξης 0-100

Είδος	Χρώμα	Πορώδες	Υδρο-	Υδατο-	Θερμική	Δυναμικό μέτρο	Κωδικός
			απορρόφηση	περατότητα	αγωγιμότητα	ελαστικότητας	
Άνω Πεντέλης	100	89	88	73	23	30	M1
Κάτω Πεντέλης	70	86	88	73	42	23	M2
Αγ. Μαρίνας	30	87	86	89	10	87	M5
Αλιβερίου	0	88	86	86	28	70	M6
Ερέτριας	70	98	100	100	4	100	M8
Σκύρου	30	81	82	78	17	81	M7
Πάρου	100	93	91	41	45	0	M3
Τήνου	70	0	0	0	97	36	M9
Φαρσάλων	30	100	99	96	0	89	M10
Βόλου	30	84	85	87	33	63	M4
Βέροιας	100	89	89	56	8	44	M11
Νάουσας	80	6	86	87	100	45	M12
Φωτιάς Βερμίου	60	36	35	66	98	50	M13

Είδος	Αντοχή σε	Αντοχή στο	Αντοχή στο	Αντοχή στο	Συνολικό	Κατάταξη	Κωδικός
	παγετό	διοξειδίο του άνθρακα	διοξειδίο του θείου	διοξειδίο του αζώτου			
Άνω Πεντέλης	64	10	90	10	577	6	M1
Κάτω Πεντέλης	56	0	60	40	538	9	M2
Αγ. Μαρίνας	45	60	60	10	564	7	M5
Αλιβερίου	40	30	10	0	438	11	M6
Ερέτριας	100	90	100	100	862	1	M8
Σκύρου	0	10	0	0	379	13	M7
Πάρου	23	10	40	40	483	10	M3
Τήνου	28	70	0	90	391	12	M9
Φαρσάλων	40	40	60	80	634	2	M10
Βόλου	18	30	100	10	540	8	M4
Βέροιας	71	10	90	10	567	6	M11
Νάουσας	21	100	0	100	625	3	M12
Φωτιάς Βερμίου	51	100	0	90	586	4	M13

Πηγή: Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4 [14]

Εικόνα 4.12: Πίνακας φυσικών ιδιοτήτων των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων, συμπεριλαμβανομένης της βαθμολόγησής τους και της κατάταξής τους βάση των φυσικών ιδιοτήτων τους σε κλίμακα από 0-100 μονάδες.

Στο πίνακα της εικόνας 4.13 που ακολουθεί, βαθμολογούνται και κατατάσσονται οι ποικιλίες μαρμάρου με βάση τις μηχανικές τους ιδιότητες, όπως η θερμική αγωγιμότητα, η αντοχή σε θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό, η αντοχή σε κρούση, η αντοχή σε τριβή και το δυναμικό μέτρο ελαστικότητας.

Έπειτα ακολουθεί το συνολικό άθροισμα των επιμέρους βαθμολογιών τους και η τελική τους κατάταξη με βάση τη βαθμολογία των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Όπως επομένως φαίνεται από το



πίνακα της εικόνας 4.13, πρώτο σε κατάταξη μάρμαρο με βάση τις μηχανικές του ιδιότητες είναι το μάρμαρο Νάουσας με συνολική βαθμολογία 582 ενώ στο τέλος της κατάταξης βρίσκεται το μάρμαρο Πάρου με αθροιστική βαθμολογία 219 μονάδες.

Μηχανικές ιδιότητες Ελληνικών μαρμάρων

Όλες οι μηχανικές ιδιότητες των κύριων Ελληνικών μαρμάρων γλυπτικής και κατασκευών σε βαθμολογία κατάταξης 0-100

Είδος	Χρώμα	Θερμική αγωγιμότητα	Αντοχή σε θλίψη	Αντοχή σε εφελκυσμό	Αντοχή σε κρούση	Κωδικός
Άνω Πεντέλης	100	23	24	85	25	M1
Κάτω Πεντέλης	70	42	0	46	21	M2
Αγ. Μαρίνας	30	10	15	49	3	M5
Αλιβερίου	0	28	7	70	48	M6
Ερέτριας	70	4	16	48	54	M8
Σκύρου	30	17	11	91	44	M7
Πάρου	100	45	2	28	0	M3
Τήνου	70	97	45	0	35	M9
Φαρσάλων	30	0	28	7	41	M10
Βόλου	30	33	9	67	51	M4
Βέροιας	100	8	14	100	66	M11
Νάουσας	80	100	100	62	100	M12
Φωτιάς Βερμίου	60	98	34	38	92	M13

Είδος	Αντοχή σε τριβή	Δυναμικό μέτρο ελαστικότητας	Συνολικό άθροισμα	Κατάταξη	Κωδικός
Άνω Πεντέλης	47	30	334	7	M1
Κάτω Πεντέλης	62	23	264	10	M2
Αγ. Μαρίνας	55	87	249	12	M5
Αλιβερίου	56	70	279	8	M6
Ερέτριας	79	100	371	5	M8
Σκύρου	69	81	343	6	M7
Πάρου	44	0	219	13	M3
Τήνου	100	36	383	4	M9
Φαρσάλων	82	89	277	9	M10
Βόλου	0	63	253	11	M4
Βέροιας	69	84	441	3	M11
Νάουσας	95	45	582	1	M12
Φωτιάς Βερμίου	87	50	459	2	M13

Πηγή: Αμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4 [14]

Εικόνα 4.13: Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων των διάφορων ποικιλιών Ελληνικών μαρμάρων, συμπεριλαμβανομένης της βαθμολόγησής τους και της κατάταξής τους βάση των μηχανικών ιδιοτήτων τους σε κλίμακα από 0-100 μονάδες.

**Γενικές ιδιότητες μαρμάρου**

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες μαρμάρινου λίθου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.64 - 3.02
Πορώδες, η	%, κ. ο. ₃	0.2 - 3.0
Υδρο-απορροφητικότητα W_v	kg/m^3	1 - 6
Αντοχή σε θλίψη, σ_D	MPa	38 - 280
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_T	MPa	2 - 29
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	24 - 103
Αντοχή σε τριβή, σ_T	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{στροφ.}$	30 - 70
Σκληρότητα	Mohs	3 - 4

Πηγή: Αμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά, Τόμος 4 [14]

Εικόνα 4.14: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων μαρμάρινου λίθου.

Παρακάτω, στην εικόνα 4.14 παρουσιάζονται οι διεθνείς γενικές μεταβλητές μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων των μαρμάρων που εκφράζουν όλες τις ποικιλίες και όλη τη κατηγορία του μαρμάρου ως λίθο.

Αυτές οι μεταβλητές είναι η πυκνότητα, το πορώδες, η υδρο-απορροφητικότητα, η αντοχή σε θλίψη, η αντοχή σε εφελκυσμό, το μέτρο ελαστικότητας, η αντοχή σε τριβή και τέλος η σκληρότητα κατά κλίμακα Mohs.

4.4.3 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες γρανίτη

Ός αναφορά τον γρανίτη, ποικιλίες υπάρχουν αλλά όχι τόσες πολλές ούτε με τόσα δεδομένα. Οι γρανίτες βρίσκονται και εξορύσσονται σε διάφορους χρωματισμούς βάση τις ορυκτολογικές τους συστάσεις. Όπως και στο μάρμαρο που ήδη μελετήθηκε, όλοι οι λίθοι, συμπεριλαμβανομένου και

Γενικές ιδιότητες γρανίτη

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες γρανίτη λίθου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.60 - 2.82
Πορώδες, η	%, κ. ο. ₃	0.4 - 1.5
Υδρο-απορροφητικότητα W_v	kg/m^3	4 - 14
Αντοχή σε θλίψη, σ_D	MPa	140 - 434
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_T	MPa	3 - 40
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	10 - 77
Αντοχή σε τριβή, σ_T	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{στροφ.}$	10 - 16
Σκληρότητα	Mohs	6 - 7

Πηγή: <http://www.mineralszone.com/stones/granite.html> [23]

Εικόνα 4.15: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων γρανίτη λίθου.

του γρανίτη δεν έχουν απόλυτες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες και αυτές είναι δύσκολο να προσδιορισθούν.

Ο γρανίτης είναι πυριγενές πέτρωμα, πολύ σκληρό, κρυσταλλικό και πολύ μεγάλη ομοιογένεια και εσωτερική δομή. Ο γρανίτης είναι ο σκληρότερος λίθος της γλυπτικής με σκληρότητα 6-7 βαθμούς στη κλίμακα Mohs.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του γρανίτη, περιλαμβάνουν επίσης υψηλή χωρητικότητα μηχανικών και θλιπτικών φορτίων, μεγάλη αντοχή στη τριβή και διαμορφώνεται χωρίς την εμφάνιση δευτερογενών ατελειών. Λόγω της υψηλής πυκνότητας των κόκκων, ο γρανίτης δεν

αποχρωματίζεται.

Στο παραπάνω πίνακα του σχήματος 4.15 παραθέτονται οι γενικές μηχανικές ιδιότητες των γρανιτών και όπως φαίνεται από το πίνακα, το εύρος των αντοχών τους σε θλίψη και σε εφελκυσμό είναι μεγάλο με αρκετά υψηλές τιμές που δείχνουν ότι όντως ο γρανίτης είναι από τα πιο σκληρά και ανθεκτικά πετρώματα. Όσον αφορά τη θερμική του σταθερότητα, είναι εξαιρετικά σταθερός και αδιαπέραστος από τις θερμικές καιρικές συνθήκες, χάρη στη μεγάλη πυκνότητά του. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής αυτού του πετρώματος κυμαίνεται από 0.00011938 έως 0.0002286 χιλιοστά ανά βαθμό Κελσίου. Ακόμα και οι διάφορες χημικές προσμίξεις που βρίσκονται στον αέρα δεν μπορούν να επηρεάσουν τον γρανίτη καθώς είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός σε χημικές μεταβολές και διαβρώσεις [14][22].



4.4.4 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ψαμμίτη

Γενικές ιδιότητες ψαμμίτη

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ψαμμίτη λίθου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.3 - 2.48
Πορώδες, η	%, κ. ο.	7 - 34
Υδρο-απορροφητικότητα W_v	kg/m^3	8 - 14
Αντοχή σε θλίψη, σ_b	MPa	5 - 80
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_t	MPa	1 - 9
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	18 - 20.2
Αντοχή σε τριβή, σ_t	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ *στροφ.	5 - 10
Σκληρότητα	Mohs	6.5 - 7

Πηγή: <http://www.mineralszone.com/stones/sandstone.html> [24]

Εικόνα 4.16: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων ψαμμίτη λίθου.

τους λόγω καιρικών συνθηκών, υγρασίας και χημικών αλλοιώσεων.

Αυτά τα στοιχεία για τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του ψαμμίτη αναγράφονται στο παραπάνω πίνακα του σχήματος 4.16. Όσον αφορά πιο ειδικές μεταβλητές, ο λόγος των κενών που χαρακτηρίζουν τα ψαμμιτικά πετρώματα κυμαίνεται από 0.011 έως 0.035. Επίσης η διάδοση των υπερήχων κυμάτων V_p κυμαίνεται περίπου από 3335.28 έως 5398.09 m/s [22].

4.4.5 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ασβεστόλιθου

Ο ασβεστόλιθος είναι ένας πολύ συμπαγής λίθος που χρησιμοποιείται ευρέως στη γλυπτική λόγω της εξαιρετικής του κατεργασιμότητας. Σε γενικές γραμμές, οι ασβεστόλιθοι έχουν μεγάλη σκληρότητα, είναι συμπαγής και λεπτόκοκκοι [22].

Γενικές ιδιότητες ασβεστόλιθου

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες ασβεστόλιθου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.5 - 2.7
Πορώδες, η	%, κ. ο.	0.7 - 3.0
Υδρο-απορροφητικότητα W_v	kg/m^3	5 - 17
Αντοχή σε θλίψη, σ_b	MPa	60 - 170
Αντοχή σε εφελκυσμό, σ_t	MPa	2 - 15
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	10 - 77
Αντοχή σε τριβή, σ_t	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2$ *στροφ.	10 - 16
Σκληρότητα	Mohs	3 - 4

Πηγή: <http://www.mineralszone.com/stones/limestone.html> [25]

Εικόνα 4.17: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων ασβεστόλιθου.

επιλογές για λίθο γλυπτικής.

Οι ψαμμίτες, σωματικά ως πετρώματα παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα, καθώς είναι συμπιεσμένοι λεπτόκοκκοι και ομοιογενή ως πετρώματα ιζηματογενούς φύσης.

Στους ψαμμίτες γενικά τα εύρη των φυσικών και μηχανικών τους ιδιοτήτων δεν είναι μεγάλα. Μπορεί να έχουν μεγάλη σκληρότητα, ίδια κοντά με τους γρανίτες (6.5-7 στη κλίμακα Mohs) αλλά δεν έχουν καθόλου καλή μηχανική αντοχή σε θλίψη, εφελκυσμό και τριβή.

Με βάση αυτό το κριτήριο, κατεργάζονται πολύ εύκολα. Το μεγάλο τους πορώδες και η χαμηλή τους σχετικά πυκνότητα τους κάνει επιρρεπείς σε δυναμικές αλλαγές των μηχανικών ιδιοτήτων

Στο πίνακα της εικόνας 4.17, αναγράφονται οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του ασβεστόλιθου. Το χρώμα τους είναι συνήθως άσπρο ή γαλαζωπό. Το ειδικό βάρος του ασβεστόλιθου κυμαίνεται μεταξύ 2.5 - 2.7 gr/cm^3 και αναλόγως την ορυκτολογική τους σύσταση φέρουν σκληρότητα κοντά στις 3 μονάδες κατά κλίμακα Mohs.

Γενικά, διαβρώνεται έντονα με το νερό. Είναι υδροπερατό πέτρωμα και παρουσιάζει πολύ μεγάλο εύρος τιμών όσο αφορά την αντοχή του. Κύριο χαρακτηριστικό του λίθου αυτού είναι ο συνδυασμός της υψηλής πυκνότητάς του και της χαμηλής αντοχής του σε τριβή όπου κάνουν τον ασβεστόλιθο να είναι μια από τις πρώτες



4.4.6 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σαπωνόλιθου

Γενικές ιδιότητες σαπωνόλιθου

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες σαπωνόλιθου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.9 - 3.0
Πορώδες, η	%, κ. ο.	0.08 - 0.1
Υδρο-απορροφητικότητα Wv	kg/m^3	1 - 2.5
Αντοχή σε θλίψη, σθ	MPa	17.5 - 24.1
Αντοχή σε εφελκυσμό, σz	MPa	5.2 - 6.87
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	70 - 100
Αντοχή σε τριβή, στ	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{στροφ.}$	9 - 11
Σκληρότητα	Mohs	1 - 4

Πηγή: <http://www.traditionaloven.com/articles/691/soapstone-data-info> [26]

Εικόνα 4.18: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων σαπωνόλιθου.

Mohs).

Στον πίνακα του σχήματος 4.18 καταγράφονται οι γενικές φυσικό-μηχανικές ιδιότητες του σαπωνόλιθου με κύριο χαρακτηριστικό του μέγεθος, το μικρό πορώδες και το μεγάλο σχετικά εύρος σκληρότητας.

4.4.7 Μηχανικές και φυσικές ιδιότητες αλαβάστρου (με βάση το γύψο)

Γενικές ιδιότητες αλάβαστρου

Γενικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες αλάβαστρου

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	2.3 - 2.33
Πορώδες, η	%, κ. ο.	3.52 - 4.69
Υδρο-απορροφητικότητα Wv	kg/m^3	-
Αντοχή σε θλίψη, σθ	MPa	87 - 90
Αντοχή σε εφελκυσμό, σz	MPa	18 - 23.4
Μέτρο ελαστικότητας, E	GPa	1.585 - 2.547
Αντοχή σε τριβή, στ	$\times 10^4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{στροφ.}$	-
Σκληρότητα	Mohs	1.5 - 2

Πηγή: Abd. El-Tawab, Askalany, M., Study of durability of alabaster used in the temples of Luxor and Karnak and laboratory evaluation of consolidation treatment [27]

Εικόνα 4.19: Πίνακας γενικών μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων αλάβαστρου λίθου

Ο σαπωνόλιθος αποτελείται κυρίως από τάλκη και εμφανίζει μεγάλο ποσοστό φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων από αυτό το άλας.

Ο σαπωνόλιθος είναι εκπληκτικά μαλακός, με χαμηλή σκληρότητα και πολύ εύκολος στη κατεργασία, είναι μη πορώδες πέτρωμα, μη απορροφητικό, με χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, υψηλή ειδική θερμοχωρητικότητα και ανθεκτικός σε οξέα και αλκάλια [22].

Το επίπεδο της μεταβολής των ορυκτών του σαπωνόλιθου καθορίζει ορισμένες φορές το μέγεθος των κόκκων του. Η παρουσία αλάτων εκτός της τάλκης μπορεί επίσης να επηρεάσει τη σκληρότητα του ορυκτού όπου κυμαίνεται από υπερβολικά μικρή έως σκληρή (κλίμακα 1-4 κατά

Τέλος, μελετάται ο αλάβαστρος λίθος. Ο αλάβαστρος αποτελεί είτε τη μεγαλύτερη κατηγορία γύψου που μπορεί να προκύψει, κυρίως ως διαφανείς κρύσταλλοι ενοποιημένοι με πολλές γωνίες είτε εμφανίζεται ως ενοποιημένοι κρύσταλλοι καλσίτη.

Επομένως ο αλάβαστρος λίθος χωρίζεται σε δύο διαφορετικές κατηγορίες με διαφορετικά στοιχεία μηχανικών και φυσικών ιδιοτήτων.

Η πιο αγνή μορφή αυτού του λίθου είναι σε λευκό χρώμα ή ημιδιαφανές. Σχετικά με τις φυσικές του ιδιότητες, έχει σχετικά χαμηλή πυκνότητα, είναι πολύ υδρο-απορροφητικός και με βάση τον πίνακα της εικόνας 4.19 έχει χαμηλή σκληρότητα κοντά στο 1,5-2 στη κλίμακα Mohs [22][27].

Κύριο χαρακτηριστικό του λίθου αυτού είναι το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας που έχει λόγω της ορυκτολογικής του σύστασης και της σκληρότητάς του όπου είναι πολύ χαμηλή αν είναι με βάση το γύψο ή σχετικά χαμηλή (3 - 3,5 στη κλίμακα Mohs) αν έχει βάση τον καλσίτη.



5. Προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετώνται οι προδιαγραφές που πρέπει να πληροί το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης προκειμένου να είναι λειτουργικό και αποδοτικό τόσο σε χέρια καλλιτεχνών, τεχνιτών, γλυπτών και ενσωματωμένο σε πνευματικά σφυριά όσο και ενοποιημένο και συνδεδεμένο σε εργαλειομηχανή κρουστικής λάξευσης. Αυτές οι προδιαγραφές χωρίζονται και αναλύονται στις κατηγορίες που ακολουθούν, όπως η εργονομία, τα προβλεπόμενα μηχανικά φορτία, οι ηλεκτρονικές διατάξεις, τα εξαγόμενα μεγέθη και η αυτονομία.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, λόγω προδιαγραφών, διαφοροποιείται πλήρως από ένα συμβατικό γλυπτικό καλέμι. Το έξυπνο αυτό εργαλείο σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε ώστε να συνδυάζει όλες τις λαξευτικές σμίλες (μέσω εναλλάξιμων τμημάτων) σε ένα εργαλείο, το οποίο παρέχει τη δυνατότητα μέσω ηλεκτρονικών διατάξεων στο εσωτερικό του να καταγράφει και να εξάγει όλα τα μετρήσιμα μεγέθη που διέπουν τη κάθε γλυπτική κατεργασία, λειτουργίες που ένα συμβατικό εργαλείο γλυπτικής δε μπορεί να προσφέρει.

5.1 Εργονομία

Εργονομία, βάση ορισμού, είναι ένας τρόπος μελέτης και σχεδιασμού της εργασίας ή των τεχνημάτων, με σκοπό την ανταπόκριση στις ικανότητες και τις ανάγκες των ανθρώπων που τις εκτελούν ή που αντίστοιχα χρησιμοποιούν τα τεχνήματα αυτά. Στη σημερινή εποχή η χειρωνακτική εργασία αντικαθίσταται όλο και περισσότερο από τις μηχανές. Μηχανές, αυτοματοποιημένα εργαλεία καλούνται να σχεδιαστούν, να κατασκευαστούν και να λειτουργούν με τον άνθρωπο, για τον άνθρωπο, για την αύξηση της παραγωγικότητας και της ακρίβειας.

Όλα τα παραπάνω γίνονται ανθρωποκεντρικά, δηλαδή με κύριο γνώμονα τον άνθρωπο, μελετώντας σε κάθε στάδιο ανάπτυξής τους, τη διεπαφή και τη χρήση τους από ανθρώπους. Επομένως είναι κατανοητό ότι κάθε μηχανή, κάθε εργαλείο ή διαδικασία, σχεδιάζεται και υλοποιείται για την ευκολότερη και πιο παραγωγική χρήση του από τον τελικό του χρήστη.

Σκοπός της εργονομίας στο πλαίσιο του σχεδιασμού και κατασκευής του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι ο σχεδιασμός και η δημιουργία ενός εύχρηστου, στιβαρού, εργονομικού, πρότυπου εργαλείου κρουστικής λάξευσης όπου θα ωθήσει τον προαναφερθέντα τεχνίτη, γλύπτη, να αυτοματοποιήσει τη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης είτε ενσωματώνοντας το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης στις πρωτόγονες ακόμα διαδικασίες λάξευσης χειρωνακτικά, είτε χρησιμοποιώντας κατευθείαν αυτοματοποιημένες μεθόδους και μηχανές (συμπεριλαμβανομένου του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης) για τη παραγωγή γλυπτών.

Πιο συγκεκριμένα, με βάση τον ορισμό της εργονομίας, το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης θα πρέπει να συνδυάζει τα ακόλουθα:

- Κατάλληλες διαστάσεις, όχι πολύ μεγαλύτερο σε μήκος, διατομή και φυσικά βάρος από ένα καλέμι χείρως, ώστε ο τεχνίτης – γλύπτης να μπορεί να το χειρίζεται με ευκολία χωρίς να του προσδίδει κούραση στο χέρι και στο σώμα,
- να είναι στιβαρό εκ κατασκευής, να μπορεί να ανταπεξέλθει στους εξωτερικούς παράγοντες και στην εργασία που προορίζεται, χωρίς τη παρουσίαση βλαβών ή αποσαθρώσεων των επιμέρους τμημάτων του,
- να προσφέρει στον χρήστη του, καλύτερο ποιοτικά και ταχύτερο αποτέλεσμα από τα προηγούμενα εργαλεία που χρησιμοποιούσε καθώς και να προσελκύει το ενδιαφέρον της χρήσης του είτε με βάση τον οικονομικό παράγοντα είτε με την ευχρηστία που προσφέρει και τέλος,
- να είναι ασφαλές για τον ίδιο τον χρήστη και το περιβάλλον του.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως ένα μεγάλο τμήμα, αν όχι όλο το στάδιο του σχεδιασμού του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης βασίστηκε και κινήθηκε με βάση της απαιτούμενης εργονομίας που προαναφέρθηκε.

5.2 Προβλεπόμενα μηχανικά φορτία

Η μελέτη των μηχανικών φορτίων κατά τη χρήση του έξυπνου εργαλείου είναι εξίσου σημαντική τόσο στο στάδιο του σχεδιασμού όσο και στο στάδιο επιλογής υλικού και κατασκευής. Κύρια παράμετρος αποτελεί ότι τα μηχανικά φορτία που αναπτύσσονται από τη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης δεν είναι γνωστά αλλά απαιτούνται να γίνουν γνωστά μέσω του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Ο επιμέρους λοιπόν σχεδιασμός, επιλογή υλικού και κατασκευή, έγινε με κύριο γνώμονα τις μηχανικές ιδιότητες των φυσικών λίθων και κυρίως της αντοχής σε θραύση και τις θλιπτικές αντοχής ώστε να δημιουργηθεί ένα ελάχιστο κατώφλι μηχανικής αντοχής που πρέπει να τηρεί το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης. Πιο συγκεκριμένα το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης θα πρέπει να μπορεί να κατεργαστεί γρανίτη, λίθος γλυπτικής με τη μεγαλύτερη σκληρότητα και αντοχή σε θλίψη, ο οποίος εμφανίζει μέγιστη αντοχή σε θλίψη κοντά στα 435 MPa (ανάλογα το τόπο εξόρυξης και την ορυκτολογική του σύσταση).

Αυτό συνεπάγεται πως το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης θα πρέπει να είναι σε θέση να αντέξει τάσεις τουλάχιστον 600 MPa σε όλα του τα τμήματα και κυρίως στις εναλλάξιμες λαξευτικές σμίλες και στο εναλλάξιμο πίσω τμήμα κρούσης. Με εξαίρεση τον γρανίτη λίθο οι υπόλοιποι λίθοι γλυπτικής έχουν όριο θραύσης μικρότερο των 250 MPa.

Τα προβλεπόμενα μηχανικά φορτία, οι αναπτυσσόμενες μηχανικές τάσεις και οι επιδράσεις τους στο εργαλείο εξετάζονται αναλυτικά με την ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης στο κεφάλαιο 11 του δεύτερου (Β') μέρους (Ανάλυση θλίψης / εφελκυσμού έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης μέσω πεπερασμένων στοιχείων) της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

5.3 Ηλεκτρονικές διατάξεις και εξαγόμενα μεγέθη

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία δε θα γίνει εκτενής ανάλυση των ηλεκτρονικών διατάξεων εντός του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης αλλά θα αναφερθούν στο παρόν κεφάλαιο επιγραμματικά ο σκοπός και τα εξαγόμενα μεγέθη από τη χρήση και εφαρμογή του έξυπνου εργαλείου.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης φέρει ηλεκτρονικές διατάξεις στο κύριο τμήμα του ικανές να μετρήσουν και να εξάγουν τα πρωτογενή μεγέθη της εφαρμογής του εργαλείου στη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης. Η κύρια ιδέα που οδήγησε στην ανάπτυξη και τον προγραμματισμό των ηλεκτρονικών αυτών διατάξεων και ένα μεγάλο τμήμα του σκοπού ύπαρξης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, είναι η χαρτογράφηση της διαδικασίας της κρουστικής λάξευσης όπου μέχρι τώρα αποτελεί άγνωστη και εμπειρική περιοχή.

Το αποτέλεσμα της γλυπτικής μέσω της κρουστικής λάξευσης συναρτάται άμεσα με την τεχνική, την εμπειρία και την ικανότητα ξεχωριστά του κάθε τεχνίτη - γλύπτη. Η οποιαδήποτε προσπάθεια της αυτοματοποίησης είτε αυτοματοποίησης με αριθμητικό έλεγχο, της γλυπτικής εξαντλείται στην μέθοδο αφαίρεσης του ψαθυρού υλικού μέσω περιστρεφόμενου εργαλείου. Στην μέθοδο της κρουστικής λάξευσης δεν υπάρχει αντίστοιχη τεχνογνωσία αφού όλες οι παράμετροι που ορίζουν το αποτέλεσμα δεν περιγράφονται επιστημονικά με φυσικά μεγέθη αλλά ορίζονται, ελέγχονται και ασκούνται από τον κάθε γλύπτη.



Τα μεγέθη και οι παράμετροι που το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης είναι σε θέση να εξάγει και να αποθηκεύει σε πραγματικό χρόνο, με τις υπάρχουσες ηλεκτρονικές διατάξεις, είναι τα ακόλουθα:

- Μετρήσεις ακριβείας, μηχανικού φορτίου κοντά στην εναλλάξιμη σμίλη, μέσω ηλεκτρικών μηχανομετρώων, σε Newton,
- μετρήσεις θερμοκρασιών (δύο διαφορετικών θερμοκρασιών), κοντά στο τμήμα της εναλλάξιμης σμίλης όσο και στο τμήμα των ηλεκτρονικών διατάξεων, σε βαθμούς κελσίου,
- δεδομένα αλλαγής γωνιών σε τρεις άξονες (x, y, z), σε μοίρες,
- δεδομένα αλλαγής επιταχύνσεων γωνιών σε τρεις άξονες (x, y, z) σε m/sec^2 ,
- δεδομένα αλλαγής γωνιακών ταχυτήτων σε τρεις άξονες (x, y, z) σε rad/sec ,
- δεδομένα αλλαγής γραμμικών επιταχύνσεων σε τρεις άξονες (x, y, z) σε m/sec^2 ,
- δεδομένα αλλαγής μαγνητικού πεδίου, σε micro Tesla (μT) και τέλος,
- δεδομένα αλλαγής επιτάχυνσης της βαρύτητας, σε τρεις άξονες (x, y, z), m/sec^2 .

Όλες οι παραπάνω μεταβλητές εξάγονται και αποθηκεύονται σε πραγματικό χρόνο από το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, το οποίο βαθμονομείται αυτόματα κατά την εκκίνησή του και έχει συμβασιμότητα και επικοινωνία με το χρήστη, μέσω κάρτας μνήμης Micro SD, Bluetooth, Wifi και φυσικά μέσω καλωδίου σε ηλεκτρονικό υπολογιστή. Με την εξαγωγή αυτών των μεγεθών που προαναφέρθηκαν μαζί με περεταίρω μελέτη και πειράματα επί των φυσικών λίθων, είναι εφικτός ο μαθηματικός και επιστημονικός προσδιορισμός των κατεργασιών της κρουστικής λάξευσης.

Πρέπει να τονισθεί ότι ο σχεδιασμός και η ανάπτυξη των ηλεκτρονικών διατάξεων επηρέασε και επηρεάζει άμεσα τις διαστάσεις του εργαλείου και του τελικού πρωτοτύπου, ειδικά τη διατομή του και στα διάφορα στάδια εξέλιξης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ο συνολικός χώρος και η κατανομή των ηλεκτρονικών διατάξεων στο εσωτερικό του εργαλείου ήταν και είναι κρίσιμα για την τελική εργονομία και ευχρηστία του εργαλείου για τον τελικό χρήστη.

5.4 Αυτονομία

Σχετικά με την αυτονομία του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπως προαναφέρθηκε και στα προηγούμενα κεφάλαια, είναι ένας ακόμα παράγοντας που προσφέρει ευχρηστία του εργαλείου στο τελικό χρήστη. Όπως και το κεφάλαιο των ηλεκτρονικών διατάξεων, η αυτονομία του εργαλείου δεν θα αναλυθεί εκτενώς στη παρούσα πτυχιακή.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, από το στάδιο του σχεδιασμού του, είχε απαιτήσεις ελεύθερης διασύνδεσης, ανάμεσα στο εργαλείο και σε σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή. Η βασική ιδέα ήταν το εργαλείο να είναι ικανό να λειτουργεί και να καταγράφει ή και να εξάγει ταυτόχρονα δεδομένα κρουστικής λάξευσης χωρίς να είναι συνδεδεμένο με καλώδιο σε σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή αλλά να είναι πλήρως αυτόνομο για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Οι παραπάνω απαιτήσεις για την αυτονομία του εργαλείου, επιτυγχάνονται με πέντε (5) βασικά στοιχεία όπως αυτά ακολουθούν:

- Ενσωμάτωση μπαταρίας lipo, 3.7 Volt, 600 mAh, όπου είναι ικανή να κρατήσει εν ενεργεία το ηλεκτρονικό σύστημα του εργαλείου σε κατάσταση καταγραφής και αποστολής δεδομένων μέχρι και τρεις (3) ώρες, χωρίς καμία ενσύρματη σύνδεση του εργαλείου με ηλεκτρονικό υπολογιστή,
- καταγραφή όλων των δεδομένων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε κάρτα μνήμης micro SD, μεγέθους από 5 Gb έως και 124 Gb, με χρήση μικρού αρχείου αποθήκευσης χαρακτήρων (.txt), ικανό να αποθηκεύσει τρεις (3) ώρες δεδομένων με συνολικό μέγεθος 10.054 mb,



- δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μέσω Bluetooth, το οποίο συνδέεται και επικοινωνεί απευθείας με ηλεκτρονικό υπολογιστή, σε σχετικά μικρή απόσταση, τη μέγιστη 5 μέτρα. Πλήρως αυτοματοποιημένη μέθοδος μεταφοράς δεδομένων που χρειάζεται μόνο από τον χρήστη του εργαλείου να ζεύξει το ηλεκτρονικό σύστημα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης με οποιοδήποτε σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή διαθέτει Wi-Fi,
- δυνατότητα εξαγωγής των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο, μέσω Wi-Fi, το οποίο συνδέεται απευθείας στο δίκτυο του χώρου του εργαλείου, στέλνοντας τα δεδομένα σε δικτυακή περιοχή και επιτρέποντας στο χρήστη έπειτα να κατεβάσει τα δεδομένα σε οποιοδήποτε υπολογιστή επιθυμεί. Αυτός ο τρόπος σύνδεσης είναι πλήρως αυτοματοποιημένος, χρειάζεται μόνο τις αρχικές ρυθμίσεις κατά την εκκίνηση του εργαλείου ώστε να συνδεθεί στο δίκτυο και επιτρέπει τη χρήση του εργαλείου σε απόσταση τόση όση έχει σήμα το δίκτυο που έχει συνδεθεί (από 4 μέτρα έως και 30 μέτρα) και τέλος,
- δυνατότητα διασύνδεσης του εργαλείου μέσω καλωδίου micro usb ή μέσω σειριακής θύρας σε οποιοδήποτε ηλεκτρονικό σύστημα υπολογιστή, παρέχοντας τη δυνατότητα ταυτόχρονης φόρτισης και χρήσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης με μόνο αρνητικό τη μειωμένη ευχρηστία και απόσταση λόγω περιορισμών του καλωδίου.



6. Σχεδιασμός έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται και περιγράφεται αναλυτικά ο σχεδιασμός του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, σε όλα τα στάδια του, από τον εννοιολογικό σχεδιασμό της πρώτης ιδέας μέχρι το σχεδιασμό κατασκευής του τελικού πρότυπου εργαλείου. Αρχικά θα αναλυθούν τα βήματα που αναφέρονται στο διάγραμμα ροής της εικόνας 6.1 όπου απεικονίζει όλα τα στάδια σχεδιασμού και σχεδιασμού παραγωγής / κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και εξέλιξης, βελτιστοποίησης του τελικού εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Σε αυτό το σημείο προτού γίνει περαιτέρω ανάλυση πρέπει να γίνει ένας σημαντικός διαχωρισμός μεταξύ σχεδιασμού προϊόντος και μηχανολογικού σχεδιασμού. Ο Σχεδιασμός προϊόντων είναι μια επιχειρηματική διαδικασία όπου επικεντρώνεται στον τρισδιάστατο σχεδιασμό και ενδιαφέρεται κυρίως για την εξωτερική εμφάνιση των προϊόντων, όπου έχει καθοριστική σημασία για την επιτυχία του προϊόντος και όχι τόσο για τις ακριβείς εσωτερικές διαδικασίες, όπου μελετώνται από άλλους τομείς. Από την άλλη πλευρά ο μηχανολογικός σχεδιασμός σχετίζεται τόσο με το τρισδιάστατο σχεδιασμό όσο και με την εφαρμογή ανάλυσης και επιστημονικής θεωρίας για τον σχεδιασμό και σχεδιασμό παραγωγής λειτουργικών συστημάτων μηχανικής. Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης που μελετάται, εμπεριέχει κυρίως μηχανολογικό σχεδιασμό αλλά και τμήματα σχεδιασμού προϊόντος.

Ξεκινώντας από το αρχικό βήμα (1) του διαγράμματος ροής της εικόνας 6.1 είναι η σύλληψη της αρχικής ιδέας του έξυπνου εργαλείου. Χωρίς τη παρουσία μιας ολοκληρωμένης ιδέας δε μπορεί να υπάρξει ο σχεδιασμός. Ακολουθώντας, στο βήμα δεύτερο (2) γίνεται μια πρώτη έρευνα στο τεχνολογικό πεδίο και στην αγορά του θέματος της ιδέας. Το στάδιο της έρευνας είναι καθοριστικό τόσο για τον μηχανολογικό σχεδιασμό όσο και για το σχεδιασμό προϊόντος διότι με την έρευνα μελετάται αν η ιδέα είναι πρωτότυπη, ανοίγοντας έτσι την επιλογή για τη κατάθεση διπλώματος ευρεσιτεχνίας (ή άλλων αντίστοιχων διπλωμάτων) και γίνεται τεχνολογική έρευνα στάθμης γνώσης της υπάρχουσας αγοράς και κατηγορίας των εργαλείων γλυπτικής.

Έπειτα στο τρίτο βήμα (3) ξεκινάει ο βρόγχος σχεδιασμού, με την έναρξη του εννοιολογικού σχεδιασμού του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης όπου αποτυπώνεται η αρχική ιδέα σε ένα σχετικά γενικευμένο τρισδιάστατο ή δυσδιάστατο σχέδιο. Ακολουθεί το τέταρτο βήμα (4) όπου όπως προαναφέρθηκε ανοίγει το δρόμο για κατάθεση διπλωμάτων προστασίας βιομηχανικού σχεδίου, ευρεσιτεχνίας ή τρόπου χρήσης. Στο πέμπτο (5) στάδιο ξεκινάει ο κύριος σχεδιασμός του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπου οι διαστάσεις γίνονται συγκεκριμένες, ο τρόπος λειτουργίας σταδιακά παγιώνεται και σχηματίζεται το λειτουργικό εργαλείο.

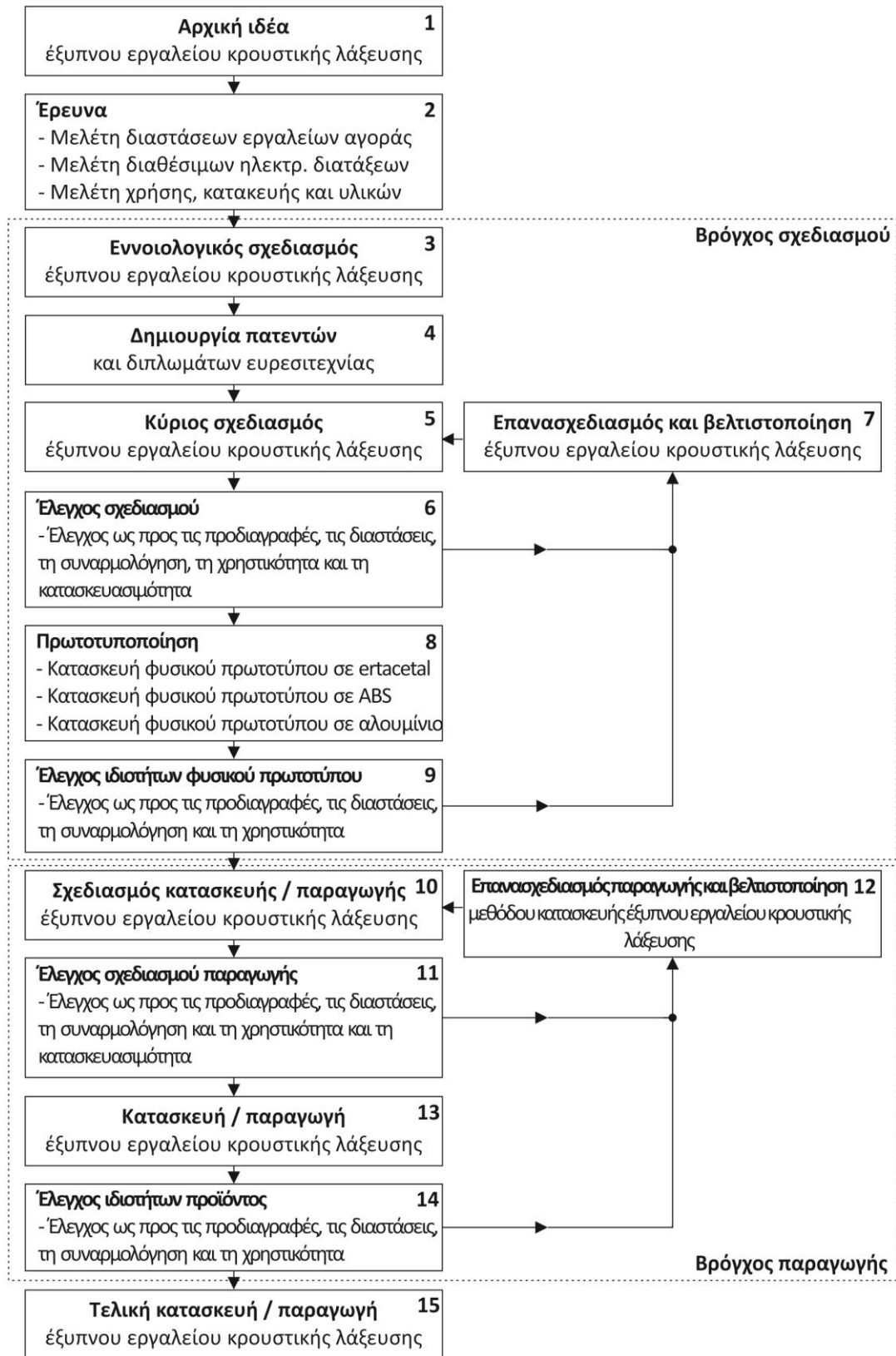
Μετά ακολουθεί ο έλεγχος του σχεδιασμού (6) ή προτυποποίηση του εργαλείου σε ABS (μέσω τεχνολογίας 3D printing), σε ertacetal και σε αλουμίνιο με τη χρήση εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (8) και ο έλεγχος των φυσικών πρωτοτύπων με βάση τις προδιαγραφές και τις απαιτήσεις σχεδιασμού (9). Αν τα βήματα των βρόγχων ελέγχων 6 και 9 δεν τηρούνται ή βρεθεί σφάλμα σχεδιασμού τότε γίνεται τροφοδότηση στο έβδομο βήμα (7), γίνεται βελτίωση σχεδιασμού και βελτιστοποίηση και τροφοδοτείται ξανά το σύστημα από το στάδιο 5 του κύριου σχεδιασμού.

Έπειτα ακολουθεί ο βρόγχος παραγωγής, όπου περιλαμβάνει το στάδιο σχεδιασμού παραγωγής (11), τον έλεγχο σχεδιασμού παραγωγής (11), τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης (13), τον έλεγχο των ιδιοτήτων και προδιαγραφών του εργαλείου (14) και τη τελική κατασκευή και παραγωγή του εργαλείου (15). Όπως και στον βρόγχο του σχεδιασμού έτσι και στο βρόγχο παραγωγής αν βρεθεί σφάλμα στους ελέγχους των βημάτων 11 και 14 τότε γίνεται επανασχεδιασμός παραγωγής και βελτιστοποίηση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται εκ νέου από το βήμα 10.



Στάδια σχεδιασμού και παραγωγής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Όλα τα βήματα από την αρχική ιδέα, το σχεδιασμό μέχρι και τη κατασκευή και βελτιστοποίηση του τελικού προϊόντος



Εικόνα 6.1: Διάγραμμα ροής σχεδιασμού και σχεδιασμού παραγωγής / κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και εξέλιξης, βελτιστοποίησης τελικού εργαλείου



6.1 Υλικό κατεργασίας

Από τα πρώτα βήματα και για το σχεδιασμό αλλά και για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι η επιλογή υλικού κατασκευής. Με βάση το κεφάλαιο της εργονομίας, των προβλεπόμενων φορτίων και των απαιτήσεων κατασκευής και στιβαρότητας του εργαλείου, το υλικό που επιλέχθηκε είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας 304.

Ως χάλυβας είναι η πιο ευέλικτη επιλογή καθώς είναι ο πιο ευρέως χρησιμοποιούμενος ανοξείδωτος χάλυβας που διατίθεται σε ένα ευρύτερο φάσμα προϊόντων. Αποτελεί ιδανικό χάλυβα διαμορφώσεων και κατεργασιών συγκόλλησης. Η ισόρροπη ωστενιτική δομή της κατηγορίας 304 επιτρέπει κατεργασίες βαθιάς κοίλανσης χωρίς την ανάγκη ενδιάμεσων σταδίων ανόπτησης και σκλήρυνσης με βαφή.

Γενικές ιδιότητες χάλυβα 304

Γενικές μηχανικές ιδιότητες ανοξείδωτου χάλυβα 304

Ιδιότητα	Μονάδες	Τιμή
Πυκνότητα, ρ	$\times 10^3 \text{ kg/m}^3$	7.85 - 8.06
Αντοχή σε θλίψη	MPa	205 - 310
Όριο ελαστικότητας	MPa	205 - 310
Αντοχή σε θράυση	MPa	119 - 228
Σκληρότητα	Rockwell B - Vickers	70 - 129
Συντελεστής θραύσης	MPa	205 - 310
Λόγος Poisson	-	0.265 - 0.275
Συντελεστής διάτμησης	GPa	74 - 86
Αντοχή σε εφελκυσμό	MPa	510 - 620
Συντελεστής Young	GPa	190 - 203
Σημείο τήξεως	Degrees Celsius	1399 - 1449
Ηλεκτρική αντίσταση	$\times 10^{-5} \text{ ohm} \cdot \text{cm}$	7.2 - 7.4
Μαγν. διαπερατότητα	-	1.008 - 1.010

Πηγή: <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=965>,
<http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassn=um=MQ304A> [28], [29]

Εικόνα 6.2: Πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων ανοξείδωτου χάλυβα 304

Ο χάλυβας 304 είναι ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας, χρωμίου νικελίου, με χημική σύσταση **Fe (σίδηρος), <0.08% C (άνθρακας), 17.5-20% Cr (χρώμιο), 8-11% Ni (νικέλιο), <2% Mn (μαγνήσιο), <1% Si (πυρίτιο), <0.045% P (φώσφορος), <0.03% S (λοιπές προσμίξεις)**, προσφέροντας πολύ καλή αντοχή στη διάβρωση. Έχει πολύ υψηλή ολκιμότητα, εξαιρετική κατεργασιμότητα και μεγάλες μηχανικές αντοχές.

Είναι ουσιαστικά, μη-μαγνητικός χάλυβας, όπου μετατρέπεται σε ελαφρώς μαγνητικός όταν υποστεί κατεργασίες εν ψυχρό. Κύριο στοιχείο τους είναι η χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα όπου συνεπάγεται σε μικρότερη καθίζηση καρβιδίου στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη του κατά τη διάρκεια συγκολλήσεων και σε χαμηλότερη ευαισθησία στη διάβρωση μεταξύ των κόκκων του [28][29].

Στο πίνακα της εικόνας 6.1, παρουσιάζονται οι μηχανικές ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα 304 που επιλέχθηκε για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Κύρια χαρακτηριστικά του, είναι η μεγάλη σκληρότητά του, 70 βαθμούς στη κλίμακα Rockwell B και η μεγάλη αντοχή του σε θλίψη και εφελκυσμό ενώ παράλληλα είναι μη υποκείμενος σε χημικές και καιρικές μεταβολές (ανοξείδωτος) λόγω της πρόσμιξης χρωμίου και νικελίου.

Εναλλακτικές επιλογές του χάλυβα 304 είναι οι ακόλουθες:

- Χάλυβας ανοξείδωτος 301L, εφαρμοστέος για εργασίες με απαίτηση μεγαλύτερης σκληρότητας, καθώς περιέχει λιγότερο ποσοστό χρωμίου και νικελίου.
- Χάλυβας ανοξείδωτος 302HQ, εφαρμοστέος σε εργασίες δημιουργίας βιδών και παξιμαδιών και άλλες κατεργασίες εν ψυχρό λόγω του μικρού βαθμού σκληρότητάς του.
- Χάλυβας ανοξείδωτος 303, εφαρμοστέος όταν απαιτείται μεγαλύτερη μηχανική κατεργασιμότητα. Έχει γενικά μικρότερη αντίσταση στη διάβρωση και σχετικά αποδεκτή ικανότητα μορφοποίησης και συγκόλλησης.



- Χάλυβας ανοξείδωτος 321, εμφανίζει έντονη αντοχή σε θερμοκρασιακές αλλαγές ειδικά στη περιοχή 600 – 900 βαθμών Κελσίου, επομένως χρησιμοποιείτε κυρίως σε έργα με υψηλές θερμοκρασίες.
- Χάλυβας ανοξείδωτος 430, χαμηλότερο κόστος, μειωμένη αντοχή στη χημική διάβρωση, ενώ έχει πολύ καλή ολκιμότητα και αντίσταση σε διάβρωση λόγω υγρασίας [28][30].

Η εφαρμογή του χάλυβα 304 στο έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, προσφέρει αυξημένες μηχανικές αντοχές ειδικά ως προς τη θλίψη του εμπρόσθιου τμήματος της σμίλης και του οπίσθιου τμήματος της κρούσης, μεγάλη στιβαρότητα και αντοχή σε καιρικές και θερμοκρασιακές μεταβολές ενώ παράλληλα κατεργάζεται, γυαλίζεται εύκολα και παρέχει την αναγκαία αντοχή στη διάβρωση. Το υλικό αυτό και οι ιδιότητες του, χρησιμοποιούνται και στην ανάλυση περασμένων στοιχείων του εργαλείου σε επόμενο κεφάλαιο.

6.2 Πρώιμα στάδια σχεδιασμού έξυπνου εργαλείου

Στα πρώτα στάδια σχεδιασμού που περιγράφονται στο παρόν κεφάλαιο, αναλύονται τα επίπεδα εξέλιξης και σχεδιασμού της πρώτης ιδέας του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, από το πρώτο σχέδιο και τη συναρμολόγηση μέχρι και το αρχικό στάδιο του ελέγχου σχεδιασμού, της χρηστικότητας και του επανασχεδιασμού του εργαλείου. Ο σχεδιασμός και ο σχεδιασμός κατασκευής του εργαλείου έγινε εξ ολοκλήρου στη σχεδιαστική πλατφόρμα Creo 3.0 της εταιρίας PTC.

6.2.1 Σχεδιασμός της αρχικής ιδέας του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Ο αρχικός σχεδιασμός του εργαλείου ήταν απλοϊκός, αποτελούμενος από δύο τμήματα μεταλλικά το εμπρόσθιο τμήμα εναλλάξιμη σμίλης και το οπίσθιο τμήμα, του χώρου των ηλεκτρονικών διατάξεων. Επιπλέον σχεδιάστηκαν ειδικά πλαστικά τεμάχια εισαγωγής των ηλεκτρονικών διατάξεων.

Αρχικά σχέδια συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τα αρχικά σχέδια συναρμολόγησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης με δύο εναλλάξιμες σμίλες



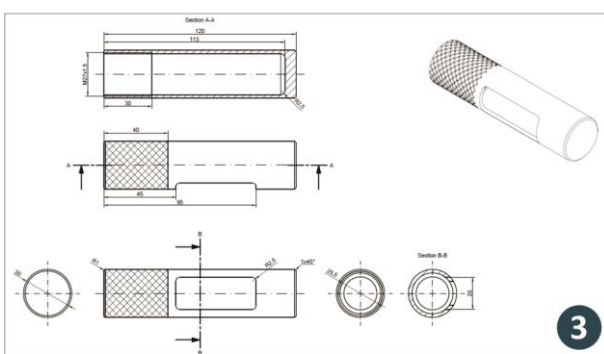
Εικόνα 6.3: Ο αρχικός σχεδιασμός του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, σε πλήρη συναρμολόγηση με δύο διαφορετικά εμπρόσθια τμήματα (1), (2) και η συναρμολόγηση του εργαλείου σε ημιτομή και με τα δύο εμπρόσθια τμήματα



Σκοπός του πρώιμου σχεδιασμού ήταν η δημιουργία ενός απλού μοντέλου ώστε να υπάρχει μια βάση σχεδιασμού και ανάπτυξης. Στη παραπάνω εικόνα 6.3 απεικονίζεται το πρώτο μοντέλο έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης που δημιουργήθηκε σε πλήρη συναρμολόγηση με δύο διαφορετικά εμπρόσθια τμήματα σμιλών (1), (2) και τη συναρμολόγηση αυτών σε ημιτομή (3), (4) όπου φαίνεται χαρακτηριστικά ο χώρος για την εισαγωγή των ηλεκτρικών διατάξεων και των αισθητηρίων.

Αρχικό σχέδιο οπίσθιου τμήματος εργαλείου

Το αρχικό σχέδιο του οπίσθιου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.4: Το πρώιμο μοντέλο του οπίσθιου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τρισδιάστατη απεικόνιση και σε δισδιάστατη

Αρχικά μελετάται ο σχεδιασμός του οπίσθιου τμήματος του εργαλείου, όπως αυτός φαίνεται στην εικόνα 6.4. το πίσω τμήμα αυτό, έχει διαστάσεις 120 mm σε μήκος, 30 mm σε εξωτερική διάμετρο και 26 mm σε εσωτερική διάμετρο, δίνοντας συνολικά 2 mm πάχος τοιχώματος.

Το εσωτερικό κενό έχει μήκος 113 χιλιοστά και έχει σχεδιαστεί σε αυτό το μήκος για τη προσθήκη πλαστικού, ειδικά διαμορφωμένου τεμαχίου που φέρει ηλεκτρονικές διατάξεις. Το τμήμα αυτό όπως απεικονίζεται στην εικόνα 6.4, φέρει εσωτερικό σπείρωμα M27x1.5 mm και εξωτερική ρίκνωση βάθους 0,5 mm, μήκους 40 mm, για το καλύτερο κράτημα – χρήση από τον χρήστη.

Επιπρόσθετα δημιουργήθηκε ορθογωνική εγκοπή 50 mm σε μήκος και 20 mm σε πλάτος, σε απόσταση 24 mm από το δεξιό τυφλό άκρο του εργαλείου. Η οπή αυτή χρησιμεύει στη πρόσβαση και τον έλεγχο των ηλεκτρονικών διατάξεων εντός του εργαλείου.

Το συνολικό μήκος του εργαλείου σε συναρμολόγηση είναι 250 mm ενώ με τη προσθήκη ρυθμιστικού δακτυλίου στο σπείρωμα του εμπρόσθιου τμήματος το συναρμολογημένο εργαλείο κρουστικής λάξευσης φτάνει σε μήκος 260 mm.

Σχετικά με το εμπρόσθιο τμήμα, συνολικά σχεδιάστηκαν τέσσερις (4) διαφορετικές σμίλες, χωρίς να αλλάζουν τα στοιχεία, η μορφή και οι διαστάσεις του εσωτερικού χώρου στο εμπρόσθιο αυτό τμήμα του εργαλείου.

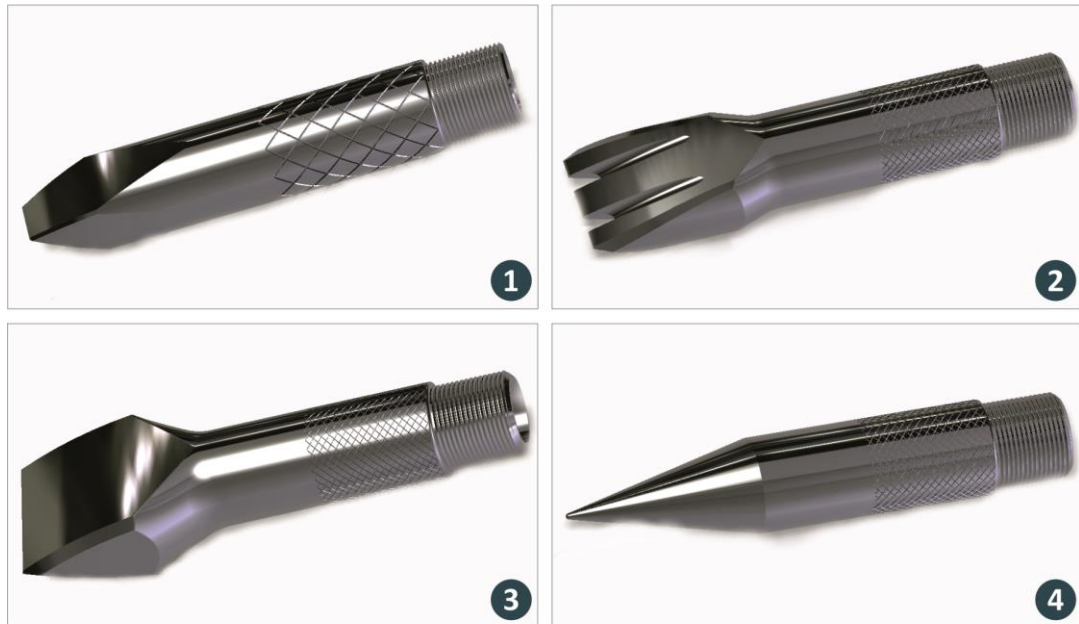
Το εμπρόσθιο αυτό τμήμα έχει μήκος 160 mm, εξωτερική διάμετρο 30 mm, ενώ διαθέτει ρίκνωση βάθους 1 mm σε μήκος 38 mm από την αρχή του σπειρώματος του τεμαχίου. Το σπείρωμα είναι αντιστοιχού βήματος με αυτό του οπίσθιου τμήματος, M27x1.5 και μήκους 25 mm (για το τεμάχιο της επίπεδης σμίλης μικρού μεγέθους). Το μήκος του σπειρώματος σε κάθε τεμάχιο εμπρόσθιο διαφέρει ανάλογα το τύπο σμίλης, ώστε να διατηρείτε σταθερό το συνολικό μήκος του τμήματος και του εργαλείου.



Στη παρακάτω εικόνα 6.5 απεικονίζονται τα τρισδιάστατα σχέδια των εμπρόσθιων τεμαχίων, με την επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), την οδοντωτή σμίλη (2), την επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και την σμίλη σημείου (4).

Αρχικά σχέδια εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου

Τα αρχικά σχέδια των εμπρόσθιων εναλλάξιμων τμημάτων - σμιλών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.5: Οι πρώτες εναλλάξιμες σμίλες που σχεδιάστηκαν, η επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), η οδοντωτή σμίλη (2), η επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και η σμίλη σημείου (4)

Στο εσωτερικό τμήμα των σμιλών αυτών, υπάρχει οπή διαμέτρου 3 mm σε βάθος 45 mm απέχοντας από το άκρο του εργαλείου επιπλέον 50 mm. Αυτή η οπή σχεδιάστηκε για την εισαγωγή αισθητηρίου θερμοκρασίας στο βάθος του εργαλείου, όσο πιο κοντά γίνεται στη μύτη του εργαλείου. Ο εσωτερικός χώρος για την εισαγωγή των ηλεκτρονικών διατάξεων σε αυτό το τμήμα έχει συνολικό μήκος 50 mm με εσωτερική διατομή 20 mm.

Σε πολλά σημεία του σχεδιασμού των τμημάτων αυτών προστέθηκαν στρογγυλέματα γωνιών (rounds) ώστε τα σχέδια αυτά να είναι εύκολο να χρησιμοποιηθούν και για το σχεδιασμό παραγωγής όπου τα κοπτικά εργαλεία δε μπορούν να παράξουν λόγω μορφής τετραγωνισμένες γωνίες αλλά μόνο γωνίες καμπυλωτές με ακτίνα την ακτίνα του εργαλείου που χρησιμοποιείται. Στη συγκεκριμένη περίπτωση η ακτίνα αυτή είναι ίση με 2.5 mm (με χρήση κοπτικών διαμέτρου 5 mm) στους εσωτερικούς χώρους, ενώ στις εξωτερικές λεπτομέρειες είναι ίση με 1 mm (με χρήση κοπτικού διαμέτρου 2 mm).

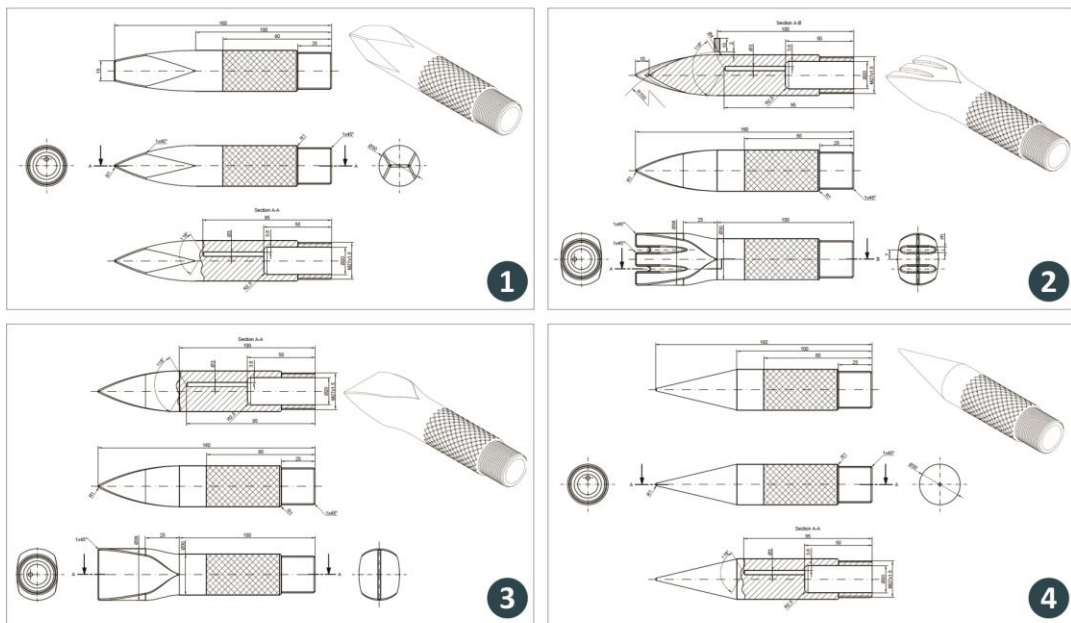
Οι διάφορες σμίλες που σχεδιάστηκαν, σχεδιάστηκαν εμπειρικά, κυρίως και με βάση έρευνας υπαρχουσών, διαθέσιμων εργαλείων γλυπτικής. Γενικά όλες οι μύτες – σμίλες έχουν μήκος από το άκρο τους μέχρι την αρχή του λαιμού του εργαλείου 60 mm χωρίς να είναι απόλυτη η διάσταση αυτή. Το πλάτος κάθε σμίλης διαφέρει επίσης. Η μικρού μεγέθους επίπεδη σμίλη, έχει πλάτος κοπτικής ακμής 15 mm, η οδοντωτή σμίλη έχει πλάτος ακμής 38 mm, η επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους έχει 38 mm επίσης, ενώ η σμίλη σημείου – διάτρησης έχει ακμή 1 mm όπου ανοίγει κωνικά σε μήκος 60 mm μέχρι να γίνει 30 mm όπως η κύρια διάμετρος του εργαλείου.



Παρακάτω στα επιμέρους σχήματα της εικόνας 6.6, απεικονίζονται τα δισδιάστατα σχέδια των εμπρόσθιων τμημάτων – σμιλών του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, με όλες τις διαστάσεις και όψεις και το κάθε τμήμα σε ημιτομή. Αυτά τα σχέδια περιλαμβάνουν όπως και παραπάνω, την επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), την οδοντωτή σμίλη (2), την επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και τη σμίλη σημείου (4).

Αρχικά σχέδια εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου - δισδιάστατα

Τα αρχικά σχέδια των εμπρόσθιων εναλλάξιμων τμημάτων - σμιλών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.6: Οι πρώτες εναλλάξιμες σμίλες που σχεδιάστηκαν σε δισδιάστατα σχέδια με διαστάσεις, η επίπεδη σμίλη μικρού μεγέθους (1), η οδοντωτή σμίλη (2), η επίπεδη σμίλη μεγάλου μεγέθους (3) και η σμίλη σημείου (4)

Το πρώτο μοντέλο, δημιουργήθηκε λοιπόν με τον παραπάνω σχεδιασμό και λογική, αποτελούμενο συνολικά από δύο (2) κύρια μέρη και επιπρόσθετα δύο (2) πλαστικά εσωτερικά τμήματα. Με βάση τα παραπάνω σχέδια το μοντέλο εξάχθηκε σε .stl αρχείο μέσω του σχεδιαστικού λογισμικού Creo 3.0 της εταιρίας PTC, εκτυπώθηκε σε 3D printer της εταιρίας Dimension σε θερμοπλαστικό ABS και έπειτα για τον έλεγχο του μοντέλου και την περεταίρω ανάπτυξή του, σχεδιάστηκε ο τρόπος παραγωγής του στο λογισμικό Creo 3.0 και παράχθηκε πρωτότυπο αλουμινίου και ertacetal μέσω χρήσης εργαλειομηχανών τριών και τεσσάρων αξόνων στο εργαστήριο μηχανολογίας, ακρίβειας, αντίστροφης μηχανικής και ρομποτικής του ΤΕΙ Κρήτης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως οι εκτυπωτές με την ικανότητα τρισδιάστατων εκτυπώσεων με ABS και ABS plus της εταιρίας Dimension είναι τα μοντέλα Elite και Bst. Ενώ οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιήθηκαν είναι της εταιρίας Haas, κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος τεσσάρων αξόνων (έκδοση VF2), κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος τριών αξόνων (έκδοση 1P) και κέντρο κατεργασίας τόνρευσης (έκδοση SL20).



6.2.2 Βελτίωση σχεδιασμού εμπρόσθιου τμήματος σμίλης και μηκυνσιομέτρων

Μετά τη προσεκτική μελέτη, ανάλυση και έλεγχο του σχεδιασμού και των φυσικών πρωτοτύπων της πρώτης έκδοσης του έξυπνου εργαλείου και με τη διαδικασία εφαρμογής πειραμάτων για τον έλεγχο των μηκυνσιομέτρων, βρέθηκαν αρκετά σφάλματα σχεδιασμού και χρηστικότητας του εργαλείου προς επίλυση.

Το πρώτο κύριο πρόβλημα που εμφανίστηκε είναι πως η εφαρμογή των μηκυνσιομέτρων μέτρησης στην αρχική έκδοση του εργαλείου γινόταν εντός του χώρου του εμπρόσθιου τμήματος του εργαλείου όπου η επιφάνεια είναι κυρτή (επιφάνεια κύκλου διαμέτρου 26 mm). Η κυρτότητα της επιφάνειας απαιτούσε τη παραμόρφωση των μηκυνσιομέτρων κατά την εγκατάστασή τους στο τμήμα και την επιφάνεια αυτή.

Επομένως έπειτα στα πειράματα θλίψης (τα οποία αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο) αυτός ο τρόπος εφαρμογής τους, σε συνδυασμό με την ηλεκτρονική ενίσχυσή τους (όπου εισήγαγε πολύ θόρυβο στις μετρήσεις) έδιδε, παρήγαγε τις μετρήσεις μη ρεαλιστικές και μη αξιόπιστες λόγω μη στατικής παραμόρφωσης και μη σταθερής συμπεριφοράς μηκυνσιομέτρων. Επίσης ο συγκεκριμένος τρόπος εφαρμογής τους δεν επέτρεπε τον εύκολο έλεγχο σύνδεσης και κατάστασης των μηκυνσιομέτρων.

Το δεύτερο πρόβλημα σχεδιασμού που εμφανίστηκε είναι αυτό της χρηστικότητας. Προκειμένου να αλλάξει η λαξευτική σμίλη του εργαλείου έπρεπε να αλλάξει όλο το εμπρόσθιο τμήμα. Κάτι που αυξάνει και το κόστος και χρειάζεται να αποσυναρμολογηθούν οι ηλεκτρονικές διατάξεις για να εισαχθούν στο νέο εμπρόσθιο τμήμα καθώς και να γίνει εκ νέου εφαρμογή μηκυνσιομέτρων στο νέο εμπρόσθιο τμήμα (διαδικασία που κοστίζει κυρίως λόγω υψηλού κόστους μηκυνσιομέτρων).

Σχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου μηκυνσιομέτρων

Επανασχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου, με αλλαγή εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων



Εικόνα 6.7: Το εμπρόσθιο εναλλάξιμο τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).

Για τους λόγους που προαναφέρθηκαν, το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης εισάχθηκε στο στάδιο επανασχεδιασμού με πρώτο τμήμα επανασχεδίασης το εμπρόσθιο τμήμα εναλλάξιμων



σμιλών. Το νέο μοντέλο απεικονίζεται στην εικόνα 6.7 όπως προέκυψε από το στάδιο του επανασχεδιασμού, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).

Αναλύοντας τον επανασχεδιασμό του εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανομητρών, το συνολικό μήκος του τμήματος από 160 mm έγινε 120 mm. Ο λόγος είναι ότι η σμίλη πλέον σαν τμήμα δεν υπάρχει ενσωματωμένο σε αυτό το εμπρόσθιο τμήμα εφόσον έχει σχεδιαστεί σπειρώμα 9 mm σε άξονα συνολικού μήκους 15 mm ώστε να προσαρμόζεται και να βιδώνεται οποιαδήποτε λαξευτική σμίλη. Οι κύριες διαστάσεις του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, διατηρούνται σταθερές κατά τον επανασχεδιασμό αυτό. Η εξωτερική διάμετρος αυτού του τμήματος εφαρμογής των μηχανομητρών είναι ίδια με του προηγούμενου, δηλαδή στα 30 mm εξωτερική διάμετρος, ενώ παράλληλα άλλαξε η εσωτερική διάμετρος ελάχιστα, από τα 20 mm στα 22,5 mm.

Σημαντική αλλαγή ήταν η αύξηση του μήκους του εσωτερικού χώρου για τις ηλεκτρονικές διατάξεις όπου από 50 mm (όγκος ωφέλιμου χώρου αρχικού σχεδιασμού = 15.700 mm^3) αυξήθηκε στα 65 mm δίνοντας επιπλέον χώρο και επιπλέον εύρος διαστάσεων για τα τμήματα των ηλεκτρονικών διατάξεων (όγκος ωφέλιμου χώρου επανασχεδιασμένου τμήματος = 25.831 mm^3). Η οπή για τον αισθητήρα θερμοκρασίας, πλέον έχει διάμετρο 5 mm σε βάθος 13,5 mm από το τέλος της επιφάνειας του εσωτερικού ωφέλιμου χώρου του εργαλείου. Στο προηγούμενο σχεδιασμό αυτή η οπή είχε διάμετρο 3 mm και βάθος εντός του μοντέλου 45 mm.

Η ρίκνωση που διαθέτει για λόγους εργονομίας το εμπρόσθιο αυτό τμήμα έχει συνολικό μήκος 43 mm ενώ στο προηγούμενο μοντέλο είχε μήκος 38 mm. Το βάθος της ρίκνωσης διατηρείται σταθερό. Σταθερό διατηρείται και ο τύπος του κύριου σπειρώματος του εργαλείου στο δεξί άκρο του και το μήκος του, σταθερό στα 25 mm.

Τέλος, η κύρια αλλαγή στο τμήμα αυτό, επήλθε με τη δημιουργία ορθογωνικής διατομής τμήματος για την εφαρμογή των μηχανομητρών χωρίς αυτά να εγκαθίστανται με παραμόρφωση. Το τμήμα αυτό του εμπρόσθιου κομματιού, έχει μήκος 28 mm και πλάτος πλευρών 8 mm. Ο σχεδιασμός αυτός επιτρέπει τόσο τη πιο ορθή εφαρμογή των μηχανομητρών όσο και τον γρήγορο έλεγχο τους και τον έλεγχο των συνδέσεών τους με τις επιμέρους ηλεκτρονικές διατάξεις.

Στο τμήμα αυτό, έχει διαμορφωθεί ένα διάκενο (πατούρα) 1 χιλιοστού και από τις δύο πλευρές της ορθογωνικής διατομής άξονα για τη συναρμολόγηση ειδικών καλυμμάτων για τη προφύλαξη των μηχανομητρών. Αυτά τα καλύμματα μελετώνται σε επόμενο κεφάλαιο.

6.2.3 Βελτίωση σχεδιασμού εναλλάξιμης σμίλης

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η βελτίωση σχεδιασμού της σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Όπως μελετήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο πρώτος σχεδιασμός του εργαλείου, έθετε τη σμίλη αυτή κάθε αυτή να είναι ενσωματωμένη με όλο το εμπρόσθιο τμήμα χωρίς τη δυνατότητα μεμονωμένης αλλαγής της χωρίς την επανατοποθέτηση των ηλεκτρονικών διατάξεων.

Στο πρώτο στάδιο του επανασχεδιασμού αυτό αλλάζει δυναμικά, με τη δημιουργία του επιπλέον τμήματος εφαρμογής των μηχανομητρών. Τμήμα που επιτρέπει την εναλλαγή της λαξευτικής σμίλης με απλή διαδικασία συναρμολόγησης βιδώματος, μόνο της σμίλης χωρίς την απαίτηση αλλαγής όλου του εμπρόσθιου τμήματος του εργαλείου. Επίσης και το παρόν τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών είναι εναλλάξιμο και μπορεί με την ευκολία ενός βιδώματος να αλλαχτεί.

Σχετικά με τις διαστάσεις των εναλλάξιμων σμιλών, έχουν μήκος περίπου 59 mm (ανάλογα με το τύπο της εναλλάξιμης σμίλης), ενώ έχουν οπή διαμέτρου 10 mm και βάθους 15 mm για την εύκολη συναρμολόγησή τους στο κύριο εμπρόσθιο τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών με ένα απλό

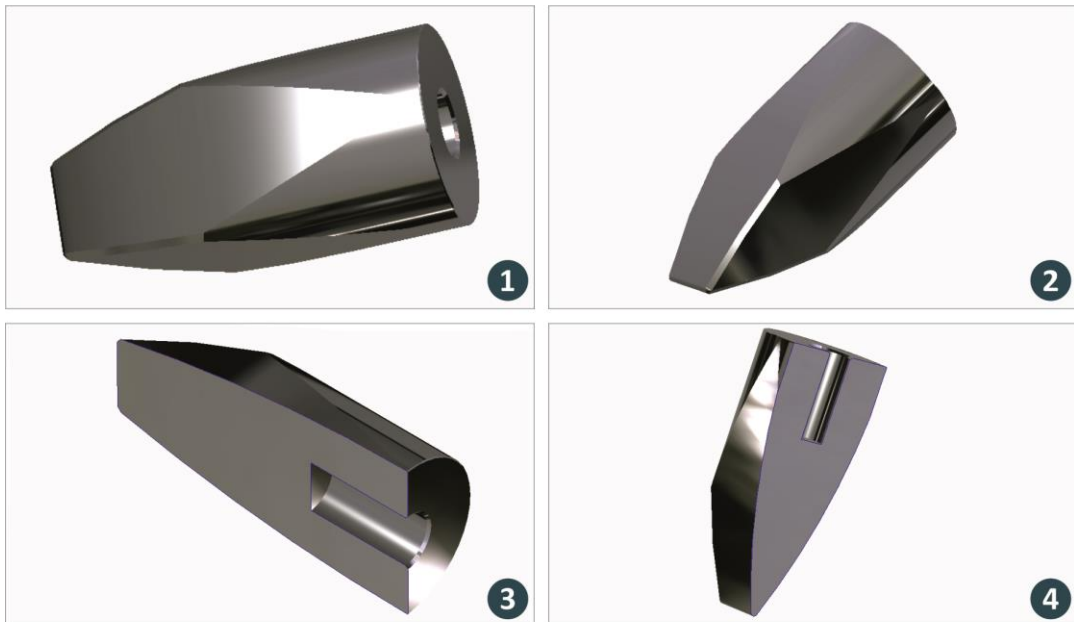


βίδωμα. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι ο τύπος των σπειρωμάτων και των ρικνώσεων, η διάμετρός τους, το βάθος τους, το βήμα τους, μπορεί να διαφέρουν σημαντικά από στάδιο του σχεδιασμού στο φυσικό πρωτότυπο. Αυτό γίνεται διότι στο στάδιο του σχεδιασμού και της ανάλυσης τα μοντέλα αυτά σχεδιάζονται αρχικά πιο απλοποιημένα και αφετέρου η κατασκευή τους στα επιμέρους κατασκευαστικά στάδια γίνεται με εργαλεία διαθέσιμα στο εργαστήριο και στις εργαλειομηχανές.

Στην παρακάτω εικόνα 6.8, απεικονίζεται το επανασχεδιασμένο μοντέλο της επίπεδης σμίλης (μικρού μεγέθους), σε δύο όψεις (1), (2), και σε δύο όψεις με ημιτομή (3), (4). Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως όλα αυτά τα μοντέλα που αναλύονται και θα αναλυθούν σε αυτά τα κεφάλαια του σχεδιασμού δεν έχουν συνδεθεί ακόμα με υλικό κατεργασίας αλλά έχουν γίνει render με υλικό επιφανειακό χρωμίου ώστε τα μοντέλα να δείχνουν πιο ρεαλιστικά και με κατάλληλη φωτεινότητα.

Επανασχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου

Τα επόμενα σχέδια των εμπρόσθιων εναλλάξιμων τμημάτων - σμιλών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.8: Το εμπρόσθιο εναλλάξιμο τμήμα σμίλης όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού,, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).

6.2.4 Βελτίωση σχεδιασμού πίσω τμήματος

Ακολουθεί και το αντίστοιχο βήμα επανασχεδιασμού του πίσω τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Σε αυτό το τμήμα η βελτίωση σχεδιασμού βασίστηκε κυρίως στη βελτίωση χρήσης του εργαλείου. Από τον έλεγχο του φυσικού πρωτοτύπου βρέθηκε πως το πλαστικό τμήμα των ηλεκτρονικών διατάξεων δεν ασφαλίζει σωστά στη προδιαγεγραμμένη θέση του και πως το πίσω τμήμα του εργαλείου κρουστικής λάξευσης χρειάζεται περαιτέρω ενίσχυση με τη προσθήκη εναλλάξιμου τμήματος κρούσης (δίσκος κρούσης).

Οι γενικές διαστάσεις του τμήματος αυτού δεν αλλάζουν, διατηρούνται σταθερές, το τμήμα έχει μήκος 122 mm από 120 mm όπου ήταν αρχικά, με εσωτερική διάμετρο 25,5 mm και εξωτερική διάμετρο σταθερή στα 30 mm. Οι αλλαγές που επήλθαν στον επανασχεδιασμό αυτού του τμήματος είναι οι προσθήκες δύο (2) σπών, μιας οπής ρυθμιστικής για την ασφάλιση του πλαστικού τμήματος

ηλεκτρονικών διατάξεων πίσω τμήματος και μιας ακόμα οπής όπου θα βιδώνει ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης (μελετάται στο επόμενο κεφάλαιο).

Η ρυθμιστική οπή, ξεκινά από το αριστερό άκρο του εργαλείου και εκτείνεται εσωτερικά έως τα 28 mm. Αυτή η οπή είναι ημικυκλική και αντιστοιχεί σε κύκλο διαμέτρου 5 mm. Ο λόγος ύπαρξης και σχεδιασμού της ημικυκλικής οπής είναι διότι το πλαστικό τεμάχιο των ηλεκτρονικών διατάξεων, θα περιλαμβάνει στην ίδια πλευρά αντίστοιχη ημικυκλική οπή όπου θα συμπληρώνει το κύκλο και επομένως το σπείρωμα για την εισαγωγή ασφαλιστικού κοχλία στα δύο αυτά τμήματα.

Σχεδιασμός οπίσθιου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης
Επανασχεδιασμός του οπίσθιου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.9: Το οπίσθιο τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού,, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις ημιτομής (3), (4).

Όπως φαίνεται παραπάνω στην εικόνα 6.9, απεικονίζεται το επανασχεδιασμένο μοντέλο του οπίσθιου τμήματος του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, σε δύο όψεις (1), (2) και σε δύο όψεις με ημιτομή κατά τον άξονα Z (3), (4) για τη καλύτερη κατανόηση των θέσεων των οπών. Σχετικά με τη πίσω οπή, έχει διάμετρο 10 mm και βάθος 8 mm (διαμπερής οπή). Πρακτικά στην οπή αυτή υπάρχει σπείρωμα για το βίδωμα και τη συναρμολόγηση του επιπλέον τμήματος του εργαλείου, του δίσκου κρούσης.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης μετά τον πρώτο επανασχεδιασμό του από δύο (2) τμήματα, πλέον αποτελείται από έξι (6) ξεχωριστά και εναλλάξιμα τμήματα εκτός των πλαστικών τμημάτων των ηλεκτρονικών διατάξεων. Αυτά τα τμήματα συναρμολογούνται με εύκολο τρόπο, με ένα απλό βίδωμα και οι ηλεκτρονικές διατάξεις αποσυναρμολογούνται με το ξεβίδωμα ενός κοχλία.

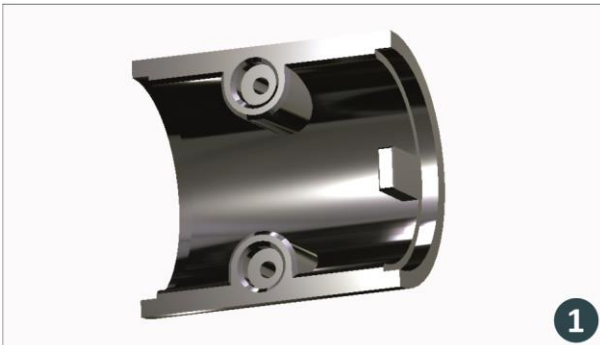
Αυτό αύξησε κατακόρυφα τη χρησιμότητα και την εργονομία του εργαλείου καθώς ο τελικός χρήστης μπορεί να εξατομικεύσει πλήρως την εμπειρία της κρουστικής λάξευσης όπως αυτός επιθυμεί και όπως απαιτείται από τις κατεργασίες και τους επιλεγμένους λίθους (και φυσικά από τη δομή τους και τη σκληρότητά τους).

6.2.5 Σχεδιασμός καλυμμάτων εμπρόσθιου τμήματος μηκυσιομέτρων

Έπειτα ακολουθεί ο σχεδιασμός των καλυμμάτων του εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων. Όπως φάνηκε από τον σχεδιασμό του τμήματος των μηκυσιομέτρων, στο κεφάλαιο 6.2.2, το τμήμα αυτό για να ολοκληρωθεί και να είναι χρηστικό, χρειάζεται καλύμματα προστασίας των ηλεκτρονικών μηκυσιομέτρων και των συνδέσεών τους, όντας υπερευαίσθητα σε θερμοκρασιακές αλλαγές, αλλαγές υγρασίας και πίεσης.

Σχεδιασμός καλυμμάτων μηκυσιομέτρων

Ο σχεδιασμός των καλυμμάτων των μηκυσιομέτρων στο εμπρόσθιο τμήμα εφαρμογής τους



1



2

Για το παραπάνω λόγο σχεδιάστηκαν δύο (2) ημικυκλικά καλύμματα, τα οποία εφαρμόζουν τέλεια στο κύριο τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων και συναρμολογούνται εξίσου εύκολα με το βίδωμα δύο (2) κοχλιών με τα αντίστοιχα περικόχλιά τους.

Ο πρώτος σχεδιασμός αυτών των καλυμμάτων απεικονίζεται στην εικόνα αριστερά 6.10 με δύο όψεις (1), (2) αυτών των τμημάτων.

Τα τμήματα αυτά έχουν σχεδιαστεί με τρόπο που επιτρέπει την εύκολη συναρμολόγησή τους και για αυτό το λόγο περιλαμβάνουν ορθογώνιο τμήμα περιορισμού της γωνίας συναρμολόγησης και της σωστής κέντρωσης των τμημάτων αυτών καθώς εφαρμόζουν επάνω στην επίπεδη επιφάνεια του τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων.

Ως αναφορά τις διαστάσεις τους, τα τμήματα αυτά έχουν τη προβλεπόμενη εξωτερική διάμετρο ίση με 30 mm ενώ έχουν εκτός από την εσωτερική τους διάμετρο ίση με 24 mm και άλλη μια διαβάθμιση συναρμολόγησης διαμέτρου 26 mm. Σε αυτή την εναλλαγή της διαμέτρου, γίνεται η εφαρμογή / επαφή των τμημάτων αυτών με το κύριο τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων.

Εικόνα 6.10: Ο αρχικός σχεδιασμός των καλυμμάτων των ηλεκτρονικών μηκυσιομέτρων για το εμπρόσθιο τμήμα εφαρμογής τους

Έπειτα τα καλύμματα αυτά περιλαμβάνουν οπές για βίδες διαμέτρου 2 mm. Οι οπές είναι διαμπερείς και στα δύο τμήματα και περιλαμβάνουν, σπή με σπείρωμα διαμέτρου 2 mm, διάκενο εφαρμογής ίσο με 5 mm με βάθος 2 mm και ένα μικρό fillet (διαγώνιο κόψιμο) γωνίας 45 μοιρών συνολικού βάθους 0,5 mm για τη πιο εύκολη συναρμολόγηση των δύο καλυμμάτων μεταξύ τους.

Τα καλύμματα αυτά είναι πολύ σημαντικά στο τελικό εργαλείο κρουστικής λάξευσης καθώς όπως προαναφέρθηκε προφυλάσσουν τα ευαίσθητα ηλεκτρονικά μηκυσιομέτρα και το αισθητήριο θερμοκρασίας που βρίσκεται ακριβώς πιο επάνω. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως ρικνώσεις και άλλα διακοσμητικά κυρίως χαρακτηριστικά (rounds, fillets, chamfers), απουσιάζουν από το στάδιο του σχεδιασμού και κατασκευάζονται κατευθείαν στο στάδιο του σχεδιασμού παραγωγής ή στο στάδιο της παραγωγής.

6.2.6 Σχεδιασμός εναλλάξιμου οπίσθιου τμήματος κρούσης

Στο παρόν κεφάλαιο μελετάται ο σχεδιασμός του εναλλάξιμου τμήματος κρούσης. Όπως προαναφέρθηκε υπάρχει αναγκαιότητα σχεδιασμού και κατασκευής επιπρόσθετου εναλλάξιμου τμήματος κρούσης λόγω των υψηλών μηχανικών φορτίων και επομένως υψηλών παραμορφώσεων που δέχεται το πίσω τμήμα του έξυπνου κρουστικού εργαλείου λάξευσης και λόγω της απαίτησης σε ορισμένους λίθος, της παρουσίας βαμμένου τμήματος χάλυβα είτε σμίλης είτε τμήματος κρούσης τους εργαλείου.

Για το λόγο αυτό, σχεδιάστηκε ο παρακάτω δίσκος κρούσης, που απεικονίζεται στην εικόνα 6.11 σε δύο όψεις του (1), (2). Ο σχεδιασμός του είναι απλός, με μεταβαλλόμενες διαστάσεις ανάλογα τη κατεργασία και τη χρήση.

Σχεδιασμός εναλλάξιμου τμήματος κρούσης Ο σχεδιασμός του εναλλάξιμου τμήματος δίσκου κρούσης



Σχετικά με τις διαστάσεις αυτού του τμήματος, η εξωτερική του διάμετρος είναι ίση με 30 mm ώστε να ταιριάζει τέλεια σε συναρμολόγηση με τα υπόλοιπα τμήματα που απαρτίζουν το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης.

Το πάχος του δίσκου κρούσης είναι μεταβλητό, αλλά για λόγους διατήρησης του αρχικού μήκους του εργαλείου, το πάχος του ορίστηκε αρχικά στα 8 mm. Το τμήμα αυτό περιλαμβάνει σπείρωμα με διάμετρο 10 mm και μήκους 7,5 mm ώστε να συναρμολογείτε τέλεια με το οπίσθιο μέρος.

Ο δίσκος κρούσης αυτός, περιλαμβάνει επίσης διακοσμητικές λοξοτμήσεις (chamfers) και λοξοτμήσεις συναρμολόγησης 1 mm υπό γωνία 45 μοιρών. Μεταξύ του τμήματος αυτού και του πίσω κύριου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης έχει προβλεφθεί η χρήση ειδικού στεγανοποιητικού δακτυλίου. Το ίδιο ακριβώς ισχύει για όλες τις επιμέρους συναρμολογήσεις του εργαλείου εκτός από αυτή της εναλλάξιμης σμίλης.

Εικόνα 6.11: Το μοντέλο του εναλλάξιμου δίσκου κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Το τμήμα αυτό σχεδιάστηκε έτσι ώστε το φυσικό του πρωτότυπο να μπορεί να βαφτεί και να σκληρύνει ώστε να έχει εφαρμογή σε όλες τις κατεργασίες και σε όλους τους διαθέσιμους λίθους ειδικά αυτούς με μεγάλη επιφανειακή σκληρότητα.

Το τμήμα αυτό όπως ακριβώς και οι εναλλάξιμες σμίλες, μπορούν να σχεδιαστούν, να τροποποιηθούν και να κατασκευαστούν, εύκολα, άμεσα και κατά τον τρόπο και τη μορφή που απαιτεί η κάθε κατεργασία και φυσικά ο τελικός χρήστης του εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

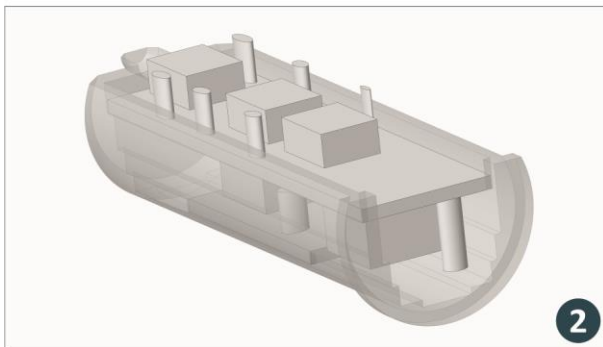
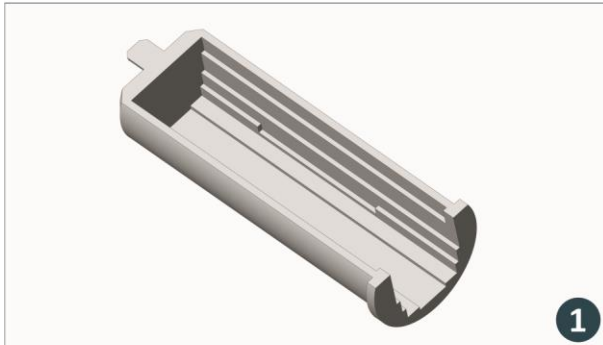


6.2.7 Σχεδιασμός εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Σε αυτό το κεφάλαιο ακολουθεί ο σχεδιασμός του πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων.

Σχεδιασμός εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος

Ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



Εικόνα 6.12: Ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων

Δε θα μελετηθούν τα τμήματα αυτά ως προς τις διαστάσεις τους παρά μόνο ως προς τη λειτουργικότητά τους και τη λογική σχεδίασής τους.

Ως αναφορά το εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα, σχεδιάστηκε όπως απεικονίζεται στις εικόνες (1), (2) του σχήματος 6.12. Η αναγκαιότητα σχεδιασμού του είναι στη συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών διατάξεων της πλακέτας ενίσχυσης των ηλεκτρικών μηχανομητρών και της πλακέτας RS485.

Επιπρόσθετα απαιτείται επιπλέον πρόβλεψη χώρου, για τα καλώδια των συνδέσεων, για το αισθητήριο θερμοκρασίας αλλά και συνολικά για τη τέλεια συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση του εργαλείου.

Οι διαστάσεις οι εσωτερικές δόθηκαν κατευθείαν από τις διαστάσεις των επιμέρους ηλεκτρονικών. Σε αυτή τη διαδικασία σχεδιασμού χρειάστηκε να σχεδιαστούν απλοποιημένα και τα ηλεκτρονικά ώστε να γίνει συναρμολόγηση και έλεγχος σχεδιασμού απευθείας στο σχεδιαστικό πρόγραμμα.

Μια τέτοια συναρμολόγηση φαίνεται χαρακτηριστικά στο υπό σχήμα 2 της εικόνας 6.12 όπου έχει επιλεγεί ημιδιαφανές υλικό ώστε να φαίνονται τα επιμέρους τμήματα της συναρμολόγησης και η θέση τους. Το τμήμα αυτό όπως και το αντίστοιχο οπίσθιο πλαστικό τμήμα έχουν σχεδιαστεί για τη παραγωγή τους σε πλαστικό ertacetal και ακριβώς για αυτό το λόγο το εικονιζόμενο μοντέλο του σχήματος 1 της εικόνας 6.12 είναι rendered σε άσπρο πλαστικό.

Στο τμήμα αυτό έχει σχεδιαστεί επιπλέον επιφάνεια στο δεξί άκρο του ώστε να εφαρμόζει και να σταματάει το πλαστικό αυτό κομμάτι στο κύριο τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών κατά τη συναρμολόγηση. Όταν τα δύο κύρια μεταλλικά τμήματα βιδωθούν, λόγω αυτής της πλαστικής επιφάνειας πάχους 2 χιλιοστών το πλαστικό τμήμα θα παραμείνει ακίνητο και σφηνωμένο στη προδιαγεγραμμένη θέση του στο εμπρόσθιο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου.

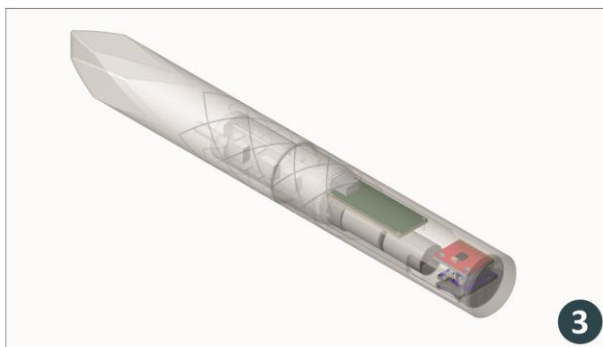
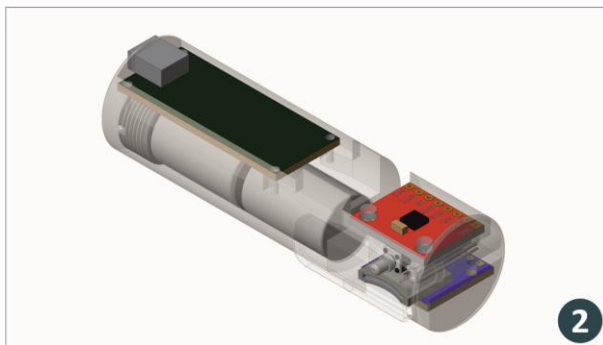
Τέλος, το πλαστικό κομμάτι αυτό περιλαμβάνει αντίστοιχα τμήμα κέντρωσης και περιορισμού στροφής του κομματιού, για καλύτερη και ευκολότερη συναρμολόγηση με το μεταλλικό εμπρόσθιο τμήμα. Αυτή η προεξοχή 4 χιλιοστών βρίσκεται στο αριστερό άκρο του πλαστικού αυτού τμήματος και εισάγεται κατά τη συναρμολόγηση στην οπή για το αισθητήριο θερμοκρασίας που παρουσιάστηκε σε παραπάνω κεφάλαιο.

6.2.8 Σχεδιασμός οπίσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Ακολουθεί ο σχεδιασμός του οπίσθιου πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων του

Σχεδιασμός οπίσθιου πλαστικού τμήματος

Ο σχεδιασμός του οπίσθιου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, με ακριβώς την ίδια λογική σχεδίασης με το προηγούμενο εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα.

Στην εικόνα 6.13 απεικονίζεται το πλαστικό οπίσθιο τμήμα (1), το πλαστικό αυτό τμήμα σε συναρμολόγηση με τις ηλεκτρονικές διατάξεις σε ημιδιάφανο πλαστικό ώστε να φαίνονται οι συναρμολογήσεις (2) και τέλος η συναρμολόγηση όλου του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης συμπεριλαμβανομένων όλων των επιμέρους τμημάτων (3).

Στο οπίσθιο πλαστικό τμήμα, συναρμολογούνται τα κύρια ηλεκτρονικά του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ο μικρό-επεξεργαστής, η πλακέτα της κάρτας μνήμης, η πλακέτα IMU, οι μπαταρίες (δύο στο σύνολο), ένα LED, ένας διακόπτης καθώς και οι συνδέσεις μεταξύ τους.

Στο στάδιο αυτό, οι μπαταρίες είναι δύο, ενώ ταυτόχρονα δεν υπάρχει υποστήριξη ούτε για σύνδεση μέσω Bluetooth ούτε για σύνδεση μέσω Wi-Fi. Επομένως τα πλαστικά τμήματα είναι απλοποιημένα για να εμπεριέχουν μόνο τις απαραίτητες ηλεκτρονικές διατάξεις και την πληθώρα καλωδίων που τις απαρτίζουν.

Τόσο το εμπρόσθιο τμήμα όσο και το οπίσθιο πλαστικό κομμάτι, θα αλλάξουν και θα επανασχεδιαστούν σε επόμενα κεφάλαια για τις ανάγκες του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Το τμήμα αυτό είναι σχεδιασμένο να καταλαμβάνει όλο τον ωφέλιμο χώρο του κύριου μεταλλικού πίσω τμήματος του εργαλείου και να στερεοποιείται σε αυτό σε συγκεκριμένη θέση με

Εικόνα 6.13: Ο σχεδιασμός του οπίσθιου πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων

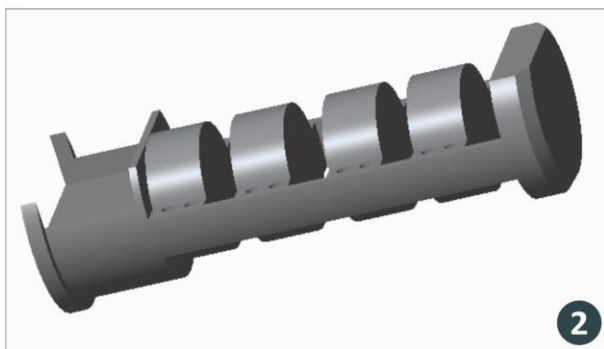
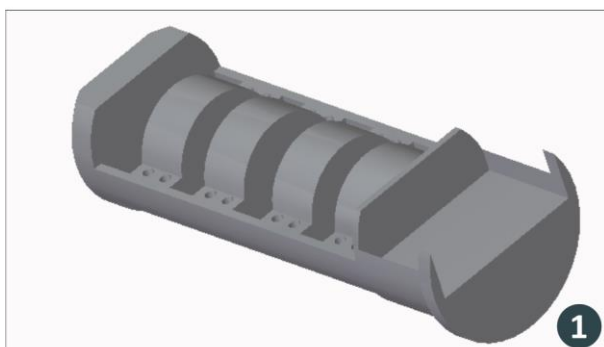
ασφαλιστικό κοχλία που μελετήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η πλευρά που διαθέτει τη φωτεινή λυχνία LED, το διακόπτη και τη πλακέτα της μνήμης Micro SD έχει σχεδιαστεί να έρχεται σε απόλυτη ευθεία και να βρίσκεται κεντραρισμένο με το ορθογωνικό παράθυρο που υπάρχει στο κύριο μεταλλικό τμήμα.

Λόγω της διαμέτρου του πλαστικού τμήματος, η συναρμολόγησή του είναι σταθερή και λόγω του υλικού (μη αγώγιμο πλαστικό) δεν υπάρχει κανένας κίνδυνος για βραχυκύκλωση των ηλεκτρονικών και των επιμέρους συνδέσεών τους.

6.2.9 Βελτίωση σχεδιασμού εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Τα παραπάνω πλαστικά τμήματα, κατασκευασθήκαν στις φρέζες του εργαστηρίου και έγινε επιμέρους έλεγχος της χρησιμότητας και των απαιτήσεων τους στα φυσικά πρωτότυπα που κατασκευάστηκαν. Ταυτόχρονα έγιναν αρκετά πειράματα με το εργαλείο κρουστικής λάξευσης στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού στο εργαστήριο τα οποία έδειξαν τους τομείς που πρέπει να υπάρξει άμεση αλλαγή και βελτιστοποίηση.

Επανασχεδιασμός εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος
Το στάδιο επανασχεδιασμού του εμπρόσθιου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



Εικόνα 6.14: Το εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα ηλεκτρονικών διατάξεων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού

με τις ίδιες διαστάσεις. Ενδιάμεσα των θυρίδων υπάρχει διάκενο για τη σύνδεση και κόλληση των καλωδίων μεταξύ των ηλεκτρονικών πλακετών.

Οι διαστάσεις αυτού του τμήματος μετά τον επανασχεδιασμό έχουν μείνει σταθερές ως αναφορά το μήκος του και τη διατομή του. Πλέον το τμήμα αυτό δε περιλαμβάνει τη προεξοχή για τη κέντρωση και την εύκολη συναρμολόγηση και το αισθητήριο θερμοκρασίας βρίσκεται πλέον ενσωματωμένο στις καινούριες πλακέτες ενίσχυσης.

Σε αυτά τα πλαστικά τμήματα γίνεται προσπάθεια αξιοποίησης όσο γίνεται περισσότερου ωφέλιμου χώρου μέσα στο εργαλείο. Ο τρόπος ασφάλισής τους μέσα στα μεταλλικά τμήματα, επιτυγχάνεται μέσω της επαφής των δύο πλαστικών τμημάτων κατά τη συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Η βελτιστοποίηση όμως ολόκληρου του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, οδήγησε στην αλλαγή των ηλεκτρονικών διατάξεων ενίσχυσης των μηχανοσυστημάτων (από σχεδιασμένη πλακέτα ενίσχυσης και εκτυπωμένη στο εργαστήριο σε αγορά έτοιμης πλακέτα), στην αλλαγή των μπαταριών (από δύο κυλινδρικές μπαταρίες A23 σε μια μόνο επίπεδη μπαταρία Lipo 3.7 Volt, 600 mAh) και στην πρόσθεση ασύρματης επικοινωνίας και μεταφοράς δεδομένων μέσω Bluetooth.

Λόγω των παραπάνω αλλαγών ήταν υποχρεωτική και η αλλαγή και επομένως ο επανασχεδιασμός των πλαστικών τμημάτων των ηλεκτρονικών διατάξεων του εργαλείου.

Στο εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα, που απεικονίζεται σε δύο όψεις στην εικόνα 6.14 (1), (2), η βελτίωση σχεδιασμού του είναι εμφανής, με το σχεδιασμό τεσσάρων (4) κυκλικών θέσεων πάχους 5 mm και τη δημιουργία μονής επίπεδης θέσης για τη πλακέτα επικοινωνίας RS485, στο δεξί άκρο του πλαστικού αυτού τμήματος.

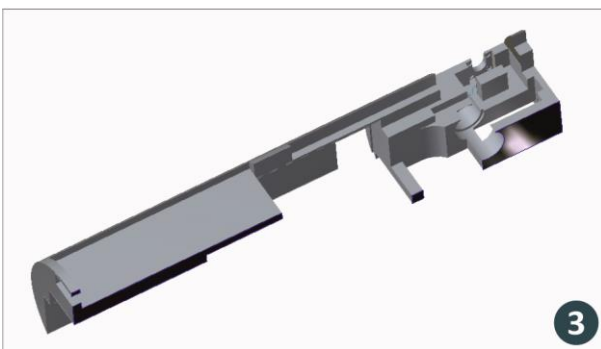
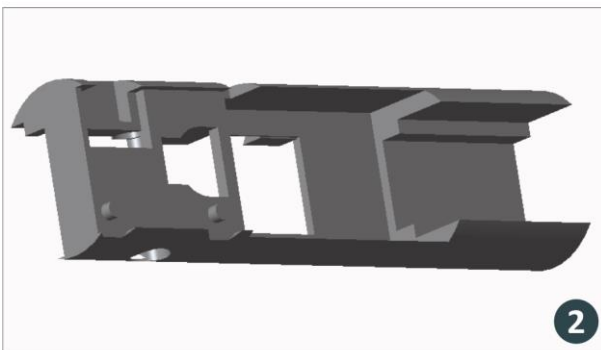
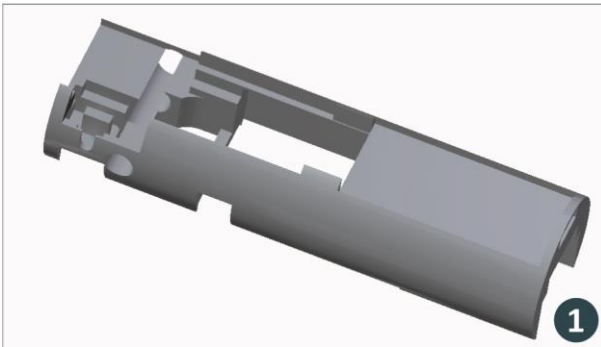
Οι τέσσερις (4) θυρίδες που προαναφέρθηκαν αντιστοιχούν, δύο (2) για τις πλακέτες ενίσχυσης και δύο (2) για τις πλακέτες συμπληρώματος γέφυρας Wheatstone, όλες κυκλικού κοψίματος

6.2.10 Βελτίωση σχεδιασμού οπίσθιου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Όσον αφορά το οπίσθιο πλαστικό τμήμα των ηλεκτρονικών διατάξεων του εργαλείου, χρειάστηκε να επανασχεδιαστεί αντίστοιχα για τις αλλαγές και βελτιώσεις που προαναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 6.2.9. Στο τμήμα αυτό πλέον αφαιρέθηκε η θυρίδα για τις δύο κυλινδρικές μπαταρίες και ο χώρος αυτός έγινε επίπεδος για τη κατάλληλη προσαρμογή της μπαταρίας Lipo.

Επανασχεδιασμός οπίσθιου πλαστικού τμήματος

Ο επανασχεδιασμός του οπίσθιου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



Εικόνα 6.15: Το οπίσθιο πλαστικό τμήμα ηλεκτρονικών διατάξεων όπως προέκυψε από το στάδιο της βελτίωσης του σχεδιασμού, σε δυο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Z (3)

Εκτός από την αλλαγή της μπαταρίας, για τη χρήση της, προστέθηκε ένα επιπλέον εξάρτημα για τη σωστή κατανομή των ηλεκτρικών τάσεων και ρευμάτων στα επιμέρους κυκλώματα, η πλακέτα ενίσχυσης τάσης. Επομένως δημιουργήθηκε ειδική θυρίδα στο πλαστικό τμήμα για τη τοποθέτηση της πλακέτας αυτής.

Επιπρόσθετα, απαιτήθηκε η ασύρματη επικοινωνία και μεταφορά δεδομένων από το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης σε οποιοδήποτε σύστημα ηλεκτρονικού υπολογιστή, με τη χρήση Bluetooth ή Wi-Fi.

Επομένως κύριο στάδιο του επανασχεδιασμού του πλαστικού τμήματος αυτού ήταν η δημιουργία κατάλληλης θέσης / θυρίδας, συμπεριλαμβανομένου του διάκενου για τα καλώδια και τις συνδέσεις, για τη συναρμολόγηση είτε της πλακέτας του Bluetooth είτε της πλακέτας του Wi-Fi.

Στην εικόνα 6.15 απεικονίζεται το πλαστικό τεμάχιο, μετά τον επανασχεδιασμό σε δύο όψεις (1), (2) και μια όψη σε ημιτομή κατά τον άξονα X του τεμαχίου για τη καλύτερη κατανόηση του σχεδιασμού (3) λόγω της αυξημένης πολυπλοκότητας. Ακριβώς για αυτό το λόγο, της αυξημένης πολυπλοκότητας, δεν θα γίνει ανάλυση των επιμέρους διαστάσεων, καθώς οι θυρίδες έχουν δημιουργηθεί από τις διαστάσεις των επιμέρους ηλεκτρονικών πλακετών.

Οι κύριες διαστάσεις του πλαστικού αυτού τμήματος έχουν παραμείνει σταθερές και το μήκος του τεμαχίου και η διάμετρός του. Σε αυτό το τμήμα δεν υπάρχει πλέον σχεδίαση και πρόβλεψη για ρυθμιστικό κοχλία για τη συναρμολόγηση καθώς το τμήμα αυτό μαζί με τα καλώδια σφηνώνει σταθερά στη

προδιαγεγραμμένη θέση του και σε πλήρη συναρμολόγηση εφάπτεται και στηρίζεται στο εμπρόσθιο πλαστικό τμήμα.

6.3 Σχεδιασμός προ τυποποιημένου έξυπνου εργαλείου

Μετά τα πρώτα στάδια του σχεδιασμού που αναλυθήκαν παραπάνω, δημιουργήθηκε, κατασκευάστηκε φυσικό πρωτότυπο σε χάλυβα 304 του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Στο φυσικό πρωτότυπο, έγινε η εφαρμογή των μηχανομετρών, πλήρη συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών διατάξεων και λειτουργία του.

Στο στάδιο της επαλήθευσης του σχεδιασμού και της χρηστικότητας του εργαλείου δε βρέθηκαν σφάλματα αλλά κυρίως βελτιστοποιήσεις. Βελτιστοποιήσεις συναρμολόγησης, διαστάσεων, εργονομίας, κατασκευής τμημάτων και επομένως κόστους. Παρακάτω στην εικόνα 6.16 απεικονίζεται το καινούριο επανασχεδιασμένο εργαλείο κρουστικής λάξευσης ως πρωτότυπο, βιομηχανοποιημένου τύπου.

Στο σχήμα 1 της εικόνας 6.16 απεικονίζεται η καινούρια έκδοση του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, πλήρως συναρμολογημένη, στο σχήμα 2 και 3 απεικονίζεται το έξυπνο εργαλείο σε αποσυναρμολόγηση (exploded view) και τέλος, στην εικόνα 4 απεικονίζεται το εργαλείο σε τομή κατά τον άξονα Y του μοντέλου για να γίνει ευκολότερα κατανοητή η συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων.

Τελικά σχέδια συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τα τελικά σχέδια συναρμολόγησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης ως πρωτότυπο βιομηχανικού τύπου



Εικόνα 6.16: Ολόκληρη η συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, βιομηχανοποιημένου πρωτοτύπου, σε πλήρη συναρμολόγηση (1), σε δύο όψεις exploded view (2), (3) και σε τομή κατά τον άξονα Y (4).

Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύεται βήμα - βήμα η λογική του επανασχεδιασμού του έξυπνου εργαλείου για κάθε τμήμα ξεχωριστά. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως η βελτίωση σχεδιασμού του εργαλείου και η κατασκευή του έπειτα, είναι χρονοβόρες διαδικασίες και με μεγάλο κόστος ειδικά υλικών. Και η παρουσία φυσικού πρωτοτύπου σε κάθε βήμα του σχεδιασμού ήταν και είναι αναγκαία, για τα επιμέρους στάδια ελέγχου και βελτιστοποίησης. Τα στάδια κατασκευής αναλύονται και αυτά με τη σειρά τους σε επόμενα κεφάλαια.



6.3.1 Σχεδιασμός πίσω τμήματος

Το πρώτο τμήμα που έρχηζε αλλαγής ήταν το πίσω κύριο τμήμα του εργαλείου. Ο λόγος επανασχεδιασμού του είναι η χρήση ενιαίου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων και η χρήση ενιαίου ωφέλιμου χώρου σε ένα μόνο τμήμα μεταλλικό. Στην εικόνα που ακολουθεί 6.17 απεικονίζεται σε τρεις όψεις (1), (2), (3) το μεταλλικό αυτό τμήμα καθώς και σε όψη ημιτομής κατά τον άξονα Χ (4).

Τελικά σχέδια οπίσθιου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τα τελικά σχέδια του οπίσθιου τμήματος του εργαλείου ως πρωτότυπο βιομηχανικού τύπου



Εικόνα 6.17: Το οπίσθιο τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, όπως προέκυψε από το στάδιο του επανασχεδιασμού για το βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο εργαλείο, σε τρεις όψεις (1), (2), (3) και σε ημιτομή (4).

Σχετικά με τα τεχνικά στοιχεία του, η εξωτερική διάμετρος του μεταλλικού αυτού τμήματος είναι ίδια και σταθερή στα 30 mm, όπως είναι και σε όλο το εργαλείο, ενώ η εσωτερική διάμετρος είναι ομοιόμορφη στα 25 mm, σε όλο τον ωφέλιμο χώρο που προσφέρει το τμήμα αυτό. Το συνολικό μήκος του τμήματος αυτού είναι 135 mm ενώ εσωτερικά το μήκος του ωφέλιμου χώρου είναι στα 115 mm. Η ρίκνωση για λόγους εργονομίας και για πιο εύκολη κατασκευή, καλύπτει όλο το μεταλλικό τμήμα όπως φαίνεται πιο πάνω, σε μήκος 119 mm.

Το τμήμα αυτό διαθέτει εμπρόσθιο σπείρωμα με βήμα 0,75, βάθος 1 mm και μήκος συνολικά 8 mm εντός του εργαλείου. Στο δεξί άκρο του εργαλείου, υπάρχει σπείρωμα για τη συναρμολόγηση του δίσκου κρούσης και ειδικό πάτημα εύκολης συναρμολόγησης. Το πάτημα συναρμολόγησης είναι διαμέτρου 20 mm και μήκους 10 mm ενώ το σπείρωμα έχει διάμετρο 10 mm και μήκος 8 mm για τη τέλεια συναρμολόγηση με τον εναλλάξιμο δίσκο κρούσης. Έπειτα πρέπει να αναφερθεί πως για λειτουργικούς λόγους, η ορθογωνική θυρίδα πρόσβασης στο πλαστικό τμήμα έχει μεταφερθεί στο αριστερό άκρο του μεταλλικού αυτού τμήματος.

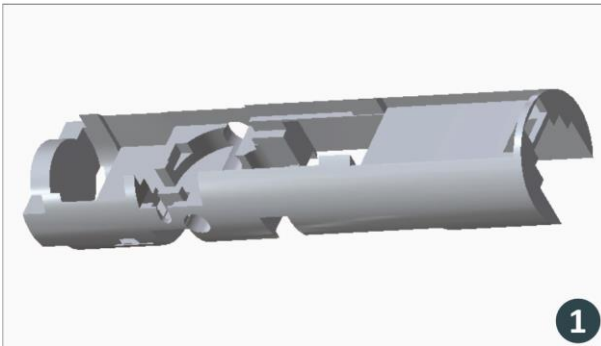
Σε αυτό το σημείο πρέπει ξανά να ειπωθεί πως το βήμα και το βάθος των ρικνώσεων και των σπειρωμάτων μπορεί να διαφέρουν από το σχεδιασμό στη κατασκευή, υπάρχοντας εξοπλισμού στο εργαστήριο.

6.3.2 Σχεδιασμός ενιαίου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

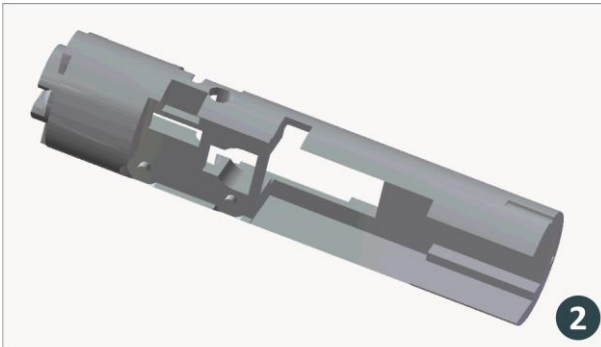
Ακολουθεί ο κύριος επανασχεδιασμός του πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών. Κρίθηκε αναγκαίο και λειτουργικό οι ηλεκτρονικές διατάξεις να βρίσκονται συναρμολογημένες σε ένα πλαστικό ενιαίο τμήμα ώστε οι συνδέσεις των καλωδίων να είναι ασφαλείς και να γίνεται εύκολη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση χωρίς δημιουργία βραχυκυκλωμάτων και κοψιμάτων καλωδίων.

Τελικός σχεδιασμός ενιαίου πλαστικού τμήματος

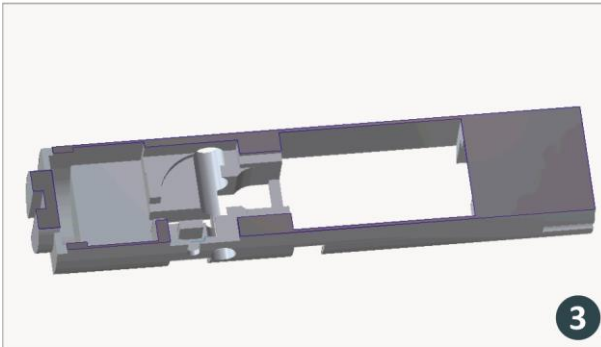
Ο τελικός σχεδιασμός του ενιαίου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



1



2



3

Η βελτίωση του σχεδιασμού αυτή έγινε με κριτήριο πως θα μετράται το μηχανικό φορτίο μόνο στον έναν άξονα, το κάθετο στο εργαλείο. Για αυτό ακριβώς το λόγο το καινούριο τμήμα περιλαμβάνει μια θέση για τη πλακέτα ενίσχυσης DCell και όχι τέσσερις που διέθετε το προηγούμενο τμήμα.

Στην εικόνα 6.18 απεικονίζεται το επανασχεδιασμένο, ενιαίο πλαστικό τμήμα σε δύο όψεις (1), (2), αλλά και σε ημιτομή (3) λόγω πολυπλοκότητας. Όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις συναρμολογούνται μέσα σε αυτό το χώρο και οι επιμέρους καλώδιο - συνδέσεις τους.

Οι διαστάσεις των εσωτερικών οπών και θέσεων είναι δύσκολο να προσδιορισθούν και δε θα αναλυθούν στο παρόν κεφάλαιο διότι όπως προαναφέρθηκε είναι οι επιμέρους διαστάσεις κάθε ηλεκτρονικού τμήματος που χρησιμοποιήθηκε.

Το μήκος του πλαστικού αυτού τμήματος είναι συνολικά 73 mm και η εξωτερική του διάμετρος είναι 24,9 mm για τη καλύτερη συναρμολόγηση εσωτερικά του μεταλλικού τμήματος.

Το συγκεκριμένο πλαστικό τμήμα φέρει οπή με σπείρωμα στο αριστερό του τμήμα για τέλεια εφαρμογή και ασφάλιση στο τμήμα εφαρμογής των μηχανομετρών ενώ παράλληλα φέρει και την ίδια οπή με σπείρωμα με αυτή της παλαιότερης έκδοσης, στο δεξί άκρο του.

Εικόνα 6.18: Το επανασχεδιασμένο πλαστικό, ενιαίο τμήμα συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων του βιομηχανοποιημένου πρωτότυπου εργαλείου

η θυρίδα / παράθυρο για το πλαστικό αυτό τμήμα. Με τον τρόπο αυτό οι συνδέσεις γίνονται πιο μικρές και η σύνδεση μηχανομετρών με πλακέτα ενίσχυσης πιο ασφαλής, σύντομη και με λιγότερο θόρυβο λόγω μήκους καλωδίου.



6.3.3 Σχεδιασμός εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων

Έπειτα ακολουθεί κατά την ίδια λογική ο σχεδιασμός του εμπρόσθιου εναλλάξιμου τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων. Με τη στρατηγική βελτιστοποίησης που θέτει την ύπαρξη ενιαίου πλαστικού τμήματος με ασφαλής προσαρμογή, επανασχεδιάστηκε το μεταλλικό τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων ώστε να τηρούνται αυτές οι προϋποθέσεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Σχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου μηκυνσιομέτρων

Επανασχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου, με αλλαγή διαστάσεων για πρωτοτύπο βιομηχανικού τύπου



Εικόνα 6.19: Το μοντέλο του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, βιομηχανοποιημένου πρωτοτύπου, σε τρεις όψεις (1), (2), (3) και σε τομή κατά τον άξονα Υ (4).

Στη παραπάνω εικόνα 6.19 απεικονίζεται το μεταλλικό αυτό τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων, μετά το στάδιο επανασχεδιασμού του. Απεικονίζεται σε τρεις όψεις (1), (2), (3) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Υ (4). Οι διαφορές σχεδιασμού με τη προηγούμενη έκδοση του τμήματος αυτού είναι έντονα διακριτές. Αρχικά μειώθηκε συνολικά το μήκος του τμήματος αυτού από 120 mm σε 68 mm (σχεδόν το μισό σε μήκος) και επομένως το μήκος του ωφέλιμου χώρου (διότι η εσωτερική διάμετρος μένει ίδια στα 25 mm) από 65 mm σε 9 mm και σε όγκο χώρου από 25.831 mm³ σε 4.415 mm³. Αυτή η αλλαγή ήταν κύρια και καθοριστική εφόσον όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις βρίσκουν τη θέση τους μέσα στο οπίσθιο μεταλλικό τμήμα του εργαλείου.

Επιπρόσθετα στο τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων, σχεδιάστηκαν δύο (2) οπές διαμέτρου 6 mm και 5 mm αντίστοιχα, μία για τη διασύνδεση των μηκυνσιομέτρων από το ορθογωνικό τμήμα στη πλακέτα ενίσχυσης (6 mm) και μια οπή για το αισθητήριο θερμοκρασίας (5 mm) που πλέον δεν καταλήγει μέχρι τα μηκυνσιόμετρα αλλά μένει συναρμολογημένο μέσα στην οπή. Όσον αφορά την ορθογωνική αυτή περιοχή αλλάξαν ελάχιστα οι διαστάσεις των πλευρών από 28 (μήκος) X 8 (πλάτος) X 8 (πάχος) mm, σε 28 (μήκος) X 9 (πλάτος) X 9 (πάχος), με σκοπό τη καλύτερη συμπεριφορά των ηλεκτρονικών μηκυνσιομέτρων.

Η εξωτερική διάμετρος του τεμαχίου αυτού μένει στα 30 mm ενώ σχεδιάζονται επιπρόσθετα πατήματα τόσο για τη καλύτερη προσαρμογή του πλαστικού τεμαχίου και του οπίσθιου μεταλλικού



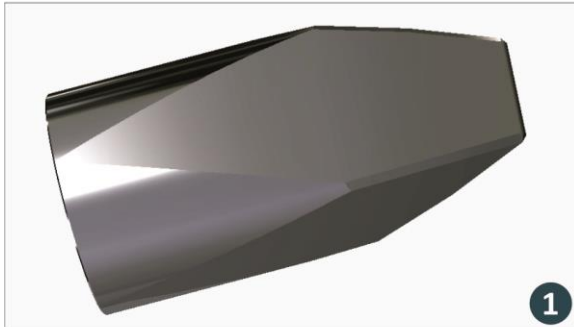
τμήματος αλλά και για τη καλύτερη συναρμολόγηση της εναλλάξιμης σμίλης. Το πάτημα για τη προσαρμογή του πλαστικού τεμαχίου και του πίσω μεταλλικού τμήματος είναι μόλις 5 mm ενώ το πάτημα για τη προσαρμογή της σμίλης είναι 9,5 mm σε διάμετρο 20 mm. Αντίστοιχο διάκενο υπάρχει για την εύκολη και ασφαλή συναρμολόγηση των καλυμμάτων των μηχανομητρών με βάθος 1,5 mm που οδηγεί σε διάμετρο 27 mm (από την αρχική που ήταν 30 mm) με μήκος 1,5 mm.

6.3.4 Σχεδιασμός εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

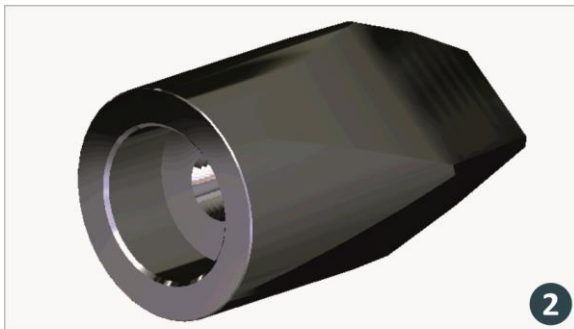
Με βάση όσα αναφέρθηκαν σε προηγούμενα κεφάλαια, κρίνεται απαραίτητος και η βελτίωση σχεδιασμού της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης. Το μοντέλο της επίπεδης εναλλάξιμης σμίλης απεικονίζεται παρακάτω στην εικόνα 6.20 σε δύο (2) όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Χ (3).

Σχεδιασμός εναλλάξιμης σμίλης εργαλείου

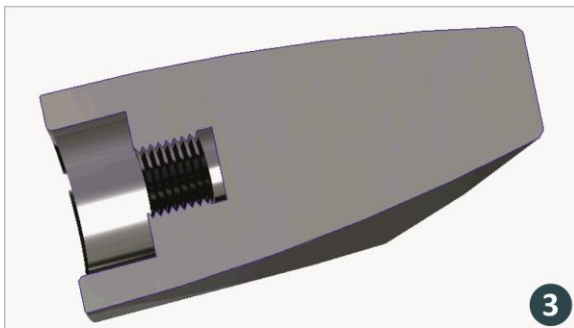
Επανασχεδιασμός της εναλλάξιμης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



1



2



3

Σε αυτό το τμήμα δεν υπάρχουν πολλές αλλαγές στο σχεδιασμό του, οι διαστάσεις ως προς το μήκος και τη διάμετρο, διατηρούνται σταθερές, με μήκος 59 mm και εξωτερική διάμετρο 30 mm όπως σε όλο το εργαλείο.

Η αλλαγή που επήλθε με τον επανασχεδιασμό είναι η δημιουργία πατήματος – διακένου, για την ευκολότερη συναρμολόγηση της σμίλης με το τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Οι διαστάσεις του διακένου αυτού είναι αλλαγή σε διάμετρο 20 mm (από αρχική 30 mm) σε βάθος 9,5 mm, το αντίστοιχο σε προεξοχή έχει σχεδιαστεί και στο προαναφερθέν τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών.

Επιπρόσθετα μετά το σπείρωμα συναρμολόγησης της σμίλης, σχεδιάστηκε ειδικό διάκενο για τη μορφή του κοχλία στο τμήμα εφαρμογής των μηχανομητρών.

Μέχρι αυτό το στάδιο, ότι αλλαγές έχουν γίνει στο σχεδιασμό, όπως είναι εμφανές, έχουν γίνει στην επίπεδη σμίλη. Σε επόμενα κεφάλαια, με τη βελτιστοποίηση και την υιοθέτηση του τελικού σχεδιασμού, σχεδιάζονται και άλλων τύπων σμίλες (σμίλη σημείου - διάτρησης, σμίλη επίπεδη μεγάλου μεγέθους, σμίλη οδοντωτή τεσσάρων δοντιών, σμίλη τύπου frosting), για όλες τις κατεργασίες, με την ίδια συμπεριφορά συναρμολόγησης.

Εικόνα 6.20: Ο Βελτίωση σχεδιασμού της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης για το βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή (3).



6.3.5 Βελτίωση σχεδιασμού τμήματος εφαρμογής μηκυσιομέτρων και των καλυμμάτων του

Μετά από πολλά πειράματα στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού, κρίθηκε πως προς βελτιστοποίηση περεταίρω της συμπεριφοράς του εργαλείου αλλά και τις εργονομίας του το τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων σε συνδυασμό με τα επιμέρους καλύμματά του, πρέπει να επανασχεδιαστούν σε μικρότερες διαστάσεις.

Επανασχεδιασμός τμήματος μηκυσιομέτρων

Επανασχεδιασμός εμπρόσθιου τμήματος εργαλείου, με αλλαγή διαστάσεων για πρωτοτύπο βιαμηχανικού τύπου



1



2



3

Εικόνα 6.21: Τα τμήματα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων, καλύμματα και κύριο τμήμα, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (3)

Αρχικά σχετικά με το κύριο τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων, υπήρξε αλλαγή στο συνολικό μήκος του τμήματος, από 68 mm σε 60 mm. Η επιφάνεια για την εγκατάσταση των μηκυσιομέτρων κρίθηκε πως είναι μεγαλύτερη από ότι χρειάζεται και το εργαλείο μπορεί συνολικά να αποκτήσει μικρότερο μέγεθος και επομένως βάρος.

Αυτή η διαφορά στο μήκος δημιουργήθηκε από την αλλαγή των διαστάσεων του ορθογωνικού τμήματος το οποίο έχει πλέον διαστάσεις από 28 (μήκος) X 9 (πλάτος) X 9 (πάχος) mm, σε 20 (μήκος) X 9 (πλάτος) X 9 (πάχος), δηλαδή το μήκος του μειώθηκε κατά 8 mm.

Με αυτή την αλλαγή και μειώνονται οι διαστάσεις του εργαλείου συνολικά αλλά και επιτυγχάνεται καλύτερη συμπεριφορά των ηλεκτρονικών διατάξεων μέτρησης μηχανικού φορτίου.

Παράλληλα, τα καλύμματα του κύριου τμήματος, μειώνονται και αυτά σε διαστάσεις αποκλειστικά ως προς το μήκος τους, το οποίο από 32 mm μειώνεται στα 24 mm ώστε να εφάπτεται τέλεια στο κύριο τμήμα στα ειδικά διάκενα.

Επιμέρους αλλαγές σχεδιασμού έγιναν και στα τρία (3) αυτά τμήματα όπου η ρίκνωση ακολουθεί σε όλο τους το μήκος. Επίσης, οι ορθογωνικές προεξοχές των καλυμμάτων αφαιρέθηκαν λόγω εσωτερικών συνδέσεων με καλώδια ενώ παράλληλα η σπή για το αισθητήριο θερμοκρασίας, ακολουθεί και στο επίπεδο τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων.

Στη παραπάνω εικόνα 6.21 απεικονίζονται τα τμήματα αυτά μετά τον επανασχεδιασμό τους, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (3) για καλύτερη κατανόηση του σχεδιασμού. Τα μηκυσιομέτρα, είναι σχεδιασμένο να εφαρμοστούν στη μεσαία περιοχή του τμήματος αυτού, κατά τη μέση των επιφανειών της ορθογωνικής διατομής.

6.3.6 Σχεδιασμός εναλλάξιμου οπίσθιου τμήματος κρούσης

Σχετικά με τον εναλλάξιμο δίσκο κρούσης, η βελτίωση σχεδιασμού του ήταν απαραίτητη λόγω της βελτιστοποίησης του κύριου οπίσθιου τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και για βελτίωση της χρηστικότητας και εργονομίας του εργαλείου γενικά τόσο ως προς τη εύκολη συναρμολόγησή του αλλά και ως προς τη χρηστικότητά του και την ορθή λειτουργία του.

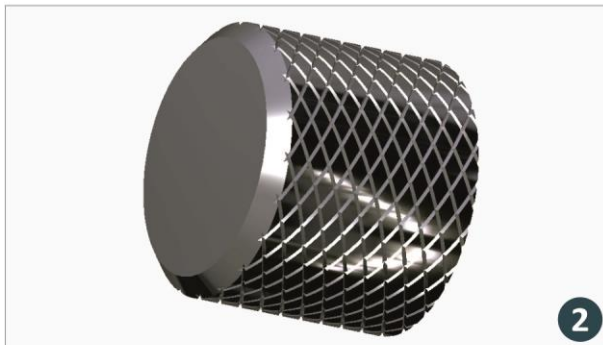
Σχεδιασμός τμήματος δίσκου κρούσης

Επανασχεδιασμός τμήματος εναλλάξιμου δίσκου κρούσης για πρωτοτύπο βιαμηχανικού τύπου



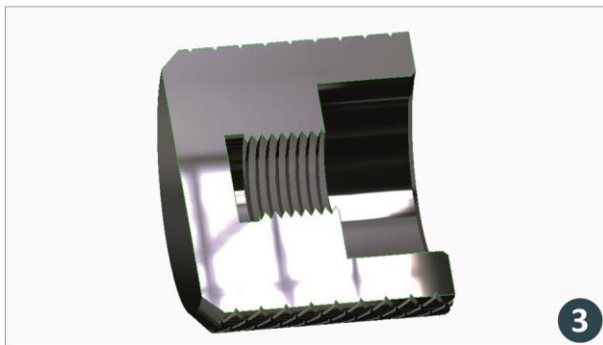
Το μοντέλο του εναλλάξιμου δίσκου του εργαλείου κρουστικής λάξευσης που προέκυψε μετά τον επανασχεδιασμό, απεικονίζεται στα σχήματα της εικόνας 6.22, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Χ (3).

Όσον αφορά τις διαστάσεις του τεμαχίου αυτού, η εξωτερική διάμετρος είναι σταθερή στα 30 mm ώστε να ταιριάζει και να συναρμολογείται τέλεια με όλο το εργαλείο, ενώ η ρίκνωση εφαρμόζεται πλέον και σε αυτό το τμήμα, σε όλο το μήκος του (Ο προηγούμενος δίσκος κρούσης δεν περιελάμβανε ρίκνωση).



Το μήκος του τεμαχίου αυτού είναι 25 mm από 8 mm που είχε σχεδιαστεί αρχικά και ο λόγος αύξησης της διάστασης αυτής είναι η δημιουργία διακένου κέντρωσης και εύκολης συναρμολόγησης (πατούρα).

Το τμήμα αυτό πλέον δε περιλαμβάνει εξωτερικό σπείρωμα αλλά εσωτερικό θηλυκό σπείρωμα με διάμετρο 10 mm και βήμα 1 mm σε μήκος 8 mm μέσα στο τμήμα.



Το διάκενο που έχει σχεδιαστεί έχει διάμετρο εσωτερική 20 mm και βάθος συνολικά 10 mm. Το τεμάχιο αυτό περιλαμβάνει επίσης διακοσμητικές λοξοτμήσεις στο εξωτερικό του ενώ παράλληλα στο εσωτερικό του σπειρώματος σχεδιάστηκε ειδικό διάκενο για τη μορφή του κοχλία που βρίσκεται στο κύριο μεταλλικό τμήμα του εργαλείου.

Εικόνα 6.22: Ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης, όπως προέκυψε μετά τη βελτίωση του σχεδιασμού,, σε δύο όψεις (1), (2) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα Χ (3)

Ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης, μετά τον επανασχεδιασμό του, αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα τμήματα του εργαλείου, καθώς ότι μηχανική παραμόρφωση δημιουργηθεί θα την επωμισθεί κυρίως ο δίσκος κρούσης και η

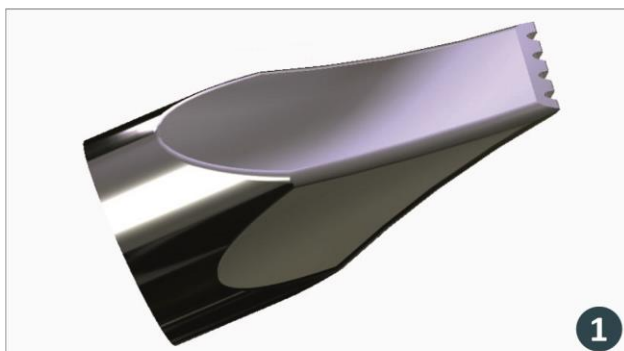
λαξευτική σμίλη. Σε περίπτωση που το τμήμα παραμορφωθεί (όπως και είναι αναμενόμενο), μπορεί άμεσα να αλλαχτεί αλλά και να συναρμολογηθεί νέος δίσκος κρούσης από άλλο μέταλλο και άλλα χαρακτηριστικά ανάλογα την εφαρμογή.

6.3.7 Σχεδιασμός εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

Εκτός από την επίπεδη εναλλάξιμη σμίλη, για τις ανάγκες του εργαλείου και της κάθε κατεργασίας

Σχεδιασμός οδοντωτής σμίλης

Σχεδιασμός εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης για το έξυπνο βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο εργαλείο κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 6.23: Σχεδιασμός οδοντωτής σμίλης, σε μονή όψη (1) και σε όψη με ημιτομή κατά τον άξονα X (2)

εργαλειομηχανές του εργαστηρίου σε χάλυβα, ανοξείδωτο 304, γίνεται έλεγχος του σχεδιασμού και έπειτα αν δεν υπάρχουν αλλαγές, τα τμήματα αυτά στυλβώνονται (γίνεται επιμέρους ανάλυση σε επόμενο κεφάλαιο) και εφαρμόζονται στο εργαλείο. Στις σμίλες όλες υπάρχει επιλογή να βαφτεί ο χάλυβας και να αυξηθεί η σκληρότητα για ειδικές εφαρμογές όπως κατεργασίες σε γρανίτη και άλλους λίθους με αυξημένη σκληρότητα.

Επιπρόσθετα ο σχεδιασμός τους και η εφαρμογή τους σε διάφορους τύπους λίθων, ελέγχεται και επιβεβαιώνεται σε σειρές πειραμάτων που αναλύονται σε επόμενα κεφάλαια. Κάθε σμίλη από αυτές πρέπει να μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένες γωνίες και να αφαιρεί υλικό όσο επιθυμεί ο χρήστης και όσο πιο ελεγχόμενα γίνεται. Ο σχεδιασμός λοιπόν αυτός ως προς τις διαστάσεις ενδέχεται μελλοντικά να αλλάξει ανάλογα με τις ανάγκες του τελικού χρήστη και τις ανάγκες του εκάστοτε λίθου.

ξεχωριστά, σχεδιάστηκαν επιμέρους σμίλες, με τον ίδιο τρόπο συναρμολόγησης, όπως η οδοντωτή σμίλη που μελετάται στο παρόν κεφάλαιο, η σμίλη σημείου / διάτρησης και η σμίλη τύπου frosting.

Σχετικά με τις διαστάσεις της σμίλης αυτής, το μήκος του τμήματος είναι 60 mm, η διάμετρος η εξωτερική σταθερή στα 30 mm ενώ η κοπτική ακμή της οδοντωτής σμίλης μήκους 19 mm, περιλαμβάνει τέσσερα (4) δόντια, βάθους 1,2 mm.

Η σμίλη αυτή σχεδιάστηκε με βάση τις πραγματικές οδοντωτές σμίλες και πιο συγκεκριμένα τις σμίλες από το πνευματικό σφυρί Cuturi. Το βάθος των οδοντώσεων διαφέρει από σμίλη σε σμίλη, ανάλογα τη κατεργασία.

Στην εικόνα 6.23 απεικονίζεται το μοντέλο αυτής της σμίλης, σε μονή όψη (1) και σε όψη με ημιτομή (2), για να φανεί πως ο τρόπος συναρμολόγησης είναι ο ίδιος ανεξάρτητα από το τύπο της σμίλης.

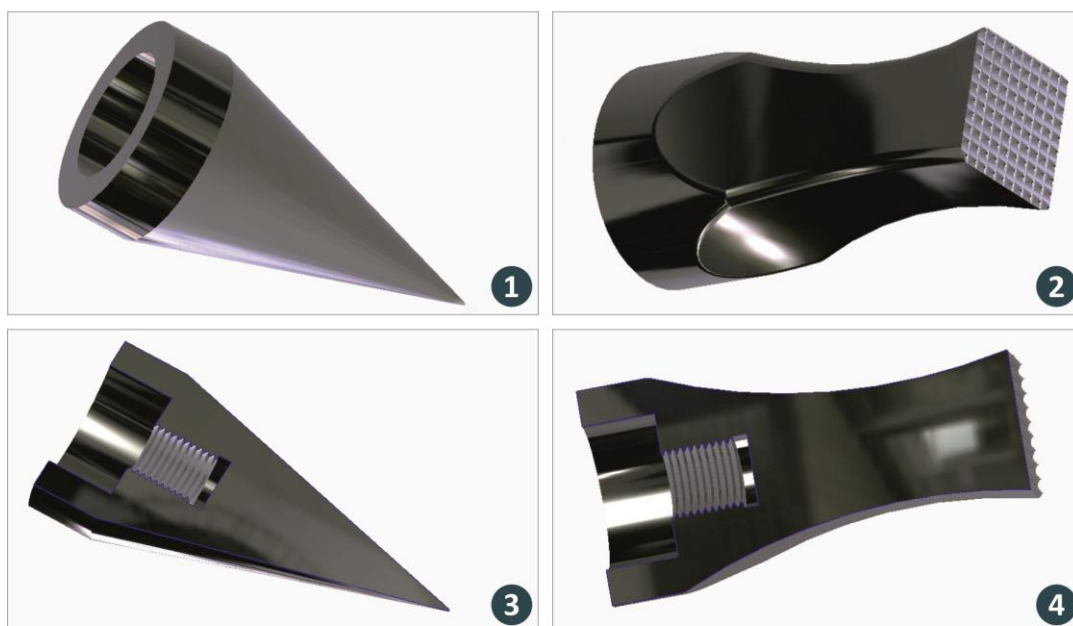
Όλες οι σμίλες που παρουσιάζονται, όπως και όλα τα τμήματα, κατασκευάζονται στις

6.3.8 Σχεδιασμός εναλλάξιμης σμίλης διάτρησης – σημείου και ορθογωνικής σμίλης τύπου frosting

Έπειτα ακολουθεί ο σχεδιασμός της σμίλης σημείου – διάτρησης και της ορθογωνικής, ειδικής σμίλης, τύπου frosting. Αυτά τα μοντέλα λαξευτικών σμιλών απεικονίζονται παρακάτω στην εικόνα 6.24, όπου στο υπό σχήμα 1 είναι η όψη της σμίλης διάτρησης και στο υπό σχήμα 3 η όψη της σμίλης διάτρησης σε ημιτομή κατά τον άξονα Χ. Αντίστοιχα στο υπό σχήμα 2 της ίδιας εικόνας, απεικονίζεται η σμίλη τύπου frosting και στο υπό σχήμα 4 η όψη σε ημιτομή κατά τον άξονα Χ της σμίλης αυτής.

Σχεδιασμός εναλλάξιμης σμίλης διάτρησης και σμίλης τύπου frosting

Σχεδιασμός εναλλάξιμων λαξευτικών σμιλών σημείου - διάτρησης και ειδικής σμίλης, τύπου frosting



Εικόνα 6.24: Τα μοντέλα των σμιλών σημείου – διάτρησης (1) και σμίλης τύπου frosting (2) σε μονές όψεις και σε όψεις με ημιτομή κατά τον άξονα Χ (3), (4)

Και οι δύο σμίλες ακολουθούν το ίδιο πρότυπο συναρμολόγησης και διαστάσεων όπως ορίστηκε από τη πρώτη σμίλη που σχεδιάστηκε, την επίπεδη λαξευτική σμίλη. Η διάμετρος τους είναι και στις δύο σμίλες 30 mm ενώ το μήκος τους αντίστοιχα είναι ίδιο στα 60 mm.

Πιο συγκεκριμένα, η σμίλη διάτρησης – σημείου είναι σχεδιασμένη με βάση σχήμα κώνου, γωνίας 40 μοιρών όπου η απόληξή του είναι επιφάνεια κύκλου με ακτίνα 0,5 mm. Η επιφάνεια της απόληξης αυτής της σμίλης τείνει να αλλάζει, ανάλογα την εφαρμογή της σμίλης από 0,5 mm έως και 5 mm ακτίνα κύκλου. Λόγω του μυτερού άκρου, η σμίλη αυτή παραμορφώνεται σχετικά εύκολα αλλά έχει τη δυνατότητα συνέχισης αφαίρεσης υλικού και με μεγαλύτερη επιφάνεια. Συνήθως μετά από σημαντική παραμόρφωση οι σμίλες αυτές τροχίζονται ώστε να επανέλθουν στο αρχικό τους σχήμα.

Τέλος, ως αναφορά τη σμίλη, ειδικής εφαρμογής, τύπου frosting, περιλαμβάνει ορθογωνική απόληξη διαστάσεων 20 mm x 20 mm. Στο σύνολο, στην επιφάνεια αυτή, είναι σχεδιασμένα εκατό (100) συνολικά δόντια με ύψος 1,2 mm. Η ορθογωνική αυτή επιφάνεια βρίσκεται επαπτόμενη σε τόξο κύκλου, ακτίνας 80 mm, όπως φαίνεται και στα σχήματα 2 και 4. Η σμίλη αυτή τροχίζεται δύσκολα και συνήθως εφαρμόζεται σε λίθους με αυξημένη σκληρότητα και κρυσταλλική δομή. Για το λόγο αυτό υπάρχει δυνατότητα λόγω του επιλεγμένου χάλυβα να βαφτεί η επιφάνεια της σμίλης αυτής.



6.3.9 Σύγκριση σχεδιαστικών μοντέλων και βημάτων σχεδιασμού

Έχοντας αναλύσει το σχεδιασμό των επιμέρους τμημάτων και σταδίων που πέρασε το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης και έχοντας καταλήξει σε ένα αρκετά ικανοποιητικό μοντέλο εργαλείου είναι σημαντικό να γίνει μια συνολική σύγκριση ανάμεσα στο πρώτο μοντέλο που σχεδιάστηκε και στο τελικό βιομηχανοποιημένου τύπου, πρωτότυπο.

Όπως έγινε αντιληπτό από τα προηγούμενα κεφάλαια, από την αρχική ιδέα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης μέχρι το σχεδιασμό και τη δημιουργία ενός αποδεκτού και λειτουργικού πρωτοτύπου, μεσολάβησαν πολλά στάδια σχεδιασμού, ελέγχου σχεδιασμού, δημιουργίας φυσικού πρωτοτύπου, ελέγχου φυσικού πρωτοτύπου, επανασχεδιασμού, επαναδημιουργίας φυσικού πρωτοτύπου και επανελέγχου φυσικού πρωτοτύπου. Όλες οι παραπάνω διαδικασίες, ήταν και είναι απαραίτητες και μάλιστα με πολλές επαναλήψεις.

Τα αποτελέσματα των παραπάνω διαδικασιών / σταδίων, γίνονται άμεσα εμφανή, με τη σύγκριση που παρουσιάζεται στη παρακάτω εικόνα 6.25. Στο αριστερό άκρο της εικόνας, απεικονίζεται το ολοκληρωμένο μοντέλο του πρώτου σταδίου του σχεδιασμού (Α) ενώ στο δεξί άκρο της εικόνας απεικονίζεται το τελικό μοντέλο μετά από την επιρροή όλων των σταδίων που έχουν προαναφερθεί (Β). Ακριβώς από κάτω από κάθε μοντέλο, βρίσκονται τα επιμέρους τμήματα που απαρτίζουν το κάθε μοντέλο ξεχωριστά. Αυτό που δε μπορεί να γίνει εύκολα αντιληπτό, αλλά έχει αναλυθεί και θα φανεί σε επόμενα κεφάλαια, είναι η διαφορά στις διαστάσεις αυτών των μοντέλων.

Συγκρίνοντας τα δύο μοντέλα, τα οποία απεικονίζονται αποσυναρμολογημένα, διακρίνονται οι σημαντικές διαφορές τόσο στη λογική λειτουργίας όσο και στη συναρμολόγηση και κατασκευή του εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Αρχικά από το πίσω τμήμα του εργαλείου (1a), (1b), όπου απέκτησε σε όλο το μήκος ρίκνωση, απέκτησε ειδικά επίπεδα για εύκολη συναρμολόγηση, προστέθηκε η επιλογή εναλλαγής τμήματος δίσκου κρούσης ενώ άλλαξε εσωτερικά τόσο ο ωφέλιμος χώρος, όσο και η συναρμολόγηση των επιμέρους τμημάτων των ηλεκτρονικών διατάξεων.

Έπειτα, το ενιαίο εμπρόσθιο τμήμα (2a) όπου σε ένα τμήμα περιελάμβανε μη εναλλάξιμη σμίλη, μη εναλλάξιμη εφαρμογή μηχανομετρών και απαιτούσε επιπλέον τμήμα πλαστικής θυρίδας ηλεκτρονικών διατάξεων μετασχεδιάστηκε σε δύο (2) διαφορετικά τμήματα πλήρως εναλλάξιμα (2b) και με καλύτερη συμπεριφορά των ηλεκτρονικών μηχανομετρών, το κύριο τμήμα εφαρμογής των μηχανομετρών και τα καλύμματά του.

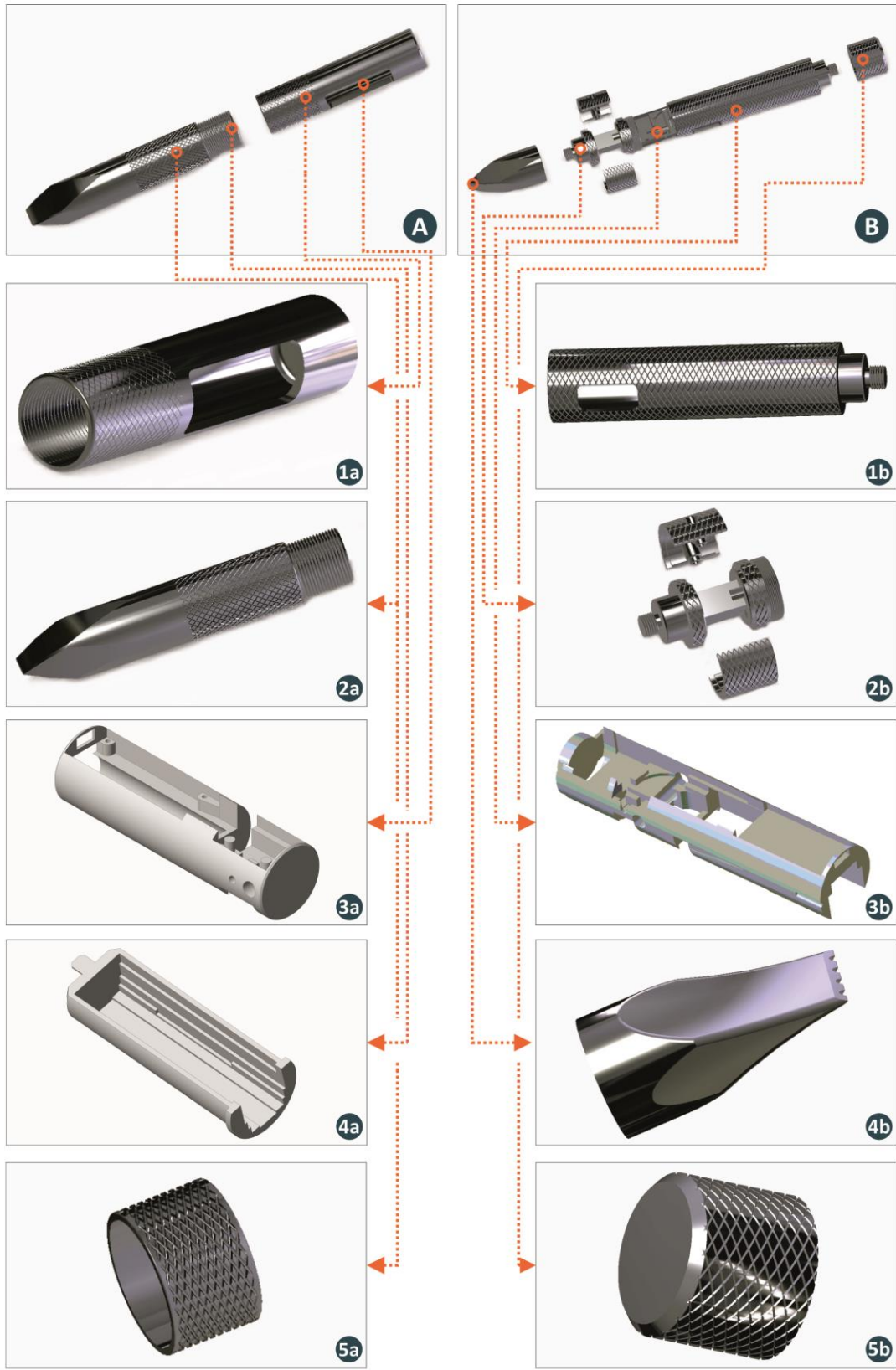
Συνεχίζοντας τη σύγκριση, τα επιμέρους πλαστικά τμήματα των ηλεκτρονικών διατάξεων, συνολικά δύο διαφορετικά τεμάχια (3a), (4a), που δημιουργούσαν έντονη δυσχρησία λόγω μη ενιαίων ηλεκτρονικών διατάξεων και συνδέσεων και δύσκολης συναρμολόγησης, επανασχεδιάστηκαν σε ένα και μόνο ενιαίο τμήμα (3b) το οποίο επιτρέπει την εύκολη σύνδεση των ηλεκτρονικών διατάξεων αλλά και την ταχύτατη και εύκολη συναρμολόγηση – αποσυναρμολόγησή τους.

Τέλος εάν και το αρχικό μοντέλο περιελάμβανε τμήμα (δακτύλιος) ρύθμισης του μήκους του (5a), (το οποίο ήταν ήδη αρκετά μεγάλο για τις προδιαγραφές) το τελικό μοντέλο του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σχεδιάστηκε να περιλαμβάνει την επιλογή εναλλάξιμων σμιλών (4b), παντός τύπου και την επιλογή εναλλάξιμου δίσκου κρούσης (5b).

Εν κατακλείδι, το αρχικό μοντέλο σχεδιασμού απαρτιζόταν από συνολικά τέσσερα (4) τμήματα εκ των οποίων μόνο το ένα μπορούσε να είναι εναλλάξιμο (2a), ενώ ο τελικός σχεδιασμός του εργαλείου, εμπεριέχει συνολικά έξι (6) τμήματα εκ των οποίων τα πέντε (5) είναι πλήρως εναλλάξιμα και εύκολα στη συναρμολόγηση.



Σύγκριση αρχικού και τελικού σχεδιασμού έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης
Σύγκριση μεταξύ των μοντέλων σχεδιασμού, τμήμα - τμήμα από την αρχική ιδέα στο τελικό εργαλείο



Εικόνα 6.25: Σχήμα σύγκρισης σχεδιασμού, αρχικού μοντέλου και τελικού του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

7. Κατασκευή βελτιστοποιημένου έξυπνου εργαλείου

Στα επόμενα κεφάλαια αναλύεται ο σχεδιασμός κατασκευής και κοπής των επιμέρους τμημάτων του έξυπνου εργαλείου λάξευσης. Το υλικό που επιλέχτηκε όπως προαναφέρθηκε, είναι ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 όπου και προμηθεύτηκε σε κυλινδρική ράβδο διατομής 34 mm, σε αρκετά τμήματα μεγάλου μήκους. Αυτά τα τμήματα πρώτα κατεργάστηκαν σε συμβατικές εργαλειομηχανές, κυρίως τόρνο, ώστε να έρθουν κοντά στη κύρια διάμετρο του εργαλείου (30 mm) και έπειτα για ευκολία κατεργασιών να γίνει η ρίκνωση κάθε άξονα σε όλο το μήκος του.

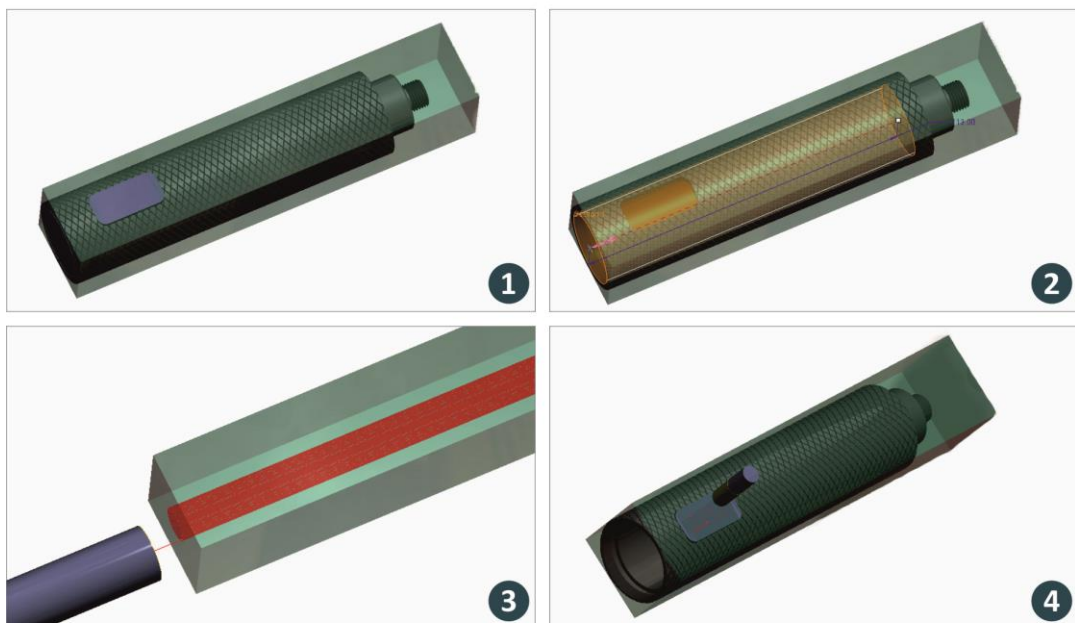
Στα ακόλουθα υπό κεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά, όλες οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν, όλα τα κοπτικά που χρησιμοποιήθηκαν, οι κύριες ρυθμίσεις κοπής, οι διαδρομές των κοπτικών όπως αυτές ορίστηκαν, καθώς και τα τελικά τμήματα που προέκυψαν μετά τις διαδικασίες κοπής. Όλα τα επιμέρους τμήματα του εργαλείου, πρώτα κατεργάστηκαν συμβατικά σε τόρνο και έπειτα ολοκληρώθηκαν σε CNC, κέντρο κατεργασίας φρεζαρίσματος τριών (3) και τεσσάρων (4) αξόνων. Σε επόμενο επίσης κεφάλαιο παρουσιάζεται και η διαδικασία στίλβωσης συγκεκριμένων τμημάτων του εργαλείου, μετά τις κατεργασίες κατασκευής.

7.1 Κατασκευή κύριου, πίσω τμήματος

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η κατασκευή του κύριου, πίσω τμήματος του εργαλείου. Το πρώτο βήμα είναι ο καθορισμός του ακατέργαστου τεμαχίου και η συναρμολόγησή του με το κύριο τμήμα προς κατασκευή. Για το συγκεκριμένο τμήμα, το ακατέργαστο τεμάχιο ορίστηκε σε διαστάσεις 150x 30,14x 30,14 mm. Τα επόμενα βήματα για το σχεδιασμό παραγωγής του κύριου οπίσθιου τμήματος, περιλαμβάνουν τη συναρμολόγηση κύριου μοντέλου με το ακατέργαστο (1) όπως αυτό απεικονίζεται στην εικόνα 7.1, τον ορισμό της πρώτης κατεργασίας και της διαδρομής του κοπτικού (2), (3) και αντίστοιχα τον ορισμό της δεύτερης κατεργασίας φρεζαρίσματος και της διαδρομής του κοπτικού για τη δημιουργία της θυρίδας ελέγχου (4).

Κατασκευή οπίσθιου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Σχεδιασμός κατασκευής κύριου, οπίσθιου μεταλλικού τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.1: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή κύριο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Στις παραπάνω εικόνες, πρέπει να αναφερθεί πως με πράσινο όγκο διάφανο απεικονίζεται το ακατέργαστο τεμάχιο στο σχεδιασμό των κατεργασιών, με τον γκρι όγκο (αδιάφανο) αναπαρίσταται το σχεδιασμένο μοντέλο προς κατασκευή και με κόκκινες διακριτές γραμμές, οι διαδρομές που κάνει το κοπτικό εργαλείο κατά τη σάρωσή του στο ακατέργαστο τεμάχιο.

Όλα τα επιμέρους τμήματα αυτά έχουν πολλές επιλογές απεικόνισης ανάλογα με τις απαιτήσεις του χρήστη όπως απόκρυψη κάποιου στοιχείου ή και κατεργασίας ακόμα. Το κοπτικό εργαλείο επίσης αναπαρίσταται με απλοϊκό τρόπο, με ένα κυλινδρικό σχήμα στις διαστάσεις του εργαλείου που έχουν οριστεί στο λογισμικό. Υπάρχει επίσης επιλογή απόκρυψης του μοντέλου προς κατασκευή (όπως στο υπό σχήμα 3 της εικόνας 7.1) για καλύτερη απεικόνιση και κατανόηση των διαδρομών του κοπτικού και των επιμέρους κατεργασιών.

Το τμήμα αυτό, απαιτεί δύο (2) μόνο κατεργασίες φρεζαρίσματος στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου και ένα μόνο μηδενισμό στην αριστερή έξω γωνία του ακατέργαστου τεμαχίου. Για τις δύο αυτές κατεργασίες χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) κοπτικά όπως αυτά παρουσιάζονται στο πίνακα της εικόνας 7.2. Το κοπτικό εργαλείο της κάθε κατεργασίας ξεχωριστά, επιλέγεται με γνώμονα κύριο το υλικό, τη κατεργασία, τη μορφή του σχήματος του τελικού μοντέλου, την επιθυμητή πρόωση και το επιθυμητό βάθος κοπής ώστε η κατεργασία να γίνει σε όσο το δυνατό λιγότερο χρόνο γίνεται και με το βέλτιστο αποτέλεσμα επιφανειακής ποιότητας.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών κύριου οπίσθιου μεταλλικού τμήματος

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του κύριου μεταλλικού τμήματος του εργαλείου

A/A	Ονομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	Dormer S9043	End Mill	6	10	20	2
2.	Dormer S9045	End Mill	16	40	120	8

Εικόνα 7.2: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του κύριου, μεταλλικού, πίσω τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τα κοπτικά που επιλέχθηκαν είναι και τα δύο της εταιρίας Dormer, κοπτικά εργαλεία φρεζαρίσματος, όπου το εργαλείο 1 έχει διάμετρο κοπτικής ακμής ίση με 6 mm ενώ το εργαλείο 2 έχει διάμετρο κοπτικής ακμής ίση με 16 mm. Η επιλογή της διαμέτρου του πρώτου εργαλείου, έγινε με βάση την ακτίνα των γωνιών της θυρίδας του τεμαχίου που είναι ίση με 3 mm.

Η επιλογή του δεύτερου εργαλείου έγινε αντίστοιχα από την επιθυμητή εσωτερική διάμετρο του τμήματος. Αντίστοιχα στο παραπάνω πίνακα της εικόνας 7.2 αναγράφεται και το συνολικό μήκος του κοπτικού εργαλείου αλλά και η θέση του στην ομπρέλα του κέντρου κατεργασίας. Όλες αυτές οι παράμετροι και αυτές που θα ακολουθήσουν ορίζονται στο σχεδιαστικό λογισμικό Creo 3.0 προκειμένου να εξαχθεί ο κώδικας εργαλειομηχανής και να ξεκινήσει η διαδικασία παραγωγής πλήρως αυτοματοποιημένα στην εργαλειομηχανή με την εισαγωγή του κώδικα, του ακατέργαστου τεμαχίου, των κοπτικών και των επιμέρους μηδενισμών της μηχανής .

Για τη κατασκευή του συγκεκριμένου τμήματος, χρειάστηκαν τέσσερις (4) ώρες συμβατικής τόννευσης και είκοσι (20) λεπτά φρεζαρίσματος στην εργαλειομηχανή τεσσάρων (4) αξόνων με ένα δέσιμο τεμαχίου και έναν μηδενισμό. Στη συμβατική κατεργασία τόννευσης, περιλαμβάνεται η δημιουργία ρίκνωσης του άξονα, η δημιουργία σπειρωμάτων του τμήματος καθώς και η δημιουργία των πατημάτων συναρμολόγησης.



Στο πίνακα της εικόνας 7.3 που ακολουθεί, αναγράφονται οι διαδικασίες κοπής που σχεδιάστηκαν, το εργαλείο της κάθε κατεργασίας, η επιλεγμένη πρόωση του κοπτικού (σε mm/min), η ταχύτητα ατράκτου κοπής (σε rpm), η επιλογή αφαίρεσης υλικού (ξεχόνδρισμα μόνο / φινίρισμα μόνο / ξεχόνδρισμα και φινίρισμα), το βάθος βήματος κοπής (σε mm) καθώς και ο τύπος σάρωσης, της διαδρομής του κοπτικού.

Κατεργασίες κύριου οπίσθιου μεταλλικού τμήματος

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή του κύριου μεταλλικού τμήματος του εργαλείου

A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Extrude Mill	Dormer S9045	105	600	-	0,2	scan type 1
2.	Extrude Mill	Dormer S9043	48	786	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,1	scan type 3

Εικόνα 7.3: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του κύριου, μεταλλικού, πίσω τμήματος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Όλες οι παραπάνω κατεργασίες, έγιναν με απαραίτητη τη χρήση ψυκτικού υγρού και των κατάλληλων συνθηκών κοπής όπως προτείνει ο κατασκευαστής των κοπτικών. Η πρώτη διαδικασία κοπής, περιλαμβάνει το φρεζάρισμα για τη δημιουργία της εσωτερικής διαμέτρου του κύριου μεταλλικού οπίσθιου τμήματος σε βάθος 113 mm. Αντίστοιχα η δεύτερη κατεργασία, περιλαμβάνει το φρεζάρισμα συγκεκριμένου όγκου (mill volume) για τη δημιουργία της θυρίδας ελέγχου. Για τη κατεργασία φρεζαρίσματος της θυρίδας επιλέχθηκε το κοπτικό να κάνει διαδρομή ξεχονδρίσματος αλλά και φινιρίσματος για την απομάκρυνση απότομων κοψιμάτων του χάλυβα και για την απομάκρυνση συσσωματωμένων γρεζιών στην επιφάνεια του τμήματος.

Κατασκευή οπίσθιου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Το τελικό, κατασκευασμένο κύριο, οπίσθιο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.4: Το κατασκευασμένο, κύριο, οπίσθιο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις

Στην παραπάνω εικόνα 7.4, απεικονίζεται το κατεργασμένο πίσω τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις (4) διαφορετικές όψεις για τη καλύτερη κατανόηση του τεμαχίου.



Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως σε όλες της κατεργασίες, έχει ορισθεί το κοπτικό να σαρώνει την επιφάνεια κατά τη κοπή με βήμα επανάληψης 1 mm (step over) και κατά τις ταχείες κινήσεις του χωρίς κοπή να απομακρύνεται από την επιφάνεια κατεργασίας κατά 10 mm (clearance). Ο τύπος σάρωσης του κοπτικού εργαλείου (scan type), ορίζεται κάθε φορά με γνώμονα το χώρο κίνησης του κοπτικού εργαλείου, τη διάμετρό του και τη ποιότητα / νερά της επιφάνειας που απαιτούνται. Για όλα τα μεταλλικά τμήματα και τις κατεργασίες τους, απαιτείται η χρήση ψυκτικού υγρού, τόσο στο κέντρο κατεργασίας (εργαλειομηχανή CNC) όσο και στη συμβατική τórνευση.

Σε επόμενο στάδιο, το συγκεκριμένο τμήμα αφού ελεγχθεί ως προς τη συναρμολόγησή του, θα στιλβωθεί και θα συμπληρώσει το εργαλείο κρουστικής λάξευσης. Το κόστος συνολικά του εργαλείου συμπεριλαμβανομένων όλων των εργαλείων, του χάλυβα και των στιλβωτικών αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο.

7.2 Κατασκευή ενιαίου πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Επόμενο τμήμα στο στάδιο του σχεδιασμού κατασκευής και της κατασκευής είναι το πλαστικό τμήμα του εργαλείου που θα φέρει συναρμολογημένες τις ηλεκτρονικές διατάξεις. Ως τρισδιάστατο μοντέλο, είναι αρκετά πολύπλοκο, με πολλές επιφάνειες και μικρές διαστάσεις οι οποίες απαιτούν μεγαλύτερη ακρίβεια για την σωστή συναρμολόγηση. Επομένως γίνεται εύκολα αντιληπτό πως ο σχεδιασμός παραγωγής και η κατασκευή αυτού του τεμαχίου είναι πολύπλοκη και χρειάζεται περισσότερο χρόνο και σχεδιασμού αλλά και κατεργασιών. Για το συγκεκριμένο τμήμα έγιναν κατεργασίες τόσο σε συμβατικό τόρνο και εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου όσο και χειροκίνητα για τη σταθερή προσαρμογή και συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών πλακετών.

Στο πίνακα που ακολουθεί της εικόνας 7.5, αναγράφονται τα αντίστοιχα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στις κατεργασίες κατασκευής του πλαστικού τμήματος αυτού. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν έξι (6) κοπτικά, τέσσερα (4) για κατεργασίες φρεζαρίσματος και δύο (2) για διανοίξεις οπών. Τα κοπτικά εργαλεία αυτά για τις κατεργασίες του πλαστικού τμήματος, δεν απαιτούν τη χρήση ψυκτικού υγρού και καταλαμβάνουν τις θέσεις στην ομπρέλα του κέντρου κατεργασίας από 2 έως 7.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του πλαστικού τεμαχίου σύνδεσης των ηλεκτρονικών

A/A	Ονομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	IZAR 2	End Mill	2	10	15	2
2.	Dormer C247	End Mill	2	16	15	3
3.	Dormer C292	End Mill	2	25	30	4
4.	IZAR 6	End Mill	6	15	25	5
5.	A520_5	Drilling	5 σε κώνο 180°	22	35	6
6.	A120_3	Drilling	3,5 σε κώνο 180°	14	35	7

Εικόνα 7.5: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Η παραγωγή του τεμαχίου αυτού χρειάστηκε συνολικά δέκα λεπτά (10) σε συμβατικό τόρνο για τη δημιουργία της απαιτούμενης διαμέτρου ενώ χρειάστηκε αντίστοιχα τέσσερις ώρες (4) κατεργασίας στην εργαλειομηχανή τεσσάρων αξόνων. Το τεμάχιο αυτό χρειάστηκε επίσης 4 διαφορετικά δεσίματα στη τράπεζα και στο τέταρτο άξονα και αντίστοιχα τέσσερις (4) μηδενισμούς τεμαχίου. Συνολικά σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν δεκαοκτώ (18) κατεργασίες στην εργαλειομηχανή οι οποίες αναλύονται στο πίνακα της εικόνας 7.6 με όλες τις επιμέρους ρυθμίσεις τους και το κοπτικό εργαλείο της εκάστοτε κατεργασίας.



Με το πέρας όλων των κατεργασιών αυτών, έχουν σχηματιστεί όλες οι απαιτούμενες θυρίδες των ηλεκτρονικών διατάξεων και οι θυρίδες των επιμέρους καλωδίων. Οι συνολικά δεκαοκτώ (18) κατεργασίες, αντιστοιχούν στη δημιουργία θέσεων / θυρίδων για τα δεκαοκτώ (18) ηλεκτρονικά εξαρτήματα που απαρτίζουν τη συνολική ηλεκτρονική διάταξη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως οι διαστάσεις, εάν και απόλυτες, σε κάθε θυρίδα μετά τη κατεργασία στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου χρειάζεται κάποια επιπλέον χειροκίνητη κατεργασία με εργαλείο Dremel, ώστε να απομακρυνθούν πλαστικά γρέζια και παραμορφώσεις λόγω των κατεργασιών και να εφαρμόζουν σωστά και με ακρίβεια τα ηλεκτρονικά εντός του πλαστικού αυτού τεμαχίου.

Κατεργασίες πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή του πλαστικού τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων

A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Window	IZAR 6	900	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
2.	Mill Window	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
3.	Mill Window	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3
4.	Mill Window	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
5.	Mill Window	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3
6.	Mill Window	IZAR 6	2.000	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
7.	Mill Window	Dormer C247	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 1
8.	Mill Window	Dormer C292	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 1
9.	Drilling	IZAR 6	223	1.485	-	1,0	scan type 1
10.	Extrude Mill	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
11.	Extrude Mill	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
12.	Mill Window	IZAR 6	900	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
13.	Mill Window	Dormer C292	150	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
14.	Mill Window	IZAR 6	900	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
15.	Mill Window	Dormer C292	100	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
16.	Mill Window	Dormer C247	30	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
17.	Mill Window	Dormer C247	30	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 1
18.	Mill Window	IZAR 6	900	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
19.	Mill Window	IZAR 2	300	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
20.	Mill Window	IZAR 6	900	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
21.	Mill Window	Dormer C292	100	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
22.	Mill Window	Dormer C247	300	7.500	Φινίρισμα	0,5	scan type 3
23.	Profile Mill	Dormer C292	600	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3
24.	Drilling	A120_3_5	403	3.183	-	0,5	scan type 1
25.	Profile Mill	IZAR 2	300	7.500	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
26.	Extrude Mill	Dormer C292	180	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3
27.	Mill Window	Dormer C292	180	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3
28.	Mill Window	Dormer C292	180	7.500	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	0,5	scan type 3

Εικόνα 7.6: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του πλαστικού τμήματος ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Όλες οι παραπάνω κατεργασίες, γίνονται σε υλικό Ertacetel το οποίο δεν απαιτεί ψυκτικό υγρό για να κατεργαστεί κάτω από τις συνθήκες που περιγράφονται. Στις κατεργασίες που αναγράφονται, γίνεται και κατεργασία φρεζαρίσματος αλλά και κατεργασίες διάνοιξης οπών. Εάν και το βάθος βήματος κοπής παραμένει σταθερό, ανάλογα τη γεωμετρία, το κοπτικό και το υλικό, η πρόωση κοπής αλλάζει για κάθε κατεργασία. Οι στροφές της κύριας ατράκτου (άτρακτος εργαλείου κοπής) είναι εξίσου σταθερές εκτός από τις κατεργασίες διάνοιξης οπών.

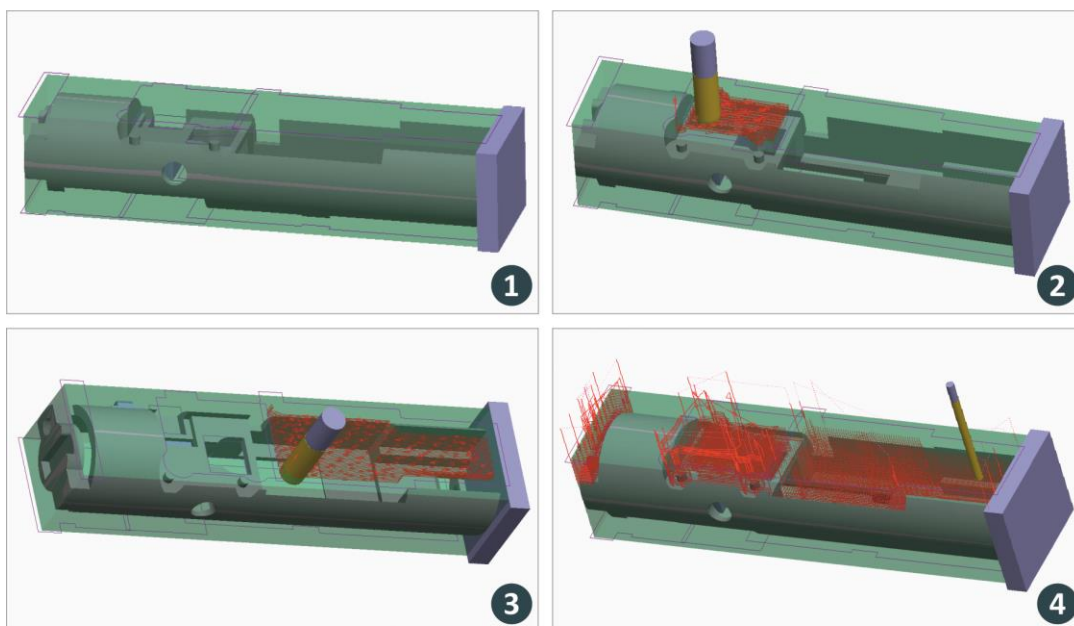
Πρέπει να σημειωθεί πως η δημιουργία των περισσότερων θυρίδων απαιτεί δύο (2) κατεργασίες για κάθε μια από αυτές, καθώς η πρώτη κατεργασία φρεζαρίσματος είναι για ξεχόνδρισμα ενώ χρειάζεται σε πολλές περιπτώσεις, δεύτερο πέρασμα κοπτικού από τη διαμορφωμένη επιφάνεια, για την απομάκρυνση των συσσωμάτων και τη δημιουργία επιφάνειας ακριβείας σε σχέση με τις διαστάσεις και τη ποιότητα. Αντίστοιχα και ο τύπος σάρωσης του κοπτικού εργαλείου εξαρτάται από τις κατεργασίες, το χώρο και το κοπτικό στο συγκεκριμένο τεμάχιο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί, πως παράλληλα με το σχεδιασμό παραγωγής και το σχεδιασμό κατεργασιών, γίνεται προσομοίωση κοπής, αφαίρεσης υλικού, για κάθε μια κατεργασία και για όλες μαζί ώστε να εντοπισθούν τυχόν σφάλματα στη διαδρομή του κοπτικού και στις επιμέρους ρυθμίσεις κάθε κατεργασίας. Το λογισμικό Creo 3.0 παρέχει δύο (2) προγράμματα τέτοιου είδους, για τις προσομοιώσεις κοπής, το material removal simulation και το vericut (όπου είναι πιο αναλυτικό και ρεαλιστικό).

Στη παρακάτω εικόνα 7.7 απεικονίζονται τόσο το ακατέργαστο τεμάχιο όσο και το μοντέλο του πλαστικού τμήματος (1) μαζί με τις διαδρομές του κοπτικού σε επιμέρους κατεργασίες φρεζαρίσματος (2), (3), (4). Μαζί με τις διαδρομές των κοπτικών απεικονίζονται και τα επιμέρους κοπτικά εργαλεία όπως ακριβώς αυτά προσομοιώνονται με το λογισμικό Creo 3.0. Λόγω μεγάλου αριθμού κατεργασιών δεν είναι εφικτή η απεικόνιση όλων αυτών σε επιπλέον σχήματα.

Στην εικόνα 7.7 στο υπό σχήμα 2 απεικονίζεται η πρώτη κατεργασία όγκου για τη δημιουργία της θυρίδας της πλακέτας για τη κάρτα μνήμης Micro SD. Στο υπό σχήμα 3 της ίδιας εικόνας απεικονίζεται η πρώτη κατεργασία ξεχονδρίσματος για το χώρο της μπαταρίας ενώ στο υπό σχήμα 4 απεικονίζονται όλες οι διαδρομές του κοπτικού / κοπτικών για το πρώτο δέσιμο και μηδενισμό του τεμαχίου (συνολικά έξι (6) κατεργασίες).

Κατασκευή ενιαίου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων
Σχεδιασμός κατασκευής ενιαίου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



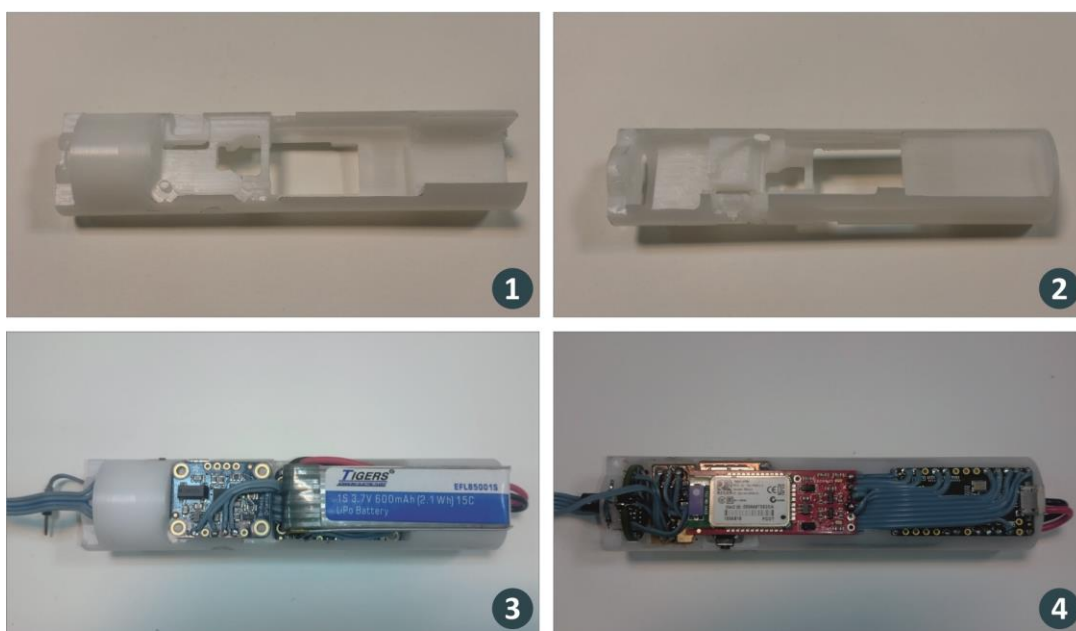
Εικόνα 7.7: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή πλαστικό τμήμα εφαρμογής των ηλεκτρονικών διατάξεων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Το ακατέργαστο τμήμα ορίσθηκε σε διαστάσεις 109x 24.86x 24.86 mm και ο πρώτος μηδενισμός έγινε στην αριστερή έξω γωνία του ακατέργαστου (πράσινος όγκος στις εικόνες) όπως είναι προσανατολισμένο στα υπό σχήματα 1 και 2 της εικόνας 7.7.

Τέλος, ακολουθεί το τελικό, κατασκευασμένο τεμάχιο, όπου απεικονίζεται στην εικόνα 7.8. Στο υπό σχήμα 1 και 2 της εικόνας 7.8 απεικονίζεται το πλαστικό τεμάχιο σε δύο (2) όψεις χωρίς τις ηλεκτρονικές διατάξεις εντός, ενώ στα υπό σχήματα 3 και 4 απεικονίζεται το πλαστικό τμήμα με πλήρως συναρμολογημένες και διασυνδεδεμένες όλες τις ηλεκτρονικές διατάξεις, σε δύο όψεις. Μετά τη κατασκευή αυτού του τεμαχίου, ακολούθησε ο έλεγχος συναρμολόγησης και διορθώθηκαν δια χειρός τυχόν σφάλματα κατεργασιών. Όλες οι ηλεκτρονικές διατάξεις, είναι σταθερά εφαρμοσμένες στο εσωτερικό του τεμαχίου και μπορούν να αποσυναρμολογηθούν με σχετική ευκολία.

Κατασκευή ενιαίου πλαστικού τμήματος συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων Το τελικό, κατασκευασμένο ενιαίο πλαστικό τμήμα συναρμολόγησης των ηλεκτρονικών διατάξεων



Εικόνα 7.8: Το κατασκευασμένο, πλαστικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις εκ των οποίων οι δύο (3), (4), περιλαμβάνουν συναρμολογημένες τις ηλεκτρονικές διατάξεις εντός του τμήματος

Το πλαστικό αυτό τμήμα, συναρμολογείται σε απόλυτες διαστάσεις και τέλεια εφαρμογή με το κύριο μεταλλικό τμήμα και το κυριότερο, πως οι ηλεκτρονικές διατάξεις δεν εφάπτονται στο μεταλλικό τμήμα και βρίσκονται σε κάθε σενάριο σταθερές στη προδιαγεγραμμένη θέση τους. Το τμήμα αυτό βιδώνει στο εμπρόσθιο τμήμα των μηχανομετρών ώστε να διασφαλίζεται επιπλέον σταθερότητα και κέντρωση των εξαρτημάτων. Η κατασκευή του τεμαχίου αυτού, εάν και αρκετά πολύπλοκη, έγινε αρκετά ακριβής ώστε να μη χρειαστεί ανακατασκευή και ώστε ακόμα και οι διακόπτες, είσοδοι / έξοδοι ταυτίζονται απόλυτα και ευθυγραμμισμένα με τη θυρίδα ελέγχου του κύριου μεταλλικού τμήματος.



7.3 Κατασκευή τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος μηχανοσυστημάτων

Ακολουθεί ο σχεδιασμός κατασκευής και η κατασκευή του τελικού, μεταλλικού τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων. Για τη κατεργασία του συγκεκριμένου τμήματος χρειάστηκαν δύο (2) ώρες συμβατικής τόννευσης και επιπλέον άλλες δύο (2) ώρες φρεζαρίσματος στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων αξόνων. Πρόκειται για ένα τμήμα με λίγες απαιτήσεις κατεργασιών και κοπτικών εργαλείων και σχετικά λίγη ώρα κατεργασίας.

Στο πίνακα της εικόνας 7.9 που ακολουθεί, αναγράφονται αναλυτικά τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία σχεδιασμού κατεργασιών και στη κατασκευή του μεταλλικού αυτού τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) κοπτικά εργαλεία εκ των οποίων ένα (1) είναι με σφαιρική κοπτική απόληξη (ball mill), δύο (2) κοπτικά για διάνοιξη οπών και δύο (2) κοπτικά για φρεζάρισμα. Τα κοπτικά εργαλεία αυτά, είναι τοποθετημένα στις θέσεις της ομπρέλας 2 έως 6 στο κέντρο κατεργασίας.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών μεταλλικού τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή του μεταλλικού τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων

A/A	Όνομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	Dormer C273	End Mill	14	25	40	2
2.	HSS 8	Ball Mill	8	15	30	3
3.	A120_3	Drilling	3.5 σε κώνο 118°	22	35	4
4.	A520_5	Drilling	5 σε κώνο 118°	14	35	5
5.	IZAR_6_40	End Mill	6	15	40	6

Εικόνα 7.9: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Στο πίνακα της εικόνας 7.10 που ακολουθεί, αναγράφονται αναλυτικά οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν, με τις επιμέρους παραμέτρους και ρυθμίσεις της κάθε κατεργασίας. Συνολικά σχεδιάστηκαν και εκτελέστηκαν πέντε (5) κατεργασίες, με δύο (2) δεσίματα του τεμαχίου και συνολικά δύο (2) μηδενισμούς ακατέργαστων τεμαχίων. Σε αυτό το μεταλλικό τμήμα οι παράμετροι των επιμέρους κατεργασιών διαφέρουν σημαντικά λόγω της εναλλαγής των κοπτικών σε κάθε κατεργασία και του τύπου της κατεργασίας. Στο πίνακα επίσης της εικόνας 7.10 γίνεται αντιληπτό πως η ρύθμιση του τύπου αφαίρεσης υλικού δε χρησιμοποιείται σε όλες τις κατεργασίες εκτός αν είναι απαραίτητο.

Κατεργασίες μεταλλικού τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή του μεταλλικού τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων

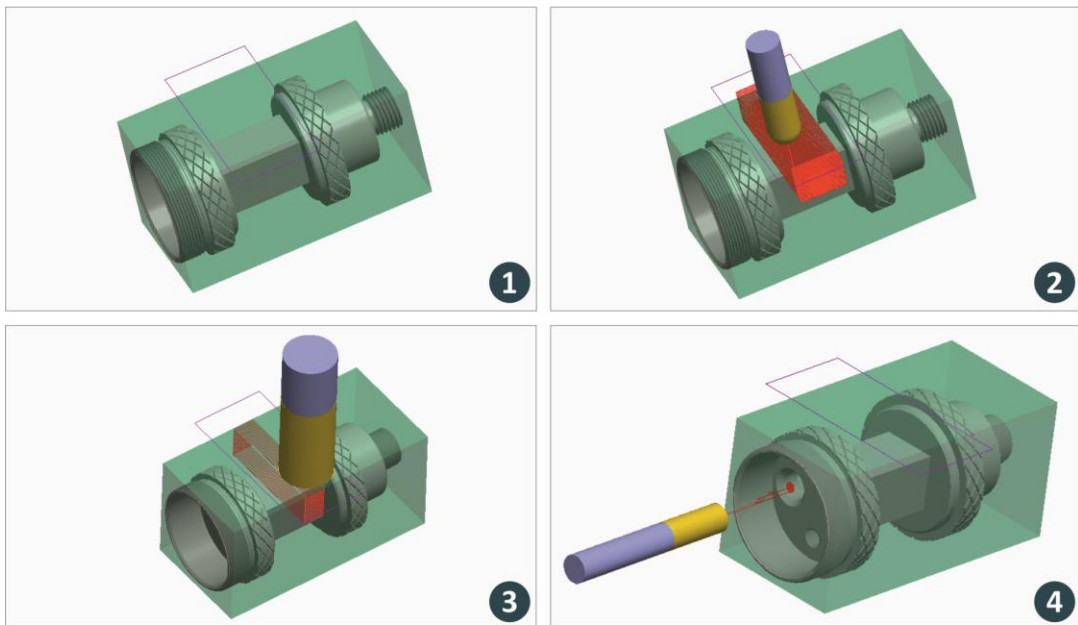
A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Window	HSS 8	1.252	5.252	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
2.	Extrude Mill	Dormer C273	109	341	-	0,5	-
3.	Drilling	A120_3	83,3	819	-	-	scan type 1
4.	Drilling	A520_5	73,6	584	-	-	scan type 1
5.	Surface Mill	IZAR_6_40	380	2.980	-	0,1	scan type 3

Εικόνα 7.10: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Ακολουθούν στην εικόνα 7.11 οι απεικονίσεις του σχεδιασμού κατεργασιών. Στο υπό σχήμα 1 της εικόνας 7.11 απεικονίζεται το μοντέλο προς κατασκευή στο ακατέργαστο τεμάχιο με διαστάσεις ορισμένες στα 60x 30,18x 30,18 mm. Στα υπό σχήματα 2 και 3 της ίδιας εικόνας απεικονίζονται κατεργασίες φρεζαρίσματος όγκου με διαφορετικά κοπτικά και τις προδιαγεγραμμένες διαδρομές των επιλεγμένων κοπτικών εργαλείων, ενώ τέλος στο υπό σχήμα 4 απεικονίζεται μια από τις κατεργασίες διάνοιξης οπών στο δεύτερο δέσιμο του τεμαχίου.

Κατασκευή μεταλλικού τμήματος εφαρμογής μηκυνσιομέτρων

Σχεδιασμός κατασκευής μεταλλικού τμήματος εφαρμογής μηκυνσιομέτρων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.11: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στο προς κατασκευή μεταλλικό τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Το ακατέργαστο τεμάχιο από χάλυβα, κατεργάζεται αρχικά σε συμβατικό τόρνο, όπως προαναφέρθηκε, για την εφαρμογή της ρίκνωσης και τη δημιουργία των εσωτερικών διαμέτρων και σπειρωμάτων. Έπειτα κατεργάζεται στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων αξόνων για τις υπόλοιπες αναγραφόμενες κατεργασίες. Η χρήση του τέταρτου άξονα σε αυτό το τμήμα είναι απαραίτητη και το αρχικό δέσιμο και ο μηδενισμός του ακατέργαστου τεμαχίου γίνεται επί το τέταρτο αυτό άξονα. Ο τέταρτος άξονας στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου επιτρέπει τη περιστροφή του τεμαχίου προς κατεργασία.

Επομένως σχεδόν όλες οι παραπάνω κατεργασίες φρεζαρίσματος όγκου του πίνακα της εικόνας 7.10 πραγματοποιούνται τέσσερις (4) συνολικά φορές, μια φορά ανά περιστροφή του άξονα κατά 90 μοίρες. Αυτή η μέθοδος απλοποιεί σημαντικά τις σχεδιασμένες κατεργασίες, μειώνει την έκταση του κώδικα εργαλειομηχανής, μειώνει το συνολικό χρόνο κατεργασίας στην εργαλειομηχανή καθώς και μειώνει τυχόν σφάλματα λόγω μηδενισμού τεμαχίου εφόσον απαιτεί έναν (1) και μόνο μηδενισμό αντί για τέσσερις (4).

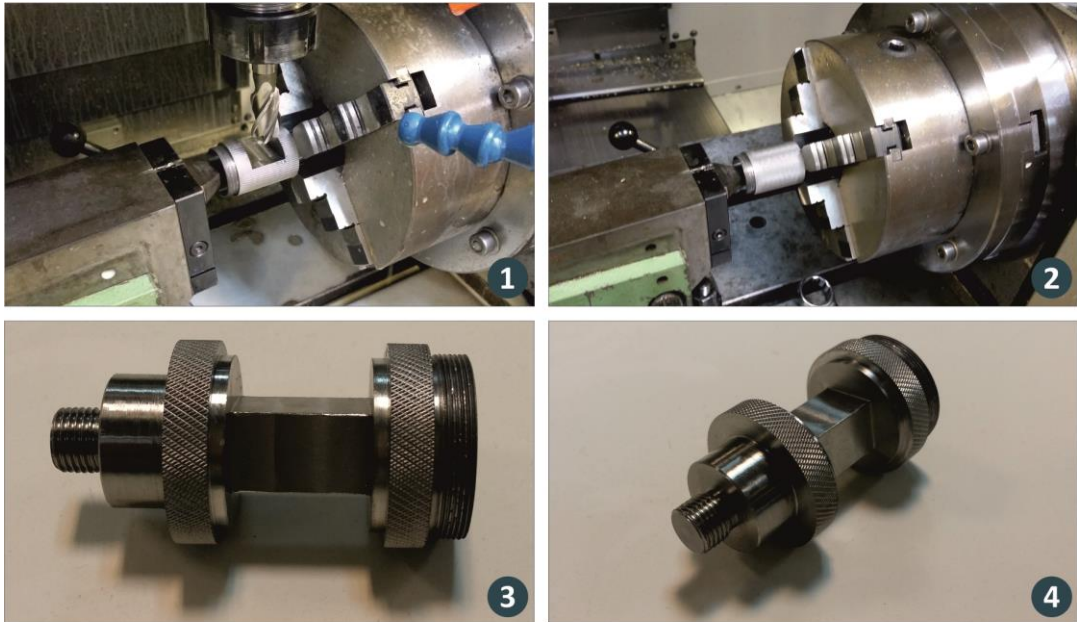
Ο μηδενισμός για το τέταρτο άξονα γίνεται στη πάνω, αριστερή, εξωτερική γωνία με το ακατέργαστο τεμάχιο όπως είναι προσανατολισμένο στα υπό σχήματα της εικόνας 7.11. Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως και στις κατεργασίες αυτού του τμήματος είναι απαραίτητη η χρήση ψυκτικού υγρού και ενεργοποιείται μέσω των ρυθμίσεων στο σχεδιασμό των κατεργασιών.



Στην παρακάτω εικόνα 7.12, απεικονίζονται δύο (2) κατεργασίες του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων επί του τέταρτου άξονα (1), (2), πιο συγκεκριμένα της κατεργασίας Extrude Mill με κοπτικό διαμέτρου 14 mm (αρχικό δέσιμο), καθώς και το τελικό τμήμα σε δύο όψεις (3), (4) μετά τις κατεργασίες.

Κατασκευή μεταλλικού τμήματος εφαρμογής μηκυνσιομέτρων

Κατεργασίες σε CNC και το τελικό, κατασκευασμένο μεταλλικό τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων



Εικόνα 7.12: Κατεργασίες κατασκευής τμήματος εφαρμογής μηκυνσιομέτρων σε εργαλειομηχανή CNC (1), (2) και το τελικό μεταλλικό τμήμα σε δύο (2) όψεις (3), (4)

Οι επιφάνειες εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων επί του τεμαχίου αυτού στη συνέχεια κατεργάσθηκαν δια χειρός με υαλόχαρτο 80 - 180 βαθμών grit και με υαλόχαρτο νερού 1000 βαθμών grit, ώστε να απαλειφθούν τυχόν νερά που έχουν δημιουργηθεί στην επιφάνεια αυτή από το κοπτικό εργαλείο και να εφαρμοστούν σωστά και με ακρίβεια τα ηλεκτρονικά μηκυνσιόμετρα, όπως προτείνει ο κατασκευαστής τους.

Η επιφάνεια εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων πρέπει να έχει την απαραίτητη τραχύτητα σε συνδυασμό με τέλεια επίπεδη επιφάνεια ώστε τα μηκυνσιόμετρα να εφαρμοστούν χωρίς επιπρόσθετη παραμόρφωση λόγω κατασκευής και με μεγάλη σταθερότητα λόγω εφαρμογής της ειδικής κυανό-ακρυλικής κόλλας [31]. Ο σωστός συνδυασμός του υλικού και της τραχύτητας της επιφάνειας εγγυάται μεγαλύτερη σταθερότητα και αξιοπιστία στις εφαρμογές και τις παραμορφώσεις των μηκυνσιομέτρων.

Το τελικό τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων είναι ακριβείας ως προς τις διαστάσεις και τη συναρμολόγησή του με το κεντρικό τμήμα του υπό κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, στιλβώθηκε σε επόμενη φάση και εφαρμόστηκαν σε αυτό τα μηκυνσιόμετρα (αναλύεται σε επόμενο κεφάλαιο). Το τμήμα αυτό δεν παρουσίασε ατέλειες κατεργασιών και δε χρειάστηκε βελτίωση σχεδιασμού ή επιπλέον ανακατασκευή.



7.4 Κατασκευή τελικών καλυμμάτων εμπρόσθιου τμήματος μηχανοσυστημάτων

Επόμενο τμήμα προς κατασκευή είναι τα καλύμματα του μεταλλικού τεμαχίου εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων. Τα δύο αυτά τεμάχια, κατασκευαστήκαν παράλληλα από το ίδιο ακατέργαστο τεμάχιο χάλυβα. Τα συγκεκριμένα χαλύβδινα τεμάχια υπήρξαν πολύπλοκα στο σχεδιασμό κατεργασιών και στη κατασκευή τους, λόγω γεωμετρικής μορφής, μικρών διαστάσεων και κατεργαζόμενου υλικού. Συνολικά τα τμήματα αυτά χρειάστηκαν τριάντα (30) λεπτά συμβατικής τόνρευσης και επτά (7) ώρες κατεργασιών στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων (4) αξόνων.

Στο πίνακα της εικόνας 7.13 που ακολουθεί, αναγράφονται αναλυτικά τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στη διαδικασία σχεδιασμού κατεργασιών και στη κατασκευή των μεταλλικών αυτών καλυμμάτων. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν επτά (7) κοπτικά εργαλεία εκ των οποίων δύο (2) είναι με σφαιρική κοπτική απόληξη (ball mill), δύο (2) κοπτικά για διάνοιξη οπών και πέντε (5) κοπτικά για φρεζάρισμα.

Τα κοπτικά εργαλεία αυτά, είναι τοποθετημένα στις θέσεις της ομπρέλας 2 έως 8 στο κέντρο κατεργασίας, ενώ στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί πως στη θέση ένα (1) πάντα εισάγεται προς χρήση, εργαλείο μηδενισμού του ακατέργαστου τεμαχίου (δεν αναγράφεται στους πίνακες κοπτικών εργαλείων διότι δεν κατέχει σταθερή θέση στην ομπρέλα της εργαλειομηχανής κατά τη διάρκεια των κατεργασιών).

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών καλυμμάτων τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή των μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος μηχανοσυστημάτων

A/A	Ονομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	Dormer C273	End Mill	14	25	40	2
2.	HSS 8	Ball Mill	8	15	30	3
3.	HSS 4	End Mill	4	10	25	4
4.	HSS 2	Ball Mill	2	10	25	5
5.	A130_2.5	Drilling	2,5 σε κώνο 118°	15	35	6
6.	A410_3	Drilling	3 σε κώνο 118°	22	35	7
7.	IZAR_6_40	End Mill	6	15	40	8

Εικόνα 7.13: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής των καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του εξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Ακριβώς, λόγω της πολυπλοκότητας των τεμαχίων αυτών, σχεδιάσθηκαν συνολικά είκοσι τέσσερις (24) κατεργασίες. Το ακατέργαστο τεμάχιο χρειάστηκε δύο (2) δεσίματα και τρεις (3) μηδενισμούς. Όλες οι κατεργασίες που απαιτήθηκαν για τη παραγωγή των καλυμμάτων, έγιναν αποκλειστικά στο τέταρτο άξονα της εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου εκτός φυσικά από τις κατεργασίες συμβατικής τόνρευσης και ρίχνωσης του άξονα.

Στο πίνακα της εικόνας 7.14 που ακολουθεί, παρουσιάζονται αναλυτικά όλες οι κατεργασίες που σχεδιάσθηκαν και εκτελέσθηκαν για τη δημιουργία των καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων. Σε αυτές τις αναγραφόμενες κατεργασίες οι παράμετροι μεταξύ κατεργασιών διαφέρουν σημαντικά λόγω της εναλλαγής των κοπτικών σε κάθε κατεργασία και του τύπου της κατεργασίας όπως αναγράφθηκε και στη κατασκευή προηγούμενου μεταλλικού τεμαχίου. Στο πίνακα επίσης της εικόνας 7.14 γίνεται επίσης αντιληπτό πως η ρύθμιση του τύπου αφαίρεσης υλικού δε χρησιμοποιείτε σε όλες τις κατεργασίες εκτός αν είναι απαραίτητο όπως ακριβώς στις κατεργασίες του εναλλάξιμου τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων.

**Κατεργασίες μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων**

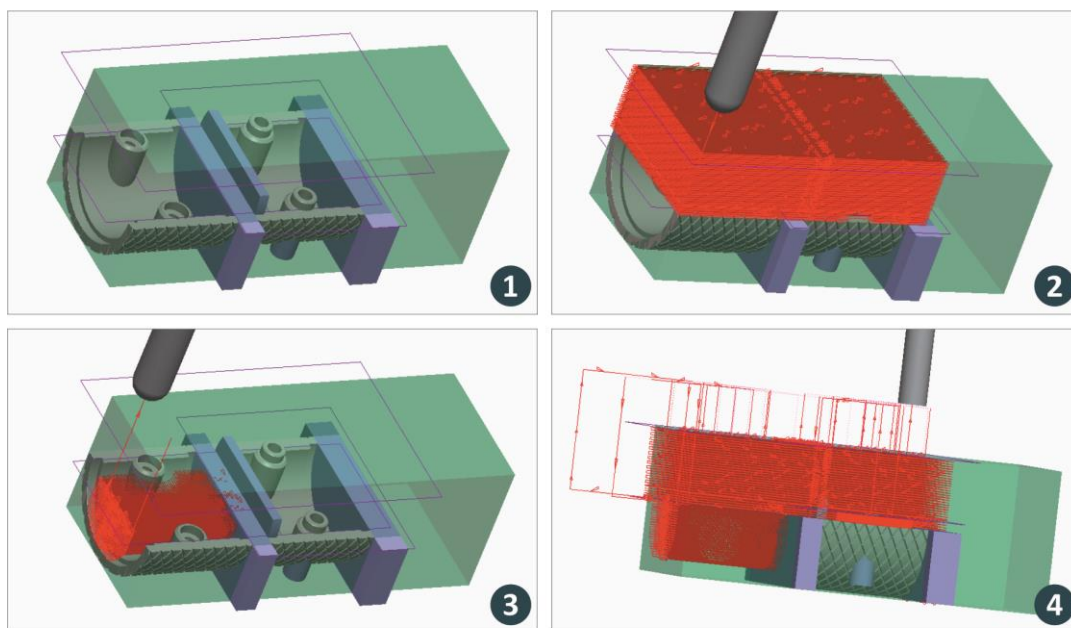
Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή των μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος μηχανοσυστημάτων

A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Window	HSS 8	1.079	4.695	-	-	scan type 3
2.	Mill Window	Dormer C273	109	341	-	20	scan type 1
3.	Drilling	A410_3	97,4	955	-	0,5	scan type 1
4.	Drilling	A130_2.5	96,3	1.146	-	0,5	scan type 1
5.	Mill Window	HSS 4	13,3	1.035	-	0,1	-
6.	Mill Window	HSS 4	13,3	1.035	-	0,1	-
7.	Mill Window	HSS 8	1079	4.695	Ξεχόνδρισμα	-	scan type 3
8.	Mill Window	HSS 8	1499	1.499	-	-	scan type 3
9.	Mill Window	HSS 2	168	7.500	-	-	scan type 3
10.	Extrude Mill	HSS 4	13	1.035	Φινίρισμα	-	scan type 3
11.	Extrude Mill	Dormer C273	109	341	-	15	scan type 1
12.	Extrude Mill	Dormer C273	109	341	-	0,1	-
13.	Extrude Mill	Dormer C273	109	341	-	0,1	-
14.	Drilling	A410_3	97,4	955	-	0,5	scan type 1
15.	Mill Window	HSS 8	1.079	4.695	Ξεχόνδρισμα	0,5	scan type 3
16.	Mill Window	HSS 8	1.499	6.287	-	0,5	scan type 3
17.	Mill Window	HSS 2	168	7.500	-	-	scan type 3
18.	Mill Window	IZAR_6_40	95	796	-	0,2	-
19.	Extrude Mill	IZAR_6_40	95	796	-	0,2	-
20.	Extrude Mill	HSS 4	13	1.035	-	0,1	-
21.	Extrude Mill	HSS 4	13	1.035	-	0,1	-
22.	Mill Window	IZAR_6_40	95	796	Ξεχόνδρ. & φινίρισμα	-	scan type 3
23.	Mill Window	IZAR_6_40	95	796	-	15	-
24.	Extrude Mill	IZAR_6_40	95	796	-	0,1	-

Εικόνα 7.14: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής των καλυμμάτων του τελικού εναλλάξιμου εμπρόσθιου τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Κατασκευή μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων

Σχεδιασμός κατασκευής των μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος εφαρμογής μηχανοσυστημάτων



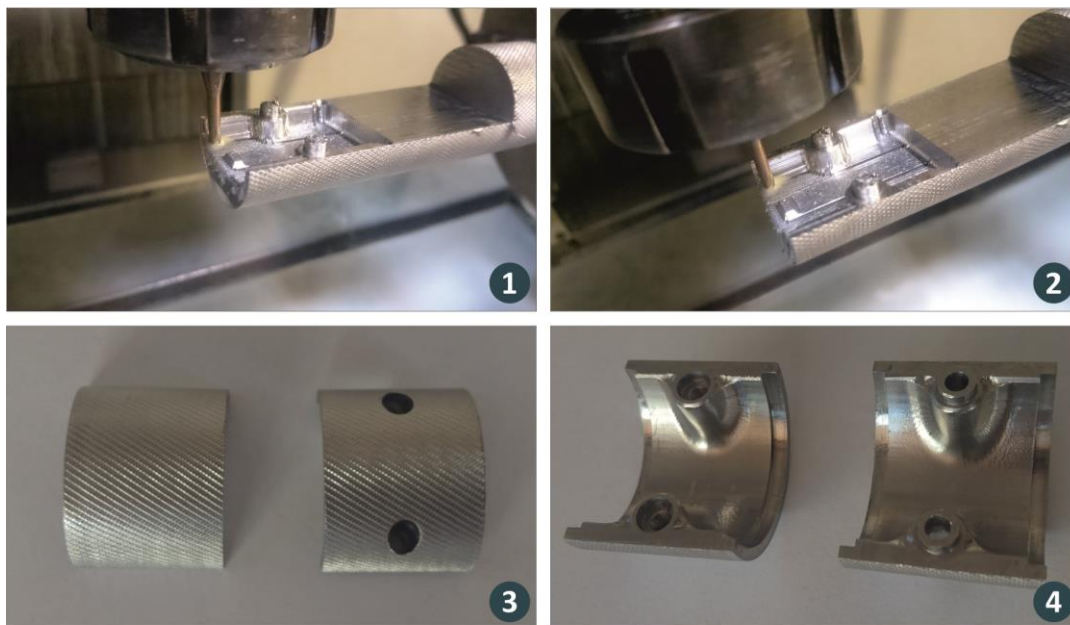
Εικόνα 7.15: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στα προς κατασκευή μεταλλικά καλύμματα του τμήματος εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Στη παραπάνω εικόνα 7.15, απεικονίζονται το μοντέλο προς κατεργασία μαζί με το ακατέργαστο τεμάχιο διαστάσεων 80x 3,2x 3,2 mm (1), η πρώτη κατεργασία φρεζαρίσματος, με το κοπτικό HSS 8 μαζί με τη διαδρομή σάρωσης του κοπτικού (2) και αντίστοιχα επόμενες κατεργασίες φρεζαρίσματος με τα αντίστοιχα κοπτικά και τις διαδρομές τους εντός και εκτός του ακατέργαστου τεμαχίου (3), (4).

Κατασκευή μεταλλικών καλυμμάτων τμήματος εφαρμογής μηκυσιομέτρων

Κατεργασίες σε CNC και τα τελικά, κατασκευασμένα μεταλλικά καλύματα του τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων



Εικόνα 7.16: Κατεργασίες κατασκευής καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής μηκυσιομέτρων σε εργαλειομηχανή CNC (1), (2) και τα τελικά μεταλλικά τμήματα σε δύο (2) όψεις (3), (4)

Τέλος, στην παραπάνω εικόνα 7.16, απεικονίζονται δύο (2) στιγμιότυπα κατεργασίας των καλυμμάτων επί του τέταρτου άξονα (1), (2), πιο συγκεκριμένα της κατεργασίας Mill Window με κοπτικό διαμέτρου 4 mm (αρχικό δέσιμο), καθώς και το τελικό τμήμα σε δύο όψεις (3), (4) μετά τις κατεργασίες.

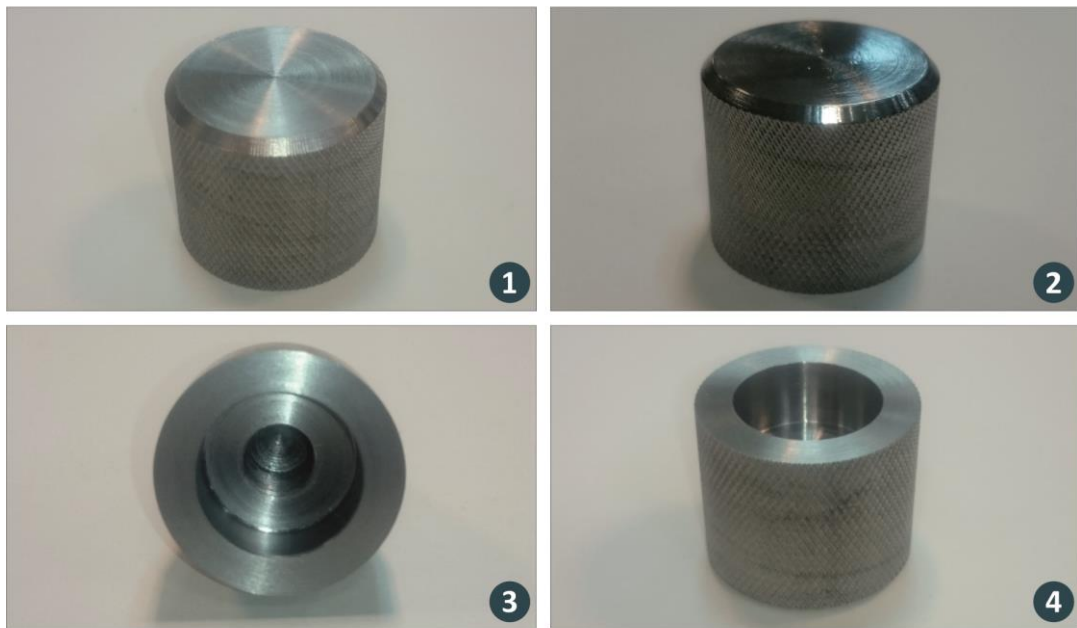
Τα τμήματα αυτά χρειάστηκε να επανασχεδιαστούν και να επανακατεργασθούν αρκετές φορές λόγω αυξημένης πολυπλοκότητας κατεργασιών, γεωμετρικής μορφής και κατεργαζόμενου υλικού. Η παρουσία ψυκτικού υγρού φυσικά είναι απαραίτητη σε κάθε κατεργασία χαλύβδινου τμήματος. Λόγω πολυπλοκότητας επιλογής των σωστών παραμέτρων κοπής, τα τμήματα αυτά δεν είχαν / έχουν καλή ποιότητα επιφάνειας, ενώ σε πάρα πολλά τμήματα, έπρεπε να γίνει κατεργασία χειρός με εργαλείο Dremel για την απομάκρυνση χαλύβδινων συσσωματωμένων γρεζιών από την επιφάνεια και τις ακμές των καλυμμάτων αυτών.

Μετά από τις πολλαπλές κατεργασίες και σαφέστατα αρκετό πειραματισμό με τις συνθήκες κοπής, ολοκληρώθηκαν επιτυχώς τα εικονιζόμενα καλύματα της εικόνας 7.16 (3), (4), πλήρως λειτουργικά και με ακρίβεια στη συναρμολόγηση με το κύριο τμήμα εφαρμογής των μηκυσιομέτρων χωρίς να αφήνει κενά ή να μετακινείται κατά τη χρήση του εργαλείου.

7.5 Κατασκευή εναλλάξιμου δίσκου κρούσης

Επόμενο τμήμα προς κατασκευή είναι ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης. Το μοντέλο του δίσκου κρούσης είναι πολύ απλό στη μορφή και κατασκευάστηκε εξ ολοκλήρου σε συμβατική μηχανή τόννευσης. Ο συνολικός χρόνος κατεργασίας αυτού του τμήματος είναι μόλις σαράντα πέντε λεπτά (45) συμβατικής τόννευσης.

Κατασκευή δίσκου κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης
Ο τελικός, κατασκευασμένος δίσκος κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.17: Ο κατασκευασμένος εναλλάξιμος δίσκος κρούσης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις

Στην παραπάνω εικόνα 7.17 απεικονίζεται ο κατασκευασμένος εναλλάξιμος δίσκος κρούσης σε διάφορες όψεις (1), (3), (4). Το ακατέργαστο τεμάχιο που χρησιμοποιήθηκε προς κατεργασία είναι άξονας ανοξείδωτου χάλυβα 304, διαστάσεων 80 (μήκος άξονα) x 32 (διάμετρος άξονα) mm. Στο τεμάχιο αυτό έγιναν συμβατικά οι κατεργασίες εκχόνδρισης και ρίκνωσης της κύριας εξωτερικής διαμέτρου, η κατεργασία δημιουργίας των δύο (2) εσωτερικών διαμέτρων και του εσωτερικού σπειρώματος.

7.6 Κατασκευή εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

Έπειτα ακολουθεί ο σχεδιασμός κατασκευής και η κατασκευή της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης. Η σμίλη αυτή αποτελεί τη βασική σμίλη κατεργασιών του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Το ακατέργαστο τεμάχιο της εφαρμογής αυτής ορίστηκε σε διαστάσεις 70x 30x 30,5 mm, από ανοξείδωτο χάλυβα 304.

Για το συγκεκριμένο τμήμα, χρειάστηκαν συνολικά σαράντα πέντε (45) λεπτά συμβατικής τόννευσης και περίπου έξι (6) ώρες κατεργασιών φρεζαρίσματος στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων αξόνων του εργαστηρίου. Λόγω κατεργασιών το τμήμα αυτό χρειάστηκε επιπλέον μια (1) ώρα κατεργασία με εργαλείο Dremel ώστε να εξαλειφθούν τα έντονα νερά από το κοπτικό εργαλείο.



Στο παρακάτω πίνακα της εικόνας 7.18 παρουσιάζονται τα κοπτικά εργαλεία της κατασκευής της σμίλης αυτής. Στο σύνολο χρησιμοποιούνται δύο (2) μόνο κοπτικά εργαλεία και τα δύο με σφαιρική απόληξη και διαφορετικές διαμέτρους. Το ένα κοπτικό εργαλείο έχει διάμετρο κοπτικής ακμής ίση με 10 mm ενώ το δεύτερο εργαλείο έχει διάμετρο κοπτικής ακμής ίση με 2mm.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

A/A	Όνομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	HSS 2	Ball Mill	2	8	20	2
2.	HSS 10	Ball Mill	10	15	70	3

Εικόνα 7.18: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν καθώς και τα κοπτικά εργαλεία και οι συνθήκες κοπής παρουσιάζουν ομοιότητες με αυτές της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης σε επόμενο κεφάλαιο. Οι κατεργασίες αυτές, παρουσιάζονται στο πίνακα της εικόνας 7.19 που ακολουθεί. Στο σύνολο, σχεδιάστηκαν οκτώ (8) κατεργασίες, έξι (6) κατεργασίες ξεχονδρίσματος όγκου και δύο (2) κατεργασίες φινιρίσματος όγκου. Στις κατεργασίες ξεχονδρίσματος εφαρμόζεται το κοπτικό εργαλείο HSS 10 ενώ στις κατεργασίες φινιρίσματος, το κοπτικό εργαλείο HSS 2.

Κατεργασίες κατασκευής της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 1
2.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 1
3.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 1
4.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 1
5.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 1
6.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 1
7.	Mill Window	HSS 2	164	6000	Φινίρισμα	0,1	scan type 1
8.	Mill Surface	HSS 2	164	6000	Φινίρισμα	0,1	scan type 1

Εικόνα 7.19: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

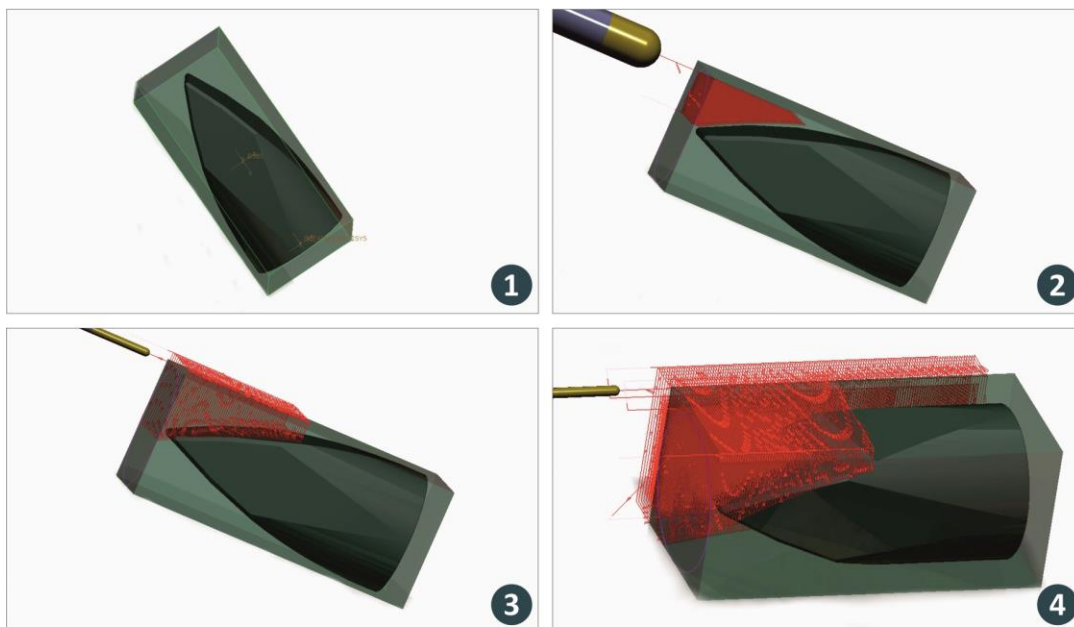
Στην παρακάτω εικόνα 7.20 απεικονίζεται η σμίλη προς κατασκευή εντός του ακατέργαστου τεμαχίου (1), η πρώτη κατεργασία αφαίρεσης όγκου με τη διαδρομή του επιλεγμένου κοπτικού (2), η κατεργασία φινιρίσματος της μιας πλευράς της σμίλης με τη διαδρομή του επιλεγμένου κοπτικού (3) και οι διαδρομές των κοπτικών σαρώνοντας δύο (2) από τις τέσσερις (4) επιφάνειες της σμίλης προς κατασκευή.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί πως η σμίλη αυτή και ο σχεδιασμός κατασκευής της έχει βασισθεί στη λειτουργία του 4^{ου} άξονα της εργαλειομηχανής ο οποίος επιτρέπει την ελεγχόμενη περιστροφή του τεμαχίου ώστε να κατεργασθούν όλες οι επιφάνειες με ένα και μόνο δέσιμο. Πολλές από τις κατεργασίες της εικόνας 7.19 επαναλαμβάνονται με τη κάθε περιστροφή του 4^{ου} άξονα κατά 90 μοίρες απλουστεύοντας καθ' αυτόν το σχεδιασμό κατασκευής και μειώνοντας το χρόνο κατεργασίας.



Κατασκευή εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

Σχεδιασμός κατασκευής της εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

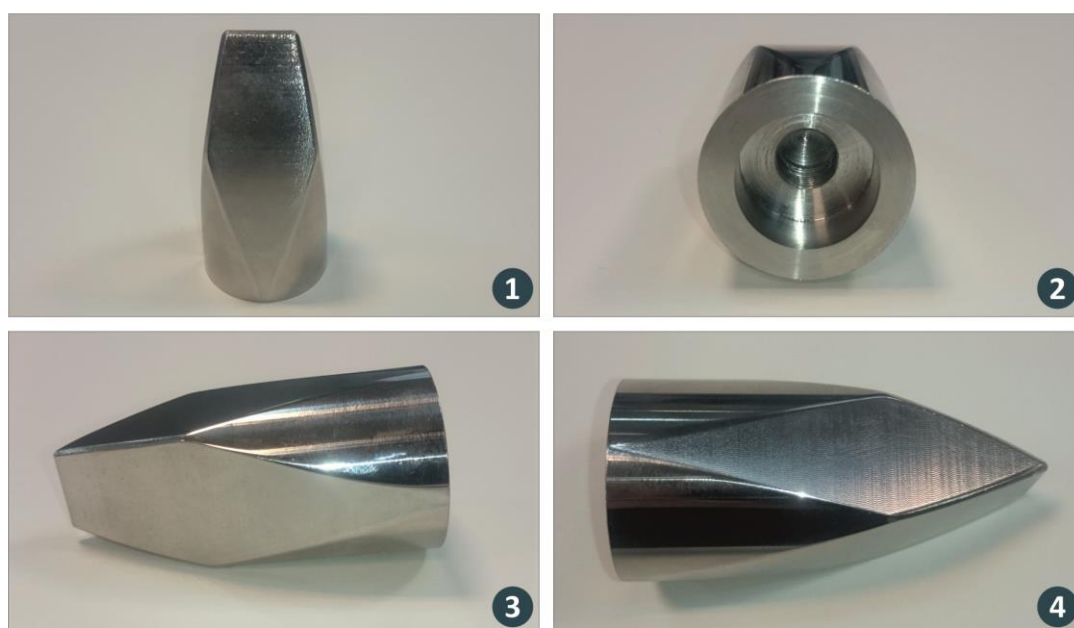


Εικόνα 7.20: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη επίπεδη σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τέλος, μετά το πέρας των κατεργασιών, απεικονίζεται η επίπεδη σμίλη σε διάφορες όψεις στην εικόνα 7.21. Το τεμάχιο αυτό εκτός από την επιπρόσθετη κατεργασία στο Dremel δε χρειάστηκε επιπλέον κατεργασία εκτός από τη στίλβωσή του που ακολουθεί σε επόμενο κεφάλαιο.

Κατασκευή εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης

Η τελική κατασκευασμένη εναλλάξιμη επίπεδη σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



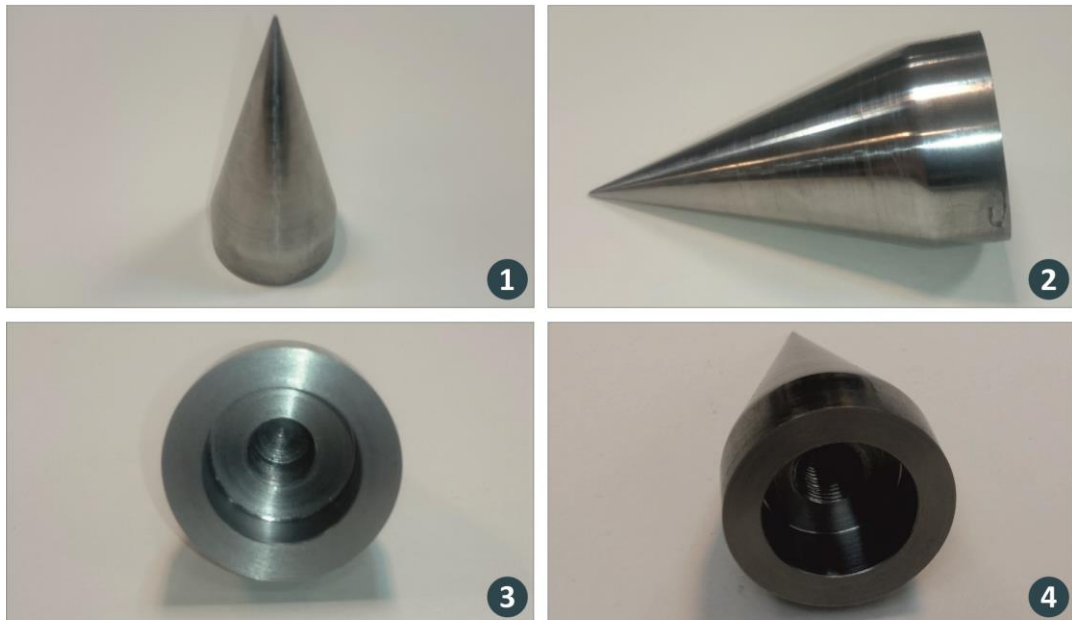
Εικόνα 7.21: Η κατασκευασμένη εναλλάξιμη επίπεδη σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις

7.7 Κατασκευή εναλλάξιμης σμίλης σημείου / διάτρησης

Το τμήμα της μεταλλικής εναλλάξιμης σμίλης σημείου / διάτρησης είναι επίσης ένα τεμάχιο που κατεργάστηκε και κατασκευάστηκε αποκλειστικά σε συμβατική μηχανή τόννευσης. Πρόκειται για τη πιο απλή από τις σμίλες σε γεωμετρία και κατασκευή και συνολικά χρειάστηκε δύο (2) ώρες κατεργασιών στο συμβατικό τόρνο. Στο χρόνο αυτό έγιναν τόσο οι κατεργασίες ξεχονδρίσματος όσο και φινιρίσματος της σμίλης όπως και η διάνοιξη του εσωτερικού σπειρώματος και η δημιουργία των εσωτερικών διαμέτρων.

Το ακατέργαστο τεμάχιο που χρησιμοποιήθηκε προς κατεργασία και σε αυτό το τεμάχιο, είναι άξονας χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582 (CrNiMo 34), διαστάσεων 80 (μήκος άξονα) x 32 (διάμετρος άξονα) mm. Στις σμίλες που ακολουθούν, αλλάζει το υλικό κατεργασίας σε χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582 (CrNiMo 34), για να υπάρχουν κατασκευασμένες σμίλες με χάλυβα μεγαλύτερης ονομαστικής σκληρότητας.

Κατασκευή σμίλης σημείου - διάτρησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης
Η τελική κατασκευασμένη μεταλλική σμίλη σημείου διάτρησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.22: Η κατασκευασμένη εναλλάξιμη σμίλη σημείου - διάτρησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις

Στη παραπάνω εικόνα 7.18, απεικονίζεται η κατασκευασμένη σμίλη, μετά από τις κατεργασίες, σε διάφορες όψεις για καλύτερη κατανόηση του τμήματος αυτού (1), (2), (3), (4). Λόγω της ποιότητας του χάλυβα και του δεσίματος του άξονα κατεργασίας στη συμβατική εργαλειομηχανή, το τεμάχιο αυτό μετά τις κατεργασίες εμφάνιζε αρκετές εξωτερικές – επιφανειακές ατέλειες οι οποίες απαλείφονται σε επόμενο βήμα καθαρισμού και στίλβωσης.



7.8 Κατασκευή εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται ο σχεδιασμός κατασκευής και η κατασκευή της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης. Παρακάτω στην εικόνα 7.19, απεικονίζεται ο πίνακας των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στις κατεργασίες κατασκευής της σμίλης αυτής. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) κοπτικά εργαλεία και τα δύο σφαιρικής απόληξης (ball mill) στις θέσεις 2 και 3 της ομπρέλας του κέντρου κατεργασίας.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

A/A	Ονομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	HSS 2	Ball Mill	2	8	20	2
2.	HSS 10	Ball Mill	10	15	70	3

Εικόνα 7.23: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Παρακάτω στην εικόνα 7.20 απεικονίζεται ο πίνακας με τις κατεργασίες που σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία της οδοντωτής σμίλης. Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν, είναι συνολικά ένδεκα (11), με σταθερό βάθος κοπής στα 0,2 mm, με σταθερή πρόωση και ταχύτητα ατράκτου κοπής στις εννέα από τις ένδεκα (9/11) κατεργασίες και με χρήση της επιλογής αφαίρεσης υλικού. Οι κατεργασίες αυτές, είναι κυρίως κατεργασίες φρεζαρίσματος όγκου, με χρήση δύο (2) μόνο κοπτικών εργαλείων σφαιρικής απόληξης και με σταθερό τύπο σάρωσης, όπως αναγράφεται στο πίνακα της εικόνας 7.20.

Πολλές από τις παρακάτω κατεργασίες, εκτελούνται δύο ή παραπάνω φορές, με περιστροφή του τέταρτου άξονα και του προς κατεργασία τεμαχίου κατά 90 – 180 μοίρες (π.χ. κατεργασία 1 και 2, πανομοιότυπες κατεργασίες με διαφορά περιστροφής τέταρτου άξονα κατά 180 μοίρες).

Κατεργασίες κατασκευής της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

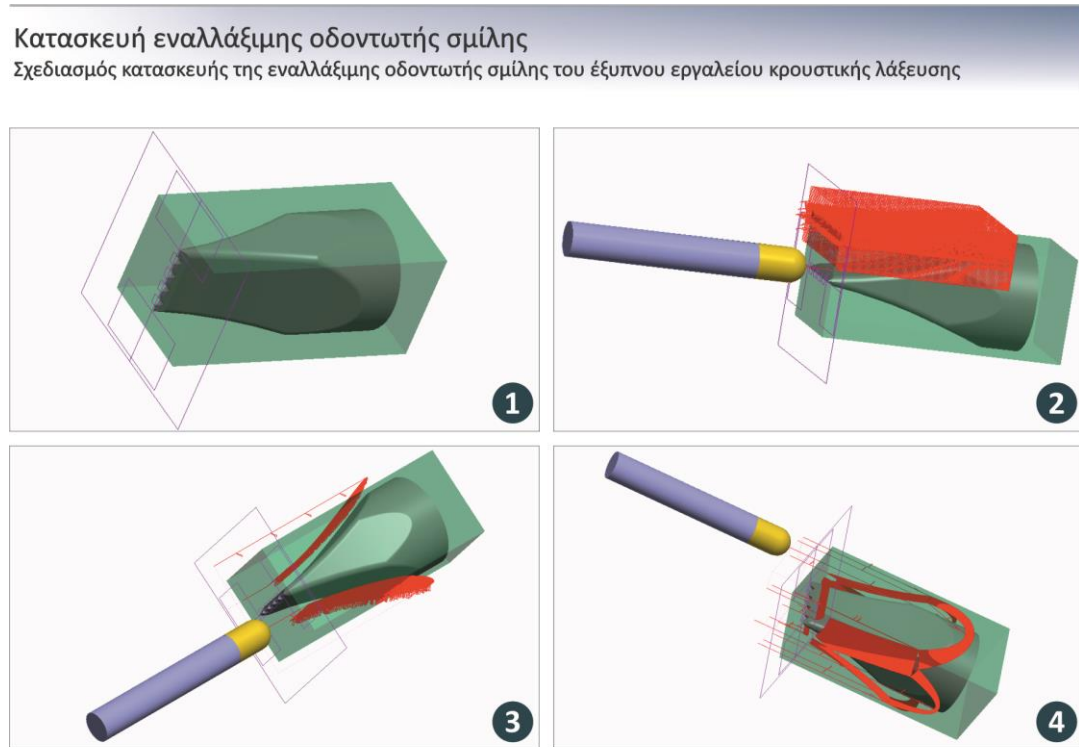
Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
2.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
3.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 3
4.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
5.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 3
6.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
7.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 3
8.	Mill Window	HSS 10	280	1780	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
9.	Mill Window	HSS 10	280	1780	-	0,2	scan type 3
10.	Mill Window	HSS 2	164	6000	Ξεχόνδρισμα	0,1	scan type 3
11.	Mill Surface	HSS 2	164	6000	-	0,1	-

Εικόνα 7.24: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Το ακατέργαστο τμήμα που ορίστηκε στο σχεδιασμό κατεργασιών είναι διαστάσεων 70x 30,06x 30,02 mm χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582 (CrNiMo 34) με σημείο μηδενισμού τη πάνω, έξω, αριστερή πλευρά του ακατέργαστου τεμαχίου όπως αυτό απεικονίζεται στο υπό σχήμα 1 της εικόνας 7.21 που ακολουθεί. Η οδοντωτή σμίλη κατεργάστηκε με ένα δέσιμο στον τέταρτο άξονα και με έναν μόνο μηδενισμό.

Στην παρακάτω εικόνα 7.21 απεικονίζεται το μοντέλο της σμίλης εντός του ακατέργαστου όγκου (1) και οι διαδρομές των κοπτικών εργαλείων μαζί με το εργαλείο, σε επιλεγμένες κατεργασίες φρεζαρίσματος (2), (3), (4) στο περιβάλλον σχεδίασης κατεργασιών του λογισμικού Creo 3.0.



Εικόνα 7.25: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τέλος ακολουθεί η εικόνα 7.22 που απεικονίζει την οδοντωτή σμίλη κατά τη κατασκευή της στην εργαλειομηχανή τεσσάρων (4) αξόνων (1), (2) και τέλος στα υπό σχήματα 3 και 4 της ίδιας εικόνας, την ολοκληρωμένη οδοντωτή σμίλη μετά από όλες τις κατεργασίες και αυτές της συμβατικής τόννευσης και της εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου, εκτός από τις κατεργασίες στίλβωσης.

Η κατασκευή της εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης χρειάστηκε συνολικά σαράντα πέντε λεπτά (45) συμβατικής τόννευσης και έξι (6) ώρες κατεργασιών στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων αξόνων.

Στο τεμάχιο αυτό έγιναν συμβατικά οι κατεργασίες εκχόνδρισης και η δημιουργία της κύριας εξωτερικής διαμέτρου, η κατεργασία δημιουργίας των δύο (2) εσωτερικών διαμέτρων και του εσωτερικού σπειρώματος. Σε αυτό το σημείο, πρέπει να αναφερθεί πως για τη κατασκευή των σπειρωμάτων των επιμέρους τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, χρησιμοποιήθηκαν σετ κολαούζων Volkel M2 x 0.4 mm, HSS (για κατεργασίες ταχυχάλυβα).

Η εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη μετά τις κατεργασίες δε παρουσίασε κάποια ατέλεια στη μορφή ή στην επιφάνειά της αλλά εκδορές επιφανειακές λόγω του δεσίματος κατεργασίας στο συμβατικό τόννο οι οποίες απαλείφονται σε επόμενο βήμα καθαρισμού και στίλβωσης.

Κατασκευή εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης

Η κατεργασία στην εργαλειομηχανή CNC και η τελική κατασκευασμένη εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη



Εικόνα 7.26: Η διαδικασία κατασκευής στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου (1), (2) και η κατασκευασμένη εναλλάξιμη οδοντωτή σμίλη του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε δυο (2) όψεις (3), (4)

7.9 Κατασκευή εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

Ακολουθεί ο αναλυτικός σχεδιασμός κατασκευής και η κατασκευή της εναλλάξιμης, ειδικής σμίλης τύπου frosting. Η σμίλη αυτή, όπως και η σμίλη σημείου / διάτρησης και η οδοντωτή σμίλη, κατασκευάστηκε από χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582 (CrNiMo 34). Παρακάτω στην εικόνα 7.23, απεικονίζεται ο πίνακας των κοπτικών εργαλείων που χρησιμοποιήθηκαν στις κατεργασίες κατασκευής της σμίλης αυτής. Στο σύνολο χρησιμοποιήθηκαν τρία (3) κοπτικά εργαλεία και τα τρία σφαιρικής απόληξης (ball mill) στις θέσεις 2, 3 και 4 της ομπρέλας του κέντρου κατεργασίας.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως το εργαλείο στη θέση 2 (HSS 2) υπάρχει στο πίνακα εργαλείων και στην ομπρέλα του κέντρου κατεργασίας χωρίς να χρησιμοποιείται στη κατασκευή της σμίλης τύπου frosting επειδή η σμίλη αυτή μπορεί να κατασκευαστεί ταυτόχρονα με την οδοντωτή σμίλη που απαιτεί αυτό το κοπτικό εργαλείο, όπως προαναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Κοπτικά εργαλεία κατεργασιών της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

Τα κοπτικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

A/A	Ονομασία Κοπτικού	Τύπος Κοπτικού	Διάμετρος κοπτικού (mm)	Μήκος κοπτικής ακμής (mm)	Μήκος κοπτικού εργαλείου (mm)	Θέση στο κέντρο κατεργασίας
1.	HSS 2	Ball Mill	2	8	20	2
2.	HSS 10	Ball Mill	10	15	70	3
3.	HSS 3	Ball Mill	3	8	20	4

Εικόνα 7.27: Πίνακας κοπτικών εργαλείων κατασκευής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Παρακάτω στην εικόνα 7.24 απεικονίζεται ο πίνακας με τις κατεργασίες που σχεδιάστηκαν και πραγματοποιήθηκαν για τη δημιουργία της ειδικής σμίλης τύπου frosting. Οι κατεργασίες που



σχεδιάστηκαν, είναι συνολικά τέσσερις (4), με σταθερό βάθος κοπής στα 0,2 mm. Οι κατεργασίες αυτές, είναι κυρίως κατεργασίες φρεζαρίσματος επιφάνειας και όγκου, με χρήση δύο (2) μόνο κοπτικών εργαλείων σφαιρικής απόληξης και με σταθερό τύπο σάρωσης, όπως αναγράφεται στο πίνακα της εικόνας 7.24. Όπως φαίνεται στο παρακάτω πίνακα, η πρώτη κατεργασία είναι κατεργασία φρεζαρίσματος όγκου σε επανάληψη βάση προτύπου. Αυτή η κατεργασία επρόκειτο να κατεργαστεί τον ίδιο προσχεδιασμένο όγκο τέσσερις συνολικά φορές ανά 90 μοίρες περιστροφή του τέταρτου άξονα και επομένως του ακατέργαστου τεμαχίου.

Κατεργασίες κατασκευής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

Οι κατεργασίες που σχεδιάστηκαν για τη κατασκευή της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

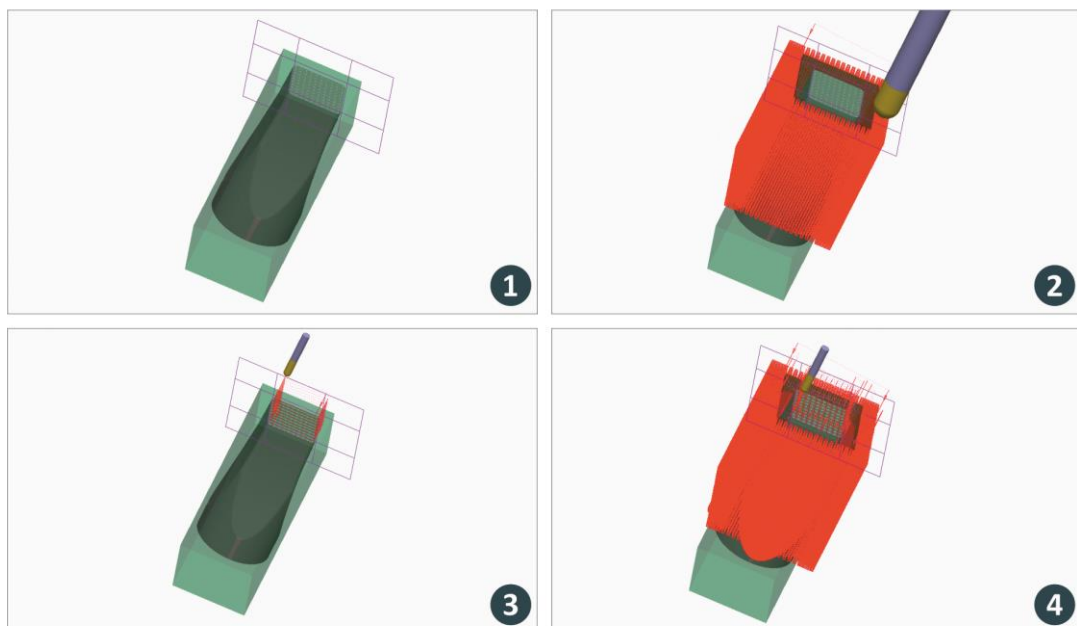
A/A	Τύπος κατεργασίας	Κοπτικό εργαλείο	Πρόωση (mm/min)	Ταχ. ατράκτου κοπής (rpm)	Επιλογή τύπου αφαίρεσης υλικού	Βάθος βήματος κοπής (mm)	Σάρωση κοπτικού
1.	Mill Vol. Pattern	HSS 10	280	6000	Ξεχόνδρισμα	0,2	scan type 3
2.	Mill Surface	HSS 10	280	178	-	0,2	scan type 3
3.	Mill Surface	HSS 3	34	849	-	0,2	scan type 3
4.	Mill Surface	HSS 3	34	849	-	0,2	scan type 3

Εικόνα 7.28: Πίνακας στοιχείων κατεργασιών κοπής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Στην παρακάτω εικόνα 7.25 απεικονίζεται το μοντέλο της σμίλης εντός του ακατέργαστου όγκου (1) και οι διαδρομές των κοπτικών εργαλείων μαζί με το εργαλείο, σε επιλεγμένες κατεργασίες φρεζαρίσματος (2), (3), (4) στο περιβάλλον σχεδίασης κατεργασιών του λογισμικού Creo 3.0. Το ακατέργαστο τεμάχιο που σχεδιάστηκε και χρησιμοποιήθηκε είναι διαστάσεων 80x 29,9x 29,9 mm. Στα υπό σχήματα 2 και 4 της εικόνας 7.25 γίνεται κατανοητή και η κατεργασία φρεζαρίσματος όγκου σε επανάληψη βάση προτύπου, όπου οι διαδρομές του κοπτικού εργαλείου έχουν σαρώσει και κατεργαστεί το ακατέργαστο τεμάχιο και στις τέσσερις πλευρές του.

Κατασκευή εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting

Σχεδιασμός κατασκευής της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



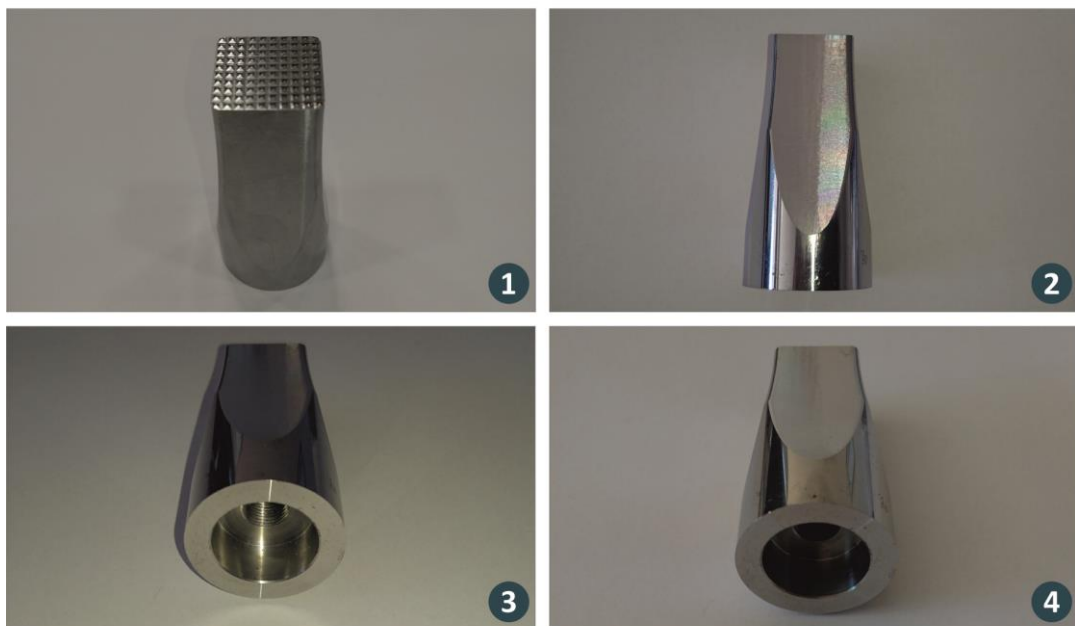
Εικόνα 7.29: Σχεδιασμός κατασκευής, κατεργασιών και διαδρομής των κοπτικών εργαλείων στη προς κατασκευή εναλλάξιμη σμίλη τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Τέλος ακολουθεί η εικόνα 7.26 που απεικονίζει τη σμίλη τύπου frosting ολοκληρωμένη μετά από όλες τις κατεργασίες και αυτές της συμβατικής τόννευσης και της εργαλειομηχανής αριθμητικού ελέγχου, εκτός από τις κατεργασίες στίλβωσης (1), (2), (3), (4). Η κατασκευή της εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting χρειάστηκε συνολικά σαράντα πέντε λεπτά (45) συμβατικής τόννευσης και οκτώ (8) ώρες κατεργασιών στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου τεσσάρων αξόνων.

Κατασκευή σμίλης τύπου frosting

Η τελική κατασκευασμένη εναλλάξιμη σμίλη τύπου frosting



Εικόνα 7.30: Η κατασκευασμένη σμίλη τύπου frosting του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε τέσσερις όψεις



7.10 Στίλβωση τεμαχίων

7.10.1 Υλικά, εργαλεία και διαδικασία στίλβωσης

Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η κατεργασία της στίλβωσης, των επιμέρων τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Η κατεργασία της στίλβωσης και του καθαρισμού των μεταλλικών

Εργασίες στίλβωσης τμημάτων εργαλείου

Οι διαδικασίες στίλβωσης των επιμέρων τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 7.31: Κατεργασία στίλβωσης στην εργαλειομηχανή φρεζαρίσματος αριθμητικού ελέγχου (1) και καθαρισμός των τεμαχίων κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (2)

τεμαχίων, κρίνεται απαραίτητη τόσο για τη χρηστικότητα του εργαλείου όσο και για την αισθητική ανάδειξη της υφής του ανοξειδωτου χάλυβα.

Η στίλβωση των μεταλλικών επιφανειών έγινε εξ ολοκλήρου στην εργαλειομηχανή φρέζας αριθμητικού ελέγχου του εργαστηρίου χειροκίνητα. Για τη λειτουργία της μηχανής ορίσθηκαν οι στροφές της ατράκτου κοπής στις 3.500 και προσαρμόστηκε χειροκίνητα ειδικό εργαλείο στίλβωσης.

Σε κώνο ειδικό για την εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου, προσαρμόστηκε εργαλείο με υφασμάτινη βούρτσα με διάμετρο 80 mm ειδική για πέρασμα μετάλλων / κεραμικών / γυαλιού σε μέγιστες στροφές λειτουργίας τις 4.000.

Σε συνδυασμό με την υφασμάτινη βούρτσα και τις 3.500 στροφές, εφαρμόζεται αρχικά στην επιφάνεια του υφάσματος κατά τη περιστροφή, ειδικό στίλβωτικό σαπούνι Metal Brill μετάλλων σε στερεή μορφή, χωρίς πρόσθεση νερού. Κατά την εφαρμογή του στίλβωτικού σαπουνιού στην υφασμάτινη περιοχή το στερεό σαπούνι λιώνει και καλύπτει όλη τη διάμετρο του εργαλείου αυτού.

Εφόσον έχουν ληφθεί όλα τα απαραίτητα μέτρα ασφαλείας, με χρήση ειδικών γαντιών, ρουχισμού και προστατευτικών γυαλιών και με το εργαλείο να περιστρέφεται στις επιθυμητές στροφές και είναι καλυμμένο ομοιόμορφα με το στίλβωτικό σαπούνι μπορεί να ξεκινήσει η στίλβωση κάθε τμήματος. Κάθε τμήμα ξεχωριστά, εφαρμόζεται σταθερά στην άκρη της περιστρεφόμενης βούρτσας όπως φαίνεται στο σχήμα 1 της εικόνας 7.27 και περιστρέφεται δια χειρός και με το σωστό προσανατολισμό μέχρι όλες οι επιφάνειές του να κατεργαστούν από τη περιστρεφόμενη βούρτσα. Συνολικά κάθε τμήμα του εργαλείου χρειάστηκε τρία (3) συνολικά περάσματα στην εργαλειομηχανή.

Στο σχήμα 2 της εικόνας 7.27 απεικονίζεται η στίλβωμένη επιφάνεια της σμίλης, των καλυμμάτων αλλά και του πίσω τμήματος του εργαλείου, μετά από όλα τα διαδοχικά περάσματα και τον καθαρισμό των τεμαχίων κάτω από μεγεθυντική λάμπα. Μετά από κάθε πέρασμα τεμαχίου από τη βούρτσα, είναι υποχρεωτικός ο καθαρισμός της επιφάνειας με χρήση ειδικού spray που διαλύει το στίλβωτικό σαπούνι και απομακρύνει τη σκόνη από τη κατεργασία της στίλβωσης. Ακολουθούν οι στίλβώσεις των επιμέρους τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης με τα αποτελέσματα, πριν κατά και μετά τη στίλβωση και το καθαρισμό.

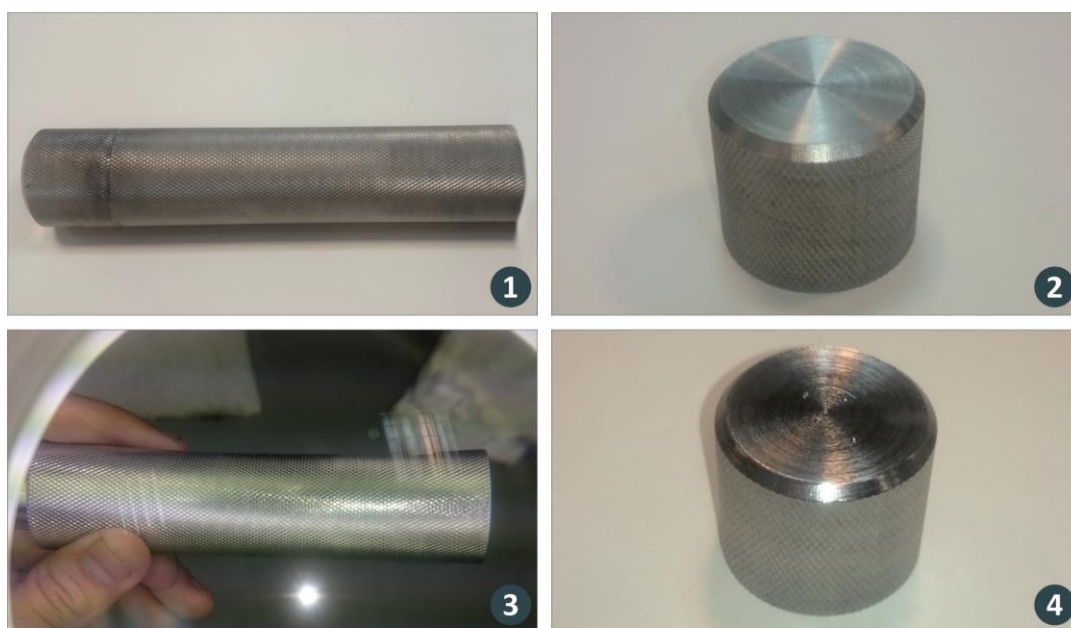


7.10.2 Στίλβωση οπίσθιου τμήματος και εναλλάξιμου δίσκου κρούσης

Το πρώτο τμήμα προς στίλβωση είναι το κύριο μεταλλικό τμήμα του έξυπνου κρουστικού εργαλείου λάξευσης. Ακριβώς επειδή τα τμήματα του εργαλείου στίλβωνονται χειροκίνητα στη εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου, απαιτείται σωστός χειρισμός του κάθε τμήματος. Για το λόγο αυτό μαζί με τη στίλβωση του κύριου μεταλλικού τμήματος, έγινε και η στίλβωση του εναλλάξιμου δίσκου κρούσης. Στην εικόνα 7.28 που ακολουθεί, απεικονίζεται το κύριο μεταλλικό τμήμα και ο δίσκος κρούσης (2), σε συναρμολόγηση, πριν τη στίλβωση (3) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό (3), (4).

Στίλβωση οπίσθιου τμήματος και δίσκου κρούσης

Το οπίσθιο κύριο τμήμα και ο δίσκος κρούσης πριν και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους



Εικόνα 7.32: Το κύριο μεταλλικό τμήμα και ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4)

Τα αναφερόμενα μεταλλικά τμήματα, χρειάστηκαν συνολικά τρία (3) περάσματα με στίλβωτικό σαπούνι στην εργαλειομηχανή αυτομάτου ελέγχου και επομένως δύο (2) καθαρισμούς κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα. Αθροιστικά, ο χρόνος στίλβωσής και καθαρισμού τους είναι πενήντα (50) λεπτά. Ανάλογα με τις ανάγκες και τη μορφολογία του κάθε τεμαχίου ο χρόνος στίλβωσης και καθαρισμού διαφέρει σημαντικά. Επίσης ο χρόνος καθαρισμού ενδέχεται σε πολλές περιπτώσεις δύσκολης επιφάνειας με σύνθετη μορφολογία, να χρειάζεται περισσότερο χρόνο από ότι η κατεργασία στίλβωσης στην εργαλειομηχανή.

Όπως φαίνεται στη παραπάνω εικόνα 7.28, το αποτέλεσμα της στίλβωσης και του καθαρισμού είναι εμφανές. Εκτός από το στίλβωτικό σαπούνι, για το καθαρισμό των τεμαχίων χρησιμοποιήθηκαν επιπλέον καθαριστικά εκτός από το spray de greaser, όπως βενζίνη και acetone για να υγροποιηθεί και να απομακρυνθεί η πάστα από το στίλβωτικό σαπούνι σε κάθε σημείο της επιφάνειας του τεμαχίου. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκαν ειδικά στίλβωτικά πανιά 3M / Wend της Scotch Bride με μεγάλη σκληρότητα για την αποφυγή εναπόθεσης ινών στο προς καθαρισμό τεμάχιο.

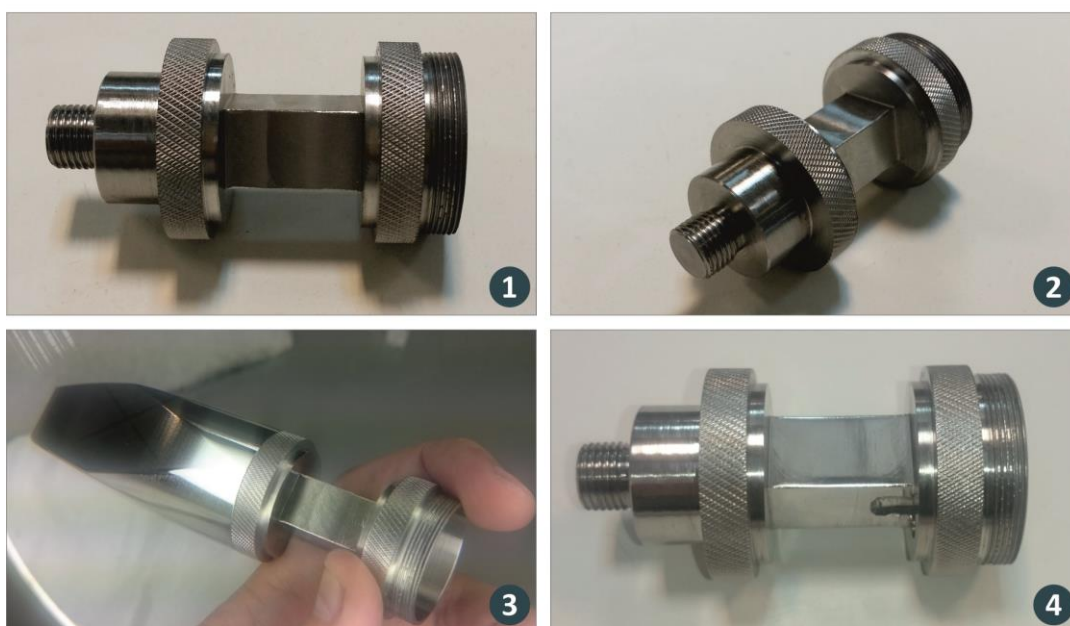


7.10.3 Στίλβωση εμπρόσθιου τμήματος μηκυνσιομέτρων

Συνέχεια έχει το τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων. Ως τεμάχιο, είναι ίσως το πιο πολύπλοκο στο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, σχετικά με το στίλβωμα. Συνολικά χρειάστηκαν τέσσερα (4) περάσματα στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου και τρεις (3) καθαρισμοί ενδιάμεσα. Ο αθροιστικός χρόνος στίλβωσης και καθαρισμού αυτού του τεμαχίου είναι εβδομήντα πέντε (75) λεπτά. Ενώ χρειάστηκε αποκλειστικά και μόνο για το καθάρισμα των επιφανειών σαράντα πέντε (45) λεπτά κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα.

Στίλβωση τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων

Το τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων πριν και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό του



Εικόνα 7.33: Το τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων πριν τη στίλβωση (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό του, κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (3), (4)

Στην παραπάνω εικόνα 7.29, απεικονίζεται το τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων σε δύο όψεις πριν τη στίλβωση (1), (2), το τμήμα μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (3) και το στίλβωμένο τμήμα σε άλλη όψη (4). Η διαφορά στίλβωσης είναι εμφανής και σε αυτό το τμήμα. Μαζί με αυτό το τμήμα, έγινε μια πρώτη στίλβωση και καθαρισμός της επίπεδης σμίλης η οποία φαίνεται στην εικόνα 7.29 στο υπό σχήμα 3.

Το συγκεκριμένο τμήμα εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων απαιτήθηκε λόγω προδιαγραφών να έχει υψηλής ποιότητας στίλβωση ειδικά στον εσωτερικό άξονα τετραγωνικής διατομής. Η επιφάνεια αυτή του τμήματος απαιτήθηκε εκτός από λεία να είναι και επίπεδη για τη σωστή εφαρμογή και συναρμολόγηση των μηκυνσιομέτρων. Βέβαια μετά τη στίλβωση αυτής της επιφάνειας, χρησιμοποιήθηκε χαμηλού βαθμού υαλόχαρτο όπου αλλοίωσε τη ποιότητα της επιφάνειας και τη στίλβωσή της για πρακτικούς λόγους.

Τέλος, στα τμήματα όπως το συγκεκριμένο, όπου διαθέτουν εσωτερικές θυρίδες και επιφάνειες, πρέπει να αναφερθεί πως αυτές δε στίλβώνονται, μονάχα καθαρίζονται. Ο λόγος είναι διότι η στίλβωτική βούρτσα δε μπορεί να εφαρμοστεί, λόγω γεωμετρικής μορφής, στις επιφάνειες αυτές και απαγορεύεται να εφαρμοστεί σε απότομες ακμές και οπές.

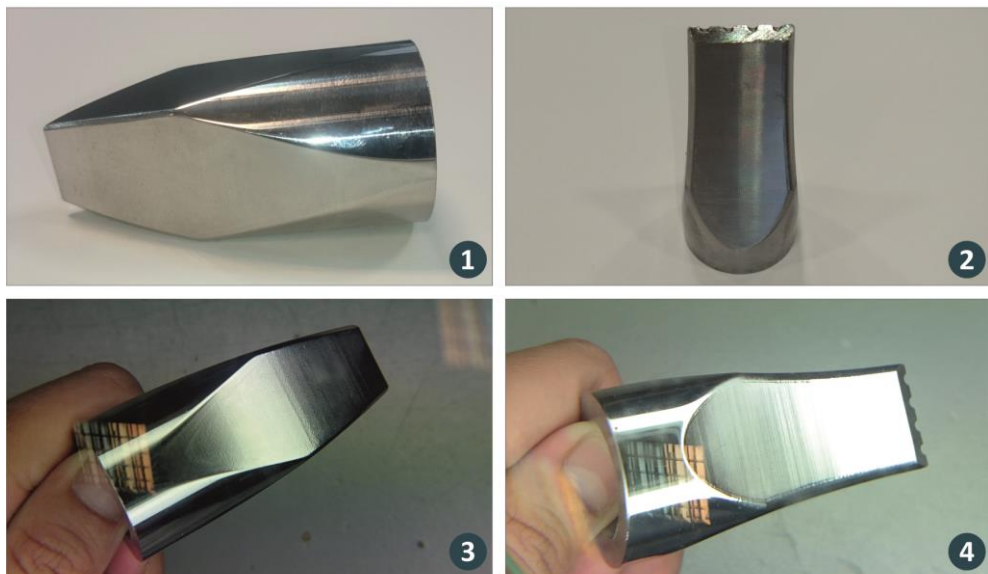
7.10.4 Στίλβωση εναλλάξιμων σμιλών

Τέλος σε αυτό το κεφάλαιο αναλύεται η στίλβωση όλων των εναλλάξιμων σμιλών του εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Πολλές από αυτές τις σμίλες, όπως η επίπεδη σμίλη, προκειμένου να στίλβωθούν και να κατεργαστούν με σταθερή συγκράτηση στην εργαλειομηχανή αριθμητικού ελέγχου συναρμολογήθηκαν στο κύριο μεταλλικό τμήμα του εργαλείου, μαζί με το τμήμα εφαρμογής των μηχανομετρών.

Στην εικόνα 7.30 που ακολουθεί, απεικονίζεται η επίπεδη και οδοντωτή σμίλη πριν τη στίλβωση (1), (2) και οι σμίλες αυτές μετά τον καθαρισμό και τη στίλβωση, κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (3), (4). Το αποτέλεσμα της στίλβωσης και σε αυτά τα τεμάχια είναι ικανοποιητικά εμφανές. Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί πως η επίπεδη σμίλη είναι από κατεργασμένο ανοξείδωτο χάλυβα 304 και οι σμίλες που ακολουθούν είναι από χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582 μη ανοξείδωτο. Αυτό συνεπάγεται πως στις σμίλες που είναι κατεργασμένες από χάλυβα επιβελτίωσης, ακόμα και μετά τη στίλβωση και το καθαρισμό θα εμφανιστεί σε κάποιο σημείο διάβρωση, ανάλογα με το περιβάλλον.

Στίλβωση επίπεδης και οδοντωτής σμίλης

Η επίπεδη και η οδοντωτή σμίλη πριν και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους



Εικόνα 7.34: Η επίπεδη σμίλη και η οδοντωτή σμίλη, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4) κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα

Επιπρόσθετα, σχετικά με την υφή του στίλβωματος, το αποτέλεσμα είναι διαφορετικής ποιότητας σε κάθε τύπο χάλυβα και εξαρτάται αποκλειστικά από τη χημική του σύσταση. Με μια πρώτη ματιά στη παραπάνω εικόνα 7.30 φαίνεται ότι η οδοντωτή σμίλη με το χάλυβα επιβελτίωσης είναι πιο θαμπή (με λιγότερη αντανάκλαστικότητα) από την επίπεδη σμίλη από ανοξείδωτο χάλυβα. Συνολικά, για κάθε σμίλη χρειάστηκαν τρία (3) περάσματα στη στίλβωτική βούρτσα και δύο (2) καθαρισμοί. Ο χρόνος στίλβωσης και καθαρισμού κάθε σμίλης ανέρχεται στα τριάντα (30) λεπτά.

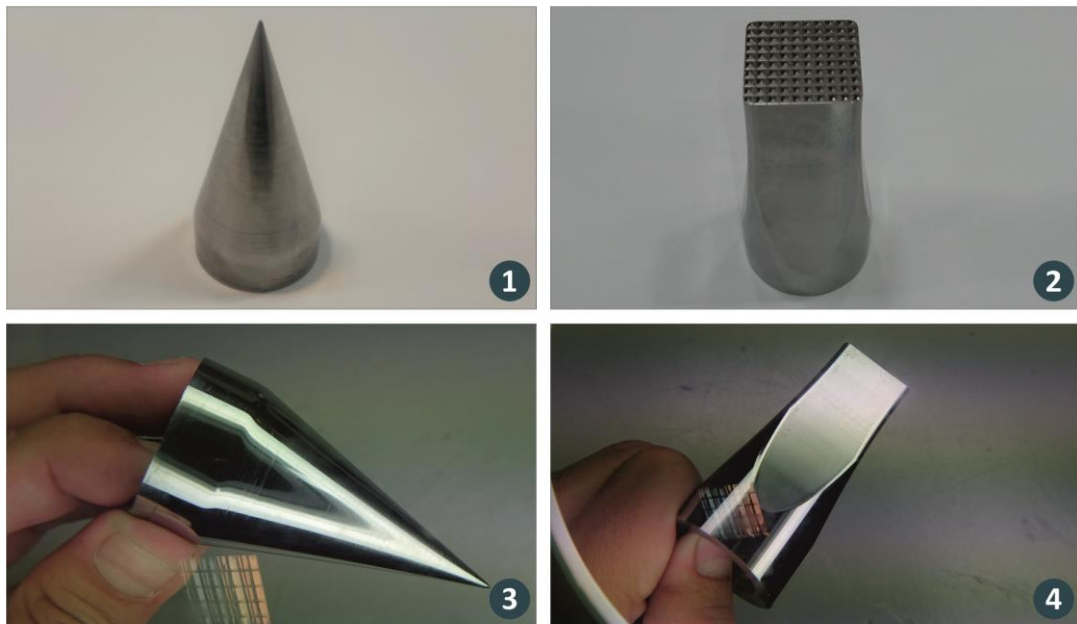
Ακολουθεί αντίστοιχα η στίλβωση και ο καθαρισμός της σμίλης σημείου / διάτρησης και της ειδικής σμίλης τύπου frosting. Και οι δύο (2) σμίλες αυτές είναι κατασκευασμένες από χάλυβα επιβελτίωσης όπως προαναφέρθηκε και αντίστοιχα χρειάστηκαν τρία (3) περάσματα και δυο (2) καθαρισμούς. Ο χρόνος στίλβωσης κάθε σμίλης από της ακόλουθες είναι σαράντα (40) λεπτά περίπου λόγω παρουσίας σκουριάς σε ορισμένες επιφάνειες. Ακολουθεί η εικόνα 7.31 όπου απεικονίζει τη σμίλη σημείου / διάτρησης και στη σμίλη τύπου frosting (1), (2) πριν τη στίλβωση και τις σμίλες αυτές μετά τη



στίλβωση και το καθαρισμό τους (3), (4). Το αποτέλεσμα στις σμίλες αυτές είναι εξίσου εμφανές και ομοιόμορφο. Η στίλβωση των σμιλών αυτών, ολοκληρώνουν το κατασκευαστικό τμήμα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Στίλβωση σμίλης σημείου / διάτρησης και σμίλης τύπου frosting

Η σμίλη σημείου / διάτρησης και η σμίλη τύπου frosting πριν και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους



Εικόνα 7.35: Η σμίλη σημείου / διάτρησης και η σμίλη τύπου frosting, πριν (1), (2) και μετά τη στίλβωση και τον καθαρισμό τους (3), (4) κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα

Συνολικά για όλα τα τεμάχια που προαναφέρθηκαν, χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) στίλβωτικές πάνινες βούρτσες και μια μπάρα ενός (1) κιλού στίλβωτικού σαπουνιού μετάλλων. Επιπλέον χρειάστηκαν τρία (3) spray de greaser και ένα (1) λίτρο καθαρής βενζίνης για τον καθαρισμό από το στίλβωτικό σαπούνι.

7.11 Τεχνικές προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Τεχνικές προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου

Οι τελικές τεχνικές προδιαγραφές του εργαλείου

Τεχνικά χαρακτηριστικά

Βάρος εργαλείου:	1.237 grams
Αυτονομία μπαταρίας:	3 ώρες συνεχούς καταγραφής
Τύπος μπαταρίας:	LiPo, 3.7v, 600mAh, 15C
Διάρκεια ζωής μπαταρίας:	3 χρόνια
Τρόποι διασύνδεσης εργαλείου:	USB, Wifi, bluetooth, micro SD
Τύπος Wifi:	802.11 b/g/n protocol, Wi-Fi Direct (P2P), soft-AP
Τύπος Bluetooth:	Class 1, 2.402~2.480 GHz, 2400-115200bps
Τύπος μνήμης SD:	32 GB UHS-1, 90 MB/Sec
Χρόνος κύκλου προγράμματος:	100 ms
Τύπος μηχανισιομέτρων:	Omega SGD-2/350-XY11
Φωτεινή ένδειξη λειτουργίας, LED:	1x RGB Led

Μετά το στάδιο της κατασκευής και της επιμέρους συναρμολόγησης, συνοψίσθηκαν οι τεχνικές προδιαγραφές του εργαλείου.

Το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης που κατασκευάσθηκε και δοκιμάσθηκε εμπεριέχει τις προδιαγραφές σχεδιασμού όπου αναλύθηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο καθώς και τις τεχνικές προδιαγραφές που αναφέρθηκαν εξίσου σε προηγούμενο κεφάλαιο και συνοψίζονται στο πίνακα της εικόνας 14.1.

Εικόνα 7.36: Τεχνικές προδιαγραφές έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης.



8. Κοστολόγηση σχεδιασμού και κατασκευής έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναλύεται το κόστος κατασκευής του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Η κοστολόγηση χωρίστηκε σε τέσσερα (4) επιμέρους τμήματα, τη κοστολόγηση κοπτικών εργαλείων, τη κοστολόγηση στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων μετάλλων, των στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων λίθων και τέλος τη κοστολόγηση υλικών κατεργασίας. Επιπρόσθετα αναλύεται και η κοστολόγηση χρήσης των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου (CNC).

Στην εικόνα 8.1 που ακολουθεί απεικονίζεται ο πίνακας με τη κοστολόγηση των κοπτικών εργαλείων όπου έπρεπε να αγοραστούν. Το συνολικό κόστος αγοράς των εργαλείων αυτών, ανέρχεται στα 124,20 €, ενώ στη κοστολόγηση αυτή δεν συμπεριλαμβάνονται τα κοπτικά εργαλεία που ήταν ήδη διαθέσιμα στο εργαστήριο.

Κοστολόγηση κοπτικών εργαλείων				
Κοστολόγηση όλων των κοπτικών εργαλείων που απαιτήθηκαν και αγοράστηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης				
A/A	Ονομασία προϊόντος	Μονάδες	Τιμή μονάδας (€)	Τιμή (€)
1.	Dormer Cs11 / Z2R 8mm	1	39,54	39,54
2.	Volkel set M2 HSS κολαούζα	1	14,62	14,62
3.	Κονδύλια καρβιδίου - ραδίου HSS 3mm	2	28,12	56,24
4.	Κονδύλια IZAR δίπτερα 2mm	2	6,90	13,80
Σύνολο				124,20

Εικόνα 8.1: Πίνακας κοστολόγησης κοπτικών εργαλείων που απαιτήθηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Με βάση τον παραπάνω πίνακα της εικόνας 8.1, χρειάστηκε η αγορά έξι (6) κοπτικών εργαλείων επικαλυμμένα ειδικά για χρήση σε κατεργασίες χάλυβα. Στην εικόνα 8.2 που ακολουθεί, απεικονίζεται ο πίνακας με την αντίστοιχη κοστολόγηση των στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων που απαιτήθηκαν για τη στίλβωση των τμημάτων του εργαλείου. Το συνολικό κόστος σε αυτή τη κατηγορία ανέρχεται στα 39,01 €. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως πολλά από τα αναλώσιμα αυτά όπως η στιλβωτική αλοιφή Glanoli και το σαπούνι στίλβωσης Metal Brill, δεν έχουν εξαντληθεί ακόμα καθώς χρησιμοποιήθηκε μόνο ένα μικρό τμήμα τους και βρίσκονται όλα στο διαθέσιμα στο εργαστήριο.

Κοστολόγηση στιλβωτικών για μέταλλα				
Κοστολόγηση όλων των στιλβωτικών για χρήση σε μέταλλα που απαιτήθηκαν και αγοράστηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης				
A/A	Ονομασία προϊόντος	Μονάδες	Τιμή μονάδας (€)	Τιμή (€)
1.	Συρμάτινος ανοξειδωτος τροχός 100mm	1	8,09	8,09
2.	Glanoli αλοιφή 100g	2	3,72	7,44
3.	Πανόβουρτσα Poggi / Sit 80mm	2	4,85	9,70
4.	Scots Bride 3M / Wend	2	1,64	3,28
5.	Spray De grease 65	1	6,00	6,00
6.	Metal Brill σαπούνι στίλβωσης	1	4,50	4,50
Σύνολο				39,01

Εικόνα 8.2: Πίνακας κοστολόγησης στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων για μέταλλα που απαιτήθηκαν για τη στίλβωση και το καθαρισμό των τμημάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Ακολουθεί ο πίνακας κοστολόγησης των στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων για τα λίθινα δοκίμια. Στο σύνολο χρειάστηκε η αγορά στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων αξίας 20,54 €.

**Κοστολόγηση στιλβωτικών για λίθους**

Κοστολόγηση όλων των στιλβωτικών για χρήση σε λίθους που απαιτήθηκαν και αγοράστηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

A/A	Ονομασία προϊόντος	Μονάδες	Τιμή μονάδας (€)	Τιμή (€)
1.	Υαλόχαρτα νερού βαθμών 1000 - 1500 - 3000	21	0,29	6,00
2.	Σαπούνι στίλβωσης μαρμάρου	1	2,84	2,84
3.	Αλοιφή / πάστα στίλβωσης AP 207	1	6,30	6,30
4.	Πανόβουρτσα Roggi 80mm	1	5,40	5,40
Σύνολο				20,54

Εικόνα 8.3: Πίνακας κοστολόγησης στιλβωτικών εργαλείων και προϊόντων για λίθους που απαιτήθηκαν για τη στίλβωση και το καθαρισμό των λίθινων δοκιμίων και τη σκληρομέτρησή τους

Στη συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας της εικόνας 8.4 όπου αναγράφονται τα υλικά κατεργασίας τα οποία ήταν απαραίτητα για τη κατασκευή των τμημάτων του έξυπνου εργαλείου. Σε αυτό το πίνακα συμπεριλαμβάνονται τα υλικά κατεργασίας, ο άξονας ανοξείδωτου χάλυβα 304 καθώς και ο άξονας πλαστικού ertacetal που χρησιμοποιήθηκε για τη κατασκευή του τμήματος των ηλεκτρονικών διατάξεων. Το συνολικό κόστος αυτής της κατηγορίας, ανέρχεται σε 38,83 €. Σε αυτό το σημείο πρέπει να ειπωθεί πως πολλά κοπτικά εργαλεία, υλικά κατεργασίας καθώς και στιλβωτικά μέσα ήταν ήδη διαθέσιμα στο εργαστήριο προς χρήση και δεν αναγράφονται στο παρόν κεφάλαιο.

Κοστολόγηση υλικών κατεργασίας

Κοστολόγηση όλων των υλικών κατεργασίας που απαιτήθηκαν και αγοράστηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

A/A	Ονομασία προϊόντος	Μονάδες	Τιμή μονάδας (€)	Τιμή (€)
1.	Κολιέδες MPC ST / WI 104 - 138 / 12mm	4	2,44	9,76
2.	Ertacetal (POM) 25mm x 64mm	1	5,44	5,44
3.	Άξονας ανοξείδωτου χάλυβα 304 30mm	5,6kg	4,22	23,63
Σύνολο				38,83

Εικόνα 8.4: Πίνακας κοστολόγησης υλικών κατεργασίας που απαιτήθηκαν για τη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Έχοντας αναλύσει το κόστος κάθε κατηγορίας ξεχωριστά, το συνολικό κόστος των αναλώσιμων για τη κατασκευή του εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ανέρχεται στα **222,58 €**. Στο κόστος αυτό εμπεριέχονται όλα τα υλικά, όχι όμως και οι ώρες εργασίας και οι ώρες λειτουργίας των εργαλειομηχανών. Κάθε ώρα λειτουργίας των εργαλειομηχανών αριθμητικού ελέγχου έχει ένα εύρος κόστους από 70 € έως και 120 €. Η τιμή αυτή, ανά ώρα λειτουργίας μηχανής, εμπεριέχει τόσο το κόστος του ηλεκτρικού ρεύματος όσο την ακρίβεια που προσδίδει η μηχανή στις κατεργασίες, την εξειδίκευση του προσωπικού που τη χειρίζεται, το εκάστοτε μηχάνημα, το κόστος των εργαλείων και αναλωσίμων της ίδιας της μηχανής καθώς και τη πολυπλοκότητα του τεμαχίου.

Η συμβατικές μηχανές διαφέρουν στη τιμολόγηση εργασιών καθώς εργασίες σε αυτές χρεώνονται με περίπου 40 € έως 55 € την ώρα και ο λόγος είναι ο προφανής, η ακρίβεια που κυμαίνεται με βάση την εμπειρία του χρήστη. Αν δε ληφθούν υπό όψη τα πρωτότυπα μοντέλα που κατασκευάστηκαν πριν το τελικό εργαλείο τότε οι συνολικές ώρες κατεργασίας για το βιομηχανοποιημένο πρωτότυπο εργαλείο κρουστικής λάξευσης, οι συμβατικές ανέρχονται στις **12 ώρες** και οι ώρες κατεργασίας στα CNC ανέρχονται στις **30 ώρες**. Αν τιμολογηθούν οι ώρες αυτές με τη μέση κοστολόγηση που προαναφέρθηκε τότε οι συμβατικές κατεργασίες στο τόρνο κοστολογούνται επιπλέον με **570 €** και οι κατεργασίες στις εργαλειομηχανές αριθμητικού ελέγχου κοστολογούνται με **2.850 €**. Επομένως το τελικό εργαλείο κρουστικής λάξευσης κόστισε συνολικά για να κατασκευαστεί περίπου στα **3642,58 €**.



Μέρος Β'

Έλεγχος, βελτιστοποίηση, πειράματα, αξιοποίηση αποτελεσμάτων



9. Έλεγχος και βελτιστοποίηση

Μετά το σχεδιασμό και τη κατασκευή του εργαλείου κρουστικής λάξευσης και όλων των τμημάτων που το απαρτίζουν, γίνεται έλεγχος του εργαλείου σαν συναρμολόγηση πλέον ώστε να βρεθούν τυχόν σφάλματα συναρμογής, χρηστικότητας και συνολικού σχεδιασμού του εργαλείου.

9.1 Έλεγχος χρηστικότητας

Στο κεφάλαιο αυτό μελετάται ο έλεγχος χρηστικότητας του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, σε συγκεκριμένους τομείς όπως η υφή, τη μάζα του και οι διαστάσεις. Το εργαλείο κρουστικής λάξευσης περιλαμβάνει ρίκνωση σε όλα του τα τμήματα εκτός της λαξευτικής σμίλης, η οποία μετά από έλεγχο οπτικό σε λάμπα με μεγεθυντικό φακό, έχει αποτυπωθεί με ακρίβεια στον ανοξείδωτο χάλυβα σε βάθος 0,5 mm. Η ρίκνωση δε παρουσιάζει ασυνέχειες και μετά τη στίλβωση, στο χέρι οποιουδήποτε χρήστη προσφέρει ιδανικό κράτημα και σταθερότητα του εργαλείου.

Σχετικά με τη μάζα του εργαλείου, έχει συνολικά βάρος 758 gr (0,758 κιλά) το οποίο περιλαμβάνει και τη συναρμολόγηση των ηλεκτρονικών διατάξεων. Η πλήρης συναρμολόγηση του εργαλείου μετρήθηκε σε ζυγαριά ακριβείας του εργαστηρίου και για κατασκευή τόσο στιβαρή και με επιλεγμένο υλικό κατασκευής τον ανοξείδωτο χάλυβα 304, το βάρος αυτό είναι ιδανικά χαμηλό, δίνοντας την αίσθηση της στιβαρότητας στο τελικό χρήστη χωρίς να προσδίδει μεγάλο φορτίο στο χρήστη δια χειρός.

Τέλος, ως αναφορά τις τελικές διαστάσεις του εργαλείου σε συναρμολόγηση, η διάμετρος συγκράτησης είναι ικανοποιητική για κάθε τύπο και μέγεθος χεριού χρήστη, με τη πρόσδοση ικανότητας σταθερής λαβής του εργαλείου. Σε συνολικό μήκος, είναι όμοιο με σχεδόν όλες τις σμίλες χειρός και πνευματικού σφυριού που υπάρχουν στο εμπόριο και οι διαστάσεις του έξυπνου εργαλείου, σε συνδυασμό με τη μάζα του, δίδουν στο εργαλείο αρκετά ικανοποιητική κατανομή βάρους καθ' όλο το μήκος του εργαλείου.

9.2 Έλεγχος ορθής συναρμολόγησης

Επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος σωστής συναρμολόγησης των επιμέρους τμημάτων που απαρτίζουν το εργαλείο κρουστικής λάξευσης. Όπως προαναφέρθηκε, η πλήρης συναρμολόγηση του εργαλείου περιλαμβάνει έξι (6) τμήματα. Την εναλλάξιμη σμίλη, το εναλλάξιμο τμήμα των μηκυνσιομέτρων, τα καλύμματα του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων, το κύριο μεταλλικό τμήμα, το πλαστικό τμήμα των ηλεκτρονικών διατάξεων και τέλος ο εναλλάξιμος δίσκος κρούσης.

Λόγο της ύπαρξης συναρμολόγησης μέσω σπειρωμάτων τα τμήματα που διαθέτουν τέτοιου είδους σύνδεση, συναρμολογούνται σταθερά στη προδιαγεγραμμένη θέση τους χωρίς πιθανότητα αποσάθρωσης λόγω εφαρμογής κρουστικών φορτίων στη συναρμολόγηση του εργαλείου ή λόγω τριβής από το χρήστη.

Τα καλύμματα όμως του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων, συναρμολογούνται μεταξύ τους με τη σύσφιξη δύο (2) κοχλιών ενώ παράλληλα περικλείουν ελεύθερα τον άξονα του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων. Τα καλύμματα αυτά μένουν σταθερά λόγω των εσωτερικών καλωδίων που αποτρέπουν τη περιστροφή των τμημάτων αυτών και της σύσφιξης των καλυμμάτων στο διάκενο του τμήματος εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων. Σε περίπτωση όμως διαφορετικής κατανομής των καλωδίων του κύριου τμήματος εφαρμογής, τα καλύμματα δεν αποσαθρώνονται αλλά περιστρέφονται κατά +15 μοίρες ως προς τον κεντρικό άξονα του κύριου τμήματος.



9.3 Έλεγχος σκληρότητας ανοξείδωτου χάλυβα 304 και χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582

Στη κατασκευή του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης χρησιμοποιήθηκαν δύο (2) είδη χάλυβα, ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 (για όλα τα κύρια τμήματα του εργαλείου και την επίπεδη σμίλη) και ο χάλυβας επιβελτίωσης 1.6582 για τη κατασκευή των επιπλέον σμιλών λόγω αυξημένης σκληρότητας και μηχανικής συμπεριφοράς. Οι δύο τύποι αυτοί χάλυβα έχουν διαφορετικές ονομαστικές τιμές σκληρότητας βάση προτύπου. Ο ανοξείδωτος χάλυβας 304 έχει ονομαστικό εύρος σκληρότητας κατά Vickers από 120 έως 135 HV. Αντίστοιχα ο χάλυβας επιβελτίωσης 1.6582 έχει ονομαστικό εύρος από 261 έως 268 HV (από μετατροπή Brinell σε Vickers).

Είναι γνωστό πως οι μηχανικές κατεργασίες λόγω ισχυρών θερμοκρασιακών μεταβολών, αυξάνουν την επιφανειακή σκληρότητα του χάλυβα ανάλογα με το ποσοστό άνθρακα που εμπεριέχουν και ανάλογα τις παραμέτρους κάθε κατεργασίας [34]. Ακριβώς για αυτό το λόγο, μετρήθηκε η σκληρότητα κατά Vickers και των δυο τύπων χάλυβα σε κατεργασμένα τεμάχια του έξυπνου εργαλείου ώστε να βρεθεί η πραγματική σκληρότητα των τμημάτων. Τα τμήματα που μετρήθηκαν επιβεβαιώνουν ακριβώς ότι ο κάθε τύπος κατεργασίας αλλάζει την επιφανειακή σκληρότητα του κάθε τμήματος.

Τα τμήματα που εξετάστηκαν είναι ο δίσκος κρούσης από χάλυβα ανοξείδωτο 304, το κύριο τμήμα του έξυπνου εργαλείου, στο τμήμα της ρίκνωσης, από χάλυβα ανοξείδωτο 304 και τέλος ο δίσκος κρούσης που κατασκευάστηκε από χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582. Για το κάθε ένα από τα αναγραφόμενα τμήματα πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) μετρήσεις σκληρότητας και βρέθηκε ο μέσος όρος τους. Φυσικά οι μετρήσεις αυτές δεν έχουν μεγάλες αποκλίσεις μεταξύ τους. Ο δίσκος με χάλυβα ανοξείδωτο 304 έχει σκληρότητα 289,46 HV, το κύριο τμήμα έχει σκληρότητα 339,88 HV στη περιοχή της ρίκνωσης, το ίδιο τμήμα έχει 290,54 HV στη λεία του περιοχή και τέλος το τμήμα από χάλυβα επιβελτίωσης 1.6582, ο δεύτερος δίσκος κρούσης, έχει σκληρότητα 404,14 HV.

Επομένως ο βαθμός σκληρότητας όλων των κατεργασμένων τεμαχίων έχει αυξηθεί και είναι εμφανές πως η αύξηση αυτή ποικίλει ανάλογα τη κατεργασία εκτός από το ποσοστό του άνθρακα. Στα τμήματα του ανοξείδωτου χάλυβα στα λεία κατεργασμένα τμήματα η σκληρότητα αυξήθηκε κατά **122-123%**, στο τμήμα της ρίκνωσής τους, αυξήθηκε η σκληρότητα κατά **161%** (επί της ονομαστικής τιμής) ενώ στο τελικό τμήμα από χάλυβα επιβελτίωσης, η σκληρότητα αυξήθηκε κατά **53%**.

10. Ανάλυση θλίψης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης μέσω πεπερασμένων στοιχείων

Επόμενο βήμα αποτελεί ο έλεγχος διάφορων μηχανικών μεγεθών στο έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης. Ο έλεγχος αυτός είναι εύκολο να γίνει και με ακρίβεια μέσω της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων (Finite Elements Analysis, FEA) στο μοντέλο του εργαλείου όπως αυτό σχεδιάστηκε. Η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων γίνεται μέσω του λογισμικού Creo 3.0 και του υπό προγράμματος του λογισμικού Creo 3.0 Simulate. Συνολικά εκτελούνται δύο (2) αναλύσεις πεπερασμένων στοιχείων στο τρισδιάστατο μοντέλο του εργαλείου, μια που προσομοιώνει τα πειράματα θλίψης του εργαλείου στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού του εργαστηρίου και μια ανάλυση που προσομοιώνει τη μηχανική φόρτιση του εργαλείου στο χέρι ενός χρήστη.

Σκοπός της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων είναι η μελέτη συμπεριφοράς της γεωμετρίας του εργαλείου και ο έλεγχος και η εξαγωγή συγκεκριμένων μηχανικών μεταβλητών όπως η παραμόρφωση και οι αναπτυσσόμενες εσωτερικές τάσεις. Στις αναλύσεις που ακολουθούν εξάγονται και μελετώνται τα ακόλουθα μεγέθη:

- Εσωτερική δομή εργαλείου,
- Ποσοστό επικάλυψης (convergence) των αποτελεσμάτων,
- Παραμόρφωση εργαλείου κατά τους άξονες x, y, z και κατά μέγιστο,
- Κατανομή εσωτερικών τάσεων κατά πρότυπο Von Mises, κατά τους άξονες XX, XY και κατά μέγιστο.

Σημειώνεται πως η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, αποτελεί ένα πολύ δυνατό εργαλείο όπου με σωστές ρυθμίσεις αρχικών παραμέτρων και σωστή μοντελοποίηση του συστήματος, είναι σε θέση να παράγει πολύ αξιόπιστα αποτελέσματα και όχι μόνο τα παραπάνω αναγραφόμενα.

10.1 Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση εργαλείου 300 Newton για έλεγχο της πειραματικής διάταξης

Αυτή η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, είναι στοχευμένη στη προσομοίωση της πειραματικής διαδικασίας θλίψης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού του εργαστηρίου ώστε να γίνει έλεγχος της παραμόρφωσης των μηχανοσυστοιχιών του εργαλείου κατά τη στατική του μηχανική φόρτιση με 300 newton. Τα πρώτα στοιχεία που θα εξαχθούν επομένως, εκτός από τα αποτελέσματα ελέγχου των αποτελεσμάτων, είναι οι μηχανικές παραμορφώσεις.

Το πρώτο βήμα για την εκκίνηση της προαναφερθείσας ανάλυσης είναι ο ορισμός της πάκτωσης του μοντέλου στο κάτω τμήμα του και ο ορισμός του μηχανικού φορτίου στο πίσω μέρος του εργαλείου ίσο με 300 N. Αυτό φαίνεται στη παρακάτω εικόνα 11.1 στο υπό σχήμα 1 όπου η πάκτωση του εργαλείου απεικονίζεται με μπλε χρώμα και το εφαρμοζόμενο φορτίο καθώς και η κατεύθυνσή του απεικονίζεται με πράσινο χρώμα. Το μηχανικό φορτίο εφαρμόζεται θλιπτικά στο μοντέλο του εργαλείου. Στο υπό σχήμα 4 της ίδιας εικόνας απεικονίζονται οι μέγιστες εσωτερικές τάσεις ως strain (4). Επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος της εσωτερικής δομής του μοντέλου του εργαλείου.

Ο έλεγχος αυτός, πραγματοποιείται μέσω της υπό εφαρμογή AutoGem του λογισμικού Creo 3.0, όπου χωρίζει το μοντέλο σε μικρότερες περιοχές με δημιουργία πλέγματος μεγάλης ανάλυσης (mesh) για ακριβέστερη ανάλυση και αποτελέσματα. Αν το μοντέλο περάσει επιτυχώς τον έλεγχο αυτό τότε μπορεί να προχωρήσει η ανάλυση στο επόμενο της στάδιο. Η δημιουργία πλέγματος και σημείων ελέγχου ανάλυσης απεικονίζεται στο υπό σχήμα 2 της εικόνας 11.1 (2) όπου τα σημεία απεικονίζονται με κίτρινο χρώμα ενώ τα επιμέρους τρίγωνα δε φαίνονται λόγω διακριτότητας της εικόνας. Συνολικά με το πέρας του ελέγχου αυτού το μοντέλο χωρίσθηκε σε 101.448 περιοχές και 41.510 σημεία κρίσιμα προς έλεγχο.

Εφόσον ο έλεγχος ήταν επιτυχής, ορίσθηκαν οι παράμετροι της ανάλυσης. Η ανάλυση ορίσθηκε στατική, με μέγιστο τάξεως παραγόμενου πολυωνύμου (p - level) του μοντέλου ίσο με έξι (6), (με έξι (6) συνολικά περάσματα, όπου κάθε ένα αυξάνει το βαθμό του πολυωνύμου) και κριτήριο σύγκλισης και επικάλυψης αποτελεσμάτων (convergence) το 10%. Κάθε εκτέλεση / πέρασμα συγκρίνει τα αποτελέσματά του με την προηγούμενη εκτέλεση μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή σύγκλιση. Στο μοντέλο αυτό επιτυγχάνεται ο μέγιστος βαθμός πολυωνύμου, p – level 6, όπως φαίνεται στο υπό σχήμα 3 της εικόνας 11.1 (3) και όλα τα αποτελέσματα βάση ορίου σύγκλισης είναι ακριβείας.



Εικόνα 10.1: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, το αρχικό μοντέλο με τη πάκτωση και την εφαρμογή φορτίου (1), το μοντέλο υπό έλεγχο δομής AutoGem (2), το μοντέλο μετά την ανάλυση σε έλεγχο επικάλυψης (convergence) (3) και το μοντέλο σε αποτελέσματα μεγίστων τάσεων (4)

Για τον έλεγχο των μηχανοσιόμετρων και της επιμέρους παραμόρφωσης θα εξετασθούν αρχικά τα δεδομένα από τα ίδια τα μηχανοσιόμετρα που έχουν εφαρμοστεί στο εργαλείο κρουστικής λάξευσης. Προκειμένου να υπάρχει μια σύγκριση των αποτελεσμάτων, έχει υπολογισθεί από πειραματικές διαδικασίες η παραμόρφωση σε mm των μηχανοσιόμετρων. Το μέγεθος της παραμόρφωσης αυτό έχει υπολογισθεί από μαθηματικούς τύπους που μετασχηματίζουν την ελαστικότητα των μηχανοσιόμετρων της εφαρμογής, τη τάση λειτουργίας τους (όπου παραμένει σταθερή) καθώς και τη τάση που εξάγεται (η οποία είναι μεταβαλλόμενη ανάλογα τη παραμόρφωση των μηχανοσιόμετρων), σε παραμόρφωση mm. Οι τύποι αυτοί είναι οι ακόλουθοι:

$$1. \quad \varepsilon = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{\Delta R}{R/k},$$

όπου Δλ: η παραμόρφωση ζητούμενο, k: gauge factor, 2.13 (βάση κατασκευαστή) και λ: ενεργό μήκος μηχανοσιόμετρου, 2 mm (βάση κατασκευαστή).

$$2. \quad \varepsilon = -\frac{V_0}{V_{ex} * k},$$

όπου V0: η τάση εξόδου όπου είναι γνωστή μέσω ενίσχυσης και καταγράφεται και Vex: η σταθερή τάση τροφοδοσίας της γέφυρας των μηχανοσιόμετρων ίση με 4,95 Volt.



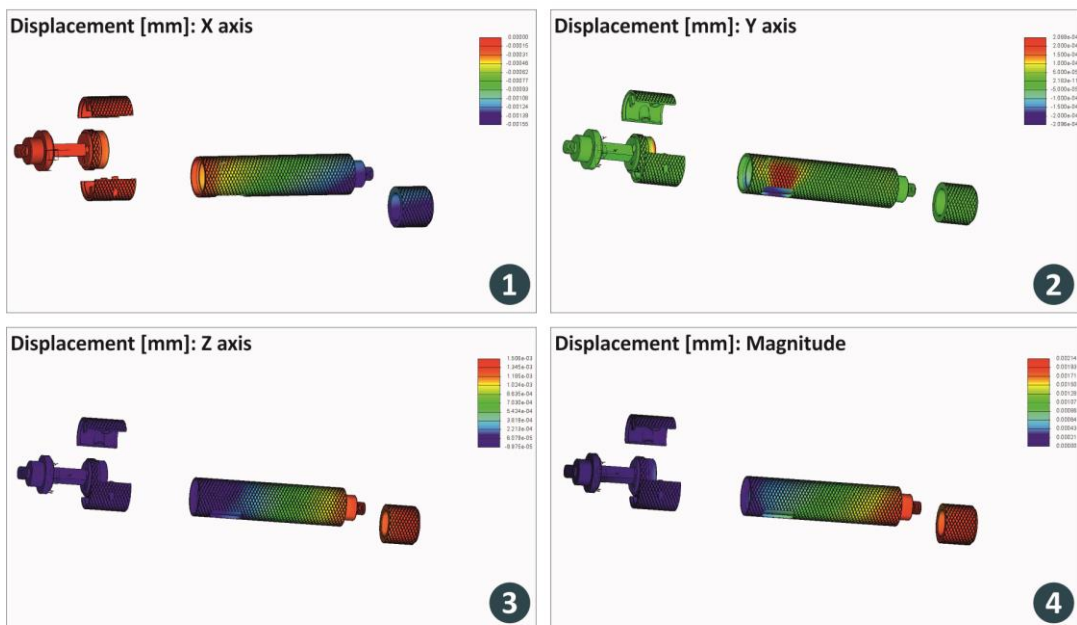
Με την εφαρμογή των τύπων αυτών έχοντας δεδομένα καταγραφής τη τάση εξόδου των μηκυνσιομέτρων σε παραμόρφωση μηχανικού φορτίου 300 N σε προφίλ θλίψης, το αποτέλεσμα των υπολογισμών είναι,

$$\Delta l = 0.0001498 \text{ mm}$$

Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και μένει προς επαλήθευση στην ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, διότι ο ανοξείδωτος χάλυβας για τόσο μικρό μηχανικό φορτίο της τάξης των 300 N δε μπορεί να εμφανίσει παραμόρφωση μεγαλύτερη των 0.005 mm. Η ακρίβεια του παραπάνω αποτελέσματος εξαρτάται άμεσα από τη μέτρηση της τάσης εξόδου και την ακρίβειά της λόγω ενίσχυσης και θορύβου. Εκτιμάται, πως στο μέγεθος αυτό υπάρχει ένα σφάλμα λόγω θορύβου και σταθεροποίησης ίσο με +5%.

Ακολουθεί η εικόνα 11.2 όπου περιλαμβάνει όλα τα αποτελέσματα με χρωματικό κώδικα των παραμορφώσεων του εργαλείου. Στο υπό σχήμα 1 απεικονίζονται οι παραμορφώσεις ως προς τον άξονα X του εργαλείου και εφαρμογής των μηκυνσιομέτρων (1). Με βάση το χρωματικό κώδικα και τα αποτελέσματα της συγκεκριμένης περιοχής, η παραμόρφωση στο τμήμα των μηκυνσιομέτρων είναι ίση με **0,000152 mm**. Επομένως επαληθεύονται οι παραμορφώσεις των μηκυνσιομέτρων με τους παραπάνω υπολογισμούς. Ο χρωματικός κώδικας του υπό σχήματος 1 ξεκινάει στο κόκκινο χρώμα με τιμή 0,000000 και μειώνεται με βήμα 0,00015 μέχρι τη μέγιστη παραμόρφωση στο μπλε χρώμα ίση με 0,00155 mm.

Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση πειραματικής διάταξης
Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, παραμόρφωσης, για τον έλεγχο παραμόρφωσης των μηκυνσιομέτρων



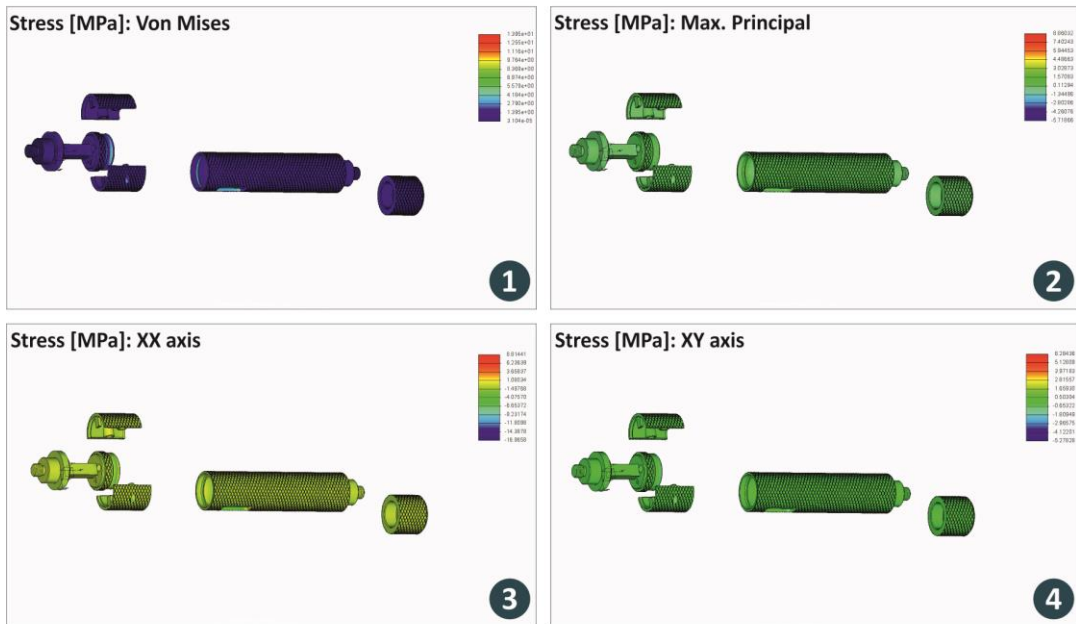
Εικόνα 10.2: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, αποτελέσματα παραμορφώσεων σε mm κατά τον άξονα X (1), κατά τον άξονα Y (2), κατά τον άξονα Z (3) και κατά τη μέγιστη κατανομή (4)

Στα υπό σχήματα, 2, 3, 4 της ίδιας εικόνας απεικονίζονται οι παραμορφώσεις αλλά ως προς διαφορετικούς άξονες. Αρχικά ως προς τον άξονα Y με παραμορφώσεις έντονες κοντά στη θυρίδα (2), τον άξονα Z όπου οι παραμορφώσεις είναι μαζεμένες στο πίσω τμήμα του εργαλείου που δέχεται τη φόρτιση (3) και κατά μέγιστη κατανομή (4). Στο σενάριο των παραμορφώσεων κατά Z άξονα και κατά



μέγιστη τιμή, οι παραμορφώσεις οι μέγιστες εμφανίζονται στις περιοχές που μετατοπίζονται το περισσότερο ως αναφορά το κύριο άξονα X του εργαλείου. Για αυτό το λόγο σε αυτά τα δυο σενάρια φαίνονται παραμορφώσεις να εφαρμόζονται στο δίσκο κρούσης.

Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση πειραματικής διάταξης Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, κατανομής μηχανικών τάσεων



Εικόνα 10.3: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων, αποτελέσματα κατανομής τάσεων, κατά το πρότυπο von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τον άξονα XY (4).

Ακολουθούν οι κατανομές τάσεων όπως αυτές φαίνονται στην εικόνα 11.3, κατά το πρότυπο Von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τον άξονα XY (4). Κατά το πρότυπο Von Mises οι μέγιστες τάσεις που εμφανίζονται στο εργαλείο είναι ίσες με **5,23 MPa** και εμφανίζονται στις ενώσεις των σπειρωμάτων και στις επιφάνειες της θυρίδας στο κύριο μεταλλικό τμήμα. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και ορθό διότι έγινε επαλήθευση θεωρητική με βάση τους παρακάτω τύπους:

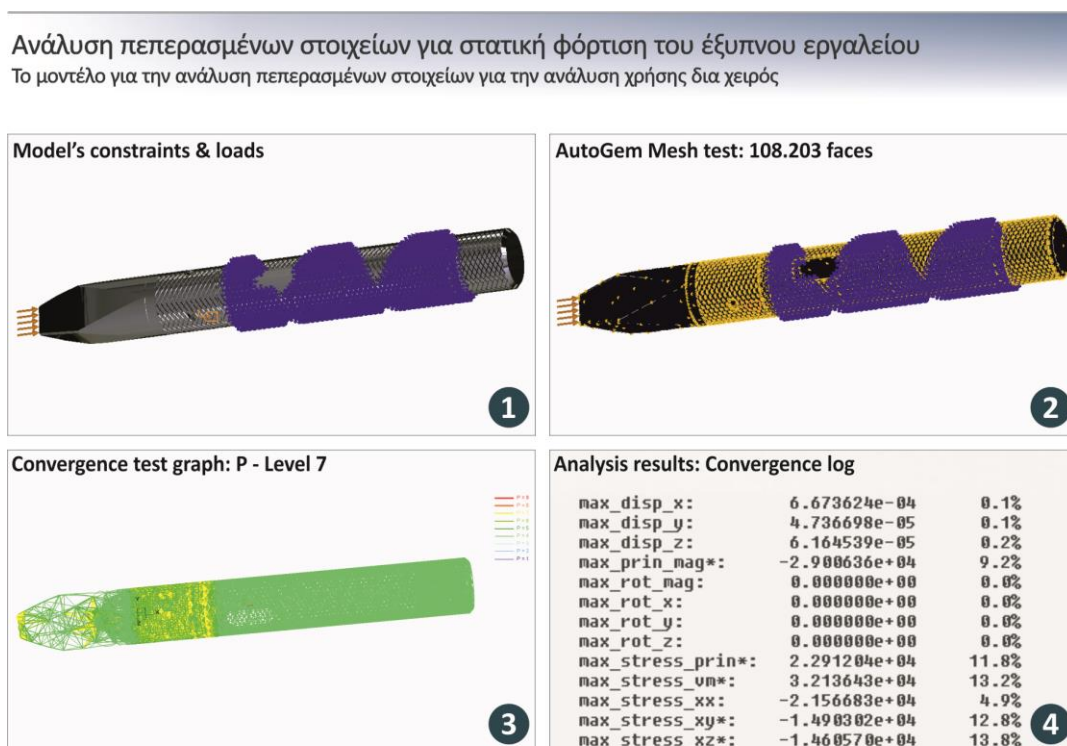
- $\sigma = \varepsilon * E = F/A$
όπου E: μέτρο ελαστικότητας ανοξειδωτου χάλυβα ίσο με 4,95 N/m², A: η συνολική διατομή του κύριου μεταλλικού τμήματος και F: η δύναμη μηχανικής φόρτισης ίση με 300 N.
- $\Delta l = \frac{F * \lambda}{A * \varepsilon}$
όπου λ: το μήκος του κύριου τμήματος ίσο με 180 mm.
- $A = \left(\frac{\pi * D2^2}{4} \right) - \left(\frac{\pi * D1^2}{4} \right)$
όπου D2: η εξωτερική διάμετρος του τμήματος ίση με 30 mm και D1: η εσωτερική διάμετρος ίση με 25,5 mm.

Το αποτέλεσμα εφαρμογής των παραπάνω τύπων είναι ίσο με **$\sigma=5,05$ MPa**. Επομένως τα αποτελέσματα της ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων είναι λογικά και ορθά. Τα αποτελέσματα των υπολοίπων γραφημάτων είναι συμπληρωματικά καθώς επαληθεύουν πως η κατανομή των τάσεων διαφέρει σε κάθε συνδυασμό αξόνων λόγω της γεωμετρικής μορφής και των οπών του μοντέλου, ακόμα και αν το φορτίο ασκείται παράλληλα σε έναν και μόνο άξονα τον X του εργαλείου.

10.2 Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση εργαλείου 100 Newton για έλεγχο χειροκίνητης χρήσης

Ακολουθεί η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για τη μελέτη στατικής μηχανικής φόρτισης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε σενάριο χειρωνακτικής πάκτωσης. Η ανάλυση αυτή στοχεύει κυρίως στην έρευνα των εσωτερικών τάσεων που εμφανίζονται και στη κατανομή τους. Η πάκτωση που έχει εισαχθεί στο μοντέλο είναι σχεδιασμένη ώστε να προσομοιώνει τη πάκτωση του χεριού όταν το εργαλείο το κρατάει ένας χρήστης. Τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται παρακάτω είναι κυρίως ερευνητικά και χρειάζεται μηχανολογική κρίση στην ερμηνεία πολλών από αυτών.

Στη παρακάτω εικόνα 11.4 που ακολουθεί απεικονίζεται το μοντέλο προς ανάλυση, με το μηχανικό φορτίο των 300 Newton εφαρμοσμένο στην ακμή της σμίλης (συμβολίζεται με πορτοκαλί χρώμα) μαζί με τη πάκτωση στο κύριο σώμα (συμβολίζεται με μοβ χρώμα) (1), το μοντέλο σε ανάλυση ελέγχου δομής AutoGem (2), το μοντέλο βάση πολυωνύμων ανάλυσης (3) και μερικά από τα αποτελέσματα σύγκλισης της ανάλυσης του μοντέλου συμπεριλαμβανομένων των τάσεων και των μετατοπίσεων (4).



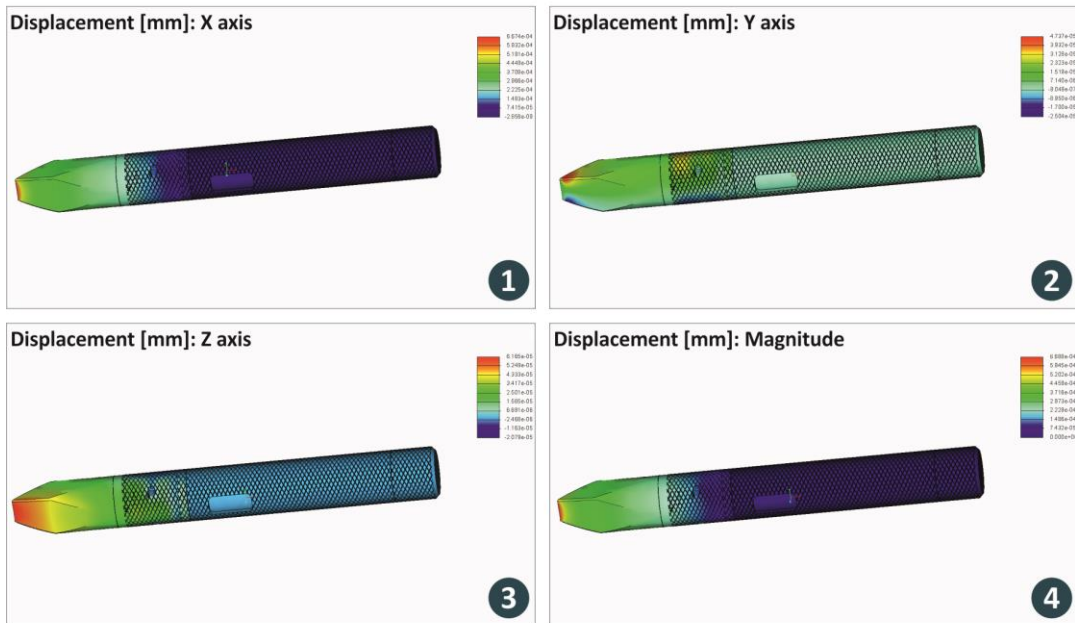
Εικόνα 10.4: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, το μοντέλο με τη πάκτωση και την εφαρμογή φορτίου (1), το μοντέλο υπό έλεγχο δομής AutoGem (2), το μοντέλο μετά την ανάλυση σε έλεγχο επικάλυψης (convergence) (3) και μερικά από τα αποτελέσματα σύγκλισης αποτελεσμάτων (4)

Σε αυτό το τμήμα αυτό που πρέπει να αναλυθεί είναι πως οι παράμετροι της ανάλυσης διαφοροποιούνται από τη προηγούμενη ανάλυση. Η ύπαρξη τέτοιου είδους πάκτωσης επίσης αυξάνει τη πολυπλοκότητα της ανάλυσης. Η ανάλυση ορίσθηκε στατική, με μέγιστο τάξεως παραγόμενου πολυωνύμου (p - level) του μοντέλου ίσο με έξι (7), (με έξι (7) συνολικά περάσματα, όπου κάθε ένα αυξάνει το βαθμό του πολυωνύμου) και κριτήριο σύγκλισης και επικάλυψης αποτελεσμάτων (convergence) το 9%.

Συνολικά με το πέρας του ελέγχου AutoGem, το μοντέλο χωρίσθηκε σε 108.203 περιοχές και 44.669 σημεία κρίσιμα προς έλεγχο. Μετά το πέρας της ανάλυσης, στο μοντέλο αυτό επιτυγχάνεται ο μέγιστος βαθμός πολυωνύμου, p - level 7 αλλά ένα μέρος των αποτελεσμάτων, των τάσεων που

αναπτύσσονται είναι εκτός ορίου σύγκλισης. Αυτό φαίνεται από το υπό σχήμα 4 της εικόνας 11.4 όπου εάν και το όριο σύγκλισης έχει οριστεί στο 9% τα αποτελέσματα των μεγίστων τάσεων και τάσεων Von Misses είναι πάνω από 11%. Αυτό σημαίνει πως το πολυώλυμο έβδομης (7^{ης}) τάξης δε μπορεί να προσεγγίσει με τέλεια ακρίβεια το μοντέλο αυτό. Επομένως τα αποτελέσματα στη συγκεκριμένη ανάλυση, όσον αφορά τις τάσεις θα εμπεριέχουν ένα σφάλμα περίπου 4%.

Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση του έξυπνου εργαλείου Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, παραμόρφωσης, για την ανάλυση χρήσης δια χειρός



Εικόνα 10.5: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, αποτελέσματα παραμορφώσεων σε mm κατά τον άξονα X (1), κατά τον άξονα Y (2), κατά τον άξονα Z (3) και κατά τη μέγιστη κατανομή (4)

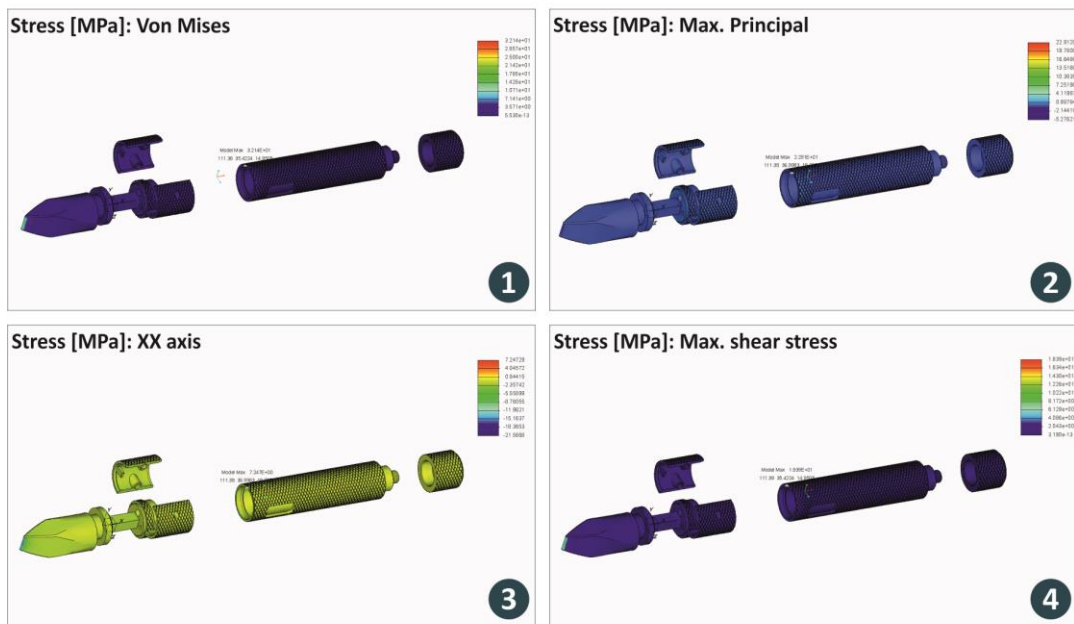
Στη παραπάνω εικόνα 11.5, απεικονίζονται οι παραμορφώσεις του μοντέλου ως προς κάθε άξονα εφαρμογής. Κατά τον άξονα X (1), κατά τον άξονα Y (2), κατά τον άξονα Z (3) και κατά τη μέγιστη κατανομή (4). Κατά τον άξονα X η μέγιστη μετατόπιση είναι 0,0006688 mm, στον άξονα Y η μέγιστη μετατόπιση είναι 0,0000473 mm Και τέλος στον άξονα Z είναι 0,00006165 mm.

Και σε αυτό το σημείο είναι εμφανές πως οι κατανομές των παραμορφώσεων έχουν αλλάξει σε σχέση με τη προηγούμενη ανάλυση και ποσοτικά αλλά και ποιοτικά ως προς τη κατανομή τους. Σε κάθε άξονα οι παραμορφώσεις διαφέρουν αλλά το σημαντικό εξαγόμενο δεδομένο είναι πως η μέγιστη παραμόρφωση εμφανίζεται στον άξονα X του εργαλείου, στην ακμή της σμίλης και όχι στα υπόλοιπα τμήματα του εργαλείου.

Στη συνέχεια ακολουθούν τα αποτελέσματα των εσωτερικών μηχανικών τάσεων. Στην εικόνα 11.6 που ακολουθεί, απεικονίζονται τα αποτελέσματα κατανομής τάσεων, κατά το πρότυπο von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τις μέγιστες διατμητικές τάσεις (4). Αρχικά, κατά το πρότυπο Von Mises, φαίνεται η μέγιστη διατμητική τάση να είναι ίση με 32,14 MPa και να εμφανίζεται στην ένωση του κύριου μεταλλικού τμήματος με το τμήμα εφαρμογής των μηχανοσυστημάτων. Οι επόμενες υψηλές τάσεις κατά το πρότυπο αυτό, εμφανίζονται στη σμίλη του εργαλείου και πιο συγκεκριμένα στη κοπτική ακμή του.

Στον άξονα XX, η μέγιστη θετική τάση βρίσκεται στο ίδιο σημείο που προαναφέρθηκε, στην ένωση των τεμαχίων, με τιμή 7,24 MPa, ενώ η μέγιστη αρνητική τάση βρίσκεται στη σμίλη του εργαλείου με τιμή -21,56 MPa. Το πρόσημο, αρνητικό ή θετικό, προσδιορίζει μόνο τη κατεύθυνση της τάσης. Κατά το πρότυπο τον μέγιστων τάσεων η μέγιστη τάση είναι ίση με 22,91 MPa και βρίσκεται στο ίδιο ακριβώς κρίσιμο σημείο συναρμολόγησης. Αντίστοιχα και η μέγιστη διατμητική τάση εμφανίζεται στο ίδιο σημείο με τιμή 18,39 MPa.

Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για στατική φόρτιση του έξυπνου εργαλείου
Αποτελέσματα ανάλυσης πεπερασμένων στοιχείων, κατανομή μηχανικών τάσεων, για την ανάλυση χρήσης δια χειρός



Εικόνα 10.6: Ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων για το μοντέλο χειρός, αποτελέσματα κατανομής τάσεων, κατά το πρότυπο von Mises (1), κατά τη μέγιστη κατανομή (2), κατά τον άξονα XX (3) και κατά τις μέγιστες διατμητικές τάσεις (4)

Σε αυτό το σημείο πρέπει να γίνει υπενθύμιση για το σφάλμα λόγω ορίου σύγκλισης και τάξης πολυωνύμου. Στα αποτελέσματα των τάσεων που αναφέρθηκαν πιο πάνω, το ίδιο το λογισμικό στο αρχείο με τα αποτελέσματά του, αναγράφει πως εκτός από αριθμητικό σφάλμα υπάρχει περίπτωση να εμφανιστούν ιδιομορφίες. Το σημείο που εμφανίζονται οι μέγιστες τάσεις, είναι πολύ πιθανό να είναι μια τέτοια ιδιομορφία καθώς οι γύρω περιοχές έχουν σταθερά χαμηλή κατανομή τάσεων. Το αριθμητικό σφάλμα είναι εμφανές επίσης από τα παραπάνω αποτελέσματα αλλά σχετικά μικρό, της τάξης των ± 2 MPa.

Με τις αναλύσεις αυτές των πεπερασμένων στοιχείων είναι γνωστά όλα τα μηχανικά στοιχεία αντοχής του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε κάθε πιθανό σενάριο φόρτισης. Το λογισμικό πεπερασμένων αναλύσεων δε προσφέρει μόνο εργαλεία για στατικές αναλύσεις αλλά και για δυναμικές και αναλύσεις κρούσεων με συγκεκριμένη συχνότητα. Η προσθήκη και η δημιουργία τέτοιων τύπων ανάλυσης απαιτούν μελέτη και αρκετή εξειδίκευση ώστε να μπορούν να ερμηνευτούν με σωστό τρόπο τα εξαγόμενα αποτελέσματα. Στο μοντέλο του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης δημιουργήθηκαν μόνο στατικές αναλύσεις όπως η συγκεκριμένη του κεφαλαίου, με στόχο την εύρεση και επαλήθευση γνωστών ή ήδη υπολογισμένων θεωρητικών μεγεθών.

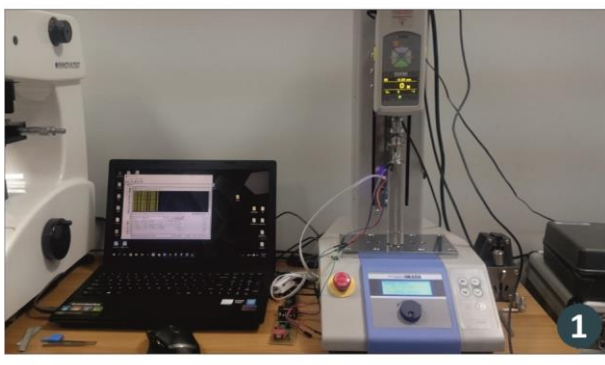


11. Διεξαγωγή πειραμάτων επαλήθευσης ορθής λειτουργίας έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Επόμενο βήμα μετά την ολοκλήρωση τη συναρμολόγησης του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι ο έλεγχος ορθής λειτουργίας του. Στα κεφάλαια που ακολουθούν αναλύεται η συμπεριφορά των ηλεκτρικών μηχανομετρών και των εξαγόμενων δεδομένων τους σε πειράματα

Η μηχανή θλίψης - εφελκυσμού

Η μηχανή θλίψης - εφελκυσμού που χρησιμοποιήθηκε για όλα τα πειράματα του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 11.1: Η μηχανή θλίψης εφελκυσμού Imada FSA – K2 του εργαστηρίου.

στατικής φόρτισης σε σενάριο θλίψης, στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού του εργαστηρίου.

Σκοπός των πειραμάτων αυτών είναι ο έλεγχος λειτουργίας των μηχανομετρών και των επιμέρους ηλεκτρονικών διατάξεων σε διαφορετικά σενάρια θλιπτικών μηχανικών φορτίσεων.

Στα κεφάλαια αυτά απεικονίζονται τα πιο ενδεικτικά αποτελέσματα από μια πολύ μεγάλη σειρά πειραμάτων και αποτελεσμάτων. Τα παραπάνω πειράματα, πραγματοποιήθηκαν στη μηχανή θλίψης εφελκυσμού Imada FSA – K2, με δυνατότητα μηχανικής φόρτισης της τάξης των 2500 Newton (μέγιστη τιμή).

Η μηχανή θλίψης – εφελκυσμού αυτή, απεικονίζεται στην εικόνα 10.1 και μπορεί να ρυθμιστεί για μια σειρά από εφαρμογές που απαιτούν τόσο μέτρηση δυνάμεων και μηχανικών φορτίων όσο και μετρήσεις μετατόπισης. Το μοντέλο αυτό, περιλαμβάνει μετρητή απόστασης υψηλής ταχύτητας και ακρίβειας και σε συνδυασμό με το σύστημα των μηχανομετρών μπορεί η μηχανή να εξαγάγει μέχρι και 2.000 δεδομένα το δευτερόλεπτο. Με την επιλογή της μέτρησης της μετατόπισης, ο μετρητής είναι σχεδιασμένος να καταγράφει τη μετατόπιση μόνο εφόσον έχει επιτευχθεί ένα συγκεκριμένο κατώφλι μηχανικού φορτίου.

Ο ελεγκτής της μηχανής, διαθέτει μια σειρά από διαφορετικές παραμέτρους ρύθμισης της κάθε δοκιμής. Ορισμένες παράμετροι από αυτές είναι η ταχύτητα έναρξης, δοκιμής, ταχύτητα επιστροφής, ορισμός ενδιάμεσων ταχυτήτων, χρόνος εφαρμογής των μηχανικών φορτίων καθώς και ορισμός κύκλων μηχανικής φόρτισης. Το μοντέλο της μηχανής αυτής διαθέτει επίσης τρεις (3) τρόπους λειτουργίας. Τη χειροκίνητη λειτουργία, τη λειτουργία προσέγγισης και τη λειτουργία των κύκλων φόρτισης.

Η χειροκίνητη λειτουργία της μηχανής, επιτρέπει το χειροκίνητο έλεγχο της μεταφοράς της τράπεζας σε μια καθορισμένη ταχύτητα από το χρήστη. Στη λειτουργία προσέγγισης η μηχανή επιτρέπει στο χρήστη τη μετακίνηση της τράπεζας με πολύ μικρά διακριτά βήματα. Η λειτουργία του κύκλου φόρτισης επιτρέπει στον χρήστη να ρυθμίσει και να εκκινήσει δοκιμές με καθορισμένους κύκλους μηχανικών φορτίσεων. Τέλος, η μηχανή περιλαμβάνει σύστημα αυτόματης εμπλοκής των κινητήρων της και με το πάτημα διακόπτη έκτακτης ανάγκης αλλά και αν η μηχανή βρει υπέρβαση στο μηχανικό φορτίο που ασκεί, άνω των 2.500 Newton.

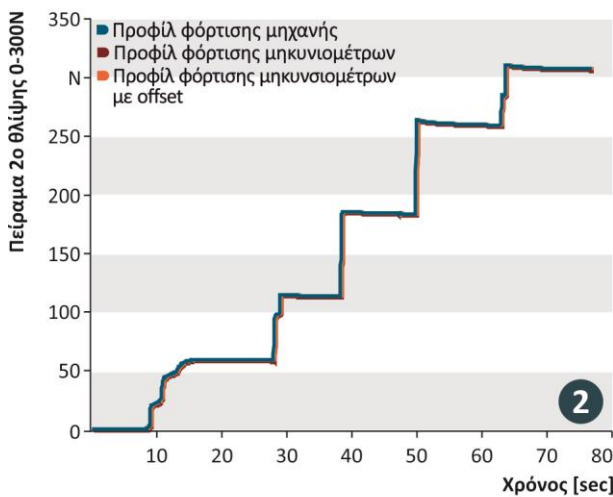
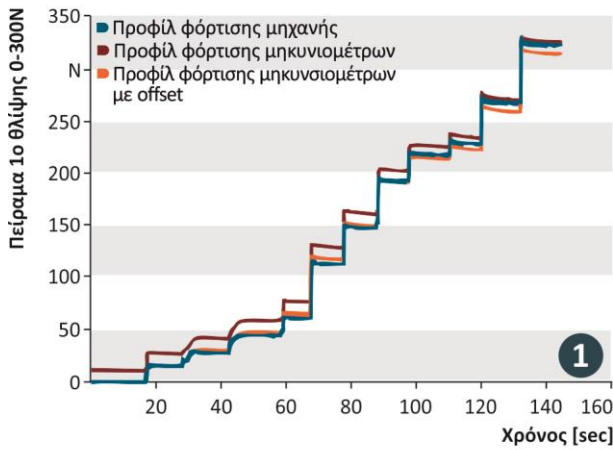


11.1 Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-300 Newton

Στα επιμέρους πειράματα, γίνεται εφαρμογή διάφορων μηχανικών, θλιπτικών, μονό αξονικών φορτίων στο εργαλείο κρουστικής λάξευσης και εξάγονται προφίλ μηχανικής φόρτισης και από τη

Δοκιμασία θλίψης από 0 έως 300 Newton

Η αρχικός έλεγχος λειτουργίας των μηχανοσυστημάτων σε προφίλ μηχανικής φόρτισης από 0 - 300 Newton



Εικόνα 11.2: Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής με βαθμονόμηση 100N (1) και μετά τη βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων σε 300 N (2)

χρώμα απεικονίζεται το προφίλ φόρτισης που εξάγεται από το εργαλείο αλλά με επεξεργασία αφαίρεσης της πρώτης μέτρησης από τις επόμενες που ακολουθούν (offset filter). Ο λόγος ύπαρξης του προφίλ φόρτισης με αφαίρεση της πρώτης τιμής των μετρήσεων είναι διότι οι ηλεκτρονικές διατάξεις των μηχανοσυστημάτων βρέθηκε πως σε πολλά σενάρια κάνουν εκκίνηση μετρήσεων από τιμή διαφορετική του μηδενός.

Στα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών είναι εμφανές ότι η διακριτική ικανότητα των ηλεκτρονικών διατάξεων αλλάζει ανάλογα με τη βαθμονόμηση των μηχανοσυστημάτων και των επιμέρους ηλεκτρονικών διατάξεων. Θόρυβος έντονος στις μετρήσεις δεν υπάρχει και για το λόγο αυτό δεν εφαρμόζονται φίλτρα εξομάλυνσης.

μηχανή θλίψης – εφελκυσμού και από τις ηλεκτρονικές διατάξεις του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης. Στη συνέχεια τα δεδομένα αυτά εξάγονται σε ένα γράφημα συγκριτικό όπου περιλαμβάνει τα προφίλ φορτίσεων που προαναφέρθηκαν.

Το πρώτο σενάριο που μελετάται είναι η μονό αξονική θλίψη του εργαλείου με μηχανικό φορτίο από 0 έως 300 Newton. Αρχικά οι ηλεκτρονικές διατάξεις των μηχανοσυστημάτων βαθμονομούνται σε εύρος φορτίου από 0-300 N και διεξάγεται το πρώτο πείραμα θλίψης στη μηχανή θλίψης εφελκυσμού. Το πείραμα περιλαμβάνει τη θλιπτική μονό αξονική φόρτιση του εργαλείου από 0 έως 300 N με ενδιάμεσα στάδια των περίπου 25 N.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων καταγράφονται δυναμικά σε πλήρως επεξεργασίμα αρχεία. Έπειτα οι ηλεκτρονικές διατάξεις βαθμονομήθηκαν σε πολύ μικρότερο μηχανικό φορτίο της τάξης των 100 N και έγινε επανάληψη του παραπάνω πειράματος θλίψης. Τα αποτελέσματα των πειραμάτων αυτών, απεικονίζονται στα γραφήματα της εικόνας 10.1, με τη βαθμονόμηση των 300N (1) και με τη βαθμονόμηση των 100 N (2).

Με μπλε γραμμή σε όλα τα διαγράμματα, απεικονίζεται το προφίλ φόρτισης απευθείας από τη μηχανή. Με κόκκινη γραμμή απεικονίζεται το προφίλ φόρτισης όπως το εξάγεται από το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης χωρίς επεξεργασία, ενώ με πορτοκαλί



Στο υπό σχήμα 1 της εικόνας 10.1 είναι εμφανές πως το προφίλ φόρτισης της μηχανής με το προφίλ των μηκυνσιομέτρων δε ταυτίζονται στα χαμηλά φορτία τάξης 0 – 250 N, προφανώς λόγω βαθμονόμησης στα 300N, και ταυτίζονται σε υψηλότερα φορτία. Παράλληλα το επεξεργασμένο προφίλ φόρτισης των μηκυνσιομέτρων, συμπεριφέρεται αντίθετα, ταυτίζει το προφίλ των μηκυνσιομέτρων στα χαμηλά φορτία και πλησιάζοντας τα 300 N αποκλίνει.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως με τη χρήση της μηχανής θλίψης εφελκυσμού, είναι αδύνατη η φόρτιση ακριβείας σε συγκεκριμένο μηχανικό φορτίο, λόγω μηχανισμού της μηχανής με συγκεκριμένο βήμα ταχύτητας και μεγάλη αντίσταση από το ίδιο το εργαλείο στο σενάριο της θλίψης. Για αυτό το λόγο τα γραφήματα εάν και έχουν προδιαγραφές μέχρι 300 N, εμφανίζουν μηχανικές φορτίσεις άνω των 300 N και τα βήματα φόρτισης δεν είναι σταθερά και διακριτά.

Στα αποτελέσματα του δεύτερου εικονιζόμενου πειράματος της εικόνας 10.1 (2), με βαθμονόμηση στα 100 N, φαίνεται πλήρη ταύτιση όλων των προφίλ φορτίσεων. Η ταύτιση τέτοιου είδους, είναι ο στόχος των πειραμάτων θλιπτικής φόρτισης του εργαλείου που πρακτικά πιστοποιεί την ορθή λειτουργία των μηκυνσιομέτρων και των επιμέρους ηλεκτρονικών διατάξεων του εργαλείου. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως τα αναγραφόμενα και εικονιζόμενα αποτελέσματα των δύο αυτών πειραμάτων, εκφράζουν μια μεγάλη σειρά πειραμάτων της κατηγορίας αυτής (δύο πειράματα από οκτώ συνολικά, 2/8). Επίσης, τα πειράματα αυτά έχουν γίνει απευθείας μετά τη βαθμονόμηση των μηκυνσιομέτρων.

Τυχόν μικρές αποκλίσεις στα διαγράμματα αυτά είναι λόγο είτε καθυστέρησης αποστολής δεδομένων από τις ηλεκτρονικές διατάξεις είτε λόγω τρόπου βαθμονόμησης των διατάξεων. Ο τρόπος βαθμονόμησης είναι εξαιρετικά απλοϊκός και αυτόματος και λειτουργεί μέσω γραμμικής παρεμβολής σε συγκεκριμένο εύρος φόρτισης που ορίζεται μονοσήμαντα κατά τη βαθμονόμηση του εργαλείου.

11.2 Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-300-0 Newton

Σειρά έχουν τα πειράματα μονό αξονικής θλίψης με εύρος από 0 έως 300 N και ταυτόχρονη αποφόρτιση σε 0 N (0 – 300 – 0). Αυτά τα πειράματα αποτελούν το δεύτερο στάδιο ελέγχου συμπεριφοράς των μηκυνσιομέτρων και των λοιπών ηλεκτρονικών διατάξεων, ελέγχοντας στοχευμένα την ελαστική παραμόρφωση των μηκυνσιομέτρων φορτίζοντάς τα από 0 έως 300 N και αποφορτίζοντάς τα σταδιακά μέχρι τα 0 N.

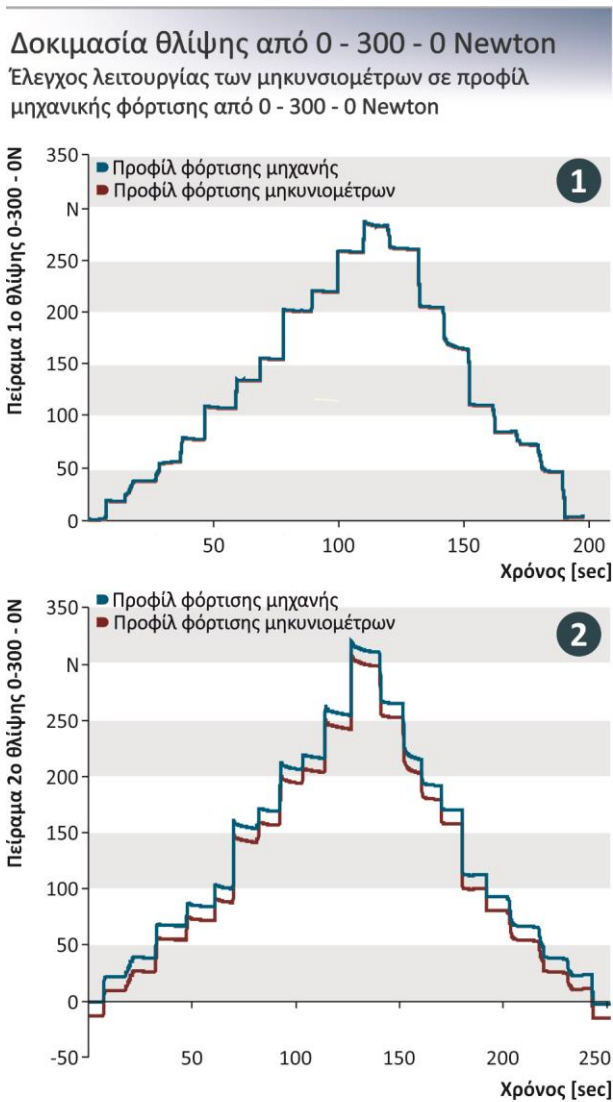
Με ακριβώς τα ίδια στοιχεία με τις προηγούμενες εφαρμογές, εξάγονται πλέον μόνο δύο (2) προφίλ φόρτισης, το ένα είναι της μηχανής θλίψης / εφελκυσμού και το προφίλ που εξάγεται από το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης χωρίς επεξεργασία (πρωτογενές). Και αυτά τα πειράματα / αποτελέσματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο είναι μέρος μιας εξίσου μεγάλης σειράς πειραμάτων (2/10). Στη παρακάτω εικόνα 10.2, απεικονίζονται τα δύο (2) πειράματα μονό αξονικής θλίψης που εκφράζουν τη κατηγορία πειραμάτων αυτή.

Η φόρτιση όπως προαναφέρθηκε είναι από 0 – 300 – 0 N. Στο πρώτο γράφημα της εικόνας 10.2 (1) είναι το πείραμα εφαρμογής του φορτίου απευθείας μετά τη βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων με φορτίο βαθμονόμησης τα 100 N. Το δεύτερο γράφημα της εικόνας 10.2 (2) απεικονίζει τα αποτελέσματα του δεύτερου πειράματος που πραγματοποιήθηκε μια μέρα μετά το πρώτο και χωρίς νέα βαθμονόμηση.

Όπως φαίνεται στο πρώτο γράφημα, που απεικονίζει τα αποτελέσματα του πειράματος ακριβώς μετά τη βαθμονόμηση, υπάρχει πλήρης ταύτιση των προφίλ φορτίσεων τόσο της μηχανής όσο και των μηκυνσιομέτρων.



Στο δεύτερο γράφημα της εικόνας 10.2 (2), που απεικονίζει τα αποτελέσματα του πειράματος μία μέρα μετά την αρχική βαθμονόμηση, είναι εμφανής η απόκλιση του προφίλ φόρτισης της μηχανής με το προφίλ φόρτισης των μηχανοσυστημάτων. Είναι επίσης εμφανές πως η αρχική τιμή εκκίνησης των μηχανοσυστημάτων δεν είναι μηδενική 0, αλλά κάνει εκκίνηση λειτουργίας από τα -10 N.



Αυτή η συμπεριφορά αποτυπώνεται σε όλα τα πειράματα της σειράς αυτής και των επόμενων όπου φαίνεται πως οι ηλεκτρονικές διατάξεις ή / και τα μηχανοσυστήματα χάνουν τη βαθμονόμηση και κάνουν εκκίνηση μετρήσεων και λειτουργίας από τιμή φορτίου διάφορη του μηδενός.

Ανάλογα με το χρόνο παραμονής του εργαλείου χωρίς νέα βαθμονόμηση, τα αποτελέσματα των πειραμάτων δείχνουν πως η τιμή εκκίνησης των ηλεκτρονικών διατάξεων συνέχεια μειώνεται με βάση το χρόνο. Αυτό το φαινόμενο δεν έχει επιλυθεί καθώς η αιτία του μέχρι τώρα παραμένει άγνωστη.

Ο προσωρινός τρόπος επίλυσης αυτού του φαινομένου είναι προς το παρόν η νέα βαθμονόμηση όταν οι ηλεκτρονικές διατάξεις κάνουν εκκίνηση από τιμή διάφορη του μηδενός και σε δεύτερη φάση η εισαγωγή φίλτρου επεξεργασίας αφαίρεσης της πρώτης τιμής εκκίνησης από τις επόμενες, όπως αυτό μελετήθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Οι τιμές εκκίνησης ανάλογα με τον χρόνο παραμονής του εργαλείου χωρίς νέα βαθμονόμηση μπορεί να είναι από -5 N έως και -270 N. Με βάση το εύρος αυτό, σε διαδικασία πειραμάτων, η εκ νέου βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων των μηχανοσυστημάτων είναι αναγκαία και απαραίτητη.

Εικόνα 11.3: Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής από 0-300-0 N, με βαθμονόμηση 100N (1) και προφίλ αποτελεσμάτων φόρτισης μετά το πέρας μιας ημέρας, χωρίς νέα βαθμονόμηση

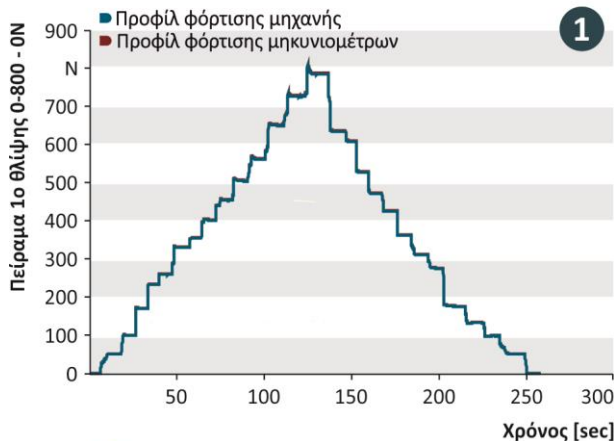
11.3 Πειράματα θλίψης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-800-0 Newton

Σειρά έχουν τα πειράματα θλίψης και μέτρησης μηχανικού φορτίου από 0 έως 800 Newton και αποφόρτιση στα 0 Newton. Και αυτή η σειρά πειραμάτων είναι παρόμοια ρυθμισμένη με τις

Δοκιμασία θλίψης από 0 - 800 - 0 Newton

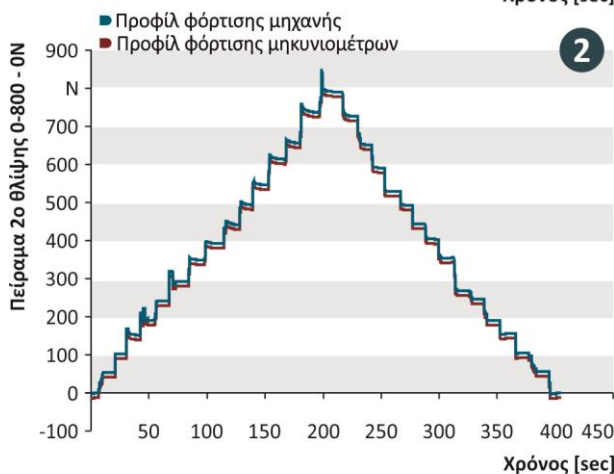
Έλεγχος λειτουργίας των μηκυνσιόμετρων σε προφίλ μηχανικής φόρτισης από 0 - 800 - 0 Newton

προηγούμενες με μόνη διαφορά πως σε αυτό το σενάριο γίνεται μονό αξονική θλίψη με μεγαλύτερο εύρος φορτίου.



Το σενάριο αυτό εξετάστηκε ώστε να ελεγχθεί η ορθή λειτουργία και εφαρμογή των μηκυνσιόμετρων και των ηλεκτρονικών διατάξεων, εκτός από χαμηλά φορτία και σε υψηλά.

Στην εικόνα 10.3 απεικονίζονται δύο (2) χαρακτηριστικά γραφήματα του σεναρίου αυτού όπου παρουσιάζουν τα αποτελέσματα των πειραμάτων μηχανικής φόρτισης σε σενάριο θλίψης, από 0 έως 800 N και αποφόρτισης έως το 0.



Το πρώτο γράφημα της εικόνας 10.3, απεικονίζει το προφίλ φόρτισης της μηχανής θλίψης – εφελκυσμού και το προφίλ που εξάγεται από το εργαλείο, αμέσως μετά τη βαθμονόμησή του από 0 έως 100 N (1).

Στο δεύτερο γράφημα (2) της ίδιας εικόνας, απεικονίζονται τα αποτελέσματα του πειράματος του ίδιου σεναρίου φόρτισης, χωρίς νέα βαθμονόμηση, τρεις ώρες μετά την αρχική. Είναι εμφανές και σε αυτά τα πειράματα πως ανάλογα με το πέρας του χρόνου δημιουργείται αυτή η απόκλιση στη τιμή εκκίνησης των ηλεκτρονικών διατάξεων των μηκυνσιόμετρων που αναφέρθηκε σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Εικόνα 11.4: Γραφήματα προφίλ φόρτισης εργαλείου και μηχανής από 0-800-0 N, με βαθμονόμηση 100N (1) και προφίλ αποτελεσμάτων φόρτισης μετά το πέρας τριών ωρών, χωρίς νέα βαθμονόμηση

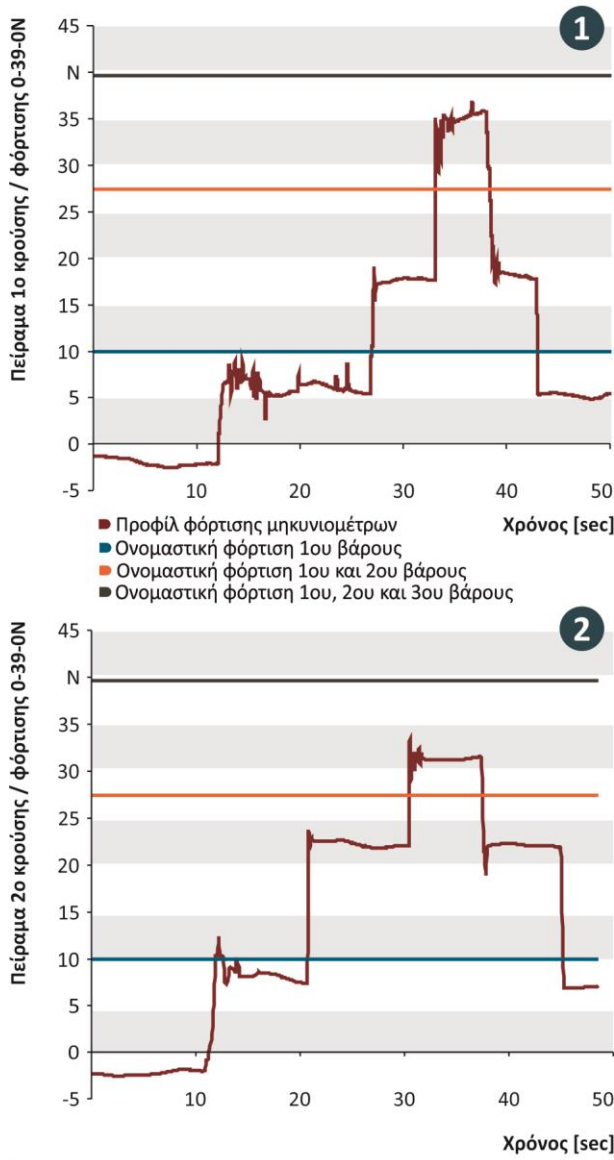
Από τα παραπάνω διαγράμματα γίνεται αντιληπτό πως η εφαρμογή των

μηκυνσιόμετρων στο έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης και οι επιμέρους ηλεκτρονικές διατάξεις του εργαλείου, παρακολουθούν και καταγράφουν πιστά τα προφίλ μηχανικής φόρτισης ακόμα και των 800 N. Σε αυτό το σημείο, έχουν μελετηθεί όλα τα πειράματα στατικής μονό αξονικής θλίψης στα σενάρια που έχουν αναγραφεί και στο εύρος που μπορεί να αποδώσει ορθά η μηχανή θλίψης – εφελκυσμού του εργαλείου και στη συνέχεια μελετάται η απόκριση του συστήματος στο φαινόμενο της κρούσης.



11.4 Πειράματα κρούσης για μέτρηση μηχανικού φορτίου από 0-39,7-0 Newton

Επόμενο βήμα είναι ο έλεγχος του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης σε σενάριο κρούσης. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως ο συνολικός κύκλος προγράμματος και επομένως δειγματοληψίας είναι στα 100 msec ενώ στα τελευταία στάδια εξέλιξης του προγράμματος του εργαλείου ο χρόνος πέφτει στα 25 msec. Αυτό σημειώνεται εδώ διότι το φαινόμενο της κρούσης είναι στιγμιαίο και υπάρχει μεγάλη περίπτωση με μεγάλο χρόνο κύκλου προγράμματος το φαινόμενο να μην γίνεται αντιληπτό.



Εικόνα 11.5: Γραφήματα προφίλ φόρτισης σε δοκιμασία κρούσης με εναπόθεση βαριδίων από 0 έως 39 N με αποφόρτιση στα 0 N

του έξυπνου εργαλείου, έχουν ελεγχθεί πως μπορούν να διακρίνουν και να καταγράψουν το στιγμιαίο αυτό φαινόμενο της κρούσης.

Στο σενάριο φόρτισης αυτό, γίνεται η κρουστική τοποθέτηση συνολικά τριών βαριδίων στο εργαλείο κρουστικής λάξευσης το οποίο είναι σταθερά τοποθετημένο και πακτωμένο στη σμίλη του. Μετά τη κρουστική εναπόθεση κάθε βαριδίου μεσολαβεί ένα σύντομο διάστημα σταθεροποίησης και εναπόθεση του επόμενου βαριδίου. Αντίστοιχα γίνεται και η αποφόρτιση, με τη διαδοχική αφαίρεση των βαριδίων ανά σειρά τοποθέτησης.

Το πρώτο βαρίδιο έχει σχεδιαστεί για να ασκεί δύναμη τάξης 10N, το δεύτερο 17N και το τρίτο 27,9N. Τα βαρίδια αυτά, πριν την εφαρμογή τους ζυγίστηκαν σε ζυγαριά ακριβείας. Το εργαλείο εισάχθηκε σταθερό, κάθετο, με τη σμίλη προς τα κάτω σε ειδική βάση όπου πακτώνεται σταθερά στη σμίλη. Το μηχανικό φορτίο από τα βαρίδια ασκείται πάλι θλιπτικά στον κάθετο άξονα του εργαλείου.

Συνολικά πραγματοποιήθηκαν πέντε (5) πειράματα εξέτασης αυτού του σεναρίου και τα δύο (2) πιο χαρακτηριστικά απεικονίζονται στα γραφήματα της εικόνας 10.4. Πέρα από τις αποκλίσεις που εμφανίζονται στα γραφήματα αυτά λόγω απόκλισης αρχικής τιμής των ηλεκτρονικών διατάξεων του εργαλείου και λόγω χρόνου δειγματοληψίας, το φαινόμενο της κρούσης είναι εύκολα διακριτό.

Επομένως μετά τα αποτελέσματα των γραφημάτων αυτών οι ηλεκτρονικές διατάξεις του έξυπνου εργαλείου, έχουν ελεγχθεί πως μπορούν να διακρίνουν και να καταγράψουν το στιγμιαίο αυτό φαινόμενο της κρούσης.

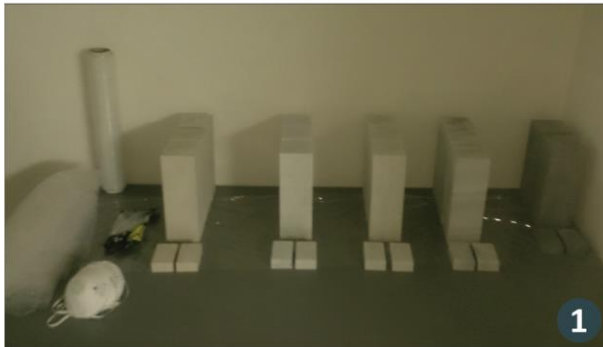


12. Διεξαγωγή πειραμάτων σκληρότητας λίθινων δοκιμίων

Προκειμένου να γίνει σωστά και αξιόπιστα η διεξαγωγή των πειραμάτων του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι σημαντικό σε πρώτο βήμα η αναγνώριση, καταγραφή και ανάλυση των πραγματικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των λίθων όπου θα διεξαχθούν τα πειράματα αυτά.

Τα λίθινα δοκίμια

Τα λίθινα δοκίμια που προμηθεύτηκαν μαζί με το προστατευτικό εξοπλισμό



Εικόνα 12.1: Τα λίθινα δοκίμια στο εργαστήριο, ασβεστόλιθος, μάρμαρο Νάξου, Νέστου, Μαρμαρά και γρανίτης (αριστερά προς δεξιά) (1) και το δοκίμιο μικρών διαστάσεων από ασβεστόλιθο (2).

Σκοπός πάντα παραμένει ο έλεγχος ορθής λειτουργίας του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης και η εύρεση / χαρτογράφηση των παραμέτρων που διέπουν τη διαδικασία της κρουστικής λάξευσης. Αυτό περιλαμβάνει τη μέτρηση και την ανάλυση της συμπεριφοράς του εργαλείου επί των λίθινων δοκιμίων και της συμπεριφοράς των ίδιων των λίθων κατά τη κρούση.

Για τη διεξαγωγή των πειραμάτων αυτών, προμηθεύτηκαν λίθινα δοκίμια συγκεκριμένων διαστάσεων από τους τύπους λίθων που είναι διαθέσιμοι στην Ελληνική αγορά. Πιο συγκεκριμένα προμηθεύτηκαν λίθινα δοκίμια ασβεστόλιθου Κρήτης, γρανίτη Ιταλίας, μάρμαρο Νάξου, μάρμαρο Νέστου και μάρμαρο Μαρμαρά (Τουρκίας).

Από τις προαναφερθείσες κατηγορίες, για κάθε μια από αυτές, πάρθηκαν δύο (2) δοκίμια διαστάσεων 100x 60x 30 mm και τρία (3) δοκίμια διαστάσεων 300x 100x 100 mm. Λόγο δυσκολίας εύρεσης του γρανίτη, τα δοκίμια διαστάσεων 300x 100x 100 mm για το γρανίτη Ιταλίας είναι

δύο (2) αντί για τρία.

Στην εικόνα 12.1 παραπάνω, απεικονίζονται σε σειρά τα λίθινα δοκίμια, μαζί με το προστατευτικό εξοπλισμό, από αριστερά προς τα δεξιά είναι ο ασβεστόλιθος Κρήτης, το μάρμαρο Νάξου, το μάρμαρο Νέστου, το μάρμαρο Μαρμαρά (Τουρκίας) και ο γρανίτης Ιταλίας (1). Στο υπό σχήμα 2 της ίδιας εικόνας απεικονίζεται ένα από τα δοκίμια μικρών διαστάσεων του ασβεστόλιθου Κρήτης. Όλες οι επιλεγμένες κατηγορίες, ακόμα και αυτές των μαρμάρων, έχουν διαφορετική κρυσταλλική δομή (φαίνεται και από την επιφάνεια) και διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες.

Τα μικρότερων διαστάσεων δοκίμια χρησιμεύουν για την εύρεση και την ανάλυση των πραγματικών φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων κάθε κατηγορίας λίθου ενώ τα δοκίμια μεγαλύτερων διαστάσεων θα χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο συμπεριφοράς του έξυπνου εργαλείου και των σμιλών του και έπειτα για τη κρουστική λάξευση και εύρεση των παραμέτρων της ως διαδικασία.

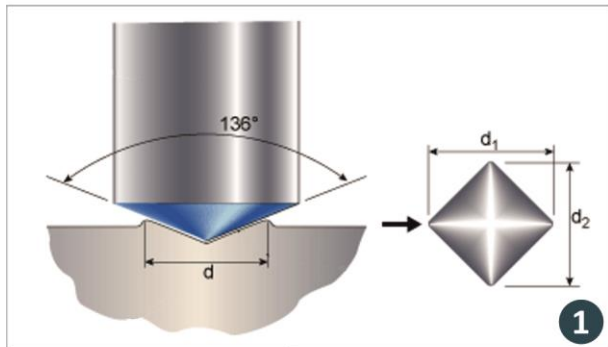
12.1 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Vickers

12.1.1 Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Vickers

Η δοκιμή σκληρότητας Vickers αναπτύχθηκε το 1921 από τον Robert L. Smith και τον George E. Sandland στη Vickers Ltd ως εναλλακτική λύση για τη μέθοδο Brinell για τη μέτρηση της σκληρότητας των υλικών.

Μέτρηση σκληρότητας κατά Vickers

Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Vickers και η διάταξη μετρήσεων



Εικόνα 12.2: Η μέθοδος αποτύπωσης πυραμίδας Vickers (1) και η μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers στο εργαστήριο (2)

Η μέθοδος μέτρησης σκληρότητας κατά Vickers αποτελείται από την αποτύπωση του ελεγχόμενου δοκιμίου, με ειδικά διαμορφωμένο τμήμα διαμαντιού σε σχήμα πυραμίδας με τετράγωνη βάση και με γωνία 136 μοιρών μεταξύ των αντίθετων όψεων των πλευρών της, που υποβάλλεται πάνω στο δοκίμιο με ρυθμιζόμενο φορτίο από 100 grf (100 γραμμάρια) έως και 100 kgf (κιλά) για 10 sec (10 δευτερόλεπτα) [35].

Στο αποτύπωμα που αφήνει η μηχανή στο δοκίμιο μετά την εναπόθεση του μηχανικού φορτίου, μετρούνται οι δύο διαγώνιοι με τη βοήθεια μικροσκοπίου, εισάγονται στη μηχανή και υπολογίζεται έπειτα η μέση τιμή τους.

Έπειτα μέσω του επεξεργαστή της μηχανής, υπολογίζεται η περιοχή της κεκλιμένης επιφάνειας της εσοχής του αποτυπώματος. Η σκληρότητα επομένως κατά Vickers είναι η σταθερά που προκύπτει από τη διαίρεση του φορτίου (kgf) από το τετράγωνο της επιφάνειας της εσοχής (mm^2).

Στην εικόνα 12.1 παραπάνω, απεικονίζεται το αποτύπωμα και ο μηχανισμός του στις μηχανές μέτρησης σκληρότητας Vickers (1), ενώ στο υπό σχήμα 2 της ίδιας εικόνας, απεικονίζεται η μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers του εργαστηρίου που χρησιμοποιήθηκε (2). Η μηχανή του εργαστηρίου έχει τη δυνατότητα μέτρησης σκληρότητας Vickers από 10 gf (10 γραμμάρια δύναμης) έως και 1kgf (1 κιλό δύναμης) με ενδιάμεσες διαβαθμίσεις.

Επίσης η μηχανή έχει δυνατότητα καταγραφής και εκτύπωσης των αποτελεσμάτων μέτρησης της σκληρότητας, συμπεριλαμβάνοντας το μέσο όρο των μετρήσεων, τη μέγιστη και ελάχιστη τιμή και τη μέση απόκλιση των τιμών. Στην εκτύπωση περιλαμβάνονται όλα όσα προ αναγράφηκαν και αναγράφονται επιπλέον τα στοιχεία των μετρήσεων, η κλίμακα βάρους, ο χρόνος αποτύπωσης καθώς και ο χρόνος που πάρηκαν οι μετρήσεις μαζί με την ημερομηνία διεξαγωγής τους, προσθέτοντας μεγαλύτερη ακρίβεια.

12.1.2 Προετοιμασία λίθινων δοκιμίων

Το πρώτο βήμα για οποιαδήποτε μέτρηση σκληρότητας κατά Vickers είναι η προσεκτική στίλβωση της επιφάνειας του δοκιμίου. Στο συγκεκριμένο σενάριο η στίλβωση των λίθινων δοκιμίων. Συνολικά έχουν προμηθευτεί δύο σετ των πέντε (5) λίθινων δοκιμίων, ένα για κάθε κατηγορία λίθου. Επομένως



υπάρχουν δύο δοκίμια διαστάσεων 100x 60x 30 mm για ασβεστόλιθο Κρήτης, δύο δοκίμια ίδιων διαστάσεων για γρανίτη Ιταλίας, για μάρμαρο Νάξου, για μάρμαρο Νέστου και τέλος για μάρμαρο Μαρμαρά Τουρκίας.

Τα δοκίμια που παρουσιάστηκαν, κατεργάζονται με τριβείο 200 watt με υαλόχαρτο απλό και νερού, αρχικά 180 βαθμών, έπειτα 240 βαθμών, στη συνέχεια με υαλόχαρτο νερού 1.000 βαθμών, έπειτα με 1.500 και τέλος με υαλόχαρτο 3.000 βαθμών grit. Η κατεργασία των περισσότερων δοκιμών ήταν σχετικά εύκολη αλλά χρονοβόρα. Το δοκίμιο του γρανίτη χρειάστηκε πολύ περισσότερη ώρα και διαφορετικές λύσεις στίλβωσης λόγω της αυξημένης του σκληρότητας. Σε γενικές γραμμές, το κάθε πέρασμα με υαλόχαρτο χρειάστηκε 10 λεπτά ενώ συνολικά για κάθε δοκίμιο πραγματοποιήθηκαν τρία (3) περάσματα από κάθε κατηγορία λόγω της τραχύτητας της επιφάνειας. Επομένως αθροιστικά, το κάθε δοκίμιο χρειάστηκε τρεις (1) ώρα χειρωνακτικής στίλβωσης με τριβείο.

Στη παρακάτω εικόνα 12.3, απεικονίζονται τα λίθινα δοκίμια κατά τη στίλβωσή τους, το μάρμαρο Μαρμαρά (1), το μάρμαρο Νέστου (2), ο ασβεστόλιθος Κρήτης (3) και ο γρανίτης Ιταλίας (4). Ο γρανίτης όπως προαναφέρθηκε, χρειάστηκε επιπλέον στίλβωση λόγω αυξημένης σκληρότητας. Μετρήθηκε ως προς τη σκληρότητά του κατά Vickers δύο φορές, τη μία μετά τη στίλβωσή του με υαλόχαρτο και τη δεύτερη φορά μετά τη στίλβωσή του με χρήση ειδικής χημικής πάστας και επιπλέον κατεργασία στίλβωσης με υφασμάτινη περιστροφική βούρτσα.

Προετοιμασία λίθινων δοκιμών για σκληρομέτρηση Vickers

Η απαραίτητη στίλβωση της επιφάνειας των λίθινων δοκιμών για την επιτυχή σκληρομέτρηση κατά Vickers



Εικόνα 12.3: Προετοιμασία στίλβωσης επιφανειών λίθινων δοκιμών προς μέτρηση σκληρότητας κατά Vickers. Στίλβωση δοκιμών ποικιλιών μαρμάρου (1), (2), ασβεστόλιθου (3) και γρανίτη (4) με πέντε διαφορετικούς βαθμούς υαλόχαρτου.

Δοκιμάστηκαν διάφορες στίλβωτικές λύσεις για τη βελτίωση της επιφάνειας των δοκιμών εκτός από υαλόχαρτο όπου περιλαμβάναν, σαπούνη ειδικό για μάρμαρα για χρήση με νερό και την εφαρμογή της ειδικής πάστας κατάλληλης για μάρμαρα, γρανίτες και πωρόλιθους. Αυτές οι λύσεις, εξετάστηκαν, εφαρμόστηκαν αλλά δεν είχαν το ίδιο αποτέλεσμα στις επιφάνειες όλων των λίθινων δοκιμών.



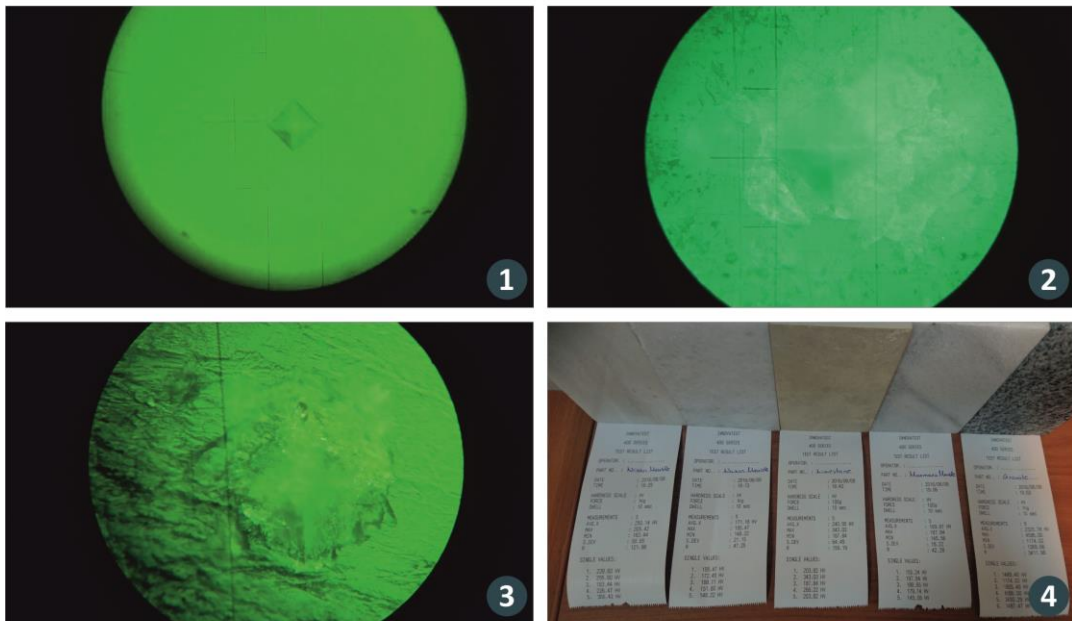
12.1.3 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμίων και αποτελέσματα

Εφόσον τα λίθινα δοκίμια στιλβώθηκαν ώστε να μπορέσει να γίνει αποτύπωση της πυραμίδας Vickers και να μετρηθεί στην επιφάνειά τους, ετοιμάσθηκε και ελέγχθηκε αντίστοιχα και η μηχανή μέτρησης. Πριν τη διεξαγωγή των μετρήσεων στα λίθινα δοκίμια η μηχανή ελέγχθηκε ως προς τη λειτουργία της με τη μέτρηση ήδη μετρημένων μεταλλικών δοκιμίων από το κατασκευαστή. Εφόσον ελέγχθηκε η ορθή λειτουργία και τα αποτελέσματα της μηχανής τότε έγιναν οι μετρήσεις των λίθινων δοκιμίων.

Στην εικόνα 12.4 που ακολουθεί απεικονίζεται το αρχικό αποτύπωμα της μηχανής σε μεταλλικό δοκίμιο του κατασκευαστή της μηχανής προς έλεγχο λειτουργίας (1), το αποτύπωμα μέτρησης πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου μαρμάρου Νάξου (2), το αποτύπωμα μέτρησης στην επιφάνεια δοκιμίου μαρμάρου Νέστου (4) και τα συνολικά αποτελέσματα με εκτύπωση από τη μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers (4). Με βάση τις εικόνες είναι κατανοητό πως η λίθινη επιφάνεια έχει τελείως διαφορετική συμπεριφορά κατά την αποτύπωση σε σχέση με τη μεταλλική.

Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Vickers

Μετά τη προετοιμασία της μηχανής, η μέτρηση σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Vickers και τα αποτελέσματά της



Εικόνα 12.4: Αρχική μέτρηση της μηχανής σε δοκίμιο κατασκευαστή (1), αποτύπωμα μέτρησης πάνω στην επιφάνεια του δοκιμίου μαρμάρου Νάξου (2), αποτύπωμα μέτρησης στην επιφάνεια δοκιμίου μαρμάρου Νέστου (4) και τα συνολικά αποτελέσματα με εκτύπωση από τη μηχανή μέτρησης σκληρότητας Vickers (4).

Ο μηχανισμός αποτύπωσης και η αποτύπωση του εμβადού της πυραμίδας Vickers από υλικό σε υλικό διαφέρει σημαντικά [35]. Στα λίθινα αυτά δοκίμια η μηχανή ρυθμίστηκε αρχικά σε αποτύπωση με 200 gf και έπειτα με 1kgf (1 κιλό δύναμης). Ανάλογα τη κρυσταλλική μορφή του δοκιμίου και την επιλεγμένη επιφάνεια το αποτύπωμα της πυραμίδας κάποιες φορές ήταν ξεκάθαρο (υπό σχήμα 2 της εικόνας 12.4) και μπορούσε να μετρηθεί ως προς τις διαγώνιους του και άλλες φορές δε μπορούσε να μετρηθεί λόγω διακριτότητας ή δυσμορφίας σχήματος.

Διεξάγοντας αρκετές δοκιμαστικές μετρήσεις, σε μεγάλα τμήματα επιφάνειας των δοκιμίων, βρέθηκε πως η ρύθμιση του 1kgf της μηχανής δεν ήταν κατάλληλη για ορισμένα δοκίμια καθώς θρυμματίζε, κατά την αποτύπωση, την επιφάνεια ή υποχωρούσε το υλικό λόγω κρυσταλλικής δομής και το αποτύπωμα δε μπορούσε να μετρηθεί (υπό σχήμα 3 της εικόνας 12.4). Εξετάσθηκαν αρκετές



ρυθμίσεις προφίλ δύναμης της μηχανής και σε κάποια δοκίμια εφαρμόστηκε προφίλ δύναμης της τάξης των 200 gf (200 γραμμάρια δύναμης). Οι μετρήσεις σκληρότητας λόγω ανομοιομορφίας των λίθων διέφεραν μεταξύ τους ανάλογα με τη κρυσταλλική δομή της επιλεγμένης επιφάνειας και γενικά ο εντοπισμός ομοιόμορφης επιφάνειας για την ακριβή σκληρομέτρηση των δοκιμίων ήταν αρκετά δύσκολη.

Στο παρακάτω πίνακα της εικόνας 12.5 και της εικόνας 12.6, καταγράφονται οι μετρήσεις σκληρότητας κατά Vickers για κάθε ένα δοκίμιο από τα επιλεγμένα καθώς και ο υπολογισμένος μέσος όρος των μετρήσεων αυτών. Συνολικά πάρθηκαν πέντε (5) μετρήσεις σκληρότητας για κάθε δοκίμιο και η κάθε μέτρηση έγινε σε επιφάνεια μακρινή από τη προηγούμενη μέτρηση που λήφθηκε. Όλες οι μετρήσεις που ακολουθούν έχουν υπολογιστεί με βάση τις διαγώνιους του κάθε αποτυπώματος μέτρησης. Ανάλογα με τη κρυσταλλική δομή και την ομοιομορφία κάθε αποτύπωμα ενδέχεται να δώσει τελείως διαφορετικά αποτελέσματα από ένα άλλο αποτύπωμα στο ίδιο δοκίμιο λόγω διαφορών ομοιομορφίας σημείου αποτύπωσης.

Αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας κατά Vickers 0,2 kgf

Όλα τα αποτελέσματα της μέτρησης σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Vickers

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Μέτρηση 1 (HV)	Μέτρηση 2 (HV)	Μέτρηση 3 (HV)	Μέτρηση 4 (HV)	Μέτρηση 5 (HV)	Μέσος όρος (HV)
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	242,57	253,98	161,04	187,84	167,18	202,522
2.	Μάρμαρο Νάξου	154,37	171,51	146,75	166,97	162,61	160,442
3.	Μάρμαρο Νέστου	136,34	115,95	146,61	162,61	154,37	143,132
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	139,68	156,78	171,51	150,49	154,37	154,285
5.	Γρανίτης Ιταλίας	1043,57	724,7	812,47	724,70	1043,57	869,802

Εικόνα 12.5: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Vickers 0,2 kgf, με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.

Ανάλογα με το σημείο αποτύπωσης και το βάρος που ασκεί η μηχανή μέτρησης φαίνονται ξεκάθαρα οι μεταβολές των αποτελεσμάτων του πίνακα 12.5 και του πίνακα 12.6 και σε σύγκριση μεταξύ τους. Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα μέτρησης με τη μέθοδο Vickers σε ορισμένες περιπτώσεις όπου το αποτύπωμα δεν είναι ξεκάθαρο υπό μεγέθυνση εμπεριέχουν ένα ποσοστό σφάλματος λόγω διακριτότητας του χρήστη κατά τη μέτρηση των ακμών του αποτυπώματος.

Αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας κατά Vickers 1 kgf

Όλα τα αποτελέσματα της μέτρησης σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Vickers

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Μέτρηση 1 (HV)	Μέτρηση 2 (HV)	Μέτρηση 3 (HV)	Μέτρηση 4 (HV)	Μέτρηση 5 (HV)	Μέσος όρος (HV)
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	102,54	183,44	181,17	149,9	155,11	154,432
2.	Μάρμαρο Νάξου	124,78	135,74	134,74	117,40	122,40	127,180
3.	Μάρμαρο Νέστου	220,31	144,94	144,62	117,40	127,39	150,932
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	183,44	144,94	151,60	138,71	158,74	155,486
5.	Γρανίτης Ιταλίας	338,10	634,95	652,23	1078,07	1183,19	777,308

Εικόνα 12.6: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Vickers 1 kgf, με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.

Με βάση τα αποτελέσματα του παραπάνω πίνακα της εικόνας 12.5 και της 12.6 ο υπολογισμένος μέσος όρος πρακτικά όλων των δοκιμίων είναι λογικό αποτέλεσμα και αρκετά κοντά στις ονομαστικές τιμές βάση βιβλιογραφίας που έχουν βρεθεί εκτός από το δοκίμιο του ασβεστόλιθου. Γενικά διαθέσιμες ονομαστικές / θεωρητικές τιμές με τις μεθόδους μέτρησης αυτές δεν υπάρχουν. Πιο συγκεκριμένα η ονομαστική τιμή σκληρότητας κατά Vickers για τη κατηγορία του ασβεστόλιθου είναι 250HV για τον γρανίτη είναι 850HV [36]. Για τις συγκεκριμένες ποικιλίες μαρμάρων δε βρέθηκαν



ονομαστικές τιμές αλλά βρέθηκαν σε διαφορετικές ποικιλίες και κυμαίνονται από 150HV έως 190HV [37].

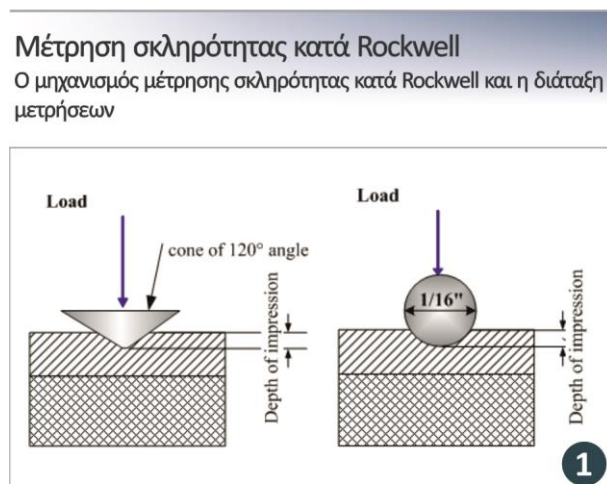
Με βάση όσα έχουν αναλυθεί στα κεφάλαια των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων των λίθων είναι αναμενόμενο πως κάθε κατηγορία λίθου έχει ένα μεγάλο εύρος σκληρότητας και όχι μια μόνο τιμή, ανάλογα με την ορυκτολογική του σύσταση και τη κρυσταλλική του δομή. Οι τιμές που έχουν βρεθεί παραπάνω με βάση βιβλιογραφίας είναι αρκετά λογικές και θεωρούνται αποδεκτές ώστε να προχωρήσει σε επόμενο στάδιο η ανάλυση των λίθων.

12.2 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell C, Rockwell B και Rockwell T

12.2.1 Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Rockwell C και Rockwell B, T

Η μέθοδος Rockwell βασίζεται και αυτή στη χρήση διεισδυτή κάτω από την επίδραση ενός συγκεκριμένου φορτίου. Η μέθοδος Rockwell διαφέρει από τις άλλες μεθόδους σκληρομέτρησης διότι βασίζεται όχι στη μέτρηση της επιφάνειας του αποτυπώματος του διεισδυτή αλλά στη μέτρηση της προσαύξησης του βάθους του αποτυπώματος που προκύπτει από την εφαρμογή ενός προκαταρκτικού και ενός κύριου φορτίου.

Για τη μέτρηση της σκληρότητας ανάλογα το υλικό, χρησιμοποιούνται διαφορετικών τύπων διεισδυτές. Για μέτρηση σκληρότητας μαλακών υλικών χρησιμοποιείται ως διεισδυτής, χαλύβδινη σφαίρα 1/16 της ίντσας (κλίμακα B, T), ενώ για σκληρότερα υλικά χρησιμοποιείται κώνος 120 μοιρών με ημισφαιρική αδαμαντένια απόληξη Brale (κλίμακα C).



Εικόνα 12.7: Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Rockwell B και C (1) και η μηχανή μέτρησης στο εργαστήριο με δοκίμιο του κατασκευαστή (2)

Αρχικά εφαρμόζεται ένα προκαταρκτικό φορτίο της τάξης των 10 kg (δέκα κιλά) και στη συνέχεια, ανάλογα με την επιλεγμένη κλίμακα, το κυρίως φορτίο το οποίο αντιστοιχεί σε 100 Kg (εκατό κιλά) για τη κλίμακα B, 150 Kg (εκατό πενήντα κιλά) για τη κλίμακα C και 15 Kg (δεκαπέντε κιλά) για τη κλίμακα T.

Η ανάγνωση της σκληρότητας, ανάλογα με τη τεχνολογία της μηχανής μέτρησης, γίνεται σε ωρολογιακό μηχανισμό ανάγνωσης της μηχανής. Το σύστημα ανάγνωσης της μηχανής του εργαστηρίου φέρει δύο (2) κλίμακες με ενδείξεις από το 0 έως το 100.

Η μια κλίμακα είναι τυπωμένη με κόκκινο χρώμα και φέρει την ένδειξη B ενώ η δεύτερη κλίμακα είναι τυπωμένη μαύρη και φέρει την ένδειξη C. Η πρώτη είναι για τη μέτρηση στη κλίμακα Rockwell B ενώ η δεύτερη για τη κλίμακα Rockwell C.



Για τη σωστή μέτρηση της σκληρότητας του κάθε δοκιμίου απαιτείται η επιφάνεια του δοκιμίου να είναι λεία επίπεδη και καθαρή και παράλληλα το ελάχιστο πάχος του δοκιμίου να είναι τουλάχιστο δέκα (10) φορές μεγαλύτερο από το βάθος του αποτυπώματος. Στην εικόνα 12.7 παραπάνω, απεικονίζεται ο μηχανισμός μέτρησης με τις κλίμακες Rockwell C και Rockwell B και τους αντίστοιχους διεισδυτήρες (2) ενώ στο υπό σχήμα 2 απεικονίζεται η εφαρμογή μέτρησης Rockwell C σε δοκίμιο ήδη μετρημένο από το κατασκευαστή, προς έλεγχο λειτουργίας της μηχανής.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως κάθε κατηγορία μέτρησης της μηχανής δεν αντιστοιχεί μόνο σε ένα μέγεθος διεισδυτή. Και τη μέθοδο C αλλά και για τη μέθοδο B υπάρχουν διαφορετικού μεγέθους διεισδυτές, ανάλογα με το υλικό εφαρμογής, την επιφάνεια και τα εφαρμοζόμενα κιλά.

Επίσης οι μηχανές αυτές δεν έχουν τη δυνατότητα μέτρησης σκληρότητας μόνο κατά τις κλίμακες B και C αλλά έχουν τη δυνατότητα μέτρησης και στις κλίμακες Rockwell A, D, E, F καθώς και μετρήσεις επιφανειακής σκληρότητας κλιμάκων 15 - N, 30 - N, 45 - N, 30 - T (Superficial) με εφαρμογή πολύ λιγότερων βαρών δύναμης. Οι αλλαγές μέτρησης στη μηχανή του εργαστηρίου, γίνονται με τη τοποθέτηση ειδικών βαριδίων στο πίσω μέρος της και με την αλλαγή του κατάλληλου διεισδυτή της κάθε κατηγορίας.

12.2.2 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell C, Rockwell B και Rockwell T και αποτελέσματα

Στα λίθινα δοκίμια που προαναφέρθηκαν έγιναν μετρήσεις από τρεις (3) κατηγορίες, Rockwell B αλλά και Rockwell C και Rockwell T. Ο λόγος εφαρμογής και των τριών αυτών μεθόδων μέτρησης είναι διότι η εφαρμογή της Rockwell C λόγω μεγάλων κυλών εφαρμογής κρίθηκε ακατάλληλη για λόγους που ακολουθούν στη συνέχεια, η μέθοδος Rockwell B, παρήγαγε καλύτερα αποτελέσματα λόγω εφαρμογής μικρότερου μηχανικού φορτίου αλλά και πάλι δε κρίνεται κατάλληλη και τέλος η Rockwell T διότι λόγω εφαρμογής μικρότερου φορτίου επιφανειακά θα έδινε καλύτερα αποτυπώματα στην επιφάνεια του δοκιμίου και επομένως λογικά μετρούμενες σκληρότητες.

Η Rockwell B κρίνεται ως ακατάλληλη μέθοδος και λόγω μεγάλου μηχανικού φορτίου αλλά και επειδή κατά τη διεξαγωγή των μετρήσεων η κεφαλή συγκράτησης εισχωρεί και αυτή εντός του λίθινου δοκιμίου λόγω ψαθυρότητας υλικού. Η ίδια συμπεριφορά διαπιστώθηκε και στη διεξαγωγή των μετρήσεων κατά Rockwell C. Αυτοί είναι οι λόγοι που δοκιμάστηκε και η Rockwell T ως επιφανειακή μέθοδος μέτρησης σκληρότητας χωρίς μεγάλο μηχανικό φορτίο με τη προσδοκία καλύτερων και πιο ορθών αποτελεσμάτων.

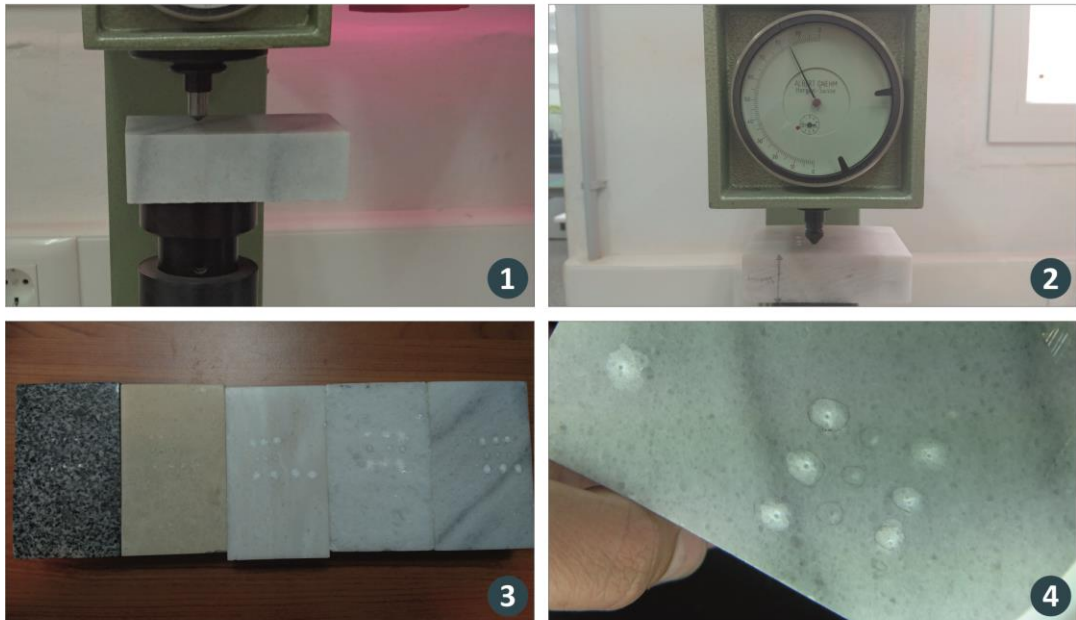
Όλες οι μετρήσεις που μελετώνται στο παρόν κεφάλαιο, έχουν φωτογραφηθεί και μελετηθεί ως προς την επιφανειακή επιρροή τους στο λίθινο δοκίμιο κάτω από μικροσκόπιο μεγέθυνσης X64. Όλες οι φωτογραφίες από τις πειραματικές διατάξεις, τα αποτελέσματα και τα πειράματα βρίσκονται στο κεφάλαιο του παραρτήματος της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Στην εικόνα 12.8 που ακολουθεί απεικονίζεται η μέτρηση λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell B, C στη μηχανή του εργαστηρίου (1), η μέτρηση του δοκιμίου Νέστου κατά Rockwell Tα (2), τα αποτυπώματά τους στις επιφάνειες των δοκιμίων (3) και η μεγέθυνση των αποτυπωμάτων για καλύτερη κατανόηση κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (4). Τα αποτυπώματα του διεισδυτή της μεθόδου C είναι αυτά που εμφανίζονται με μεγαλύτερη διάμετρο, στη πρώτη σειρά αποτυπωμάτων όπως αυτή φαίνεται στο υπό σχήμα 4 της εικόνας 12.8, ακολουθούν τα αποτυπώματα με τη πιο μικρή διάμετρο της Rockwell T και τέλος, στη τρίτη σειρά, τα αποτυπώματα της μεθόδου Rockwell B.



Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell C, B και Rockwell T

Μετά τη προετοιμασία της μηχανής, η μέτρηση σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell και τα αποτελέσματά τους



Εικόνα 12.8: Μέτρηση λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell B και C (1), μέτρηση δοκιμίου Νέστου κατά Rockwell T (2), τα αποτυπώματα των μετρήσεων στις επιφάνειες των δοκιμίων (3), και μεγέθυνση των αποτυπωμάτων για καλύτερη κατανόηση κάτω από τη μεγεθυντική λάμπα (4).

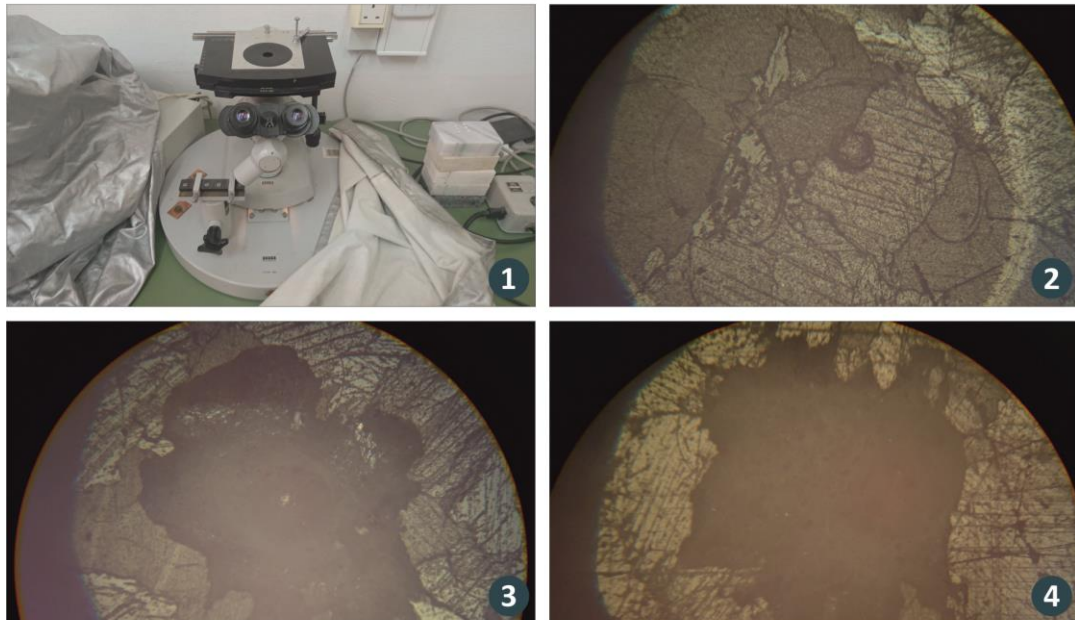
Από την εικόνα 12.8 γίνεται αντιληπτό πως η μέθοδος μετρήσεων Rockwell δημιουργεί εμφανή ίχνη στην επιφάνεια των λίθινων δοκιμίων και ειδικά η μέθοδος C δημιουργεί έντονο θρυμματισμό, σπασίματα και ρωγμές στην επιφάνεια των δοκιμίων. Σχετικά με τις μετρήσεις Rockwell T, τα αποτυπώματα φαίνονται με γυμνό μάτι, χωρίς να φαίνεται έντονη θραύση της επιφάνειας του δοκιμίου. Επίσης με βάση τις μετρήσεις και τα ίχνη που άφησαν οι μέθοδοι αυτοί στα λίθινα δοκίμια συμπεραίνεται πως τα ίχνη (και φυσικά η σκληρότητα) διαφέρει όχι μόνο ανάλογα το τύπο του πετρώματος αλλά και τη κρυσταλλική του δομή.

Στη συνέχεια, όλα τα παραπάνω αποτελέσματα μετρήσεων, διερευνήθηκαν κάτω από το μικροσκόπιο του εργαστηρίου. Ένα δείγμα των αποτελεσμάτων αυτών και των αποτυπωμάτων της κάθε μεθόδου απεικονίζεται στην εικόνα 12.9 που ακολουθεί. Αρχικά απεικονίζεται το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε για τη μεγέθυνση των αποτυπωμάτων του κάθε δοκιμίου με συνολική μεγέθυνση X64 (1), το αποτύπωμα της Rockwell T στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (2), το αποτύπωμα της Rockwell B στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (3), το αποτύπωμα της Rockwell C στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (4).

Γίνεται αντιληπτό από τις μετρήσεις υπό μεγέθυνση πως η Rockwell T δίνει το πιο ευδιάκριτο και άμεσα μετρήσιμο αποτύπωμα. Επίσης είναι εμφανές πως η Rockwell C και η Rockwell B έχουν δημιουργήσει έντονη θραύση γύρω από τη περιοχή του αποτυπώματος όπου σε πάρα πολλές περιπτώσεις δεν είναι ευδιάκριτα αλλά ούτε και μετρήσιμα λόγω της περιοχής θραύσης. Είναι επίσης κατανοητό πως τα αποτυπώματα της Rockwell B είναι πολύ πιο ευδιάκριτα από τα αντίστοιχα της Rockwell C όπως και οι περιοχές θραύσης, πιο μικρές και πιο περιορισμένες.



Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell C, B και Rockwell T Μεγέθυνση σε μικροσκόπιο για τη καλύτερη κατανόηση και διερεύνηση των μετρήσεων σκληρότητας



Εικόνα 12.9: Το μεταλλογραφικό μικροσκόπιο που χρησιμοποιήθηκε για τη μεγέθυνση των αποτυπωμάτων του κάθε δοκιμίου (1), το αποτύπωμα της Rockwell T στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (2), το αποτύπωμα της Rockwell B στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (3), το αποτύπωμα της Rockwell C στο μάρμαρο Νάξου υπό μεγέθυνση (4).

Στο πίνακα της εικόνας 12.10 που ακολουθεί, αναγράφονται οι μετρήσεις σε κάθε δοκίμιο με τη μέθοδο Rockwell B καθώς και ο υπολογισμένος μέσος όρος τους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) μετρήσεις για κάθε δοκίμιο. Οι τιμές των αποτελεσμάτων με βάση τη μέθοδο αυτή δε μπορούν να κριθούν με βάση μετατροπή τους σε κλίμακα Vickers από ειδικούς πίνακες μετατροπής [38]. Αναλυτικά οι μετατροπές των μεγεθών αυτών αναλύονται σε επόμενο κεφάλαιο.

Αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας κατά Rockwell B

Όλα τα αποτελέσματα της μέτρησης σκληρότητας των λίθινων δοκιμών κατά Rockwell B

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Μέτρηση 1 (RB)	Μέτρηση 2 (RB)	Μέτρηση 3 (RB)	Μέτρηση 4 (RB)	Μέτρηση 5 (RB)	Μέσος όρος (RB)
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	51	54	39	-	-	44,00
2.	Μάρμαρο Νάξου	36	23	56	-	-	38,33
3.	Μάρμαρο Νέστου	45	47	53	-	-	48,33
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	42	47	47	-	-	45,33
5.	Γρανίτης Ιταλίας	63	21	21	-	-	35,00

Εικόνα 12.10: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Rockwell B με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.

Αντίστοιχα στο πίνακα της εικόνας 12.11 που ακολουθεί, αναγράφονται οι μετρήσεις σε κάθε δοκίμιο με τη μέθοδο Rockwell C καθώς και ο υπολογισμένος μέσος όρος τους. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν τρεις (3) μετρήσεις για κάθε δοκίμιο. Οι μετρήσεις με αυτή τη μέθοδο θεωρούνται άκυρες και ανακριβής διότι η επιφάνεια των δοκιμών (εκτός του γρανίτη) υποχωρούσε σε κάθε μέτρηση λόγω ψαθυρότητας και θρυμματιζόταν σε μεγάλο βαθμό. Αυτός ήταν και ο λόγος που χρησιμοποιήθηκε και η μέθοδος Rockwell B επιπρόσθετα και η Rockwell T.

**Αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας κατά Rockwell C**

Όλα τα αποτελέσματα της μέτρησης σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell C

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Μέτρηση 1 (RC)	Μέτρηση 2 (RC)	Μέτρηση 3 (RC)	Μέτρηση 4 (RC)	Μέτρηση 5 (RC)	Μέσος όρος (RC)
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	26	43	3	-	-	23,75
2.	Μάρμαρο Νάξου	97	35	33	-	-	55,00
3.	Μάρμαρο Νέστου	13	33	33	-	-	23,62
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	41	29	49	-	-	37,70
5.	Γρανίτης Ιταλίας	65	2	56	-	-	41,00

Εικόνα 12.11: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell C με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.

Ακολουθεί ο πίνακας αποτελεσμάτων της εικόνας 12.12 όπου εμπεριέχει τα αποτελέσματα των μετρήσεων της Rockwell T επί των λίθινων δοκιμίων. Η μέθοδος αυτή θεωρητικά είναι ορθή καθώς μετά από προσεκτική διερεύνηση των αποτελεσμάτων, της διεξαγωγής των μετρήσεων και των αποτυπωμάτων δεν υπάρχει θραύση έντονη στην επιφάνεια των δοκιμίων και η διεξαγωγή των μετρήσεων είναι ομαλή και ορθή.

Αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας κατά Rockwell T

Όλα τα αποτελέσματα της μέτρησης σκληρότητας των λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell T

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Μέτρηση 1 (RT)	Μέτρηση 2 (RT)	Μέτρηση 3 (RT)	Μέτρηση 4 (RT)	Μέτρηση 5 (RT)	Μέσος όρος (RT)
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	74	76	70	-	-	73,33
2.	Μάρμαρο Νάξου	83	77	76	-	-	78,67
3.	Μάρμαρο Νέστου	84	79	87	-	-	83,33
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	74	76	74	-	-	74,67
5.	Γρανίτης Ιταλίας	98	97	96	-	-	97,00

Εικόνα 12.12: Πίνακας καταγραφής μετρήσεων σκληρότητας λίθινων δοκιμίων κατά Rockwell T με υπολογισμό του μέσου όρου των μετρήσεών τους.

Οι μέθοδοι που προαναφέρθηκαν έχουν προδιαγραφές κυρίως για τη μέτρηση σκληρότητας μετάλλων και όχι για τη μέτρηση σκληρότητας λίθων. Τα λίθινα δοκίμια και γενικά οι λίθοι παρουσιάζουν μεγάλη επιφανειακή σκληρότητα αλλά ταυτόχρονα μεγάλη ψαθυρότητα. Στα δοκίμια που προαναφέρθηκαν έγιναν οι προδιαγεγραμμένες μετρήσεις και σε κάποια δοκίμια έγιναν περισσότερες μετρήσεις λόγω ανομοιομορφίας εσωτερικής δομής.

Οι υπόλοιπες μέθοδοι Rockwell επιφανειακών μετρήσεων δεν εφαρμόστηκαν διότι δεν έχουν κατάλληλες προδιαγραφές για μέτρηση σκληρότητας σε λίθους και γιατί επίσης δεν υπάρχουν πίνακες ακριβείας για την άμεση μετατροπή των αποτελεσμάτων τους σε κλίμακα Vickers που χρησιμοποιείται ως κλίμακα αναφοράς.



12.3 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Mohs

12.3.1 Τα εργαλεία μέτρησης σκληρότητας κατά Mohs

Μια μέθοδος μέτρησης σκληρότητας ειδική για λίθους είναι η κλίμακα μέτρησης Mohs. Η κλίμακα

Μέτρηση σκληρότητας κατά Mohs

Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Mohs και η διάταξη μετρήσεων



Εικόνα 12.13: Ο μηχανισμός μέτρησης σκληρότητας κατά Mohs και τα εργαλεία μέτρησης στο εργαστήριο (2)

Mohs είναι μια ποιοτική τακτική κλίμακα ορυκτών που χαρακτηρίζει την αντοχή στη χάραξη της επιφάνειας των ορυκτών προς μέτρηση μέσω της ικανότητας ενός σκληρότερου υλικού να χαράξει ένα μαλακότερο.

Η μέθοδος αυτή εύρεσης της σκληρότητας μέσω χάραγματος σκληρότερων λίθων σε πιο μαλακούς είναι αρχαία μέθοδος αφού αναφέρεται από τον Θεόφραστο στη πραγματεία του περί τους λίθους το 300 π. Χ..

Στην εικόνα 12.13, απεικονίζεται η διαδικασία χάραξης και ταυτόχρονα μέτρησης ενός λίθινου δοκιμίου (1) και στο υπό σχήμα 2 της ίδιας εικόνας απεικονίζονται τα βασικά πετρώματα και παράλληλα εργαλεία χάραξης της μεθόδου αυτής του εργαστηρίου (2).

Για το προσδιορισμό της σκληρότητας, χαράζεται η επιφάνεια του προς μελέτη λίθου με ορυκτά σύγκρισης γνωστής σκληρότητας. Αυτά τα υλικά σε απόλυτη σειρά βαθμολογίας από το 1 έως το 10, είναι η τάλκη (talc), ο γύψος (gypsum), ο ασβεστίτης (calcite), ο φθορίτης (fluorite), ο απατίτης (apatite), ο άστριος (feldspar), ο χαλαζίας (quartz), το τοπάζι (topaz), το κορούνδιο (corundum) και το διαμάντι

(diamond).

Ο έλεγχος χάραξης γίνεται με γυμνό μάτι στο προς εξέταση υλικό που δημιουργήθηκε από το ορυκτό σύγκρισης. Καταγράφεται το ορυκτό με τη μεγαλύτερη σκληρότητα κατά Mohs που δε προκάλεσε χαραγιές. Στη περίπτωση υλικών που έχουν σκληρότητα που μεταβάλλεται σημειώνεται η μικρότερη κατά Mohs σκληρότητα. Η δοκιμή αυτή εκτελείται σε τρία (3) τουλάχιστον πλακίδια ή πλάκες. Σε πιο εξελιγμένα εργαλεία μέτρησης της σκληρότητας με βάση τη κλίμακα Mohs υπάρχουν πετρώματα σε ενδιάμεσους βαθμούς, όπως 0,5, 1,5, 2,5 και λοιπά.

12.3.2 Μέτρηση σκληρότητας λίθινων δοκιμών κατά Mohs και αποτελέσματα

Εδώ τα αποτελέσματα δεν χρειάζονται περαιτέρω ανάλυση λόγω της εκπληκτικής απλότητας της μεθόδου. Ο ασβεστόλιθος βρέθηκε από τη διαδικασία μέτρησης να έχει 3 βαθμούς σκληρότητας Mohs, όλες οι κατηγορίες μαρμάρου που μελετήθηκαν μετρήθηκαν στη κλίμακα αυτή και έχουν 3 βαθμούς Mohs σκληρότητας και τέλος ο γρανίτης με 5 βαθμούς σκληρότητας κατά Mohs. Με βάση βιβλιογραφικές πηγές (αναφέρονται στο κεφάλαιο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων) τα αποτελέσματα αυτά είναι λογικά και ταυτίζονται με τις ονομαστικές τιμές κάθε κατηγορίας λίθου.



12.4 Σύγκριση μετρήσεων σκληρότητας και μετατροπών τους

Επόμενο βήμα είναι η μετατροπή των αποτελεσμάτων σκληρότητας σε άλλες μεθόδους μέτρησης εφαρμόζοντας ειδικούς πίνακες μετατροπής. Οι πίνακες αυτοί σημειώνεται πως εμπεριέχουν σφάλμα μετατροπής της τάξης του 10% ανάλογα με τη μέθοδο προς μετατροπή. Εκτός από τα αποτελέσματα σκληρότητας, γίνεται μια προσπάθεια μετασχηματισμού της σκληρότητας κατά Vickers σε τάση θραύσης σ_y σε [MPa].

Σύγκριση μετρήσεων σκληρότητας και μετατροπών

Όλα τα αποτελέσματα των μετρήσεων σκληρότητας και οι επιμέρους μετατροπές τους, προς σύγκριση

A/A	Ονομασία λίθινου δοκιμίου	Vickers avg. (HV)	Rockwell B avg. (RB)	Rockwell C avg. (RC)	Rockwell B to Vickers	Rockwell C to Vickers	σ_y [MPa] *
1.	Ασβεστόλιθος Κρήτης	154,43	44,00	23,75	85	250	51,48
2.	Μάρμαρο Νάξου	127,18	38,33	55,00	Out of scale	600	42,39
3.	Μάρμαρο Νέστου	150,93	48,33	23,63	90	250	50,31
4.	Μάρμαρο Μαρμαρά	155,49	45,33	37,67	85	380	51,83
5.	Γρανίτης Ιταλίας	777,31	35,00	32,00	Out of scale	320	259,10

*Με μετατροπή από το τύπο $HV = \sigma_y \cdot 3$

Εικόνα 12.14: Πίνακας αποτελεσμάτων και μετατροπών σκληρότητας από πίνακες μετατροπής και μετασχηματισμός σκληρότητας Vickers σε τάση θραύσης σ_y [MPa].

Οι μετατροπές αυτές, απεικονίζονται στο πίνακα της εικόνας 12.14 όπου συμπεριλαμβάνονται οι μέσοι όροι των μετρήσεων σκληρότητας κατά Vickers, Rockwell C, Rockwell B, οι μετασχηματισμοί της Rockwell C σε Vickers, οι μετασχηματισμοί της Rockwell B σε Vickers και η θεωρητική τάση θραύσης σ_y σε [MPa]. Όσον αφορά τη θεωρητική τάση θραύσης σ_y αναμένεται να επαληθευτεί και με πρακτικές μεθόδους σε επόμενο κεφάλαιο. Οι βιβλιογραφικές τιμές αναφοράς που ευρέθηκαν για το κεφάλαιο των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων δείχνουν πως οι μηχανικές τάσεις αυτές είναι εντός λογικών ορίων και εντός του εύρους μηχανικών τάσεων των λίθων αυτών.



13. Διεξαγωγή πειραμάτων θλίψης εργαλείου σε λίθινα δοκίμια

Σε αυτό το κεφάλαιο, αναλύονται τα πειράματα θλίψης με το εργαλείο κρουστικής λάξευσης στα λίθινα δοκίμια που προαναφέρθηκαν στη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού.

Η διάταξη των δοκιμών θλίψης του εργαλείου
Η μηχανή θλίψης - εφελκυσμού μαζί με το έξυπνο εργαλείο και το λίθινο δοκίμιο προς θλίψη



Εικόνα 13.1: Η διάταξη των πειραμάτων θλίψης του εργαλείου, με τη μηχανή θλίψης εφελκυσμού, το έξυπνο εργαλείο και το λίθινο δοκίμιο προς θλίψη

Σκοπός των δοκιμασιών αυτών, είναι η εύρεση των ορίων θραύσης του κάθε λίθινου δοκιμίου και ο έλεγχος της διακριτότητας του εργαλείου στο φαινόμενο της θραύσης, δηλαδή αν η θραύση εντοπίζεται και μπορεί να καταγραφεί από τις ηλεκτρονικές διατάξεις του εργαλείου.

Επίσης στόχος των πειραμάτων αυτών είναι και ο έλεγχος παραμόρφωσης της σμίλης σημείου-διάτρησης και ο ταυτόχρονος έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων της κάθε κατηγορίας λίθου.

Οι προδιαγραφές των πειραμάτων αυτών είναι οι ακόλουθες:

1. Θερμοκρασία δωματίου (βέλτιστη συμπεριφορά μηκυνσιόμετρων από τον κατασκευαστή),
2. Χρήση της μηχανής θλίψης – εφελκυσμού (για τη σταθερή και διακριτή μηχανική φόρτιση του εργαλείου και την εξαγωγή ορθού προφίλ φόρτισης εργαλείου),
3. Άσκηση μηχανικών φορτίων έως 1000 Newton (διότι θεωρητικά η θραύση στη κρουστική λάξευση συμβαίνει σε λιγότερα από 500 Newton),
4. Χρήση και εξαγωγή δεδομένων φόρτισης από το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης με χρήση της σμίλης σημείου – διάτρησης,
5. Τρεις επαναλήψεις σε κάθε πλευρά του

δοκιμίου, σε διακριτή απόσταση μεταξύ των δοκιμών και από ακμές δοκιμίου (συνολικά έξι (6) δοκιμές σε κάθε λίθινο δοκίμιο).

13.1.1 Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε ασβεστόλιθο

Τα πρώτα πειράματα που παρουσιάζονται σε αυτό το κεφάλαιο αλλά και στα κεφάλαια που ακολουθούν, είναι δύο (2) επιλεγμένα από τα συνολικά έξι (6) που έχουν γίνει σε κάθε δοκίμιο. Σε αυτό το κεφάλαιο αναλύονται τα αποτελέσματα δύο (2) δοκιμών θλίψης με το εργαλείο κρουστικής λάξευσης σε δοκίμιο ασβεστόλιθου.

Στην εικόνα 12.15 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δύο πρώτων δοκιμών που έγιναν σε δοκίμιο ασβεστόλιθου. Με μπλε γραμμή, όπως και σε προηγούμενα πειράματα, συμβολίζεται το προφίλ μηχανικής φόρτισης από τη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού ενώ με μπορντό χρώμα, το προφίλ μηχανικής φόρτισης από τις ηλεκτρονικές διατάξεις και τα μηκυνσιόμετρα του εργαλείου.



Λόγω της αντίστασης του υλικού, ενώ η προδιαγραφή των πειραμάτων αυτών είναι τα 1000 N ως ανώτατο κατώφλι, σε πολλές περιπτώσεις το εφαρμοζόμενο φορτίο υπερβαίνει τα 1000 N. Αντίστοιχα λόγω της τυχαίας απόκλισης που μπορεί να εμφανίζουν τα μηκυνσιόμετρα, το προφίλ φόρτισης των μηκυνσιόμετρων τείνει να ξεκινά από τιμή διάφορη του μηδενός ακόμα και αρνητική.

Με βάση τα γραφήματα της εικόνας 12.15 γίνεται άμεσα αντιληπτό πως υπάρχουν φαινόμενα θραύσης, τόσο στιγμιαίας όσο και διαρκείας. Τα φαινόμενα θραύσης αυτά είναι εμφανή και στα δύο γραφήματα όπου υπάρχει απότομη αλλαγή μηχανικού φορτίου και πιο συγκεκριμένα, απότομη ελάττωσή του ενώ η μηχανή συνεχίζει να ασκεί μηχανικά φορτία.

Το φαινόμενο της θραύσης είναι είτε στιγμιαίο, με ραγδαία αποσάρθρωση των κόκκων του λίθου και

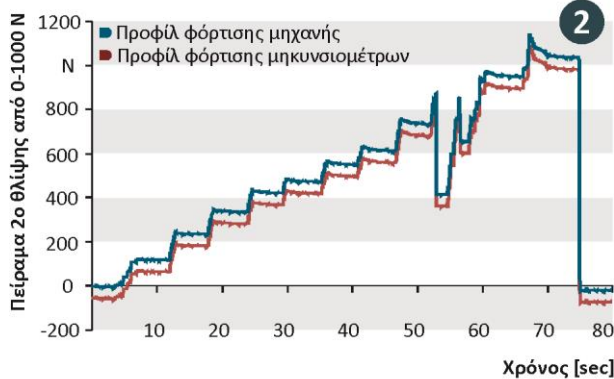
Δοκιμασία θλίψης ασβεστόλιθου

Πείραμα θλίψης στο δοκίμιο ασβεστόλιθου με τη χρήση του έξυπνου εργαλείου και της σμίλης σημείου.



στιγμιαία μηχανική αποφόρτιση (διάγραμμα 2 εικόνας 12.15) ή θραύση διαρκείας με σταδιακή, διακριτή αποσάρθρωση των κόκκων και σχετικά σταθερή μικρή αποφόρτιση μέχρι την εμφάνιση στιγμιαίας θραύσης.

Και στα δύο αυτά φαινόμενα ακούγεται ήχος θραύσης από το δοκίμιο και σε μερικές από τις δοκιμές αυτές έχει γίνει εκτός από επιφανειακή θραύση, ολική θραύση, με αποκοπή μεγάλου τμήματος λίθινου δοκιμίου.



Και στα δύο γραφήματα είναι εμφανές πως υπάρχει θραύση κοντά στα 800 N και μάλιστα στο δεύτερο γράφημα, η θραύση είναι διπλή στα 800 N.

Με βάση τα παραπάνω γραφήματα είναι ήδη κατανοητό πως το εργαλείο είναι σε θέση να εντοπίσει και να καταγράψει με πολύ καλή ακρίβεια το στιγμιαίο φαινόμενο της θραύσης και επομένως είναι λογικό να μπορεί να εντοπίσει και να καταγράψει και το φαινόμενο της κρούσης.

Εικόνα 13.2: Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο ασβεστόλιθου με τη χρήση της σμίλης σημείου

Σε αυτό το σημείο πρέπει να σημειωθεί επίσης πως όλες αυτές οι σειρές πειραμάτων του εργαλείου σε λίθινα δοκίμια έχει βιντεοσκοπηθεί με κάθε δυνατή λεπτομέρεια για περαιτέρω ανάλυσή τους.

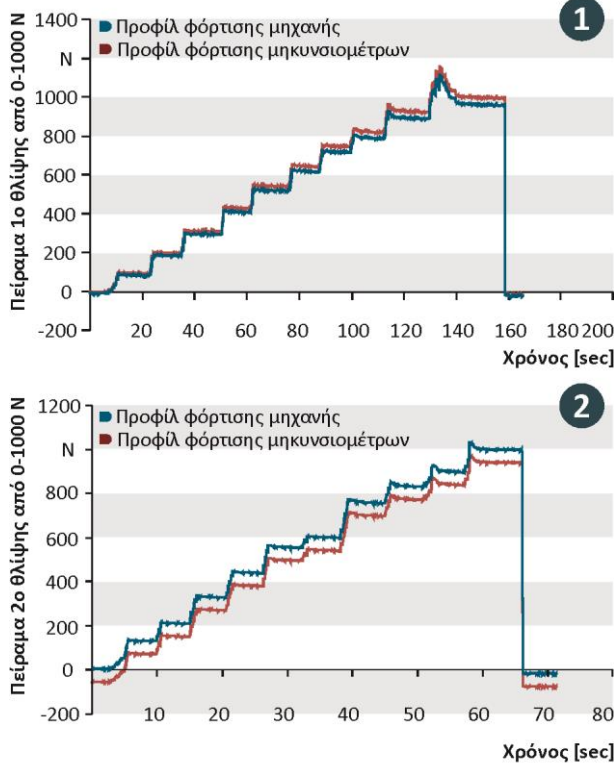


13.1.2 Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε γρανίτη

Όπως είναι ήδη γνωστό από προηγούμενα κεφάλαια, η κάθε κατηγορία λίθου είναι πολύ διαφορετική σε μηχανικές και φυσικές ιδιότητες από τη προηγούμενη, ακόμα και όταν μελετώνται λίθοι της ίδιας ποικιλίας αλλά από διαφορετικό σημείο εξόρυξης.

Δοκιμασία θλίψης γρανίτη

Πείραμα θλίψης στο δοκίμιο γρανίτη με τη χρήση του έξυπνου εργαλείου και της σμίλης σημείου.



Εικόνα 13.3: Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο γρανίτη με τη χρήση της σμίλης σημείου

αντίσταση του γρανίτη ως προς τη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού είναι σαφώς πιο έντονη από αυτή που παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα του ασβεστόλιθου, σε τιμές των 1000 και άνω Newton. Αξίζει να σημειωθεί πως σε κάθε πείραμα θλίψης, η σμίλη σημείου – διάτρησης παραμορφωνόταν ελάχιστα αλλά διακριτά ενώ η συνολική συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι χωρίς παραμόρφωση (εμφανή) και στιβαρή καθώς και οι ηλεκτρονικές διατάξεις ανεπηρέαστες στο εσωτερικό του.

Επίσης πρέπει να αναφερθεί πως το εργαλείο βαθμονομήθηκε μόνο μια φορά κατά την εκκίνηση του πρώτου πειράματος θλίψης λίθινων δοκιμίων και όλα τα πειράματα που απεικονίζονται είναι χωρίς εκ νέου βαθμονόμηση. Επίσης παρατηρείται μια επαναληπτική συμπεριφορά ως αναφορά την απόκλιση του προφίλ φόρτισης των μηχανομετρών του εργαλείου.

Όταν το εργαλείο εκτελεί πειράματα φόρτισης μετά από ώρες ηρεμίας και μη λειτουργίας του, η απόκλιση των μετρήσεων των μηχανομετρών είναι πρακτικά μηδενική ενώ σε επόμενο πείραμα ακριβώς μετά τη πρώτη δοκιμασία εμφανίζεται εκ νέου η απόκλιση. Αυτό σηματοδοτεί πιθανή ύπαρξη παραμόρφωσης στατικής των μηχανομετρών μετά το πέρας της μηχανικής τους φόρτισης για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Σε αυτό το κεφάλαιο μελετάται η απόκριση του γρανίτη σε δοκιμασίες μονοαξονικής θλίψης με τη χρήση του εργαλείου κρουστικής λάξευσης.

Στην εικόνα 12.16 απεικονίζονται τα αποτελέσματα δύο (2) δοκιμασιών θλίψης στο δοκίμιο του γρανίτη. Οι προδιαγραφές είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές που περιεγράφηκαν σε προηγούμενο κεφάλαιο.

Όπως γίνεται εμφανές από τα δύο αυτά γραφήματα, ο γρανίτης σε όλες του τις δοκιμασίες δεν παρουσιάζει καμία απολύτως θραύση, ούτε στιγμιαία αλλά ούτε και διαρκείας και όχι μόνο στα δύο εικονιζόμενα πειράματα.

Αυτό το αποτέλεσμα είναι αποδεκτό και λογικό καθώς η αντοχή θλίψης του γρανίτη είναι σχεδόν διπλάσια από ότι η αντοχή άλλων κατηγοριών λίθων. Επίσης ο γρανίτης χαρακτηρίζεται από τριπλάσια σχεδόν επιφανειακή σκληρότητα σε σχέση με άλλους λίθους, ένας ακόμα παράγοντας για τη μη εύκολη θραύση του.

Επίσης, γίνεται εύκολα αντιληπτό πως η αντίσταση του γρανίτη ως προς τη μηχανή θλίψης – εφελκυσμού είναι σαφώς πιο έντονη από αυτή που παρατηρήθηκε στα αποτελέσματα του ασβεστόλιθου, σε τιμές των 1000 και άνω Newton. Αξίζει να σημειωθεί πως σε κάθε πείραμα θλίψης, η σμίλη σημείου – διάτρησης παραμορφωνόταν ελάχιστα αλλά διακριτά ενώ η συνολική συναρμολόγηση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης είναι χωρίς παραμόρφωση (εμφανή) και στιβαρή καθώς και οι ηλεκτρονικές διατάξεις ανεπηρέαστες στο εσωτερικό του.

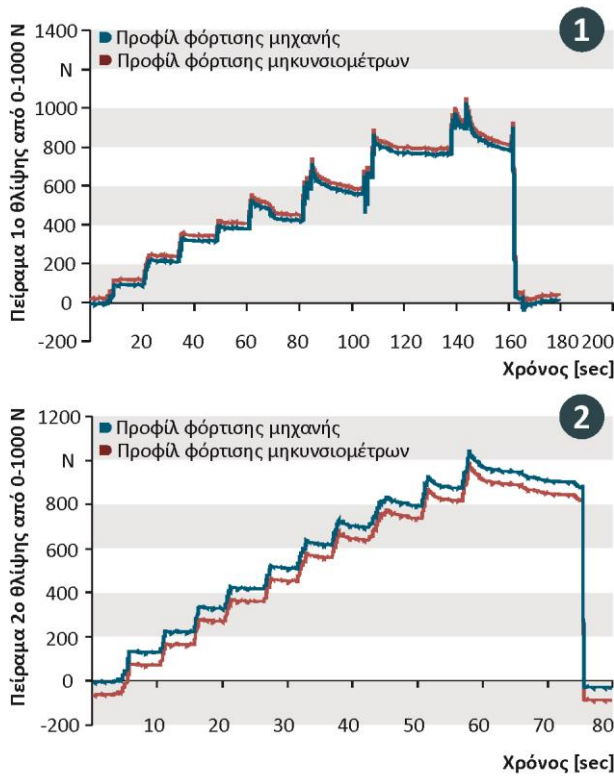


13.1.3 Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Νάξου

Επόμενα σε σειρά είναι οι δοκιμασίες θλίψης του εργαλείου σε μάρμαρο Νάξου. Η διαδικασία είναι ακριβώς η ίδια με αυτή που περιεγράφηκε σε προηγούμενα κεφάλαια. Στην εικόνα 12.17 απεικονίζονται τα αποτελέσματα δύο εκ των έξι πειραμάτων θλίψης με τη σμίλη σημείου – διάτρησης σε δοκίμιο μαρμάρου Νάξου.

Δοκιμασία θλίψης μαρμάρου Νάξου

Πείραμα θλίψης στο δοκίμιο μαρμάρου Νάξου με τη χρήση του έξυπνου εργαλείου και της σμίλης σημείου.



Εικόνα 13.4: Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Νάξου με τη χρήση της σμίλης σημείου

Όπως φαίνεται και από το πρώτο γράφημα της εικόνας 12.17 υπάρχει μια μικρή στιγμιαία θραύση στα 600 Newton και μια ακόμα ολική θραύση διάρκειας στα 1000 Newton όπου και αποκόπτεται τμήμα του λίθου.

Στη πτώση του εργαλείου από τη διάταξη, με την ολική αποσάρθρωση του λίθινου τμήματος γίνεται εμφανές στο γράφημα ακόμα και η μικρή κρούση του εργαλείου με το έδρανο της μηχανής. Αυτό συνεπάγεται σε μεγάλη διακριτική ικανότητα των ηλεκτρονικών διατάξεων και πολύ ταχύ κύκλο καταγραφής δεδομένων του εργαλείου.

Ενώ στη πρώτη δοκιμασία σημειώνονται δύο (2) θραύσεις, στη δεύτερη δοκιμασία στο ίδιο δοκίμιο δεν υπήρξε θραύση. Αυτό είναι αποτέλεσμα της τρομερής ανομοιομορφίας της εσωτερικής μορφής των λίθων και των νερών δημιουργίας τους.

Επιπρόσθετα παρατηρείται πάλι η απόκλιση των μετρήσεων των μηχανοσυστημάτων στη δεύτερη μέτρηση / δοκιμασία. Σε αυτό το σημείο έχει γίνει αποδεκτό πως επαναληψιμότητα σε

δοκιμές με αυτές τις προδιαγραφές και τα δοκίμια λίθων δε μπορεί να υπάρξει.

Επίσης, πρέπει να αναφερθεί πως η επιλογή του σημείου κάθε δοκιμής και εναπόθεσης της σμίλης σημείου – διάτρησης έχει καθοριστικό ρόλο στη συμπεριφορά του υλικού. Αυτό συμβαίνει διότι το κάθε δοκίμιο, ο κάθε λίθος έχει νερά δημιουργίας, ακριβώς όπως το ξύλο, ασυνέχειες, καθώς και ακαθαρσίες στην εσωτερική του δομή. Κάθε ένα από αυτά τα στοιχεία συμβάλουν ραγδαία στην αύξηση ή τη μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων του λίθου, με τρόπο μη προβλέψιμο και επομένως της αντοχής τους σε θλίψη και του παράγοντα ολικής ή επιφανειακής θραύσης.

Οι επιφανειακές θραύσεις όπου το μηχανικό τους προφίλ απεικονίζεται στα διαγράμματα, είναι άγνωστο το πόσο βαθιά έχουν δημιουργήσει ρηγματώσεις στο δοκίμιο του λίθου και προς ποια κατεύθυνση. Αυτά τα στοιχεία είναι εξαιρετικά δύσκολο να προσδιορισθούν. Ακολουθούν οι επόμενες δοκιμασίες θλίψης του εργαλείου στα επόμενα λίθινα δοκίμια.

13.1.4 Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Νέστου

Σειρά έχει το μάρμαρο Νέστου. Όλα τα μάρμαρα που εξετάζονται στη παρούσα μεταπτυχιακή εργασία έχουν το ίδιο χαρακτηριστικό, αυτό της έντονης κρυσταλλικής δομής. Σε αυτά τα δοκίμια η θραύση είναι πιο έντονη, ακολουθούμενη από έντονο ήχο.

Δοκιμασία θλίψης μαρμάρου Νέστου

Πείραμα θλίψης στο δοκίμιο μαρμάρου Νέστου με τη χρήση του έξυπνου εργαλείου και της σμίλης σημείου.



Εικόνα 13.5: Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Νέστου με τη χρήση της σμίλης σημείου

Θραύση με έντονο ήχο.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί ότι σε κάθε δοκιμασία και εξαγόμενο γράφημα, το εργαλείο είναι σταθερό σε ένα συγκεκριμένο σημείο, πλήρως κάθετο ως προς το λίθινο δοκίμιο. Με βάση αυτό το δεδομένο, οι αλληπάλληλες και συνεχόμενες θραύσεις συμβαίνουν σε διαφορετικά εσωτερικά στρώματα ή επίπεδα του λίθινου δοκίμιου. Με τη θραύση του πρώτου στρώματος, η σμίλη σημείου – διάτρησης προχωρά και σταθεροποιείται στο επόμενο στρώμα μέχρι και αυτό να μην αντέξει την εφαρμοζόμενη μηχανική δύναμη.

Δεν υπάρχει όμως κάποιος κανόνας που να θέτει ότι τα πιο χαμηλά στρώματα είναι πιο ανθεκτικά και καθ' αυτό το κριτήριο είναι ορθό να εμφανίζονται πολλαπλές θραύσεις με όλο και πιο μικρή ανοχή σε μηχανική φόρτιση.

Στην εικόνα 12.18 απεικονίζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψης με το εργαλείο κρουστικής λάξευσης στο μάρμαρο Νέστου. Είναι εμφανές απευθείας πως και στα δύο εικονιζόμενα γραφήματα συμβαίνουν δύο (2) θραύσεις.

Στο πρώτο γράφημα, γίνεται επιφανειακή, στιγμιαία θραύση του δοκίμιου σε μηχανικό φορτίο της τάξης των 800 Newton, ενώ σε μηχανικό φορτίο 1000 Newton γίνεται δεύτερη θραύση διαρκείας.

Οι θραύσεις διαρκείας, διαχωρίζονται από τις στιγμιαίες θραύσεις λόγω της αρχικής σταδιακής αποσάρθρωσης των κόκκων ακολουθούμενη από ραγδαία αποσάρθρωση και μείωση της μηχανικής φόρτισης. Στα γραφήματα που παρουσιάζονται οι θραύσεις διαρκείας χαρακτηρίζονται από καμπύλες μείωσης φορτίου.

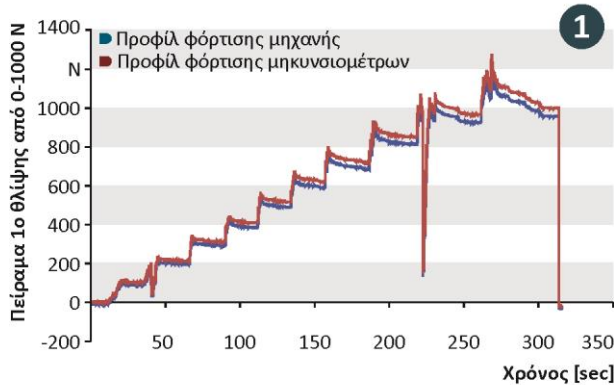
Στο δεύτερο γράφημα της εικόνας 12.18 είναι εμφανείς δύο θραύσεις στιγμιαίες στην ίδια ακριβώς τιμή μηχανικού φορτίου, τα 1000 Newton. Σε καμία όμως από τις θραύσεις αυτές, σε κανένα από τα δύο πειράματα δε γίνεται ολική αποκοπή τμήματος αλλά επιφανειακή

13.1.5 Πείραμα μονοαξονικής θλίψης σε μάρμαρο Μαρμαρά

Τέλος, σειρά έχει το μάρμαρο Μαρμαρά. Τα αποτελέσματα των δοκιμών θλίψεων του εργαλείου πάνω στο δοκίμιο μαρμάρου Μαρμαρά εμφανίζονται στα γραφήματα της εικόνας 12.19. Είναι εμφανές και σε αυτά τα δεδομένα πως εντοπίζεται και καταγράφεται το φαινόμενο της θραύσης.

Δοκιμασία θλίψης μαρμάρου Μαρμαρά

Πείραμα θλίψης στο δοκίμιο μαρμάρου Μαρμαρά με τη χρήση του έξυπνου εργαλείου και της σμίλης σημείου.



Και στα δύο εικονιζόμενα αποτελέσματα πειραμάτων, υπάρχει θραύση. Στο πρώτο γράφημα στιγμιαία, ενώ στο δεύτερο γράφημα θραύση διαρκείας. Και τα δύο αυτά γραφήματα παρουσιάζουν ιδιομορφίες.

Αρχικά στο πρώτο γράφημα είναι ορατό πως εάν και η θραύση ξεκινά στα 1000 Newton μηχανικής φόρτισης, η θραύση είναι τόσο έντονη όπου σχεδόν αποφορτίζεται τελείως το δοκίμιο. Σε όλα τα προηγούμενα γραφήματα που μελετήθηκαν η αποφόρτιση κατά τη θραύση είναι περίπου 400-500 Newton.



Στο δεύτερο γράφημα υπάρχει θραύση εξ ολοκλήρου διαρκείας χωρίς βίαια αποσάρθρωση και απότομη μηχανική αποφόρτιση. Η μηχανική αποφόρτιση που εμφανίζεται σε αυτή τη περίπτωση είναι της τάξης των 200 Newton.

Εκτός από τη θραύση διαρκείας, στο δεύτερο γράφημα θα αναμενόταν λογικά και δεύτερη θραύση στιγμιαία κοντά στη περιοχή μηχανικής φόρτισης των 1000 Newton, πράγμα που δε συμβαίνει και καταδεικνύει τη μη επαναληπτική συμπεριφορά των λίθων σε δοκιμασίες θλίψης

Εικόνα 13.6: Αποτελέσματα θλίψης εργαλείου σε δοκίμιο μαρμάρου Μαρμαρά με τη χρήση της σμίλης σημείου

τέτοιου είδους.



14. Αξιοποίηση αποτελεσμάτων

Από τη συνολική διεξαγωγή των πειραμάτων και χρήση του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης συμπεραίνεται πως το εργαλείο είναι ικανό να αντέξει μεγάλα μηχανικά φορτία σε πολλαπλούς κύκλους φόρτισης. Παράλληλα οι ηλεκτρονικές διατάξεις έχουν τη διακριτική ικανότητα και το κατάλληλο χρόνο κύκλου ώστε να εντοπίζεται και να καταγράφεται το φαινόμενο και της κρούσης αλλά και της θραύσης, τόσο στιγμιαίας όσο και της θραύσης διαρκείας.

Είναι εμφανές πως υπάρχουν προβλήματα προς επίλυση και πολλοί τομείς του εργαλείου προς βελτιστοποίηση. Τα κυριότερα των προβλημάτων αυτών προς επίλυση είναι η απόκλιση των μετρήσεων των μηχανομετρών, η αύξηση απόστασης λειτουργίας της σύνδεσης μέσω Bluetooth και η συναρμολόγηση των καλυμμάτων του τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών.

Τα αποτελέσματα παρακολούθησης του μηχανικού φορτίου θεωρούνται αποδεκτά και ανοίγουν το δρόμο για τη καταγραφή όλης της διαδικασίας κρουστικής λάξευσης και όχι μόνο στοχευμένων πειραμάτων.

Η διαδικασία λειτουργίας του εργαλείου, παραμένει σταθερή σε όλους τους τύπους πειραμάτων επιτρέποντας με αυτό τον τρόπο, σταθερή και ορθή δειγματοληψία και καταγραφή όλων των παραμέτρων των ηλεκτρονικών διατάξεων, με όλους τους τρόπους καταγραφής.

15. Συμπεράσματα και μελλοντική εξέλιξη

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η συναρμολόγηση ενός πρότυπου έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, ικανό να μετράει και να καταγράφει πρωτογενή δεδομένα της διαδικασίας της κρουστικής λάξευσης. Σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του εργαλείου, από το σχεδιασμό έως και τα πειράματα ορθής λειτουργίας του, υπήρξε μεγάλο τμήμα έρευνας σε διάφορους τομείς όπως ενδεικτικά η γλυπτική, τα εργαλεία, η εφαρμογή του και οι μηχανικές και φυσικές ιδιότητες των λίθων.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή, συναρμολόγηση και λειτουργία του έξυπνου εργαλείου λάξευσης, απαίτησε τη τέλεια συνεργασία πολλών επιστημονικών τομέων όπως της μηχανολογίας, της ηλεκτρολογίας- ηλεκτρονικής, της πληροφορικής, των δομικών αλλά και των γλυπτικών τεχνών. Παράλληλα, το πρότυπο αυτό έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης όντας μια καινούρια και καινοτόμα ιδέα, χρειάστηκε τη προστασία εφεύρεσης με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Επομένως ο σχεδιασμός του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης αλλά και η κατασκευή του, ακολούθησαν πιστά τα πρότυπα σχεδιασμού και ανάπτυξης βιομηχανικών προϊόντων.

Στο πέρας της εργασίας αυτής, υπήρξαν αρκετοί τομείς όπου δεν υπήρχε διαθέσιμη τεχνογνωσία, όπως χαρακτηριστικά η εφαρμογή των μηχανομετρών για αναγνώριση και καταγραφή φαινομένων κρούσης και χρειάστηκε τόσο χρόνος για την έρευνα εφαρμογής τους όσο και μεγάλα χρηματικά ποσά για τα αναλώσιμα. Άλλος ένας τομέας που χρειάστηκε διερεύνηση ήταν οι φυσικές και μηχανικές ιδιότητες των λίθων. Ο λόγος διερεύνησής τους χρησίμευσε στην ανάλυση και πρόβλεψη συμπεριφοράς του εργαλείου κατά τις κατεργασίες στους λίθους αυτούς, δεδομένου ότι κάθε κατηγορία λίθων παρουσιάζει διαφορετικές μηχανικές και φυσικές ιδιότητες.

Σε όλα τα βήματα σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας υπήρξαν εμπόδια, τα οποία λύθηκαν σταδιακά με επανασχεδιασμούς τμημάτων του εργαλείου, πολλές αλλαγές στο κώδικα λειτουργίας αλλά και πληθώρα αλλαγών στα επιμέρους ηλεκτρονικά εξαρτήματα του εργαλείου μέχρι να βρεθεί ένας αξιόπιστος και λειτουργικός συνδυασμός που θα ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις και τα κριτήρια λειτουργίας που τέθηκαν.



Το εργαλείο αυτό αποτελεί μια καλή και λειτουργική αρχή για τη κατανόηση και χαρτογράφηση της τέχνης της γλυπτικής και όλων των τεχνικών όπου μέχρι τώρα είναι σε εμπειρικό επίπεδο και όχι μαθηματικό. Με βάση τα πειράματα που διεξάχθηκαν κατά τη συγγραφή αυτής της πτυχιακής εργασίας συμπεραίνεται πως η λειτουργία του είναι ορθή και είναι ικανό με μεγάλη ακρίβεια να καταγράψει τα απαραίτητα δεδομένα που προαναφέρθηκαν διατηρώντας πρακτικά μηδενικές παραμορφώσεις στα κύρια τμήματα του εργαλείου.

Εάν και πλέον το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης είναι λειτουργικό και τηρεί τις προδιαγραφές σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας, μπορεί και πρέπει να εξελιχθεί περαιτέρω. Για την περαιτέρω εξέλιξη του εργαλείου αυτού είναι απαραίτητη η διεξαγωγή επιπλέον πειραμάτων κρουστικής λάξευσης σε λίθους, με πλήρη καταγραφή των δεδομένων των κατεργασιών και έπειτα προσεκτική ανάλυσή τους. Επιπρόσθετα, πρέπει να γίνει εκτενής έλεγχος των σμιλών σε πραγματικές συνθήκες κατεργασιών ώστε να ελεγχθεί και να βελτιστοποιηθεί η κατασκευή των εναλλάξιμων σμιλών.

Σε επόμενο στάδιο εξέλιξης το έξυπνο εργαλείο κρουστικής λάξευσης πρέπει να είναι ικανό να λειτουργήσει ορθά και να εξάγει δεδομένα όντας συνδεδεμένο σε ειδική βάση σε πνευματικό κρουστικό σφυρί. Αυτό απαιτεί από τη μια πλευρά ανασχεδιασμό και κατασκευή του κύριου οπίσθιου τμήματος και από την άλλη πλευρά όσο το δυνατότερο μικρότερο κύκλο δειγματοληψίας σε συνδυασμό με τη τέλεια σταθεροποίηση και βαθμονόμηση των ηλεκτρονικών διατάξεων του εργαλείου.



Βιβλιογραφία

- [1] Stone Sculpture https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_sculpture
- [2] Stone Carving https://en.wikipedia.org/wiki/Stone_carving
- [3] Stones used in Sculpture http://www.thesculpturestudio.com/types_of_stone_for_carving.html
- [4] Tools used in Sculpture http://www.thesculpturestudio.com/stone_carving_tools.html
- [5] W. Wootton, B. Russell, P. Rockwell, "The art of making in antiquity – Stoneworking Tools and toolmarks", 2013, <http://www.artofmaking.ac.uk/content/essays/2-stoneworking-tools-and-toolmarks-w-wootton-b-russell-p-rockwell/>
- [6] Εταιρία προϊόντων λατομίας, <http://www.marmil.gr/>
- [7] The art of making in antiquity – Stoneworking in the Roman world, <http://www.artofmaking.ac.uk/explore/tools/>
- [8] Trow and Holden – Carbide Tools, <http://www.trowandholden.com/carbidetech.php>
- [9] Α. Παπαγιαννοπούλου, Προϊστορική και Κλασική Τέχνη, σ. 176-182.
- [10] Γ. Κοκκορού-Αλευρά, Η τέχνη της αρχαίας Ελλάδας, σ. 186-195.
- [11] Πυριγενή πετρώματα, http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_igneous.htm
- [12] Ιζηματογενή πετρώματα, http://www.geo.auth.gr/106/theory/pet_sedimentary.htm
- [13] Αμπελακιώτιου Θεοδώρα, Νικολάρου Παναγιώτα, πτυχιακή εργασία «Πέτρινα γεφύρια στο νομό Λακωνίας», σ. 2-19
- [14] Αιμ. Γ. Κορωναίος, Γ. Ι. Πουλάκος, Τεχνικά Υλικά Τόμος 4, εκδόσεις Ε.Μ.Π., 2006, <http://www.ntua.gr/vitruvius/2005/ty4.pdf>
- [15] Ο γρανίτης, <https://en.wikipedia.org/wiki/Granite>
- [16] Ο ψαμμίτης, <https://en.wikipedia.org/wiki/Sandstone>
- [17] Ασβεστόλιθος, <https://en.wikipedia.org/wiki/Limestone>
- [18] Το μάρμαρο, <https://en.wikipedia.org/wiki/Marble>
- [19] Ο σαπωνόλιθος, <https://en.wikipedia.org/wiki/Soapstone>
- [20] Ο αλάβαστρος, <https://en.wikipedia.org/wiki/Alabaster>
- [21] Οδηγός γλυπτικής, <http://www.wikihow.com/Carve-Stone>
- [22] Μηχανικές ιδιότητες λίθων <http://www.mineralszone.com/stones>
- [23] Μηχανικές ιδιότητες γρανίτη <http://www.mineralszone.com/stones/granite.html>
- [24] Μηχανικές ιδιότητες ψαμμίτη <http://www.mineralszone.com/stones/sandstone.html>
- [25] Μηχανικές ιδιότητες ασβεστόλιθου <http://www.mineralszone.com/stones/limestone.html>
- [26] Μηχανικές ιδιότητες σαπωνόλιθου <http://www.traditionaloven.com/articles/691/soapstone-data-info>
- [27] Abd. El-Tawab, Askalany, M., Study of durability of alabaster used in the temples of Luxor and Karnak and laboratory evaluation of consolidation treatment, Egyptian Journal of Archaeological and Restoration Studies, Volume 1, Issue2, December – 2011: pp: 15 – 32
- [28] Μηχανικές ιδιότητες Χάλυβα 304, <http://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=965>
- [29] Μηχανικές ιδιότητες ανοξείδωτου Χάλυβα 304, <http://asm.matweb.com/search/SpecificMaterial.asp?bassnum=MQ304A>
- [30] Μηχανικές ιδιότητες εναλλακτικών επιλογών χάλυβα, <http://www.bosunsupplies.com/StainlessInfo2/>
- [31] Omega's Rapid Cure Strain Gauge Adhesive Manual – User's guide
- [32] D. W. Kessler, Wear resistance of natural stone flooring, Part of bureau of standards journal of research, Vol. 11, November 1933: pp: 635 - 637
- [33] P. Zhang, S.X. Li, Z.F. Zhang, General relationship between strength and hardness, Materials science and engineering A 529, 2011: pp: 62 – 73
- [34] T. G. Digges, Effect of lathe cutting conditions on the hardness of carbon and alloy steels, Bureau of standards journal of research, Vol. 10, December 1932: pp: 516 – 517



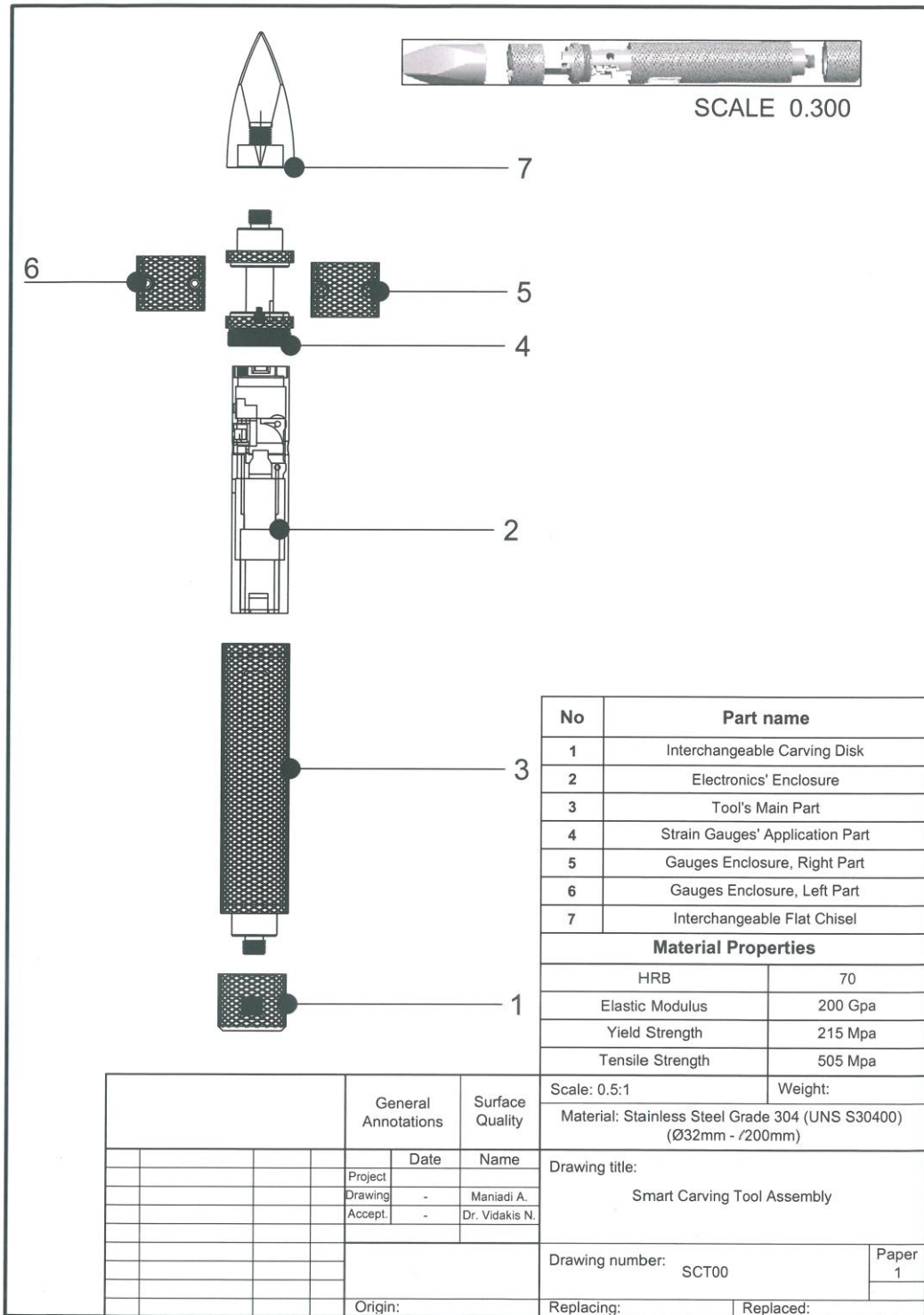
- [35]B. Das, Vicker's Hardness Concept in the light of Vicker's Impression, Int. Journal of Rock Mechanics, Mineral Sci. & Geomechanical Abstr., Vol. 11, February 1974: pp: 85 – 89
- [36]Ονομαστικές τιμές σκληρότητας κατά Vickers για ασβεστόλιθο και γρανίτη, http://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/mw1_ge/kap_8/advanced/t8_4_2.html
- [37]Ονομαστικές τιμές σκληρότητας κατά Vickers για διάφορες ποικιλίες μαρμάρων, http://www.maden.org.tr/resimler/ekler/522071d5da5bdde_ek.pdf
- [38]Πίνακες μετατροπής μετρήσεων σκληρότητας, <http://www.carbidedepot.com/formulas-hardness.htm>
- [39]D. Chicot, D. Mercier, F. Roudet, K. Silva, M.H. Staia, J. Lesage, Comparison of instrumented Knoop and Vickers hardness measurements on various soft materials and hard ceramics, Journal of the European Ceramic Society, Vol. 27, 2007: pp: 1905–1911
- [40]Christopher Mark, John Rusnak, using the point load test to determine the uniaxial compressive strength of coal measure rock
- [41]Smith HJ. The Point Load Test for Weak Rock in Dredging Applications. Int. Journal Rock Mech. Min. Sci 34, No. 3-4, 1997, Paper No. 295.
- [42]W. F. Brace, Behavior of Rock Salt, Limestone, and Anhydrite during Indentation, journal of Geophysical Research, Vol. 65, 1960, Paper No. 6
- [43]William A. Olsson, Grain Size Dependence of Yield Stress in Marble, Journal of geophysical research, Vol. 79, 1974, Paper No. 32
- [44]Brace, W. F., Dependence of fracture strength of rocks on grain size, Fourth Symposium on Rock Mechanics, Pa. State Univ. Miner. Ind. Exoe. Sta. Bull., 1961: pp:76, 99-103



Παράρτημα

16.1 Κατασκευαστικά σχέδια

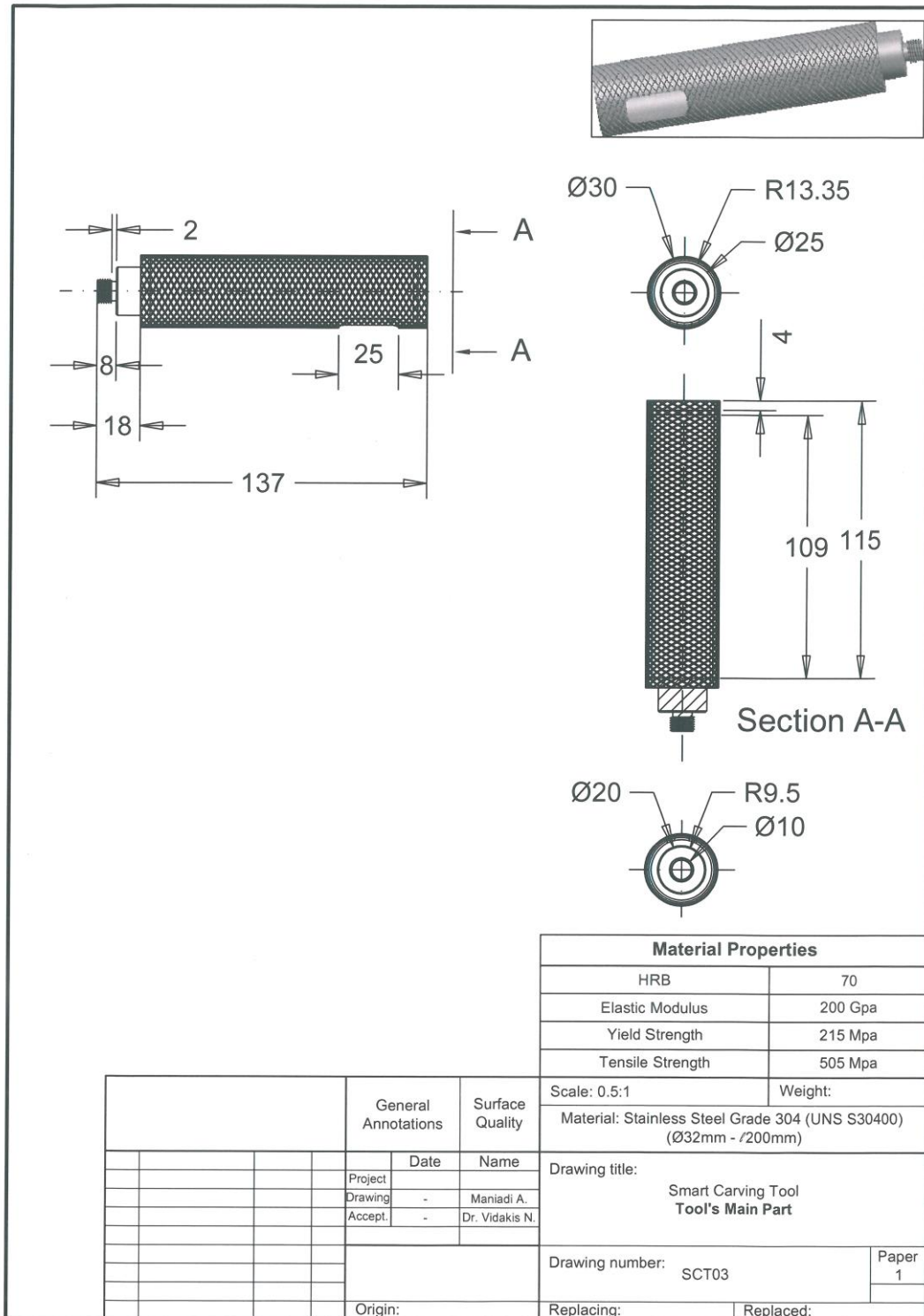
16.1.1 Μηχανολογικό σχέδιο συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



Εικόνα 15.1: Σχέδιο συναρμολόγησης έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, με κατάλογο τεμαχίων και προδιαγραφές κύριου υλικού κατασκευής



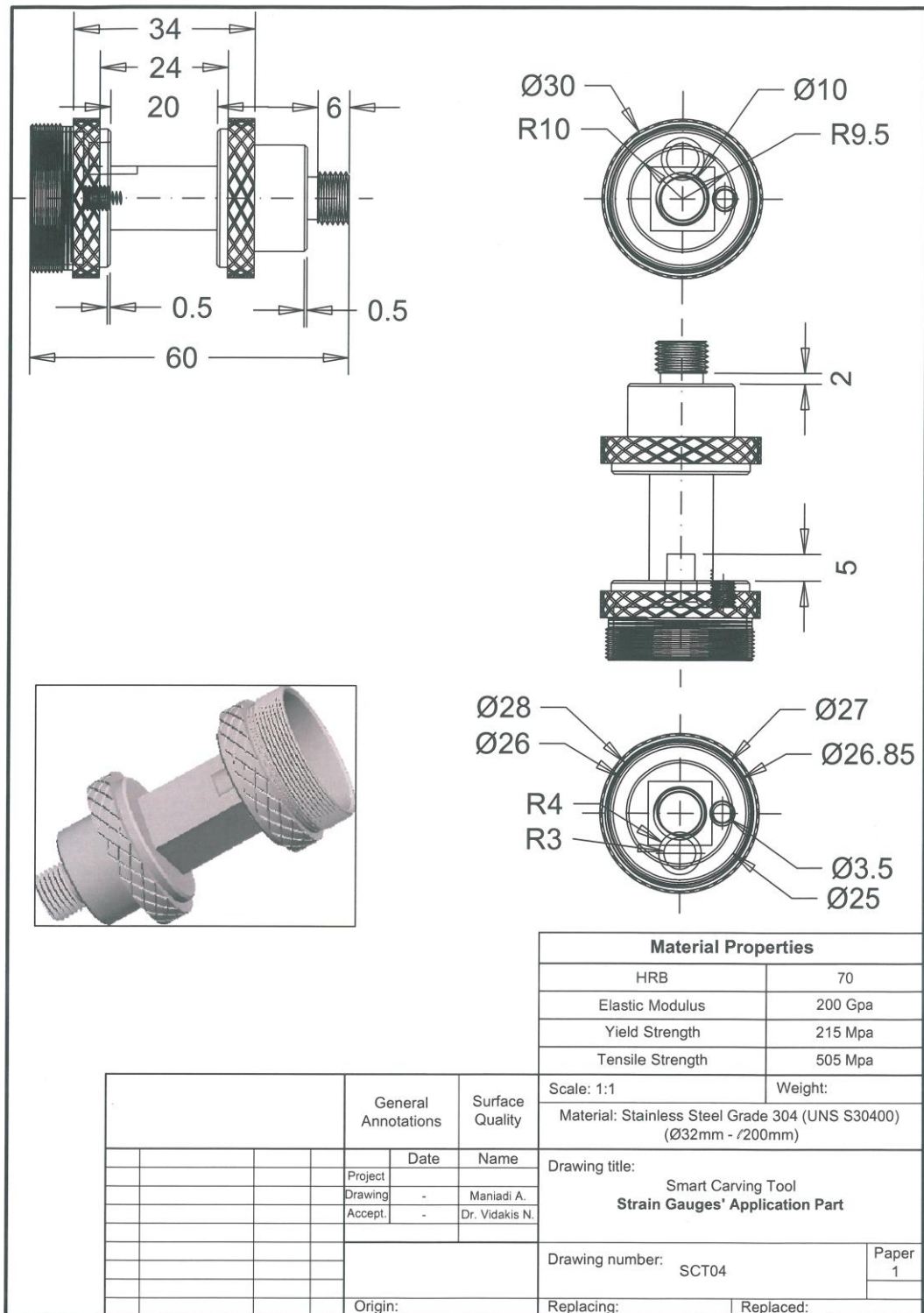
16.1.3 Κατασκευαστικά σχέδια κύριου μεταλλικού τμήματος



Εικόνα 15.3: Κατασκευαστικό σχέδιο κύριου τμήματος έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης



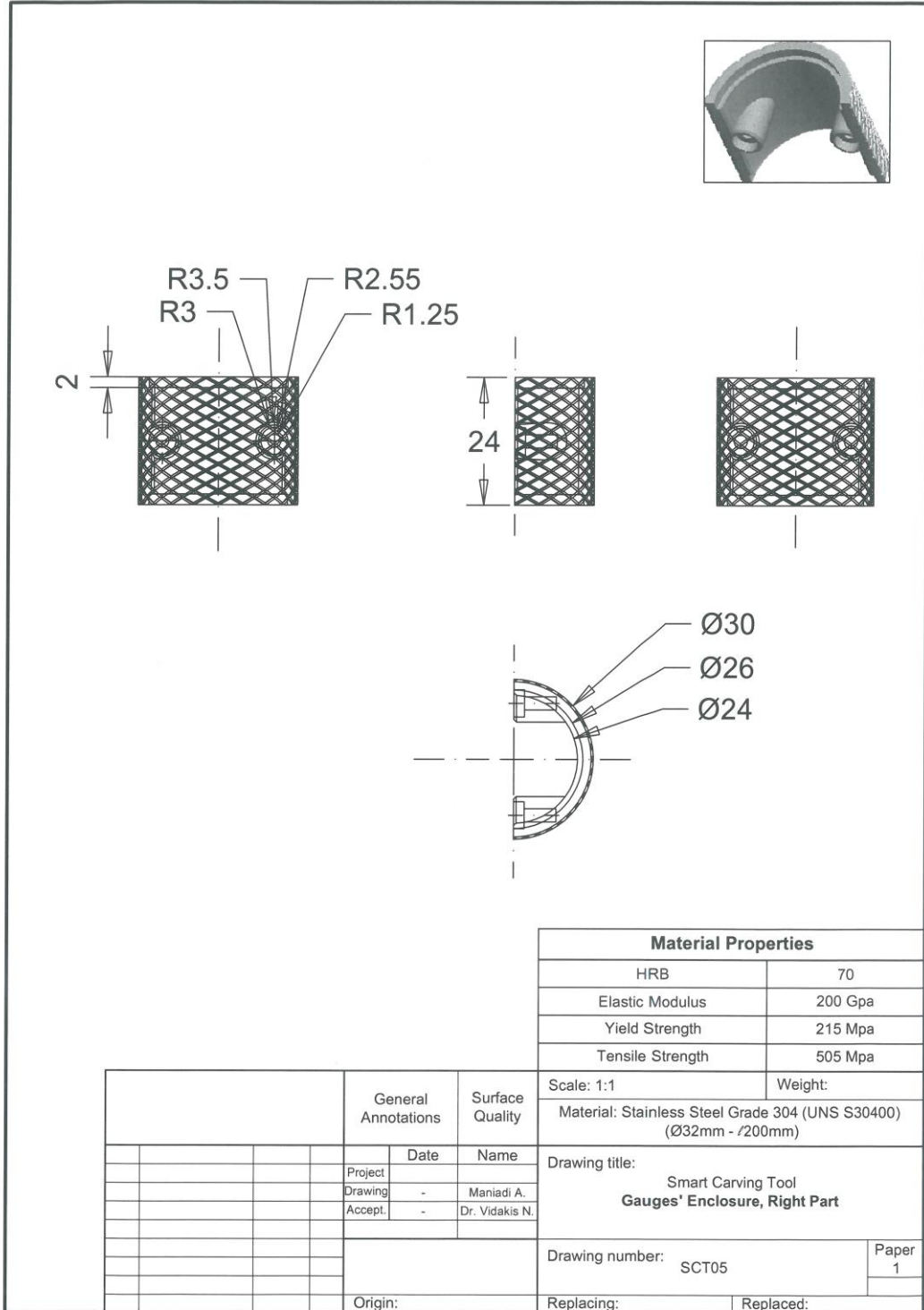
16.1.4 Κατασκευαστικά σχέδια τμήματος εφαρμογής μηχανομετρών



Εικόνα 15.4: Κατασκευαστικό σχέδιο τμήματος εφαρμογής των μηχανομετρών



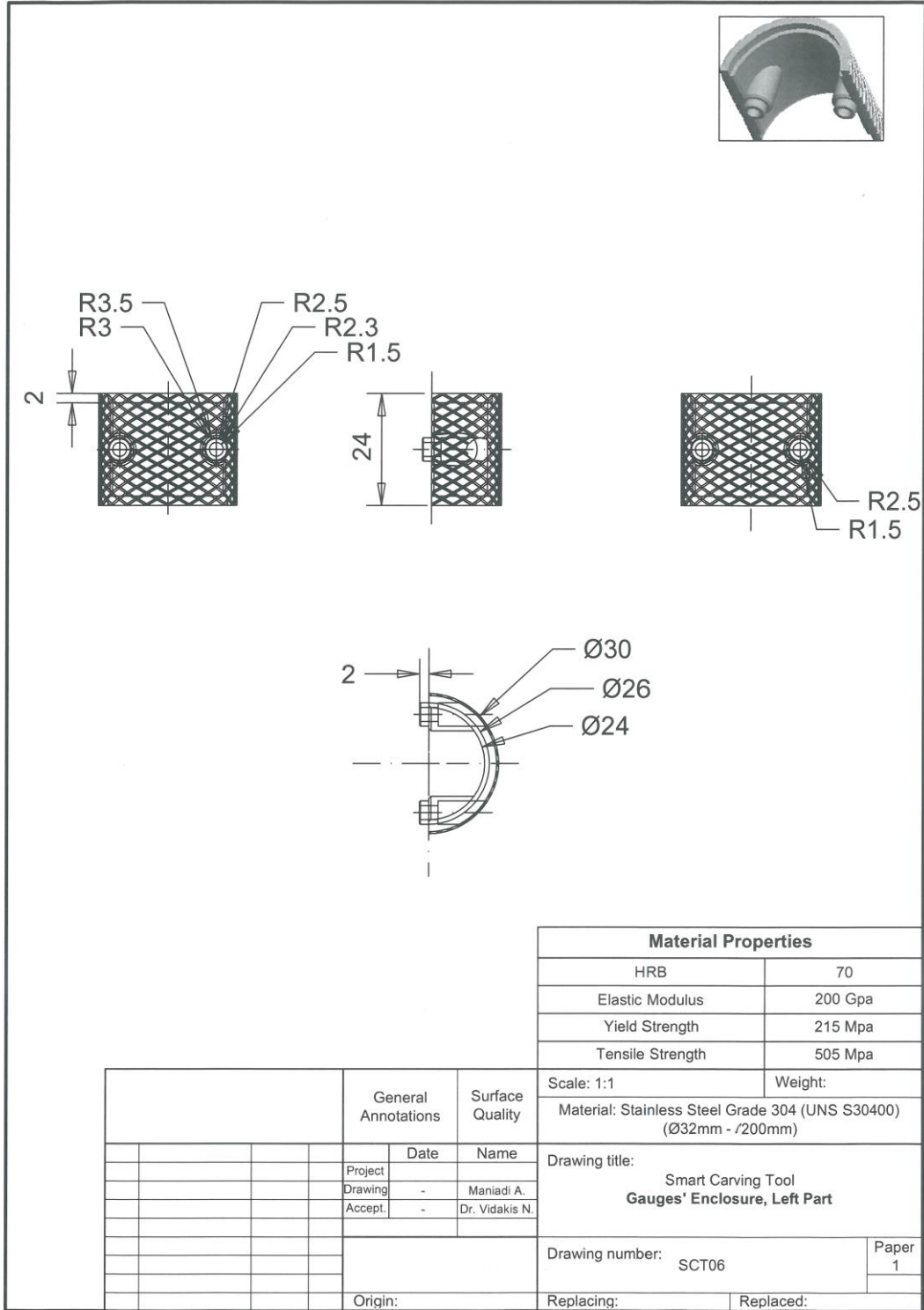
16.1.5 Κατασκευαστικά σχέδια δεξιού καλύμματος τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων



Εικόνα 15.5: Κατασκευαστικό σχέδιο καλύμματος, δεξιού, τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων



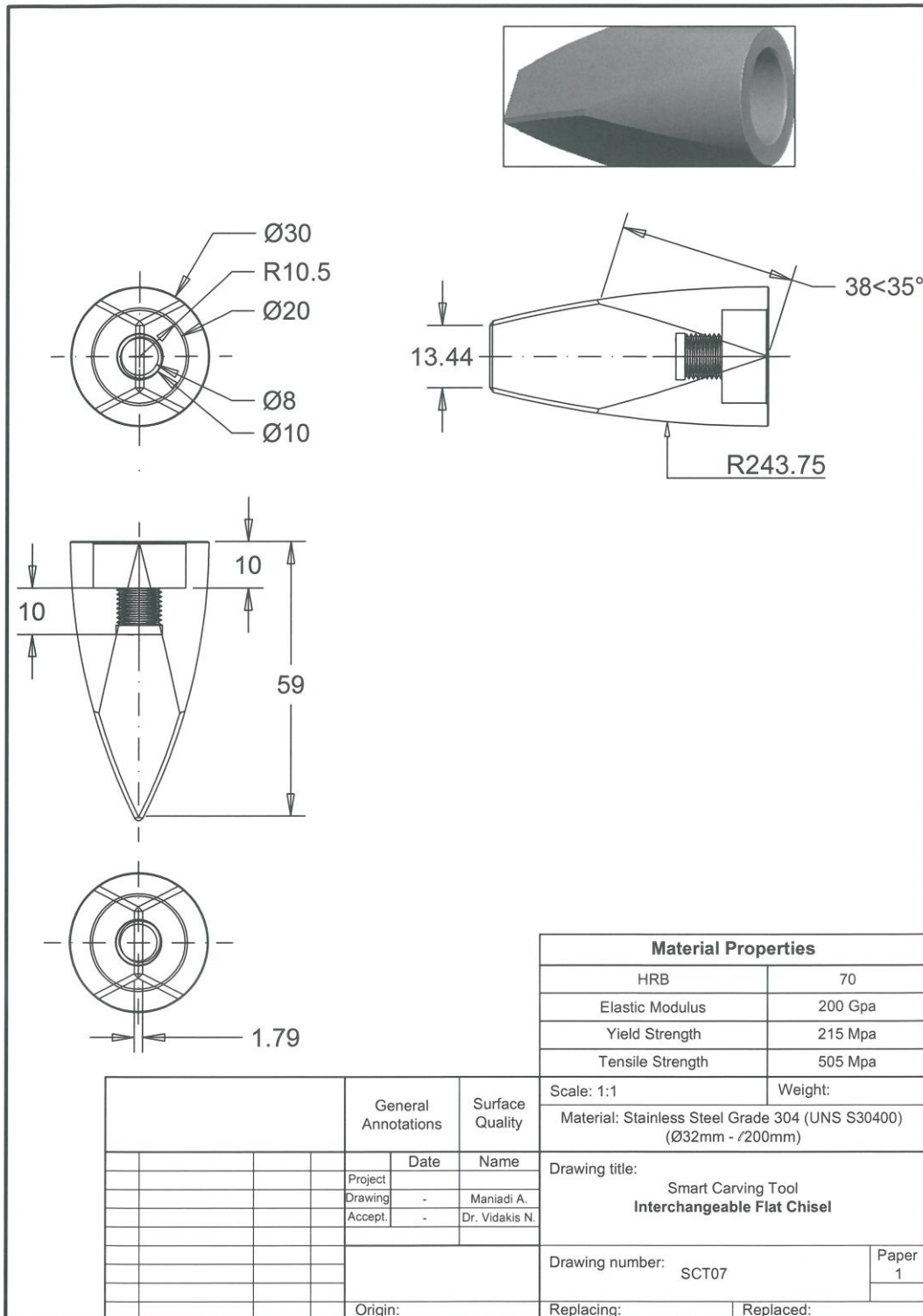
16.1.6 Κατασκευαστικά σχέδια αριστερού καλύμματος τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων



Εικόνα 15.6: Κατασκευαστικό σχέδιο καλύμματος, αριστερού, τμήματος εφαρμογής των μηκυσιομέτρων



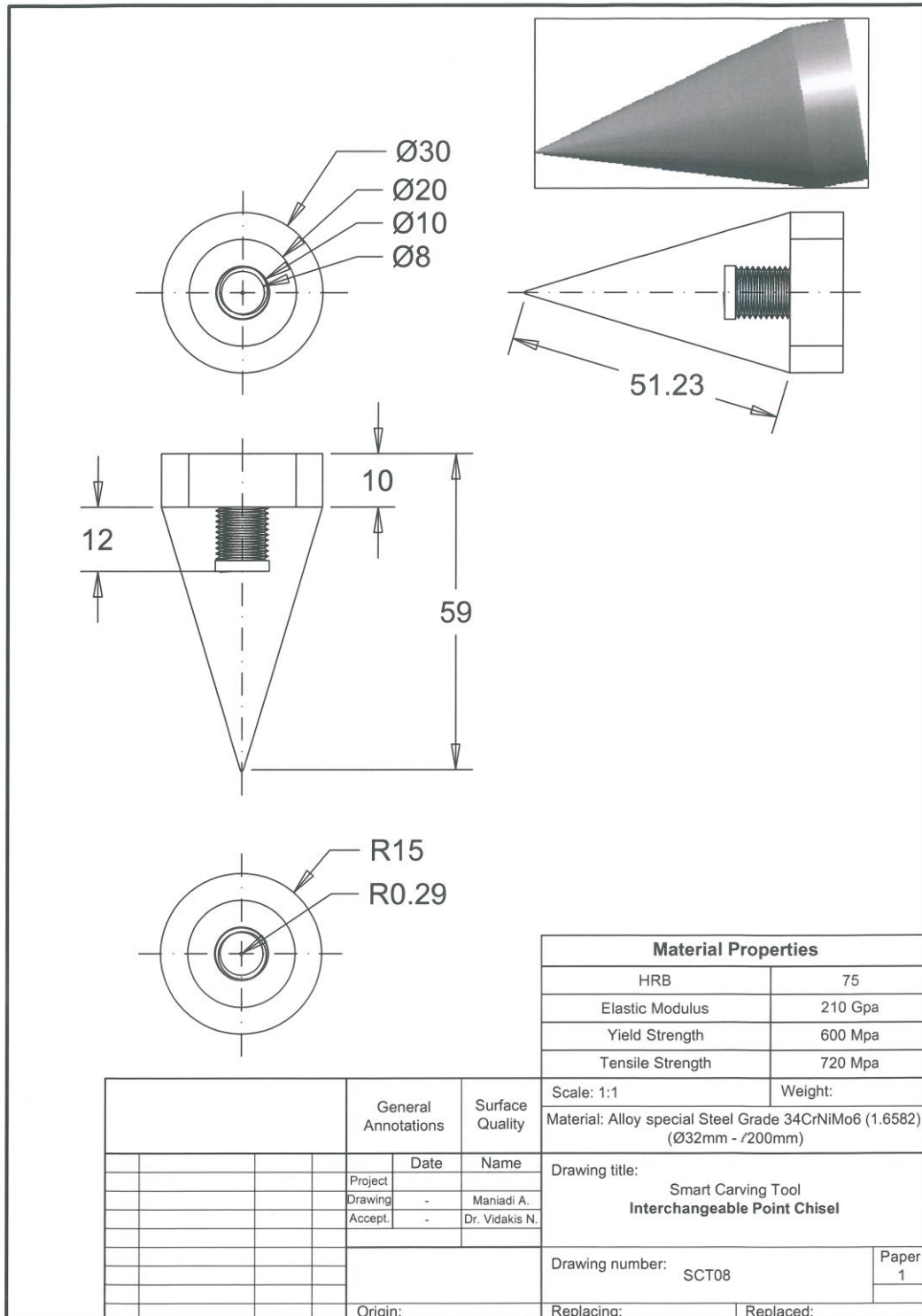
16.1.7 Κατασκευαστικά σχέδια επίπεδης σμίλης



Εικόνα 15.7: Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης επίπεδης σμίλης



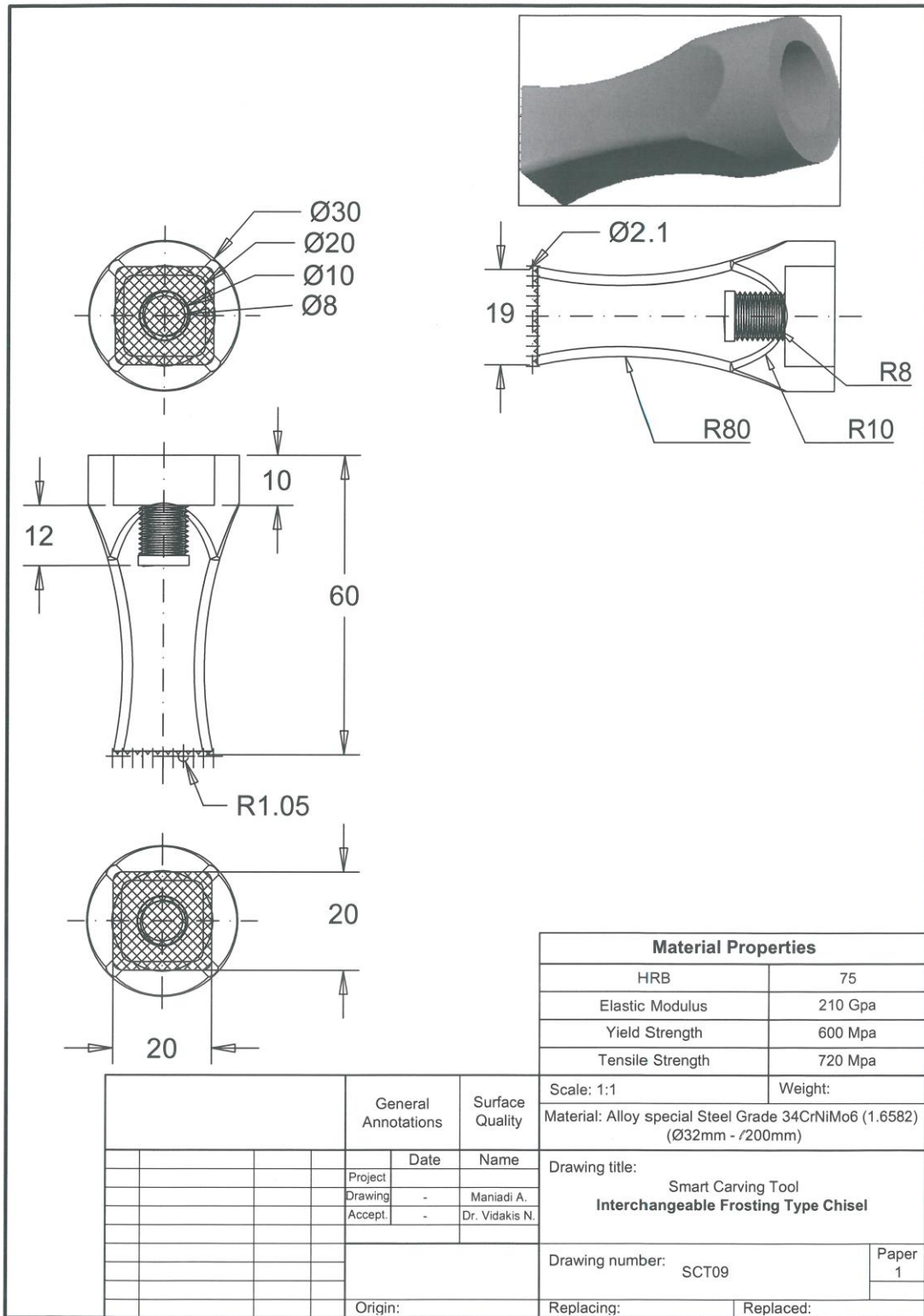
16.1.8 Κατασκευαστικά σχέδια σμίλης σημείου - διάτρησης



Εικόνα 15.8: Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης σμίλης σημείου - διάτρησης



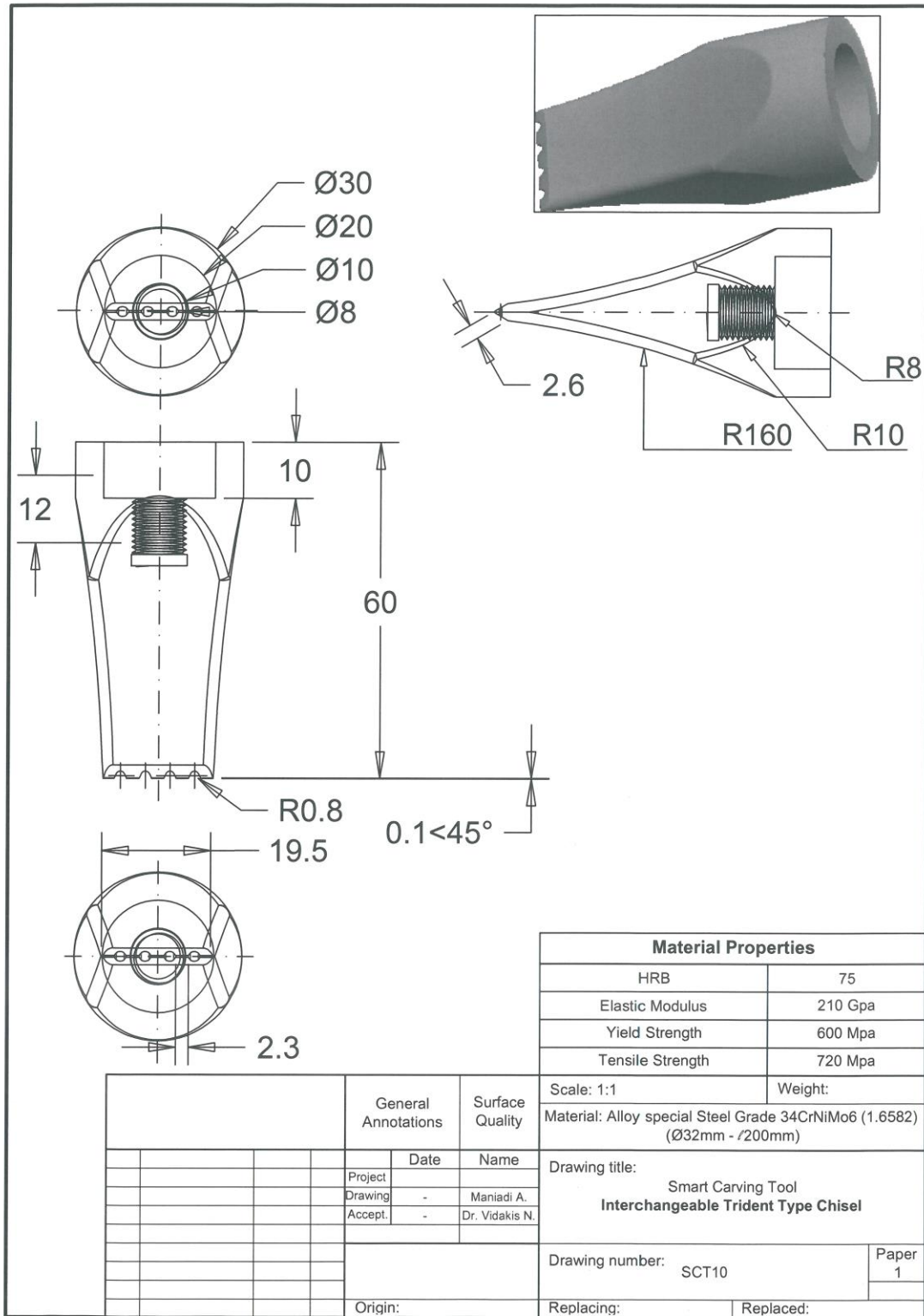
16.1.9 Κατασκευαστικά σχέδια ειδικής σμίλης τύπου frosting



Εικόνα 15.9: Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης σμίλης τύπου frosting



16.1.10 Κατασκευαστικά σχέδια οδοντωτής σμίλης



Εικόνα 15.10: Κατασκευαστικό σχέδιο εναλλάξιμης οδοντωτής σμίλης



16.2 Μετρήσεις Σκληρότητας

16.2.1 Μετρήσεις μεταλλικών τμημάτων με Vickers 1 kgf

INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST
OPERATOR. :	OPERATOR. :	OPERATOR. :
PART NO. : <i>Hd... Disk...</i>	PART NO. : <i>Ula n. Piece 304</i>	PART NO. : <i>304... Disk...</i>
DATE : 2016/08/11	DATE : 2016/08/11	DATE : 2016/08/11
TIME : 14:27	TIME : 13:59	TIME : 13:38
HARDNESS SCALE : HV	HARDNESS SCALE : HV	HARDNESS SCALE : HV
FORCE : 1kg	FORCE : 1kg	FORCE : 1kg
DWELL : 10 sec	DWELL : 10 sec	DWELL : 10 sec
MEASUREMENTS : 3	MEASUREMENTS : 3	MEASUREMENTS : 3
AVG.X : 404.14 HV	AVG.X : 339.88 HV	AVG.X : 289.46 HV
MAX : 410.17	MAX : 366.88	MAX : 305.42
MIN : 399.65	MIN : 315.51	MIN : 269.52
S.DEV : 5.43	S.DEV : 25.78	S.DEV : 18.28
R : 10.53	R : 51.37	R : 35.90
SINGLE VALUES:	SINGLE VALUES:	SINGLE VALUES:
1. 410.17 HV	1. 315.51 HV	1. 293.46 HV
2. 402.61 HV	2. 337.26 HV	2. 269.52 HV
3. 399.65 HV	3. 366.88 HV	3. 305.42 HV

Εικόνα 15.11: Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers, για τα μεταλλικά δοκίμια του έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης, του δίσκου κρούσης από χάλυβα επιβελτίωσης, του δίσκου κρούσης και του κύριου μεταλλικού τεμαχίου από ανοξείδωτο χάλυβα 304.



16.2.2 Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 0.2 kgf

INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST
OPERATOR. :	OPERATOR. :	OPERATOR. :
PART NO.. : <i>Παρκος, Ο.ρ.ε</i>	PART NO.. : <i>Μακας, Ο.ρ.ε</i>	PART NO.. : <i>Μορμάρια, Ο.ρ.ε</i>
DATE : 2016/08/27 TIME : 13:08	DATE : 2016/08/27 TIME : 12:42	DATE : 2016/08/27 TIME : 13:33
HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec	HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec	HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec
MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 143.13 HV MAX : 162.61 MIN : 115.95 S.DEV : 18.04 R : 46.65	MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 160.44 HV MAX : 171.51 MIN : 146.75 S.DEV : 9.93 R : 24.76	MEASUREMENTS : 6 AVG.X : 152.09 HV MAX : 171.51 MIN : 139.68 S.DEV : 11.96 R : 31.83
SINGLE VALUES:	SINGLE VALUES:	SINGLE VALUES:
1. 136.34 HV 2. 115.95 HV 3. 146.39 HV 4. 162.61 HV 5. 154.37 HV	1. 154.37 HV 2. 171.51 HV 3. 146.75 HV 4. 166.97 HV 5. 162.61 HV	1. 139.68 HV 2. 156.78 HV 3. 171.51 HV 4. 150.49 HV 5. 154.37 HV 6. 139.68 HV
INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST	
OPERATOR. :	OPERATOR. :	
PART NO.. : <i>Λίμα, Ο.ρ.ε</i>	PART NO.. : <i>Γρανίτη, Ο.ρ.ε</i>	
DATE : 2016/08/27 TIME : 15:26	DATE : 2016/08/27 TIME : 14:40	
HARDNESS SCALE : HV FORCE : 100g DWELL : 10 sec	HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec	
MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 202.52 HV MAX : 253.98 MIN : 161.04 S.DEV : 43.12 R : 92.93	MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 869.80 HV MAX : 1043.57 MIN : 724.70 S.DEV : 162.62 R : 318.87	
SINGLE VALUES:	SINGLE VALUES:	
1. 242.57 HV 2. 253.98 HV 3. 161.04 HV 4. 187.84 HV 5. 167.18 HV	1. 1043.57 HV 2. 724.70 HV 3. 812.47 HV 4. 724.70 HV 5. 1043.57 HV	

Εικόνα 15.12: Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 0,2 kgf, σε καθαρή και σιλωμένη με τριβείο επιφάνεια, για τα λίθινα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη.



16.2.3 Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 1 kgf

<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Νέστος.Ορ.Δ.</p> <p>DATE : 2016/08/29 TIME : 12:12</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 150.93 HV MAX : 220.31 MIN : 117.40 S.DEV : 40.52 R : 102.91</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 220.31 HV 144.94 HV 144.62 HV 117.40 HV 127.39 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Νέστος.Ορ.Δ.</p> <p>DATE : 2016/08/29 TIME : 12:00</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 6 AVG.X : 125.55 HV MAX : 135.74 MIN : 117.40 S.DEV : 8.39 R : 18.34</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 117.40 HV 124.78 HV 135.74 HV 135.74 HV 117.40 HV 122.24 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Μαρμαρά.Ορ.Δ</p> <p>DATE : 2016/08/29 TIME : 11:37</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 155.49 HV MAX : 183.44 MIN : 138.71 S.DEV : 17.32 R : 44.73</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 183.44 HV 144.94 HV 151.60 HV 138.71 HV 158.74 HV
<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Ασβεστό.Ορ.Δ</p> <p>DATE : 2016/08/29 TIME : 12:45</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 154.43 HV MAX : 183.44 MIN : 102.54 S.DEV : 32.67 R : 80.90</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 102.54 HV 183.44 HV 181.17 HV 149.90 HV 155.11 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Γρανίτη.Ορ.Δ</p> <p>DATE : 2016/08/29 TIME : 13:21</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 787.31 HV MAX : 1183.19 MIN : 388.10 S.DEV : 332.45 R : 795.08</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 388.10 HV 634.95 HV 652.23 HV 1078.07 HV 1183.19 HV 	

Εικόνα 15.13: Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 1 kgf, σε καθαρή και στιλβωμένη με τριβείο επιφάνεια, για τα λίθινα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη.



16.2.4 Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers 1 kgf και επίστρωση στιλβωτικής πάστας

<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : <i>Néstoros Down P</i></p> <p>DATE : 2016/08/27 TIME : 12:54</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 137.55 HV MAX : 146.75 MIN : 118.57 S.DEV : 12.76 R : 28.18</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 146.75 HV 118.57 HV 146.02 HV 146.39 HV 129.99 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : <i>Náxos Down P</i></p> <p>DATE : 2016/08/27 TIME : 12:41</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 120.52 HV MAX : 146.02 MIN : 93.92 S.DEV : 20.07 R : 52.10</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 146.02 HV 133.11 HV 110.97 HV 93.92 HV 118.57 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : <i>Μαρμαρά Down</i></p> <p>DATE : 2016/08/27 TIME : 13:16</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 130.72 HV MAX : 154.37 MIN : 115.95 S.DEV : 18.16 R : 38.42</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 115.95 HV 121.28 HV 154.37 HV 115.95 HV 146.02 HV
<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : <i>Λίμνη Down P</i></p> <p>DATE : 2016/08/27 TIME : 15:14</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 100g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 188.30 HV MAX : 260.89 MIN : 107.81 S.DEV : 74.46 R : 153.09</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 260.89 HV 255.75 HV 113.23 HV 107.81 HV 203.82 HV 	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : <i>Granite Down P</i></p> <p>DATE : 2016/08/27 TIME : 14:10</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 6 AVG.X : 652.77 HV MAX : 1630.58 MIN : 162.18 S.DEV : 627.01 R : 1468.40</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none"> 587.01 HV 1197.98 HV 176.25 HV 162.61 HV 162.18 HV 1630.58 HV 	

Εικόνα 15.14: Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers 0,2 kgf, σε στιλβωμένη με τριβείο επιφάνεια με επίσ. πάστας, για τα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη.

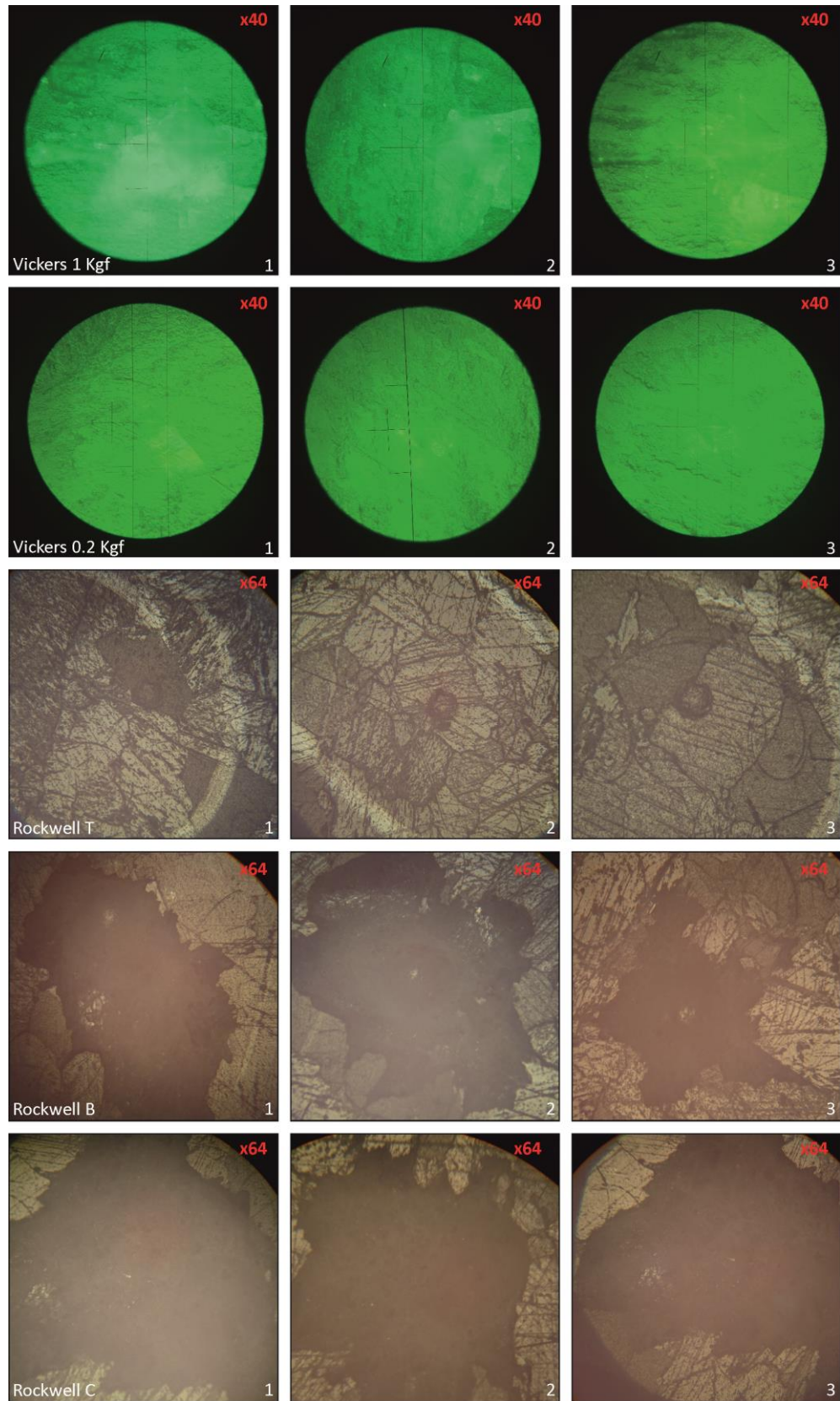


16.2.5 Μετρήσεις λίθινων δοκιμών με Vickers και στίλβωση δια χειρός

<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Νέστος Marble</p> <p>DATE : 2016/08/09 TIME : 18:29</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 250.14 HV MAX : 305.42 MIN : 183.44 S.DEV : 50.65 R : 121.98</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none">239.60 HV295.80 HV183.44 HV226.47 HV305.42 HV	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Νάξος Marble</p> <p>DATE : 2016/08/09 TIME : 18:13</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 1Kg DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 171.18 HV MAX : 195.47 MIN : 148.22 S.DEV : 21.15 R : 47.25</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none">195.47 HV172.49 HV188.11 HV151.60 HV148.22 HV	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Μαρμαρά Marble</p> <p>DATE : 2016/08/09 TIME : 19:06</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 100g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 169.67 HV MAX : 187.84 MIN : 145.56 S.DEV : 18.22 R : 42.28</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none">155.24 HV187.84 HV180.55 HV179.14 HV145.56 HV
<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Limestone</p> <p>DATE : 2016/08/09 TIME : 18:43</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 100g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 5 AVG.X : 240.95 HV MAX : 343.03 MIN : 187.84 S.DEV : 64.49 R : 155.19</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none">203.82 HV343.03 HV187.84 HV266.22 HV203.82 HV	<p>INNOVATEST 400 SERIES TEST RESULT LIST</p> <p>OPERATOR. :</p> <p>PART NO.. : Granite PL</p> <p>DATE : 2016/08/11 TIME : 16:55</p> <p>HARDNESS SCALE : HV FORCE : 200g DWELL : 10 sec</p> <p>MEASUREMENTS : 2 AVG.X : 1108.79 HV MAX : 1174.02 MIN : 1043.57 S.DEV : 92.24 R : 130.45</p> <p>SINGLE VALUES:</p> <ol style="list-style-type: none">1043.57 HV1174.02 HV	

Εικόνα 155.15: Εκτυπωμένα από τη μηχανή αποτελέσματα μετρήσεων σκληρότητας Vickers, σε στιλβωμένη δια χειρός επιφάνεια, καθαρή, για τα δοκίμια, μάρμαρο Νέστου, Νάξου, Μαρμαρά, ασβεστόλιθου και γρανίτη.

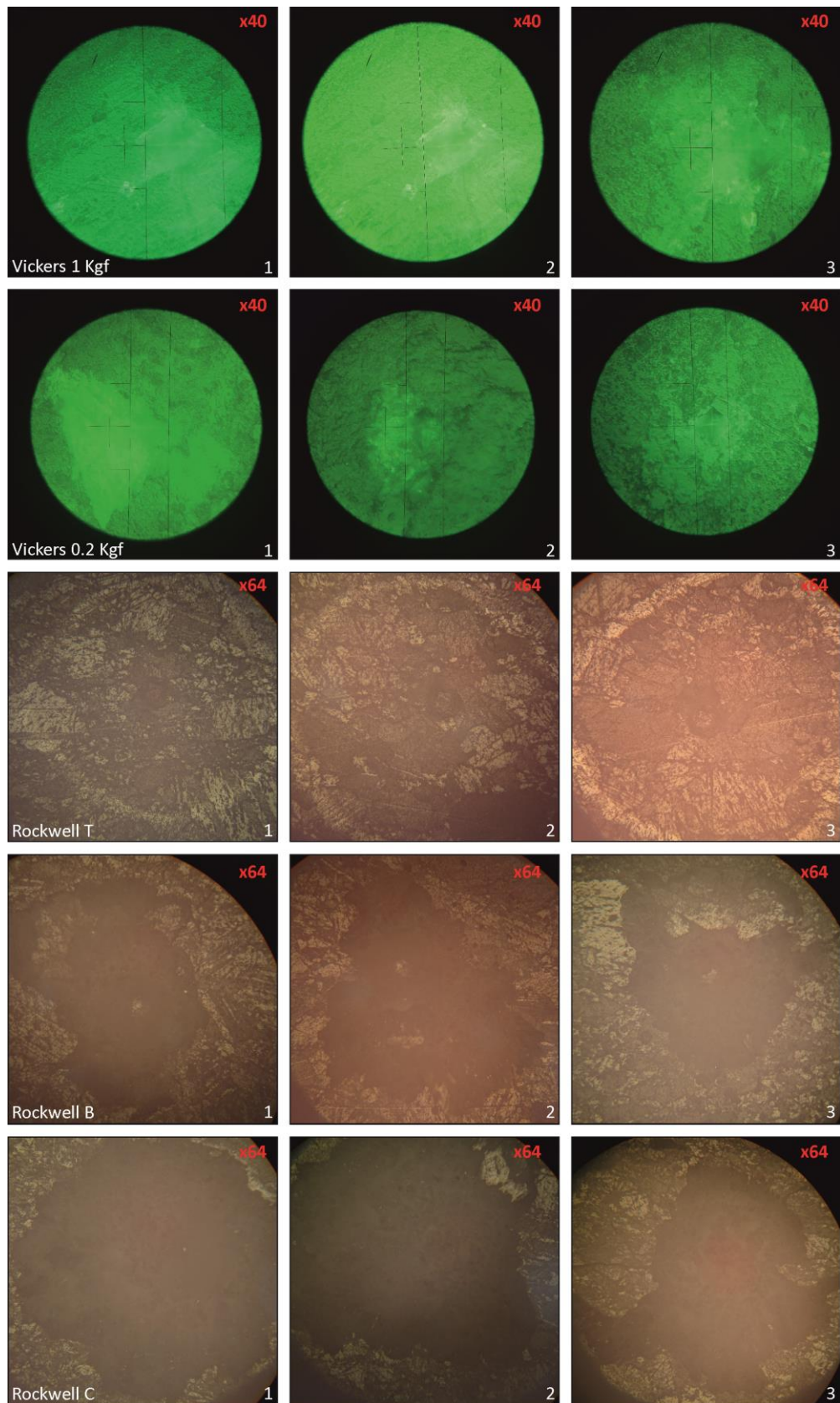
16.2.6 Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Νάξου



Εικόνα 15.16: Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Νάξου

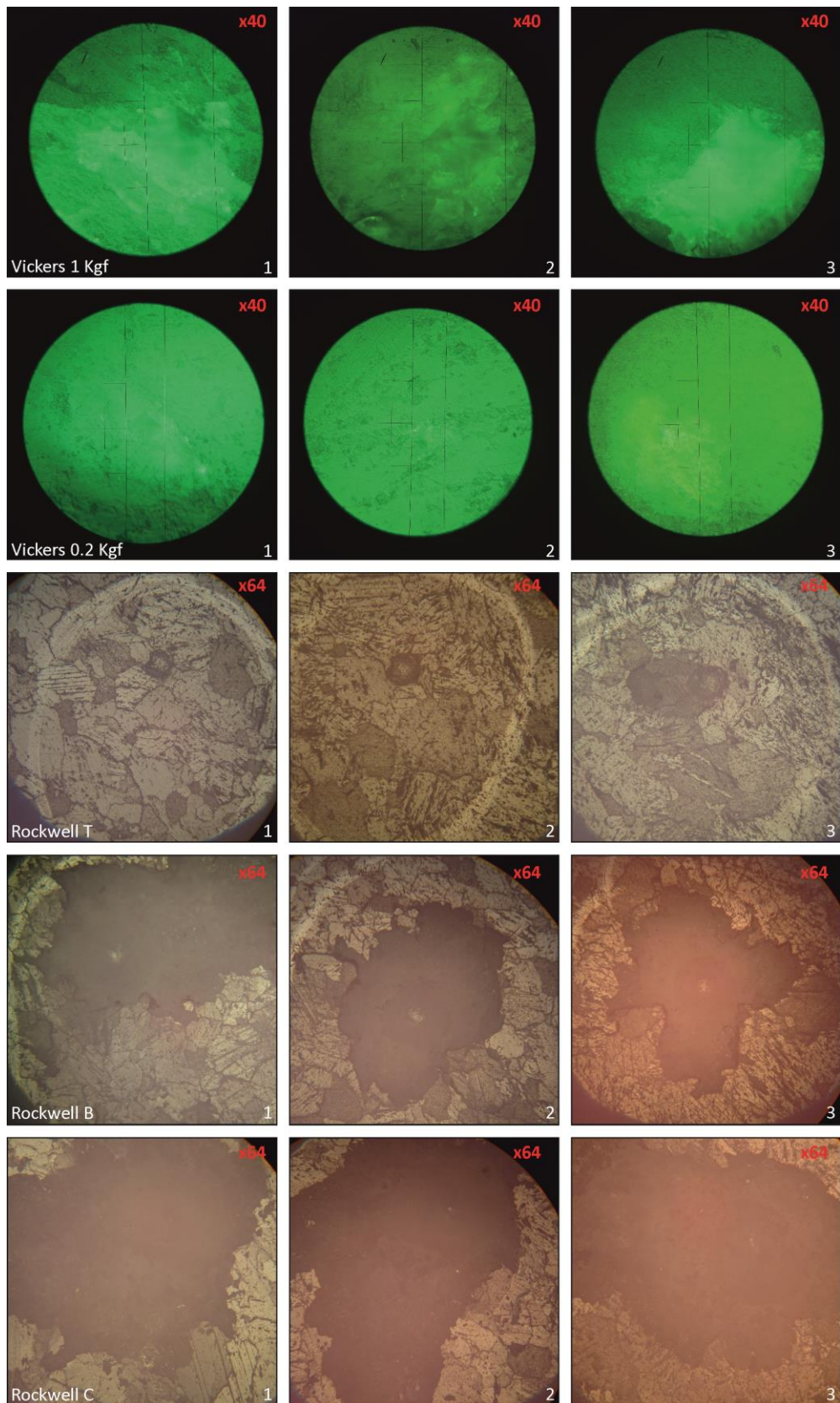


16.2.7 Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Νέστου



Εικόνα 15.17: Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Νέστου

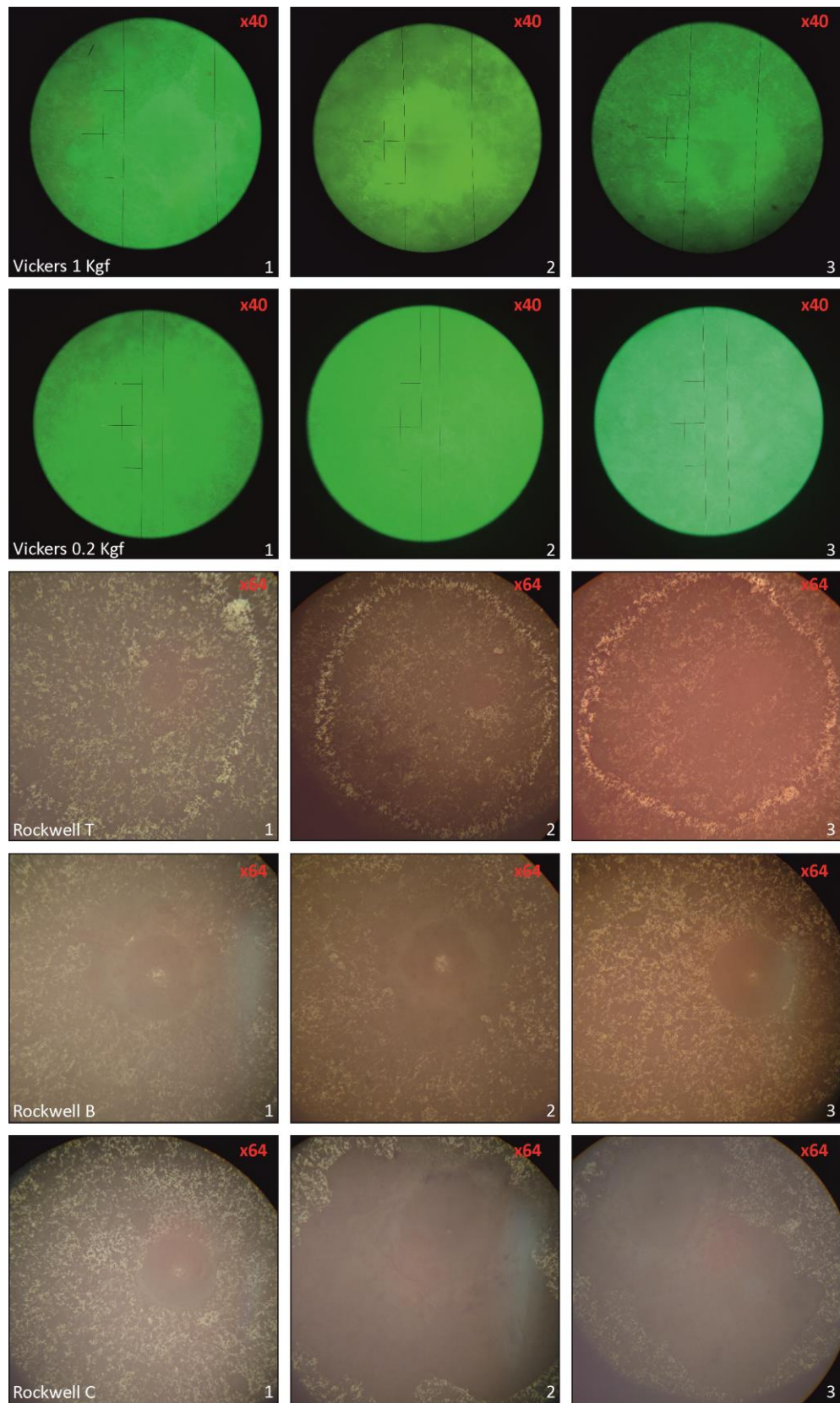
16.2.8 Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στο μάρμαρο Μαρμαρά



Εικόνα 15.18: Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο Μαρμαρά



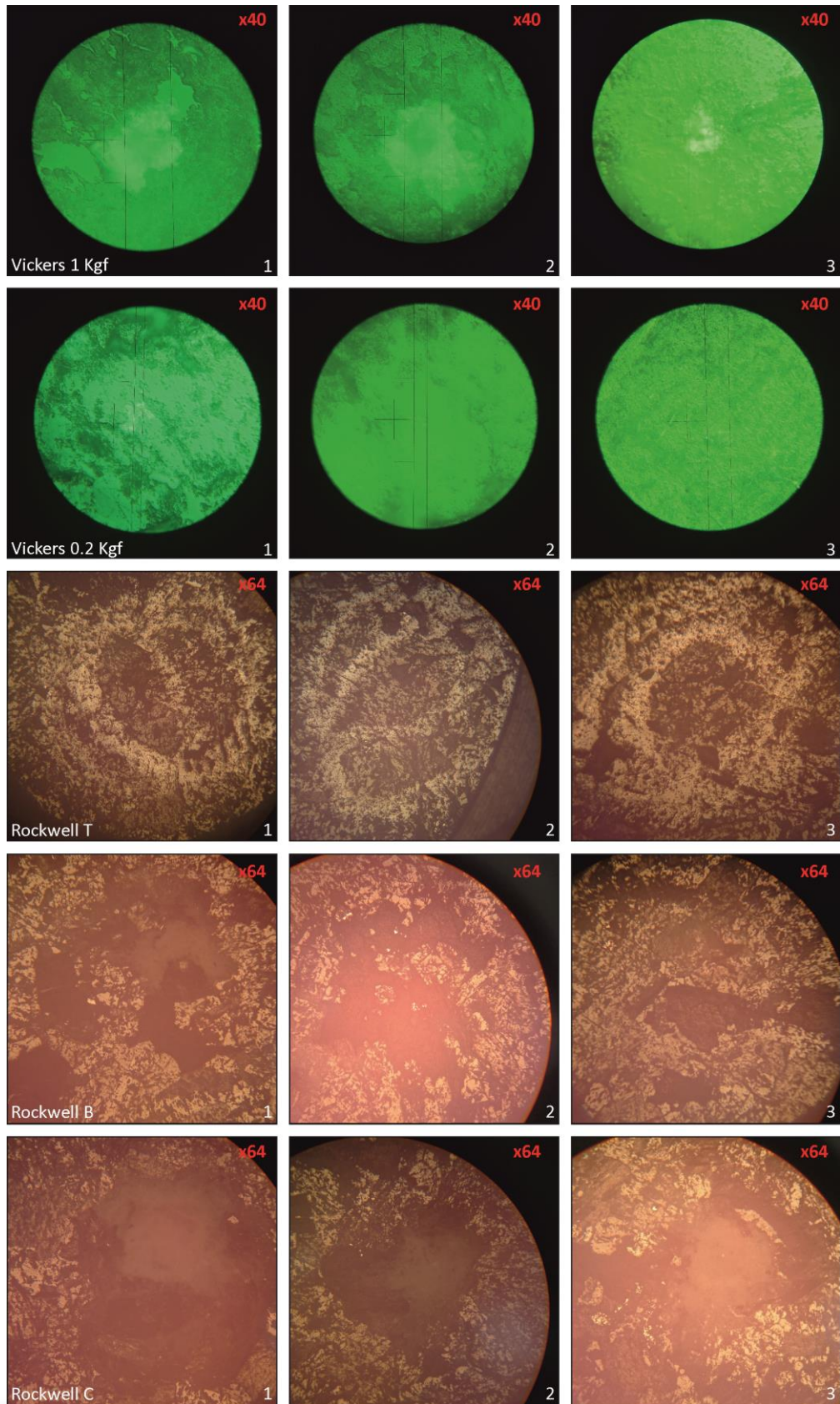
16.2.9 Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στον ασβεστόλιθο Κρήτης



Εικόνα 15.19: Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο ασβεστόλιθου



16.2.10 Αποτυπώματα μετρήσεων σκληρότητας στον γρανίτη Ιταλίας



Εικόνα 15.20: Φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης από τα αποτυπώματα των μεθόδων μέτρησης σκληρότητας στο δοκίμιο γρανίτη



Πληροφορίες εγγράφου

Αυτό το κείμενο αποτελείται από **188** σελίδες και περιέχει **52294** λέξεις.



ΤΕΙ Κρήτης

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα
Προηγμένα Συστήματα Παραγωγής, Αυτοματισμού και Ρομποτικής

Πτυχιακή εργασία
Σχεδιασμός, κατασκευή και συναρμολόγηση έξυπνου εργαλείου κρουστικής λάξευσης

Ηράκλειο 2016

Μεταπτυχιακή φοιτήτρια: Μανιάδη Αθηνά
Επιβλέπων Καθηγητής: Καθ., Δρ. Νεκτάριος Βιδάκης

Copyright © Μανιάδη Αθηνά, 2016
Με επιφύλαξη κάθε δικαιώματος. All rights reserved.