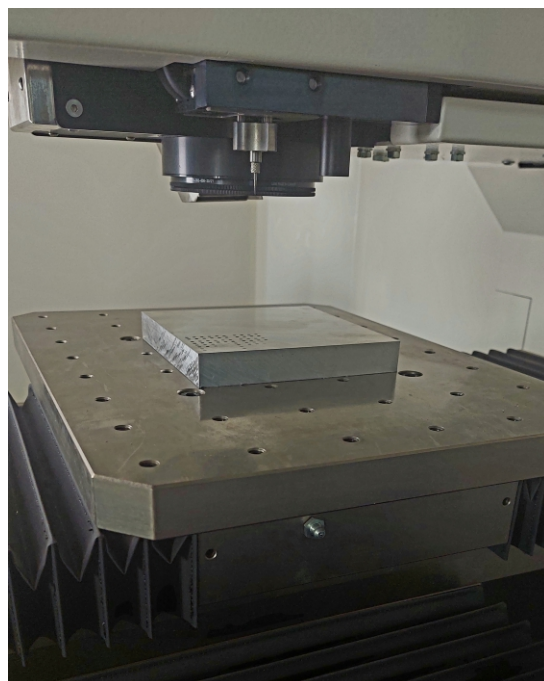




ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΣΗΜΑΝΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ LASER



**ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ
ΛΕΜΟΝΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

ΣΤΟΥΣ ΓΟΝΕΙΣ ΜΟΥ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του κύκλου σπουδών μου στο Πολυτεχνείο Κρήτης. Με την ευκαιρία αυτή, θα ήθελα να εκφράσω την ειλικρινή μου ευγνωμοσύνη προς τα άτομα των οποίων η παρουσία, η καθοδήγηση και η υποστήριξη υπήρξαν καθοριστικές για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διαδρομής.

Πρώτα και πάνω απ' όλα, οφείλω ένα βαθύ ευχαριστώ στους γονείς μου και την αδελφή μου για την αδιάκοπη στήριξή τους καθ' όλη τη διάρκεια των σπουδών μου. Η αγάπη τους, η ηθική και υλική τους υποστήριξη, αλλά και η ακλόνητη πίστη τους στις δυνατότητές μου αποτέλεσαν σταθερό θεμέλιο και καθοριστικό παράγοντα για την πρόοδό μου. Υπήρξαν σταθεροί και ανιδιοτελείς συνοδοιπόροι σε κάθε δυσκολία και πρόκληση που αντιμετώπισα, ενθαρρύνοντάς με να επιμείνω και να στοχεύω διαρκώς σε υψηλότερους στόχους.

Θα ήθελα επίσης να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον επιβλέποντα καθηγητή μου, κ. Αριστομένη Αντωνιάδη, για την εμπιστοσύνη και την υποστήριξη που μου παρείχε. Η δυνατότητα να ενταχθώ στην ομάδα του Εργαστηρίου Μικροκοπής και Κατασκευαστικής Προσομοίωσης (m3) αποτέλεσε μια ιδιαίτερα πολύτιμη εμπειρία. Η συμβολή του, μέσα από τη συνεπή καθοδήγηση, τις εμπειριστατωμένες συμβουλές και τη σταθερή του παρουσία καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας, αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα για την επιτυχή ολοκλήρωσή της.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους στενούς μου φίλους, οι οποίοι, με τη συνεχή τους παρουσία και υποστήριξη, προσέφεραν πολύτιμη βοήθεια σε κάθε βήμα αυτής της διαδρομής. Η συμβολή τους, τόσο στα ευχάριστα όσο και στις δύσκολες στιγμές, υπήρξε ανεκτίμητη και συνέβαλε ώστε αυτό το ταξίδι να αποκτήσει μοναδικό χαρακτήρα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	3
2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ	4
2.1 Εισαγωγή στο Laser	4
2.1.1 Ιστορία του Laser.....	4
2.1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας	5
2.1.3 Ιδιότητες των Laser	6
2.1.4 Τύποι Laser	6
2.2 Σήμανση με Laser	7
2.3 Αναφορές σε σχετικά επιστημονικά άρθρα	7
3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΞΑΧΝΩΣΗΣ	14
3.1 Εξοπλισμός Πειραμάτων	14
3.1.1 Εισαγωγή	14
3.1.2 Κέντρο κατεργασίας DMG MORI Lasertec 40.....	14
3.1.3. Οπτικό στερεοσκόπιο Leica M125.....	15
3.2 Υλικά	16
3.2.1 Εισαγωγή	16
3.2.2 Κράμα Αλουμινίου (Al - 5083).....	16
3.2.3 καθαρός χαλκός (Cu)	17
4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ	18
4.1 Σχεδιασμός Πειραμάτων	18
4.2 Επιλογή Υλικών.....	20
4.3 Διαδικασία Χάραξης με Λέιζερ	20
4.4 Διαδικασία Συλλογής, Επεξεργασίας και Ανάλυσης Δεδομένων	20
5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	22
5.1 Εισαγωγή	22
5.2 Αλουμίνιο (Al-5083).....	22
5.2.1 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ισχύ	24

5.2.2	Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ταχύτητα	25
5.2.3	Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με την Ισχύ για Σταθερή Συχνότητα.....	27
5.2.4	Συμπεράσματα	29
5.3.	Καθαρός Χαλκός (CU).....	31
5.3.1	Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ισχύ	32
5.3.2	Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ταχύτητα	33
5.2.3	Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με την Ισχύ για Σταθερή Συχνότητα.....	35
5.3.4	Συμπεράσματα	37
6.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	39
6.1	Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας.....	39
6.2	Αξιοσημείωτες Παρατηρήσεις	39
6.3	Προτάσεις Περαιτέρω Διερεύνησης.....	40
7.	ΣΥΝΟΨΗ	42
8.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	43
9.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	44

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εστιάζει στη συστηματική διερεύνηση και αξιολόγηση της τεχνολογίας σήμανσης μεταλλικών υλικών μέσω παλμικού Laser, με στόχο την ποσοτική αποτίμηση της οπτικής αντίθεσης ως βασικού δείκτη ποιότητας της κατεργασίας. Κεντρικό άξονα της πειραματικής μελέτης αποτέλεσε η ανάλυση της συμπεριφοράς δύο ευρέως χρησιμοποιούμενων μεταλλικών υλικών, του κράματος αλουμινίου Al-5083 και του καθαρού χαλκού (Cu), τα οποία επιλέχθηκαν λόγω των σημαντικών διαφορών τους στις θερμοφυσικές ιδιότητες και στην απόκρισή τους κατά την αλληλεπίδραση με ακτινοβολία Laser.

Η διαδικασία σήμανσης με Laser αποτελεί μια ανέπαφη τεχνολογία μικροκατεργασίας, η οποία βασίζεται στην τοπική θέρμανση και αφαίρεση υλικού μέσω εστιασμένης δέσμης Laser. Η ποιότητα και η αποτελεσματικότητα αυτής της τεχνικής εξαρτώνται από την αλληλεπίδραση βασικών παραμέτρων, όπως η ισχύς του Laser (P), η συχνότητα παλμών (F) και η ταχύτητα σάρωσης (V). Η παρούσα εργασία επιδιώκει να εξετάσει τη συσχέτιση αυτών των παραμέτρων με τον δείκτη αντίθεσης (contrast), ο οποίος προκύπτει από την ανακλαστικότητα της επιφάνειας και παρέχει έναν αξιόπιστο τρόπο αξιολόγησης της αποδοτικότητας της χάραξης.

Για τη συγκέντρωση πειραματικών δεδομένων, σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε μια πλήρης παραγοντική μελέτη, με εξεταζόμενους συνδυασμούς τιμών των μεταβλητών P , F και V , τόσο εντός όσο και εκτός των ορίων που ορίζει ο κατασκευαστής του μηχανήματος. Η πειραματική διαδικασία υλοποιήθηκε στο πενταξονικό κέντρο κατεργασίας DMG MORI Lasertec 40, το οποίο είναι εξοπλισμένο με παλμικό λέιζερ τύπου Ytterbium fiber, ενώ η αξιολόγηση της ποιότητας σήμανσης βασίστηκε σε ανάλυση ψηφιακών εικόνων που ελήφθησαν με το στερεοσκοπικό μικροσκόπιο Leica M125 και επεξεργάστηκαν στο λογισμικό ImageJ.

Η παρούσα μελέτη αποσκοπεί στη διερεύνηση της θερμικής και φυσικής συμπεριφοράς μεταλλικών υλικών κατά τη διάρκεια της διαδικασίας σήμανσης με Laser, με στόχο την αναγνώριση των βέλτιστων συνδυασμών παραμέτρων κατεργασίας. Ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην επίτευξη υψηλής οπτικής αντίθεσης, ακρίβειας και επαναληψιμότητας, ώστε η μέθοδος να μπορεί να εφαρμοστεί αξιόπιστα σε κρίσιμες βιομηχανικές εφαρμογές.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

2.1 Εισαγωγή στο Laser

Ο όρος LASER προέρχεται από το αγγλικό ακρωνύμιο "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation", που στα ελληνικά μεταφράζεται ως «Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας». Με τον όρο Laser αναφερόμαστε τόσο στην ενισχυμένη ακτίνα φωτός που προκύπτει από αυτή τη διαδικασία, όσο και στις συσκευές που την παράγουν.

Η βασική αρχή λειτουργίας ενός Laser στηρίζεται στην οπτική ενίσχυση μέσω διεγερμένης εκπομπής ακτινοβολίας. Η ακτίνα Laser διαθέτει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που την καθιστούν μοναδική σε σχέση με το συμβατικό φως. Είναι μονοχρωματική, δηλαδή αποτελείται από ένα και μόνο μήκος κύματος, συμφασική, πράγμα που σημαίνει ότι οι φωτεινές ακτίνες είναι συγχρονισμένες μεταξύ τους, και κατευθυνόμενη, αφού διαδίδεται σε μία μόνο κατεύθυνση σχηματίζοντας μία στενή και εστιασμένη δέσμη.

Αντίθετα, το συμβατικό φως, όπως αυτό που παράγεται από έναν λαμπτήρα πυρακτώσεως, έχει μεγάλο φασματικό εύρος και διαδίδεται προς όλες τις διευθύνσεις. Αυτή η θεμελιώδης διαφορά καθιστά το Laser εξαιρετικά χρήσιμο σε πλήθος εφαρμογών, από τη βιομηχανία και την ιατρική, έως την επιστήμη και την τεχνολογία.

2.1.1 Ιστορία του Laser

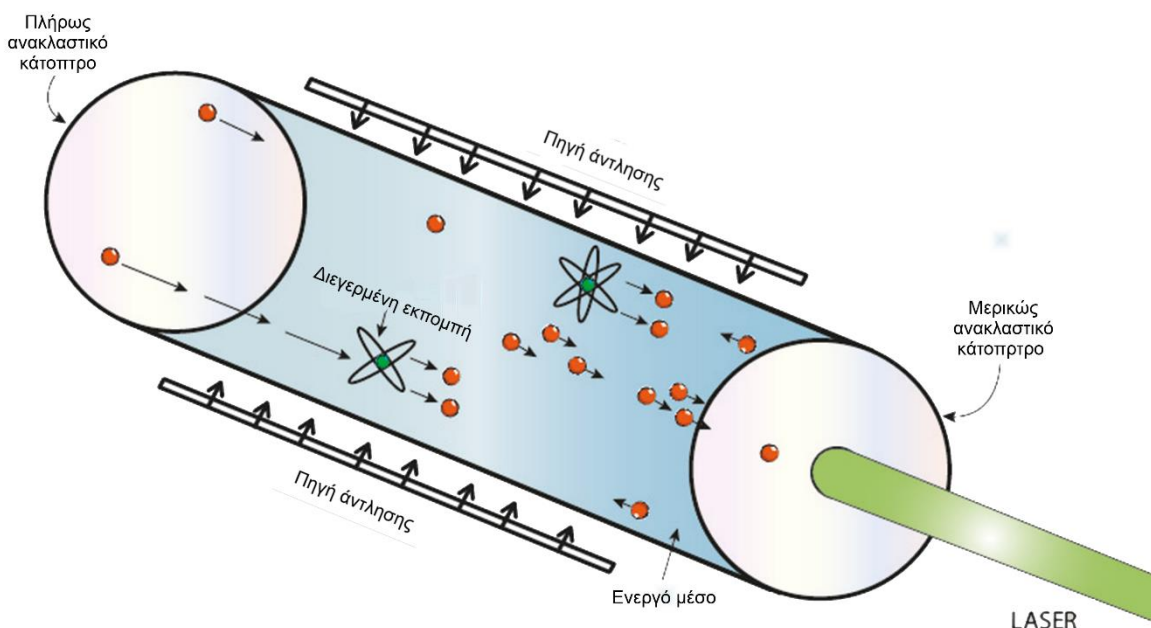
Η ανάπτυξη της τεχνολογίας των Laser ξεκινά από τις θεωρητικές βάσεις που έθεσε ο Albert Einstein το 1916 εισάγοντας την έννοια της διεγερμένης εκπομπής κατά την οποία άτομα ή μόρια εκπέμπουν φως όταν διεγείρονται από ενέργεια. Η πρώτη πειραματική διεγερμένη εκπομπή παρατηρήθηκε το 1928 από τον Rudolf Walter Ladenburg. Αρκετά χρόνια αργότερα το 1951 ο Charles H. Townes σκέφτηκε έναν τρόπο να παράγει διεγερμένη εκπομπή σε συχνότητες μικροκυμάτων, και στα τέλη του 1953, παρουσίασε μια λειτουργική συσκευή που εστίαζε «διεγερμένα» μόρια αμμωνίας σε μια κοιλότητα συντονισμού μικροκυμάτων, όπου εξέπεμπαν μια καθαρή συχνότητα μικροκυμάτων. Ο Τάουνς ονόμασε τη συσκευή "μάιζερ" (maser), από τα αρχικά των λέξεων "microwave amplification by the stimulated emission of radiation" (ενίσχυση μικροκυμάτων μέσω διεγερμένης εκπομπής ακτινοβολίας). Το 1957 ο Townes μια με τον Arthur L. Schawlow εξέτασαν την εφαρμογή των αρχών του μάιζερ στα οπτικά μήκη κύματος, δημοσιεύοντας τη θεωρία του «οπτικού μάιζερ» το 1958, το έτος το οποίο Gordon Gould καθιέρωσε τον όρο Laser (*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation* - Ενίσχυση Φωτός μέσω Διεγερμένης Εκπομπής Ακτινοβολίας). Ο πρώτος που κατάφερε να φτιάξει ένα λειτουργικό Laser ήταν ο Theodore H. Maiman ο οποίος ακολούθησε μια διαφορετική προσέγγιση. Χρησιμοποίησε υψηλής έντασης παλμούς από μια φωτογραφική λάμπα για να διεγείρει άτομα χρωμίου σε έναν κρύσταλλο συνθετικού ρουμπινιού, και στις 16 Μαΐου 1960, παρήγαγε κόκκινους παλμούς μήκους κύματος 694,3nm από μια ράβδο ρουμπινιού. Τον Δεκέμβριο του 1960 ο Ali Javan και οι συνεργάτες του στα Bell Labs ανέπτυξαν το πρώτο Laser αερίου, που χρησιμοποιούσε ήλιο και νέον για τη δημιουργία συνεχούς υπέρυθρης ακτίνας. Το 1962 ο Robert N. Hall δημιούργησε το πρώτο ημιαγωγικό Laser στη General Electric. Το 1964, ο Dr. Kumar Patel κατασκεύασε με επιτυχία το πρώτο Laser διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), το οποίο εξέπεμπε μια δέσμη υπέρυθρου φωτός με μήκος κύματος 10,6 μm, η οποία ήταν πολύ πιο αποδοτική και πιο οικονομική από την ακτίνα ρουμπινιού.

Με την πάροδο του χρόνου, η τεχνολογία των Laser έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό, πλέον υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι Laser με καταλληλά χαρακτηριστικά για κάθε ανάγκη. Η τεχνολογία αυτή είναι απαραίτητη σε πολλούς τομείς: όπως στη Ιατρική, στη Βιομηχανία, στη Επικοινωνία αλλά και σε πολλούς άλλους [1].

2.1.2 Βασικές αρχές λειτουργίας

Η ανακάλυψη της τεχνολογίας Laser και η ραγδαία εξέλιξή της είχαν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός μεγάλου εύρους συσκευών Laser. Παρόλο που υπάρχουν διάφοροι τύποι Laser, όλα βασίζονται σε κοινές αρχές λειτουργίας και αποτελούνται από συγκεκριμένα βασικά στοιχεία, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.1:

- **Ενεργό Μέσο:** Είναι το υλικό που περιέχει τα άτομα ή τα μόρια που μπορούν να διεγερθούν και να εκπέμπουν φωτόνια. Μπορεί να είναι στερεό, υγρό ή αέριο.
- **Μηχανισμός Διέγερσης (Αντλησης) Ενέργειας:** Παρέχει την απαιτούμενη ενέργεια για τη διέγερση των ατόμων ή μορίων στο ενεργό μέσο. Τέτοιες πηγές μπορεί να είναι ηλεκτρικές εκκενώσεις, λυχνίες φλας ή χημικές αντιδράσεις.
- **Οπτικό Αντηχείο (Κοιλότητα συντονισμού):** Περιλαμβάνει δύο κάτοπτρα τοποθετημένα στις δύο άκρες του ενεργού μέσου. Το ένα είναι πλήρως ανακλαστικό και το άλλο μερικώς ανακλαστικό, επιτρέποντας τη δημιουργία και την ενίσχυση της δέσμης Laser.



Σχήμα 2.1: Αναπαράσταση Laser

Η αρχή λειτουργίας ενός Laser βασίζεται στη διεγερμένη εκπομπή ακτινοβολίας, που περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση ατόμων ή μορίων ενός μέσου με μια εξωτερική πηγή ενέργειας, όπως το φως, ο ηλεκτρισμός ή η θερμότητα. Αυτή η διαδικασία έχει ως αποτέλεσμα την εκπομπή φωτονίων με την ίδια φάση και συχνότητα, δημιουργώντας μια συνεκτική δέσμη φωτός.

Τα άτομα αποτελούνται από πυρήνα με πρωτόνια και νετρόνια, γύρω από τον οποίο κινούνται ηλεκτρόνια σε καθορισμένες ενεργειακές στάθμες. Όταν ένα ηλεκτρόνιο απορροφά ενέργεια,

μετακινείται σε υψηλότερη στάθμη (απορρόφηση) και όταν επιστρέφει στη βασική του κατάσταση, απελευθεώνει ενέργεια με τη μορφή φωτονίου (εκπομπή). Η εκπομπή αυτή μπορεί να είναι αυθόρμητη ή διεγερμένη.

Στη **διεγερμένη εκπομπή**, ένα διεγερμένο άτομο αλληλεπιδρά με ένα φωτόνιο και εκπέμπει ένα δεύτερο φωτόνιο με ίδια ενέργεια, φάση και κατεύθυνση, δημιουργώντας ενίσχυση φωτός. Για να επιτευχθεί **αναστροφή πληθυσμού**, απαιτείται περισσότερα άτομα να βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση από ό,τι στη θεμελιώδη. Όταν συμβεί αυτό, το σύστημα μπορεί να παράγει συνεχή διεγερμένη εκπομπή και να λειτουργήσει ως Laser.

2.1.3 Ιδιότητες των Laser

Τα Laser έχουν συγκεκριμένες ιδιότητες που τα διαφοροποιούν από το συμβατικό φως:

- **Μονοχρωματικότητα:** Εκπέμπουν φως σε ένα πολύ στενό φασματικό εύρος, δηλαδή σε ένα μόνο μήκος κύματος.
- **Συμφασικότητα (Coherence):** Όλα τα φωτόνια στη δέσμη Laser είναι συγχρονισμένα στη φάση τους, διατηρώντας μια τακτική αλληλουχία ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.
- **Παράλληλη Διάδοση (Collimation):** Η δέσμη Laser παραμένει σχεδόν παράλληλη και δεν διαχέεται όπως το συμβατικό φως, επιτρέποντας στο φως να διανύει μεγάλες αποστάσεις χωρίς σημαντικές απώλειες.
- **Ένταση ή Λαμπρότητα:** Το Laser έχει πολύ υψηλή ένταση φωτός, λόγω της συγκέντρωσης ενέργειας σε ένα μικρό και εστιασμένο σημείο.

2.1.4 Τύποι Laser

Τα συστήματα Laser κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με το ενεργό τους μέσο. Οι πιο δημοφιλείς τύποι είναι οι εξής:

Τα Laser στερεάς κατάστασης (Solid State Laser) χρησιμοποιούν κρυσταλλικά ή γυάλινα υλικά εμπλουτισμένα με ιόντα μετάλλων ως ενεργό μέσο. Το Ruby Laser, που ήταν το πρώτο Laser που δημιουργήθηκε, παράγει παλμική ακτινοβολία στα 694.3 nm (ερυθρό φως) και χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μετρολογίας και αποτρίχωσης. Το Nd:YAG Laser, χρησιμοποιεί κρύσταλλο YAG προσμειγμένο με ιόντα νεοδυμίου (Nd) το οποίο εκπέμπει στα 1064 nm, είναι ένα από τα πιο διαδεδομένα Laser και χρησιμοποιείται σε ιατρικές εφαρμογές, βιομηχανικές κατεργασίες και στρατιωτικές τεχνολογίες.

Τα Laser αερίων χρησιμοποιούν μίγματα αερίων ως ενεργό μέσο και τροφοδοτούνται μέσω ηλεκτρικής διέγερσης. Το He-Ne Laser παράγει χαμηλής ισχύος δέσμη στα 632.8 nm και χρησιμοποιείται σε ολογραφία και οπτικές ευθυγραμμίσεις. Το CO₂ Laser εκπέμπει στην περιοχή των (10.6 μm) και αποτελεί ένα από τα πιο ισχυρά και αποδοτικά συστήματα Laser, χρησιμοποιείται στη βιομηχανία για κοπή και συγκόλληση, καθώς και στην ιατρική για χειρουργικές εφαρμογές. Το Excimer Laser, το οποίο χρησιμοποιεί διεγερμένα διμερή αερίων, παράγει υπεριώδη ακτινοβολία στην περιοχή (353-193 nm) και είναι ιδανικό για διαθλαστική χειρουργική (LASIK) και μικροκατεργασίες.

Τα Laser οργανικών χρωστικών (Dye Lasers) χρησιμοποιούν οργανικές χρωστικές ουσίες διαλυμένες σε υγρό μέσο, παρέχοντας τη δυνατότητα ρύθμισης του μήκους κύματος σε ένα ευρύ φάσμα (400-1000 nm). Λόγω αυτής της ιδιότητας, χρησιμοποιούνται κυρίως σε επιστημονικές εφαρμογές, φασματοσκοπία και ιατρικές θεραπείες.

Τέλος, οι Οπτικοί Παραμετρικοί Ταλαντωτές (OPO - Optical Parametric Oscillators) δεν είναι τυπικά Laser, αλλά χρησιμοποιούν μη γραμμικές οπτικές διεργασίες για την παραγωγή συνεκτικής ακτινοβολίας. Χρησιμοποιούνται σε φασματοσκοπία και τηλεπικοινωνίες, παρέχοντας υψηλή απόδοση σε προσαρμοσμένα μήκη κύματος μέσω κρυστάλλων όπως το LiNbO_3 και το KTP.

2.2 Σήμανση με Laser

Η Σήμανση με Laser χρησιμοποιεί μια κατάλληλη δέσμη φωτός για να αποτυπώσει μόνιμα σημάδια στα προϊόντα, αλλάζοντας τη μορφή της επιφάνειας τους σε συγκεκριμένες θέσεις, επιτρέποντας έτσι την αποτύπωση πληροφοριών για λόγους κωδικοποίησης και εμφάνισης. Μπορεί να σημαδέψει οποιοδήποτε μέταλλο, πλαστικό ή οργανικό υλικό.

Καθώς πρόκειται για τεχνολογία «χωρίς επαφή», η σήμανση με Laser επιτρέπει όχι μόνο τη βαθιά χάραξη για την αναγνώριση του προϊόντος, αλλά και την εξαιρετικά καθαρή, λεπτομερή επεξεργασία που μπορεί να εξασφαλίσει επιφάνειες υψηλής ποιότητας. Η σήμανση Laser έχει επίσης σχεδιαστεί για να αντέχει στα οξέα, στη διάβρωση και στις καιρικές συνθήκες.

2.3 Αναφορές σε σχετικά επιστημονικά άρθρα

Ο κύριος στόχος στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η πειραματική διερεύνηση των επιπτώσεων που επιφέρουν οι αλλαγές στις παραμέτρους της διεργασίας Laser marking (μέση ένταση των παλμών του Laser, συχνότητα των παλμών και ταχύτητα σάρωσης της δέσμης) στη αντίθεση μεταξύ της μαρκαρισμένης και αρχικής επιφάνειας. Όμως είναι απαραίτητο να γίνει και μια σύντομη αναφορά κάποιων σημαντικών διεθνών ερευνητικών έργων.

Ο σκοπός του πειράματος που διεξήχθη από τους C. Leone, S. Genna, G. Caprino και I. De Iorio [5] ήταν να προσδιοριστεί πώς διάφορες παράμετροι λειτουργίας ενός Laser Q-switched diode-pumped Nd:YAG επηρεάζουν την ορατότητα και την ποιότητα των χαραξέων σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304. Στο πλαίσιο του πειράματος μεταβλήθηκαν η συχνότητα παλμών, η ταχύτητα σάρωσης της δέσμης και η ένταση του ρεύματος λειτουργίας, με στόχο τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας χάραξης με Laser. Η ορατότητα των χαραξέων μετρήθηκε ποσοτικά μέσω ενός δείκτη αντίθεσης που βασίζεται σε ανάλυση ασπρόμαυρων εικόνων. Η μελέτη αποσκοπούσε όχι μόνο στη βελτίωση της ευκρίνειας των χαραξέων, αλλά και στην κατανόηση της επίδρασης χαρακτηριστικών της επιφάνειας όπως η τραχύτητα και η οξείδωση.

Για την πειραματική διάταξη χρησιμοποιήθηκε ένα Laser LASIT Fly 20 Q-switched diode-pumped Nd:YAG, με μήκος κύματος 1064 nm και διάρκεια παλμού περίπου 150 νανοδευτερόλεπτα. Η μέγιστη συχνότητα παλμών ορίστηκε στα 35 kHz. Η ενέργεια κάθε μεμονωμένου παλμού μπορούσε να φτάσει έως και 4,5 mJ. Ένα σύστημα υπολογιστή με εξειδικευμένο λογισμικό χρησιμοποιήθηκε για τον ακριβή έλεγχο της έντασης του ρεύματος, της συχνότητας παλμών και της ταχύτητας σάρωσης του Laser. Τα φύλλα από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304, πάχους 2 mm, γυαλίστηκαν μηχανικά με λειαντικό χαρτί και καθαρίστηκαν με ακετόνη, ώστε να εξασφαλιστεί μια ομοιόμορφη επιφάνεια εκκίνησης πριν από τις δοκιμές. Τα πειράματα διεξήχθησαν σε εύρος συχνότητων παλμών από 1 έως 30 kHz, με δύο επίπεδα έντασης ρεύματος (35 A και 45 A) και τρεις ταχύτητες σάρωσης (50, 100 και 200 mm/s). Για να διασφαλιστεί η στατιστική αξιοπιστία των αποτελεσμάτων, πραγματοποιήθηκαν τουλάχιστον πέντε δοκιμές για κάθε συνδυασμό παραμέτρων.

Οι βασικές μετρήσεις περιλάμβαναν την μέση ισχύ εξόδου του Laser, τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των χαράξεων (πλάτος και τραχύτητα επιφάνειας) και τον δείκτη αντίθεσης. Το πλάτος των χαράξεων μετρήθηκε μέσω οπτικού μικροσκοπίου, ενώ η τραχύτητα προσδιορίστηκε με το προφیلόμετρο «Talysurf CLI 2000 3D». Ο δείκτης αντίθεσης υπολογίστηκε από ψηφιοποιημένες ασπρόμαυρες εικόνες, ακολουθώντας τη μέθοδο του J. Qi και των συνεργατών του [4], όπου η αντίθεση ορίζεται βάσει της διαφοράς των επιπέδων στην κλίμακα του γκρι μεταξύ της χαραγμένης και της μη χαραγμένης επιφάνειας. Για συνέπεια στη λήψη των εικόνων, οι συνθήκες φωτισμού και οι ρυθμίσεις της κάμερας παρέμειναν σταθερές. Επιπλέον, πραγματοποιήθηκε ανάλυση της επιφάνειας μέσω Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM) και Φασματοσκοπίας Ενεργειακής Διασποράς Ακτίνων Χ (EDX), για τον έλεγχο της οξειδωσης μετά τη σήμανση.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η σχέση μεταξύ συχνότητας παλμών και ποιότητας χάραξης ήταν πολύπλοκη. Το πλάτος της χάραξης μειωνόταν ελαφρώς με την αύξηση της συχνότητας παλμών αλλά επηρεαζόταν ελάχιστα από την ένταση ρεύματος και την ταχύτητα σάρωσης. Η τραχύτητα της επιφάνειας αυξανόταν με τη συχνότητα μέχρι ένα όριο (περίπου 4–8 kHz) και στη συνέχεια μειωνόταν. Αυτό έδειξε ότι οι αλληλεπιδράσεις Laser-υλικού αλλάζουν με τη συχνότητα, επηρεάζοντας την αφαίρεση του υλικού από την επιφάνεια. Η αντίθεση των χαράξεων ακολούθησε παρόμοια συμπεριφορά, καθώς αυξανόταν με τη συχνότητα μέχρι κάποιο σημείο και έπειτα μειωνόταν. Οι υψηλότερες τιμές αντίθεσης επιτυγχάνονταν με χαμηλότερες ταχύτητες σάρωσης και χαμηλότερες εντάσεις ρεύματος, υποδεικνύοντας ότι η παροχή ενέργειας ανά μονάδα επιφάνειας παίζει κρίσιμο ρόλο.

Ένα σημαντικό εύρημα ήταν ότι η ορατότητα της χάραξης εξαρτάται όχι μόνο από την τραχύτητα της επιφάνειας, αλλά και σε μεγάλο βαθμό από την οξείδωση. Οι αναλύσεις SEM και EDX επιβεβαίωσαν ότι η περιεκτικότητα σε οξυγόνο στις χαραγμένες επιφάνειες αυξανόταν με τη συχνότητα παλμών, συσχετιζόμενη έντονα με τις τιμές του δείκτη αντίθεσης. Η αύξηση της τραχύτητας βελτίωνε την αντίθεση μέχρι ένα όριο τραχύτητας (≈ 4 μικρόμετρα), αλλά πέρα από αυτό, η οξείδωση έγινε ο κύριος παράγοντας. Σε ορισμένες περιπτώσεις, με πολύ υψηλές συχνότητες παλμών και χαμηλές ταχύτητες σάρωσης, οι χαράξεις γίνονταν τόσο οξειδωμένες που εμφανίζονταν φωτεινότερες από την αρχική επιφάνεια, οδηγώντας σε αρνητικές τιμές αντίθεσης.

Για την αναγνώριση των βέλτιστων συνθηκών λειτουργίας, οι ερευνητές ανέπτυξαν εμπειρικά μοντέλα διαιρώντας τα πειραματικά δεδομένα σε δύο φάσεις βάσει της συμπεριφοράς του δείκτη αντίθεσης με τη συχνότητα παλμών, και παράχθηκαν μαθηματικές εκφράσεις για την πρόβλεψη των βέλτιστων παραμέτρων που μεγιστοποιούν την ορατότητα των χαράξεων. Τελικά διαπιστώθηκε ότι οι χαμηλότερες συχνότητες παλμών (περίπου 3–5 kHz) και η χαμηλότερη μέση ισχύς του Laser ήταν οι πιο ευνοϊκές συνθήκες για την καλύτερη αντίθεση, ειδικά σε συνδυασμό με χαμηλές ταχύτητες σάρωσης. Ωστόσο, τα πρακτικά όρια λειτουργίας του συστήματος Laser περιόριζαν τις βέλτιστες συνθήκες που μπορούσαν να επιτευχθούν.

Ο σκοπός της μελέτης που διεξήχθη από τους Lyubomir Lazov, Edmunds Teirumnieks, Tsanko Karadzhev και Nikolay Angelov [6] ήταν να διερευνηθεί πώς η πυκνότητα ισχύος και η συχνότητα παλμών ενός Laser οπτικών ινών επηρεάζουν την ποιότητα της χάραξης σε δοκίμια χάλυβα 15Cr2. Οι ερευνητές επικεντρώθηκαν στην επίτευξη της βέλτιστης αντίθεσης της χάραξης, καθώς η υψηλή αντίθεση είναι κρίσιμη για την αναγνωσιμότητα, ιδιαίτερα για γραμμωτούς κώδικες (barcodes) και κωδικούς QR σε βιομηχανικά προϊόντα. Το πείραμα

στόχευε σε μία συστηματική μελέτη για το πώς διάφορες παράμετροι Laser επηρεάζουν τη διαδικασία τήξης κατά τη χάραξη, και επιδίωκε να προσδιορίσει τα κατάλληλα εύρη λειτουργίας αυτών των παραμέτρων για την εξασφάλιση άριστης ποιότητας σήμανσης.

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε έναν Laser οπτικών ινών υψηλής ποιότητας και αποδοτικότητας, που λειτουργούσε στην περιοχή κοντά στην υπέρυθρη ακτινοβολία (μήκος κύματος 1062 nm). Το σύστημα Laser παρείχε εξαιρετική ακρίβεια θέσης (2,5μm) και παρήγαγε ενέργειες παλμού μεταξύ 0,16 και 1,33mJ, με ισχύ παλμού από 5,32 έως 17,8kW. Τα δοκίμια ήταν πραγματικά βιομηχανικά εξαρτήματα από χάλυβα 15Cr2, ο οποίος επιλέχθηκε επειδή χρησιμοποιείται συνήθως για έδρανα ολίσθησης, πείρους και άλλα εξαρτήματα που εκτίθενται σε τριβή. Δεν έγινε καμία ειδική προετοιμασία επιφάνειας πέρα από την αρχική διάτρηση, γεγονός που αντικατοπτρίζει τις πραγματικές συνθήκες παραγωγής. Για τη διενέργεια των πειραμάτων σχεδιάστηκε μία μήτρα από τετράγωνο 5mm, καθένα από τα οποία χαραχτηκε με διαφορετικούς συνδυασμούς παραμέτρων για άμεση συγκριτική αξιολόγηση.

Το θεωρητικό υπόβαθρο των πειραμάτων περιλάμβανε υπολογισμούς κρίσιμων μεγεθών όπως ο συντελεστής επικάλυψης, η γραμμική πυκνότητα ενέργειας, η γραμμική πυκνότητα παλμών και η αποτελεσματική ενέργεια. Αυτές οι μεταβλητές ήταν θεμελιώδεις για την κατανόηση της αλληλεπίδρασης Laser-υλικού και του αν η επιφάνεια θα υποστεί θέρμανση, τήξη ή εξάτμιση. Χρησιμοποιήθηκε μέθοδος χάραξης Raster, και για κάθε χαραγμένο τετράγωνο μετρήθηκε η αντίθεση μέσω σύγκρισης του κορεσμού του γκρι ανάμεσα στην χαραγμένη και την μη χαραγμένη περιοχή, ακολουθώντας τον τύπο:

$$k \frac{J_x - J_f}{J_b - J_f} 100\%$$

Οι μετρήσεις αυτές επέτρεψαν στους ερευνητές να ποσοτικοποιήσουν τον τρόπο με τον οποίο οι διαφορετικές ρυθμίσεις παραμέτρων επηρέασαν την ορατότητα και την ποιότητα της μαρκαρισμένης περιοχής.

Τα πειράματα χωρίστηκαν σε τρία κύρια μέρη. Αρχικά, μελετήθηκε η επίδραση της πυκνότητας ισχύος στην αντίθεση της χάραξης σε τρεις διαφορετικές ταχύτητες σάρωσης (35mm/s, 50mm/s και 65mm/s). Διαπιστώθηκε ότι η αντίθεση αυξανόταν μη γραμμικά με την αύξηση της πυκνότητας ισχύος. Ιδιαίτερα, υπήρχε ταχεία αύξηση της αντίθεσης μεταξύ $1,10 \times 10^{10}$ και $1,50 \times 10^{10}$ W/m², ενώ η αύξηση ήταν πιο αργή σε υψηλότερες πυκνότητες. Τέλος προσδιορίστηκαν τα κατάλληλα εύρη λειτουργίας για κάθε ταχύτητα.

Στο δεύτερο μέρος, εξετάστηκε η επίδραση της συχνότητας των παλμών στην αντίθεση της χάραξης σε δύο ταχύτητες σάρωσης (40mm/s και 60mm/s). Η συχνότητα κυμάνθηκε μεταξύ 5 και 50kHz. Η αντίθεση αυξανόταν σημαντικά έως περίπου τα 20kHz και στη συνέχεια σταθεροποιούνταν. Για ταχύτητα 40mm/s, το βέλτιστο εύρος συχνότητας ήταν 14–50kHz, ενώ για 60mm/s ήταν 20–50kHz, δείχνοντας την πολύπλοκη δυναμική της ενεργειακής αλληλεπίδρασης με το υλικό. Μελετήθηκε επίσης ο συντελεστής επικάλυψης, με βέλτιστες τιμές που κυμαίνονταν μεταξύ 85,7% και 98,0%, τονίζοντας έτσι τη σημασία της επαρκούς ενεργειακής επικάλυψης για ομοιόμορφα και υψηλής αντίθεσης σημάδια.

Το τρίτο μέρος της μελέτης επικεντρώθηκε στην ανάλυση της αποτελεσματικής ενέργειας σε σχέση με την αντίθεση της χάραξης. Παρατηρήθηκε ότι η αντίθεση αυξανόταν μη γραμμικά με την αύξηση της αποτελεσματικής ενέργειας. Ιδιαίτερα, στο διάστημα 35–140 MJ/m² υπήρχε απότομη αύξηση της αντίθεσης, γεγονός που υποδήλωνε την απαραίτητη έναρξη της τήξης. Πέρα από τα 140MJ/m², η αντίθεση συνέχιζε να αυξάνεται αλλά με βραδύτερο ρυθμό, γεγονός

που αποδόθηκε στη δημιουργία βαθύτερης περιοχής τήξης, αυξάνοντας έτσι και την ανθεκτικότητα της χάραξης.

Συμπερασματικά, αυτή η εκτενής πειραματική μελέτη έδειξε ότι τόσο η πυκνότητα ισχύος όσο και η συχνότητα των παλμών του Laser επηρεάζουν σημαντικά την ποιότητα και την αντίθεση της χάραξης σε χάλυβα 15Cr2. Τα ευρήματα επέτρεψαν τον προσδιορισμό βέλτιστων διαστημάτων λειτουργίας υπό ρεαλιστικές βιομηχανικές συνθήκες. Δοκιμαστικές χαράξεις με τις βέλτιστες παραμέτρους παρήγαγαν πλήρως αναγνώσιμους QR κώδικες, barcodes και αλφαριθμητικές σημάνσεις, επικυρώνοντας έτσι την πρακτική αξία της μελέτης.

Ο σκοπός της μελέτης που διεξήχθη από τον Jianmei Li και τους συνεργάτες του [7] ήταν να διερευνηθεί πώς οι παράμετροι της κατεργασίας με Laser επηρεάζουν την ποιότητα των δισδιάστατων γραμμωτών κωδίκων (barcodes) που χαράσσονται σε επιφάνειες κράματος αλουμινίου. Η ομάδα στόχευσε στη βελτιστοποίηση της αναγνωσιμότητας και της ανθεκτικότητας των γραμμωτών κωδίκων εστιάζοντας στην τραχύτητα της επιφάνειας και στην ευκρίνεια του κώδικα (σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC 16022). Παράμετροι όπως η απόσταση των γραμμών σάρωσης, η ένταση ρεύματος, η ταχύτητα σάρωσης και η συχνότητα παλμών μεταβλήθηκαν συστηματικά χρησιμοποιώντας ένα Laser Nd:YAG αντλούμενο με λυχνία και λειτουργία Q-switch, με μήκος κύματος 1064 nm. Ο στόχος δεν ήταν μόνο η επίτευξη βέλτιστης αντίθεσης και ευκρίνειας αλλά και η ανάπτυξη ενός μαθηματικού μοντέλου που θα μπορούσε να προβλέπει τα αποτελέσματα με βάση τις συνθήκες κατεργασίας.

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε ένα σύστημα Laser ακριβείας εξοπλισμένο με γαλβανομετρικό σαρωτή και λογισμικό CAD για τον έλεγχο της διαδικασίας. Το κράμα αλουμινίου 6061, πάχους 1mm, επιλέχθηκε ως υλικό προς χάραξη και καθαρίστηκε σχολαστικά με αιθανόλη και υπερήχους πριν και μετά τη χάραξη, για την απομάκρυνση οποιωνδήποτε ρύπων. Οι βασικές παράμετροι του Laser, όπως η διάμετρος της δέσμης και το μήκος εστίασης, διατηρήθηκαν σταθερές, ενώ η απόσταση των γραμμών σάρωσης (0,01–0,3mm), η ταχύτητα σάρωσης (10–150 mm/s), η ένταση ρεύματος (10–26 A) και η συχνότητα παλμών (1–10 kHz) μεταβάλλονταν ανεξάρτητα. Η τραχύτητα της επιφάνειας μετρήθηκε χρησιμοποιώντας ένα μικροσκόπιο Laser, ενώ η ποιότητα εικόνας του γραμμωτού κώδικα αξιολογήθηκε μέσω ενός συστήματος μηχανικής όρασης σύμφωνα με το πρότυπο ISO/IEC 16022. Για μεγαλύτερη στατιστική ακρίβεια, η τραχύτητα μετρήθηκε σε έξι διαφορετικά σημεία κάθε γραμμωτού κώδικα.

Τα πειράματα μεμονωμένων παραγόντων αποκάλυψαν κρίσιμες παρατηρήσεις. Η τραχύτητα της επιφάνειας μειωνόταν με την αύξηση της απόστασης των γραμμών σάρωσης και της ταχύτητας σάρωσης, ενώ αυξανόταν με την αύξηση της έντασης του ρεύματος. Η συχνότητα παλμών είχε μη γραμμικό αποτέλεσμα: η τραχύτητα αυξανόταν αρχικά μέχρι περίπου τα 4 kHz και στη συνέχεια μειωνόταν. Αυτό αποδόθηκε σε ανταγωνιστικά φαινόμενα μεταξύ μεγίστης στιγμιαίας ισχύος, μέσης ισχύος και επικάλυψης παλμών. Οι απεικονίσεις μέσω του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) έδειξαν ότι σε χαμηλές εντάσεις ρεύματος υπήρχε μόνο ελαφριά τήξη, ενώ σε υψηλές εντάσεις δημιουργούνταν εμφανή «βουνά και κοιλάδες», οδηγώντας σε μεγαλύτερη τραχύτητα. Συνεπώς, τόσο τα θερμικά φαινόμενα (τήξη και εξάτμιση) όσο και οι μηχανικοί παράγοντες (επικάλυψη παλμών και πυκνότητα ενέργειας) επηρέαζαν σημαντικά την ποιότητα της τελικής σήμανσης.

Ένα σημαντικό εύρημα ήταν η συσχέτιση μεταξύ τραχύτητας επιφάνειας και αναγνωσιμότητας του γραμμωτού κώδικα. Υψηλότερη τραχύτητα συνδεόταν με καλύτερη ταξινόμηση κώδικα (κατηγορίες A ή B), κυρίως λόγω καλύτερης αντίθεσης. Οι μαύροι γραμμωτοί κώδικες ανιχνεύονταν ευκολότερα από τα μηχανικά συστήματα, ενώ οι λευκοί («αντίστροφοι») κώδικες απαιτούσαν ειδικούς σαρωτές. Ο έλεγχος των χημικών αντιδράσεων σε διαφορετικά επίπεδα ενέργειας ήταν επίσης σημαντικός, καθώς σε χαμηλή ενέργεια παράγονταν κυρίως οξείδια αλουμινίου και μαγνησίου (λευκή εμφάνιση), ενώ σε υψηλότερη ενέργεια σχηματίζονταν

επιπλέον ενώσεις όπως οξείδια σιδήρου και διοξείδιο του πυριτίου, σκουραίνοντας τον γραμμωτό κώδικα.

Για τη βελτιστοποίηση των παραμέτρων, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν τη μέθοδο Taguchi, με έναν ορθογωνικό πίνακα σχεδιασμού L25, ώστε να μειώσουν τον αριθμό των απαιτούμενων πειραμάτων διατηρώντας στατιστική εγκυρότητα. Η μελέτη εντόπισε τις βέλτιστες ρυθμίσεις για μαύρους κώδικες (0,03mm απόσταση γραμμών σάρωσης, 14 A ένταση, 10mm/s ταχύτητα σάρωσης, 5kHz συχνότητα παλμών) και για λευκούς κώδικες (0,105mm απόσταση πλήρωσης, 10A ένταση, 100mm/s ταχύτητα σάρωσης, 1kHz συχνότητα παλμών). Τα πειράματα ελέγχου επικύρωσαν ότι αυτές οι συνθήκες παρήγαγαν σταθερά γραμμωτούς κώδικες υψηλής ποιότητας.

Επιπλέον, αναπτύχθηκε ένα μη γραμμικό μοντέλο παλινδρόμησης για την πρόβλεψη της επιφανειακής τραχύτητας βάσει των παραμέτρων κατεργασίας. Το μοντέλο πέτυχε εξαιρετική προγνωστική ακρίβεια, με συντελεστή συσχέτισης (R^2) ίσο με 0,958. Οι δοκιμές έδειξαν πολύ μικρή απόκλιση μεταξύ των προβλεπόμενων και πραγματικών τιμών τραχύτητας, αποδεικνύοντας τη χρησιμότητά του στην πράξη. Η ανάλυση διασποράς (ANOVA) επιβεβαίωσε ότι οι πιο σημαντικοί παράγοντες για τους μαύρους κώδικες ήταν η ένταση ρεύματος και η ταχύτητα σάρωσης, ενώ για τους λευκούς κώδικες ήταν η συχνότητα παλμών και η απόσταση των γραμμών σάρωσης.

Συμπερασματικά, η ολοκληρωμένη αυτή πειραματική μελέτη κατάφερε να βελτιστοποιήσει τη σήμανση επιφανειών κραμάτων αλουμινίου με Laser για την παραγωγή γραμμωτών κωδίκων υψηλής ποιότητας. Κατέδειξε την αλληλεπίδραση μεταξύ δυναμικής υλικού-Laser, μορφολογίας της επιφάνειας και οπτικών ιδιοτήτων, ενώ παρείχε ένα πρακτικό εργαλείο πρόβλεψης χρήσιμο για τη βιομηχανία.

Ο σκοπός του πειράματος που διεξήχθη από τους C. Velotti, A. Astarita, C. Leone, S. Genna, F. Memola Capece Minutolo και A. Squillace [8] ήταν να μελετηθεί η σκοπιμότητα και η αποτελεσματικότητα της χάραξης με Laser σε επιστρώσεις τιτανίου που έχουν παραχθεί μέσω της τεχνολογίας Cold Gas Dynamic Spray (CGDS), ειδικά για αεροδιαστημικές εφαρμογές. Ο στόχος ήταν να διασφαλιστεί ότι τα επισημασμένα εξαρτήματα θα μπορούσαν να διατηρούν την ιχνηλασιμότητά τους καθ' όλη τη διάρκεια ζωής τους, ακόμη και σε δύσκολες συνθήκες οξείδωσης, διάβρωσης και φθοράς. Για την επίτευξη αυτού, η έρευνα επικεντρώθηκε στη διερεύνηση του πώς διαφορετικές παράμετροι της χάραξης με Laser, ιδιαίτερα η ταχύτητα σάρωσης και η μέγιστη ισχύς παλμού επηρεάζουν την ποιότητα και την ανθεκτικότητα των χαραξιών στις επιστρώσεις τιτανίου πάνω από υποστρώματα αλουμινίου.

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε τη χρήση ενός Laser ινών τύπου MOPA Q-switched Yb:YAG, ισχύος 30 W, που λειτουργούσε σε μήκος κύματος 1064 nm, ιδανικό για υψηλή απορρόφηση από το τιτάνιο. Το Laser ήταν εξοπλισμένο με σύστημα γαλβανομετρικών καθρεπτών για ακριβή έλεγχο της δέσμης και φακό εστίασης "flat field". Οι επιστρώσεις τιτανίου δημιουργήθηκαν με απόθεση σκόνης τιτανίου καθαρότητας Grade 2 πάνω σε πλάκες αλουμινίου AA 2024-T3 πάχους 2mm, χρησιμοποιώντας ήλιο ως αέριο μεταφοράς για την αποφυγή οξείδωσης. Οι επιστρώσεις στη συνέχεια υποβλήθηκαν σε κατεργασία φρεζαρίσματος για την επίτευξη ομοιόμορφης επιφάνειας και πάχους 0,3mm. Επιπλέον, διεξήχθησαν πειράματα και σε συμπαγή φύλλα τιτανίου για συγκριτική αξιολόγηση.

Τα πειράματα χάραξης πραγματοποιήθηκαν με συστηματική μεταβολή δύο βασικών παραμέτρων του Laser: της ταχύτητας σάρωσης και της μέγιστης ισχύος παλμού. Η ταχύτητα σάρωσης κυμαινόταν από 25mm/s έως 2000mm/s, ενώ η μέγιστη ισχύς παλμού ορίστηκε στα 10kW, 15kW και 20kW. Για κάθε συνδυασμό παραμέτρων έγιναν τρεις χαραξεις, ενώ οι υπόλοιποι παράμετροι του Laser διατηρήθηκαν σταθερές. Μετά τη χάραξη, τα δείγματα

διατομήθηκαν, εγκλείστηκαν σε ρητίνη, γυαλίστηκαν και χαράχτηκαν με το αντιδραστήριο Kroll. Η μέγιστη διείσδυση και το μέγιστο πλάτος της χάραξης μετρήθηκαν χρησιμοποιώντας το μικροσκόπιο HIROX KH8700, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για την επίδραση των παραμέτρων επεξεργασίας στη γεωμετρία των αυλακώσεων.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η εμφάνιση των χαράξεων μπορούσε να ταξινομηθεί σε τρεις διακριτές καταστάσεις: (α) Χαράξεις με υπερβολική εισροή ενέργειας που παρουσίαζαν ακανόνιστες αυλακώσεις με λιωμένο υλικό στα άκρα (β) Κανονικές και αποτελεσματικές χαράξεις με καλά καθορισμένο ίχνος και ελαφριά επαναστερεοποίηση υλικού στην επιφάνεια (γ) Χαράξεις με ανεπαρκή ενέργεια που είχαν πολύ ρηχές και μη αποδεκτές αυλακώσεις. Οι βέλτιστες συνθήκες αντιστοιχούσαν στην κατάσταση (β), παρέχοντας ευδιάκριτες αλλά όχι καταστροφικές χαράξεις. Το εύρος βέλτιστων συνθηκών χάραξης προσδιορίστηκε για τα φύλλα τιτανίου στα 200mm/s και για τις επιστρώσεις μεταξύ και 800–1000mm/s.

Η ανάλυση της γεωμετρίας των αυλακώσεων έδειξε ότι η μέγιστη διείσδυση μειωνόταν απότομα με την αύξηση της ταχύτητας σάρωσης, ιδιαίτερα μεταξύ 25 και 200mm/s. Πέρα από αυτή την περιοχή, η μείωση του βάθους ήταν πιο ήπια. Είναι αξιοσημείωτο ότι η αύξηση της ισχύος παλμού δεν οδηγούσε πάντα σε μεγαλύτερη διείσδυση αντίθετα, σε κάποιες περιπτώσεις, η μείωση της συχνότητας παλμών λόγω υψηλότερης ισχύος οδήγησε σε χαμηλότερη αποτελεσματικότητα μεταφοράς θερμότητας και επομένως σε μικρότερη διείσδυση. Οι επιστρώσεις ψυχρού ψεκασμού έδειξαν μεγαλύτερη διασπορά στα δεδομένα μέτρησης σε σύγκριση με τα συμπαγή φύλλα τιτανίου, λόγω της ανομοιογένειας της μικροδομής τους και των διαφορετικών θερμικών ιδιοτήτων τους.

Όσον αφορά το πλάτος των χαράξεων, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της ταχύτητας σάρωσης οδηγούσε σε ταχεία μείωση του πλάτους, το οποίο σταθεροποιήθηκε γύρω στα 100μm. Και πάλι, οι επιστρώσεις έδειξαν μεγαλύτερη μεταβλητότητα από τα φύλλα τιτανίου. Όταν έγινε άμεση σύγκριση των δύο υλικών, οι επιστρώσεις εμφάνισαν μεγαλύτερη διείσδυση υπό ίδιες συνθήκες Laser, αν και το πλάτος των χαράξεων ήταν σχετικά παρόμοιο, όταν λήφθηκε υπόψη η διασπορά.

Συμπερασματικά, η μελέτη απέδειξε με επιτυχία τη δυνατότητα χάραξης επιστρώσεων τιτανίου που έχουν παραχθεί με τεχνολογία CGDS για αεροδιαστημικές εφαρμογές. Καθορίστηκαν τα βέλτιστα παράθυρα επεξεργασίας και οι βέλτιστες συνθήκες χάραξης, εξασφαλίζοντας την παραγωγή ανθεκτικών και υψηλής ποιότητας χαράξεων χωρίς να τίθεται σε κίνδυνο το υπόστρωμα.

Το πείραμα που διεξήχθη από τους Angshuman Roy, Nikhil Kumar, Santanu Das και Asish Bandyopadhyay [9] είχε ως στόχο τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας χάραξης με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304. Οι ερευνητές επιδίωξαν να προσδιορίσουν πώς η ισχύς του Laser, η ταχύτητα σάρωσης και η συχνότητα παλμών επηρεάζουν το πλάτος και το βάθος της χάραξης δύο κρίσιμες παράμετροι για ακριβείς και μόνιμες σημάνσεις σε βιομηχανικές εφαρμογές. Για τον σκοπό αυτό, εφαρμόστηκε η Μεθοδολογία Επιφάνειας Απόκρισης (Response Surface Methodology - RSM) για τον σχεδιασμό των πειραμάτων και στατιστική μοντελοποίηση. Ενώ η Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση της σημαντικότητας των παραμέτρων. Ο στόχος ήταν να μεγιστοποιηθεί το βάθος και να ελαχιστοποιηθεί το πλάτος της χάραξης, εξασφαλίζοντας ταυτόχρονα αναγνωσιμότητα και ακεραιότητα του υλικού.

Η πειραματική διάταξη περιλάμβανε τη χρήση Laser Nd:YVO₄ ισχύος 12 W, που λειτουργεί σε μήκος κύματος 1064nm. Η δέσμη του Laser με μέγεθος δέσμης 50μm χρησιμοποιήθηκε για τη χάραξη φύλλων ανοξείδωτου χάλυβα διαστάσεων 10 × 30 × 1mm. Μετά τη χάραξη, τα δείγματα

τοποθετήθηκαν σε ρητίνη, γυαλίστηκαν και αναλύθηκαν με οπτικό μικροσκόπιο (μεγέθυνση 50×) για την καταγραφή του πλάτους και του βάθους της χάραξης. Ο σχεδιασμός των πειραμάτων ακολούθησε πίνακα RSM με 3 παράγοντες και 5 επίπεδα, όπου οι παράμετροι: ισχύς Laser (P), συχνότητα παλμών (f) και ταχύτητα σάρωσης (s) μεταβλήθηκαν συστηματικά. Συνολικά πραγματοποιήθηκαν 20 δοκιμές με διαφορετικούς συνδυασμούς τιμών.

Η μελέτη έδειξε ότι τα χαρακτηριστικά της χάραξης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την αλληλεπίδραση των τριών παραμέτρων κατεργασίας. Η ισχύς του Laser επηρέαζε άμεσα τόσο το βάθος όσο και το πλάτος της χάραξης η αύξηση της ισχύος οδηγούσε γενικά σε μεγαλύτερη εισροή ενέργειας και συνεπώς σε αύξηση των δύο μεγεθών. Ωστόσο, υπερβολική ισχύς προκαλούσε πλατύτερες χαράξεις και πιθανή ζημιά στην επιφάνεια. Από την άλλη, η ταχύτητα σάρωσης είχε αντίστροφη επίδραση αυξημένες ταχύτητες μείωναν τον χρόνο αλληλεπίδρασης Laser-υλικού, περιορίζοντας τη θερμική εισροή και οδηγώντας σε πιο ρηχές και στενές χαράξεις. Η συχνότητα παλμών αποδείχθηκε ιδιαίτερα σημαντική υψηλότερες συχνότητες μείωναν την ισχύ κάθε παλμού, άρα και την εξάτμιση του υλικού, ωστόσο συχνά η αθροιστική θερμική επίδραση οδηγούσε σε βαθύτερες χαράξεις.

Για τη μοντελοποίηση αυτών των σχέσεων, οι ερευνητές ανέπτυξαν πολυωνυμικές εξισώσεις δευτέρου βαθμού μέσω RSM. Οι εξισώσεις αυτές προέβλεπαν με ακρίβεια τις μεταβολές του πλάτους και του βάθους χάραξης ως προς τις μεταβλητές εισόδου. Η καταλληλότητα των μοντέλων επαληθεύτηκε μέσω ANOVA, η οποία έδειξε σημαντικές επιδράσεις για πολλούς συνδυασμούς παραμέτρων. Για το πλάτος της χάραξης, οι σημαντικότερες επιδράσεις προέρχονταν από την ισχύ και τη συχνότητα παλμών, ενώ η ταχύτητα σάρωσης είχε μικρότερη επιρροή. Αντίθετα, για το βάθος, πιο καθοριστικές ήταν η συχνότητα παλμών και η ταχύτητα σάρωσης. Σημαντικό είναι ότι οι έλεγχοι έλλειψης προσαρμογής (lack-of-fit) δεν ήταν στατιστικά σημαντικοί, γεγονός που ενίσχυσε την αξιοπιστία των μοντέλων.

Η μελέτη εμπλουτίστηκε με τρισδιάστατα γραφήματα επιφανειών και ισοϋψείς καμπύλες, τα οποία κατέδειξαν ότι το πλάτος της χάραξης μειώνεται με την αύξηση της συχνότητας και τη μείωση της ισχύος, ενώ το βάθος αυξάνεται σε περιοχές υψηλής ισχύος και συχνότητας. Διαπιστώθηκε ότι η βέλτιστη χάραξη συμβαίνει μέσα σε στενό εύρος παραμέτρων — υπερβολικά υψηλή ισχύς ή χαμηλή ταχύτητα μπορεί να οδηγήσουν σε λιώσιμο ή οξείδωση, ενώ πολύ χαμηλή ισχύς ή πολύ γρήγορη σάρωση οδηγούν σε ρηχές και αδύναμες χαράξεις, ακατάλληλες για ιχνηλάτηση.

Στο τελικό στάδιο, εφαρμόστηκε αριθμητική βελτιστοποίηση μέσω συναρτήσεων επιθυμητότητας για τον προσδιορισμό των ιδανικών παραμέτρων που επιτυγχάνουν ταυτόχρονα ελάχιστο πλάτος και μέγιστο βάθος χάραξης. Οι βέλτιστες συνθήκες ήταν: ισχύς Laser 6,96 W, συχνότητα παλμών 16,69 kHz και ταχύτητα σάρωσης 6,60 mm/s, με αντίστοιχο πλάτος 5,34 μm και βάθος 49,43 μm . Τα αποτελέσματα επιβεβαιώθηκαν με ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης (SEM), η οποία αποκάλυψε λεία και ομοιόμορφα ίχνη κάτω από βέλτιστες συνθήκες, ενώ σε ακραίες τιμές παρατηρήθηκαν ασυνεχείς ή ανώμαλες χαράξεις.

Συμπερασματικά, το πείραμα απέδειξε επιτυχώς πώς μπορούν να συνδυαστούν πειραματικές και στατιστικές τεχνικές για τη βελτιστοποίηση της χάραξης με Laser σε ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304. Η χρήση της RSM και της ANOVA παρείχε ισχυρά εργαλεία πρόβλεψης, ενώ η επιβεβαίωση μέσω SEM έδωσε πρακτική εγκυρότητα στα μοντέλα. Τα ευρήματα έχουν ιδιαίτερη σημασία για βιομηχανίες που απαιτούν μόνιμες, ακριβείς και υψηλής ποιότητας χαράξεις — όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική και η ιατρική τεχνολογία. Η παρούσα έρευνα ενισχύει την κατανόηση των βέλτιστων θερμικών και γεωμετρικών συνθηκών στη χάραξη μετάλλων με Laser.

3. ΠΕΙΡΑΜΑΤΑ ΕΞΑΧΝΩΣΗΣ

3.1 Εξοπλισμός Πειραμάτων

3.1.1 Εισαγωγή

Η παρούσα ενότητα περιγράφει τον εξοπλισμό που χρησιμοποιήθηκε για την πραγματοποίηση των πειραμάτων χάραξης με Laser, καθώς και για την καταγραφή και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται το προηγμένο κέντρο κατεργασίας DMG MORI Lasertec 40, το οποίο αποτέλεσε την κύρια εργαλειομηχανή για την εφαρμογή της κατεργασίας, καθώς και το οπτικό στερεομικροσκόπιο Leica M125, μέσω του οποίου πραγματοποιήθηκε η ποιοτική και ποσοτική εκτίμηση της επιφανειακής δομής των χαράξεων.

3.1.2 Κέντρο κατεργασίας DMG MORI Lasertec 40

Η εργαλειομηχανή Lasertec 40 (Σχήμα 3.1) αποτελεί ένα καθέτου διάταξης CNC κέντρο κατεργασίας πέντε αξόνων, με τρεις γραμμικούς άξονες (X, Y, Z) και δύο περιστροφικούς/οπτικούς άξονες, επιτρέποντας την υλοποίηση σύνθετων τροχιών κατεργασίας με υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα. Η μονάδα κατεργασίας είναι εξοπλισμένη με παλμικό Laser τύπου Ytterbium fiber, το οποίο λειτουργεί με παλμούς και παρέχει μέγιστη μέση ισχύ 20W, κατάλληλη για μικροκατεργασίες και επισήμανση σε μεταλλικά και σύνθετα υλικά. Η εργαλειομηχανή περιλαμβάνει πλήρως κλειστή και προστατευμένη καμπίνα εργασίας, εντός της οποίας πραγματοποιούνται οι κατεργασίες. Η συρόμενη πόρτα της καμπίνας φέρει ενσωματωμένο παράθυρο ασφαλείας τύπου Laser Safety Glass 1, το οποίο επιτρέπει την οπτική επιτήρηση της διεργασίας ενώ ταυτόχρονα εξασφαλίζει την απαραίτητη προστασία του χειριστή από την ακτινοβολία.

Ο χειρισμός της μηχανής και η ρύθμιση των παραμέτρων κατεργασίας πραγματοποιούνται μέσω ψηφιακού συστήματος ελέγχου, το οποίο περιλαμβάνει οθόνη αφής TFT 15 ιντσών και πληκτρολόγιο με ενσωματωμένο ποντίκι. Μέσω του συστήματος αυτού παρέχεται πλήρης



διαδραστικότητα για την εισαγωγή δεδομένων, την παρακολούθηση της διεργασίας και τη ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας του Laser. Η εργαλειομηχανή υποστηρίζει αυτοματοποιημένο προγραμματισμό κατεργασιών μέσω του λογισμικού LpsWin, το οποίο δίνει τη δυνατότητα επεξεργασίας και υλοποίησης μοντέλων από αρχεία τύπου .stl και .dxf. και το λογισμικό LaserSoft 3D στο οποίο γίνεται η ρύθμιση των συνθηκών κατεργασίας όπως η ισχύς, η συχνότητα παλμών και η ταχύτητα σάρωσης καθώς και ο έλεγχος των στοιχείων της μηχανής κατά τη διάρκεια της.

Σχήμα 3.1: Κέντρο κατεργασίας Lasertec 40

Χαρακτηριστικά τράπεζας μηχανής :

- Διαστάσεις τράπεζας : 400 x 300mm.
- Μέγιστο φορτίο : 50kg.
- Κίνηση τράπεζας στον Χ άξονα : 400mm.
- Κίνηση τράπεζας στον Υ άξονα : 300mm.
- Κίνηση τράπεζας στον Ζ άξονα : 500mm.

Γενικά χαρακτηριστικά Lasertec40 :

- Τύπος Laser : παλμικό fiber με ισχύ 20Watt.
- Διάμετρος ακτίνας Laser : 0.04 – 0.1mm.
- Πλήρης προστασία καμπίνας και παράθυρο ασφαλείας Laser safety glass 1.
- Σύστημα ελέγχου CNC με λογισμικό προγραμματισμού με δυνατότητα εισαγωγής stl και dxf αρχείων.
- TFT οθόνη 15”.
- Κλιματιζόμενη καμπίνα ηλεκτρικών.
- Control με 32bit επεξεργαστή.
- Μνήμη με σκληρό δίσκο 40Gb.

3.1.3. Οπτικό στερεοσκόπιο Leica M125

Το Leica M125 αποτελεί ένα υψηλής ακρίβειας στερεοσκοπικό μικροσκόπιο τύπου Greenough, σχεδιασμένο για εργασίες επιθεώρησης και ανάλυσης που απαιτούν μεγάλη ευκρίνεια και εργονομία. Διαθέτει χειροκίνητη μεγέθυνση 12.5:1 και παρέχει εύρος μεγέθυνσης από 8x έως 100x με τυπικούς φακούς (1× objective, 10× προσοφθάλμιοι). Η μέγιστη ανάλυση του οπτικού συστήματος φτάνει τα 432 γραμμές ανά χιλιοστό (lp/mm), επιτρέποντας την απεικόνιση λεπτομερειών με διακριτική ικανότητα έως 579 nm, ενώ ο μέγιστος βαθμός μεγέθυνσης φτάνει θεωρητικά τα 800×, ανάλογα με τον συνδυασμό οπτικών εξαρτημάτων. Το σύστημα υποστηρίζει διάφορους αντικειμενικούς φακούς (objectives), μεταξύ των οποίων οι planachromatic (π.χ. 0.5×, 0.8×, 1×) και planapochromatic (π.χ. 0.63×, 1.6×, 2×), με αντίστοιχες αποστάσεις εργασίας που κυμαίνονται από 20.1mm έως 135 mm, προσφέροντας ευελιξία στην παρατήρηση δειγμάτων διαφόρων μεγεθών και υψών. Η οπτική κεφαλή του M125 βασίζεται σε



αποχρωματικό σύστημα κοινής κύριας αντικειμενικής (CMO – Common Main Objective), που διασφαλίζει υψηλή χρωματική ακρίβεια και καθαρότητα εικόνας. Επιπλέον, το μικροσκόπιο διαθέτει ενσωματωμένο διάφραγμα διπλής ίριδας για ρύθμιση του βάθους πεδίου και 12 σταθερές θέσεις μεγέθυνσης για επαναλαμβανόμενες παρατηρήσεις. Το Leica M125 είναι πλήρως συμβατό με ψηφιακά συστήματα απεικόνισης, μέσω USB διεπαφής, και υποστηρίζεται από το λογισμικό Leica Application Suite (LAS) για καταγραφή, επεξεργασία και τεκμηρίωση εικόνων. Υπάρχει δυνατότητα προσθήκης προσαρμογέων, φίλτρων, φωτιστικών σωμάτων και βάσεων παρατήρησης, καθιστώντας το μικροσκόπιο απόλυτα παραμετροποιήσιμο στις απαιτήσεις κάθε εργαστηριακής εφαρμογής.

Σχήμα 3.2: Οπτικό στερεομικροσκόπιο Leica M125

3.2 Υλικά

3.2.1 Εισαγωγή

Στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάζονται τα δύο υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας πειραματικής διαδικασίας. Ο καθαρός χαλκός (Cu) και το κράμα αλουμινίου Al-5083. Η επιλογή αυτών των υλικών έγινε με βάση τις διαφορετικές φυσικές και μηχανικές τους ιδιότητες, καθώς και την ευρεία βιομηχανική τους χρήση σε εφαρμογές όπου η επισήμανση και η κατεργασία με Laser αποτελεί απαραίτητο στάδιο. Στην παρούσα εργασία, και τα δύο υλικά χρησιμοποιούνται ως δοκίμια επιφανειακής χάραξης με Laser, με σκοπό την παρακολούθηση της επίδρασης των παραμέτρων κατεργασίας στην ποιότητα της παραγόμενης χάραξης.

3.2.2 Κράμα Αλουμινίου (Al - 5083)

Το κράμα αλουμινίου Al - 5083 ανήκει στην οικογένεια των μη θερμικά κατεργάσιμων κραμάτων Al-Mg και διακρίνεται για την εξαιρετική του αντοχή στη διάβρωση, ιδιαίτερα σε θαλάσσια και χημικά επιθετικά περιβάλλοντα. Περιέχει υψηλό ποσοστό μαγνησίου (4 – 5%), το οποίο συμβάλλει στην ενίσχυση των μηχανικών του ιδιοτήτων, ενώ η προσθήκη μαγγανίου και χρωμίου προσφέρει βελτιωμένη αντοχή σε ρωγμές και καλή συγκολλησιμότητα. Λόγω του χαμηλού του βάρους και των αξιόλογων μηχανικών χαρακτηριστικών του, το Al-5083 χρησιμοποιείται εκτενώς στη ναυπηγική, σε στρατιωτικά οχήματα, σε δεξαμενές αποθήκευσης και σε κατασκευές που εκτίθενται σε δυναμικά φορτία και διάβρωση. Πρόκειται για ένα τεχνικά ώριμο και αξιόπιστο κράμα που προσφέρει ισορροπία μεταξύ απόδοσης, ανθεκτικότητας και ευκολίας κατεργασίας.

Χημική Σύσταση:

Σύσταση Αλουμινίου (5083) (% by weight)	
Αλουμίνιο (Al)	92,55 – 95,55%
Μαγνήσιο (Mg)	4,0 – 4,9%
Μαγγάνιο (Mn)	0,40 – 1,0%
Χρώμιο (Cr)	0,05 – 0,25%
Σίδηρος (Fe)	≤0,40%
Πυρίτιο (Si)	≤0,40%
Ψευδάργυρος (Zn)	≤0,25%
Χαλκός (Cu)	≤0,10%
Ζιρκόνιο + Τιτάνιο (Zr + Ti)	≤0,15%

Πίνακας 3.1: Τα χαρακτηριστικά του κράματος Αλουμινίου (Al - 5083)

Μηχανικές Ιδιότητες (Al - 5083)

- Σκληρότητα (Brinell): 76 – 77 HB, (ανάλογα με το πάχος)
- Απόλυτη αντοχή σε εφελκυσμό (Tensile Strength): 255 – 295 MPa
- Όριο διαρροής (Yield Strength, 0.2%): 105 – 150 MPa (
- Επιμήκυνση μέχρι θραύσης (Elongation at Break): ≥12% έως 23%, ανάλογα με το πάχος του ελάσματος
- Μέτρο ελαστικότητας (Young's Modulus): 71 GPa

Φυσικές Ιδιότητες (Al - 5083)

- Πυκνότητα: 2,66 g/cm³
- Θερμική αγωγιμότητα (Thermal Conductivity): 105–120 W/m·K
- Ηλεκτρική αντίσταση (Electrical Resistivity): $5,80 \times 10^{-6} - 6,60 \times 10^{-6}$ ohm·cm
- Συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής (CTE): 23,8 μm/m·°C (20 – 100 °C)

3.2.3 καθαρός χαλκός (Cu)

Ο καθαρός χαλκός (Cu) είναι ένα από τα παλαιότερα και ευρύτερα χρησιμοποιούμενα βιομηχανικά μέταλλα, γνωστό για τις εξαιρετικές του αγώγιμες ιδιότητες, τόσο σε επίπεδο ηλεκτρικής όσο και θερμικής αγωγιμότητας. Πρόκειται για ένα υλικό με πολύ υψηλή καθαρότητα (συνήθως >99,9%), το οποίο παρουσιάζει χαμηλή σκληρότητα, υψηλή ολκιμότητα και ευκολία κατεργασίας. Χρησιμοποιείται εκτεταμένα σε ηλεκτρολογικές εφαρμογές, όπως καλώδια, αγωγούς και ηλεκτρικά εξαρτήματα, ενώ λόγω της καλής αντοχής του στη διάβρωση, βρίσκει εφαρμογή και σε συστήματα μεταφοράς υγρών, θερμικών εναλλακτών και αρχιτεκτονικές κατασκευές. Ο ανόπτητος χαλκός έχει χαμηλή μηχανική αντοχή, αλλά επιδέχεται ψυχρή κατεργασία για ενίσχυση των ιδιοτήτων του. Η υψηλή του χημική σταθερότητα και η δυνατότητα εύκολης συγκόλλησης καθιστούν τον καθαρό χαλκό ένα ιδιαίτερα χρήσιμο και αξιόπιστο υλικό σε πληθώρα βιομηχανικών και τεχνολογικών εφαρμογών.

Φυσικές ιδιότητες:

- Πυκνότητα (στους 20 °C): 8,93 g/cm³
- Σημείο τήξης: 1083,6 °C
- Σημείο βρασμού: 2562 °C
- Θερμική αγωγιμότητα (στους 0 °C): 401 W/m·K
- Ηλεκτρική αντίσταση: $1,70 \times 10^{-6}$ ohm·cm
- Ειδική θερμότητα (στους 25 °C): 0,385 J/g·°C
- Συντελεστής γραμμικής διαστολής: 16,4–24,8 μm/m·°C (ανάλογα με τη θερμοκρασία)
- Ενθαλπία τήξης: 204,8 J/g
- Ενθαλπία εξάτμισης: 5234 J/g
- Ατομικός αριθμός: 29
- Ατομική μάζα: 65,546
- Ηλεκτραρνητικότητα (Pauling): 1,9

Μηχανικές ιδιότητες (σε ανόπτητη κατάσταση):

- Όριο εφελκυσμού (UTS): 210 MPa
- Όριο διαρροής (Yield strength): 33,3 MPa
- Επιμήκυνση μέχρι θραύσης: 60%
- Σκληρότητα (Vickers): 50 HV
- Μέτρο ελαστικότητας (Young's Modulus): 110 GPa
- Όγκος ελαστικότητας (Bulk modulus): 140 GPa
- Μέτρο διάτμησης (Shear modulus): 46 GPa
- Συντελεστής Poisson: 0,343

4. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

Η πειραματική διαδικασία της παρούσας διπλωματικής εργασίας σχεδιάστηκε με στόχο την κατανόηση και αξιολόγηση της συμπεριφοράς διαφορετικών μεταλλικών υλικών κατά τη διαδικασία επιφανειακής χάραξης με Laser, υπό μεταβαλλόμενες παραμέτρους κατεργασίας. Η μεθοδολογική προσέγγιση βασίστηκε σε βιβλιογραφικά πρότυπα και πρακτικές από ερευνητικές εργασίες που μελετούν τη χάραξη με Laser σε κράματα αλουμινίου, χάλυβα και τιτανίου, με στόχο τη συγκριτική μελέτη και τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας.

4.1 Σχεδιασμός Πειραμάτων

Για την υλοποίηση της πειραματικής διαδικασίας, σχεδιάστηκε ένα σύνολο επαναλαμβανόμενων πειραμάτων, κατά τα οποία μεταβαλλόταν μία βασική παράμετρος κατεργασίας τη φορά, ώστε να απομονωθεί η επίδρασή της στο τελικό αποτέλεσμα της χάραξης. Οι βασικές μεταβλητές ήταν:

- Η ταχύτητα σάρωσης της δέσμης Laser (σε mm/s)
- Η συχνότητα παλμών (σε kHz)
- Η ισχύς εξόδου του Laser (σε Watt)

Για τον εντοπισμό του κάθε πειράματος δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα σχεδίασης CorelDRAW, ένας πίνακας 8x10 αριθμημένων κελιών όπου το νούμερο αντιστοιχεί στις συνθήκες κατεργασίας, οι οποίες εισάγονται στην μηχανή Laser από τον χειριστή.

71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
11	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

Σχήμα 4.1: Πίνακας αναγνώρισης πειραμάτων

A/A	Ισχύς (% 20Watt)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)	A/A	Ισχύς (% 20Watt)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)
1	20	100	20	41	60	100	20
2	20	100	30	42	60	100	30
3	20	100	40	43	60	100	40
4	20	100	50	44	60	100	50
5	20	100	60	45	60	100	60

6	20	200	20	46	60	200	20
7	20	200	30	47	60	200	30
8	20	200	40	48	60	200	40
9	20	200	50	49	60	200	50
10	20	200	60	50	60	200	60
11	20	300	20	51	60	300	20
12	20	300	30	52	60	300	30
13	20	300	40	53	60	300	40
14	20	300	50	54	60	300	50
15	20	300	60	55	60	300	60
16	20	400	20	56	60	400	20
17	20	400	30	57	60	400	30
18	20	400	40	58	60	400	40
19	20	400	50	59	60	400	50
20	20	400	60	60	60	400	60
21	40	100	20	61	80	100	20
22	40	100	30	62	80	100	30
23	40	100	40	63	80	100	40
24	40	100	50	64	80	100	50
25	40	100	60	65	80	100	60
26	40	200	20	66	80	200	20
27	40	200	30	67	80	200	30
28	40	200	40	68	80	200	40
29	40	200	50	69	80	200	50
30	40	200	60	70	80	200	60
31	40	300	20	71	80	300	20
32	40	300	30	72	80	300	30
33	40	300	40	73	80	300	40
34	40	300	50	74	80	300	50
35	40	300	60	75	80	300	60
36	40	400	20	76	80	400	20
37	40	400	30	77	80	400	30
38	40	400	40	78	80	400	40
39	40	400	50	79	80	400	50
40	40	400	60	80	80	400	60

Πίνακας 4.1: Συνθήκες χάραξης

Η πειραματική δομή σχεδιάστηκε κατά αναλογία με προηγούμενες ερευνητικές προσεγγίσεις, όπως αυτές των Leone et al [5], Lazov et al. [6], και Velotti et al. [8], προσαρμοσμένη στα τεχνικά όρια και τις δυνατότητες της διαθέσιμης εργαλειομηχανής. Στόχος ήταν η παραγωγή αποτελεσμάτων που να επιτρέπουν τη μελέτη της επίδρασης των μεταβλητών στη ποιότητα της χάραξης, αλλά και η πρακτική επαλήθευση θεωρητικών μοντέλων από τη βιβλιογραφία.

4.2 Επιλογή Υλικών

Για τις ανάγκες της εργασίας, επιλέχθηκαν δύο διαφορετικά υλικά με διαφορετικές φυσικομηχανικές ιδιότητες, ώστε να μελετηθεί η επίδραση της κατεργασίας σε υλικά με διαφορετική θερμική και μηχανική συμπεριφορά.

- Ο ανόπτητος καθαρός χαλκός (Cu) επιλέχθηκε για την υψηλή του αγωγιμότητα, την πλαστικότητα και την ευαισθησία του στη θερμική επεξεργασία με Laser, η οποία επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό το βάθος και την ευκρίνεια της χάραξης. Χρησιμοποιείται εκτενώς στη βιομηχανία για εφαρμογές που σχετίζονται με ηλεκτροαγώγιμα στοιχεία και κρίθηκε σημαντικό να αξιολογηθεί η δυνατότητα επισήμανσής του με Laser.
- Το κράμα αλουμινίου 5083 επιλέχθηκε λόγω της αντοχής του στη διάβρωση, της καλής μηχανικής αντοχής και της χρήσης του σε κατασκευές υψηλών απαιτήσεων, όπως ναυπηγικά και στρατιωτικά εξαρτήματα. Η συμπεριφορά του στην κατεργασία με Laser παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, καθώς χαρακτηρίζεται από διαφορετική απορρόφηση ενέργειας σε σχέση με τον χαλκό.

Η επιλογή αυτών των δύο υλικών στόχευσε στη συγκέντρωση δεδομένων από υλικά με διαφορετική θερμική συμπεριφορά και απορρόφηση ακτινοβολίας, ώστε να διαμορφωθούν χρήσιμα συμπεράσματα για την κατεργασιμότητά τους με παλμικό Laser.

4.3 Διαδικασία Χάραξης με Λείζερ

Η πειραματική χάραξη πραγματοποιήθηκε στην εργαλειομηχανή Lasertec 40, ένα προηγμένο CNC κέντρο κατεργασίας με τρία γραμμικά και δύο περιστροφικά αξονικά συστήματα. Το μηχάνημα είναι εξοπλισμένο με παλμικό Laser τύπου Ytterbium fiber μέγιστης ισχύος 20 Watt, ενώ ο προγραμματισμός των κατεργασιών έγινε μέσω των λογισμικών LpsWin και LaserSoft 3D.

Τα δοκίμια από χαλκό και αλουμίνιο προετοιμάστηκαν με μηχανικό καθαρισμό και απολίπανση, ώστε να διασφαλιστεί ότι η επιφάνεια προς χάραξη είναι ομοιογενής και καθαρή. Οι γεωμετρικές χάραξης περιλάμβαναν επιφάνειες σάρωσης, σε τυποποιημένες διαστάσεις 2x2mm, με μια επανάληψη ανά περίπτωση. Η ρύθμιση των παραμέτρων του Laser (ισχύς, συχνότητα παλμών, ταχύτητα σάρωσης) έγινε μέσω του ψηφιακού κέντρου ελέγχου του μηχανήματος.

4.4 Διαδικασία Συλλογής, Επεξεργασίας και Ανάλυσης Δεδομένων

Η διαδικασία συλλογής και ανάλυσης των πειραματικών δεδομένων αποτέλεσε κρίσιμο στάδιο στην παρούσα μελέτη, καθώς επέτρεψε την ποσοτική αξιολόγηση της ποιότητας της χάραξης με Laser. Η προσέγγιση που ακολουθήθηκε βασίστηκε στον συνδυασμό οπτικής μικροσκοπικής παρατήρησης και υπολογιστικής επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων, με στόχο την εξαγωγή ενός μετρήσιμου δείκτη αντίθεσης, ο οποίος λειτούργησε ως αντικειμενικό κριτήριο αποδοτικότητας των παραμετρικών συνθηκών κατεργασίας.

Η αρχική συλλογή εικόνων των χαραγμένων επιφανειών πραγματοποιήθηκε με τη χρήση στερεοσκοπίου Leica M125, το οποίο παρέχει υψηλή ευκρίνεια και μεγέθυνση έως και 100x. Τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε σταθερή βάση, ώστε να διασφαλιστεί μηδενική παραμόρφωση και κλίση κατά την απεικόνιση, ενώ χρησιμοποιήθηκε φωτισμός με ψυχρό φως LED για την ενίσχυση της οπτικής αντίθεσης μεταξύ των χαραγμένων και των μη κατεργασμένων περιοχών. Η εστίαση ρυθμίστηκε χειροκίνητα και η απεικόνιση πραγματοποιήθηκε μέσω ψηφιακής

κάμερας ενσωματωμένης στο μικροσκόπιο. Οι εικόνες καταγράφηκαν σε μορφή TIFF, ώστε να διατηρηθεί η ακρίβεια και η πληρότητα των δεδομένων φωτεινότητας χωρίς απώλειες.

Ακολούθως, οι εικόνες μεταφέρθηκαν στο λογισμικό επεξεργασίας εικόνας ImageJ για την πραγματοποίηση ποσοτικής ανάλυσης. Πρώτο βήμα αποτέλεσε η μετατροπή των έγχρωμων εικόνων σε μορφή 8-bit grayscale (κλίμακα 0–255), ώστε να επιτρέπεται ο υπολογισμός της φωτεινότητας σε κάθε περιοχή ενδιαφέροντος (ROI). Για κάθε χάραξη, ορίστηκαν δύο διακριτές περιοχές: η χαραγμένη επιφάνεια (ROI_1) και η μη κατεργασμένη επιφάνεια (ROI_2). Με τη χρήση του εργαλείου “Rectangular”, απομονώθηκαν οι περιοχές αυτές και για καθεμία υπολογίστηκε η μέση τιμή έντασης γκρι (Mean Gray Value), η οποία αναφέρεται στις τιμές G_m (χαραγμένη) και G_v (μη χαραγμένη επιφάνεια) αντίστοιχα.

Ο δείκτης αντίθεσης C ορίστηκε ως η σχετική μεταβολή της φωτεινότητας της χαραγμένης περιοχής σε σχέση με το υπόβαθρο, σύμφωνα με τον τύπο:

$$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$$

Η αριθμητική ερμηνεία του δείκτη αντίθεσης είναι άμεση: όταν $C > 0$, η χαραγμένη περιοχή εμφανίζεται πιο έντονη από το υπόβαθρο (θετική αντίθεση), γεγονός που συνήθως αντιστοιχεί σε επιτυχημένη απομάκρυνση υλικού ή τροποποίηση επιφάνειας. Αντιθέτως, όταν $C < 0$, η χαραγμένη περιοχή είναι σκοτεινότερη από την αρχική επιφάνεια.

Για λόγους επαναληψιμότητας και στατιστικής εγκυρότητας, κάθε συνθήκη κατεργασίας αξιολογήθηκε τουλάχιστον σε τρεις διαφορετικές περιοχές της επιφάνειας, και υπολογίστηκε η τυπική απόκλιση των τιμών έντασης γκρι για κάθε ROI.

5. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

5.1 Εισαγωγή

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει την ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν από την πειραματική διαδικασία κατεργασίας με Laser υλικών, με έμφαση στο κράμα αλουμινίου Al-5083 και τον καθαρό χαλκό Cu. Κύριος στόχος της ανάλυσης ήταν η αξιολόγηση της οπτικής ποιότητας των χαράξεων, με χρήση του δείκτη αντίθεσης (Contrast) ως κύριο ποσοτικό μέτρο. Η επίδραση των βασικών παραμέτρων κατεργασίας, δηλαδή της ισχύος του Laser (P), της ταχύτητας σάρωσης (V) και της συχνότητας παλμών (F) εξετάστηκε διεξοδικά, προκειμένου να εντοπιστούν οι βελτιστοποιημένες συνθήκες σήμανσης για κάθε υλικό.

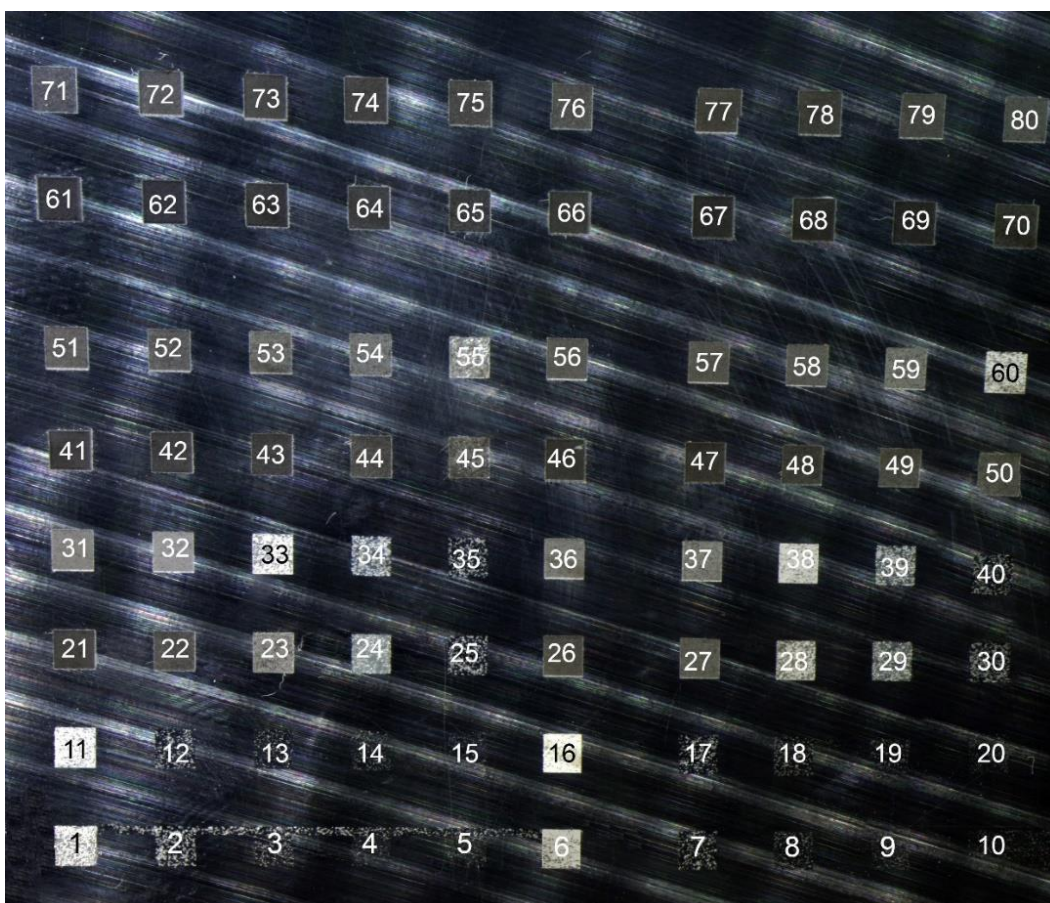
Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε στηρίχθηκε στη συστηματική παραμετρική μεταβολή κάθε μεταβλητής, με στόχο την απομόνωση και καταγραφή της επίδρασης κάθε παράγοντα στην επιτελούμενη σήμανση. Τα δεδομένα συλλέχθηκαν με χρήση οπτικού στερεοσκοπίου Leica M125, και στη συνέχεια επεξεργάστηκαν με το λογισμικό ImageJ, όπου υπολογίστηκε ο σχετικός δείκτης αντίθεσης.

Καθ' όλη τη διάρκεια της ανάλυσης, δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στον εντοπισμό των συνδυασμών παραμέτρων που οδηγούν στη μέγιστη δυνατή αντίθεση, χωρίς να προκαλούνται ανεπιθύμητα φαινόμενα όπως υπερθέρμανση, οξείδωση ή αλλοίωση της γεωμετρίας του υλικού. Τα αποτελέσματα οργανώθηκαν και παρουσιάζονται σε επόμενα υποκεφάλαια, ανά υλικό και παράμετρο κατεργασίας, παρέχοντας έτσι μια σαφή και τεκμηριωμένη εικόνα των βέλτιστων στρατηγικών σήμανσης.

5.2 Αλουμίνιο (Al-5083)

Στην περίπτωση του αλουμινίου, οι προτεινόμενες τιμές λειτουργίας σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή της μηχανής περιλαμβάνουν εύρος ταχυτήτων σάρωσης από 200 έως 500 mm/s, σταθερή συχνότητα 40 kHz και επιδιωκόμενο βάθος αφαίρεσης υλικού από 1 έως 8 μm . Παρ' όλα αυτά, στο πλαίσιο της πειραματικής διαδικασίας επιλέχθηκε να διερευνηθεί η συμπεριφορά του υλικού και σε παραμέτρους εκτός του ενδεδειγμένου λειτουργικού φάσματος, με σκοπό την αξιολόγηση της απόκρισης του Al-5083 σε μη τυπικές συνθήκες και τον εντοπισμό συνδυασμών που προσφέρουν αυξημένη οπτική αντίθεση στη σήμανση. Οι παράμετροι που εφαρμόστηκαν στα πειράματα ήταν οι εξής:

- Ισχύς Laser (P): 4 W (20%), 8 W (40%), 12 W (60%), 16 W (80%)
- Ταχύτητα σάρωσης (V): 100 mm/s, 200 mm/s, 300 mm/s, 400 mm/s
- Συχνότητα παλμών (F): 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz



Σχήμα 5.1: Δοκίμιο Πειράματος Αλουμινίου.

A/A	Ισχύς P (W)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)	Αντίθεση	A/A	Ισχύς P (W)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)	Αντίθεση
1	20%	100	20	428%	41	60%	100	20	78%
2	20%	100	30	148%	42	60%	100	30	71%
3	20%	100	40	57%	43	60%	100	40	84%
4	20%	100	50	35%	44	60%	100	50	122%
5	20%	100	60	29%	45	60%	100	60	197%
6	20%	200	20	500%	46	60%	200	20	103%
7	20%	200	30	67%	47	60%	200	30	96%
8	20%	200	40	20%	48	60%	200	40	124%
9	20%	200	50	39%	49	60%	200	50	175%
10	20%	200	60	6%	50	60%	200	60	212%
11	20%	300	20	512%	51	60%	300	20	150%
12	20%	300	30	59%	52	60%	300	30	150%
13	20%	300	40	8%	53	60%	300	40	172%
14	20%	300	50	20%	54	60%	300	50	248%
15	20%	300	60	3%	55	60%	300	60	368%
16	20%	400	20	587%	56	60%	400	20	204%

17	20%	400	30	88%	57	60%	400	30	190%
18	20%	400	40	35%	58	60%	400	40	222%
19	20%	400	50	28%	59	60%	400	50	290%
20	20%	400	60	56%	60	60%	400	60	461%
21	40%	100	20	85%	61	80%	100	20	80%
22	40%	100	30	120%	62	80%	100	30	56%
23	40%	100	40	218%	63	80%	100	40	58%
24	40%	100	50	262%	64	80%	100	50	70%
25	40%	100	60	102%	65	80%	100	60	118%
26	40%	200	20	161%	66	80%	200	20	102%
27	40%	200	30	214%	67	80%	200	30	75%
28	40%	200	40	401%	68	80%	200	40	72%
29	40%	200	50	246%	69	80%	200	50	79%
30	40%	200	60	118%	70	80%	200	60	100%
31	40%	300	20	219%	71	80%	300	20	122%
32	40%	300	30	288%	72	80%	300	30	137%
33	40%	300	40	456%	73	80%	300	40	107%
34	40%	300	50	232%	74	80%	300	50	105%
35	40%	300	60	111%	75	80%	300	60	115%
36	40%	400	20	283%	76	80%	400	20	91%
37	40%	400	30	320%	77	80%	400	30	135%
38	40%	400	40	518%	78	80%	400	40	124%
39	40%	400	50	265%	79	80%	400	50	145%
40	40%	400	60	87%	80	80%	400	60	177%

Πίνακας 5.1: Συνθήκες χάραξης με αποτελέσματα αντίθεσης

5.2.1 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ισχύ

Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάζεται η συσχέτιση της συχνότητας παλμών (F) με την οπτική αντίθεση (Contrast) της σήμανσης, υπό σταθερή ισχύ Laser, μεταβάλλοντας την ταχύτητα σάρωσης. Για κάθε επίπεδο ισχύος δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζονται οι τέσσερις καμπύλες που αντιστοιχούν στις επιμέρους τιμές ταχύτητας. Η ανάλυση αυτή αποτυπώνει τη συνδυαστική επίδραση χρονικής εναπόθεσης ενέργειας και δυναμικής σάρωσης, αναδεικνύοντας τη βέλτιστη απόκριση κάθε υλικού ως προς τη σχέση $F - V$ σε καθορισμένο ενεργειακό υπόβαθρο.

Στο πρώτο διάγραμμα του Σχήματος 5.2 παρατηρείται ότι η μέγιστη αντίθεση (587%) επιτυγχάνεται για ταχύτητα 400 mm/s και συχνότητα 20 kHz, ενώ η αντίθεση μειώνεται δραστικά καθώς αυξάνεται η συχνότητα. Η πτώση αυτή είναι εμφανής σε όλες τις ταχύτητες, με τις χαμηλές συχνότητες (20–30 kHz) να αποδίδουν πολύ καλύτερα από τις υψηλές. Ειδικότερα, όταν $F = 60$ kHz και ταχύτητα 200 mm/s, η αντίθεση πέφτει κάτω από 10%. Το φαινόμενο αυτό υποδηλώνει ότι σε χαμηλή ισχύ, η απόθεση ενέργειας είναι περιορισμένη, επομένως η μικρότερη συχνότητα επιτρέπει υψηλότερη κορυφαία ισχύ παλμού, η οποία οδηγεί σε εντονότερη εξάχνωση και καλύτερη οπτική αντίθεση.

Στο δεύτερο διάγραμμα του Σχήματος 5.2 παρατηρείται σημαντική βελτίωση της αντίθεσης σε μεσαίες και υψηλές συχνότητες, ειδικά για ταχύτητες 300 – 400 mm/s. Η μέγιστη αντίθεση εμφανίζεται όταν $V = 400$ mm/s και $F = 40$ kHz (518%), ενώ και στα 60 kHz διατηρείται σε αξιοπρεπή επίπεδα (407%). Αυτό δείχνει ότι η αύξηση ισχύος από 20% σε 40% αντισταθμίζει την απώλεια κορυφής ενέργειας λόγω αύξησης συχνότητας, διατηρώντας υψηλή ποιότητα σήμανσης. Συνεπώς, σε αυτό το επίπεδο ισχύος, οι ταχύτητες 300–400 mm/s συνδυάζονται ιδανικά με συχνότητες 30 – 50 kHz.

Στο επίπεδο ισχύος 60% του Σχήματος 5.2, οι υψηλές συχνότητες (50 – 60 kHz) αποδίδουν σημαντικά καλύτερα, ειδικά στις υψηλές ταχύτητες. Η υψηλότερη αντίθεση καταγράφηκε όταν $V = 400$ mm/s, και $F = 60$ kHz με τιμή 461%, υποδηλώνοντας ότι η πρόσθετη ενέργεια επιτρέπει αποδοτικότερη σήμανση ακόμα και σε απαιτητικές συνθήκες υψηλής παλμικής συχνότητας. Αντίθετα, οι χαμηλές συχνότητες δεν φαίνεται να ωφελούνται από την επιπλέον ισχύ, καθώς παρατηρείται σχετική στασιμότητα ή και μείωση της αντίθεσης. Οι ιδανικές συνθήκες εδώ είναι ισχύς 60%, συχνότητες 50 – 60 kHz και ταχύτητα 400 mm/s.

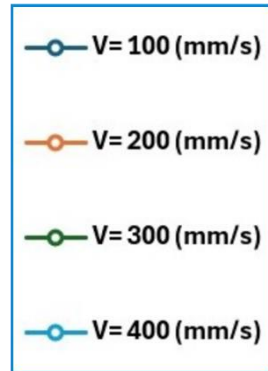
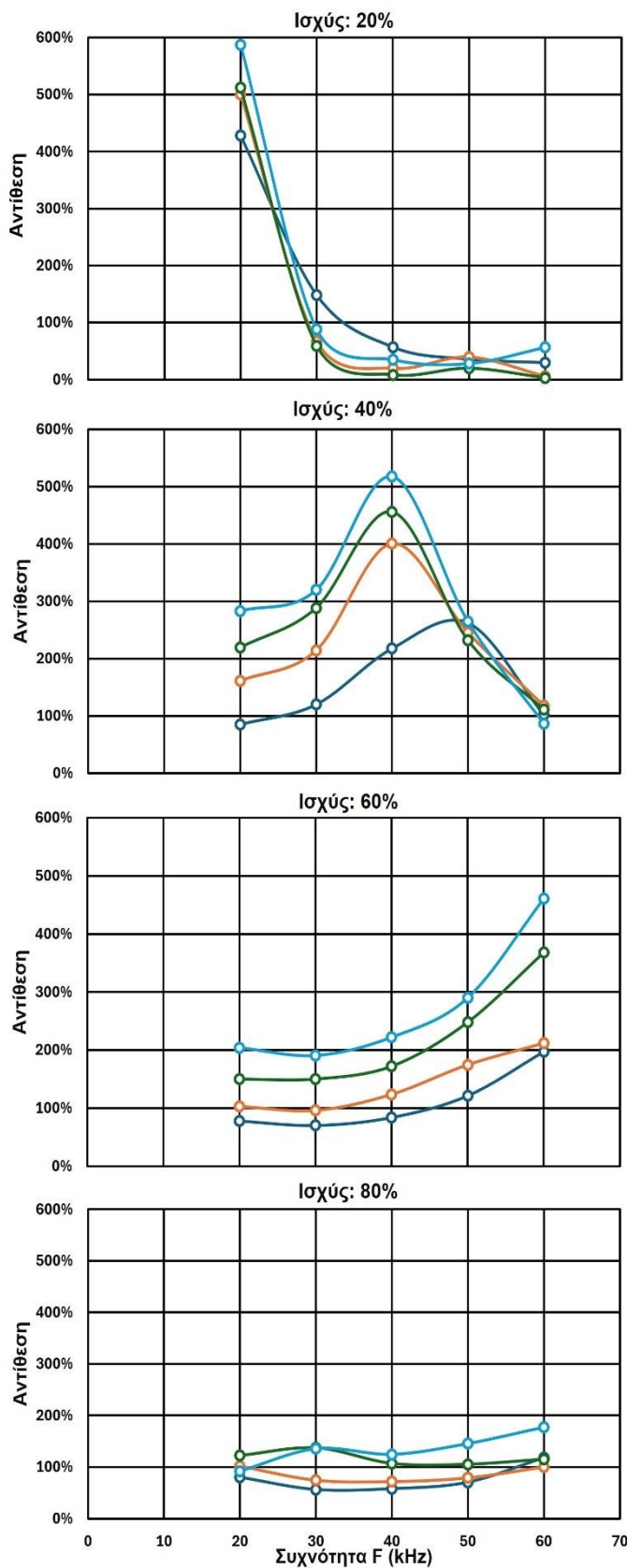
Η περαιτέρω αύξηση της ισχύος σε 80% δεν συνοδεύεται από ανάλογη αύξηση της αντίθεσης. Οι καμπύλες σταθεροποιούνται ή παρουσιάζουν μικρή πτώση, γεγονός που πιθανόν σχετίζεται με υπερβολική θερμική εισροή, η οποία οδηγεί σε επιφανειακή τήξη και απώλεια μικροδομικής λεπτομέρειας. Αυτό επηρεάζει αρνητικά την οπτική αντίθεση.

5.2.2 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ταχύτητα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η επίδραση της ισχύος (P) στη διαμόρφωση της αντίθεσης σήμανσης, υπό σταθερή ταχύτητα σάρωσης, καθώς μεταβάλλεται η συχνότητα. Κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε μία τιμή ταχύτητας και περιλαμβάνει τέσσερις καμπύλες για τις τιμές ισχύος. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αποτίμηση της επιρροής της ενέργειας ανά παλμό, υπό σταθερή κινηματική συνθήκη, εντοπίζοντας σημεία τοπικής μεγιστοποίησης της αντίθεσης ανά εύρος συχνότητας και προσδιορίζοντας κρίσιμα φαινόμενα όπως κορεσμός ή υποθέρμανση του υλικού.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων του πρώτου διαγράμματος στο Σχήμα 5.3, το οποίο αντιστοιχεί σε ταχύτητα σάρωσης 100 mm/s, δείχνει χαμηλή αποδοτικότητα της σήμανσης για το σύνολο του φάσματος συχνοτήτων. Η αντίθεση είναι γενικά περιορισμένη, ακόμα και σε χαμηλές συχνότητες όπως τα 20 kHz, όπου παρατηρούνται τιμές έως 320% για ισχύ 20%. Σε υψηλότερες συχνότητες η απόδοση μειώνεται δραστικά, ενώ η αύξηση της ισχύος στο 80% όχι μόνο δεν βελτιώνει τα αποτελέσματα, αλλά πιθανόν προκαλεί υπερβολική θέρμανση, με αποτέλεσμα απώλεια καθαρών χαρακτηριστικών στη σήμανση. Συνεπώς, η χαμηλή ταχύτητα σάρωσης θεωρείται μη βέλτιστη για το συγκεκριμένο υλικό.

Με αύξηση της ταχύτητας στα 200 mm/s, δεύτερο διάγραμμα στο Σχήμα 5.3 η συμπεριφορά του υλικού βελτιώνεται, ιδιαίτερα σε συνδυασμό με χαμηλές και μεσαίες συχνότητες (20–40 kHz). Οι καλύτερες τιμές αντίθεσης καταγράφηκαν για $F = 40$ kHz και ισχύ $P = 40\%$, με τιμή αντίθεσης 401%. Το εύρημα αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για εφαρμογές όπου δεν είναι δυνατή η χρήση υψηλών ταχυτήτων. Η περαιτέρω αύξηση ισχύος σε 60% ή 80% δεν βελτίωσε την απόδοση, ενισχύοντας την παρατήρηση ότι το Al-5083 αντιδρά αρνητικά σε υπερβολική θερμική καταπόνηση.



Informations:

Workpiece material	Al - 5083
Machine	DMG Lasertec 40
Laser beam	Nd YAG
Pulse duration	100 ns
Spot size	30 μ m
Pocket size	2 x 2 mm
Layers	1

Σχήμα 5.2: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για τις ταχύτητες 100, 200, 300, 400 mm/s

Στην ταχύτητα των 300 mm/s, τρίτο διάγραμμα στο Σχήμα 5.3 η συνολική συμπεριφορά της σήμανσης είναι περισσότερο σταθερή και ομοιογενής. Οι καμπύλες αντίθεσης παρουσιάζουν πιο ομαλές μεταβολές, ενώ η απόδοση βελτιώνεται ιδιαίτερα για συχνότητες από 30 έως 50 kHz, όταν η ισχύς κυμαίνεται μεταξύ 40% και 60%. Οι μετρήσεις υποδεικνύουν ότι η ισχύς 20% δεν είναι επαρκής για αυτή την ταχύτητα, ενώ η 80% W οδηγεί σε μείωση της ποιότητας. Η ταχύτητα των 300 mm/s λειτουργεί ως μεταβατική τιμή, όπου η σωστή ισορροπία ισχύος και συχνότητας μπορεί να προσφέρει σταθερά καλά αποτελέσματα.

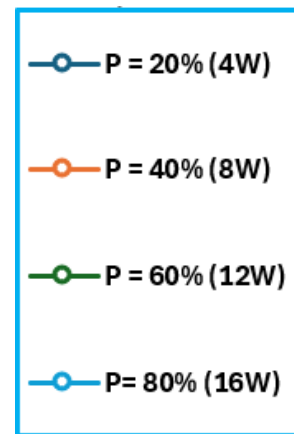
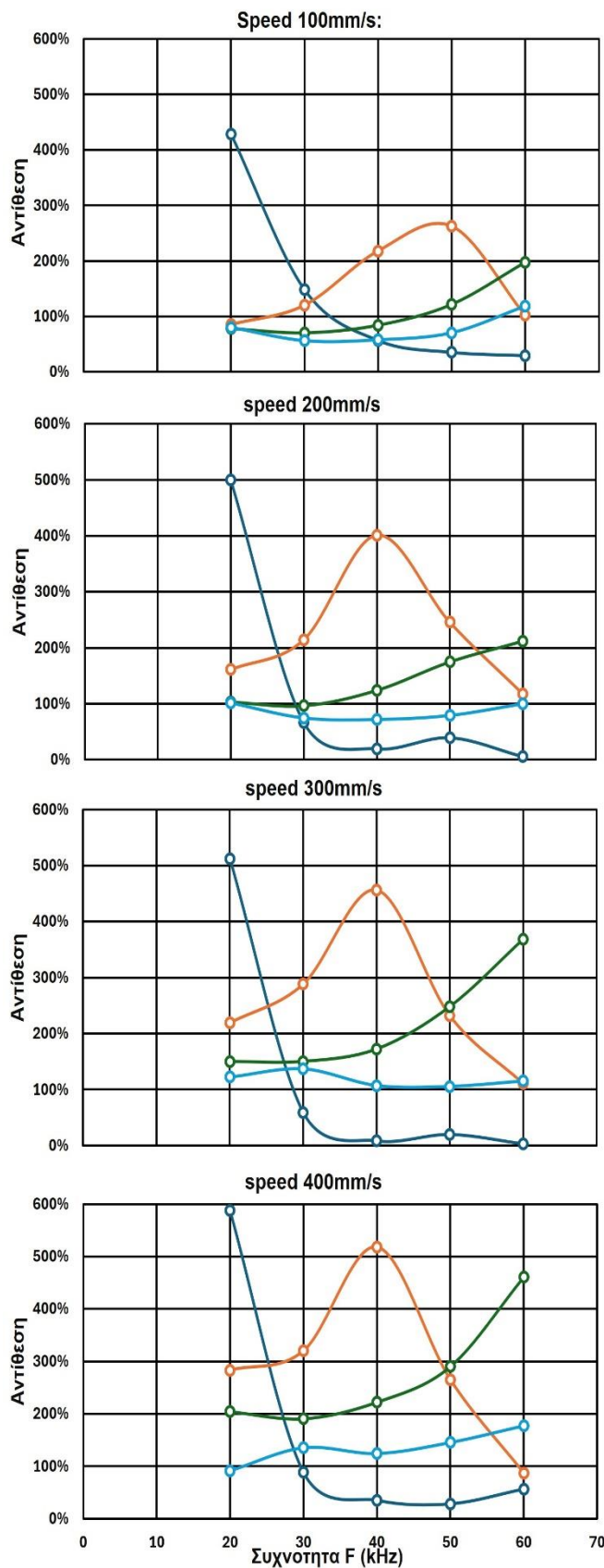
Η καλύτερη απόδοση επιτεύχθηκε με ταχύτητα σάρωσης 400 mm/s, τέταρτο διάγραμμα στο Σχήμα 5.3. Οι μετρήσεις καταδεικνύουν ότι, για χαμηλή συχνότητα $F = 20$ kHz και χαμηλή ισχύ $P = 20\%$, η αντίθεση φτάνει τη τιμή 587%, η οποία αποτελεί το υψηλότερο πειραματικά καταγεγραμμένο αποτέλεσμα. Αντίστοιχα, για μεσαίες και υψηλές συχνότητες (40–60 kHz), η αντίθεση παραμένει υψηλή όταν η ισχύς προσαρμόζεται κατάλληλα: 518% για $P = 40\%$ και $F = 40$ kHz, και 461% για $P = 60\%$ και $F = 60$ kHz. Η ισχύς 80% δεν αποδίδει περαιτέρω βελτίωση και ενδέχεται να προκαλέσει επιφανειακές αλλοιώσεις. Συνεπώς, η ταχύτητα 400 mm/s αναγνωρίζεται ως βέλτιστη παράμετρος σάρωσης για το Al-5083 σε όλο το φάσμα των συχνοτήτων.

5.2.3 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με την Ισχύ για Σταθερή Συχνότητα

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στη μελέτη της σχέσης μεταξύ ισχύος (P) και αντίθεσης, διατηρώντας σταθερή τη συχνότητα και μεταβάλλοντας την ταχύτητα σάρωσης. Για κάθε τιμή συχνότητας δημιουργήθηκε ένα ξεχωριστό διάγραμμα που περιλαμβάνει τις τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες. Η εν λόγω διάταξη επιτρέπει τη μεμονωμένη αξιολόγηση της επίδρασης της ισχύος για συγκεκριμένη συχνότητα και αναδεικνύει τον ρόλο της ταχύτητας ως συντελεστή χρονικής έκθεσης του υλικού σε σταθερό ρυθμό παλμών. Μέσω των καμπυλών εντοπίζονται οι βέλτιστοι συνδυασμοί $P - V$ για κάθε συχνότητα, καθώς και η ενεργειακή απόκριση του υλικού.

Στη συχνότητα $F = 20$ kHz του Σχήματος 5.4, οι καμπύλες αντίθεσης παρουσιάζουν έντονα γραμμική αύξηση της απόδοσης με την ταχύτητα σάρωσης, ιδιαίτερα για χαμηλές ισχύεις. Η βέλτιστη επίδοση καταγράφηκε για $P = 20\%$ και $V = 400$ mm/s, με αντίθεση 587%, η οποία αποτελεί και την κορυφαία τιμή όλων των πειραμάτων. Σε κάθε επίπεδο ταχύτητας, η αύξηση της ισχύος πέραν του 40% συνοδεύεται από αιφνίδια πτώση της αντίθεσης, γεγονός που ερμηνεύεται ως υπερβολική θερμική εισροή και επιφανειακής τήξης. Συμπερασματικά, η συχνότητα αυτή λειτουργεί βέλτιστα με ελάχιστη ισχύ και μέγιστη ταχύτητα.

Η συμπεριφορά των καμπυλών στη συχνότητα 30 kHz του Σχήματος 5.4 δείχνει μετατόπιση της βέλτιστης απόδοσης σε υψηλότερη ισχύ. Η μέγιστη τιμή αντίθεσης 320% καταγράφηκε για $P = 40\%$ και $V = 400$ mm/s, ενώ η απόδοση μειώνεται για υψηλότερες ή χαμηλότερες τιμές ισχύος. Παρατηρείται συστηματική αύξηση της αντίθεσης με την ταχύτητα, με τη βελτίωση να είναι πιο σταδιακή από ό,τι για $F = 20$ kHz. Οι καμπύλες παρουσιάζουν ομαλές μεταβολές, ενώ η χρήση χαμηλής ισχύος 20% οδηγεί σε μέτρια απόδοση, ιδιαίτερα σε μικρές ταχύτητες. Το εύρημα αυτό υποδηλώνει ότι, σε συχνότητα 30 kHz, η ενεργειακή απαίτηση αυξάνεται, και η ταχύτητα συνεχίζει να παίζει καθοριστικό ρόλο.



Informations:

Workpiece material	Al - 5083
Machine	DMG Lasertec 40
Laser beam	Nd YAG
Pulse duration	100 ns
Spot size	30 μ m
Pocket size	2 x 2 mm
Layers	1

Σχήμα 5.3: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για τιμές ισχύος 4, 8, 12, 16W

Η συχνότητα 40 kHz του Σχήματος 5.4, αποδείχθηκε το βέλτιστο σημείο λειτουργίας με βάση την ολική απόδοση των καμπυλών. Η μέγιστη τιμή αντίθεσης 518% παρατηρήθηκε για $P = 40\%$ και $V = 400$ mm/s, ενώ και σε ταχύτητες 300 mm/s η απόδοση παρέμεινε σε υψηλά επίπεδα ($>450\%$). Η επίδραση της ταχύτητας είναι έντονη, με αισθητή αύξηση της αντίθεσης για κάθε άνοδο του V , κυρίως μεταξύ 200 και 400 mm/s. Οι καμπύλες έχουν καλά καθορισμένα τοπικά μέγιστα, και εμφανίζουν ήπιες πτώσεις για $P > 40\%$. Το αποτέλεσμα αυτό αναδεικνύει την ανάγκη συντονισμού ισχύος και ταχύτητας, ώστε να επιτυγχάνεται η μέγιστη απόδοση.

Στη συχνότητα 50 kHz του Σχήματος 5.4, η μέγιστη τιμή αντίθεσης ήταν 290%, επιτεύχθηκε για $P = 60\%$ και $V = 400$ mm/s. Αν και οι τιμές είναι μικρότερες από αυτές των χαμηλότερων συχνοτήτων, παρατηρείται σταθεροποίηση της καμπύλης για κάθε επίπεδο ταχύτητας, με μειωμένη εξάρτηση από την ισχύ. Οι καμπύλες δεν εμφανίζουν απότομες κορυφές, γεγονός που υποδηλώνει ότι σε αυτή τη συχνότητα οι μηχανισμοί σήμανσης μεταβάλλονται – η τήξη υπερισχύει της εξάχνωσης. Η επίδραση της ταχύτητας εξακολουθεί να είναι θετική, αλλά λιγότερο καθοριστική σε σχέση με $F = 20\text{--}40$ kHz.

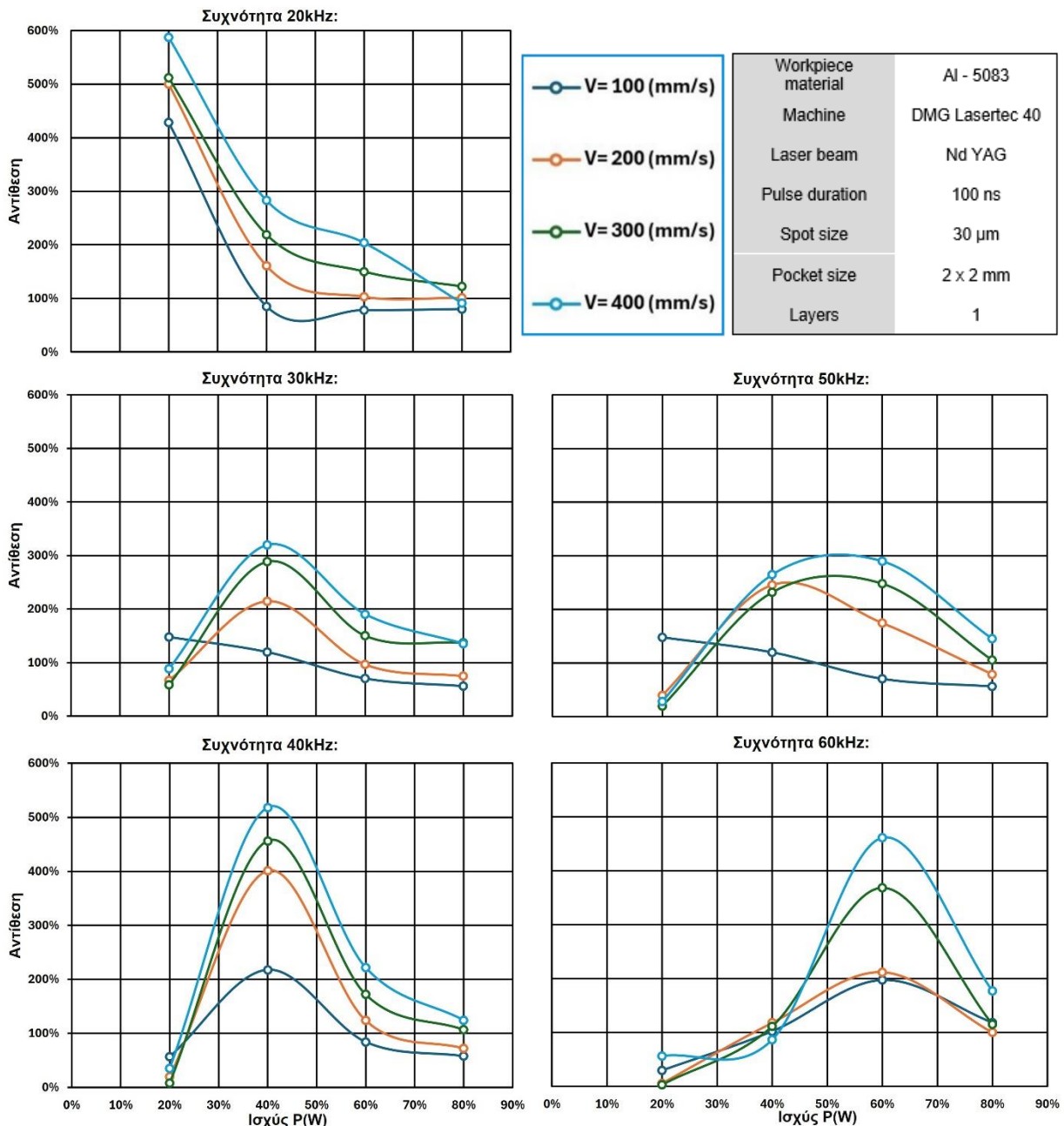
Η υψηλότερη συχνότητα 60 kHz του Σχήματος 5.4, ανέδειξε πολύπλοκη και μη γραμμική συμπεριφορά. Η μέγιστη αντίθεση (461%) καταγράφηκε για $P = 60\%$ και $V = 400$ mm/s, ωστόσο η συνολική απόδοση ποικίλλει έντονα ανάμεσα στις ταχύτητες. Για $V \leq 200$ mm/s, η αντίθεση μειώνεται αισθητά ανεξαρτήτως ισχύος, γεγονός που υποδεικνύει την ανάγκη για ταχεία σάρωση ώστε να αποφευχθεί υπερθέρμανση. Η χρήση πολύ υψηλής ισχύος (80%) δεν προσφέρει περαιτέρω οφέλη και οδηγεί σε μικρή πτώση απόδοσης. Οι καμπύλες υποδεικνύουν αλληλεπίδραση παλμών και θερμικής διάχυσης, που καθιστούν την κατεργασία σε 60 kHz πιο ευαίσθητη σε μεταβολές παραμέτρων.

5.2.4 Συμπεράσματα

Η πειραματική διερεύνηση της διαδικασίας σήμανσης με Laser στο κράμα αλουμινίου Al-5083 επέτρεψε την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων σχετικά με τη συσχέτιση των βασικών παραμέτρων κατεργασίας – ισχύος (P), ταχύτητας σάρωσης (V) και συχνότητας παλμών (F) – με την επιτυγχανόμενη οπτική αντίθεση (Contrast).

Αρχικά, επιβεβαιώθηκε ότι η ταχύτητα σάρωσης αποτελεί καθοριστικό παράγοντα για την ποιότητα της σήμανσης. Η ταχύτητα των 400 mm/s ανέδειξε σταθερά την υψηλότερη απόδοση σε όλο το εύρος συχνοτήτων και ισχύος, καταγράφοντας την κορυφαία τιμή αντίθεσης 587% για συχνότητα 20 kHz και ισχύ 20%. Η αυξημένη ταχύτητα φαίνεται να περιορίζει την υπερβολική θερμική εισροή, εξασφαλίζοντας καθαρές και ευκρινείς χαράξεις χωρίς αλλοιώσεις ή υπερθέρμανση.

Όσον αφορά τη συχνότητα παλμών (F), παρατηρήθηκε ότι χαμηλές συχνότητες, ιδίως 20 και 30 kHz, ευνοούν υψηλότερες τιμές αντίθεσης, κυρίως όταν συνδυάζονται με χαμηλές ή μεσαίες τιμές ισχύος. Στις συχνότητες αυτές, η ενέργεια ανά παλμό είναι μεγαλύτερη, ενισχύοντας το φαινόμενο της εξάχνωσης και προσδίδοντας πιο έντονη αντίθεση στη σήμανση. Αντίθετα, στις υψηλότερες συχνότητες (50–60 kHz), απαιτείται υψηλότερη ισχύς προκειμένου να διατηρηθεί επαρκής ενεργειακή πυκνότητα και ικανοποιητική απόδοση.



Σχήμα 5.4: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη ισχύ για τις ταχύτητες 100, 200, 300, 400 mm/s

Η ισχύς Laser (P) έδειξε διπλό ρόλο: σε χαμηλές τιμές (20 – 40%) επιτυγχάνονται πολύ υψηλές τιμές αντίθεσης, ειδικά για χαμηλές συχνότητες, ενώ σε υψηλότερα επίπεδα (60 – 80%) απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή στον συνδυασμό με τις υπόλοιπες παραμέτρους. Η υπερβολική ισχύς συχνά οδηγεί σε θερμική αλλοίωση του υλικού και υποβάθμιση της οπτικής ποιότητας, κυρίως σε χαμηλές ταχύτητες.

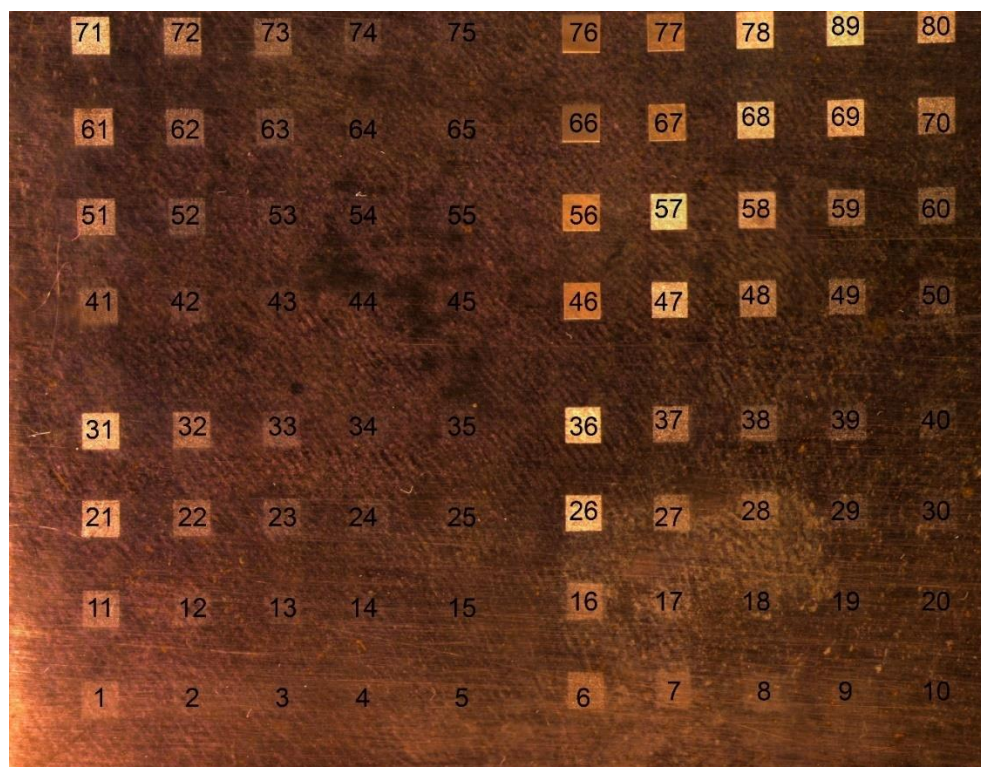
Συνολικά, οι βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας για την επίτευξη μέγιστης αντίθεσης στη σήμανση αλουμινίου είναι: Ισχύς 20%, Συχνότητα 20 kHz, Ταχύτητα 400 mm/s (587%).

5.3. Καθαρός Χαλκός (Cu)

Στην περίπτωση του καθαρού χαλκού (Cu), σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές λειτουργίας της εργαλειομηχανής Lasertec 40, τα προτεινόμενα όρια κατεργασίας περιλαμβάνουν ταχύτητα σάρωσης από 200 έως 500 mm/s, σταθερή συχνότητα 40 kHz, καθώς και επιθυμητό τελικό πάχος απομάκρυνσης υλικού από 1 έως 10 μm . Ωστόσο, στο πλαίσιο της πειραματικής διερεύνησης, εφαρμόστηκαν και συνδυασμοί παραμέτρων εκτός των ενδεδειγμένων ορίων, προκειμένου να αξιολογηθεί η συμπεριφορά του χαλκού υπό διευρυμένες συνθήκες και να προσδιοριστούν οι βέλτιστες παράμετροι που προσφέρουν αυξημένη οπτική αντίθεση κατά τη σήμανση.

Πιο συγκεκριμένα, το εύρος των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε στη μελέτη ήταν:

- Ισχύς Laser (P): 4 W (20%), 8 W (40%), 12 W (60%), 16 W (80%)
- Ταχύτητα σάρωσης (V): 100 mm/s, 200 mm/s, 300 mm/s, 400 mm/s
- Συχνότητα παλμών (F): 20 kHz, 30 kHz, 40 kHz, 50 kHz, 60 kHz



Σχήμα 5.5: Δοκίμιο Πειράματος Χαλκού

A/A	Ισχύς P (W)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)	Αντίθεση	A/A	Ισχύς P (W)	Ταχύτητα V (mm/s)	Συχνότητα F (kHz)	Αντίθεση
1	20%	100	20	209%	41	60%	100	20	134%
2	20%	100	30	77%	42	60%	100	30	11%
3	20%	100	40	27%	43	60%	100	40	-18%
4	20%	100	50	11%	44	60%	100	50	-24%

5	20%	100	60	1%	45	60%	100	60	-34%
6	20%	200	20	266%	46	60%	200	20	476%
7	20%	200	30	58%	47	60%	200	30	636%
8	20%	200	40	24%	48	60%	200	40	307%
9	20%	200	50	3%	49	60%	200	50	150%
10	20%	200	60	-7%	50	60%	200	60	67%
11	20%	300	20	57%	51	60%	300	20	276%
12	20%	300	30	21%	52	60%	300	30	68%
13	20%	300	40	4%	53	60%	300	40	-0,24%
14	20%	300	50	-3%	54	60%	300	50	-21%
15	20%	300	60	-9%	55	60%	300	60	-28%
16	20%	400	20	187%	56	60%	400	20	435%
17	20%	400	30	38%	57	60%	400	30	923%
18	20%	400	40	14%	58	60%	400	40	550%
19	20%	400	50	6%	59	60%	400	50	315%
20	20%	400	60	10%	60	60%	400	60	157%
21	40%	100	20	188%	61	80%	100	20	357%
22	40%	100	30	186%	62	80%	100	30	134%
23	40%	100	40	60%	63	80%	100	40	37%
24	40%	100	50	17%	64	80%	100	50	1%
25	40%	100	60	-3%	65	80%	100	60	-16%
26	40%	200	20	765%	66	80%	200	20	322%
27	40%	200	30	248%	67	80%	200	30	549%
28	40%	200	40	112%	68	80%	200	40	873%
29	40%	200	50	36%	69	80%	200	50	652%
30	40%	200	60	18%	70	80%	200	60	374%
31	40%	300	20	903%	71	80%	300	20	655%
32	40%	300	30	370%	72	80%	300	30	313%
33	40%	300	40	132%	73	80%	300	40	144%
34	40%	300	50	34%	74	80%	300	50	45%
35	40%	300	60	14%	75	80%	300	60	1%
36	40%	400	20	947%	76	80%	400	20	330%
37	40%	400	30	409%	77	80%	400	30	591%
38	40%	400	40	170%	78	80%	400	40	1036%
39	40%	400	50	73%	79	80%	400	50	951%
40	40%	400	60	18%	80	80%	400	60	627%

Πίνακας 5.2: Συνθήκες χάραξης με αποτελέσματα αντίθεσης

5.3.1 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ισχύ

Στο υποκεφάλαιο αυτό εξετάζεται η συσχέτιση της συχνότητας παλμών (F) με την οπτική αντίθεση (Contrast) της σήμανσης, υπό σταθερή ισχύ Laser, μεταβάλλοντας την ταχύτητα σάρωσης. Για κάθε επίπεδο ισχύος δημιουργήθηκε ένα διάγραμμα, στο οποίο απεικονίζονται οι τέσσερις καμπύλες που αντιστοιχούν στις επιμέρους τιμές ταχύτητας. Η ανάλυση αυτή αποτυπώνει τη συνδυαστική επίδραση χρονικής εναπόθεσης ενέργειας και δυναμικής σάρωσης, αναδεικνύοντας τη βέλτιστη απόκριση κάθε υλικού ως προς τη σχέση $F - V$ σε καθορισμένο ενεργειακό υπόβαθρο.

Στο πρώτο διάγραμμα του Σχήματος 5.6, που αντιστοιχεί σε ισχύ $P = 20\%$, παρατηρείται περιορισμένη απόδοση του συστήματος. Η μέγιστη αντίθεση (187%) καταγράφεται σε $F = 20$ kHz και $V = 400$ mm/s. Οι καμπύλες παρουσιάζουν έντονα φθίνουσα συμπεριφορά με την αύξηση της συχνότητας, αποτυπώνοντας τη μειωμένη ενέργεια ανά παλμό σε υψηλές συχνότητες. Η θερμική ενέργεια δεν επαρκεί για πλήρη εξάχνωση, με αποτέλεσμα αδύναμη σήμανση.

Στο δεύτερο διάγραμμα του Σχήματος 5.6, το οποίο αντιστοιχεί σε ισχύ $P = 40\%$, καταγράφονται πολύ υψηλές τιμές αντίθεσης, ειδικά για ταχύτητες άνω των 300 mm/s και συχνότητες 20 – 40 kHz. Η καμπύλη απόκρισης παρουσιάζει μονοτονική πτώση για $F > 40$ kHz, αλλά παραμένει σε υψηλά επίπεδα έως τα 50 kHz. Η απόδοση χαρακτηρίζεται από καλή σταθερότητα και ευελιξία, με τοπικά μέγιστα που επιτρέπουν προσαρμογές.

Στο τρίτο διάγραμμα του Σχήματος 5.6, το οποίο αντιστοιχεί σε ισχύ $P = 60\%$, αναδεικνύει τοπικά μέγιστα σε όλες τις ταχύτητες. Οι καμπύλες εμφανίζουν μη γραμμική συμπεριφορά, κυρίως στην περιοχή 30 – 40 kHz. Η συχνότητα 30 kHz δίνει τη μέγιστη αντίθεση (923%) για $V = 400$ mm/s.

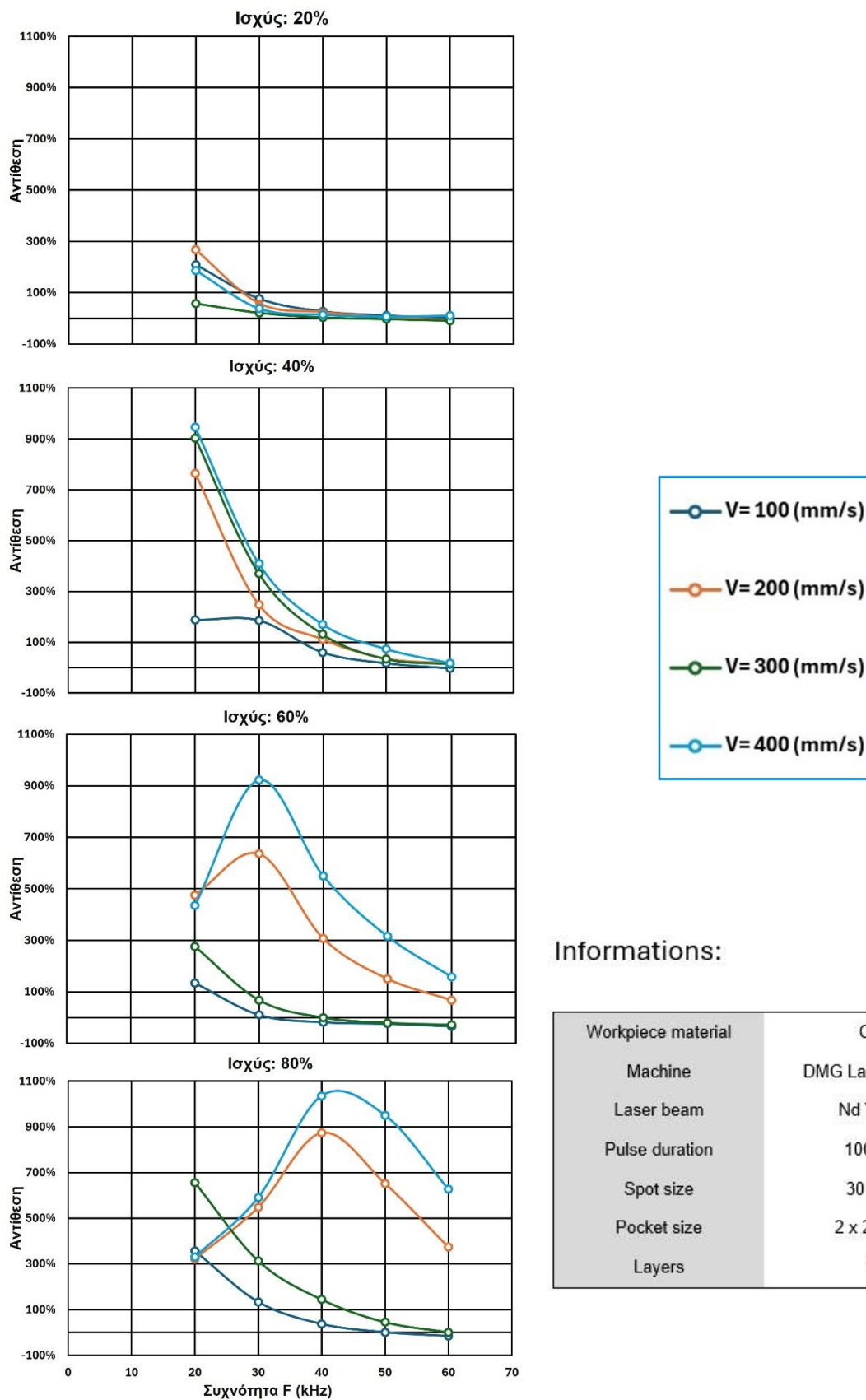
Στο τέταρτο διάγραμμα του Σχήματος 5.6, το οποίο αντιστοιχεί στη μέγιστη ισχύ $P = 80\%$, παρατηρείται η υψηλότερη επίδοση σε όρους οπτικής αντίθεσης, με μέγιστη τιμή 1036%. Οι καμπύλες παρουσιάζουν πλατό απόκρισης, ενδεικτικό κορεσμού ή εξισορρόπησης θερμικής ενέργειας στην επιφάνεια. Η απόδοση παραμένει σταθερή για όλες τις ταχύτητες άνω των 300 mm/s, ενώ οι επιπτώσεις της ταχύτητας περιορίζονται. Το επίπεδο αυτό είναι κατάλληλο για εφαρμογές υψηλής απαίτησης αντίθεσης, με πλήρη εκμετάλλευση του δυναμικού του συστήματος.

5.3.2 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για Σταθερή Ταχύτητα

Σε αυτό το υποκεφάλαιο παρουσιάζεται η επίδραση της ισχύος (P) στη διαμόρφωση της αντίθεσης σήμανσης, υπό σταθερή ταχύτητα σάρωσης, καθώς μεταβάλλεται η συχνότητα. Κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε μία τιμή ταχύτητας και περιλαμβάνει τέσσερις καμπύλες για τις τιμές ισχύος. Η προσέγγιση αυτή επιτρέπει την αποτίμηση της επιρροής της ενέργειας ανά παλμό, υπό σταθερή κινηματική συνθήκη, εντοπίζοντας σημεία τοπικής μεγιστοποίησης της αντίθεσης ανά εύρος συχνότητας και προσδιορίζοντας κρίσιμα φαινόμενα όπως κορεσμός ή υποθέρμανση του υλικού.

Στο 1ο διάγραμμα του Σχήματος 5.7, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα σάρωσης $V = 100$ mm/s, παρατηρείται περιορισμένη απόδοση σε όρους οπτικής αντίθεσης. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε για $P = 20\%$, και $F = 20$ kHz (209%). Καθώς η συχνότητα αυξάνεται, οι καμπύλες εμφανίζουν ραγδαία πτώση, και σε ισχύ $P \geq 60\%$, η αντίθεση γίνεται αρνητική ή μηδενική για $F \geq 40$ kHz. Η συμπεριφορά αυτή αποδίδεται στην υπερβολική θερμική συσσώρευση λόγω μεγάλης διάρκειας παραμονής της δέσμης στο υλικό, που οδηγεί σε αλλοίωση ή ανεπαρκή χάραξη. Οι καμπύλες είναι μονοτονικά φθίνουσες, χωρίς τοπικά μέγιστα, και η λειτουργία σε αυτή την ταχύτητα δεν ενδείκνυται για εφαρμογές υψηλής ευκρίνειας.

Με την αύξηση της ταχύτητας στα 200 mm/s, από το Σχήμα 5.7 παρατηρείται σημαντική βελτίωση της αντίθεσης, κυρίως για ισχύ 40 - 80%. Οι καμπύλες αποκτούν τοπικά μέγιστα, όπως για παράδειγμα: $P = 40\%$, $F = 20$ kHz (765%), $P = 60\%$, $F = 30$ kHz (636%) και $P = 80\%$, $F = 40$ kHz (873%). Η απόδοση βελτιώνεται λόγω της ταχύτερης μετακίνησης της δέσμης, που περιορίζει την υπερθέρμανση και επιτρέπει αποτελεσματικότερη απομάκρυνση υλικού.



Σχήμα 5.6: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για τις ταχύτητες 100, 200, 300, 400 mm/s

Στο 3ο διάγραμμα του Σχήματος 5.7, που αντιστοιχεί σε ταχύτητα σάρωσης $V = 300$ mm/s, αποτυπώνεται μία ιδανική ισορροπία μεταξύ ρυθμού κατεργασίας και ποιότητας σήμανσης. Η υψηλότερη τιμή αντίθεσης (903%) παρατηρείται για $P = 40\%$ και $F = 20$ kHz, ενώ η απόδοση παραμένει σταθερά καλή και για $P = 60\%$ και 80% . Οι καμπύλες σε αυτή την ταχύτητα εμφανίζουν τοπικά μέγιστα και μεταβαλλόμενες κλίσεις, ενδεικτικές μεταβατικής θερμικής συμπεριφοράς και υψηλής απόκρισης του υλικού στην απορροφούμενη ενέργεια. Η ευαισθησία στις αλλαγές συχνότητας μειώνεται για υψηλές ισχύεις, αποκαλύπτοντας σταθερό έλεγχο της διαδικασίας.

Η υψηλότερη ταχύτητα σάρωσης των 400 mm/s αποδείχθηκε η πλέον αποδοτική για τη διαδικασία σήμανσης, όπως αποτυπώνεται στο 4ο διάγραμμα του Σχήματος 5.7. Οι καμπύλες για ισχύ $P = 60\%$ και 80% παρουσιάζουν εκτεταμένο πλατό απόκρισης στην περιοχή 30–50 kHz, υποδεικνύοντας σταθερή και ελεγχόμενη θερμική αλληλεπίδραση. Η μέγιστη τιμή αντίθεσης (1036%) επιτεύχθηκε για $P = 80\%$ και $F = 40$ kHz, καταδεικνύοντας τον συνδυασμό με την καλύτερη ενεργειακή και οπτική απόδοση.

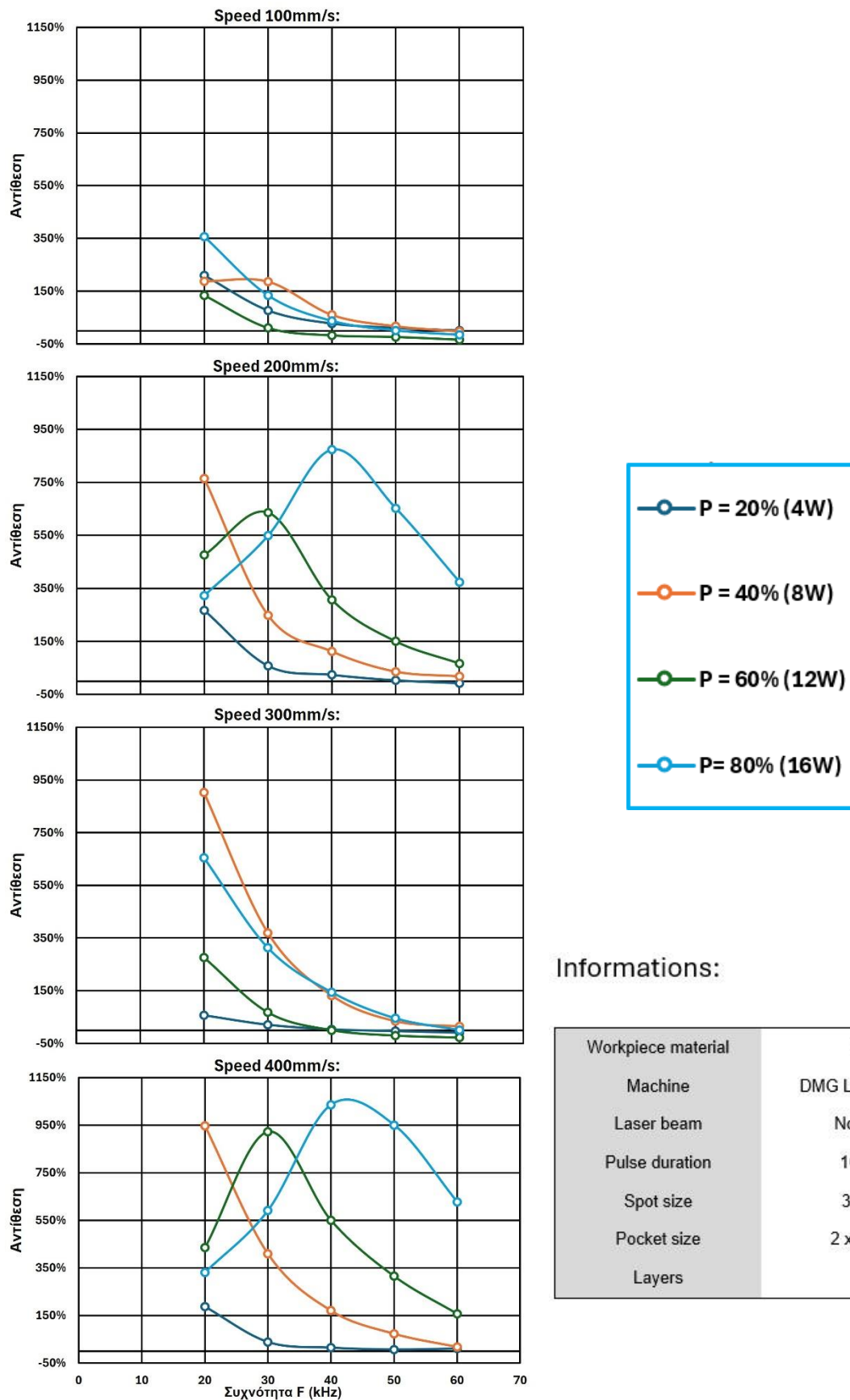
5.2.3 Ανάλυση Αντίθεσης σε Σχέση με την Ισχύ για Σταθερή Συχνότητα

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στη μελέτη της σχέσης μεταξύ ισχύος (P) και αντίθεσης, διατηρώντας σταθερή τη συχνότητα και μεταβάλλοντας την ταχύτητα σάρωσης. Για κάθε τιμή συχνότητας δημιουργήθηκε ένα ξεχωριστό διάγραμμα που περιλαμβάνει τις τέσσερις διαφορετικές ταχύτητες. Η εν λόγω διάταξη επιτρέπει τη μεμονωμένη αξιολόγηση της επίδρασης της ισχύος για συγκεκριμένη συχνότητα και αναδεικνύει τον ρόλο της ταχύτητας ως συντελεστή χρονικής έκθεσης του υλικού σε σταθερό ρυθμό παλμών. Μέσω των καμπυλών εντοπίζονται οι βέλτιστοι συνδυασμοί $P - V$ για κάθε συχνότητα, καθώς και η ενεργειακή απόκριση του υλικού.

Στη χαμηλή συχνότητα των 20 kHz από το Σχήμα 5.8, παρατηρείται θετική συσχέτιση μεταξύ της ισχύος και της αντίθεσης σε όλες τις ταχύτητες σάρωσης, με τοπικά μέγιστα για $P = 40\%$. Η υψηλότερη αντίθεση (947%) επιτυγχάνεται για $V = 400$ mm/s, ενώ εξίσου σημαντικές τιμές καταγράφονται και για $V = 300$ mm/s (903%). Η καμπύλη $V = 200$ mm/s κορυφώνεται στο 765% για $P = 40\%$, πριν σημειωθεί πτώση για υψηλότερη ισχύ. Για $V = 100$ mm/s, η αύξηση είναι πιο περιορισμένη έχοντας 357% όταν $P = 80\%$, υποδηλώνοντας κορεσμό ή ανεπαρκή απομάκρυνση υλικού λόγω υπερθέρμανσης. Η καλύτερη σταθερότητα καταγράφεται μεταξύ $P = 20 - 60\%$ για $V \geq 300$ mm/s.

Στη συχνότητα των 30 kHz του Σχήματος 5.8, η συμπεριφορά παρουσιάζει έντονη εξάρτηση από τη ταχύτητα. Η μέγιστη αντίθεση καταγράφεται για $V = 400$ mm/s και $P = 60\%$ (923%). Για $V = 200$ mm/s, σημειώνεται τοπικό μέγιστο (636%) σε ίδια ισχύ, ενώ για $V = 100$ mm/s, η αντίθεση παραμένει χαμηλή ($< 200\%$) σε όλο το φάσμα ισχύος. Οι καμπύλες για $V = 300$ και 400 mm/s εμφανίζουν υψηλή κλίση στην περιοχή $P = 40-60\%$, ενώ πέραν αυτής σημειώνεται ελαφρά πτώση ή σταθεροποίηση, φαινόμενο που αποδίδεται σε θερμικό κορεσμό ή επιφανειακή αλλοίωση.

Η συχνότητα των 40 kHz του Σχήματος 5.8, προσφέρει τις υψηλότερες επιδόσεις σε απόλυτους όρους, με μέγιστη αντίθεση 1036% για $V = 400$ mm/s και $P = 80\%$. Ωστόσο, για ταχύτητες μικρότερες από 300 mm/s παρατηρείται αρνητική ή ελάχιστη αντίθεση, ειδικά για $P \geq 60\%$, υποδεικνύοντας ανεπαρκή απομάκρυνση υλικού και επιφανειακή παραμόρφωση. Οι καμπύλες για $V = 400$ mm/s παρουσιάζουν σχεδόν γραμμική αύξηση μέχρι $P = 80\%$, ενώ για τις μικρότερες ταχύτητες παρατηρείται μη γραμμική πτωτική τάση. Η συνδυαστική υψηλή ισχύς και υψηλή ταχύτητα φαίνεται να είναι η αναγκαία συνθήκη για ποιοτική σήμανση σε αυτή τη συχνότητα.



Σχήμα 5.7: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη Συχνότητα για τιμές ισχύος 4, 8, 12, 16W

Στη συχνότητα των 50 kHz του Σχήματος 5.8, η απόδοση παραμένει καλή μόνο για $V = 400$ mm/s, όπου επιτυγχάνεται αντίθεση 951% για $P = 80\%$. Για $V = 200 - 300$ mm/s, η αντίθεση παραμένει χαμηλή ($< 200\%$), ενώ για $V = 100$ mm/s παρουσιάζει αρνητικές τιμές για $P \geq 60\%$. Οι καμπύλες είναι έντονα εκθετικές για $V = 400$ mm/s, παρουσιάζοντας αύξηση της απόδοσης με την ισχύ, ενώ οι υπόλοιπες ταχύτητες αποτυγχάνουν να αξιοποιήσουν το ενεργειακό φορτίο λόγω χαμηλής δυναμικής διεύθυνσης.

Η συχνότητα των 60 kHz του Σχήματος 5.8, εμφανίζει περιορισμένη αποτελεσματικότητα. Οι καμπύλες για $V = 100 - 300$ mm/s εμφανίζουν είτε μηδενική είτε αρνητική αντίθεση, ενώ η μόνη αξιοσημείωτη τιμή καταγράφεται για $V = 400$ mm/s και $P = 80\%$ (627%). Η συμπεριφορά αυτή ενισχύει την υπόθεση ότι σε τόσο υψηλές συχνότητες, η διάρκεια παλμού και η ενεργειακή πυκνότητα καθίστανται ανεπαρκείς για αποτελεσματική σήμανση εκτός αν συνδυάζονται με υψηλή ταχύτητα και μεγάλη ισχύ.

5.3.4 Συμπεράσματα

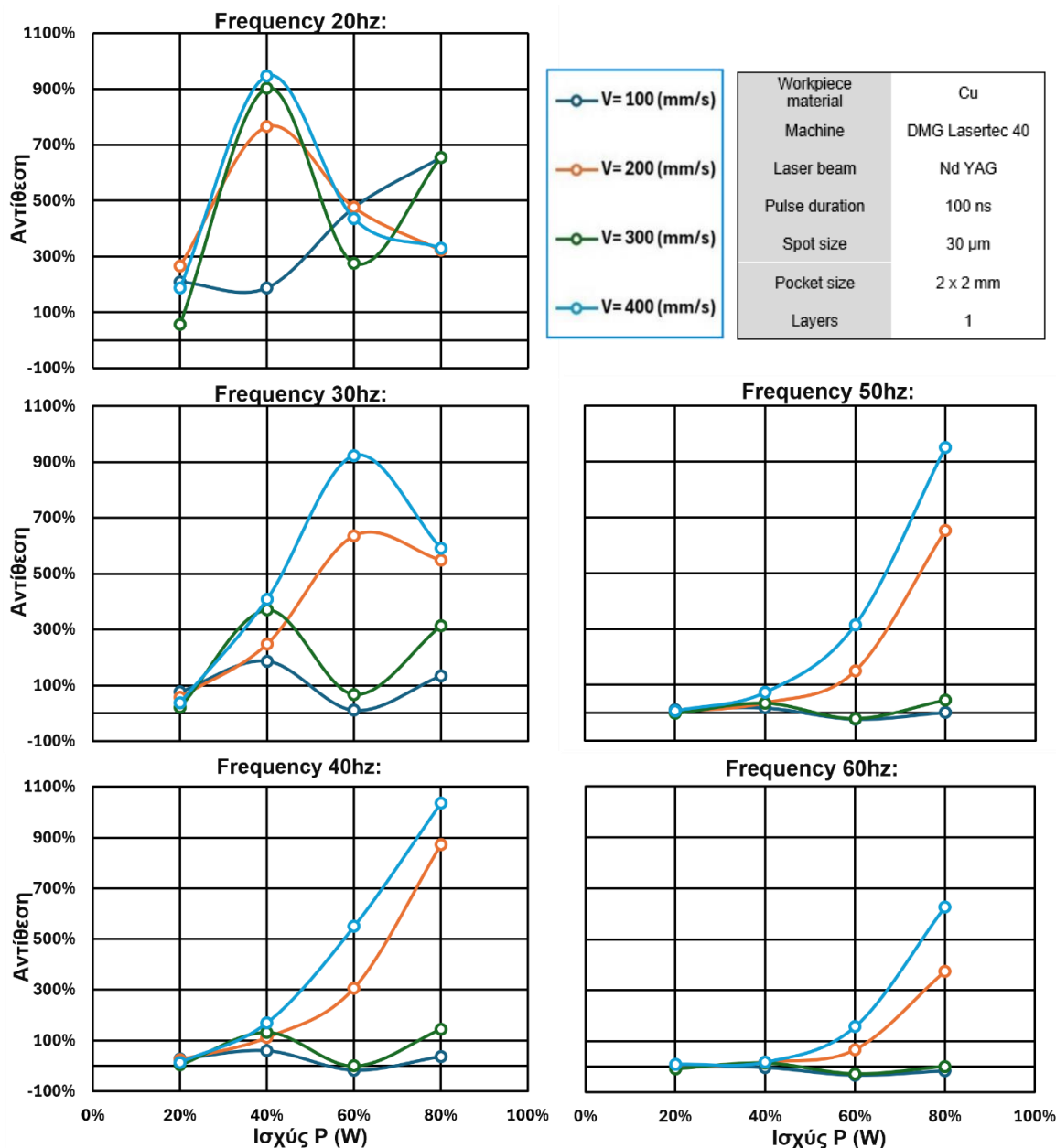
Η παρούσα πειραματική μελέτη ανέδειξε την κρισιμότητα της επιλογής κατάλληλων παραμέτρων κατεργασίας κατά τη διαδικασία σήμανσης καθαρού χαλκού (Cu) με Laser. Μέσα από συστηματική διερεύνηση του τρόπου με τον οποίο οι παράμετροι ταχύτητα σάρωσης (V), ισχύς Laser (P) και συχνότητα παλμών (F) επηρεάζουν την παραγόμενη οπτική αντίθεση (contrast), διαπιστώθηκε ότι η απόδοση της κατεργασίας δεν καθορίζεται από μία μόνο μεταβλητή, αλλά από τη συνδυασμένη τους αλληλεπίδραση. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν σαφώς πως η επίτευξη υψηλής ποιότητας σήμανσης απαιτεί βελτιστοποίηση και των τριών παραμέτρων ταυτόχρονα.

Συγκεκριμένα, παρατηρήθηκε ότι η ταχύτητα σάρωσης αποτελεί κρίσιμο παράγοντα για την αποδοτικότητα της διαδικασίας. Οι χαμηλές ταχύτητες (100 – 200 mm/s) συνδέονται με φαινόμενα υπερθέρμανσης, που οδηγούν είτε σε αρνητικές τιμές αντίθεσης είτε σε μη ευκρινή σημάδια, ιδιαίτερα σε υψηλές συχνότητες και υψηλή ισχύ. Αντιθέτως, οι υψηλές ταχύτητες (300 – 400 mm/s) επιτρέπουν την επίτευξη υψηλής αντίθεσης με σταθερότητα, καθιστώντας τις ιδανική επιλογή για ποιοτική και αναπαραγωγική κατεργασία.

Όσον αφορά τη συχνότητα παλμών, η μελέτη έδειξε ότι οι μέσες συχνότητες (20 – 30 kHz) είναι περισσότερο ευέλικτες και αποδοτικές σε συνδυασμό με μέση ισχύ (40 – 60%), ειδικά όταν η ταχύτητα είναι υψηλή. Στις συχνότητες αυτές παρατηρήθηκαν σταθερές τιμές αντίθεσης και καλύτερη απόκριση του υλικού. Αντιθέτως, για τις υψηλότερες συχνότητες (40 – 60 kHz) απαιτείται ισχυρή ενεργειακή ενίσχυση μέσω αυξημένης ισχύος (έως 80%), προκειμένου να επιτευχθούν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Ακόμη και τότε, όμως, η συμπεριφορά γίνεται πιο σύνθετη και ευαίσθητη στις ρυθμίσεις, γεγονός που καθιστά τη χρήση τους κατάλληλη μόνο για ειδικές περιπτώσεις.

Η ισχύς Laser αποδείχθηκε ένας ακόμη παράγοντας με μη γραμμική επίδραση στην ποιότητα σήμανσης. Σε χαμηλές τιμές ($P \leq 40\%$), η αντίθεση αυξάνεται σημαντικά μέχρι ένα σημείο, πέρα από το οποίο παρατηρείται κορεσμός ή πτώση λόγω θερμικών φαινομένων. Σε υψηλότερες συχνότητες (30 – 40 kHz), ωστόσο, η αύξηση της ισχύος από 60% μέχρι 80% αποδείχθηκε αναγκαία για την επίτευξη μέγιστων τιμών αντίθεσης.

Η βέλτιστη ρύθμιση για τη σήμανση καθαρού χαλκού, με τη μέγιστη οπτική αντίθεση (1036%), είναι: ταχύτητα σάρωσης $V = 400$ mm/s, ισχύς $P = 80\%$ και συχνότητα $F = 40$ kHz. Η ρύθμιση αυτή εξασφαλίζει υψηλή ποιότητα σήμανσης, σταθερότητα στην απόκριση του υλικού και καλή διαχείριση της θερμικής ενέργειας.



Σχήμα 5.8: Διαγράμματα Αντίθεσης σε Σχέση με τη ισχύ για τις ταχύτητες 100, 200, 300, 400 mm/s

Πέραν της μέγιστης απόδοσης, για εφαρμογές που απαιτούν ενεργειακή αποδοτικότητα ή λειτουργία με περιορισμένη ισχύ, προτείνονται ρυθμίσεις με $P = 40\%$ $F = 20 - 30$ kHz και $V = 300 - 400$ mm/s. Ο συνδυασμός αυτός προσφέρει υψηλή αντίθεση (>900%) με μειωμένο θερμικό φορτίο στην επιφάνεια.

Τέλος, από τη συγκριτική αξιολόγηση των καμπυλών προκύπτει ότι η σταδιακή αύξηση της ισχύος σε συνάρτηση με τη συχνότητα (π.χ. $P = 40\%$ για 20 kHz, $P = 60\%$ για 30 kHz, $P = 80\%$ για 40 kHz) αποτελεί στρατηγική επιλογή για διατήρηση σταθερής ενεργειακής πυκνότητας και βέλτιστης αντίθεσης. Η χρήση συχνότητας 60 kHz προτείνεται μόνο σε συνθήκες πολύ υψηλής ταχύτητας και ισχύος, λόγω της περιορισμένης απόδοσης σε αντίθεση.

6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

6.1 Αποτελέσματα Πειραματικής Διαδικασίας

Η παρούσα πειραματική εργασία αποσκοπούσε στη διερεύνηση της επίδρασης βασικών παραμέτρων κατεργασίας Laser – και συγκεκριμένα της ισχύος (P), της ταχύτητας σάρωσης (V) και της συχνότητας παλμών (F) – στην παραγόμενη οπτική αντίθεση (contrast) κατά τη σήμανση δύο διαφορετικών μετάλλων: του κράματος αλουμινίου Al-5083 και του καθαρού χαλκού (Cu). Η ανάλυση των αποτελεσμάτων, τόσο σε ποσοτικό όσο και σε ποιοτικό επίπεδο, ανέδειξε τις κρίσιμες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των παραμέτρων και προσδιόρισε τις βέλτιστες συνθήκες κατεργασίας για κάθε υλικό ξεχωριστά.

Για το υλικό Al-5083, η ταχύτητα σάρωσης αποδείχθηκε η πλέον καθοριστική μεταβλητή. Οι υψηλές ταχύτητες (300 – 400 mm/s) παρείχαν υψηλή αντίθεση και σταθερότητα στη σήμανση, ενώ παράλληλα περιόριζαν την ανεπιθύμητη θερμική επίδραση. Η χρήση χαμηλής ισχύος ($P = 20\%$) σε συνδυασμό με χαμηλή συχνότητα ($F = 20$ kHz) απέδωσε τη μέγιστη τιμή αντίθεσης, φτάνοντας το 587%, ενώ εναλλακτικά, με μέση ή υψηλή ισχύ ($P = 40 - 60\%$) και συχνότητες 40 – 60 kHz, επιτεύχθηκαν ικανοποιητικές τιμές αντίθεσης ($>460\%$) υπό συνθήκες υψηλής ταχύτητας. Η μελέτη ανέδειξε τη σημασία της ενεργειακής πυκνότητας ανά παλμό, υποδεικνύοντας ότι η υπερβολική ισχύς σε συνδυασμό με χαμηλές συχνότητες μπορεί να προκαλέσει θερμικές αλλοιώσεις και να υποβαθμίσει την ποιότητα της σήμανσης.

Στην περίπτωση του καθαρού χαλκού, η συμπεριφορά του υλικού αποδείχθηκε πιο σύνθετη και ευαίσθητη στις μεταβολές των παραμέτρων. Οι χαμηλές ταχύτητες (100 – 200 mm/s), ιδιαίτερα σε συνδυασμό με υψηλή ισχύ και συχνότητα, οδήγησαν σε φαινόμενα υπερθέρμανσης και παρουσίασαν αρνητικές ή ασταθείς τιμές αντίθεσης. Αντιθέτως, οι υψηλές ταχύτητες (300 – 400 mm/s) παρείχαν σημαντικά καλύτερη απόκριση, εξασφαλίζοντας υψηλή αντίθεση και καθαρότητα σήμανσης. Το βέλτιστο αποτέλεσμα καταγράφηκε για $P = 80\%$, $F = 40$ kHz και $V = 400$ mm/s, με τιμή αντίθεσης 1036%, τη μεγαλύτερη του συνόλου.

Από τη συγκριτική ανάλυση των καμπυλών για τα δύο υλικά προκύπτουν κοινά πορίσματα. Πρώτον, η ταχύτητα σάρωσης επηρεάζει άμεσα την ποιότητα και ευκρίνεια της σήμανσης και γενικά η χρήση υψηλών τιμών (≥ 300 mm/s) ενδείκνυται. Δεύτερον, η επιλογή συχνότητας πρέπει να συνδέεται άμεσα με την ισχύ: σε χαμηλές συχνότητες επαρκεί μικρή ισχύς, ενώ σε υψηλότερες απαιτείται ενίσχυση της ισχύος για διατήρηση της ενεργειακής πυκνότητας. Η συστηματική προσαρμογή των τιμών $P - F - V$ επιτρέπει τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας, περιορίζοντας την ανεπιθύμητη θερμική επίδραση και μεγιστοποιώντας την αντίθεση.

Τέλος, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι για ενεργειακά αποδοτική λειτουργία, προτείνονται οι συνδυασμοί $P = 40\%$, $F = 20 - 30$ kHz και $V = 300 - 400$ mm/s, οι οποίοι εξασφαλίζουν αντίθεση άνω του 900% με περιορισμένη θερμική επίδραση και χαμηλό κόστος ενέργειας. Η προσέγγιση αυτή μπορεί να αξιοποιηθεί σε βιομηχανικά περιβάλλοντα, τόσο για μαζική παραγωγή όσο και για εξειδικευμένες εφαρμογές.

6.2 Αξιοσημείωτες Παρατηρήσεις

Κατά τη διάρκεια της πειραματικής διαδικασίας προέκυψαν ορισμένες ποιοτικές και τεχνικές παρατηρήσεις που δεν εντάσσονται πλήρως στη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων αλλά παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την κατανόηση της συμπεριφοράς των υλικών υπό την επίδραση παλμικού Laser. Οι παρατηρήσεις αυτές συμβάλλουν ουσιαστικά στη διαμόρφωση

μιας σφαιρικής εικόνας για την απόκριση των υλικών στις μεταβαλλόμενες συνθήκες κατεργασίας.

Αρχικά, διαπιστώθηκε ότι σε ορισμένες περιπτώσεις χαμηλής ισχύος ($P = 20\%$) και υψηλής συχνότητας ($F \geq 50$ kHz), η σήμανση είτε ήταν αδιόρατη είτε παρουσίαζε αντίθεση μικρότερη του μηδενός. Η συμπεριφορά αυτή, που παρατηρήθηκε κυρίως στον χαλκό, αποδίδεται σε ανεπαρκή ενεργειακή πυκνότητα, η οποία δεν είναι ικανή να προκαλέσει την απαιτούμενη μεταβολή στην επιφάνεια ώστε να επιτευχθεί ευδιάκριτη οπτική σήμανση.

Παράλληλα, στην κατεργασία του χαλκού, εμφανίστηκαν έντονα φαινόμενα ανάκλασης όταν η χάραξη πραγματοποιούνταν με χαμηλή ταχύτητα και υψηλή ισχύ, ιδίως σε συχνότητες άνω των 40 kHz. Το αποτέλεσμα ήταν η μείωση της αποτελεσματικότητας της ενέργειας που απορροφάται από την επιφάνεια και η πρόκληση φωτεινών σημαδιών αντί για σκούρες και έντονες επιφάνειες. Σε αρκετές περιπτώσεις, παρατηρήθηκε επίσης πλήρης τήξη ή οξείδωση της περιοχής χάραξης, γεγονός που επηρεάζει την αναγνωσιμότητα της.

Στο αλουμίνιο, αξιοσημείωτη ήταν η ευστάθεια της απόκρισης του υλικού σε μεταβολές παραμέτρων. Το Al-5083 εμφάνισε γραμμικές καμπύλες αντίθεσης σε σχέση με την ισχύ και τη συχνότητα, με σαφή κορυφές που καθιστούν ευκολότερη τη βελτιστοποίηση. Επιπλέον, παρατηρήθηκε ότι η επιφάνεια του αλουμινίου αντιδρούσε πιο ομοιογενώς στις αλλαγές παραμέτρων σε σχέση με τον χαλκό, γεγονός που συνδέεται με τις διαφορετικές οπτικές και θερμικές ιδιότητες των δύο μετάλλων.

Ιδιαίτερης σημασίας ήταν η παρατήρηση ότι η ποιότητα φωτισμού και η γωνία παρατήρησης κατά τη φάση συλλογής δεδομένων μέσω οπτικού στερεοσκοπίου επηρέαζαν άμεσα τη μέτρηση της οπτικής αντίθεσης. Για τον λόγο αυτό, χρησιμοποιήθηκε αποκλειστικά πλευρικός φωτισμός ψυχρού φάσματος και διατηρήθηκε σταθερή γωνία παρατήρησης και καταγραφής σε όλα τα δείγματα, ώστε να διασφαλιστεί η συγκρισιμότητα των αποτελεσμάτων.

Συνολικά, οι παρατηρήσεις αυτές υπογραμμίζουν ότι η διαδικασία Laser σήμανσης δεν περιορίζεται στη ρύθμιση των παραμέτρων κατεργασίας, αλλά απαιτεί ταυτόχρονα σωστή προετοιμασία δείγματος, σταθερές συνθήκες παρατήρησης και επαναληψιμότητα μεθοδολογίας, ώστε να επιτευχθούν αποτελέσματα υψηλής αξιοπιστίας και ακρίβειας.

6.3 Προτάσεις Περαιτέρω Διερεύνησης

Η παρούσα πειραματική μελέτη προσέφερε σημαντικά συμπεράσματα αναφορικά με τη βέλτιστη επιλογή παραμέτρων Laser σήμανσης για τα υλικά Al-5083 και καθαρό χαλκό Cu. Ωστόσο, όπως κάθε ερευνητική προσέγγιση, παρέχει τη βάση για περαιτέρω εμβάθυνση και εξερεύνηση νέων πτυχών που δεν καλύφθηκαν πλήρως στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας.

Πρωτίστως, θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη η διεύρυνση του πειραματικού σχεδιασμού με την εισαγωγή επιπλέον ενδιάμεσων τιμών παραμέτρων κατεργασίας, όπως συχνότητα (π.χ. 25, 35, 45 kHz) και ταχύτητα σάρωσης με βήματα των 50 mm/s. Η αύξηση της αναλυτικής πυκνότητας των δεδομένων θα μπορούσε να οδηγήσει σε βελτιωμένη μοντελοποίηση της αντίθεσης σε συνάρτηση με τις παραμέτρους, συμβάλλοντας σε πιο αξιόπιστη πρόβλεψη συμπεριφοράς μέσω μεθόδων παλινδρόμησης ή τεχνητής νοημοσύνης.

Επιπλέον, προτείνεται η εφαρμογή φασματοσκοπικών και επιφανειακών τεχνικών όπως Raman, EDX και XPS, με σκοπό τη χημική και οξειδωτική ανάλυση των περιοχών σήμανσης. Ιδιαίτερα στον χαλκό, οι διακυμάνσεις αντίθεσης πιθανώς συνδέονται με σχηματισμό διαφορετικών οξειδίων CuO και Cu₂O, τα οποία δεν μπορούν να ανιχνευθούν με οπτικά μέσα

μόνο. Η ενσωμάτωση τέτοιων τεχνικών θα ενισχύσει την κατανόηση των μηχανισμών που επηρεάζουν την οπτική αντίθεση.

Μια ακόμη προοπτική αφορά στη μηχανική και μικροδομική ανάλυση των χαραγμένων περιοχών, με χρήση Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης (SEM), Ατομικής Μικροσκοπίας Δύναμης (AFM) ή οπτικού προφίλομέτρου. Η χαρτογράφηση των μεταβολών στο βάθος, τη τραχύτητα και τη μορφολογία θα επιτρέψει συσχετίσεις ανάμεσα στη γεωμετρία της χάραξης και τη φωτομετρική της συμπεριφορά.

Παράλληλα, είναι σκόπιμο να διερευνηθεί η μακροχρόνια σταθερότητα των χαραξιών υπό συνθήκες περιβαλλοντικής γήρανσης (π.χ. υγρασία, υπεριώδης ακτινοβολία, θερμικά σοκ), ώστε να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητα της σήμανσης σε πραγματικές βιομηχανικές συνθήκες. Επιπρόσθετα, η δοκιμή άλλων κραμάτων ή επιστρώσεων θα διεύρυνε τη γενίκευση των συμπερασμάτων.

Τέλος, η ενσωμάτωση αντικειμενικών μεθόδων μέτρησης της αναγνωσιμότητας, όπως η χρήση OCR (Optical Character Recognition) λογισμικών ή ανθρώπινης αξιολόγησης με blind tests, θα προσέδιδε πρακτική βαρύτητα στα ευρήματα αναφορικά με την ποιοτική αξία των σημάνσεων.

7. ΣΥΝΟΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της τεχνολογίας σήμανσης με παλμικό λέιζερ σε μεταλλικά υλικά, με σκοπό την ποσοτική αποτίμηση της παραγόμενης οπτικής αντίθεσης ως βασικού δείκτη αξιολόγησης της ποιότητας κατεργασίας. Ειδικότερα, εξετάστηκαν δύο τεχνικά και βιομηχανικά κρίσιμα υλικά, το κράμα αλουμινίου Al-5083 και ο καθαρός χαλκός (Cu), λόγω των σημαντικών διαφορών τους σε θερμικές ιδιότητες, ανακλαστικότητα και αλληλεπίδραση με τη ακτινοβολία λέιζερ.

Η πειραματική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο πενταξονικό κέντρο κατεργασίας DMG MORI Lasertec 40, το οποίο διαθέτει παλμικό λέιζερ τύπου Ytterbium fiber, μέγιστης ισχύος 20 W. Η χάραξη έγινε με ελεγχόμενο προγραμματισμό μέσω του λογισμικού LaserSoft 3D, ενώ καταγράφηκαν συνολικά 80 διαφορετικές συνθήκες κατεργασίας ανά υλικό, με παραμετρικές μεταβολές στην ισχύ (4 – 16 W), τη συχνότητα παλμών (20–60 kHz) και την ταχύτητα σάρωσης (100 – 400 mm/s).

Η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων βασίστηκε σε ποσοτική ανάλυση εικόνας. Οι χαράξεις παρατηρήθηκαν και καταγράφηκαν μέσω ενσωματωμένης ψηφιακής κάμερας του οπτικού στερεοσκοπικού μικροσκοπίου Leica M125. Στη συνέχεια, οι εικόνες υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με το λογισμικό ImageJ, όπου μετρήθηκαν οι μέσοι όροι των τιμών έντασης (Gray level) σε περιοχές ενδιαφέροντος (ROI). Η αντίθεση (contrast) ορίστηκε ως η σχετική διαφορά έντασης μεταξύ της χαραγμένης και της αρχικής επιφάνειας και αποτέλεσε τη βασική μεταβλητή για την εξαγωγή συγκριτικών συμπερασμάτων.

Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε μέσω τριών σετ διαγραμμάτων ανά υλικό:

- Σχέση Αντίθεσης – Συχνότητας για κάθε επίπεδο ισχύος (μεταβολή της ταχύτητας).
- Σχέση Αντίθεσης – Συχνότητας για κάθε επίπεδο ταχύτητας (μεταβολή της ισχύος).
- Σχέση Αντίθεσης – Ισχύος για κάθε επίπεδο συχνότητας (μεταβολή της ταχύτητας).

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν σαφώς την πολυπαραγοντική φύση της διαδικασίας σήμανσης. Για το κράμα Al-5083, διαπιστώθηκε ότι οι βέλτιστες συνθήκες εντοπίζονται σε $P = 40 - 60\%$, $F = 20 - 40$ kHz και $V = 400$ mm/s, προσφέροντας αντίθεση έως και 587%. Για τον καθαρό χαλκό, οι υψηλότερες τιμές αντίθεσης καταγράφηκαν για $P = 80\%$, $F = 40$ kHz και $V = 400$ mm/s, όπου σημειώθηκε η μέγιστη τιμή 1036%. Ωστόσο, διαπιστώθηκε ότι η υπερβολική ισχύς ή πολύ χαμηλή ταχύτητα οδηγούν σε θερμικά φαινόμενα, αλλοίωση γεωμετρίας και μείωση της αντίθεσης.

Η εργασία ολοκληρώθηκε με τη διατύπωση πρακτικών προτάσεων για τη βέλτιστη παραμετροποίηση της διαδικασίας σήμανσης, καθώς και με την παρουσίαση προτάσεων περαιτέρω διερεύνησης.

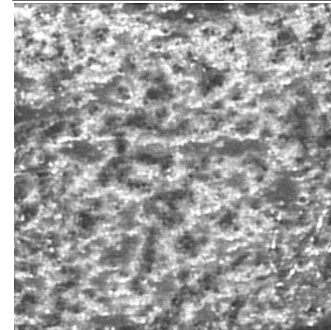
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] History of Laser by Jeff Hecht
- [2] S. Stenhoff, J. Mills, *Anaesthesia & Intensive Care Medicine* Volume 25, Issue 2, February 2024, Pages 133-137.
- [3] Στέλιος Κουρής, *Φυσική των Λέιζερ*, Σελίδες 277-317.
- [4] J. Qi, K.L. Wang, Y.M. Zhu, A study on the Laser marking process of stainless steel, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 139, Issues 1–3, 20 August 2003, Pages 273-276.
- [5] C. Leone, S. Genna, G. Caprino, I. De Iorio, AISI 304 stainless steel marking by a Q-switched diode pumped Nd:YAG Laser, *Journal of Materials Processing Technology*, Volume 210, Issue 10, 1 July 2010, Pages 1297-1303.
- [6] Lyubomir Lazov, Edmunds Teirumnieks, Tsanko Karadzhov, Nikolay Angelov, Influence of power density and frequency of the process of Laser marking of steel products, *Infrared Physics & Technology*, Volume 116, August 2021.
- [7] Jianmei Li, Changhou Lu, Aiqun Wang, et al. Experimental investigation and mathematical modeling of Laser marking two-dimensional barcodes on surfaces of aluminum alloy, *Journal of Manufacturing Processes*, Volume 21, January 2016, Pages 141-152.
- [8] C. Velotti, A. Astarita, C. Leone, et al. Laser Marking of Titanium Coating for Aerospace Applications, *Procedia CIRP*, Volume 41, 2016, Pages 975-980.
- [9] Angshuman Roy, Nikhil Kumar, Santanu Das, Asish Bandyopadhyay, Optimization of Pulsed Nd:YVO₄ Laser Marking of AISI 304 Stainless Steel Using Response Surface Methodology, *Materials Processing*, Volume 5, Issue 2, Part 1, 2018, Pages 5244-5253.

9. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

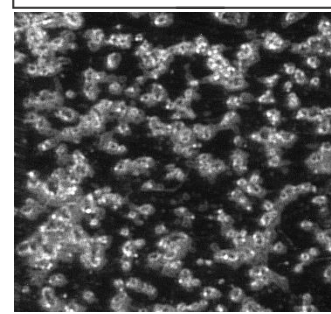
ΠΕΡΙΟΧΗ	1	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	157.156	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{157.156}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	428%	

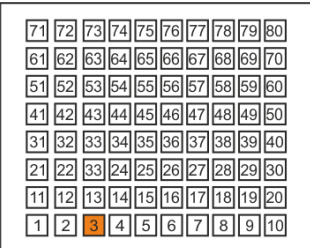
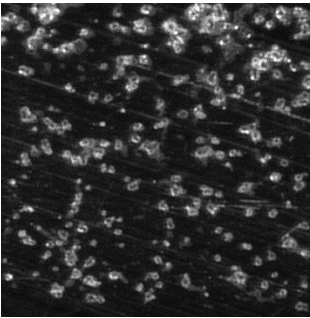
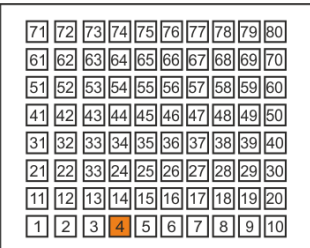
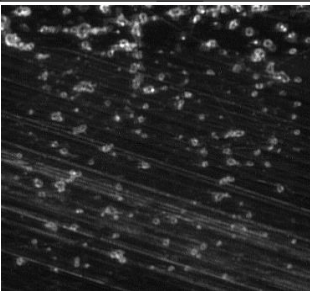
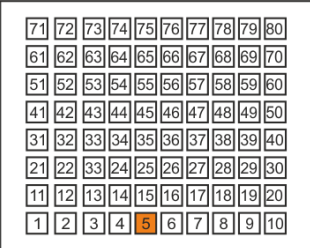
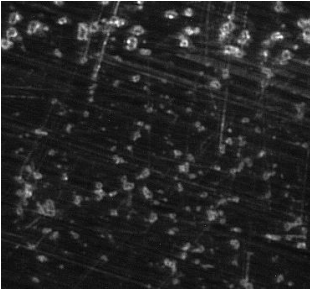
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



ΠΕΡΙΟΧΗ	2	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	73.802	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{73.802}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	148%	

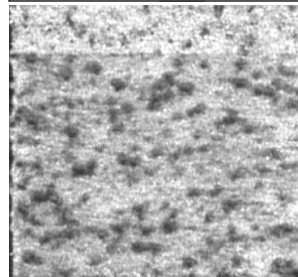
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



ΠΕΡΙΟΧΗ	3	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	46.630	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{46.630}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	56%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	4	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	40.265	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{40.265}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	35%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	5	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	38.476	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{38.476}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	29%	

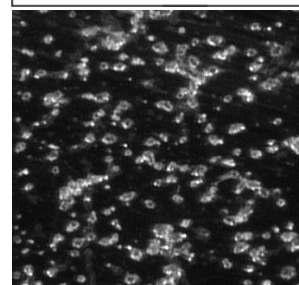
ΠΕΡΙΟΧΗ	6	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	178.513	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{178.513}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	500%	

71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



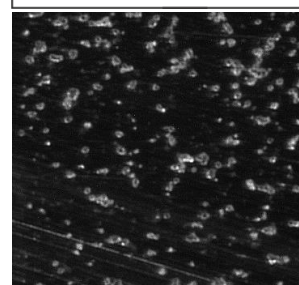
ΠΕΡΙΟΧΗ	7	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	49.667	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{49.667}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	67%	

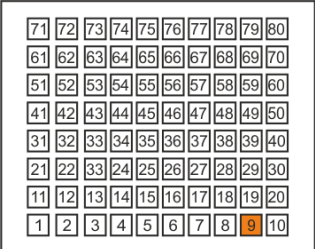
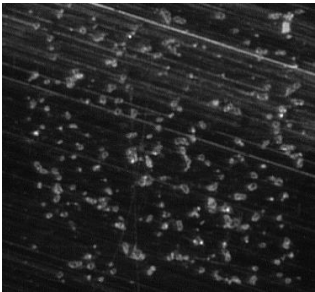
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

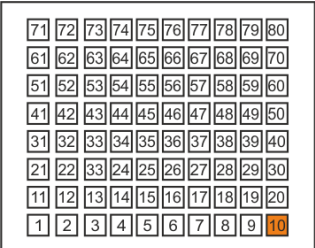
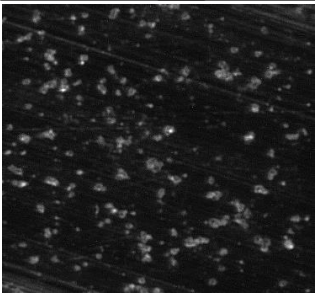


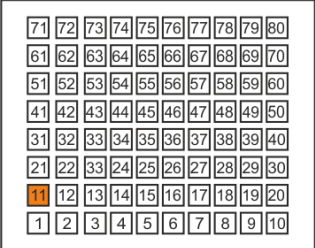
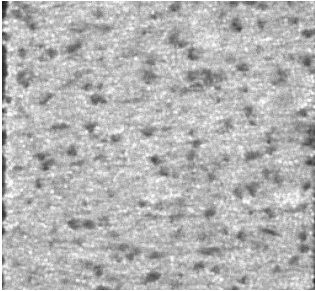
ΠΕΡΙΟΧΗ	8	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	35.590	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{35.590}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	20%	

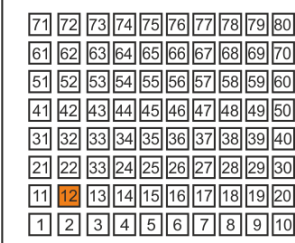
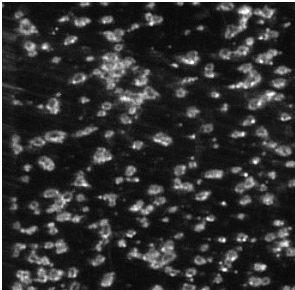
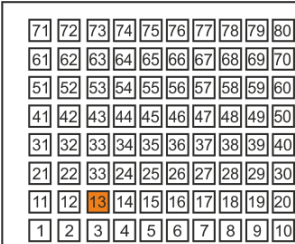
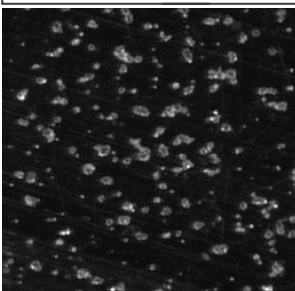
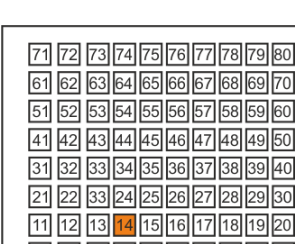
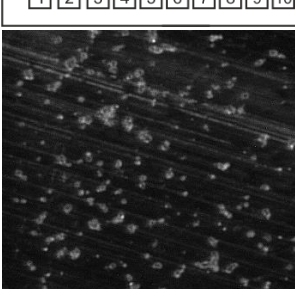
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



ΠΕΡΙΟΧΗ	9	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	41.490	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{41.490}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	39%	

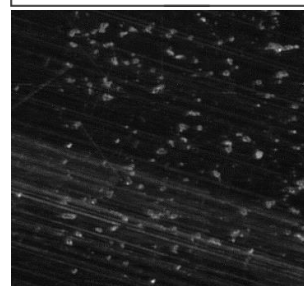
ΠΕΡΙΟΧΗ	10	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	31.436	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{31.436}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	6%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	11	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	182.076	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{182.076}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	512%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	12	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	47.279	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{47.279}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	59%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	13	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	32.216	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{32.216}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	8%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	14	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	35.578	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{35.578}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	20%	

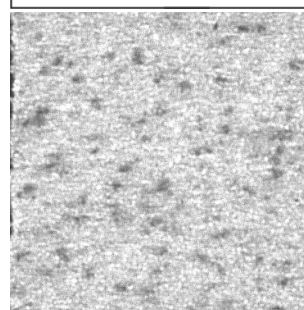
ΠΕΡΙΟΧΗ	15	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	30.607	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{30.607}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	3%	

71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



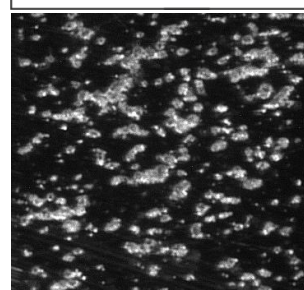
ΠΕΡΙΟΧΗ	16	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	204.533	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{204.533}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	587%	

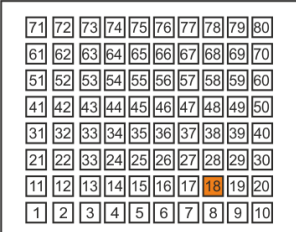
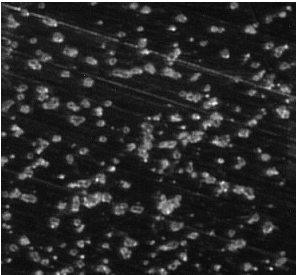
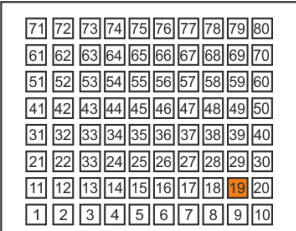
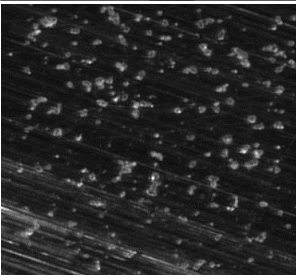
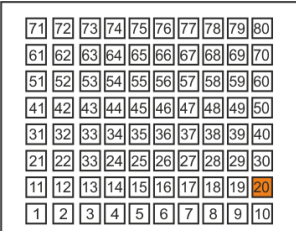
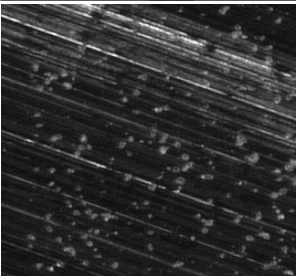
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10


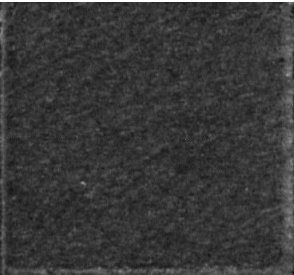


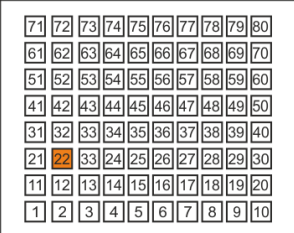
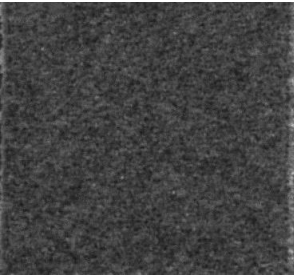
ΠΕΡΙΟΧΗ	17	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	56.048	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{56.048}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	88%	



71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

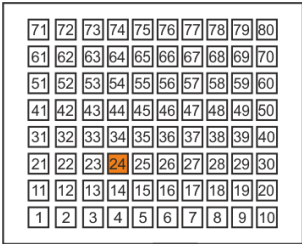
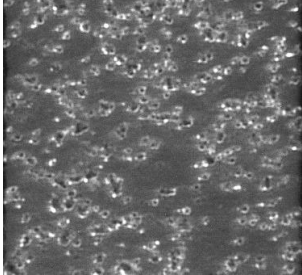


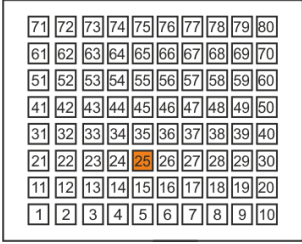
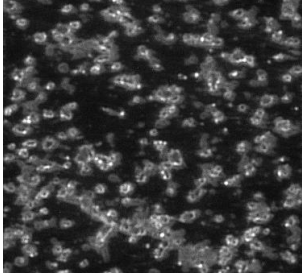
ΠΕΡΙΟΧΗ	18	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	40.185	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{40.185}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	35%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	19	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	38.148	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{38.148}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	28%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	20	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	46.566	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{46.566}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	56%	

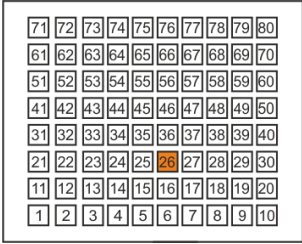
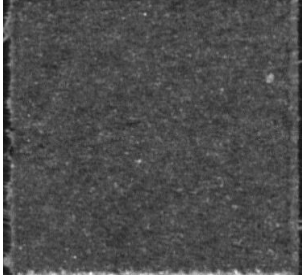
ΠΕΡΙΟΧΗ	21	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	55.120	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{55.120}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	85%	

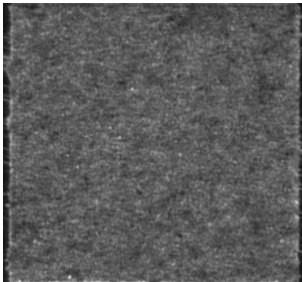
ΠΕΡΙΟΧΗ	22	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	65.462	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{65.462}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	120%	

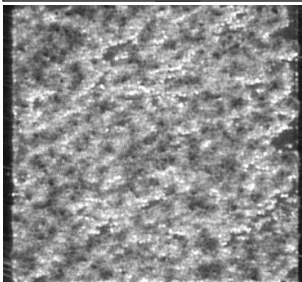
ΠΕΡΙΟΧΗ	23	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	94.533	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{94.533}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	218%	

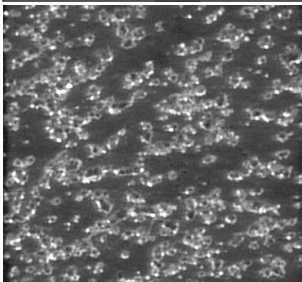
ΠΕΡΙΟΧΗ	24	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	107.784	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{107.784}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	262%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	25	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	60.114	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{60.114}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	102%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	26	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	77.692	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{77.692}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	161%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	27	<table><tr><td>71</td><td>72</td><td>73</td><td>74</td><td>75</td><td>76</td><td>77</td><td>78</td><td>79</td><td>80</td></tr><tr><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td></tr><tr><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>57</td><td>58</td><td>59</td><td>60</td></tr><tr><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td></tr><tr><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr><tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table>	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																									
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70																																																																									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60																																																																									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																																																																									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																																																																									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																																																									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083																																																																																	
ΙΣΧΥΣ	40%																																																																																	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz																																																																																	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G _m)	93.530																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G _v)	29.755																																																																																	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{93.530}{29.755} - 1 \right) 100\%$																																																																																	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	214%																																																																																	

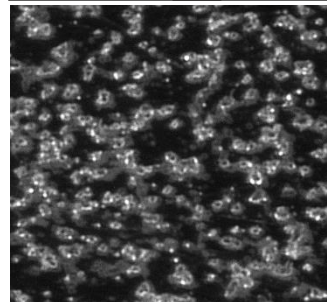
ΠΕΡΙΟΧΗ	28	<table><tr><td>71</td><td>72</td><td>73</td><td>74</td><td>75</td><td>76</td><td>77</td><td>78</td><td>79</td><td>80</td></tr><tr><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td></tr><tr><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>57</td><td>58</td><td>59</td><td>60</td></tr><tr><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td></tr><tr><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr><tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table>	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																									
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70																																																																									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60																																																																									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																																																																									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																																																																									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																																																									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083																																																																																	
ΙΣΧΥΣ	40%																																																																																	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz																																																																																	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G _m)	149.071																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G _v)	29.755																																																																																	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{149.071}{29.755} - 1 \right) 100\%$																																																																																	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	401%																																																																																	

ΠΕΡΙΟΧΗ	29	<table><tr><td>71</td><td>72</td><td>73</td><td>74</td><td>75</td><td>76</td><td>77</td><td>78</td><td>79</td><td>80</td></tr><tr><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td></tr><tr><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>57</td><td>58</td><td>59</td><td>60</td></tr><tr><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td></tr><tr><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr><tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table>	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80																																																																									
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70																																																																									
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60																																																																									
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50																																																																									
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40																																																																									
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30																																																																									
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20																																																																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083																																																																																	
ΙΣΧΥΣ	40%																																																																																	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz																																																																																	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G _m)	102.848																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G _v)	29.755																																																																																	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{102.848}{29.755} - 1 \right) 100\%$																																																																																	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	246%																																																																																	

ΠΕΡΙΟΧΗ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΙΣΧΥΣ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)

30
AL-5083
40%
60KHz
200mm/s
64.818
29.755
$C = \left(\frac{64.818}{29.755} - 1 \right) 100\%$
118%

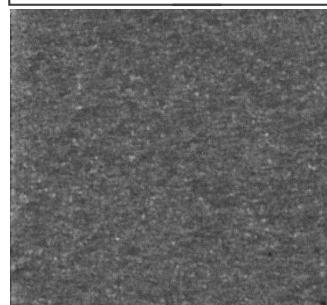
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

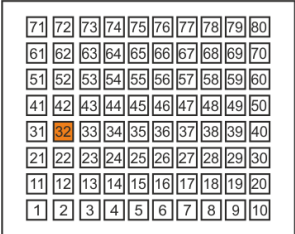
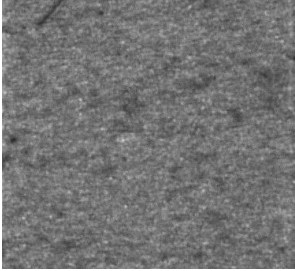


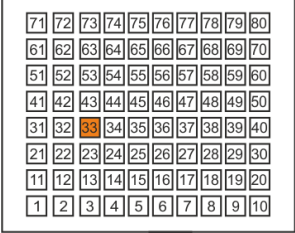
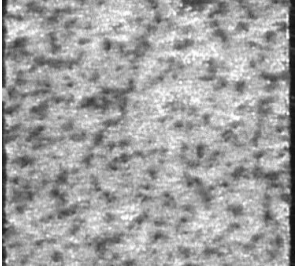
ΠΕΡΙΟΧΗ
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ
ΙΣΧΥΣ
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ
ΤΑΧΥΤΗΤΑ
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)

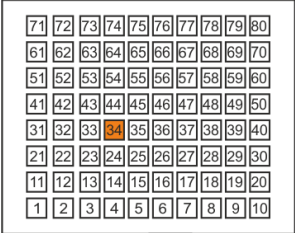
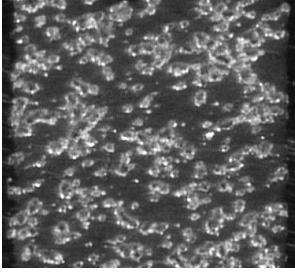
31
AL-5083
40%
20KHz
300mm/s
95.013
29.755
$C = \left(\frac{95.013}{29.755} - 1 \right) 100\%$
219%

71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



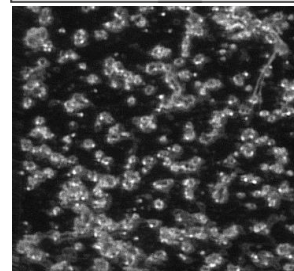
ΠΕΡΙΟΧΗ	32	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	115.579	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{115.579}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	288%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	33	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	165.514	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{165.514}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	456%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	34	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	98.766	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{98.766}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	232%	

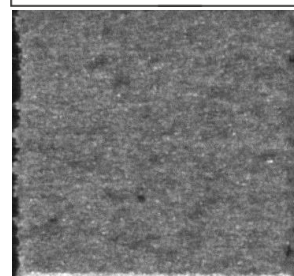
ΠΕΡΙΟΧΗ	35	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	62.795	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{62.795}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	111%	

71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



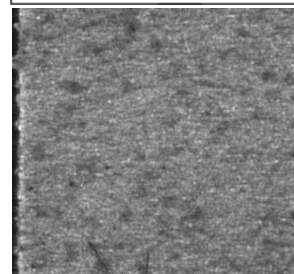
ΠΕΡΙΟΧΗ	36	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	113.998	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{113.998}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	283%	


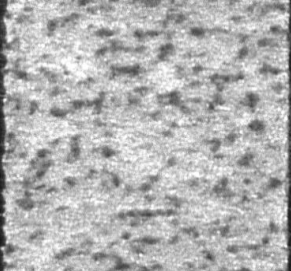
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

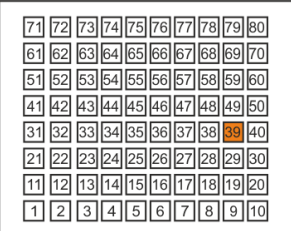
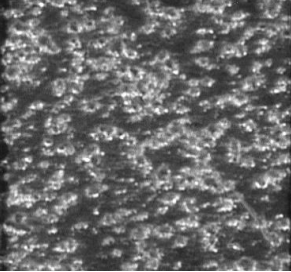



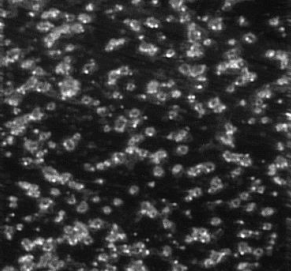
ΠΕΡΙΟΧΗ	37	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	124.944	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{124.944}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	320%	

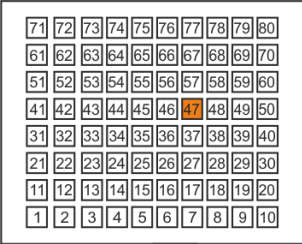
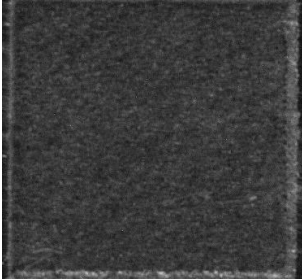
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

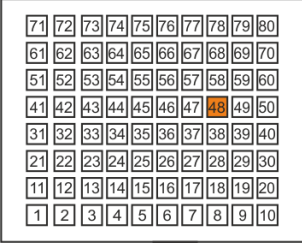
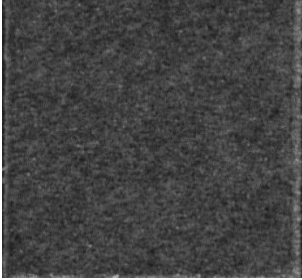


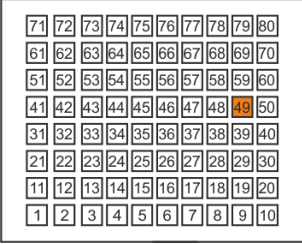
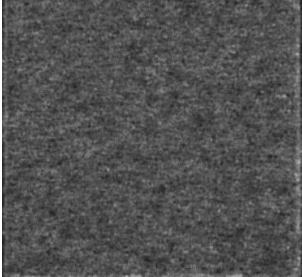
ΠΕΡΙΟΧΗ	38	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	183.871	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{183.871}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	518%	


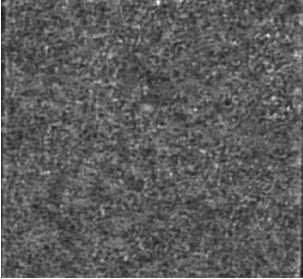
ΠΕΡΙΟΧΗ	39	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	108.578	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{108.578}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	265%	


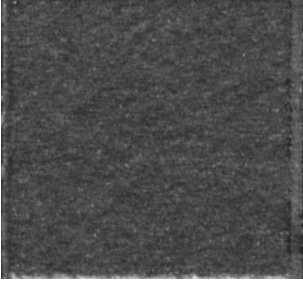
ΠΕΡΙΟΧΗ	40	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	55.529	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{55.529}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	87%	

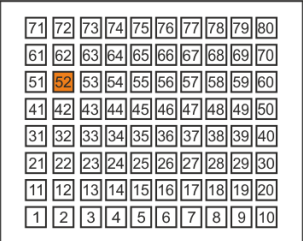
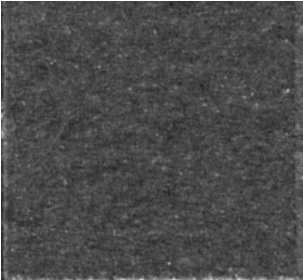
ΠΕΡΙΟΧΗ	47	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	58.463	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{58.463}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	96%	

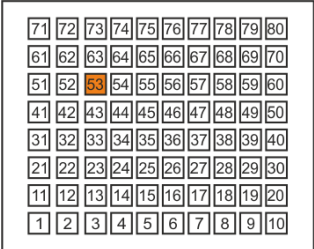
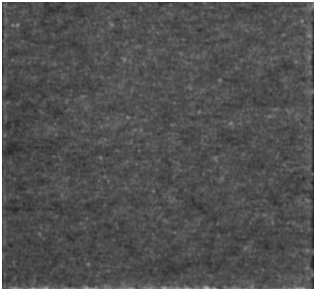
ΠΕΡΙΟΧΗ	48	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	66.644	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{66.644}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	124%	

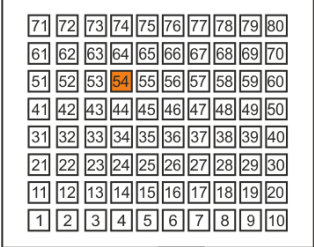
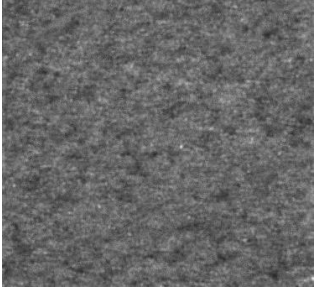
ΠΕΡΙΟΧΗ	49	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	81.752	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{81.752}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	175%	

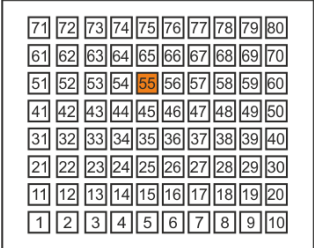
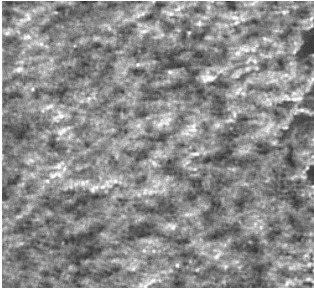
ΠΕΡΙΟΧΗ	50	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	92.789	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{92.789}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	212%	

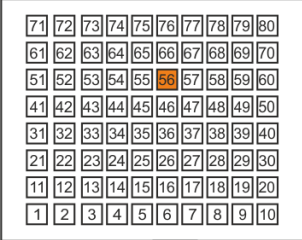
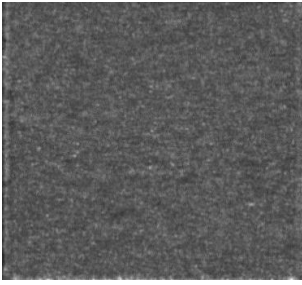
ΠΕΡΙΟΧΗ	51	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	74.405	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{74.405}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	150%	


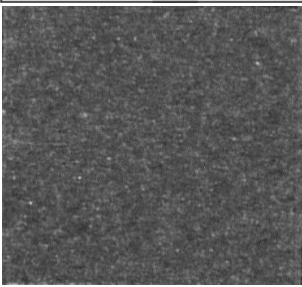
ΠΕΡΙΟΧΗ	52	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	74.442	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{74.442}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	150%	

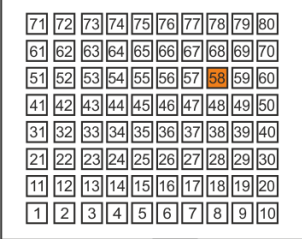
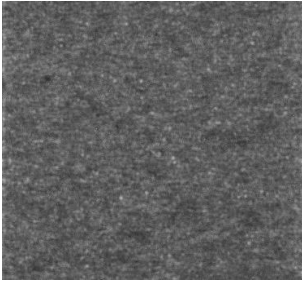
ΠΕΡΙΟΧΗ	53	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	80.999	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{80.999}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	172%	

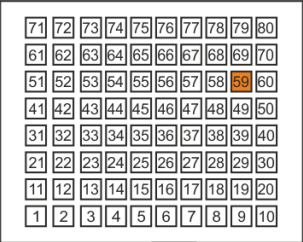
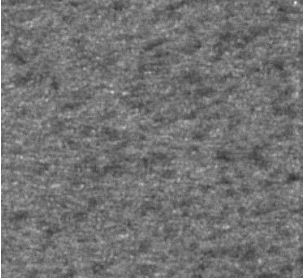
ΠΕΡΙΟΧΗ	54	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	103.581	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{103.581}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	248%	


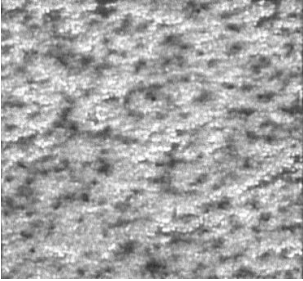
ΠΕΡΙΟΧΗ	55	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	139.309	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{139.309}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	368%	


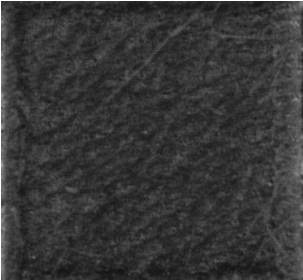
ΠΕΡΙΟΧΗ	56	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	90.444	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{90.444}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	204%	

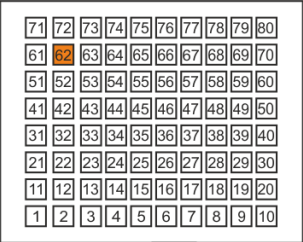
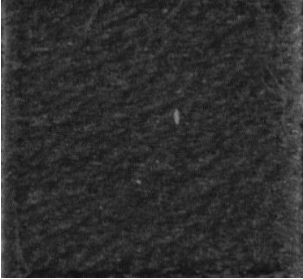
ΠΕΡΙΟΧΗ	57	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	86.412	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{86.412}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	190%	


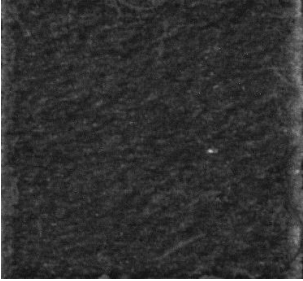
ΠΕΡΙΟΧΗ	58	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	95.797	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{95.797}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	222%	


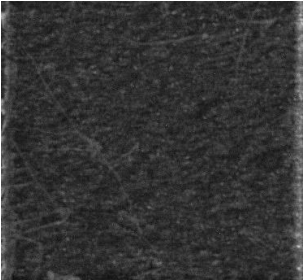
ΠΕΡΙΟΧΗ	59	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	116.064	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{116.064}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	290%	


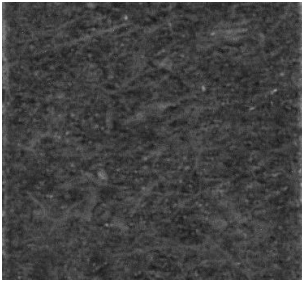
ΠΕΡΙΟΧΗ	60	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	166.987	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{166.987}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	461%	

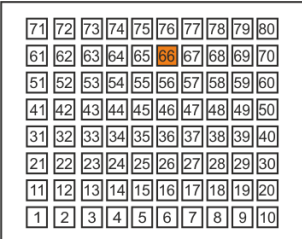
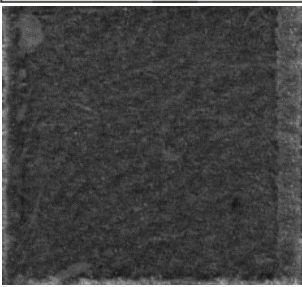
ΠΕΡΙΟΧΗ	61	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	53.602	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{53.602}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	80%	


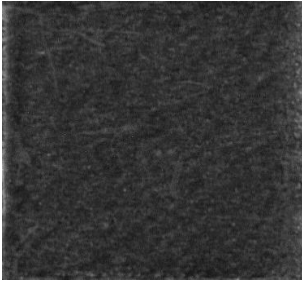
ΠΕΡΙΟΧΗ	62	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	46.484	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{46.484}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	56%	


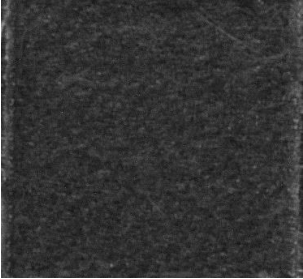
ΠΕΡΙΟΧΗ	63	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	46.961	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{46.961}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	58%	

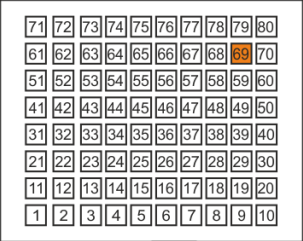
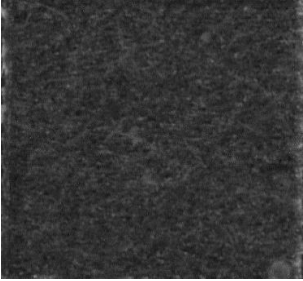
ΠΕΡΙΟΧΗ	64	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	50.713	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{50.713}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	70%	


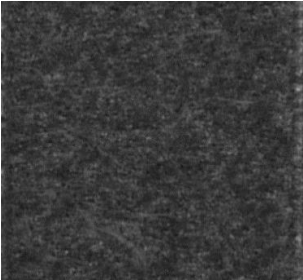
ΠΕΡΙΟΧΗ	65	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	64.943	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{64.943}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	118%	


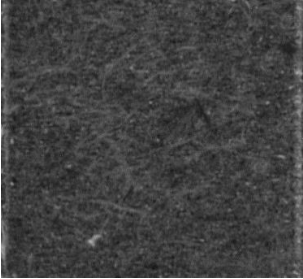
ΠΕΡΙΟΧΗ	66	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	59.968	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{59.968}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	102%	

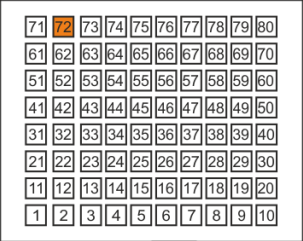
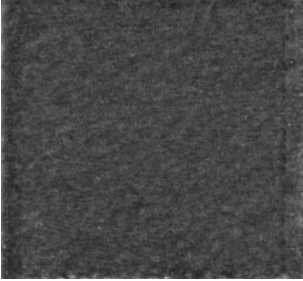
ΠΕΡΙΟΧΗ	67	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	51.975	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{51.975}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	75%	


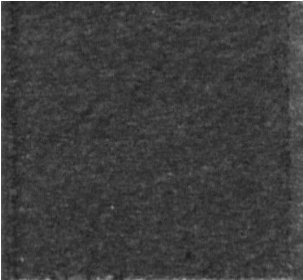
ΠΕΡΙΟΧΗ	68	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	51.172	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{51.172}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	72%	

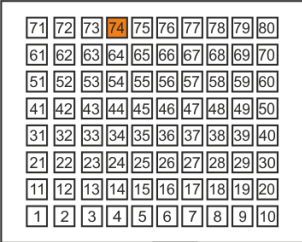
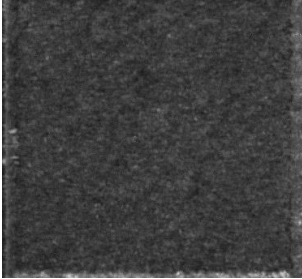
ΠΕΡΙΟΧΗ	69	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	53.286	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{53.286}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	79%	


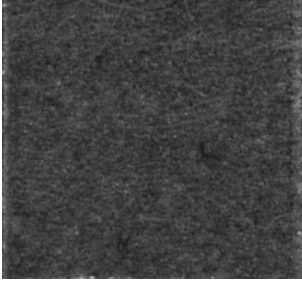
ΠΕΡΙΟΧΗ	70	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	59.479	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{59.479}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	99.9%	

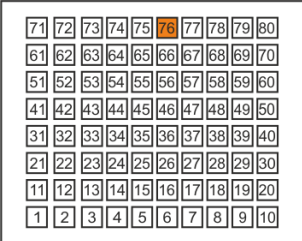
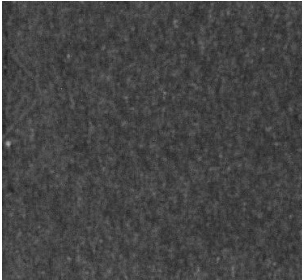
ΠΕΡΙΟΧΗ	71	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	66.153	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{66.153}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	122%	


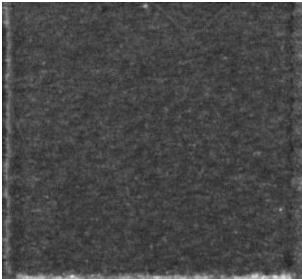
ΠΕΡΙΟΧΗ	72	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	70.593	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{70.593}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	137%	

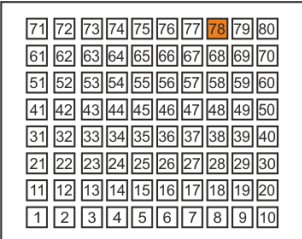
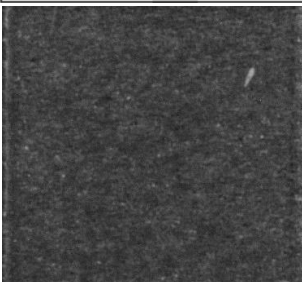
ΠΕΡΙΟΧΗ	73	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	61.592	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{61.592}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	107%	

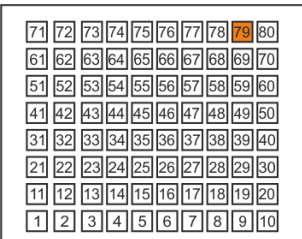
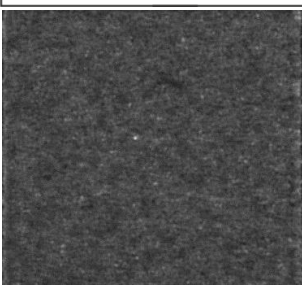
ΠΕΡΙΟΧΗ	74	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	61.131	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{61.131}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	105%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	75	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	64.044	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{64.044}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	115%	

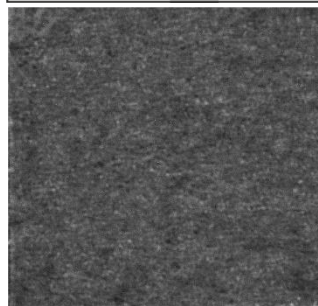
ΠΕΡΙΟΧΗ	76	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	56.961	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{56.961}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	91%	

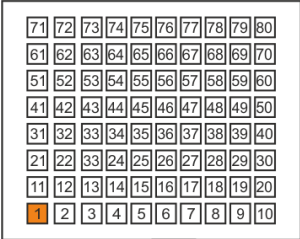
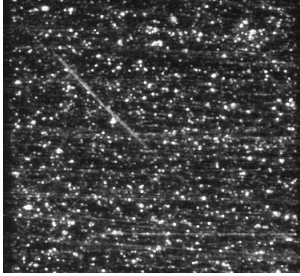
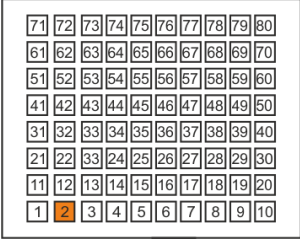
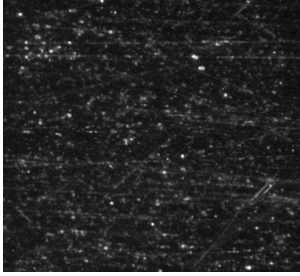
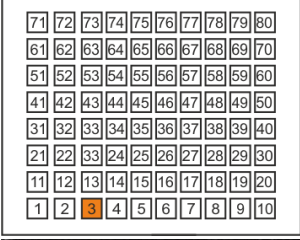
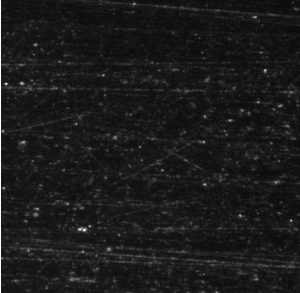
ΠΕΡΙΟΧΗ	77	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	70.046	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{70.046}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	135%	

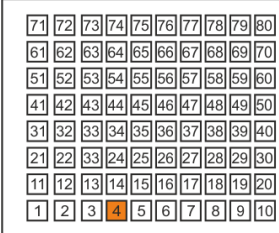
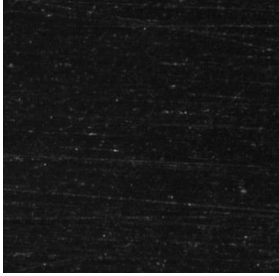
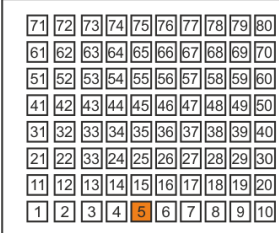
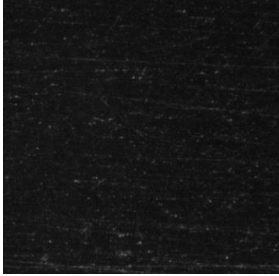
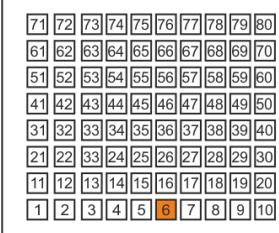
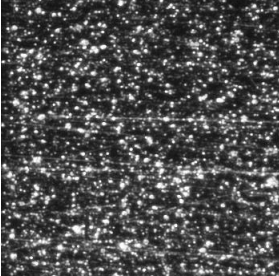
ΠΕΡΙΟΧΗ	78	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	66.774	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{66.774}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	124%	

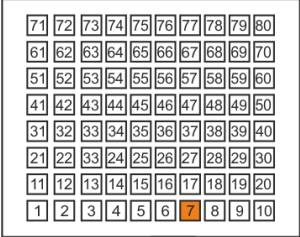
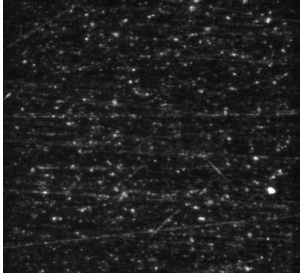
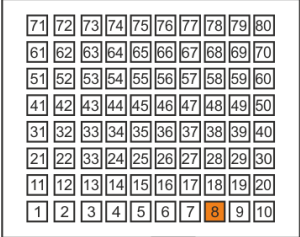
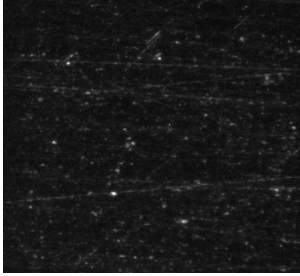
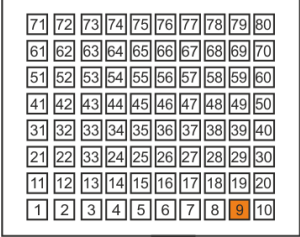
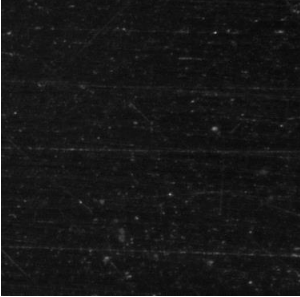
ΠΕΡΙΟΧΗ	79	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	73.021	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{73.021}{29.755} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	145%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	80	<table><tr><td>71</td><td>72</td><td>73</td><td>74</td><td>75</td><td>76</td><td>77</td><td>78</td><td>79</td><td>80</td></tr><tr><td>61</td><td>62</td><td>63</td><td>64</td><td>65</td><td>66</td><td>67</td><td>68</td><td>69</td><td>70</td></tr><tr><td>51</td><td>52</td><td>53</td><td>54</td><td>55</td><td>56</td><td>57</td><td>58</td><td>59</td><td>60</td></tr><tr><td>41</td><td>42</td><td>43</td><td>44</td><td>45</td><td>46</td><td>47</td><td>48</td><td>49</td><td>50</td></tr><tr><td>31</td><td>32</td><td>33</td><td>34</td><td>35</td><td>36</td><td>37</td><td>38</td><td>39</td><td>40</td></tr><tr><td>21</td><td>22</td><td>23</td><td>24</td><td>25</td><td>26</td><td>27</td><td>28</td><td>29</td><td>30</td></tr><tr><td>11</td><td>12</td><td>13</td><td>14</td><td>15</td><td>16</td><td>17</td><td>18</td><td>19</td><td>20</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>3</td><td>4</td><td>5</td><td>6</td><td>7</td><td>8</td><td>9</td><td>10</td></tr></table>	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
71	72		73	74	75	76	77	78	79	80																																																																								
61	62		63	64	65	66	67	68	69	70																																																																								
51	52		53	54	55	56	57	58	59	60																																																																								
41	42		43	44	45	46	47	48	49	50																																																																								
31	32		33	34	35	36	37	38	39	40																																																																								
21	22		23	24	25	26	27	28	29	30																																																																								
11	12		13	14	15	16	17	18	19	20																																																																								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10																																																																									
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	AL-5083																																																																																	
ΙΣΧΥΣ	80%																																																																																	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz																																																																																	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	82.485																																																																																	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	29.755																																																																																	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{82.485}{29.755} - 1 \right) 100\%$																																																																																	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	177%																																																																																	



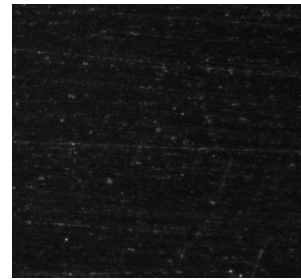
ΠΕΡΙΟΧΗ	1	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	66,396	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{66,396}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	209%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	2	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	37,899	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{37,899}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	77%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	3	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	27,282	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{27,282}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	27	

ΠΕΡΙΟΧΗ	4	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	23,795	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{23,795}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	11%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	5	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	21,615	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{21,615}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	1%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	6	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	78,669	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{78,669}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	266%	

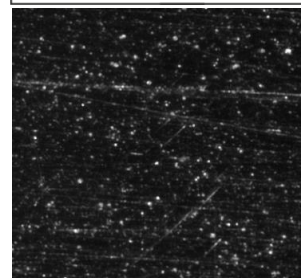
ΠΕΡΙΟΧΗ	7	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	33,82	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{33,82}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	58%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	8	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	26,606	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{26,606}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	24%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	9	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	22,18	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{22,18}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	3%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	10	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	19,865	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{19,865}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-7%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	11	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	33,73	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{33,73}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	57%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	12	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	26,02	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{26,02}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	21%	

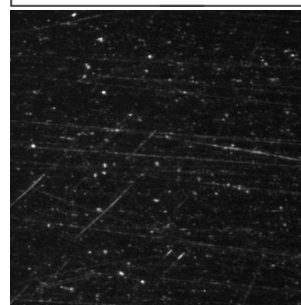
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

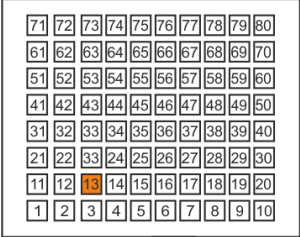
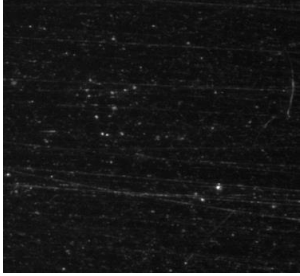
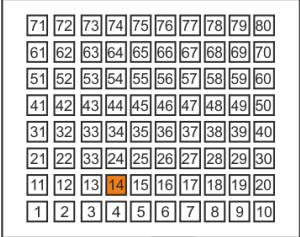

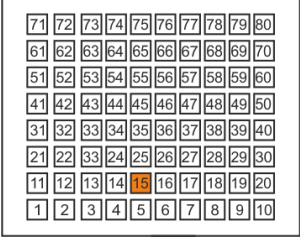



71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



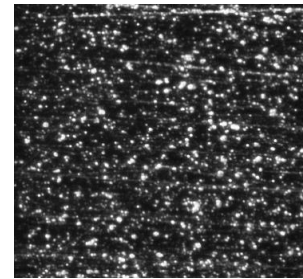
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



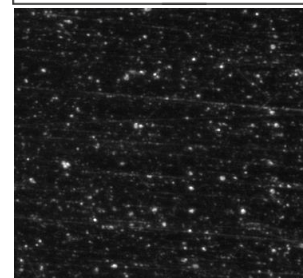
ΠΕΡΙΟΧΗ	13	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	22,254	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{22,254}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	4%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	14	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	20,877	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{20,877}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-3%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	15	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	19,585	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{19,585}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-9%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	16	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	61,538	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{61,538}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	187%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	17	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	29,613	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{29,613}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	38%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	18	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	24,489	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{24,489}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	14%	

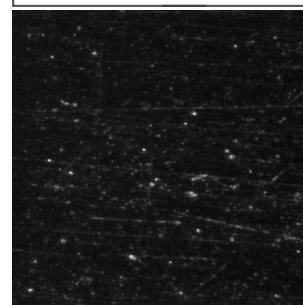
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

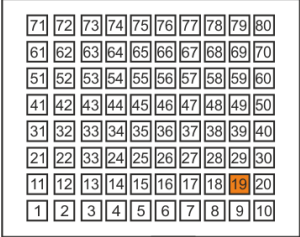

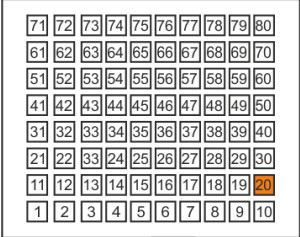
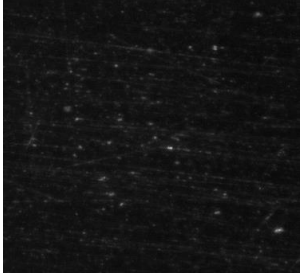
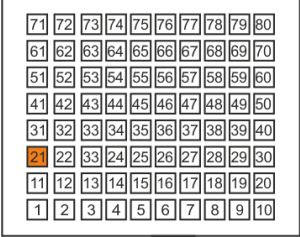
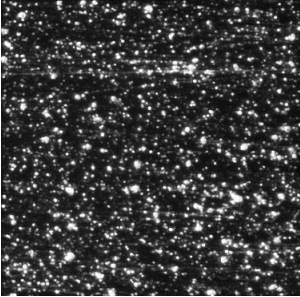


71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



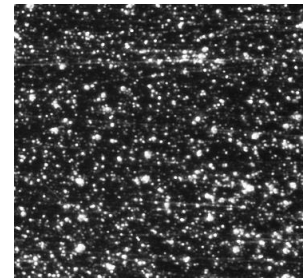
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	33	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10



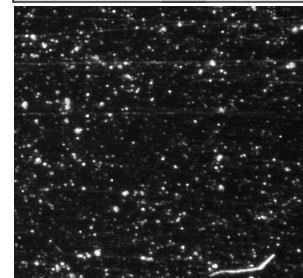
ΠΕΡΙΟΧΗ	19	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	22,862	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{22,862}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	6%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	20	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	20%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	23,666	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{23,666}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	10%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	21	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	61,775	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{61,775}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	188%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	22	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	61,423	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{61,423}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	186%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	23	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	34,365	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{34,365}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	60%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	24	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	25,154	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{25,154}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	17%	

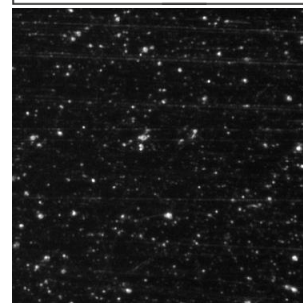
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

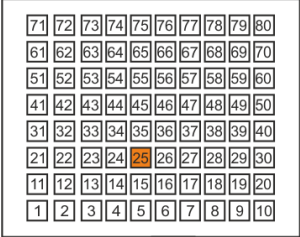
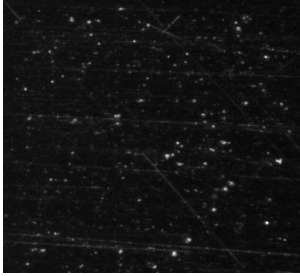
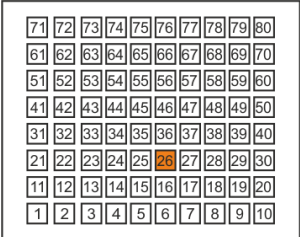
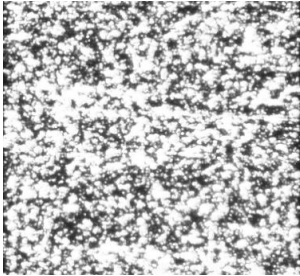
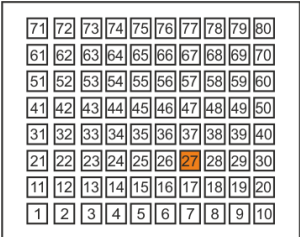
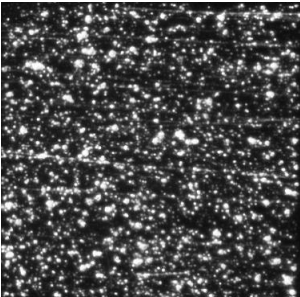


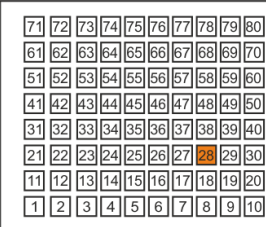
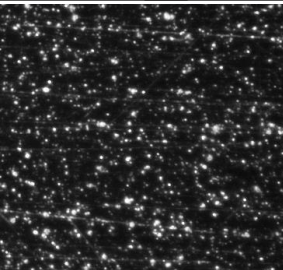
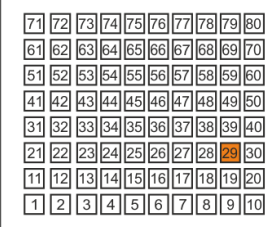
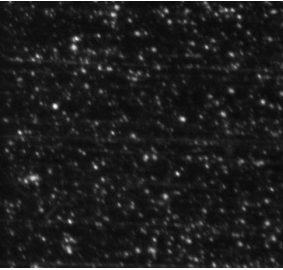
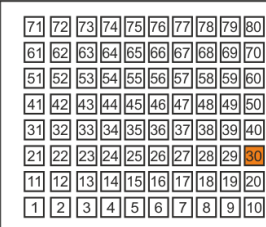
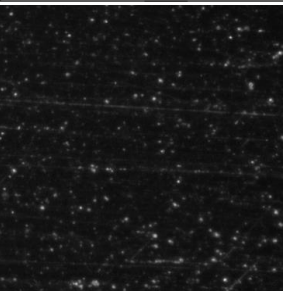
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10


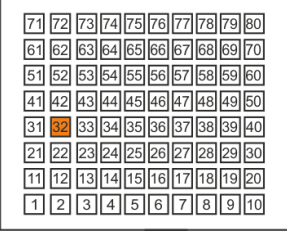



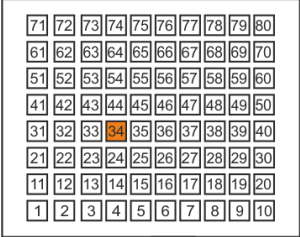
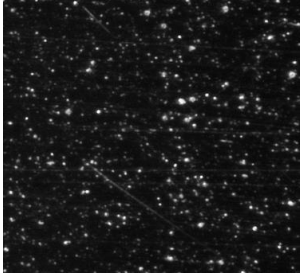
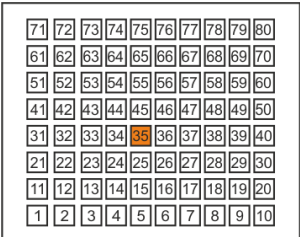
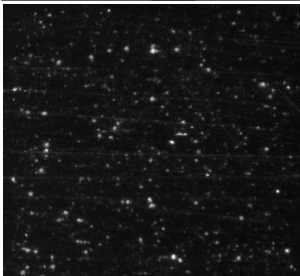
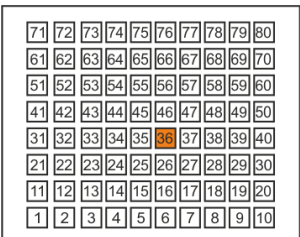
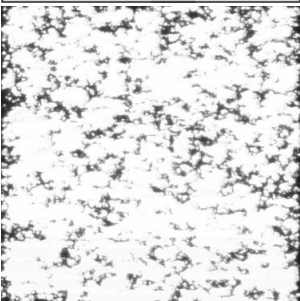
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10


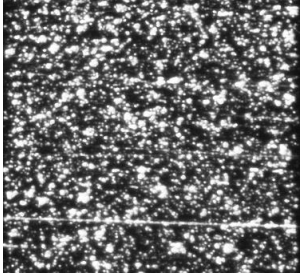
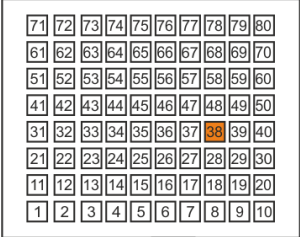
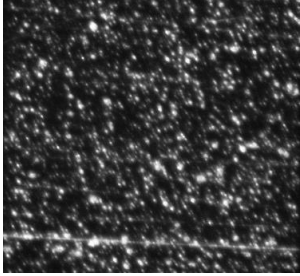

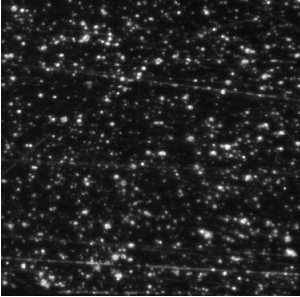


ΠΕΡΙΟΧΗ	25	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	20,885	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{20,885}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-3%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	26	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	185,721	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{185,721}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	765%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	27	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	74,774	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{74,774}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	248%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	28	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	45,473	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{45,473}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	112%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	29	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	29,100	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{29,100}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	36%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	30	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	25,301	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{25,301}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	18%	

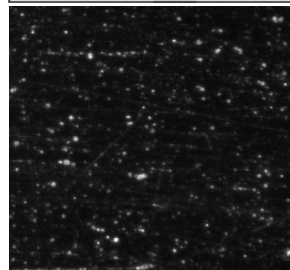
ΠΕΡΙΟΧΗ	31	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	215,274	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{215,274}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	903%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	32	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	100,844	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{100,844}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	370%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	33	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	49,713	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{49,713}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	132%	
		

ΠΕΡΙΟΧΗ	34	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	28,78	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{28,78}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	34%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	35	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	24,517	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{24,517}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	14%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	36	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	224,726	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{224,726}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	947%	

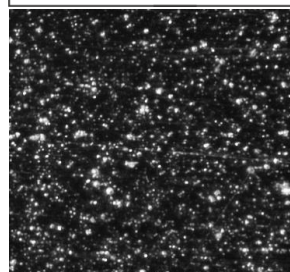
ΠΕΡΙΟΧΗ	37	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	109,256	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{109,256}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	409%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	38	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	58,037	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{58,037}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	170%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	39	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	37,190	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{37,19}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	73%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	40	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	40%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	25,306	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{25,306}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	18%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	41	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	50,165	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{50,165}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	134%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	42	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	23,742	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{23,742}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	11%	

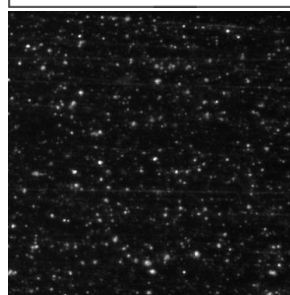
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

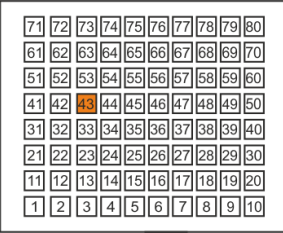
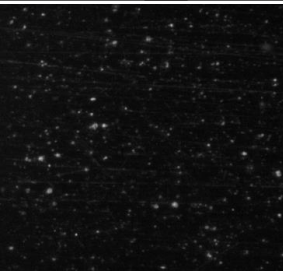
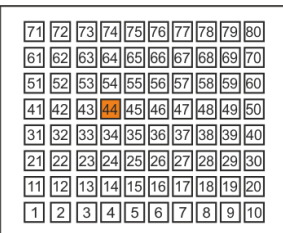
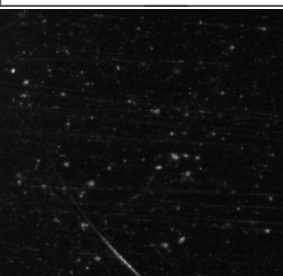
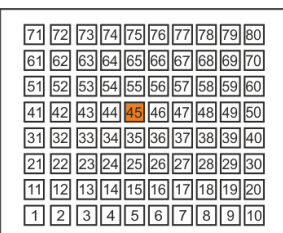



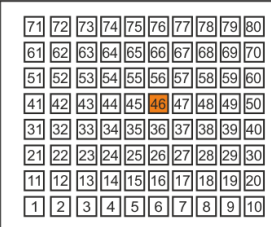
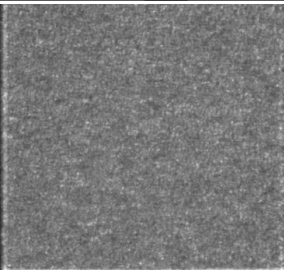
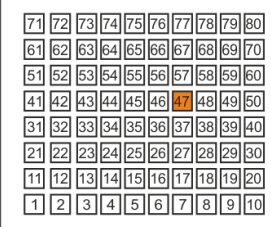
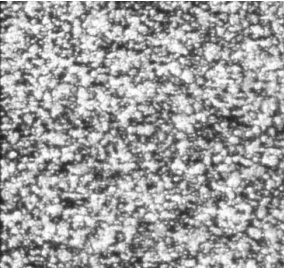
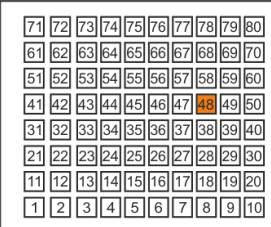
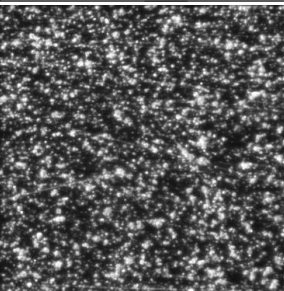
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

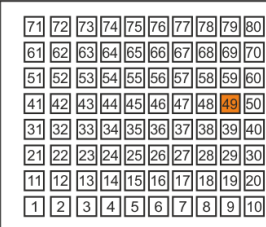
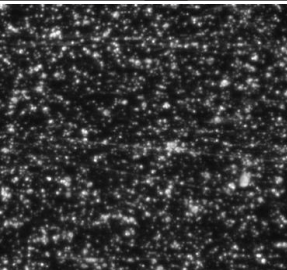


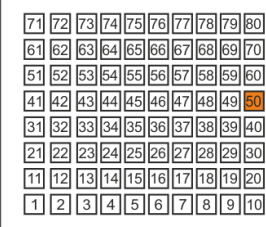
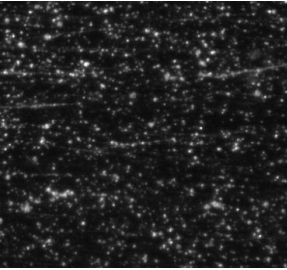
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

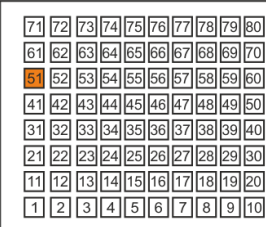
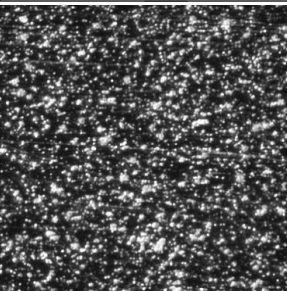


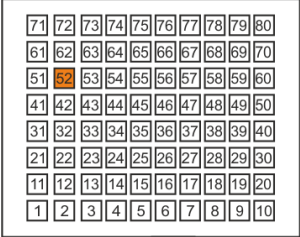
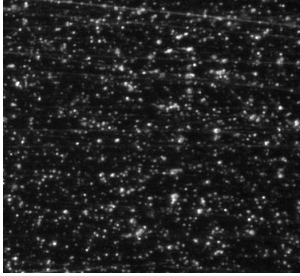
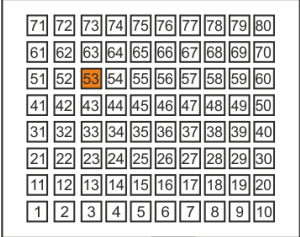
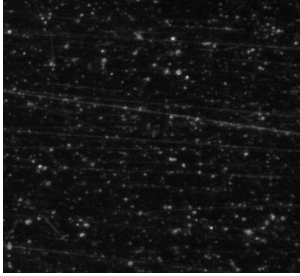
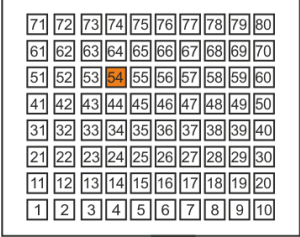
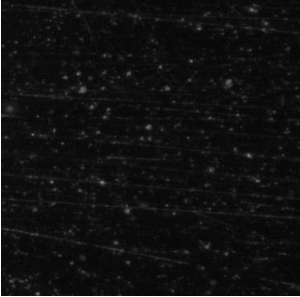
ΠΕΡΙΟΧΗ	43	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	17,648	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{17,648}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-18%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	44	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	16,383	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{16,383}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-24%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	45	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	14,167	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{14,167}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-34%	

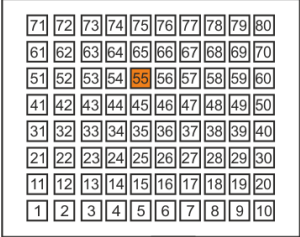

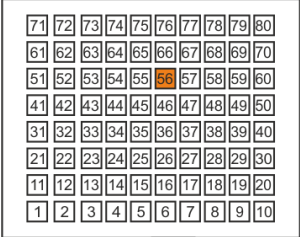
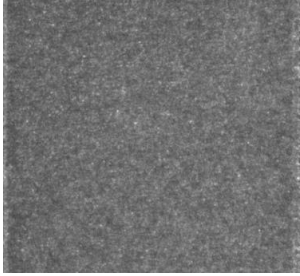

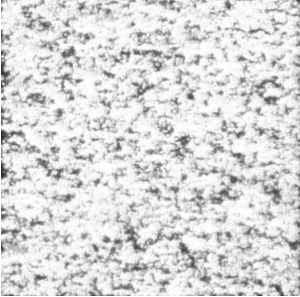
ΠΕΡΙΟΧΗ	46	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	123,589	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{123,589}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	476%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	47	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	157,937	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{157,937}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	636%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	48	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	87,341	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{87,341}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	307%	

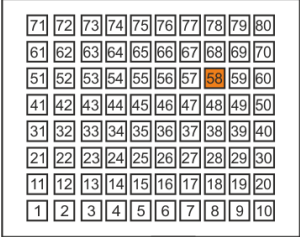
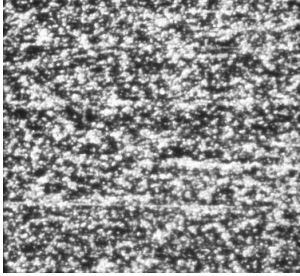
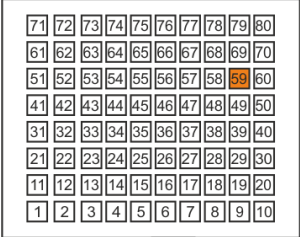
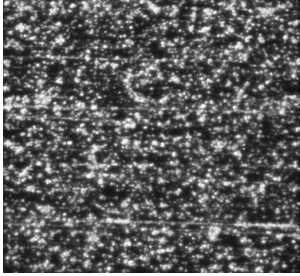
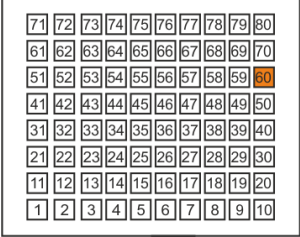
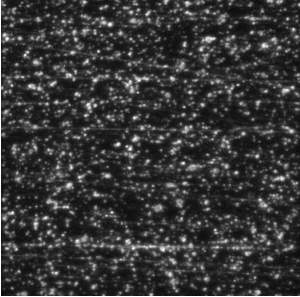
ΠΕΡΙΟΧΗ	49	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	53,698	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{53,698}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	150%	

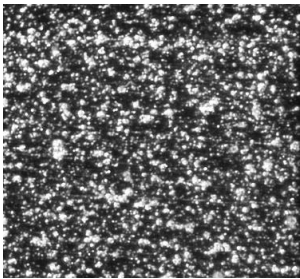
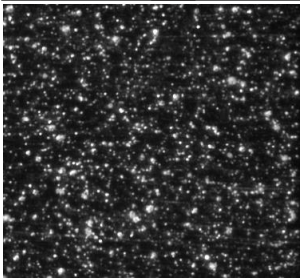
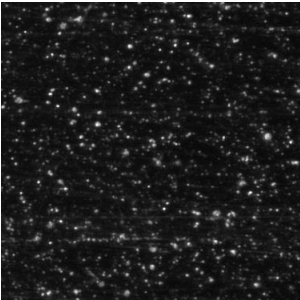
ΠΕΡΙΟΧΗ	50	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	35,765	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{35,765}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	67%	

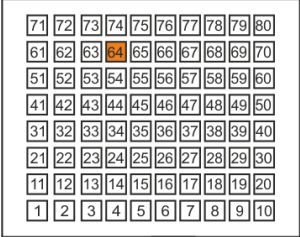
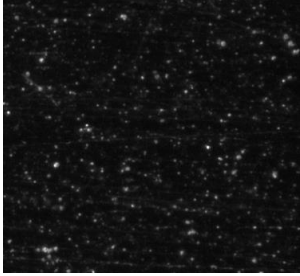
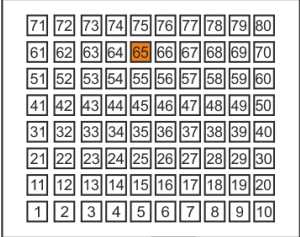
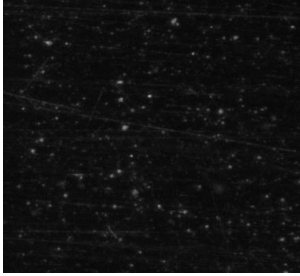
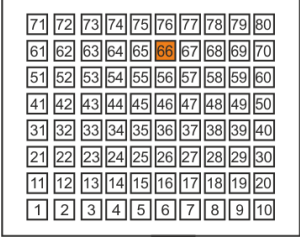
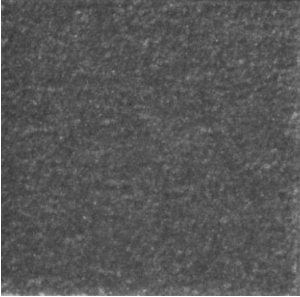
ΠΕΡΙΟΧΗ	51	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	80,78	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{80,78}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	276%	


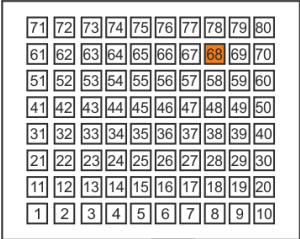
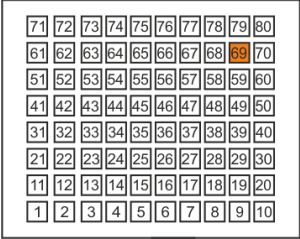
ΠΕΡΙΟΧΗ	52	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	35,959	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{35,959}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	68%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	53	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	21,417	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{21,417}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-0.24%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	54	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	16,990	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{16,990}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-21%	

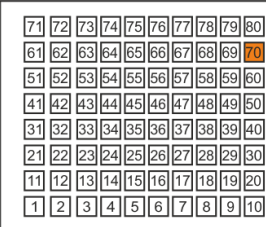
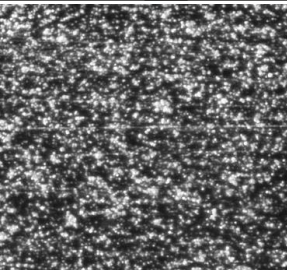
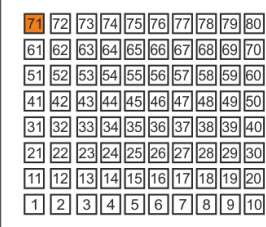
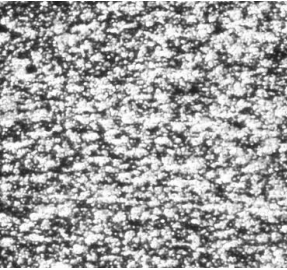
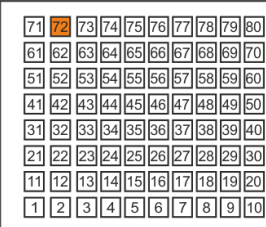
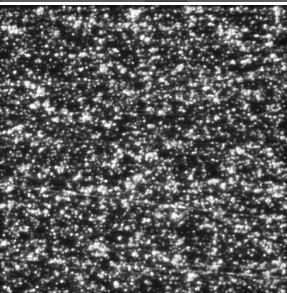
ΠΕΡΙΟΧΗ	55	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	15,374	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{15,374}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-28%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	56	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	114,880	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{114,880}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	435%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	57	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	219,561	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{219,561}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	923%	

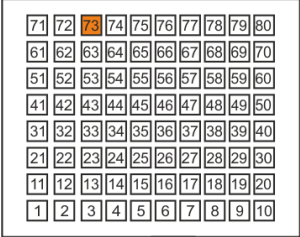
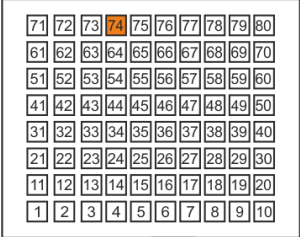
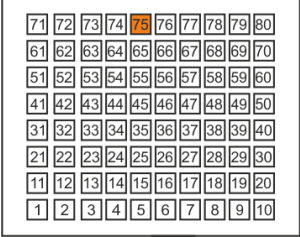
ΠΕΡΙΟΧΗ	58	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	139,497	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{139,497}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	550%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	59	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	89,164	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{89,164}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	315%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	60	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	60%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	55,211	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{55,211}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	157%	

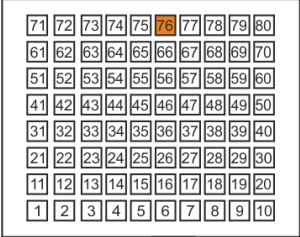
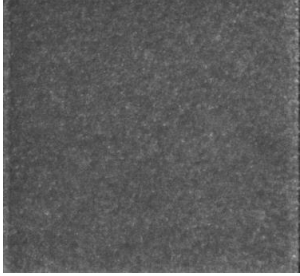
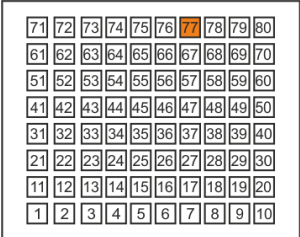
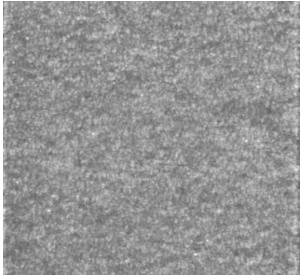
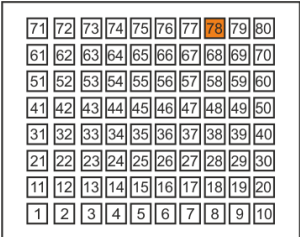

ΠΕΡΙΟΧΗ	61	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	98,064	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{98,064}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	357%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	62	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	50,167	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{50,167}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	134%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	63	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	29,426	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{29,426}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	37%	
		

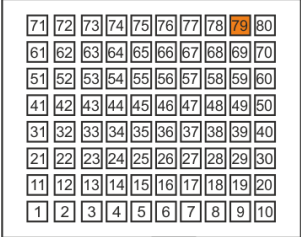
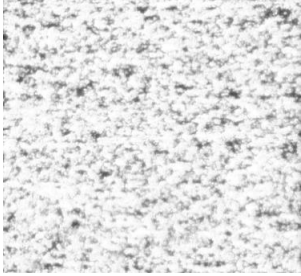
ΠΕΡΙΟΧΗ	64	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	21,644	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{21,644}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	1%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	65	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	100mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	18,102	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{18,102}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	-16%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	66	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	90,634	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{90,634}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	322%	

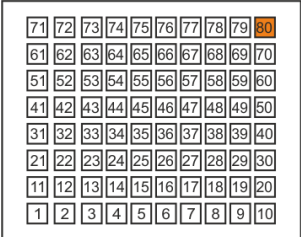
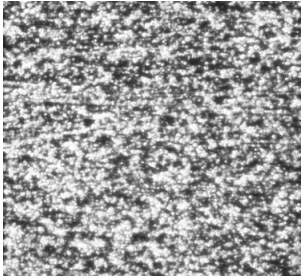
ΠΕΡΙΟΧΗ	67	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	139,251	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{139,251}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	549%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	68	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	208,915	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{208,915}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	873%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	69	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	161,502	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{161,502}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	652%	
		

ΠΕΡΙΟΧΗ	70	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	200mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	101,752	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{101,752}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	374%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	71	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	162,125	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{162,125}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	655%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	72	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	88,708	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{88,708}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	313%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	73	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	52,442	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{52,442}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	144%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	74	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	31,191	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{31,191}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	45%	
		
ΠΕΡΙΟΧΗ	75	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	300mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	21,667	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{21,667}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	1%	
		

ΠΕΡΙΟΧΗ	76	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	20KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	92,306	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{92,306}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	330%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	77	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	30KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	148,442	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{148,442}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	591%	
ΠΕΡΙΟΧΗ	78	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	40KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	243,856	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{243,856}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	1036%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	79	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	50KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	225,551	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{225,551}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	951%	

ΠΕΡΙΟΧΗ	80	
ΚΑΤΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟ ΥΛΙΚΟ	Cu	
ΙΣΧΥΣ	80%	
ΣΥΧΝΟΤΗΤΑ	60KHz	
ΤΑΧΥΤΗΤΑ	400mm/s	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΧΑΡΑΓΜΕΝΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ (G_m)	156,161	
ΜΕΣΗ ΕΝΤΑΣΗ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ (G_v)	21,468	
$C = \left(\frac{G_m}{G_v} - 1 \right) 100\%$	$C = \left(\frac{156,161}{21,468} - 1 \right) 100\%$	
ΑΝΤΙΘΕΣΗ (C)	627%	