



**Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας
Πολυτεχνική Σχολή
πρώην Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών και Βιομηχανικού Σχεδιασμού
(Εισαγωγική Κατεύθυνση Βιομηχανικού Σχεδιασμού)**

Πτυχιακή Εργασία με τίτλο:

**“Επίδραση της διεργασίας ηλεκτροδιάβρωσης στην ποιότητα
επιφανείας υλικών”**

Του: Καλαϊντζίδα Κωνσταντίνου

Επιβλέποντες Καθηγητές: Κυράτσης Παναγιώτης
Τζώτζης Αναστάσιος

Κοζάνη 2022

Περιεχόμενα

| | |
|--|----|
| Περιεχόμενα | 2 |
| Ευχαριστήριο Σημείωμα..... | 3 |
| Περίληψη | 3 |
| Εισαγωγή | 4 |
| 1. Κεφάλαιο – Εξοπλισμός και ηλεκτρόδιο | 8 |
| 1.1. Η μηχανή της ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης | 8 |
| 1.2. Το ηλεκτρόδιο | 10 |
| 2. Κεφάλαιο – Τα υλικά που θα κατεργαστούμε | 11 |
| 2.1. Υλικό Α (DIN 1.2311) | 11 |
| 2.2. Υλικό Β (DIN 1.2312) | 12 |
| 2.3. Υλικό Γ (DIN 1.2767) | 13 |
| 3. Κεφάλαιο – Το πείραμα | 14 |
| 3.1. Ο τρόπος διεξαγωγής του πειράματος | 14 |
| 3.2. Οι μεταβλητές του πειράματος | 15 |
| 4. Κεφάλαιο – Τα αποτελέσματα του πειράματος | 17 |
| 4.1. Οπτικά αποτελέσματα και σχόλια | 17 |
| 4.2. Μέτρηση τραχύτητας επιφανειών | 21 |
| 4.3. Αποτελέσματα και παρατηρήσεις | 23 |
| Βιβλιογραφία | 31 |
| Παράρτημα | 32 |

Ευχαριστήριο Σημείωμα

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τους υπεύθυνους καθηγητές κύριο Κυράτση Παναγιώτη και κύριο Τζώτζη Αναστάσιο για την βοήθεια και καθοδήγηση που μου παρείχαν κατά τη διάρκεια της υλοποίησης της παρούσας πτυχιακής εργασίας.

Περίληψη

Η πτυχιακή εργασία αυτή έχει ως θέμα την επίδραση της διεργασίας ηλεκτροδιάβρωσης στην ποιότητα επιφανείας υλικών. Αρχικά θα μιλήσουμε για τον όρο ηλεκτροδιάβρωση και το πως προήρθε σαν διεργασία. Θα αναφερθούμε στα είδη της διεργασίας της διάβρωσης δίνοντας έμφαση στη διάβρωση βύθισης με την οποία θα διεξάγουμε το πείραμά μας. Θα μιλήσουμε επίσης για τον τρόπο λειτουργίας της διάβρωσης βύθισης καθώς και τα πλεονεκτήματα της σε σχέση με τις συμβατικές διεργασίες μορφοποίησης. Θα δούμε αναλυτικά σε ένα κεφάλαιο τον εξοπλισμό, τη μηχανή και το ηλεκτρόδιο που θα χρησιμοποιηθούν στο πείραμα μας και θα μιλήσουμε για τις παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθούν. Στην εργασία αυτή θα δουλέψουμε με τρία σιδηρούχα υλικά με διαφορετικές ιδιότητες τα οποία θα αναφέρονται ξεχωριστά σε κάθε κεφάλαιο και θα αναφέρονται λεπτομέρειες για το υλικό και τη χρήση του. Σε ακόμα ένα κεφάλαιο θα αναφερθούν οι παράμετροι του πειράματος και οι παρατηρήσεις για κάθε υλικό κατά την διεξαγωγή των πειραμάτων. Σε επόμενο κεφάλαιο θα μιλήσουμε για την μέθοδο ελέγχου των επιφανειών, το τραχύμετρο με το οποίο θα ελεγχθούν οι επιφάνειες και τις διαφορές που έχουν οι επιφάνειες των υλικών μας. Στο τελικό μέρος της εργασίας θα δούμε τα αποτελέσματα των μετρήσεων σε πίνακα καθώς και σε διαγράμματα.

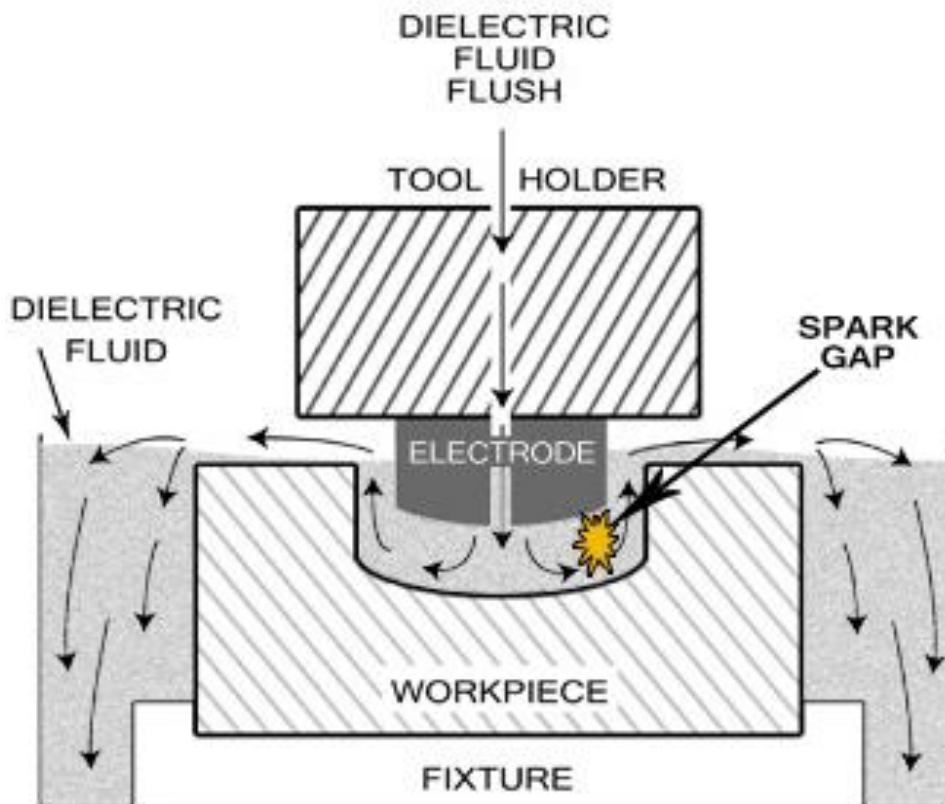
Summary

This dissertation deals with the effect of the electro-erosion process on the surface quality of materials. We will first talk about the term electro-erosion and how it came about as a process. We will refer to the types of erosion process with emphasis on immersion erosion in which we will conduct our experiment. We will also talk about how immersion erosion works as well as its advantages over conventional molding processes. We will see with detail in a chapter the equipment, the machine and the electrode that will be used in our experiment and we will talk about the parameters that will be used. In this essay we will work with three ferrous materials with different properties which will be mentioned separately in each chapter and details will be reported about the material and its use. In another chapter the parameters of the experiment and the observations for each material during the experiments will be mentioned. In the next chapter we will talk about the method of measuring the surfaces, the roughing tester with which the surfaces will be checked and the differences that the surfaces of our materials have. In the final part of the essay we will see the results of the measurements in a table as well as in diagrams.

Εισαγωγή

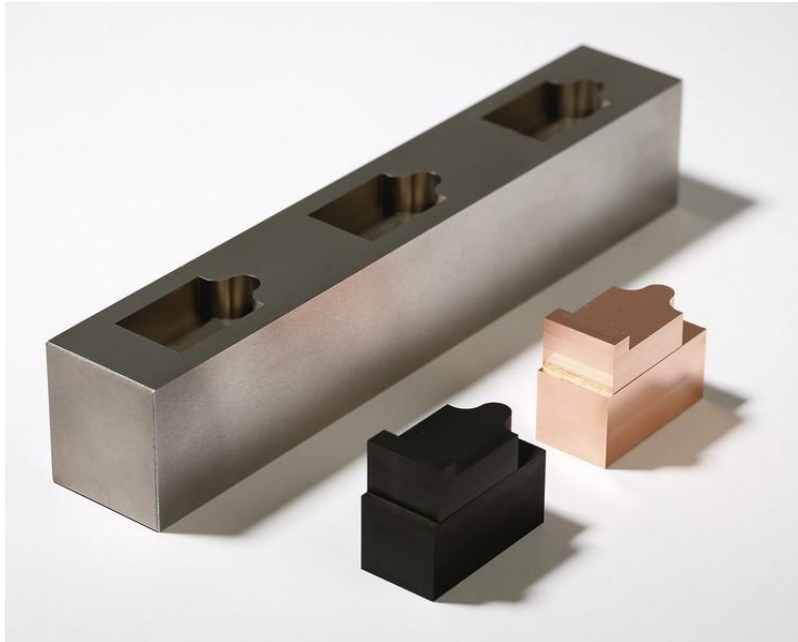
Τι είναι η ηλεκτροδιάβρωση;

Η μηχανουργική κατασκευή με ηλεκτρική εκκένωση (ηλεκτροδιάβρωση), που είναι γνωστή ως EDM (Electrical Discharge Machine), είναι μια διαδικασία που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση μετάλλου με ηλεκτρική εκκένωση. Η ηλεκτρική εκκένωση έχει μικρή διάρκεια και μεγάλη πυκνότητα ρεύματος μεταξύ ηλεκτροδίου και εξαρτήματος. Θα μπορούσαμε να πούμε πως η διαδικασία της ηλεκτροδιάβρωσης είναι σαν να χτυπούν πολύ μικροί κερανοί σε μία επιφάνεια, σε διαφορετικά σημεία, αυξάνοντας υπερβολικά τη θερμότητα δημιουργώντας τήξη, εξάχνωση και αφαίρεση υλικού. Βασικό χαρακτηριστικό της ηλεκτροδιάβρωσης είναι ότι δεν ασκείται κάποια δύναμη για την αφαίρεση υλικού από το τεμάχιο όπως συμβαίνει στις κλασικές κατεργασίες αφαίρεσης υλικού. Η κατεργασία αυτή είναι μία από τις παλαιότερες, μη συμβατικές θερμοηλεκτρικές κατεργασίες, με περισσότερο από 70 χρόνια εφαρμογής. Συγκεκριμένα το 1889, ένας Γερμανός φυσικός, ο Friedrich Paschen, εξήγησέ το φαινόμενο και επινόησε έναν τύπο που προέβλεψε την ικανότητα δημιουργίας τόξου σε διάφορα υλικά. Περίπου 100 χρόνια μετά, στα τέλη της δεκαετίας του 1970 κατασκευάστηκε στη Σοβιετική Ένωση η πρώτη μηχανή ηλεκτροδιάβρωσης που χρησιμοποιούσε ένα σύρμα ως ηλεκτρόδιο. Στην εικόνα 0.1 που ακολουθεί βλέπουμε το τρόπο λειτουργίας της ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης.

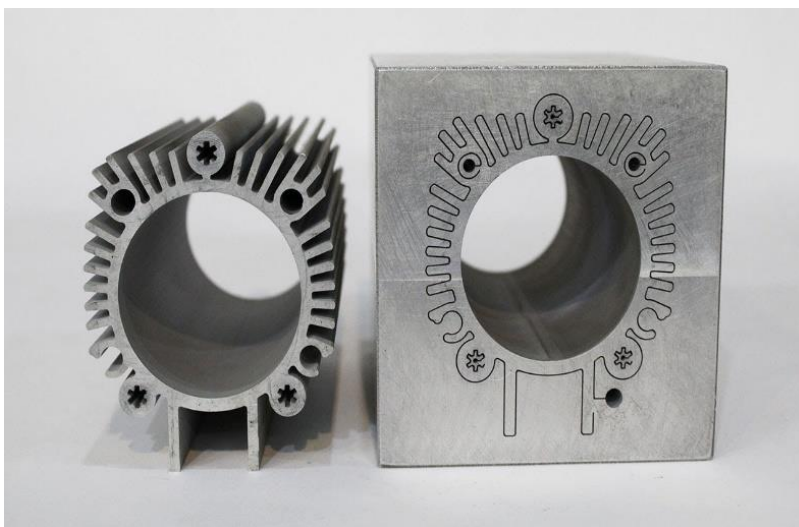


Εικόνα 0.1. Ο τρόπος λειτουργίας της ηλεκτροδιάβρωσης.

Ένα από τα πλεονεκτήματα είναι ότι μπορούμε να δημιουργήσουμε μορφές, σχήματα και εγχοπές που είναι σχεδόν αδύνατον να γίνουν με άλλο τρόπο. Μπορούμε επίσης να πετύχουμε ακρίβεια στις διαστάσεις και ποιότητα επιφάνειας χωρίς να μας επηρεάζει τόσο η σκληρότητα και η ακαμψία του υλικού που κατεργαζόμαστε. Δύο βασικοί τύποι ηλεκτροδιάβρωσης είναι η ηλεκτροδιάβρωση βύθισης (Die-sink EDM) και η ηλεκτροδιάβρωση σύρματος (Wire EDM), πού και στους δύο τύπους το ηλεκτρόδιο και το εξάρτημα πρέπει να είναι βυθισμένα σε διηλεκτρικό υγρό κατά τη διάρκεια της κοπής. Παρακάτω στις εικόνες 0.2 και 0.3 θα δούμε παραδείγματα από τους δύο τύπους ηλεκτροδιάβρωσης.



Εικόνα 0.2. Παράδειγμα ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης (Sink EDM).



Εικόνα 0.3. Παράδειγμα ηλεκτροδιάβρωσης σύρματος (Wire EDM).

Στην περίπτωση της ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης με την οποία θα ασχοληθούμε, το διηλεκτρικό υγρό είναι γενικά ένα ελαφρύ λιπαντικό λάδι το οποίο πρέπει να είναι κακός αγωγός του ηλεκτρισμού. Η δουλειά του διηλεκτρικού υγρού επομένως είναι η απομάκρυνση των μικροσωματιδίων του μετάλλου από την επιφάνεια την οποία διαβρώνουμε και η απαγωγή της θερμότητας που δημιουργείται από το σπινθήρα. Η μηχανή κρατά το ηλεκτρόδιο σε απόσταση από το εξάρτημα παρέχοντας το συνεχές ρεύμα μικρής τάσης και μεγάλης έντασης. Αυτοί οι παλμοί ηλεκτρικής ενέργειας γίνονται σπινθήρες που περνούν το διάκενο μεταξύ του ηλεκτροδίου και του εξαρτήματος μέσα από το διηλεκτρικό υγρό. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτροδιάβρωσης, έχουμε ταυτόχρονη απομάκρυνση υλικού τόσο από το εξάρτημα, όσο και από το ηλεκτρόδιο. Έτσι η επιλογή του υλικού για το ηλεκτρόδιο έχει μεγάλη σημασία. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες υλικών, που χρησιμοποιούνται ως ηλεκτρόδια στη διάβρωση βύθισης: τα μεταλλικά ηλεκτρόδια και τα ηλεκτρόδια από γραφίτη από τα οποία θα δούμε παραδείγματα στις εικόνες 0.4 και 0.5.

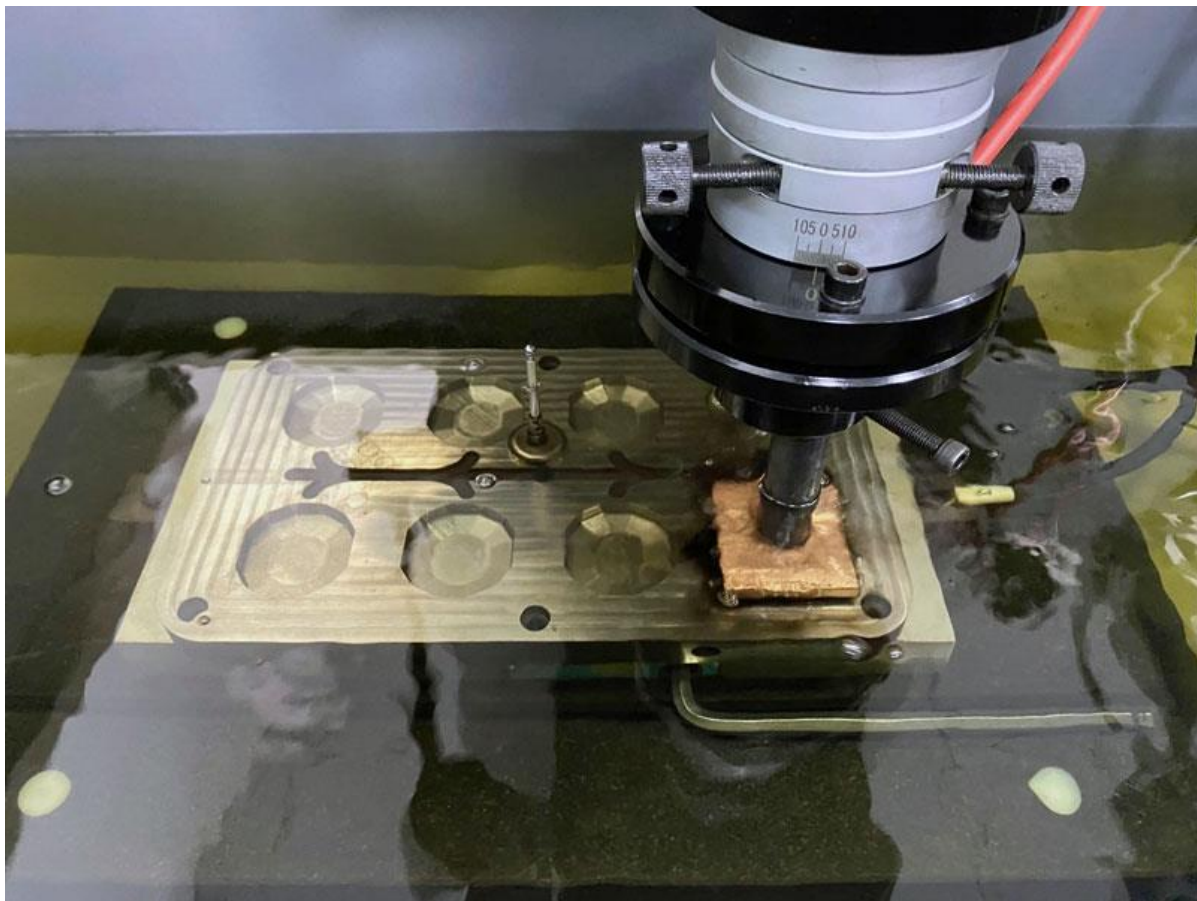


Εικόνα 0.4. Παράδειγμα ηλεκτροδίου από χαλκό.



Εικόνα 0.5. Παράδειγμα ηλεκτροδίου από γραφίτη.

Τα ηλεκτρόδια από γραφίτη έχουν μικρότερο ρυθμό φθοράς (wear rate), καθώς και κόστος σαν πρώτη ύλη, σε αντίθεση με τα μεταλλικά ηλεκτρόδια τα οποία παρουσιάζουν μεγαλύτερες φθορές, έχουν μεγαλύτερο κόστος, αλλά έχουν ιδιότητες που τα καθιστούν κατάλληλα για κατεργασίες φινιρίσματος. Τα συχνότερα χρησιμοποιημένα υλικά για ηλεκτρόδια στη διάβρωση βύθισης είναι: ο χαλκός (copper), ο χαλκός- βολφραμίου (copper-wolfram) και ο γραφίτης (graphite). Επίσης η ηλεκτροδιάβρωση είναι μία μηχανουργική μέθοδος που δεν παράγει τελείως λείες επιφάνειες όπως άλλες μέθοδοι αφαίρεσης υλικού. Οι επιφάνειες που μπορούν να παραχθούν είναι από τραχιές έως σχετικά λείες, ανάλογα ποια είναι η χρήση του εξαρτήματος. Τέλος η ηλεκτροδιάβρωση χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή καλουπιών, αλλά τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται επίσης για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων, πρωτοτύπων, για την αυτοκινητοβιομηχανία, την αεροδιαστημική και τις βιομηχανίες ηλεκτρονικών όπου οι αριθμοί παραγωγής είναι σχετικά μικροί. Στην εικόνα 0.6 βλέπουμε παράδειγμα ηλεκτροδιάβρωσης βύθισης σε μέρος καλουπιού και στην εικόνα 0.7 βλέπουμε διάφορα εξαρτήματα κατεργασμένα σε ηλεκτροδιάβρωση σύρματος.



Εικόνα 0.6. Μέρος καλουπιού σε διάβρωση βύθισης (Sink EDM).



Εικόνα 0.7. Διάφορα εξαρτήματα δουλεμένα σε διάβρωση σύρματος (Wire EDM).

1. Κεφάλαιο – Εξοπλισμός και ηλεκτρόδιο.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα μιλήσουμε για τον εξοπλισμό και το ηλεκτρόδιο που θα χρησιμοποιήσουμε κατά τη διάρκεια του πειράματός μας.

1.1. Η ηλεκτροδιάβρωση βύθισης

Η ηλεκτροδιάβρωση βύθισης που χρησιμοποιήσαμε για το πείραμά μας είναι της εταιρείας ONA μία εταιρία πρωτοπόρα στον τομέα των EDM μηχανών με πάνω από 65 χρόνια ιστορίας. Η ονομασία του συγκεκριμένου μοντέλου είναι NX4F και ανήκει στη συμπαγή κατηγορία (compact) λόγω του σχετικά μικρού μεγέθους και της υψηλής παραγωγικότητας. Το μέγιστο βάρος εξαρτήματος που μπορεί να κατεργαστεί είναι 1.500 κιλά και το μέγιστο βάρος ηλεκτροδίου μπορεί να συγκρατήσει είναι 75 κιλά. Έχει τη δυνατότητα να πετύχει τραχύτητα επιφάνειας 0,1 μm (Ra), καθώς και 1 μm (Ra) σε επιφάνεια 225 τετραγωνικά χιλιοστά. Ακολουθεί η εικόνα 1.1 με την ηλεκτροδιάβρωση που χρησιμοποιήσαμε.

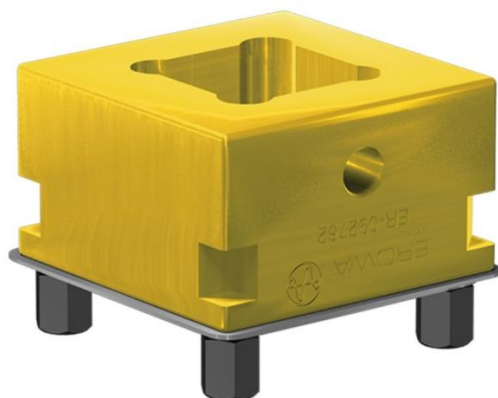


Εικόνα 1.1. ONA NX4F EDM

Στο συγκεκριμένο μηχάνημα έχει τοποθετηθεί κεφαλή της εταιρίας EROWA για συγκράτηση ηλεκτροδίων που βλέπουμε στη εικόνα 1.2, για εύκολη τοποθέτηση και αλλαγή ηλεκτροδίων χωρίς να χάνονται τα μηδενικά σημεία. Επίσης τα ηλεκτρόδια και αυτά κατασκευάζονται σε ειδικές βάσεις (ITS 50) της εταιρίας EROWA όπως βλέπουμε στην εικόνα 1.3.



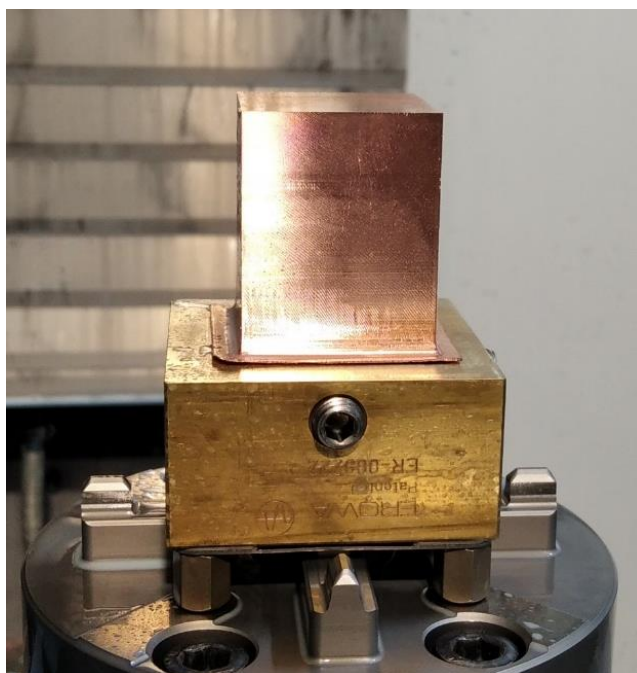
Εικόνα 1.2. Κεφαλή EROWA ER-097362



Εικόνα 1.3. Βάση ITS 50 από ορείχαλκο της εταιρίας EROWA.

1.2. Το ηλεκτρόδιο

Για την διεξαγωγή του πειράματός μας αποφασίσαμε να χρησιμοποιήσουμε ηλεκτρόδιο από χαλκό και όχι από γραφίτη, διότι σαν υλικό ο χαλκός δίνει καλύτερα αποτελέσματα σε ότι αφορά την επιφάνεια που κατεργαζόμαστε. Οι διαστάσεις της επιφάνειας κοπής του ηλεκτροδίου είναι 30x30 mm και έχει κατεργαστεί από ραβδοειδή λάμα χαλκού σε κέντρο CNC τριών αξόνων για ακρίβεια διαστάσεων και πολύ καλή ποιότητα επιφανειών. Επίσης έχει κατασκευαστεί σε ειδική βάση από ορείχαλκο της εταιρίας EROWA για γρήγορη τοποθέτηση στην ηλεκτροδιάβρωση. Ο χαλκός που χρησιμοποιήσαμε είναι καθαρός χαλκός DIN 2.0060 (E-Cu 57) από την Αυστριακή εταιρία Meusburger και τη τελική μορφή του ηλεκτροδίου βλέπουμε στη εικόνα 1.4.



Εικόνα 1.4. Το ηλεκτρόδιο από χαλκό μετά από κατεργασία σε ειδική βάση από ορείχαλκο.

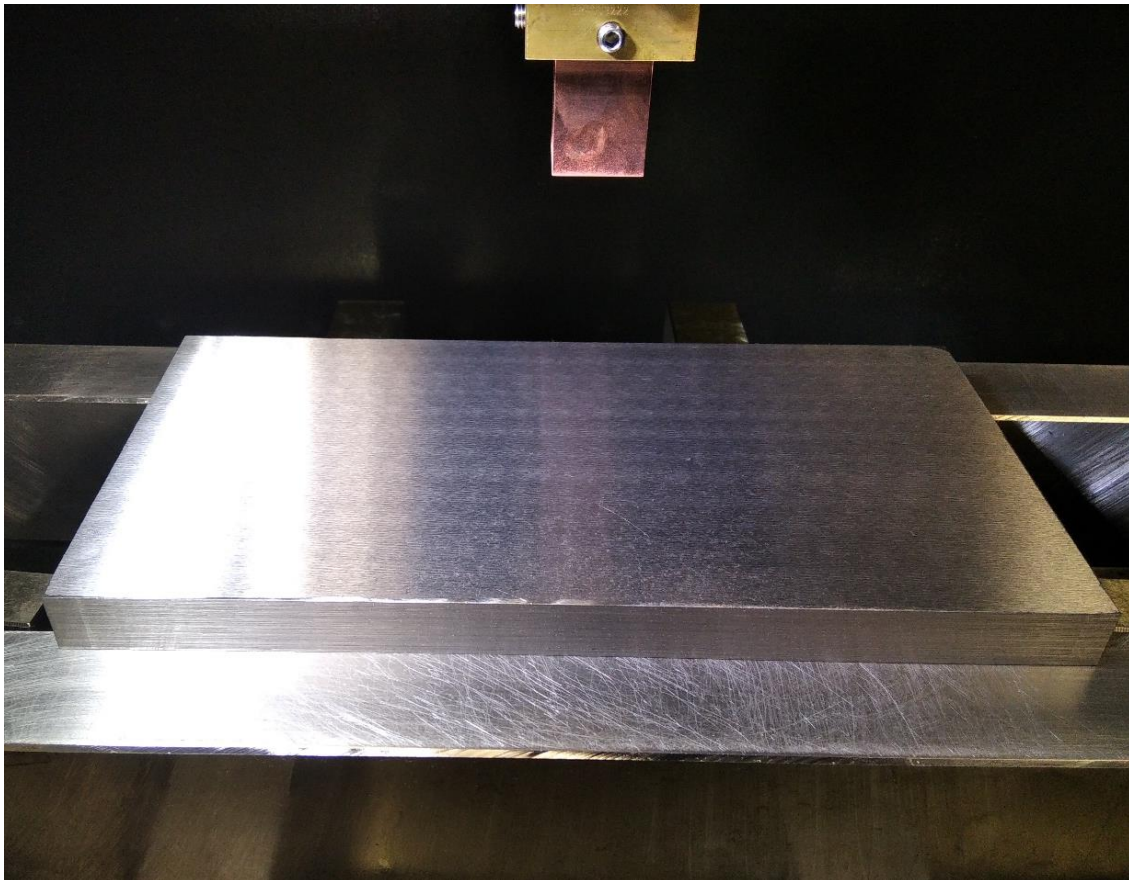
2. Κεφάλαιο –Τα υλικά που θα κατεργαστούμε.

Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε στη παρούσα πτυχιακή εργασία είναι όλα από την Αυστριακή εταιρία MEUSBURGER. Η επιλογή τους έγινε βάση τη προσωπικής μας εμπειρίας με αυτά και οι λεπτομέρειες που θα δούμε παρακάτω είναι από πίνακες και αρχεία της εταιρίας.

2.1. Υλικό A (DIN 1.2311)

Το πρώτο υλικό (DIN 1.2311 (40 CrMnMo 7)) εικόνα 2.1, είναι ένα σιδηρούχο κράμα που έχει υποστεί σκλήρυνση, χρησιμοποιείται κυρίως στην κατασκευή καλουπιών και στην κατασκευή πρόσθετων εξαρτημάτων. Δίνει πολύ καλά αποτελέσματα στη δημιουργία γυαλισμένων επιφανειών και προτείνεται για κατεργασία σε ηλεκτροδιάβρωση με πολύ καλά αποτελέσματα. Έχει αντοχή περίπου 1080 Newton ανά τετραγωνικό χιλιοστό και οι προσμίξεις του υλικού αυτού είναι:

- Άνθρακας - C 0.40
- Πυρίτιο - Si 0.40
- Μαγγάνιο - Mn 1.50
- Χρώμιο - Cr 1.90
- Μολυβδαίνιο - Mo 0.20



Εικόνα 2.1. Η πλάκα του υλικού 1.2311.

2.2. Υλικό B (DIN 1.2312)

Το δεύτερο υλικό (DIN 1.2312 (40 CrMnMoS 8-6)) εικόνα 2.2, είναι ένα παρόμοιο σιδηρούχο κράμα το οποίο έχει υποστεί σκλήρυνση και χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλουπιών. Δεν προτείνεται τόσο για γυαλισμένες επιφάνειες και δεν προτείνεται για ηλεκτροδιάβρωση. Το πλεονέκτημά του σε σχέση με το υλικό 1.2311 είναι ότι είναι πιο εύκολα κατεργάσιμο με κλασικές μεθόδους αφαίρεσης υλικού και έχει καλύτερα τελικά αποτελέσματα επιφανειών και διαστάσεων με αυτές τις μεθόδους. Έχει αντοχή περίπου 1080 Newton ανά τετραγωνικό χιλιοστό και οι προσμίξεις του υλικού αυτού είναι:

- Άνθρακας - C 0.40
- Πυρίτιο - Si 0.40
- Μαγγάνιο - Mn 1.50
- Χρώμιο - Cr 1.90
- Μολυβδαίνιο - Mo 0.20
- Θείο - S 0.06

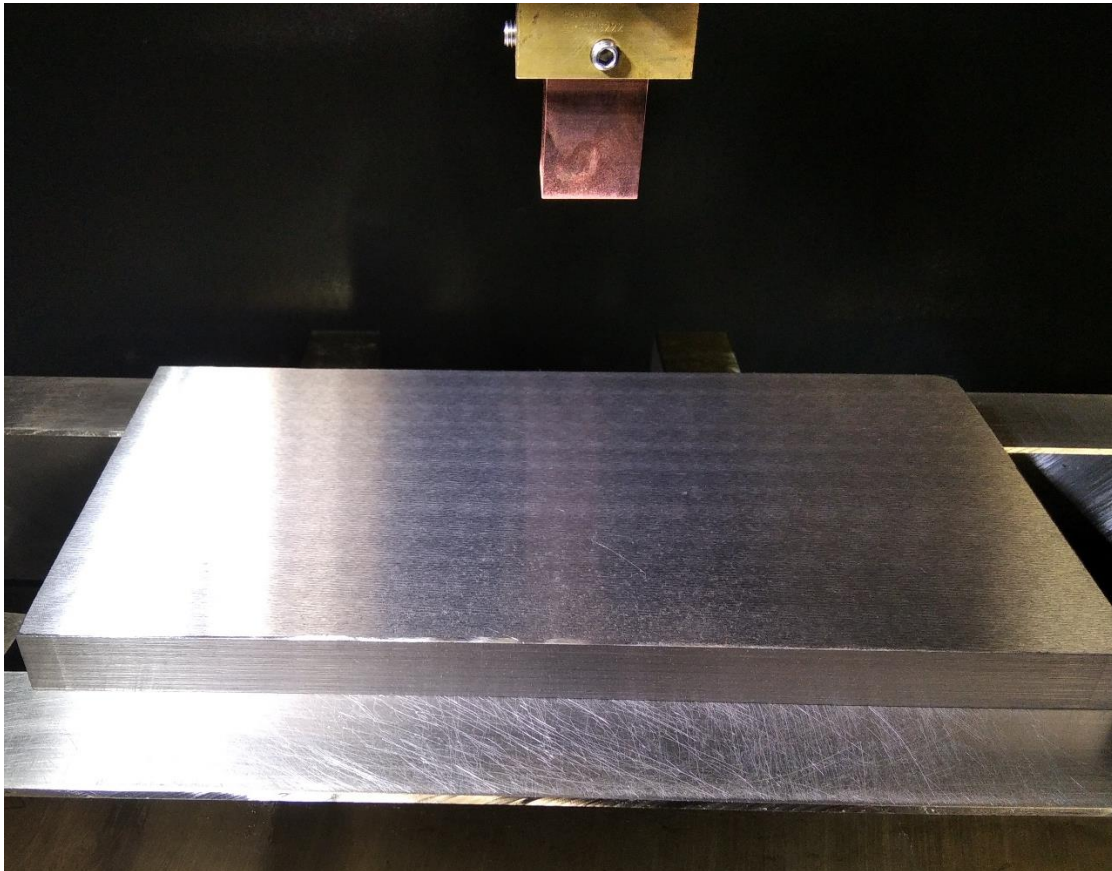


Εικόνα 2.2. Η πλάκα του υλικού 1.2312.

2.3. Υλικό Γ (DIN 1.2767)

Το τρίτο υλικό (DIN 1.2767 (45 NiCrMo 16)) εικόνα 2.3, είναι ένα σιδηρούχο κράμα με μεγάλη περιεκτικότητα σε νικέλιο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή καλουπιών και εξαρτημάτων υψηλής παραγωγικότητας για καλούπια που δέχονται μεγάλες δυνάμεις πίεσης και παραμόρφωσης όπως καλούπια μορφοποίησης και καλούπια για πρέσες. Έχουν μέτρια κατεργασιμότητα, προτείνονται για ολική σκλήρυνση, έχουν μεγάλη αντοχή στην κάμψη και είναι κατάλληλα για χρήση σε αντικείμενα μεγάλων διαστάσεων. Έχουν τις καλύτερες μεταλλουργικές ιδιότητες για γυάλισμα επιφανειών και είναι εξαιρετικά κατάλληλα για κατεργασία σε ηλεκτροδιάβρωση. Το υλικό αυτό έχει αντοχή περίπου 830 Newton ανά τετραγωνικό χιλιοστό και οι προσμίξεις του είναι:

- Άνθρακας – C 0.45
- Πυρίτιο - Si 0.25
- Μαγγάνιο - Mn 0.40
- Χρόμιο - Cr 1.35
- Μολυβδαίνιο - Mo 0.25
- Νικέλιο - Ni 4.00



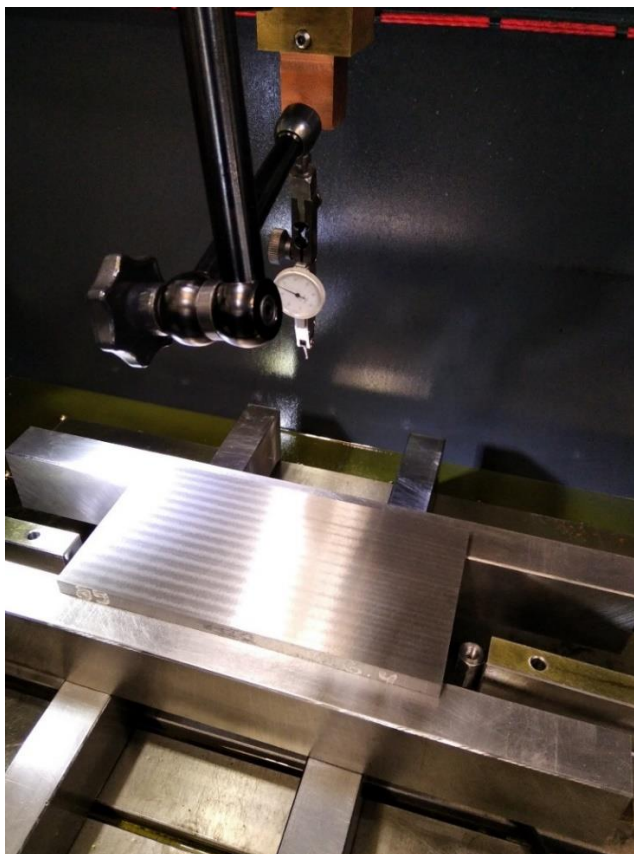
Εικόνα 2.3. Η πλάκα του υλικού 1.2767.

3. Κεφάλαιο – Το πείραμα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε τον τρόπο με τον οποίο θα φέρουμε εις πέρας το πείραμά μας βήμα-βήμα και θα μιλήσουμε για τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιήσουμε εξηγώντας αναλυτικά την κάθε μία.

3.1. Ο τρόπος διεξαγωγής του πειράματος

Για το πείραμά μας όπως έχουμε ήδη αναφέρει, έχουμε τρία υλικά τα οποία θα κατεργαστούμε στη διάβρωση βύθισης. Τα υλικά αυτά είναι σε μορφή πλακών με διαστάσεις 330x150x20 mm και έχουν λειανθεί στο επάνω και κάτω μέρος τους για να είναι παράλληλες οι επιφάνειες. Οι πλάκες αυτές τοποθετήθηκαν η κάθε μία ξεχωριστά στο τραπέζι της ηλεκτροδιάβρωσης και με ένα μηχανικό μετρητικό ρολόι όπως βλέπουμε στην εικόνα 3.1 σιγουρευτήκαμε πώς είναι παράλληλες προς την κίνηση των αξόνων της μηχανής. Αποφασίσαμε πώς οι επιφάνειες στις οποίες θα κατεργαστούμε πρέπει να είναι σύνολο 27, έχοντας εννέα επιφάνειες σε τρεις σειρές, με τη καθεμία επιφάνεια να έχει τη δική της τραχύτητα. Μετά από την ολοκλήρωση της διεργασίας σε κάθε επιφάνεια, θα γίνεται έλεγχος της επιφάνειας του ηλεκτροδίου και αναλόγως θα τη λειαίνουμε με ένα σμυριδόπανο πριν προχωρήσουμε στην επόμενη ώστε κάθε φορά να έχουμε σωστά αποτελέσματα.



Εικόνα 3.1. Η τοποθέτηση της πλάκας και το μετρητικό ρολόι.

3.2. Οι μεταβλητές του πειράματος

Σε αυτό το μέρος της εργασίας μιλήσουμε για τις τρεις μεταβλητές με τις οποίες θα πειραματιστούμε και θα εξηγήσουμε πως καταλήξαμε σε αυτές τις τιμές που θα δούμε στον πίνακα 3.1.

1. Τάση (Voltage) : αντιπροσωπεύει τα διαφορετικά επίπεδα ιονισμού τάσης στο κενό, ανάμεσα στο ηλεκτρόδιο και το αντικείμενο. Στην ηλεκτροδιάβρωση η τάση που χρησιμοποιείται είναι από 50 έως 300 volts, με την υψηλότερη τάση να μην αποδίδει ακρίβεια.
2. Χρόνος ενεργού παλμού (pulse on time): αντιπροσωπεύει το χρόνο παλμού, από 1 έως 65000 μικροδευτερόλεπτα. Αυτή η μεταβλητή είναι καθοριστική για την αφαίρεση υλικού και τη φθορά του ηλεκτροδίου. Επιπλέον όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του ενεργού παλμού, τόσο μεγαλύτερος είναι ο κρατήρας που δημιουργείται από κάθε σπινθήρα.
3. Χρόνος παύσης (pulse off time): αντιπροσωπεύει τη περίοδο μεταξύ δύο διαδοχικών παλμών, από 1 έως 65000 μικροδευτερόλεπτα. Μια παύση παλμού πολύ μικρή, μπορεί να προκαλέσει εκκενώσεις τόξου και μια παύση παλμού πολύ μεγάλη, μπορεί να μειώσει τον ρυθμό αφαίρεσης υλικού, καθώς και να αυξήσει τη φθορά του ηλεκτροδίου.
4. Ένταση (intensity): υποδεικνύει τα διάφορα επίπεδα ισχύος που μπορούν να παραχθούν από τη γεννήτρια. Η τιμή αυτή ρυθμίζεται αυτόματα από την μηχανή της ηλεκτροδιάβρωσης σύμφωνα με τις άλλες τιμές που έχουμε εμείς δώσει και την αναφέρουμε για να δούμε τη διαφορά που δημιουργούν οι αλλαγές στις τιμές του πειράματος.

| Μεταβλητές | Voltage | Pulse on time | Pulse off time | Intensity |
|------------|---------|---------------|----------------|-----------|
| 1 | -200 | 3,2 | 6,4 | 1 |
| 2 | -200 | 3,2 | 13 | 1 |
| 3 | -200 | 3,2 | 25 | 1 |
| 4 | -200 | 6,4 | 6,4 | 3 |
| 5 | -200 | 6,4 | 13 | 3 |
| 6 | -200 | 6,4 | 25 | 3 |
| 7 | -200 | 13 | 6,4 | 4 |
| 8 | -200 | 13 | 13 | 4 |
| 9 | -200 | 13 | 25 | 4 |
| 10 | 200 | 25 | 6,4 | 4 |
| 11 | 200 | 25 | 13 | 4 |
| 12 | 200 | 25 | 25 | 4 |
| 13 | 200 | 50 | 6,4 | 5 |
| 14 | 200 | 50 | 13 | 5 |
| 15 | 200 | 50 | 25 | 5 |
| 16 | 200 | 100 | 6,4 | 5 |
| 17 | 200 | 100 | 13 | 5 |
| 18 | 200 | 100 | 25 | 5 |
| 19 | 80 | 200 | 25 | 6 |

| | | | | |
|----|----|-----|-----|---|
| 20 | 80 | 200 | 50 | 6 |
| 21 | 80 | 200 | 100 | 6 |
| 22 | 80 | 400 | 25 | 7 |
| 23 | 80 | 400 | 50 | 7 |
| 24 | 80 | 400 | 100 | 7 |
| 25 | 80 | 800 | 25 | 8 |
| 26 | 80 | 800 | 50 | 8 |
| 27 | 80 | 800 | 100 | 8 |

Πίνακας 3.1. Οι μεταβλητές και οι τιμές που χρησιμοποιήσαμε στο πείραμά μας.

Οι τιμές αυτές που βλέπουμε στον παραπάνω πίνακα είναι βασισμένες πάνω στις τιμές που δίνει ο κατασκευαστής στο manual της μηχανής και συγκεκριμένα με το κριτήριο Minimum Wear δηλαδή όσο το δυνατόν μικρότερη φθορά στο ηλεκτρόδιο. Ο κατασκευαστής έχει ορίσει ως συντελεστή την τιμή VDI η οποία ερμηνεύεται ως ποιότητα επιφάνειας. Όσο μικρότερη είναι η τιμή VDI τόσο πιο λεία επιφάνεια έχουμε. Η μηχανή της ηλεκτροδιάβρωσης έχει αποθηκευμένους πίνακες για κάθε VDI με τιμές όπως αυτές που έχουμε στο πείραμα μας και κάποιες ακόμα στις οποίες εμείς δεν θα αναφερθούμε στη πτυχιακή μας εργασία. Περνώντας στο πρόγραμμα μία τιμή VDI αυτόματα η μηχανή ρυθμίζει κάθε φορά και τις υπόλοιπες τιμές. Το φάσμα των τιμών VDI που μπορεί να δεχτεί η μηχανή είναι πολύ μεγάλο. Ξεκινώντας από το μηδέν και φτάνοντας έως το 50, ανεβαίνοντας αρχικά κατά τέσσερα, μετά κατά δύο και τέλος κατά μία μονάδα κάθε φορά. Το φάσμα των τιμών VDI που καλύπτουμε εμείς στο πείραμά μας ξεκίνα από το 20 και φτάνει στο 36, όπως θα δούμε στο πίνακα 3.2.

| VDI | Μεταβλητές |
|------------|-------------------|
| 20 | 1,2,3 |
| 22 | 4,5,6 |
| 25 | 7,8,9 |
| 26 | 10,11,12 |
| 29 | 13,14,15 |
| 30 | 16,17,18 |
| 32 | 19,20,21 |
| 34 | 22,23,24 |
| 36 | 25,26,27 |

Πίνακας 3.2. Πίνακας αντιστοίχισης τιμών VDI και μεταβλητών.

Οι μεταβλητές του πειράματος μας είναι ανάλογες με αυτές που προτείνει ο κατασκευαστής με μικρές διαφορές σε κάποιες. Αρχικά παρατηρούμε πως η μεταβλητή Voltage παίρνει τρεις διαφορετικές τιμές οι οποίες είναι οι μοναδικές τιμές που προτείνει ο κατασκευαστής της μηχανής έχοντας επιλέξει το κριτήριο ελάχιστης φθοράς – Minimum Wear. Αυτές οι τιμές ξεχωρίζουν την κατεργασία κοπής σε τρεις ομάδες:

1. Τη κατεργασία φινιρίσματος δηλαδή τις τιμές 1 έως 9 με Voltage -200. Η σημασία της αρνητικής τιμής είναι ότι αλλάζει η πολικότητα του ρεύματος διότι έχουμε μικρές τιμές ενεργού παλμού - Pulse on time, με σκοπό να επιτευχθεί μείωση της φθοράς του ηλεκτροδίου και αύξηση του ρυθμού αποβολής υλικού από το τεμάχιο.
2. Την κατεργασία κανονικής κοπής δηλαδή τις τιμές 10 έως 18 με Voltage 200.
3. Την κατεργασία ξεχονδρίσματος δηλαδή τις τιμές 19 έως 27 με Voltage 80.

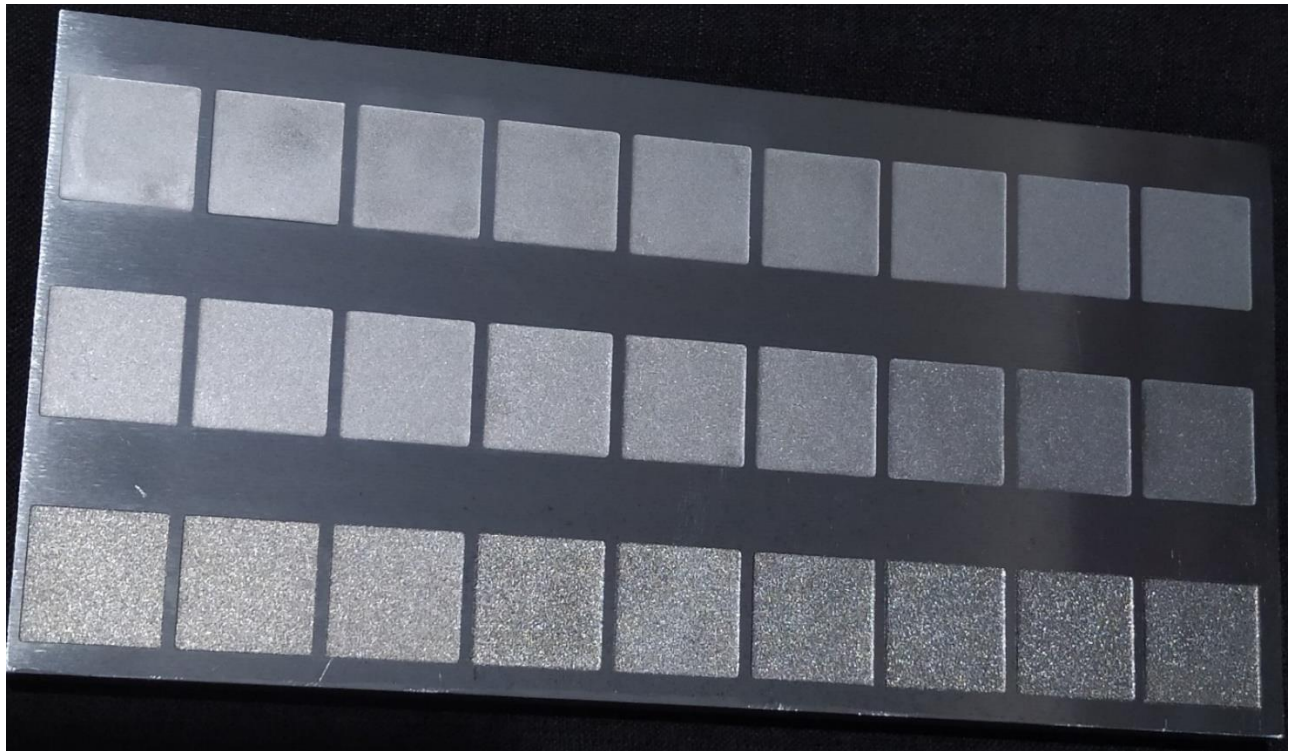
Η μεταβλητή Pulse on time είναι χωρισμένη σε εννέα ζευγάρια των τριών με τις τιμές να είναι βάσει των πινάκων της μηχανής και ανάλογες των VDI. Τέλος η μεταβλητή Pulse off time όπως βλέπουμε είναι διαφορετική για κάθε τιμή Pulse on time και αυτό διότι θέλουμε να δούμε επίσης ποιες είναι οι διαφορές που δημιουργούνται όταν αλλάζουν αυτές οι δύο τιμές για κάθε υλικό που έχουμε.

4. Κεφάλαιο – Τα αποτελέσματα του πειράματος.

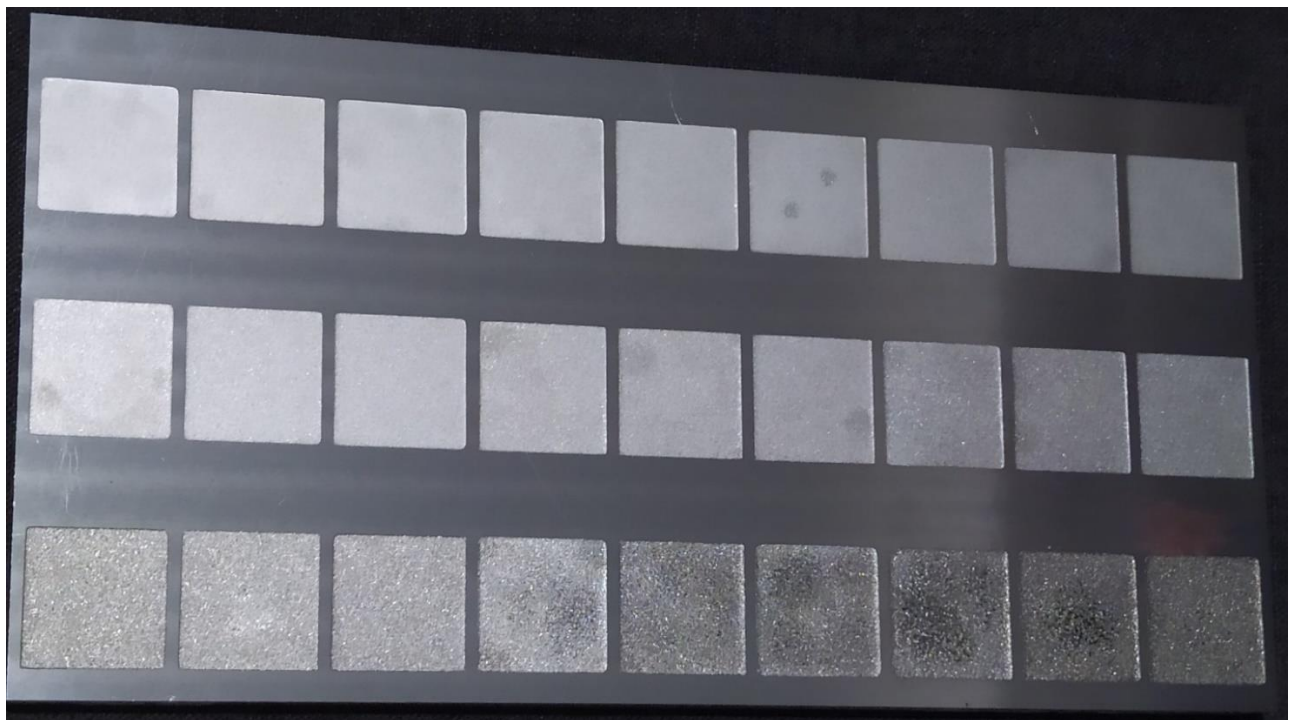
Σε αυτό το κεφάλαιο θα δούμε και θα μιλήσουμε αρχικά για τα οπτικά αποτελέσματα του πειράματός μας, στη συνέχεια θα αναφερθούμε στο τρόπο με τον οποίο ελέγχθηκαν οι επιφάνειες και τέλος στα αποτελέσματα των μετρήσεων.

4.1. Οπτικά αποτελέσματα και σχόλια

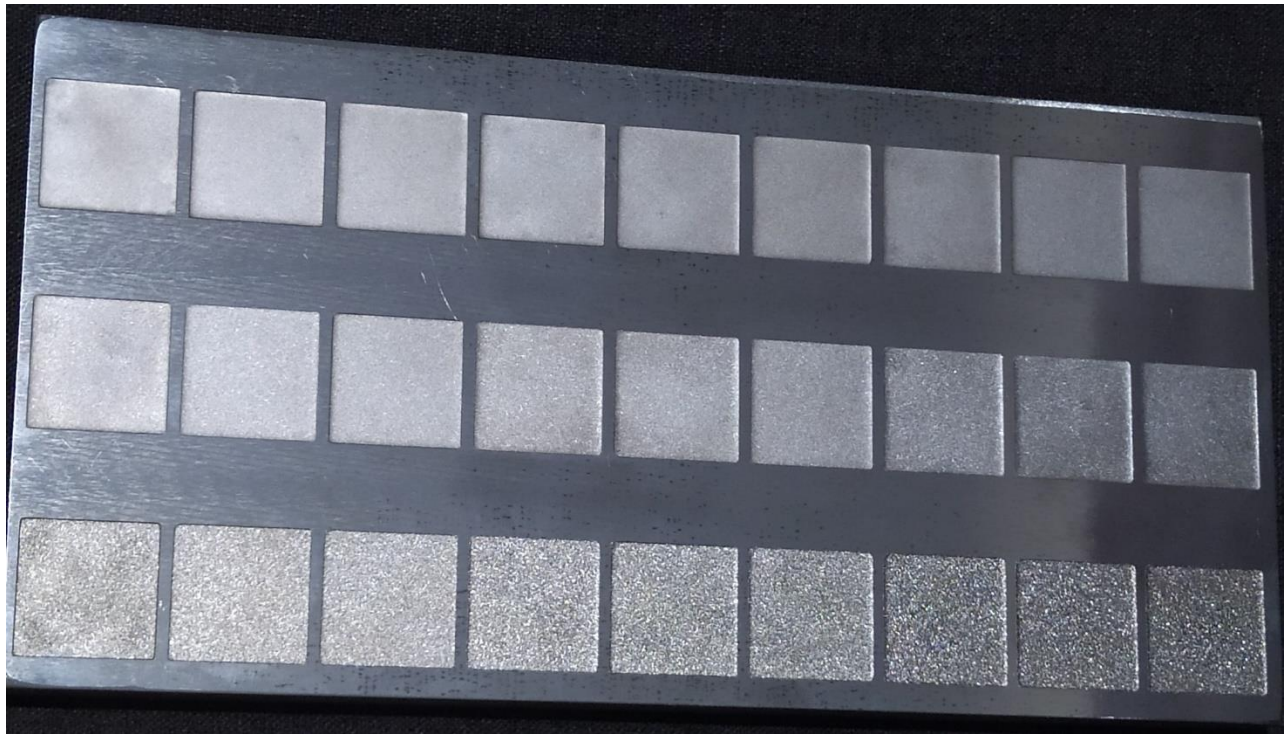
Αρχικά αυτό που παρατηρήσαμε είναι ότι στις επιφάνειες 1 έως 9 και των τριών υλικών όπως βλέπουμε στις εικόνες 4.1 έως 4.3, έχουν πανομοιότυπα οπτικά αποτελέσματα, με σχεδόν λείες επιφάνειες και μικρές διαφορές να εμφανίζονται στις τελευταίες επιφάνειες της σειράς. Στις επιφάνειες 10 έως 18 όπου η κοπή ήταν πιο έντονη παρατηρούμε ότι τα υλικά 1.2311 και 1.2767 έχουν καλύτερες και πιο ομοιόμορφες επιφάνειες σε σχέση με το υλικό 1.2312, με το υλικό 1.2311 να έχει ελαφρώς καλύτερα οπτικά αποτελέσματα. Στην τελευταία σειρά δηλαδή τις επιφάνειες 19 έως 27, βλέπουμε πώς και στα τρία υλικά η τραχύτητα των επιφανειών είναι πολύ μεγάλη και συγκεκριμένα στις τελευταίες τρεις επιφάνειες να είναι ορατοί μικροί κρατήρες από την έντονη αφαίρεση υλικού με πιο έντονη μορφή στο υλικό 1.2312. Επίσης παρατηρήθηκε μεγάλη οπτική διαφορά στην επιφάνεια του ηλεκτροδίου κατά την ολοκλήρωση της κοπής στη πρώτη σειρά σε σχέση με την τελευταία. Όπως θα δούμε παρακάτω στην εικόνα 4.4 δεν υπάρχει ορατή φθορά στο ηλεκτρόδιο κατά την ολοκλήρωση της κοπής στη πρώτη σειρά σε αντίθεση με την τελευταία σειρά που υπάρχει οπτική τουλάχιστον φθορά στο ηλεκτρόδιο λόγω της πολύ έντονης αφαίρεσης υλικού όπως βλέπουμε στην εικόνα 4.5.



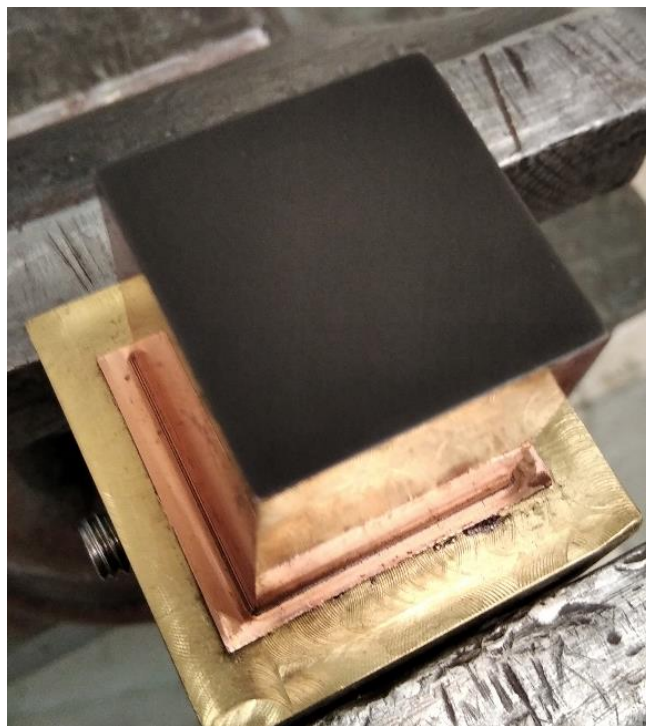
Εικόνα 4.1. Η πλάκα του υλικού 1.2311 μετά την ολοκλήρωση των κατεργασιών.



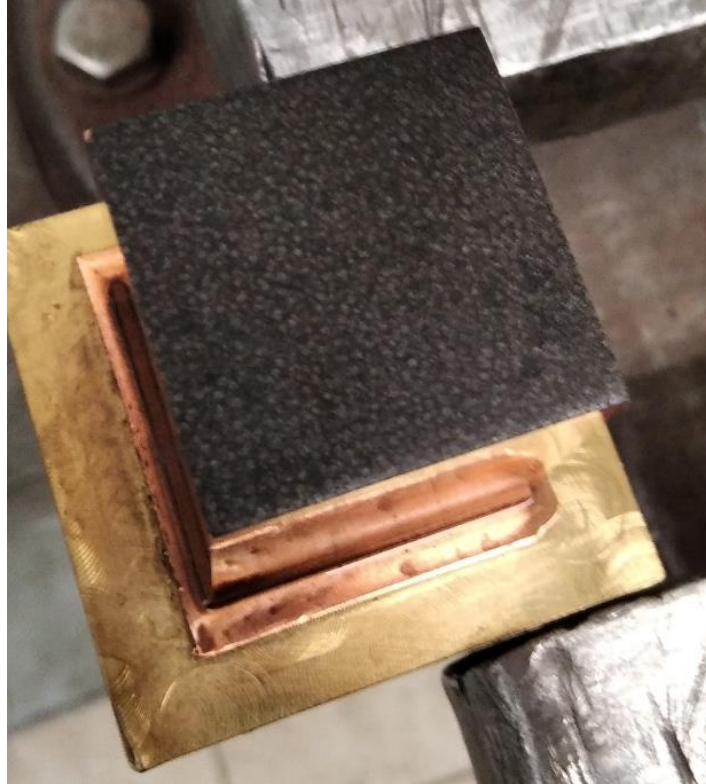
Εικόνα 4.2. Η πλάκα του υλικού 1.2312 μετά την ολοκλήρωση των κατεργασιών.



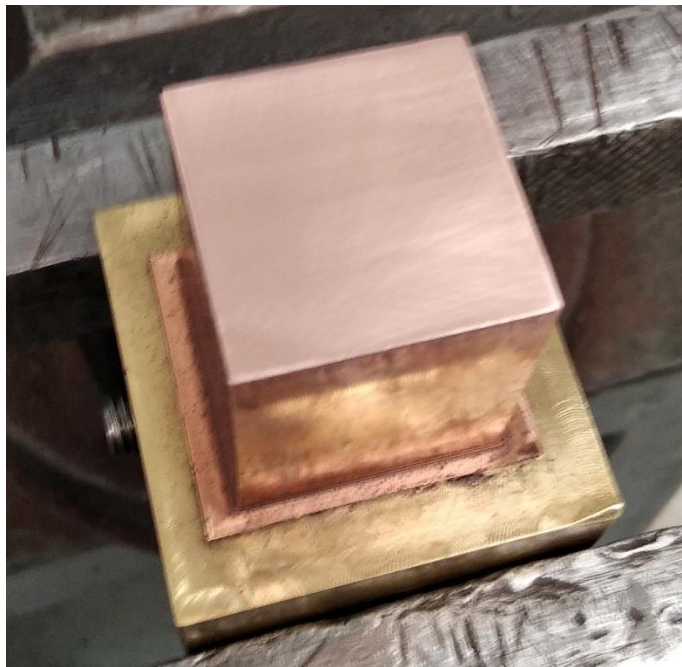
Εικόνα 4.3. Η πλάκα του υλικού 1.2767 μετά την ολοκλήρωση των κατεργασιών.



Εικόνα 4.4. Το ηλεκτρόδιο μετά από διάβρωση στη πρώτη σειρά.



Εικόνα 4.5. Το ηλεκτρόδιο μετά από διάβρωση στη τρίτη σειρά.



Εικόνα 4.6. Το ηλεκτρόδιο μετά από τρίψιμο και γυάλισμα.

4.2. Μέτρηση τραχύτητας επιφανειών

Το τραχύμετρο που χρησιμοποιήσαμε είναι το R-130(Surface Roughness Tester) της εταιρίας CV Instruments το οποίο βλέπουμε στη εικόνα 4.7. Το συγκεκριμένο μοντέλο είναι ένα εύκολα μεταφερόμενο τραχύμετρο με χαμηλό κόστος. Η βάση του είναι στιβαρή και είναι φτιαγμένη από αλουμίνιο. Το τραχύμετρο αυτό έχει και ειδικά πλακίδια με συγκεκριμένες τραχύτητες για καλιμπράρισμα πριν την διεξαγωγή νέων μετρήσεων, βλέπουμε εικόνα 4.8. Κατά τη διάρκεια της μέτρησης ο βραχίονας όπου η υπάρχει η μετρητική ακίδα μετακινείται γραμμικά πάνω στην επιφάνεια. Οι κινήσεις της ακίδας μετατρέπονται σε ηλεκτρικά σήματα τα οποία ενισχύονται, φιλτράρονται και μετατρέπονται σε ψηφιακά σήματα. Τα σήματα αυτά μετατρέπονται σε τιμές Ra και Rz από τον επεξεργαστή και εμφανίζονται στην οθόνη όπως βλέπουμε στη εικόνα 4.9. Η μέθοδος μέτρησης αυτή λέγεται πιεζοηλεκτρική. Μπορεί να πάρει μετρήσεις σε διαφορετικές κατευθύνσεις καθώς ο μετρητικός βραχίονας περιστρέφεται μέχρι 270 μοίρες. Τέλος η ακίδα του μετρητή είναι από διαμάντι και έχει ράδιο κορυφής 5 μικρά (microns). Η τιμή Ra που θα δούμε στη συνέχεια στο πείραμά μας είναι το μέσο ύψος των αποκλίσεων της επιφάνειας στο καθορισμένο δειγματολογικό μήκος και η μονάδα μέτρησης είναι το μικρόμετρο (μm).



Εικόνα 4.7. Το τραχύμετρο που χρησιμοποιήσαμε πάνω σε ειδική βάση στήριξης.



Εικόνα 4.8. Φωτογραφία καλιμπραρίσματος του τραχύμετρου.



Εικόνα 4.9. Φωτογραφία κατά τη διάρκεια της μέτρησης.

4.3. Αποτελέσματα και παρατηρήσεις

Οι μετρήσεις που κάναμε με το τραχύμετρο ήταν τέσσερις σε κάθε επιφάνεια πάνω στον άξονα Υ και αυτό έγινε ώστε να έχουμε μία καλύτερη εικόνα της τραχύτητας των επιφανειών. Από αυτές τις τέσσερις τιμές βρήκαμε τη μέση τιμή όπως θα δούμε στους πίνακες 4.1 έως 4.3. Επίσης όπως θα δούμε παρακάτω στα διαγράμματα χρησιμοποιήσαμε τη μέση τιμή της τραχύτητας που βρήκαμε για κάθε επιφάνεια του κάθε υλικού, για να δημιουργήσουμε διαγράμματα για να κατανοήσουμε τα αποτελέσματα του πειράματός μας καλύτερα.

| ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ | DIN 1.2311 | | | | | Μ.Τ. |
|-------------------------|------------|------|------|------|--------|------|
| | A | B | Γ | Δ | | |
| 1 | 1,19 | 1,18 | 1,19 | 1,18 | 1,185 | |
| 2 | 1,04 | 1,02 | 1,04 | 1,03 | 1,0325 | |
| 3 | 0,86 | 0,86 | 0,85 | 0,85 | 0,855 | |
| 4 | 1,16 | 1,12 | 1,13 | 1,14 | 1,1375 | |
| 5 | 1,93 | 1,9 | 1,92 | 1,93 | 1,92 | |
| 6 | 1,45 | 1,46 | 1,44 | 1,44 | 1,4475 | |
| 7 | 1,5 | 1,51 | 1,59 | 1,57 | 1,5425 | |
| 8 | 2,01 | 2,06 | 2,03 | 2,03 | 2,0325 | |
| 9 | 2,45 | 2,5 | 2,48 | 2,47 | 2,475 | |
| 10 | 2,65 | 2,66 | 2,66 | 2,64 | 2,6525 | |
| 11 | 2,69 | 2,71 | 2,7 | 2,69 | 2,6975 | |
| 12 | 3,01 | 3,08 | 3,05 | 3,04 | 3,045 | |
| 13 | 3,15 | 3,2 | 3,15 | 3,17 | 3,1675 | |
| 14 | 3,62 | 3,58 | 3,57 | 3,6 | 3,5925 | |
| 15 | 4,38 | 4,35 | 4,36 | 4,38 | 4,3675 | |
| 16 | 4,01 | 4,03 | 4,02 | 4,05 | 4,0275 | |
| 17 | 3,87 | 3,86 | 3,9 | 3,88 | 3,8775 | |
| 18 | 5,98 | 5,95 | 5,96 | 5,96 | 5,9625 | |
| 19 | 5,76 | 5,77 | 5,78 | 5,79 | 5,775 | |
| 20 | 6,03 | 6,01 | 6,02 | 6,04 | 6,025 | |
| 21 | 6,35 | 6,4 | 6,38 | 6,36 | 6,3725 | |
| 22 | 8,38 | 8,41 | 8,37 | 8,42 | 8,395 | |
| 23 | 8,26 | 8,22 | 8,25 | 8,23 | 8,24 | |
| 24 | 8,59 | 8,6 | 8,58 | 8,59 | 8,59 | |
| 25 | 8,67 | 8,69 | 8,67 | 8,68 | 8,6775 | |
| 26 | 8,75 | 8,71 | 8,73 | 8,74 | 8,7325 | |
| 27 | 8,88 | 8,85 | 8,84 | 8,87 | 8,86 | |

Πίνακας 4.1. Αποτελέσματα μετρήσεων του υλικού 1.2311.

| ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ | DIN 1.2312 | | | | |
|-------------------------|------------|------|------|------|--------|
| | A | B | Γ | Δ | M.T. |
| 1 | 1,22 | 1,23 | 1,21 | 1,22 | 1,22 |
| 2 | 1,28 | 1,24 | 1,25 | 1,26 | 1,2575 |
| 3 | 1,11 | 1,12 | 1,12 | 1,1 | 1,1125 |
| 4 | 1,24 | 1,25 | 1,26 | 1,22 | 1,2425 |
| 5 | 1,98 | 1,98 | 1,97 | 1,98 | 1,9775 |
| 6 | 1,58 | 1,6 | 1,58 | 1,57 | 1,5825 |
| 7 | 1,6 | 1,59 | 1,61 | 1,58 | 1,595 |
| 8 | 2,11 | 2,1 | 2,11 | 2,13 | 2,1125 |
| 9 | 2,57 | 2,57 | 2,58 | 2,61 | 2,5825 |
| 10 | 2,82 | 2,8 | 2,83 | 2,83 | 2,82 |
| 11 | 2,77 | 2,78 | 2,76 | 2,75 | 2,765 |
| 12 | 3,18 | 3,16 | 3,14 | 3,17 | 3,1625 |
| 13 | 3,12 | 3,13 | 3,18 | 3,15 | 3,145 |
| 14 | 3,73 | 3,68 | 3,7 | 3,71 | 3,705 |
| 15 | 4,4 | 4,44 | 4,4 | 4,42 | 4,415 |
| 16 | 4,2 | 4,15 | 4,14 | 4,18 | 4,1675 |
| 17 | 3,97 | 4,01 | 4,02 | 3,99 | 3,9975 |
| 18 | 6,25 | 6,3 | 6,27 | 6,26 | 6,27 |
| 19 | 6,61 | 6,6 | 6,59 | 6,65 | 6,6125 |
| 20 | 6,89 | 6,93 | 6,88 | 6,91 | 6,9025 |
| 21 | 7,19 | 7,22 | 7,2 | 7,2 | 7,2025 |
| 22 | 8,67 | 8,66 | 8,64 | 8,63 | 8,65 |
| 23 | 8,62 | 8,63 | 8,59 | 8,6 | 8,61 |
| 24 | 8,86 | 8,82 | 8,81 | 8,84 | 8,8325 |
| 25 | 8,8 | 8,75 | 8,73 | 8,76 | 8,76 |
| 26 | 8,9 | 8,8 | 8,85 | 8,89 | 8,86 |
| 27 | 9,01 | 8,99 | 8,98 | 9 | 8,995 |

Πίνακας 4.2. Αποτελέσματα μετρήσεων του υλικού 1.2312.

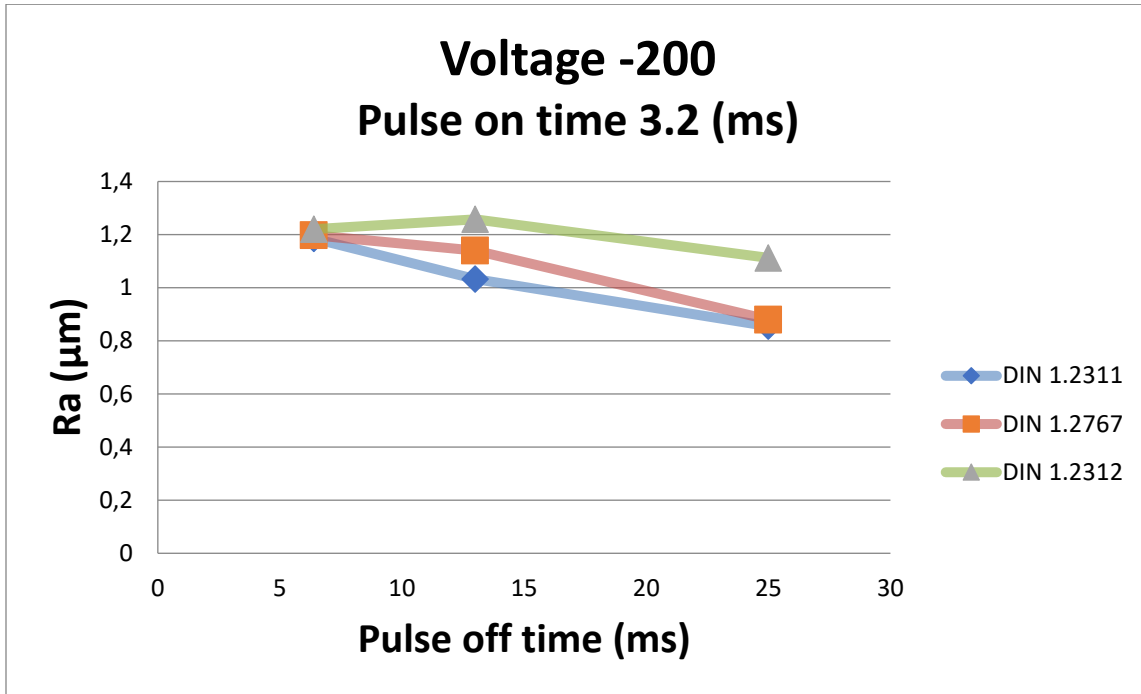
| ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ | DIN 1.2767 | | | | |
|-------------------------|------------|------|------|------|--------|
| | A | B | Γ | Δ | M.T. |
| 1 | 1,2 | 1,21 | 1,19 | 1,19 | 1,1975 |
| 2 | 1,14 | 1,15 | 1,14 | 1,13 | 1,14 |
| 3 | 0,87 | 0,88 | 0,89 | 0,88 | 0,88 |

| | | | | | |
|----|------|------|------|------|--------|
| 4 | 1,19 | 1,2 | 1,2 | 1,21 | 1,2 |
| 5 | 2,01 | 2 | 2,01 | 1,99 | 2,0025 |
| 6 | 1,5 | 1,51 | 1,52 | 1,51 | 1,51 |
| 7 | 1,54 | 1,54 | 1,54 | 1,55 | 1,5425 |
| 8 | 2,07 | 2,11 | 2,08 | 2,1 | 2,09 |
| 9 | 2,5 | 2,52 | 2,53 | 2,52 | 2,5175 |
| 10 | 2,81 | 2,79 | 2,78 | 2,8 | 2,795 |
| 11 | 2,76 | 2,77 | 2,75 | 2,77 | 2,7625 |
| 12 | 3,13 | 3,15 | 3,16 | 3,14 | 3,145 |
| 13 | 3,2 | 3,22 | 3,24 | 3,21 | 3,2175 |
| 14 | 3,8 | 3,76 | 3,78 | 3,81 | 3,7875 |
| 15 | 4,43 | 4,4 | 4,42 | 4,48 | 4,4325 |
| 16 | 4,12 | 4,12 | 4,13 | 4,09 | 4,115 |
| 17 | 3,81 | 3,82 | 3,83 | 3,82 | 3,82 |
| 18 | 5,53 | 5,51 | 5,49 | 5,55 | 5,52 |
| 19 | 5,41 | 5,37 | 5,42 | 5,39 | 5,3975 |
| 20 | 6 | 5,98 | 6,06 | 6,03 | 6,0175 |
| 21 | 6,26 | 6,25 | 6,31 | 6,32 | 6,285 |
| 22 | 8,21 | 8,3 | 8,24 | 8,22 | 8,2425 |
| 23 | 8,15 | 8,1 | 8,12 | 8,17 | 8,135 |
| 24 | 8,38 | 8,45 | 8,29 | 8,33 | 8,3625 |
| 25 | 8,31 | 8,32 | 8,28 | 8,29 | 8,3 |
| 26 | 8,48 | 8,56 | 8,57 | 8,49 | 8,525 |
| 27 | 8,75 | 8,82 | 8,86 | 8,8 | 8,8075 |

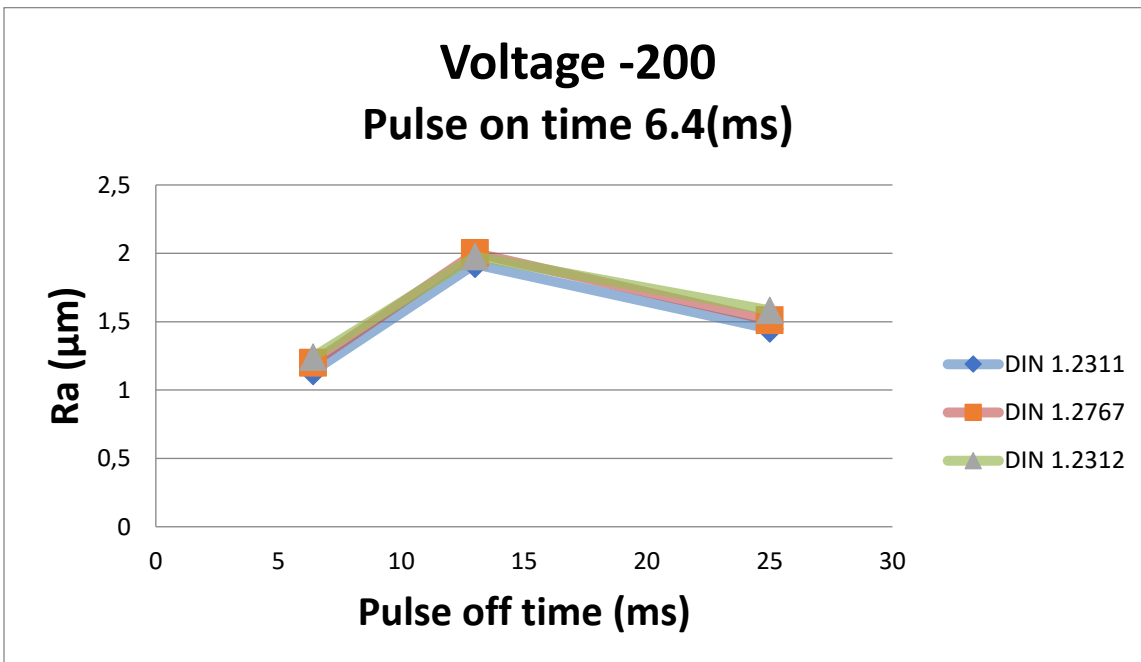
Πίνακας 4.3. Αποτελέσματα μετρήσεων του υλικού 1.2767.

Αυτό που παρατηρούμε είναι ότι το υλικό 1.2312 έχει τη μεγαλύτερη μέση τιμή σε όλες τις μετρήσεις όπως ήταν και οπτικά φανερό έχει τη μεγαλύτερη τραχύτητα στις επιφάνειές του. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό διότι ο κατασκευαστής του υλικού δεν προτείνει το υλικό αυτό για κατεργασία σε ηλεκτροδιάβρωση. Σε αντίθεση με το υλικό 1.2312 τα υλικά 1.2311 και 1.2767 έχουν πολύ μικρές διαφορές όπως παρατηρήσαμε οπτικά και βλέπουμε από τα αποτελέσματα των μετρήσεων. Έχουν μικρές διαφορές, με το υλικό 1.2311 να έχει τη μικρότερη τραχύτητα στις πρώτες επιφάνειες με μικρή διαφορά, ενώ το ίδιο να συμβαίνει με το υλικό 1.2767 στις τελευταίες επιφάνειες, όπου αυτό έχει τα καλύτερα αποτελέσματα στη πιο έντονη κοπή. Σε γενικές γραμμές τα υλικά 1.2311 και 1.2767 έχουν παρόμοια αποτελέσματα και αυτό επιβεβαιώνει τα δεδομένα του κατασκευαστή ότι και τα δύο υλικά προτείνονται για κατεργασία με ηλεκτροδιάβρωση με πολύ καλά αποτελέσματα επιφανειών. Επίσης κάτι που πρέπει να αναφέρουμε είναι ότι στις πρώτες έξι επιφάνειες των τριών υλικών όταν αυξάναμε το χρόνο παύσης (Pulse off time) μειωνόταν αρκετά η τραχύτητα της επιφάνειας σε σχέση με την προηγούμενη επιφάνεια ενώ στις υπόλοιπες επιφάνειες είχαμε άνοδο της τραχύτητας και αυτό έχει να κάνει με τις τιμές των μεταβλητών που ήταν πιο κοντά στις τιμές που προτείνει ο κατασκευαστής.

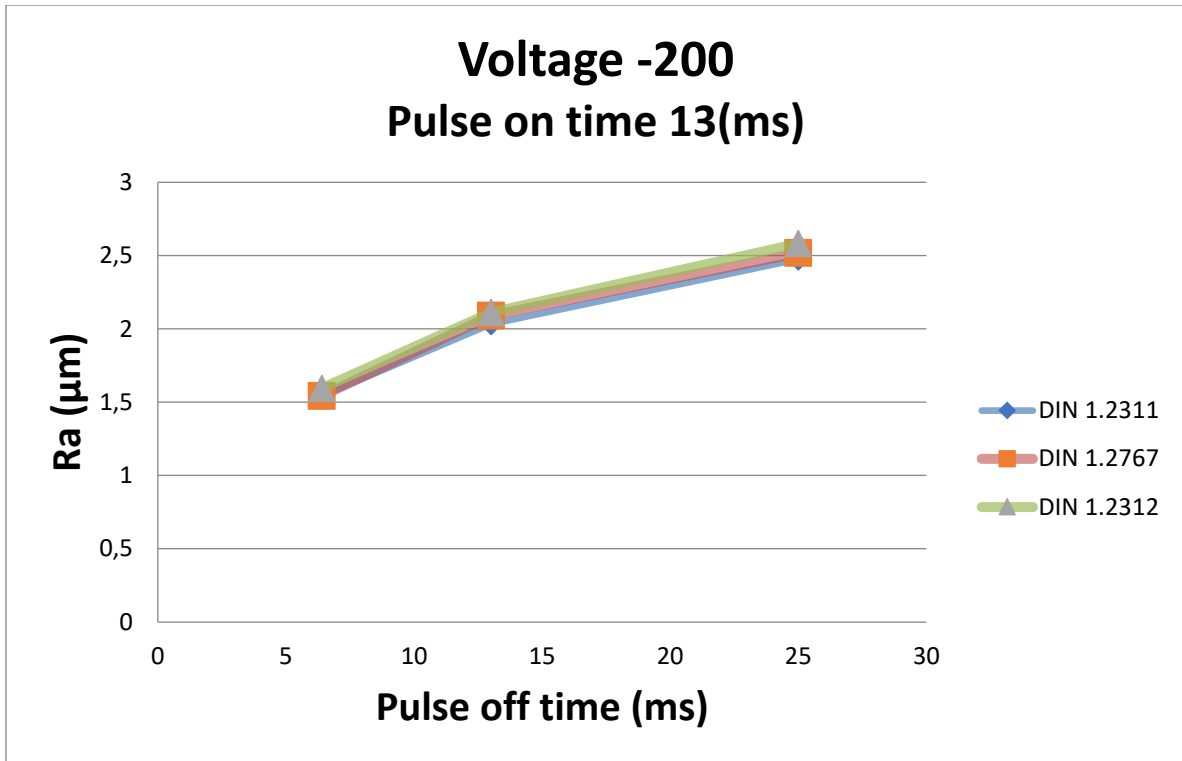
Στη συνέχεια ακολουθούν τα διαγράμματα 4.1 έως 4.9 για την καλύτερη κατανόηση των αποτελεσμάτων, που έχουν δημιουργηθεί βάσει των εννέα διαφορετικών τιμών του ενεργού παλμού (Pulse on time). Στον κάθετο άξονα έχουμε τη μέση τιμή Ra και στον οριζόντιο άξονα την τιμή του χρόνου παύσης (Pulse off time).



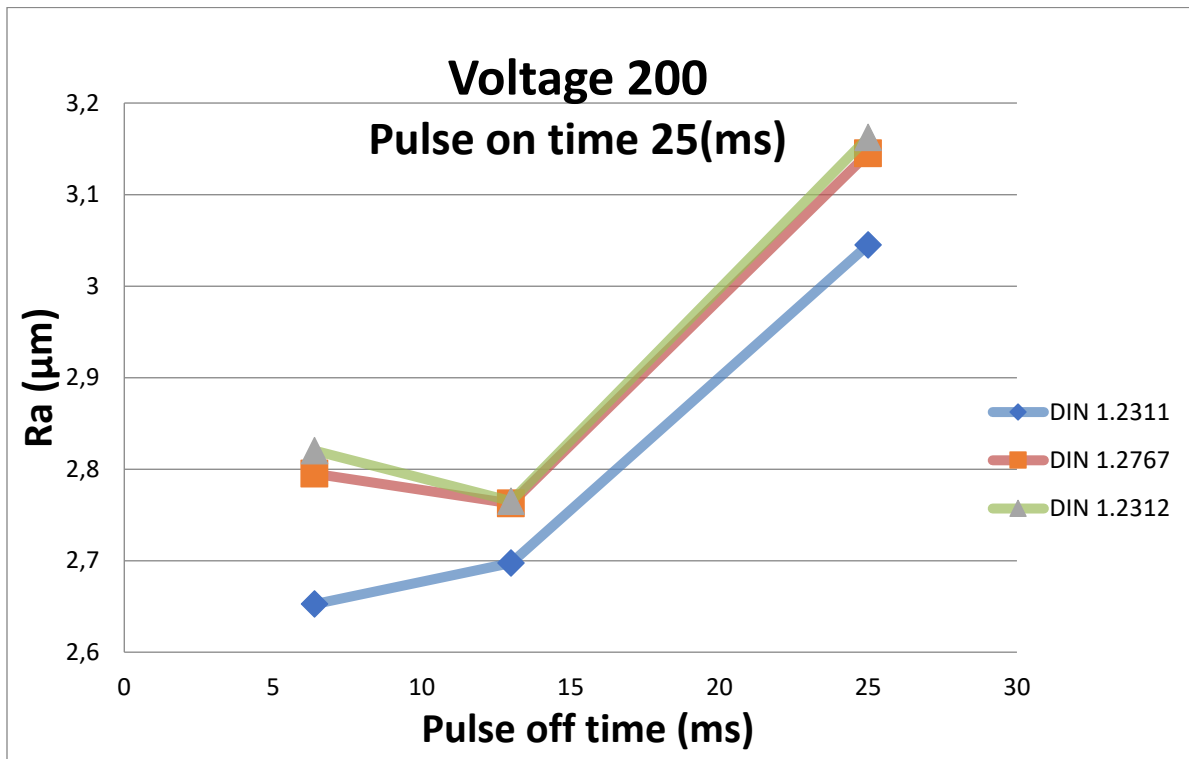
Διάγραμμα 4.1. Pulse on time 3,2.



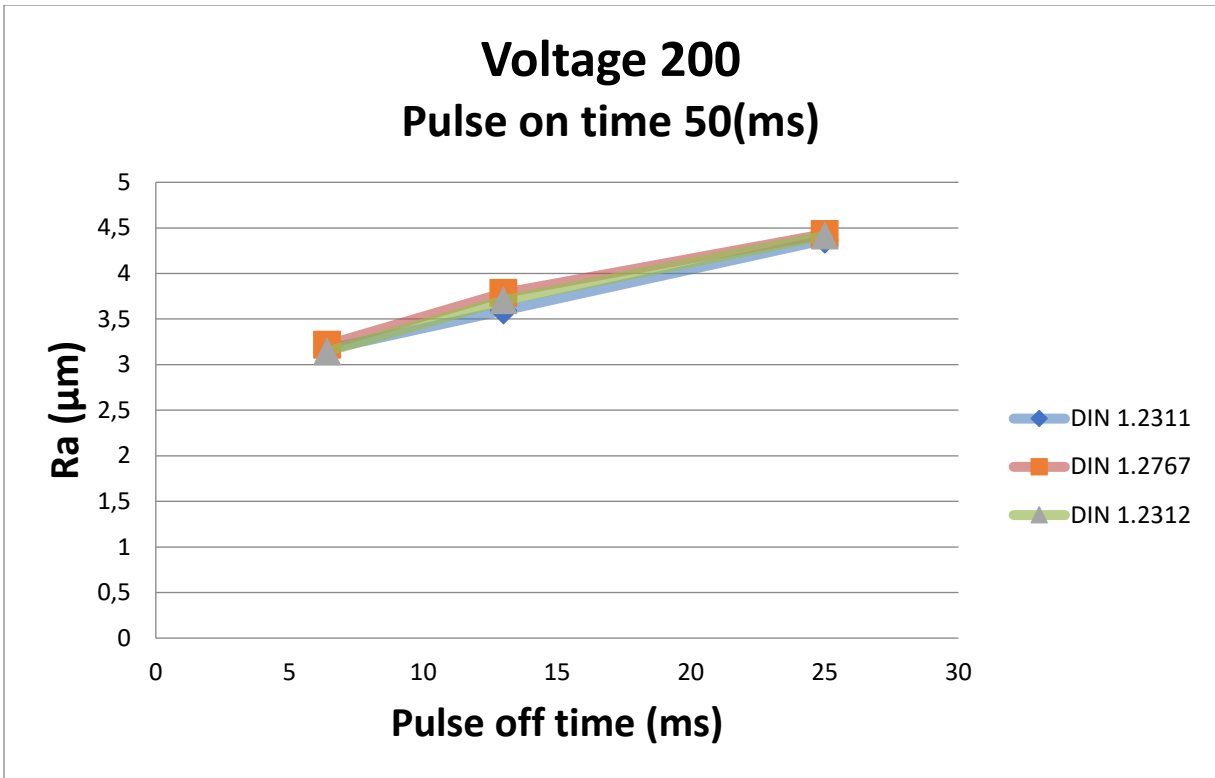
Διάγραμμα 4.2. Pulse on time 6,4.



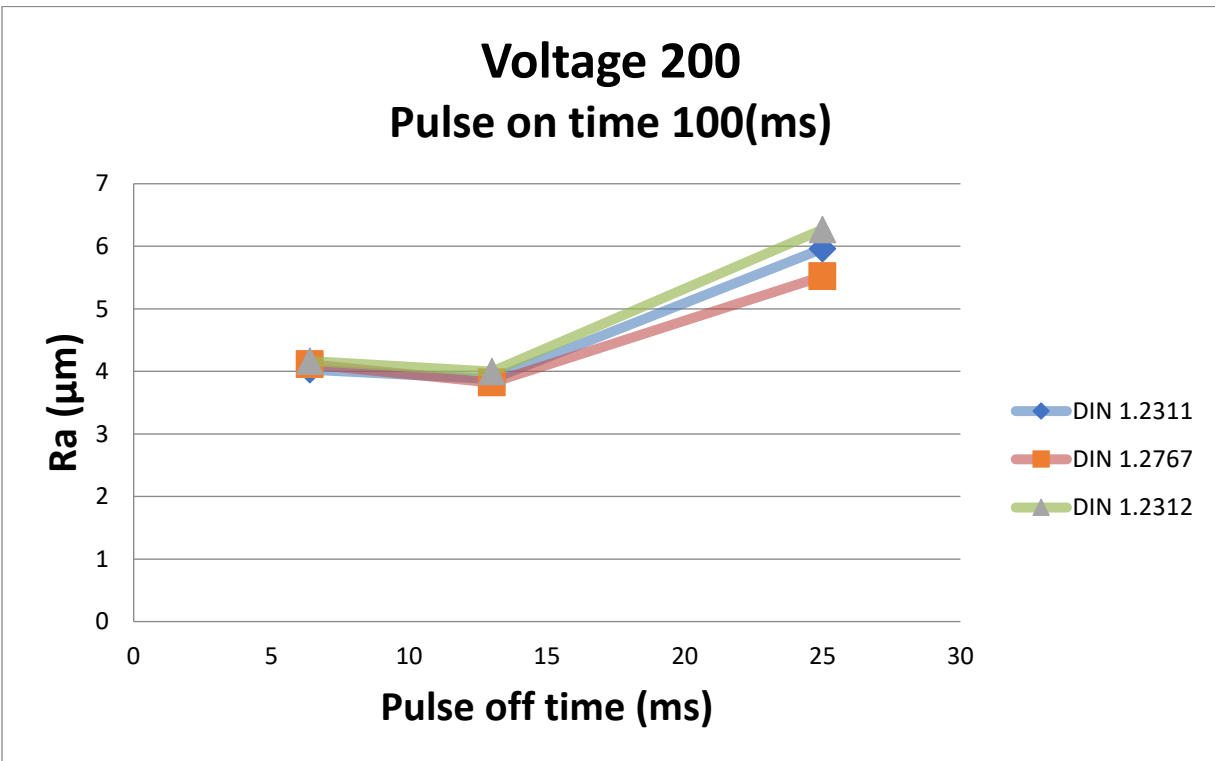
Διάγραμμα 4.3. Pulse on time 13.



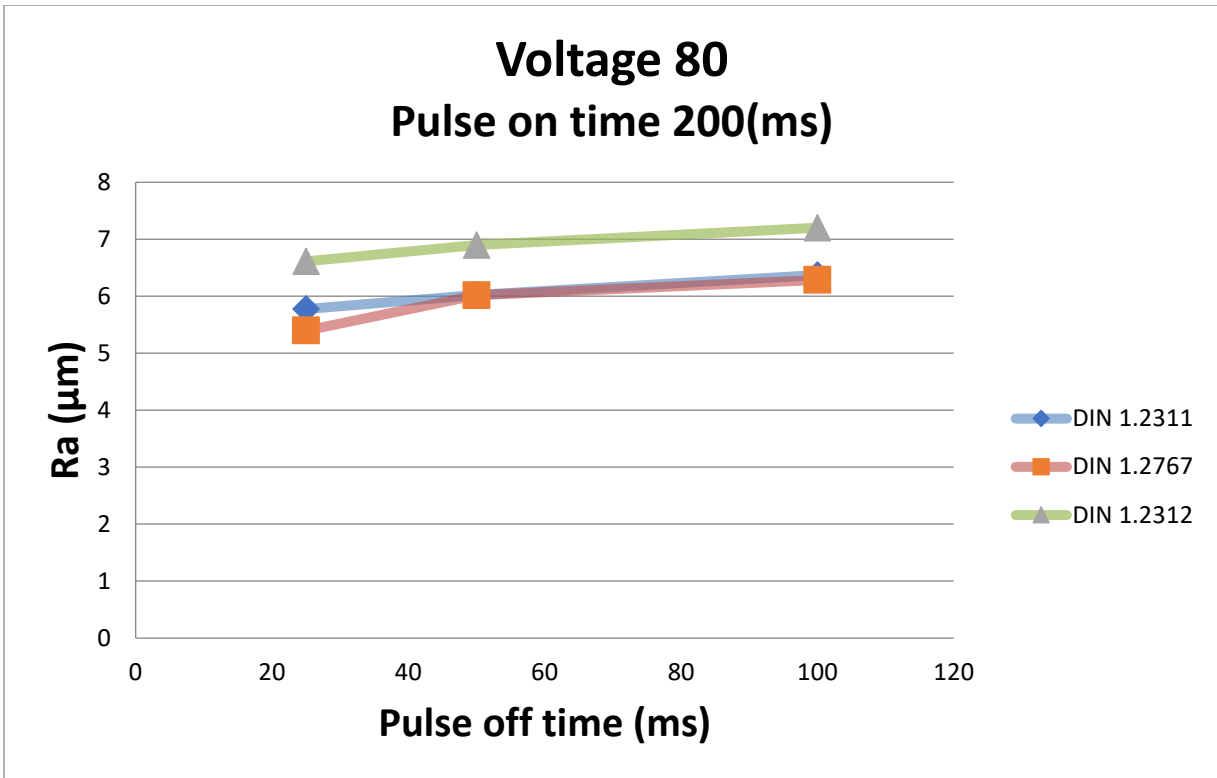
Διάγραμμα 4.4. Pulse on time 25.



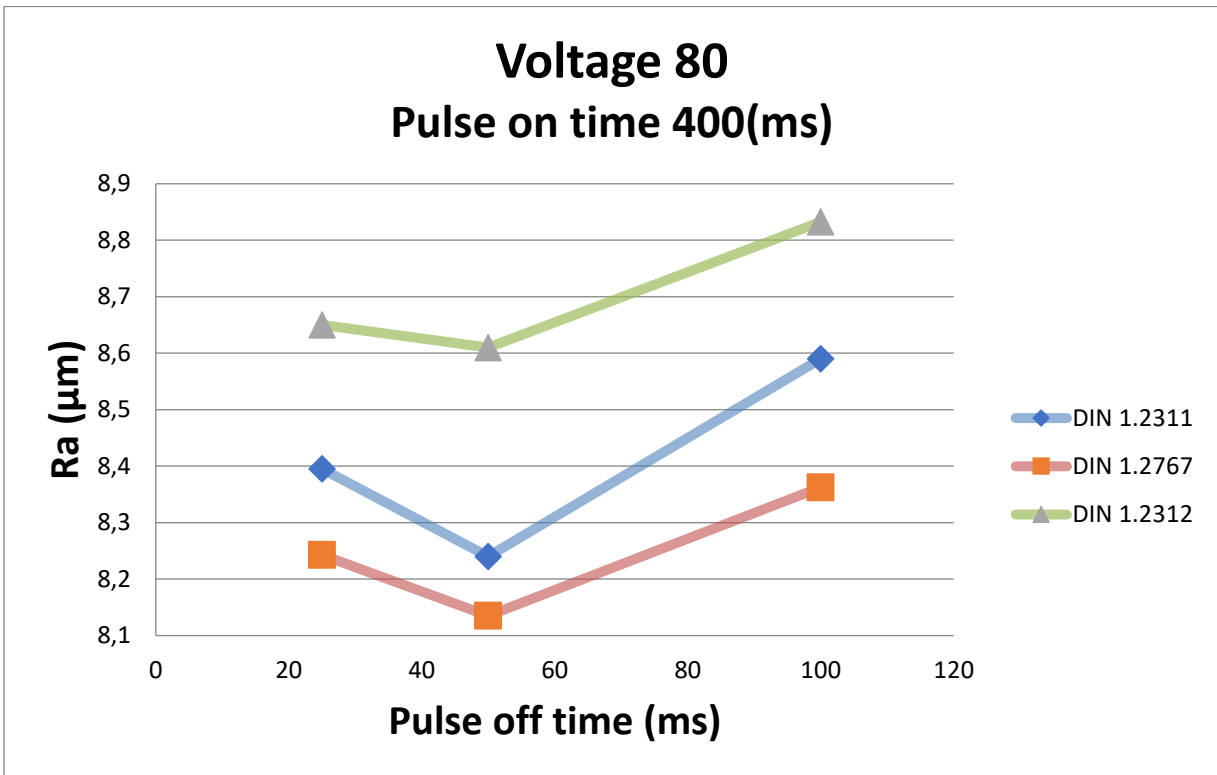
Διάγραμμα 4.5. Pulse on time 50.



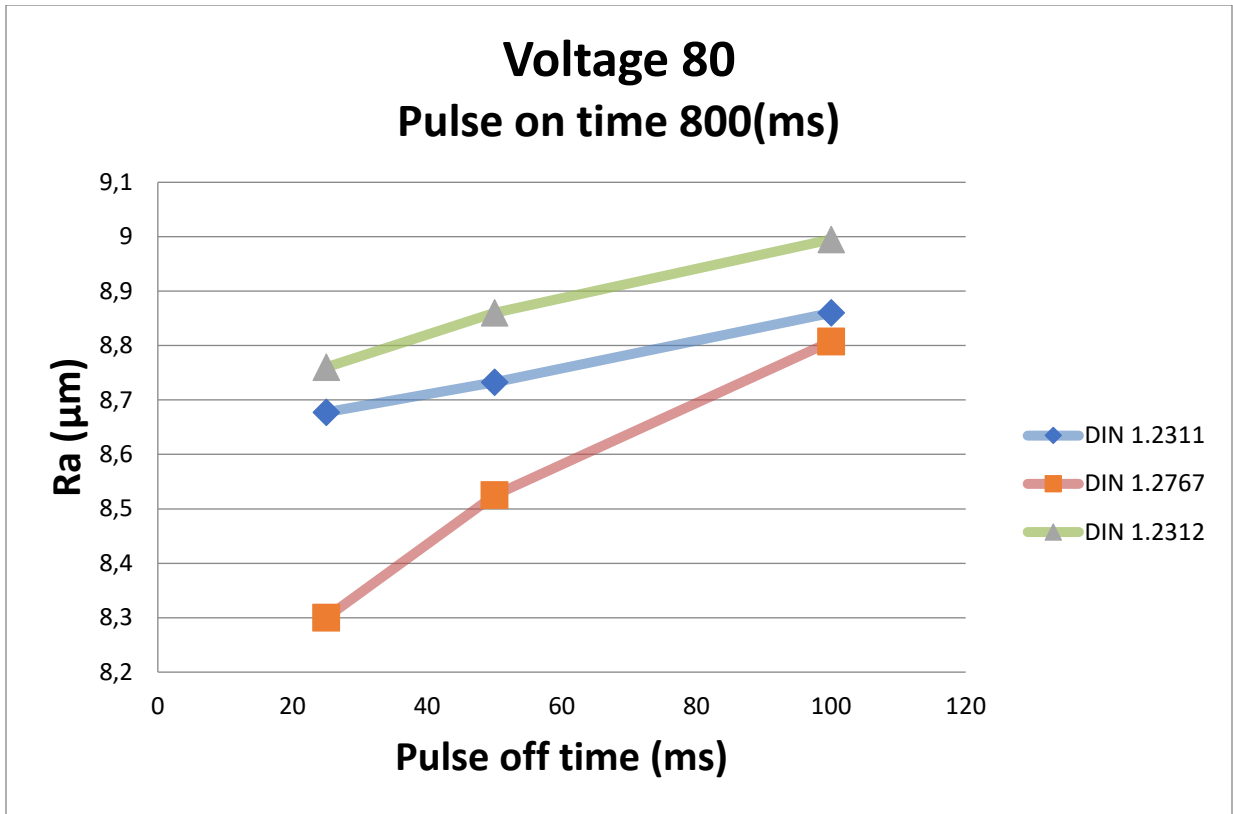
Διάγραμμα 4.6. Pulse on time 100.



Διάγραμμα 4.7. Pulse on time 200.



Διάγραμμα 4.8. Pulse on time 400.



Διάγραμμα 4.9. Pulse on time 800.

Βιβλιογραφία.

ONA EDM “NX” Technology Manual.

EDM [Electrical discharge machining - Wikipedia](#)

EROWA ITS 50 [Solutions | EROWA LTD](#)

Meusburger [Meusburger Standard parts manufacturer Mould making Die making Jigs and fixtures](#)

Meusburger [N - Τυποποιημένες ράβδοι - 2311 Κατασκευή μηχανημάτων και εξαρτημάτων | Meusburger](#)

Meusburger [N - Τυποποιημένες ράβδοι - 2312 Κατασκευή μηχανημάτων και εξαρτημάτων | Meusburger](#)

Meusburger [N - Τυποποιημένες ράβδοι - 2767 Κατασκευή μηχανημάτων και εξαρτημάτων | Meusburger](#)

Meusburger [Ηλεκτρόδιο ραβδοειδής λάμα, χαλκός Ηλεκτρόδια χαλκού V 91811 | Meusburger](#)

ONA EDM Website. [Home - ONA EDM](#)

ONA EDM Machine [Compact - NX4F - ONA EDM](#)

Surface roughness tester R-130 / R-135 [Surface roughness tester R-130 / R-135 - SaluTron®](#)

Παράρτημα.

| Parameter | Value |
|----------------|-------|
| Intensity | 1.0 |
| Voltage | -200 |
| Time On | 3.2 |
| Time Off | 6.4 |
| Servo | 65 |
| Return Time | 0.30 |
| Work. Time | 0.30 |
| Security Level | 2 |
| Capacitors | 3 |




| | |
|----------------|------|
| Intensity | 1.0 |
| Voltage | -200 |
| Time On | 3.2 |
| Time Off | 13.0 |
| Servo | 65 |
| Return Time | 0.30 |
| Work. Time | 0.30 |
| Security Level | 2 |
| Capacitors | 3 |




| | |
|------------------|------|
| Intensity | 1.0 |
| Voltage | -200 |
| Time On | 3.2 |
| Time Off | 25.0 |
| Servo | 65 |
| Return Time | 0.30 |
| Work. Time | 0.30 |
| Security Level | 2 |
| Capacitors | 3 |




| | | Factory | Tech | Status | Tool |
|--|----------------|---------|------|--------|------|
| | Intensity | | 3.0 | | |
| | Voltage | | -200 | | |
| | Time On | | 6.4 | | |
| | Time Off | | 6.4 | | |
| | Servo | | 65 | | |
| | Return Time | | 0.30 | | |
| | Work. Time | | 0.30 | | |
| | Security Level | | 2 | | |
| | Capacitors | | 4 | | |

| | | History | Tech | Status | Tool |
|--|----------------|---------|------|--------|------|
| | Intensity | | 3.0 | | |
| | Voltage | | -200 | | |
| | Time On | | 6.4 | | |
| | Time Off | | 13.0 | | |
| | Servo | | 65 | | |
| | Return Time | | 0.30 | | |
| | Work. Time | | 0.30 | | |
| | Security Level | | 2 | | |
| | Capacitors | | 4 | | |

| | | History | Tech | Status | Tool |
|--|----------------|---------|------|--------|------|
| | Intensity | | 3.0 | | |
| | Voltage | | -200 | | |
| | Time On | | 6.4 | | |
| | Time Off | | 25.0 | | |
| | Servo | | 65 | | |
| | Return Time | | 0.30 | | |
| | Work. Time | | 0.30 | | |
| | Security Level | | 2 | | |
| | Capacitors | | 4 | | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---|----------------|------|--------|---|
|  | Intensity | 4.0 | |  |
| | Voltage | -200 | |  |
| | Time On | 13.0 | | |
| | Time Off | 6.4 | | |
| | Servo | 35 | I | |
| | Return Time | 0.30 | | |
| | Work. Time | 0.40 | | |
| | Security Level | 2 | | |
| | Capacitors | 0 | | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---|----------------|------|--------|--|
|  | Intensity | 4.0 | |  |
| | Voltage | -200 | |  |
| | Time On | 13.0 | | |
| | Time Off | 13.0 | | |
| | Servo | 35 | | |
| | Return Time | 0.30 | | |
| | Work. Time | 0.40 | | |
| | Security Level | 2 | | |
| | Capacitors | 0 | | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---|----------------|------|--------|---|
|  | Intensity | 4.0 | |  |
| | Voltage | -200 | |  |
| | Time On | 13.0 | | |
| | Time Off | 25.0 | | |
| | Servo | 35 | | |
| | Return Time | 0.30 | | |
| | Work. Time | 0.40 | | |
| | Security Level | 2 | | |
| | Capacitors | 0 | | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 4.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 25.0 | ↓ |
| Time Off | 6.4 | |
| Servo | 35 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.40 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 4.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 25.0 | ↓ |
| Time Off | 13.0 | |
| Servo | 35 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.40 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 4.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 25.0 | ↓ |
| Time Off | 25.0 | |
| Servo | 35 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.40 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 5.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 50.0 | ↓ |
| Time Off | 6.4 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 5.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 50.0 | |
| Time Off | 13.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 5.0 | ↑ |
| Voltage | 200 | |
| Time On | 50.0 | |
| Time Off | 25.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|--------|------|
| | Intensity | | 5.0 | |
| | Voltage | | 200 | |
| | Time On | | 100.0 | |
| | Time Off | | 6.4 | |
| | Servo | 30 | | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|--------|------|
| | Intensity | | 5.0 | |
| | Voltage | | 200 | |
| | Time On | | 100.0 | |
| | Time Off | | 13.0 | |
| | Servo | 30 | | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|--------|------|
| | Intensity | | 5.0 | |
| | Voltage | | 200 | |
| | Time On | | 100.0 | |
| | Time Off | | 25.0 | |
| | Servo | 30 | | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|-----------|------|
| | Intensity | | 6.0 | |
| | Voltage | | 80 | |
| | Time On | | 200.0 | |
| | Time Off | | 25.0 | |
| | Servo | | 30 | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|-----------|------|
| | Intensity | | 6.0 | |
| | Voltage | | 80 | |
| | Time On | | 200.0 | |
| | Time Off | | 50.0 | |
| | Servo | | 30 | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

| History | | Tech | Status | Tool |
|---------|----------------|------|-----------|------|
| | Intensity | | 6.0 | |
| | Voltage | | 80 | |
| | Time On | | 200.0 | |
| | Time Off | | 100.0 | |
| | Servo | | 30 | |
| | Return Time | | 0.30 | |
| | Work. Time | | 0.50 | |
| | Security Level | | 2 | |
| | Capacitors | | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 7.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 400.0 | ↓ |
| Time Off | 25.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 7.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 400.0 | ↓ |
| Time Off | 50.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 7.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 400.0 | ↓ |
| Time Off | 100.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 8.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 800.0 | |
| Time Off | 25.0 | ↓ |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 8.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 800.0 | |
| Time Off | 50.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |

History Tech Status Tool

| | | |
|----------------|-----------|---|
| Intensity | 8.0 | ↑ |
| Voltage | 80 | |
| Time On | 800.0 | |
| Time Off | 100.0 | |
| Servo | 30 | |
| Return Time | 0.30 | |
| Work. Time | 0.50 | |
| Security Level | 2 | |
| Capacitors | 0 | |