



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

# ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

<<ΜΕΛΕΤΗ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΛΕΞΗ  
ΠΟΥΔΡΑΣ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΗΣ ΣΤΗΝ  
ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΗ ΒΑΦΗ ΚΡΑΜΑΤΟΣ  
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.>>

ΦΟΙΤΗΤΡΙΑ: ΗΛΙΑΝΝΑ ΤΗΜΠΛΑΛΕΞΗ ΜΟΥΚΑ  
ΑΜ272017049

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΠΟΙΟΤΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΥΛΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Π.Α.Δ.Α.

ΕΙΣΗΓΗΤΡΙΑ: ΜΕΝΤΡΕΑ ΚΑΡΜΕΝ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΠΑΠΑΓΕΩΡΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2024

## ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Ηλιάννα Τημπλαλέξη Μούκα του Γρηγορίου , με αριθμό μητρώου AM548316 φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Η Δηλούσα

Ηλιάννα Τημπλαλέξη Μούκα



| <b>Επιτροπή εξέτασης</b>   | <b>Υπογραφή</b> |
|--|-----------------|
| <p><b>Μέντρεα Κάρμεν</b><br/> Δρ. Μεταλλειολόγος Μεταλλουργός<br/> Μηχανικός UTC-N (Technical University of Cluj-Napoca)<br/> Καθηγήτρια</p> |                 |
| <p><b>Παπαγεωργίου Δημήτριος</b><br/> Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ, Υποψήφιος<br/> διδάκτορας ΕΜΠ<br/> Εργαστηριακός Συνεργάτης</p>             |                 |
| <p><b>Καρέλλας Γεώργιος</b><br/> Μηχανολόγος Μηχανικός ΤΕΙ Πειραιά,<br/> ΕΔΙΠ Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών</p>                             |                 |

## Περίληψη

Η διπλωματική εργασία ασχολείται με τη μελέτη της αστοχίας εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε μύλους αλέσεως πούδρας, ειδικά για χρήση τους στην ηλεκτροστατική βαφή κραμάτων αλουμινίου. Τα εξαρτήματα αυτά τοποθετούνται στην περιφέρεια του δίσκου του μύλου και είναι κρίσιμα για την απόδοση της διαδικασίας. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, κατά την οπτική επιθεώρηση, διαπιστώθηκε φθορά στις επιφάνειες των εργαλείων που συμμετέχουν στη θρυμματοποίηση, στα σημεία επαφής των εξαρτημάτων με τον κοχλία και τον δίσκο. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά υλικά: Uddeholm Nimax με επικάλυψη στελίτη, Uddeholm Vanadis 10, και ανοξείδωτος χάλυβας 304 με επικάλυψη καρβιδίων. Η ανάλυση των εξαρτημάτων γίνεται μέσω θεωρητικής και πειραματικής έρευνας. Στο εργαστήριο πραγματοποιούνται μετρήσεις σκληρότητας, οπτικοί έλεγχοι και μικροσκοπικές αναλύσεις, με στόχο τον εντοπισμό των πιθανών αιτιών αστοχίας και τη σύγκριση των τριών υλικών κατασκευής ως προς την ανθεκτικότητά τους.

Λέξεις-κλειδιά: εργαλείο θρυμμάτισης πούδρας, ανάλυση αστοχίας, εργαλειοχάλυβας πλαστικών, χάλυβες κονιομεταλλουργίας, επικάλυψη στελίτη, φθορά εκτριβής, φθορά πρόσφυσης, μηχανοχημική φθορά

## Abstract

The thesis focuses on the study of the failure of components used in powder grinding mills, specifically for their application in the electrostatic painting of aluminum alloys. These components are placed on the periphery of the mill's disc and are critical for the efficiency of the process. In this particular application, visual inspection revealed wear on the surfaces of the tools involved in crushing, at the contact points between the components and the screw and disc. Three different materials are used in this application: Uddeholm Nimax coated with Stellite, Uddeholm Vanadis 10, and stainless steel 304 coated with carbides. The analysis of the components is conducted through theoretical and experimental research. In the laboratory, hardness measurements, visual inspections, and microscopic analyses are performed, aiming to identify the possible causes of failure and compare the three materials in terms of their durability.

Keywords: powder crushing tool, failure analysis, plastic tool steel, powder metallurgy steels, Stellite coating, abrasive wear, adhesive wear, mechanochemical wear.

## Πρόλογος

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο Πανεπιστήμιο Δυτικής Αττικής, σύμφωνα με τους κανονισμούς σπουδών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών. Η εκπόνηση της εργασίας πραγματοποιήθηκε υπό την επίβλεψη του Εργαστηρίου Ελέγχου Ποιότητας και Τεχνολογίας Υλικών (Π.Ε.Τ.ΥΛ.), με τη δομή, την τεκμηρίωση και την παρουσίασή της να ακολουθούν τα πρότυπα και τις οδηγίες που έχουν αναπτυχθεί και εξελιχθεί στο συγκεκριμένο εργαστήριο.

Η διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της αστοχίας εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε μύλους αλέσεως πούδρας, με ιδιαίτερη αναφορά στην ηλεκτροστατική βαφή κραμάτων αλουμινίου. Κατά την εκπόνηση της εργασίας μελετήθηκε η φθορά που υφίστανται στις επιφάνειες των εργαλείων που συμμετέχουν στη θρυμματοποίηση, τα σημεία επαφής της των εξαρτημάτων με τον κοχλία και τον δίσκο, λόγω της τριβής και της αυξημένης θερμοκρασίας που αναπτύσσεται στο εσωτερικό του μύλου. Στη συγκεκριμένη εφαρμογή, χρησιμοποιήθηκαν τρία διαφορετικά υλικά: Uddeholm Nimax με επικάλυψη Στελίτη, Uddeholm Vanadis 10, και ανοξείδωτος χάλυβας 304 με επικάλυψη καρβιδίων. Η ανάλυση των εξαρτημάτων πραγματοποιήθηκε μέσω θεωρητικής και πειραματικής έρευνας, ενώ στο εργαστήριο πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σκληρότητας, οπτικοί έλεγχοι και μικροσκοπικές αναλύσεις, με στόχο τον εντοπισμό των αιτιών αστοχίας και τη σύγκριση της ανθεκτικότητας των τριών υλικών κατασκευής.

Σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι να προσδιορίσει τα αίτια που οδήγησαν στην αστοχία των εξαρτημάτων και να κατανοήσει τους μηχανισμούς που την προκάλεσαν. Η εργασία ακολουθεί μια τυπική διαδικασία ανάλυσης αστοχιών, η οποία περιλαμβάνει διεξοδικά βήματα και οδηγεί σε συμπεράσματα και προτάσεις διορθωτικών ενεργειών. Αυτές οι διορθώσεις έχουν στόχο να αποτρέψουν παρόμοιες αστοχίες στο μέλλον και να βελτιώσουν τον χρόνο ζωής των εξαρτημάτων.

Η εργασία χωρίζεται σε δύο μέρη: το πρώτο μέρος αφορά το θεωρητικό υπόβαθρο της ανάλυσης αστοχιών και το δεύτερο τις πειραματικές διαδικασίες, συνοδευόμενες από τα συμπεράσματα. Το θεωρητικό μέρος βασίζεται σε ελληνική και ξένη βιβλιογραφία, ενώ το πειραματικό μέρος περιλαμβάνει την προκαταρκτική εξέταση, τις μη καταστρεπτικές και καταστρεπτικές δοκιμές, καθώς και μικροσκοπικές αναλύσεις.

Η γνώση και η τεχνογνωσία που αποκτήθηκε μέσω αυτής της διπλωματικής εργασίας είναι αποτέλεσμα της μελέτης διεθνών προτύπων, όπως αυτά του ISO και του ASTM, καθώς και της εμπειρίας που αποκτήθηκε από προηγούμενες διπλωματικές εργασίες στο εργαστήριο Π.Ε.Τ.ΥΛ. του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν με βαθμονομημένα όργανα, διασφαλίζοντας έτσι την αξιοπιστία των αποτελεσμάτων και των συμπερασμάτων που προέκυψαν.

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας απαιτούσε σημαντική βοήθεια από εξωτερικές εταιρείες. Η ολοκλήρωση της εργασίας αποδεικνύει ότι, παρά τις δυσκολίες και τις παράλληλες υποχρεώσεις, η επίτευξη ενός μεγάλου και απαιτητικού στόχου είναι εφικτή με την κατάλληλη υποστήριξη και επιμονή.

## Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες στην εταιρεία και τα εργαστήρια που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση και ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας. Ιδιαίτερη αναφορά αξίζουν στους παρακάτω επιστήμονες και μηχανικοί για τη σημαντική τους συνεισφορά, όχι μόνο στην κάλυψη των εργασιών, αλλά και στον γενικότερο σχεδιασμό και υλοποίηση της εργασίας.

- **Στην εταιρεία ΝΕΟΚΕΜ** και ιδιαίτερα στον κ. Βαλάσση Χριστοδούλου, για την καθοδήγηση και τις πολύτιμες πληροφορίες που παρείχε σχετικά με τη λειτουργία του μύλου και των εξαρτημάτων που εξετάστηκαν, συμβάλλοντας ουσιαστικά στην καλύτερη κατανόησή τους.
- **Στο Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας και Τεχνολογίας Υλικών ( B216)** του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΠΑΔΑ, το οποίο προσέφερε τον εξοπλισμό του για την πραγματοποίηση των μικροσκοπικών παρατηρήσεων, της οπτικής παρατήρησης, καθώς και των δοκιμών σκληρομέτρησης.
- **Στον κ. Δ. Γ. Παπαγεωργίου**, Μηχανολόγο Μηχανικό ΕΜΠ, Υποψήφιο διδάκτορα ΕΜΠ και Εργαστηριακό Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΠΑΔΑ, για την πολύτιμη βοήθειά του τόσο στις πειραματικές δοκιμές όσο και στην καθοδήγηση για την ορθή εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.
- **Στην κ. Κ. Μεντρέα Μπίχτα**, Δρ. Μεταλλειολόγο Μεταλλουργό Μηχανικό UTC-N (Technical University of Cluj-Napoca) και καθηγήτρια του μαθήματος Ανάλυση Αστοχίας Μηχανολογικών Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του ΠΑΔΑ, για την αδιάκοπη υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας. Η εμπιστοσύνη και οι συμβουλές της αποτέλεσαν πολύτιμο εφόδιο στην πορεία μου.

Τέλος, εκφράζω τις ειλικρινείς ευχαριστίες μου στους γονείς, τους φίλους και τους συναδέλφους μου, οι οποίοι με στήριξαν καθ' όλη τη διάρκεια αυτής της προσπάθειας. Η συμβολή τους, με οποιονδήποτε τρόπο, υπήρξε εξαιρετικά σημαντική για την επιτυχή ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

## **ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ**

### **ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

#### **Κεφάλαιο 1 Μηχανήματα θρυμματοποίησης**

- 1.1 Είδη
- 1.2 Το υπό μελέτη συναρμολόγημα του μηχανήματος
- 1.3 Χαρακτηριστικά του μύλου
- 1.4 Το υπό μελέτη εξάρτημα
- 1.5 Υλικά κατασκευής του εξαρτήματος

#### **Κεφάλαιο 2 Χάλυβες**

- 2.1 Κατηγοριοποίηση χαλύβων
- 2.2 Ονοματολογία χαλύβων
- 2.3 Εργαλειοχάλυβες

Κεφάλαιο 3 σκληρότητα ορισμός σκληρότητας όχι στο τέλος

#### **Κεφάλαιο 3 Τρόποι παρασκευής χαλύβων**

- 3.1 Κονιομεταλλουργία
- 3.2 3D Printing
- 3.3 BOF & EAF

#### **Κεφάλαιο 4 Σκληρότητα**

- 4.1 Μικροσκληρομέτρηση
- 4.2 Μακροσκληρομέτρηση

#### **Κεφάλαιο 5 Φθορά**

- 5.1 Φθορά λόγω πρόσφυσης
- 5.2 Φθορά λόγω εκτριβής
- 5.3 Φθορά λόγω εκλέπισης
- 5.3 Φθορά λόγω διάβρωσης
- 5.4 Φθορά λόγω κόπωσης
- 5.5 Φθορά πλαστικών 6
- 5.6 Φθορά ενισχυμένων πλαστικών
- 5.7 Φθορά κεραμικών

#### **Κεφάλαιο 6 Κατεργασίες χαλύβων**

- 6.1 Κατεργασίες μάζας
- 6.2 Επιφανειακές κατεργασίες
  - 6.2.1 Μηχανικές επιφανειακές κατεργασίες
  - 6.2.2 Μηχανική επιμετάλλωση και μεταλλικές επενδύσεις
  - 6.2.3 Επιφανειακή σκλήρυνση με επιγομώσεις και εμποτισμό
  - 6.2.4 Θερμικός ψεκασμός
  - 6.2.5 Ψυχρός ψεκασμός
  - 6.2.6 Εναπόθεση ατμών
  - 6.2.7 Κατεργασίες με χρήση δέσμης Laser
  - 6.2.8 Εμφύτευση ιόντων και επιστρώσεις διάχυσης
  - 6.2.9 Επιμετάλλωση με/χωρίς ηλεκτρόλυση και ηλεκτροδιαμόρφωση
  - 6.2.10 Επιστρώσεις μετατροπής
  - 6.2.11 Εμβάπτιση εν θερμώ
  - 6.2.12 Επιχρίσματα και Επιστρώσεις: Σμάλτα, Κεραμικά και Οργανικά Υλικά
  - 6.2.13 Επιστρώσεις Διαμαντιού και Άνθρακα Τύπου Διαμαντιού

## **Κεφάλαιο 7 Επιβελτίωση χάλυβα**

### **Κεφάλαιο 8 Επικαλύψεις**

- 8.1 Κατηγοριοποίηση επικαλύψεων
- 8.2 Επικάλυψη με Στελίτη
- 8.3 Διαδικασία εναπόθεσης

### **Κεφάλαιο 9 Ανάλυση αστοχίας εργαλείων**

- 9.1 Συλλογή ιστορικών δεδομένων
- 9.2 Οπτική επιθεώρηση
  - 9.2.1 Ανοξειδωτος χάλυβας με επικάλυψη καρβιδίων
  - 9.2.2 Εργαλειοχάλυβας Uddeholm Nimax με επικάλυψη Στελίτη
  - 9.2.3 Εργαλειοχάλυβας Uddeholm Vanadis10
- 9.3 Δοκιμές Σκληρότητας
  - 9.3.1 Σκληρομέτρηση



### 9.3.2 Μακροσκληρομέτρηση

### 9.4 Συμπεράσματα – διορθωτικές ενέργειες

#### **Εισαγωγή**

Η παρούσα διπλωματική εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της αστοχίας εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται σε μύλους αλέσεως πούδρας, με ιδιαίτερη έμφαση στην εφαρμογή τους στην ηλεκτροστατική βαφή κραμάτων αλουμινίου. Οι μύλοι αυτοί αποτελούν ζωτικό τμήμα της διαδικασίας παραγωγής, καθώς είναι υπεύθυνοι για την επεξεργασία της πούδρας που χρησιμοποιείται για την επίτευξη μιας ομοιογενούς και ανθεκτικής βαφής. Η αποτελεσματικότητα των μύλων αλέσεως είναι κρίσιμη για την ποιότητα του τελικού προϊόντος, και τα εξαρτήματά τους υφίστανται συνεχείς και έντονες συνθήκες λειτουργίας, που περιλαμβάνουν υψηλή θερμοκρασία και τριβή.

Τα εξαρτήματα που μελετώνται τοποθετούνται στην περιφέρεια του δίσκου του μύλου και υποβάλλονται σε σημαντική καταπόνηση λόγω της συνεχούς λειτουργίας τους υπό δύσκολες συνθήκες. Στις περιοχές όπου τα εξαρτήματα έρχονται σε επαφή με τον κοχλία και τον δίσκο, η φθορά είναι αναμενόμενη και ενδέχεται να έχει αρνητικές επιπτώσεις στην απόδοση του μύλου. Αυτές οι περιοχές είναι κρίσιμες, καθώς η φθορά τους μπορεί να οδηγήσει σε απώλεια αποδοτικότητας με αποτέλεσμα τη συντομότερη συντήρηση ή αντικατάσταση των εξαρτημάτων.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, χρησιμοποιούνται τρία διαφορετικά υλικά για την κατασκευή των εξαρτημάτων, προκειμένου να αξιολογηθεί η ανθεκτικότητα και να εντοπιστούν οι αιτίες αστοχίας. Τα υλικά που εξετάζονται περιλαμβάνουν το Uddeholm Nimax με επικάλυψη Στελίτη, το Uddeholm Vanadis 10 και τον ανοξείδωτο χάλυβα 304 με επικάλυψη καρβιδίων. Η ανάλυση της ανθεκτικότητας των εξαρτημάτων γίνεται μέσω ενός συνδυασμού θεωρητικής και πειραματικής έρευνας. Οι πειραματικές δοκιμές περιλαμβάνουν μετρήσεις μικροσκληρότητας, οπτικούς ελέγχους και μικροσκοπικές αναλύσεις, με σκοπό να εντοπιστούν τα αίτια της αστοχίας και να συγκριθούν οι επιδόσεις των τριών υλικών.

Η παρούσα μελέτη είναι καθοριστικής σημασίας για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας ηλεκτροστατικής βαφής, καθώς και για την αύξηση της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων. Στοχεύει στη βελτίωση της συνολικής απόδοσης των συστημάτων βαφής κραμάτων αλουμινίου, συμβάλλοντας στην αποδοτικότητα και την αντοχή των εξαρτημάτων σε βιομηχανικό επίπεδο.

## Θεωρητικό μέρος

### 1) Μηχανήματα θρυμματοποίησης

#### 1.1 Είδη μηχανημάτων

##### Όμιλος Hosokawa micron

Ο Όμιλος Hosokawa Micron είναι ηγέτης στον τομέα της μηχανολογίας, προσφέροντας μηχανές, συστήματα, διαδικασίες και υπηρεσίες σε πλήθος επιχειρήσεων παγκοσμίως. Με παρουσία σε διάφορες περιοχές του κόσμου μέσω των υποκαταστημάτων του, ο όμιλος έχει καταφέρει να ξεχωρίσει για την καινοτομία του. Ένα από τα σημαντικότερα επιτεύγματά του είναι η εφεύρεση του μύλου ταξινομητή πριν από εξήντα χρόνια, ο οποίος συνεχώς εξελίσσεται για να καλύψει τις συνεχώς μεταβαλλόμενες απαιτήσεις της βιομηχανίας.

Το 1962, ο Όμιλος Hosokawa Micron παρουσίασε τον ACM (Air Classifier Mill), τον πρώτο μύλο του είδους του. Αυτός ο στιβαρός και καλοσχεδιασμένος μύλος προσφέρει μια σειρά από χρήσιμα χαρακτηριστικά και πλεονεκτήματα. Ο εξοπλισμός του επιτρέπει τον αποτελεσματικό θρυμματισμό και την επεξεργασία δύσκολων και θερμοευαίσθητων υλικών, ενώ συνδυάζει την κρουστική άλεση με την ταξινόμηση, προσφέροντας πλήρη έλεγχο του μεγέθους των σωματιδίων.

Η σειρά ACM περιλαμβάνει μύλους που είναι ιδανικοί για διάφορες βιομηχανίες, όπως:

- Χημικά, όπως δισφαινόλη, τρυγικό οξύ, μυκητοκτόνα και στεατικά.
- Επιστρώσεις σε σκόνη, όπως εποξειδικό, πολυεστέρας, υβρίδια και ακρυλικά.
- Τρόφιμα, όπως ζάχαρη, κακάο, άμυλο, ξανθάνη και λακτόζη.
- Φαρμακευτικά και καλλυντικά, όπως πούδρα προσώπου, ασκορβικό και τρυγικό οξύ.
- Ορυκτά, όπως θευκό ασβέστιο, βωξίτης, ασβεστόλιθος, τάλκης και каоλίνη.

Ο όμιλος προσφέρει έξι μοντέλα ACM, με δύο από αυτά να είναι ιδιαίτερα φιλικά προς τον χρήστη. Επιπλέον, διαθέτει τον πολύ διαδεδομένο μύλο ACM 40 EC PSR 11, ιδανικό για την παραγωγή πούδρας.



Εικόνα 1.1 [4]

## Ομιλος Neuman & Esser

Η εταιρεία Neuman and Esser είναι ευρέως αναγνωρισμένη στον τομέα της τεχνολογίας, ειδικότερα στους τομείς των συστημάτων συμπιεστών, της συντήρησης συμπιεστών, καθώς και των στοιχείων στεγανοποίησης για ταλαντευόμενα και περιστρεφόμενα συστήματα. Επίσης, είναι γνωστή για τα συστήματα λείανσης και ταξινόμησης, με τον όρο ταξινόμηση εννοείται η λειτουργία που παρέχει το σύστημα να διαχωρίζει – ταξινομεί τα προϊόντα της. Η Neuman and Esser προσφέρει διάφορες αρχές άλεσης, όπως πίεση, τριβή και σύνθλιψη με κρούση, και παρέχει λύσεις για ένα ευρύ φάσμα εργασιών λείανσης. Μεταξύ των προϊόντων της είναι κυλινδρόμυλοι εκκερεμούς, μύλοι με ταξινομητή κρούσης και σφυρόμυλοι. Ένας από τους μύλους ταξινομητή κρούσης που προσφέρει είναι ο Impact Classifier Mill for Fine Grinding, ο οποίος μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή πούδρας.

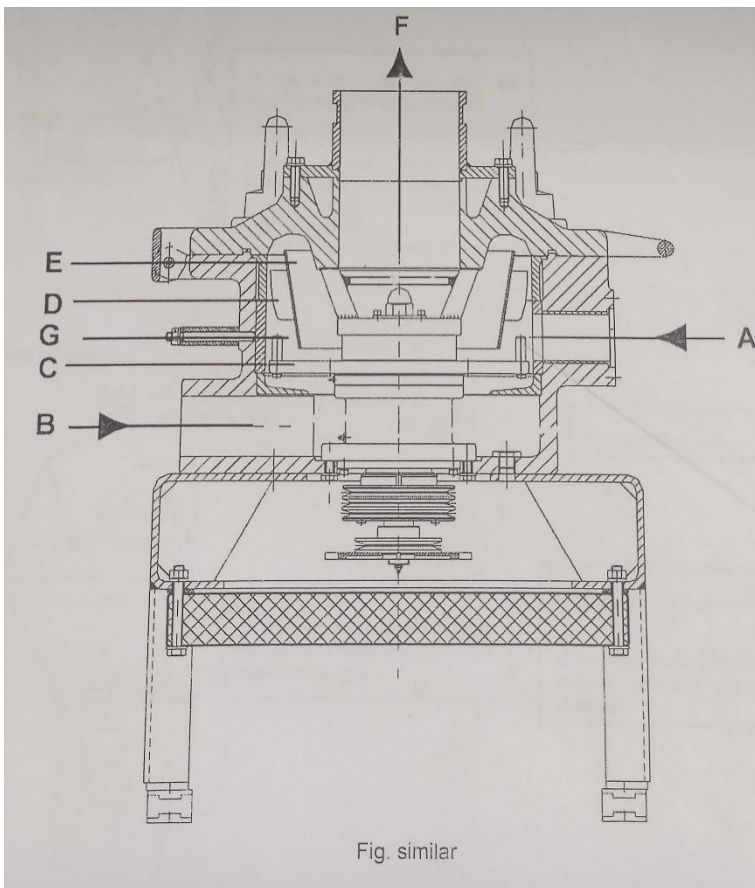
Στην εταιρεία όπου πραγματοποιείται η μελέτη χρησιμοποιούνται οκτώ μύλοι, εκ των οποίων οι επτά είναι της εταιρείας Hosokawa Micron και ο ένας της Neuman and Esser. Η έρευνα εστιάζει στα εξαρτήματα του μύλου της εταιρείας Hosokawa Micron.



Εικόνα 1.2 [5]

## Αρχή λειτουργίας του ACM 40 EC PSR 11 της Hosokawa Micron

Ο ACM 40 EC PSR 11 λειτουργεί με την πνευματική τροφοδοσία του προϊόντος. Το προϊόν προσκρούει στα περιστρεφόμενα στοιχεία λείανσης και στην σταθερή επένδυση, με αποτέλεσμα τη μείωση του μεγέθους του. Οι ταχύτητες φτάνουν έως και 140 m/s, με τιμές λεπτότητας έως 10  $\mu\text{m}$ . Χρησιμοποιείται υψηλή ταχύτητα για την αποτελεσματική θρυμματισμένη του προϊόντος. Το προϊόν αναρροφάται μέσω του μύλου από τον κατάντη ανεμιστήρα και οδηγείται στον αέρα ψύξης, μεταφοράς και ταξινόμησης, περνώντας κατά μήκος των οδηγών πτερυγίων. Ένα χαρακτηριστικό του εργαλείου είναι ο ταξινομητής. Το μείγμα προϊόντος και αέρα κατανέμεται ομοιόμορφα από τον δακτύλιο στον περιστρεφόμενο ταξινομητή. Ο ταξινομητής έχει την λειτουργία να διαχωρίζει τα λεπτότερα σωματίδια από τα χοντρότερα. Το προϊόν, δηλαδή, διαχωρίζεται σε λεπτό και χονδρό κλάσμα. Το χονδρό κλάσμα επιστρέφει στη ζώνη λείανσης για περαιτέρω θρυμματισμό μέχρι να επιτευχθεί η επιθυμητή λεπτότητα. Το λεπτό κλάσμα περνά από τον τροχό ταξινόμησης και εξέρχεται από τον μύλο. Το σημείο κοπής εξαρτάται από την ταχύτητα ταξινόμησης του τροχού, η οποία μπορεί να ρυθμιστεί ακόμη και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.



Εικόνα1.3

## Οδηγίες λειτουργίας και συντήρησης για τον μύλο ACM 40 EC PSR 11

Το υλικό εισάγεται στο μύλο από την πλευρά (A) με τη βοήθεια ενός συστήματος πνευματικής μεταφοράς μέσω ενός εξωτερικού ρυθμιζόμενου τροφοδότη (π.χ. περιστροφικού τροφοδότη, κοχλία ή δονητικού αγωγού). Μέρος της ροής αέρα του μύλου εισέρχεται μέσω της αναρρόφησης (B) στο πλευρικό μέρος του θαλάμου άλεσης, επιτρέποντας την είσοδο της σωστής ποσότητας υλικού.

Ο αέρας ψύξης, μεταφοράς και ταξινόμησης, που εισέρχεται στο μύλο μέσω ενός ανεμιστήρα, εισάγεται στον περιμετρικό χώρο του δίσκου άλεσης (C) και επιταχύνει το υλικό προς τις ανακλαστικές πλάκες στον δακτύλιο προστασίας (D).

Το μείγμα προϊόντος και αέρα διανέμεται ομοιόμορφα στις πλάκες τροφοδοσίας και κινείται με καθορισμένη κατεύθυνση προς την περιοχή ταξινόμησης. Το λεπτό υλικό τροφοδοτείται με τον αέρα του μύλου μέσω του ταξινομητή προς την έξοδο (F), ενώ το ταξινομημένο χονδρό υλικό επιστρέφει μέσω του περιστροφικού ταξινομητή στον δακτύλιο προστασίας (D), πέφτει ξανά πάνω στον δίσκο άλεσης (C) και οδηγείται στη ζώνη άλεσης (G) για περαιτέρω άλεση.

### 1.2 Συναρμολόγημα μηχανής θρυμματοποίησης

Ο μύλος της εταιρείας Hosokawa που χρησιμοποιείται για την παραγωγή πούδρας, η οποία προορίζεται για ηλεκτροστατική βαφή κραμάτων αλουμινίου, είναι το μοντέλο ACM 40 EC PSR 11. Το προϊόν που επεξεργάζεται ο μύλος για την παραγωγή της πούδρας είναι ρητίνη αναμεμειγμένη με χρωστικές, ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό χρώμα. Όπως φαίνεται και στις εικόνες που ακολουθούν, το μηχάνημα αποτελείται από τρία βασικά μέρη: τον δίσκο, τον μύλο και τον κυκλώνα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στον κυκλώνα, ο οποίος βρίσκεται μετά τον μύλο, επικρατεί υψηλή ταχύτητα, γεγονός που αποτελεί την κύρια αιτία για φθορές και αστοχίες στο μηχάνημα και τα εξαρτήματά του.

Ο μύλος χρησιμοποιεί 14 σφυριά για αυξημένη κοκκομετρία. Μέσα στον μύλο αναπτύσσεται φυγοκεντρικός αέρας για την απομάκρυνση της σκόνης που δημιουργείται, η οποία στη συνέχεια περνά από τα φίλτρα και καταλήγει στο τελικό μηχάνημα, καθαρή από ακαθαρσίες. Εξωτερικά του μύλου υπάρχουν δύο κινητήρες, ένας δεξιά και ένας αριστερά.

### Αιτίες φθοράς των εξαρτημάτων εντός του μηχανήματος

- Το χρώμα, το οποίο προσκρούει με υψηλή ταχύτητα στα τοιχώματα για να σπάσει και να μειωθεί το μέγεθος των κόκκων του, με σκοπό να γίνει πούδρα.
- Οι ρητίνες του χρώματος, οι οποίες έχουν αυξημένη σκληρότητα.
- Οι ρητίνες του χρώματος, οι οποίες περιέχουν οξειδία του τιτανίου.
- Οι ρητίνες που συναντώνται στο χρώμα και περιέχουν πρόσθετα για ιδιότητες χρώματος, τα οποία προκαλούν φθορές.
- Ένα ακόμα συστατικό που πιθανό να προκαλεί φθορές και είναι συστατικό του χρώματος είναι το οξείδιο του αλουμινίου, το οποίο προσδίδει ρευστότητα και έχει επίσης αυξημένη σκληρότητα.
- Η αυξημένη απόδοση και παραγωγή συμβάλλει στη φθορά.
- Η απόδοση του μηχανήματος, η οποία είναι περίπου 600 kg/h.

- Οι ρητίνες, οι οποίες λειτουργούν σαν κόλλα, συνδέοντας τα συστατικά μεταξύ τους, με αποτέλεσμα το τελικό προϊόν που γίνεται πούδρα να κολλάει στο μέταλλο, προκαλώντας φθορές στα εξαρτήματα του μύλου.



Εικόνα 1.4 Το εσωτερικό του μύλου που εξετάζεται

### 1.3 Μηχανικά χαρακτηριστικά του μύλου

Ο μύλος που εξετάζεται διαθέτει τα παρακάτω χαρακτηριστικά:

- Χρησιμοποιούνται δεκατέσσερα σφουριά για αυξημένη κοκκομετρία, περίπου 80  $\mu\text{m}$ .
- Ο δίσκος του έχει διάμετρο 460 mm.
- Η ταχύτητα του δίσκου κυμαίνεται από 100-120 m/s.
- Ο μύλος περιστρέφεται με 4900 rpm.
- Χρησιμοποιούνται έξι ισοβαρή τεμάχια τοποθετημένα συμμετρικά απέναντι το ένα από το άλλο.

#### Πλεονεκτήματα του μύλου:

- Συνδυασμός άλεσης και ταξινόμησης σε ένα μηχάνημα.
- Συμπαγής σχεδιασμός που εξοικονομεί χώρο.
- Δροσερό και απαλό τρίψιμο.
- Απότομες κατανομές μεγέθους σωματιδίων.
- Αιχμηρή και εύκολα ρυθμιζόμενη ακρίβεια κοπής.
- Απλό στον καθαρισμό και στη συντήρηση.
- Μεγάλη διαθεσιμότητα.
- Χαμηλή εκπομπή θορύβου.
- Χαμηλή ειδική κατανάλωση ενέργειας.
- Ανθεκτικό σε κραδασμούς πίεσης PSR 11.
- Προστασία από τη φθορά.
- Κατάλληλο για συνδυασμένη λείανση και ξήρανση

## 2) Χάλυβες

### 2.1 Κατηγοριοποίηση Χαλύβων

Οι χάλυβες αποτελούν κράματα σιδήρου (Fe) και άνθρακα (C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα που κυμαίνεται από 0,025% έως 2,1% κατά βάρος. Συνήθως, οι χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα άνω του 1,2% δεν χρησιμοποιούνται πρακτικά. Τα κράματα σιδήρου με περιεκτικότητα σε άνθρακα από 2,1% έως 6,7% αναφέρονται ως χυτοσίδηροι και διαμορφώνονται μέσω χύτευσης.

Οι χάλυβες κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- **Κοινοί Χάλυβες:** Περιέχουν μόνο μικρές ποσότητες μανγανίου (Mn) και συνήθεις ακαθαρσίες (0,04% φώσφορο (P) και 0,05% θείο (S)).
- **Κραματωμένοι Χάλυβες:** Περιέχουν πρόσθετα στοιχεία κράματος, με κυριότερα Ni, Mn, Cr, Si, Mo και δευτερεύοντα V, W, Cu, Ti, Al, B, Pb, Nb.

Η κατηγοριοποίηση των κραματωμένων χάλυβων γίνεται σε:

- **Ελαφρώς Κραματωμένους:** με ποσοστό στοιχείων κράματος έως 2%.
- **Μετρίως Κραματωμένους:** με ποσοστό από 2% έως 10%.
- **Ισχυρά Κραματωμένους:** με ποσοστό άνω του 10%.

Εικόνα 2.1 Βασικές κατηγορίες κραματωμένων χάλυβων κατασκευών και αντίστοιχες ιδιότητες-χρήσεις. [7]

Επιπλέον, οι χάλυβες διακρίνονται ανάλογα με τον προορισμό τους:

- **Χάλυβες Διαμόρφωσης**
- **Χυτοχάλυβες**

Ανάλογα με τις χρήσεις τους, διακρίνονται σε:

- **Χάλυβες Κατασκευών**
- **Εργαλειοχάλυβες**
- **Ανοξειδωτοι και Πυρίμαχοι Χάλυβες**
- **Χάλυβες Ηλεκτρομαγνητικών Εφαρμογών**

Οι κοινοί χάλυβες δεν περιέχουν πρόσθετα στοιχεία κράματος πέρα από τις συνήθεις ακαθαρσίες και κατηγοριοποιούνται βάσει της περιεκτικότητάς τους σε άνθρακα:

- **Υποευτηκτοειδείς:** Περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω του 0,80%.
- **Ευτηκτοειδείς:** Περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,80%.
- **Υπερευτηκτοειδείς:** Περιεκτικότητα σε άνθρακα από 0,80% έως 2,00%.

Με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα, η μηχανική αντοχή του χάλυβα αυξάνεται, αλλά η ολκιμότητα μειώνεται.

| Κύρια σειρά (AISI-SAE) | Είδος χάλυβα                 | Ιδιότητες- χρήσεις   |
|------------------------|------------------------------|--|
| 2000                   | Νικελιούχος                  | Αντοχή σε κόπωση, διάβρωση. Ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές.   |
| 3000                   | Νικελιοχρωμιούχος            | Καλή εμβαπτότητα και αντοχή σε διάβρωση. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Κατασκευή διωστήρων, αξόνων, κλπ.                       |
| 4000                   | Μολυβδαινιούχος              | Καλή εμβαπτότητα. Σκληρότητα, αντίσταση στη φθορά και αντοχή στον ερπυσμό. Κατασκευή τμημάτων λεβήτων, αεριοστροβίλων, κλπ.        |
| 5000                   | Χρωμιούχος                   | Καλή εμβαπτότητα. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Κατασκευή λεπίδων, διωστήρων, ρουλεμάν, εκκέντρων, κλπ.                        |
| 6000                   | Χρωμιοβαναδιούχος            | Πολύ καλή εμβαπτότητα. Αύξηση της αντοχής σε φθορά-τριβή. Κατασκευή μαχαιριών, ψαλιδιών, λεπίδων, ελατηρίων βαλβίδων, κλπ.         |
| 7000                   | Βολφραμιοχρωμιούχος          | Πολύ καλή εμβαπτότητα. Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή. Κατασκευή σιγέων, ψαλιδιών, λεπίδων, κλπ.                     |
| 8000                   | Νικελιοχρωμιομολυβδαινιούχος | Πολύ καλή εμβαπτότητα. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή ατράκτων, σφυρήλατων αντικειμένων, κλπ. |
| 9000                   | Πυριτιούχος                  | Μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα. Κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών.   |



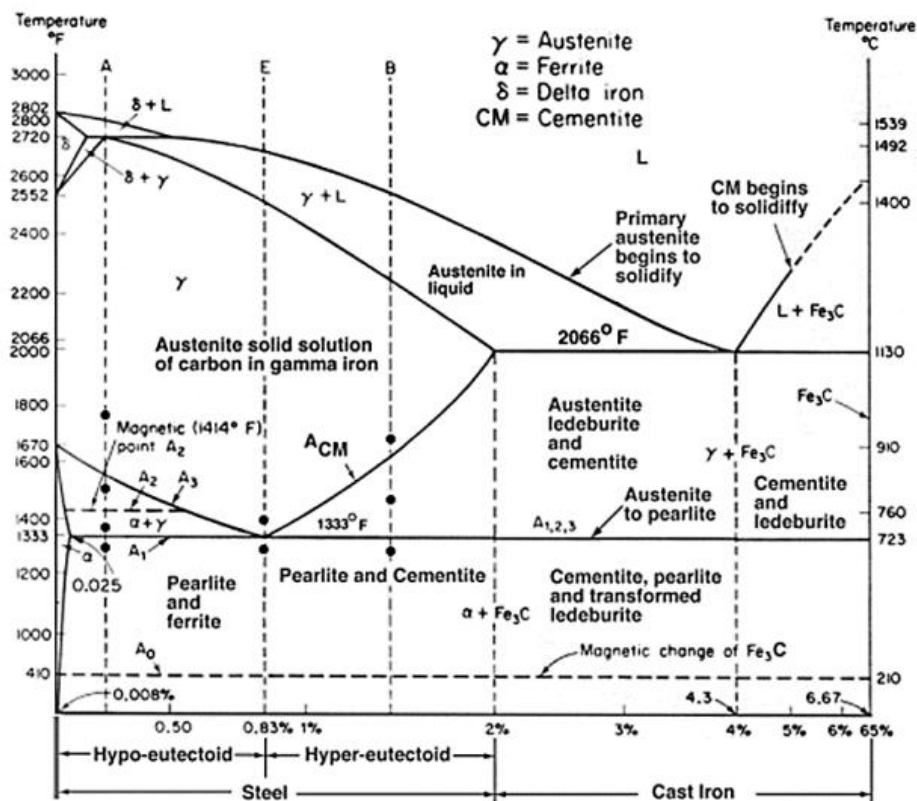
## 2.2 Σύστημα Fe – C

Τα κράματα σιδήρου-άνθρακα κατηγοριοποιούνται ανάλογα με τη μορφή του άνθρακα στη μικροδομή τους:

- **Φαιοί Χυτοσίδηροι:** Ο άνθρακας βρίσκεται στη μορφή γραφίτη.
- **Χάλυβες και Λευκοί Χυτοσίδηροι:** Ο άνθρακας είναι συνδυασμένος με σίδηρο ως σεμεντίτης.

Οι μετασχηματισμοί περιγράφονται από τα διαγράμματα Σιδήρου-Γραφίτη και Σιδήρου-Σεμεντίτη. Το διάγραμμα σιδήρου-γραφίτη περιγράφει τις φάσεις όταν ο άνθρακας βρίσκεται ως γραφίτης και αφορά κυρίως τους φαιούς χυτοσίδηρους, ενώ το διάγραμμα σιδήρου-σεμεντίτη αφορά τους χάλυβες και λευκούς χυτοσίδηρους με τον άνθρακα ενωμένο με το σίδηρο ως  $Fe_3C$ . Το διάγραμμα αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για τη βιομηχανική εφαρμογή, με εύρος έως 6,67% C, όπου η φάση  $Fe_3C$  είναι ευσταθής.

### Διάγραμμα Fe – C



Εικόνα 2.2 Διάγραμμα Fe-C [8]

## 2.3 Ονοματολογία Χαλύβων

Υπάρχουν διάφορα συστήματα ονοματολογίας για χάλυβες:

- **Σύστημα AISI-SAE:** Χρησιμοποιεί τετραψήφιο αριθμό. Τα δύο πρώτα ψηφία αναφέρονται στην οικογένεια κράματος και τα δύο τελευταία στην περιεκτικότητα σε άνθρακα, πολλαπλασιασμένη επί 100. Συχνά

χρησιμοποιούνται και λατινικά γράμματα μπροστά από τον αριθμό για να δηλώσουν τη μεταλλουργική επεξεργασία.

- **Σύστημα BS:** Χρησιμοποιεί εξανήφιους αριθμούς. Τα πρώτα τρία ψηφία δηλώνουν τον τύπο του χάλυβα, το επόμενο γράμμα παρέχει επιπλέον πληροφορίες και τα τελευταία δύο ψηφία δείχνουν την περιεκτικότητα σε άνθρακα, πολλαπλασιασμένη επί 100.
- **Σύστημα AFNOR (Γαλλικό):** Χρησιμοποιεί την μορφή Czz, όπου το zz αντιπροσωπεύει την περιεκτικότητα σε άνθρακα. Μπορεί να ακολουθείται από γράμματα που δηλώνουν ποιότητα ή προδιαγραφές. Για τους ελαφρώς κραματωμένους χάλυβες, η ονοματολογία είναι CzzK1K2K3x1x2x3.
- **Σύστημα DIN (Γερμανικό):** Κωδικοποιεί τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες με Styy, όπου το "St" υποδεικνύει κοινό χάλυβα και το "yy" την αντοχή σε εφελκυσμό σε kg/mm<sup>2</sup>. Μπορεί να περιλαμβάνει γράμματα που δηλώνουν θερμική επεξεργασία, όπως C για ενανθράκωση, N για εξομάλυνση, V για επιβελτίωση και G για ανόπτηση. [2]

## 2.4 Εργαλειοχάλυβες

Οι εργαλειοχάλυβες είναι ελαφρά και ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή εργαλείων. Περιέχουν συνήθως 0,6-1,4% άνθρακα και άλλα στοιχεία προσθήκης όπως Mn, Cr, V, W, Mo, Co, Ni, και Si. Τα καρβιδιογόνα στοιχεία βελτιώνουν τη σκληρότητα χωρίς να προκαλούν αύξηση του μεγέθους των κόκκων κατά την ωστενίτιση.

Ορισμένες βασικές ιδιότητες των εργαλειοχαλύβων περιλαμβάνουν:

- Αυξημένη σκληρότητα διατηρούμενη έως τους 550°C.
- Μεγάλη εμβαπτότητα και αντοχή σε θερμότητα.
- Καλή δυσθραυστότητα και αντίσταση στη φθορά.
- Αντοχή σε τριβή και θερμικούς αιφνιδιασμούς.

Η θερμική κατεργασία περιλαμβάνει υψηλές θερμοκρασίες ωστενιτοποίησης με αργή θέρμανση και παραμονή στη θερμοκρασία αυτή για ομογενοποίηση. Ο μαρτενσιτικός μετασχηματισμός ολοκληρώνεται με απόψυξη σε χαμηλές θερμοκρασίες, κυρίως από θερμοκρασία 180° έως την θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η επαναφορά που μειώνει τη σκληρότητα του μαρτενσίτη μετασχηματίζει τον παραμένον ωστενίτη και υπό προϋποθέσεις οδηγεί σε δευτερογενή σκλήρυνση.

Οι εργαλειοχάλυβες χρησιμοποιούνται ευρέως σε διαδικασίες διαμόρφωσης, αποβολής υλικού και χύτευσης, και περιλαμβάνουν διάφορες οικογένειες όπως ταχυχάλυβες, χάλυβες εν θερμώ και εν ψυχρώ εφαρμογών, χάλυβες αντοχής σε κρούση, ειδικούς χάλυβες και χάλυβες σκληρυνόμενοι με κατακρήμνυση.

| Σειρά AISI | Χάλυβας | C    | Cr    | Mo   | W     | V    | Mn   | Co   |
|------------|---------|------|-------|------|-------|------|------|------|
| Σειρά O    | O1      | 0,90 | 0,50  | -    | 0,50  | -    | 1,00 | -    |
|            | O2      | 0,90 | -     | -    | -     | -    | 1,60 | -    |
| Σειρά H    | H11     | 0,35 | 5,00  | 1,50 | -     | 0,40 | -    | -    |
|            | H13     | 0,35 | 5,00  | 1,50 | -     | 1,00 | -    | -    |
|            | H23     | 0,30 | 12,00 | -    | 12,00 | -    | -    | -    |
|            | H26     | 0,50 | 4,00  | -    | 18,00 | 1,00 | -    | -    |
|            | H42     | 0,60 | 4,00  | 5,00 | 6,00  | 2,00 | -    | -    |
| Σειρά D    | D2      | 1,50 | 12,00 | 1,00 | -     | 1,00 | -    | -    |
|            | D3      | 2,25 | 12,00 | -    | -     | -    | -    | -    |
|            | D4      | 2,25 | 12,00 | 1,00 | -     | -    | -    | -    |
|            | D5      | 1,50 | 12,00 | 1,00 | -     | -    | -    | 3,00 |
| Σειρά M    | M1      | 0,85 | 4,00  | 8,50 | 1,50  | 1,00 | -    | -    |
|            | M2      | 1,00 | 4,00  | 5,00 | 6,00  | 2,00 | -    | -    |
|            | M4      | 1,30 | 4,00  | 4,50 | 5,50  | 4,00 | -    | -    |
|            | M7      | 1,00 | 4,00  | 8,75 | 1,75  | 2,00 | -    | -    |
| Σειρά T    | T1      | 0,75 | 4,00  | -    | 18,00 | 1,00 | -    | -    |
|            | T15     | 1,50 | 4,00  | -    | 12,00 | 5,00 | -    | 5,00 |

Εικόνα 2.3 Χημική σύσταση των κυριότερων εργαλειοχαλύβων [7]

### 3 Τρόποι παρασκευής

#### 3.1 Κονιομεταλλουργία

Η κονιομεταλλουργία είναι μια τεχνολογία που επιτρέπει τη μορφοποίηση μεταλλικών εξαρτημάτων μέσω της συμπίεσης και θερμικής επεξεργασίας μεταλλικών κόνεων. Στη διαδικασία αυτή, μεταλλικές κόνες συμπιέζονται σε προκαθορισμένο σχήμα και στη συνέχεια θερμαίνονται για να δημιουργηθεί ένα συνεκτικό αντικείμενο. Αυτή η μέθοδος, που χρησιμοποιείται από αρχαίων χρόνων για την κατασκευή εργαλείων και η οποία αναπτύχθηκε περαιτέρω στις αρχές του 20ού αιώνα για την παραγωγή λεπτών συρμάτων από βολφράμιο για λαμπτήρες πυρακτώσεως.

Η κονιομεταλλουργία είναι ευρέως αναγνωρισμένη και χρησιμοποιείται για την παραγωγή αντικειμένων με ακριβείς διαστάσεις και την μαζική παραγωγή. Επιπλέον, είναι οικονομική και ευέλικτη, καλύπτοντας ένα ευρύ φάσμα μεταλλικών κόνεων και προσφέροντας την δυνατότητα κατασκευής πολλών διαφορετικών εξαρτημάτων, όπως αυτά που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα, οδοντωτούς τροχούς, μαγνητικά υλικά, χειρουργικά εμφυτεύματα, και δομικά μέρη αεροσκαφών.

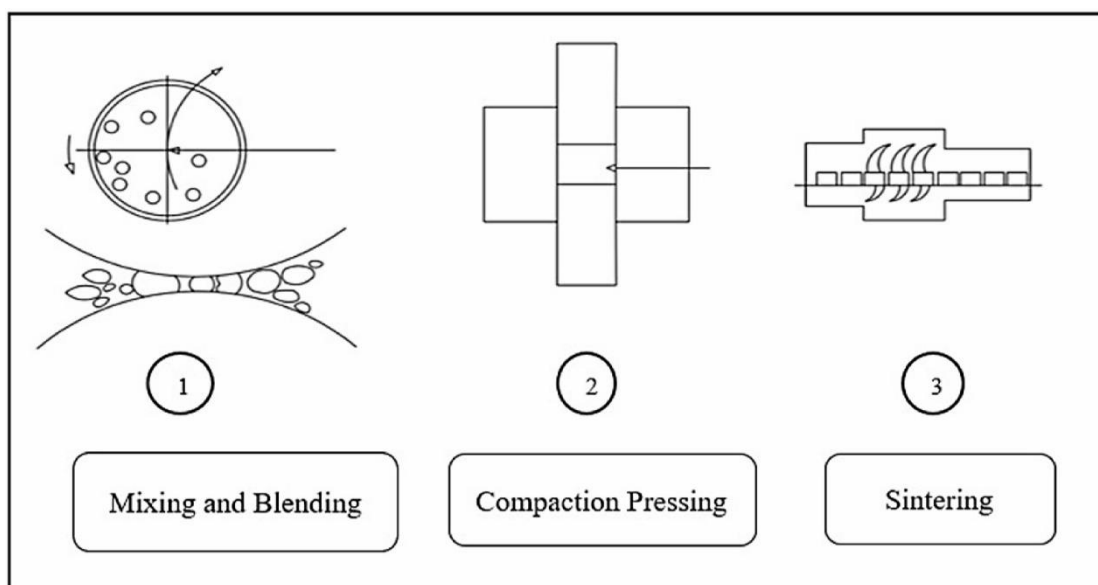
Η μέθοδος της κονιομεταλλουργίας προτιμάται σε σχέση με άλλες μεθόδους όπως η χύτευση, η σφυρηλάτηση και η αποβολή υλικού, ιδιαίτερα για αντικείμενα με πολύπλοκα σχήματα και υλικά υψηλής αντοχής. Στην διαδικασία αυτή χρησιμοποιούνται υλικά όπως ο σίδηρος, ο χαλκός, το νικέλιο, ο κασσίτερος, το τιτάνιο

και το αλουμίνιο, καθώς και προ-κραματοποιημένες κόνες για υλικά όπως ορείχαλκος και ανοξείδωτοι χάλυβες.

### Χαρακτηριστικά Μεταλλικών Κόνεων

Η ποιότητα των κόνεων εξαρτάται από τα εξής χαρακτηριστικά:

- **Σχήμα Σωματιδίων:** Το σχήμα των σωματιδίων, όπως ακανόνιστο, σφαιρικό, δενδριτικό ή γωνιακό, επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Για παράδειγμα, ακανόνιστα σωματίδια προσφέρουν αυξημένη πρώιμη αντοχή.
- **Μέγεθος Σωματιδίων:** Επηρεάζει τη συμπιεστότητα, τον βαθμό συρρίκνωσης και το πορώδες.
- **Κατανομή Μεγέθους Σωματιδίων:** Επηρεάζει την επιστοίβαξη των κόκκων.
- **Συμπιεστότητα:** Σχετίζεται με το μέγεθος, τη διανομή και το σχήμα των σωματιδίων.
- **Ρυθμός Ροής:** Η ικανότητα της σκόνης να ρέει και να καλύπτει τα τοιχώματα του καλουπιού.
- **Καθαρότητα:** Απαλλαγή από ακαθαρσίες και προσμίξεις.
- **Φαινομενική Πυκνότητα:** Ο λόγος του όγκου προς το βάρος της μη συμπιεσμένης κόνεως.

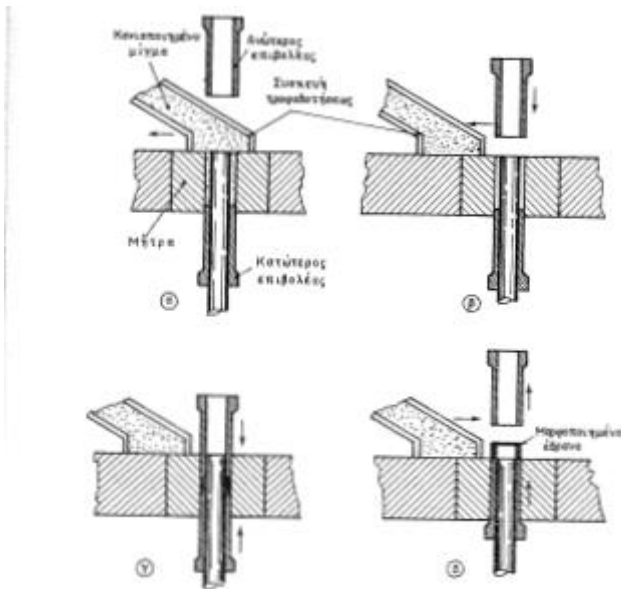


Εικόνα 3.1 Στάδια της μεθόδου κονιομεταλλουργίας [9]

## Διαδικασία Κονιομεταλλουργίας

Η διαδικασία της κονιομεταλλουργίας περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. **Παραγωγή Μεταλλικών Κόνεων:**
  - **Ατμοποίηση:** Διασπά το υγρό μέταλλο σε μικρά σωματίδια με χρήση αέρα, νερού ή αδρανούς αερίου.
  - **Μηχανική Κραμμάτωση:** Θρυμματισμός και επεξεργασία της μεταλλικής σκόνης.
2. **Ανάμιξη Κόνεων:**
  - Χρησιμοποιούνται λιπαντικά για μείωση της φθοράς και της τριβής.
3. **Συμπίεση:**
  - **Συμπίεση:** Τοποθέτηση μεταλλικών κόνεων σε καλούπι και εφαρμογή πίεσης.
  - **Φυγοκεντρική Συμπίεση:** Χρήση φυγοκεντρικών δυνάμεων για δημιουργία ομοιόμορφου υλικού.
  - **Χύτευση Ολίσθησης:** Δημιουργία πολτού με νερό και χύτευση σε καλούπι.
  - **Έλαση:** Δημιουργία συνεχούς λωρίδας μεταλλικού υλικού.
  - **Διέλαση:** Δημιουργία υλικών με αυξημένη πυκνότητα μέσω συμπίεσης σε μπιγέτα.
  - **Ισοστατική Συμπίεση:** Χρήση αερίου για ομοιόμορφη πίεση.
  - **Πυροσυσσωμάτωση Βαρύτητας:** Χρήση αερίου αμμωνίας και υψηλής θερμοκρασίας.
  - **Εκρηκτική Συμπίεση:** Συμπίεση της σκόνης μέσω εκρηκτικής πίεσης.
4. **Πυροσυσσωμάτωση:**
  - Θέρμανση για δημιουργία συμπαγούς υλικού μέσω δεσμών μεταξύ των σωματιδίων.
5. **Κατεργασίες Αποπεράτωσης:**
  - Διαστασιολόγηση
  - Μηχανουργική Κατεργασία
  - Επιμετάλλωση
  - Θερμική Επεξεργασία
  - Εμποτισμός
  - Διήθηση – Διαρροής
  - Κοπή Νομισμάτων



Εικόνα 3.2 Φάσεις κατά τη συμπίεση αυτολιπαινόμενου εδράνου ολίσθησης [10]

### Πλεονεκτήματα της Κονιομεταλλουργίας

- **Εξοικονόμηση Εξόδων:** Μείωση του κόστους μέσω της παραγωγής σχεδόν τελικών προϊόντων.
- **Οικονομική Αποτελεσματικότητα:** Ιδιαίτερα συμφέρουσα για παραγωγές άνω των 10,000 τεμαχίων.
- **Μειωμένα Μεταλλικά Απόβλιττα:** Δημιουργία προϊόντων με ελάχιστα απόβλιττα.
- **Δημιουργία Απαιτητικών Αντικειμένων:** Μορφοποίηση αντικειμένων με αυστηρές διαστάσεις και απαιτήσεις.

### 3.2 3D Προσθετικές καταργασίες

Η συγκεκριμένη τεχνική γίνεται όλο και πιο διαδεδομένη, με τους εργαζόμενους να εστιάζουν στην αξιοποίηση των δυνατοτήτων της και στην αντιμετώπιση των προκλήσεων που ανακύπτουν κατά την εφαρμογή της. Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την κατασκευή σχεδόν οποιουδήποτε αντικειμένου από δεδομένα ψηφιακών τρισδιάστατων μοντέλων. Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά που τη διακρίνει από τις παραδοσιακές μεθόδους είναι η δυνατότητα δημιουργίας μοναδικών αντικειμένων μέσω των προσθετικών καταργασιών.

Το 1986, ο Charles Hull εισήγαγε τη στερεολιθογραφία. Μετά από αυτή την καινοτομία, εμφανίστηκαν διάφορες παραλλαγές, όπως η μοντελοποίηση λιωμένης εναπόθεσης, η σύντηξη σε σκόνη, η κατασκευή περιγραμμάτων και η εκτύπωση με inkjet. Η Προσθετική Κατασκευή (Additive Manufacturing - AM) περιλαμβάνει πολλές από αυτές τις τεχνικές, όπως η στερεολιθογραφία, η εκτύπωση inkjet, η άμεση εναπόθεση ενέργειας, η επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση με λέιζερ, η τρισδιάστατη εκτύπωση με σύνδεση υγρών, η παραγωγή πλαστικοποιημένων αντικειμένων, και η επιλεκτική τήξη με λέιζερ. Ακολουθούν αναλυτικές περιγραφές ορισμένων από αυτές τις μεθόδους, καθώς και επιπλέον τεχνικές. [10], [2]

## Στερεολιθογραφία (SLA)

Η στερεολιθογραφία χρησιμοποιείται από το 1986. Αυτή η μέθοδος βασίζεται στην εκπομπή υπεριώδους φωτός (UV) σε ένα διάλυμα μονομερών ή σε ένα στρώμα ρητίνης, προκαλώντας χημική αντίδραση. Κατά την εκτύπωση, η ρητίνη που δεν έχει στερεοποιηθεί αφαιρείται και δεν χρησιμοποιείται ξανά.

Τα υλικά που είναι κατάλληλα για τρισδιάστατη εκτύπωση περιλαμβάνουν διάφορες κατηγορίες, όπως πολυμερή, μέταλλα, κεραμικά και σκυρόδεμα.

### Πλεονεκτήματα της προσθετικής καταργασίας

- Ταχεία παραγωγή σύνθετων δομών
- Γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων
- Μείωση αποβλήτων
- Ευελιξία στον σχεδιασμό
- Χαμηλό κόστος
- Αυξημένη χρήση στην κατασκευαστική βιομηχανία τα τελευταία χρόνια
- Παραγωγή σύνθετων γεωμετριών
- Δυνατότητα δημιουργίας μοναδικών αντικειμένων
- Μείωση κόπου και χρόνου σε μη μαζική παραγωγή
- Εκτύπωση μεγάλων και πολύπλοκων κατασκευών με αυξημένη μηχανική ποιότητα και ελαχιστοποιημένα σφάλματα. [12]

### BOF (Basic Oxygen Furnace) και EAF (Electric Arc Furnace)

Η διαδικασία BOF (Basic Oxygen Furnace) και EAF (Electric Arc Furnace) είναι δύο διαφορετικές μέθοδοι παραγωγής χάλυβα, η καθεμία με τα δικά της πλεονεκτήματα και εφαρμογές. Ακολουθεί μια συνοπτική περιγραφή και των δύο:

#### 1. BOF (Basic Oxygen Furnace)

- **Περιγραφή:** Η διαδικασία BOF είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος παραγωγής χάλυβα παγκοσμίως. Εδώ, το λιωμένο σίδηρο τροφοδοτείται σε έναν κλίβανο, όπου διοχετεύεται καθαρός οξυγόνο.
- **Διαδικασία:**
  - **Τροφοδοσία:** Λιωμένο σίδηρο και ανακυκλωμένος χάλυβας τοποθετούνται στο BOF.
  - **Οξυγόνωση:** Ο καθαρός οξυγόνο διαχέεται στο μείγμα, προκαλώντας την οξείδωση των ακαθαρσιών (όπως το άνθρακα και το πυρίτιο).
  - **Προϊόν:** Το αποτέλεσμα είναι ο χάλυβας που μπορεί να προσαρμοστεί στις επιθυμητές χημικές και μηχανικές του ιδιότητες.
- **Πλεονεκτήματα:**
  - Υψηλή παραγωγικότητα και οικονομία κλίμακας.
  - Ικανότητα να επεξεργαστεί μεγάλο όγκο λιωμένου σιδήρου.

## 2. EAF (Electric Arc Furnace)

- **Περιγραφή:** Ο EAF είναι μια πιο ευέλικτη μέθοδος παραγωγής χάλυβα, ιδανική για την ανακύκλωση παλιών χάλυβων και σιδηρούχων υλικών. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί ηλεκτρικό ρεύμα για να λιώσει το μέταλλο.
- **Διαδικασία:**
  - **Τροφοδοσία:** Σκουπίδια χάλυβα ή άλλες πρώτες ύλες τοποθετούνται στον κλίβανο.
  - **Λιώσιμο:** Η ηλεκτρική ενέργεια παράγει θερμότητα μέσω ηλεκτρικών τόξων που λιώνουν το μέταλλο.
  - **Προϊόν:** Παράγεται καθαρός χάλυβας με λιγότερες ακαθαρσίες.
- **Πλεονεκτήματα:**
  - Μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μικρότερων ποσοτήτων χάλυβα.
  - Υψηλή ευελιξία στη χρήση διαφορετικών πρώτων υλών, όπως ανακυκλωμένα υλικά.
  - Μειωμένες εκπομπές ρύπων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους.

### Σύγκριση

- **Πρώτες Ύλες:** Το BOF χρησιμοποιεί κυρίως λιωμένο σίδηρο, ενώ ο EAF χρησιμοποιεί κυρίως ανακυκλωμένα υλικά.
- **Ενεργειακή Απόδοση:** Ο EAF είναι συνήθως πιο ενεργειακά αποδοτικός για μικρότερες ποσότητες χάλυβα.
- **Κόστος:** Οι επενδύσεις και το κόστος λειτουργίας του BOF είναι συνήθως υψηλότερα λόγω της κλίμακας της παραγωγής. [11]

## 4 Ορισμός Σκληρότητας

Η σκληρότητα είναι μια ιδιότητα που μπορεί να ερμηνευτεί με διάφορους τρόπους, ανάλογα με το πεδίο εφαρμογής και τις ανάγκες του κάθε ειδικού. Στην τεχνολογία, η σκληρότητα αναφέρεται γενικά στην αντίσταση ενός υλικού στη παραμόρφωση, αλλά οι διαφορετικοί επαγγελματίες έχουν ποικίλες ερμηνείες:

- **Μεταλλουργός:** Σκληρότητα σημαίνει την αντίσταση του υλικού στη διείδυση (resistance to indentation).
- **Μηχανικός Σχεδιασμού:** Σκληρότητα αναφέρεται στην αντίσταση του υλικού στην πλαστική παραμόρφωση (flow stress).
- **Τεχνικός Λίπανσης:** Σκληρότητα είναι η αντίσταση του υλικού στην φθορά από τριβή (resistance to wear).
- **Μηχανουργός:** Σκληρότητα θεωρείται η αντίσταση του υλικού στην κοπή (resistance to cutting).
- **Γεωλόγος/Ορυκτολόγος:** Σκληρότητα είναι η αντοχή των πετρωμάτων στη χάραξη (resistance to scratching).

Για τον προσδιορισμό της σκληρότητας των υλικών, υπάρχουν διάφορες δοκιμές που κατατάσσονται σε τρεις κύριες κατηγορίες:



- **Στατικές Δοκιμές Διείσδυσης (Static Indentation Tests):** Σε αυτές τις δοκιμές, ένα αντικείμενο όπως μια σφαίρα, ένας κώνος ή μια πυραμίδα πιέζεται στο υλικό. Η σκληρότητα υπολογίζεται με βάση τη σχέση της εφαρμοζόμενης δύναμης με την επιφάνεια ή το βάθος της διείσδυσης. Παραδείγματα αυτών των μεθόδων είναι οι Rockwell, Brinell, Knoop, Vickers και Martens.
- **Δυναμικές Δοκιμές Σκληρότητας (Dynamic/Rebound Hardness Tests):** Εδώ, ένα αντικείμενο με γνωστές διαστάσεις και μάζα αφήνεται να πέσει στην επιφάνεια του υλικού. Η σκληρότητα προσδιορίζεται από το ύψος της ανάκλασής του. Η μέθοδος Leeb είναι χαρακτηριστική αυτής της κατηγορίας.
- **Δοκιμές Χάραξης (Scratch Tests):** Αυτές οι δοκιμές μετράνε την ικανότητα του υλικού να χαράσσεται από ένα άλλο. Η κλίμακα Mohs για τα πετρώματα είναι ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αυτής της μεθόδου.

Στη σκληρομέτρηση των χαλύβων, η διαδικασία αξιολογεί την αντίσταση του χάλυβα σε πλαστική παραμόρφωση από ένα σκληρότερο υλικό, κάτι που είναι σημαντικό για την απόδοση του χάλυβα σε διάφορες εφαρμογές. Οι βασικές μέθοδοι περιλαμβάνουν:

1. **Μέθοδος Brinell:** Χρησιμοποιεί μια χαλύβδινη ή καρβιδική σφαίρα για να δημιουργήσει ένα εντύπωμα στο υλικό. Η σκληρότητα υπολογίζεται βάσει της διαμέτρου του εντυπώματος.
2. **Μέθοδος Rockwell:** Εφαρμόζει έναν κώνο από διαμάντι ή μια χαλύβδινη σφαίρα για να δημιουργήσει ένα εντύπωμα. Η σκληρότητα προσδιορίζεται από το βάθος της διείσδυσης.
3. **Μέθοδος Vickers:** Χρησιμοποιεί έναν διαμαντένιο πυραμιδικό εντυπωτήρα για να δημιουργήσει μια μικρή εντύπωση. Η σκληρότητα υπολογίζεται από τη δύναμη που εφαρμόζεται και τη διαγώνιο του εντυπώματος.
4. **Μέθοδος Knoop:** Παρόμοια με τη μέθοδο Vickers, αλλά χρησιμοποιεί διεισδυτή από διαμάντι σε σχήμα ρόμβου. Είναι κατάλληλη για μικροσκληρομέτρηση.

#### 4.1 Μικροσκληρομέτρηση

Η μικροσκληρομέτρηση αποτελεί μια ειδική τεχνική μέτρησης της σκληρότητας των υλικών, κυρίως μετάλλων και κραμάτων, σε μικροκλίμακα. Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετικά χρήσιμη όταν απαιτείται η αξιολόγηση της σκληρότητας σε μικρές ή λεπτές περιοχές, όπως επιφανειακές στρώσεις, επιστρώσεις ή μικρά δείγματα. Ο ακριβής προσδιορισμός της σκληρότητας σε τέτοιες περιοχές είναι κρίσιμος για την αξιολόγηση της ποιότητας των υλικών και για την προσαρμογή τους σε ειδικές βιομηχανικές απαιτήσεις.

#### Βασικά Βήματα της Μικροσκληρομέτρησης

1. **Προετοιμασία Δείγματος:** Για να εξασφαλιστεί η ακριβής μέτρηση της σκληρότητας, η επιφάνεια του δείγματος πρέπει να είναι απολύτως λεία και καθαρή. Συνήθως, η προετοιμασία περιλαμβάνει λείανση και πολυκόλληση της επιφάνειας του δείγματος, ώστε να αφαιρεθούν τυχόν ακαθαρσίες και ατέλειες που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα.
2. **Εφαρμογή Φορτίου:** Ένα μικροσκληρόμετρο χρησιμοποιείται για την εφαρμογή ενός καθορισμένου φορτίου στην επιφάνεια του δείγματος. Το φορτίο εφαρμόζεται μέσω μιας διαμαντένιας βελόνας ή περόνης, η οποία εισχωρεί στο υλικό και δημιουργεί μια έντονη παραμόρφωση.

3. **Δημιουργία Εντύπωσης:** Η βελόνα ή η περόνη προκαλεί μια εντύπωση στην επιφάνεια του δείγματος. Το βάθος και οι διαστάσεις αυτής της εντύπωσης παρέχουν πληροφορίες για τη σκληρότητα του υλικού.
4. **Μετρήσεις:** Η διάσταση της εντύπωσης μετράται συνήθως με τη βοήθεια μικροσκοπίου. Ανάλογα με τον τύπο του μικροσκληρόμετρου που χρησιμοποιείται, η μέτρηση μπορεί να περιλαμβάνει την διάμετρο της εντύπωσης ή άλλες παραμέτρους, όπως το βάθος της εντύπωσης.
5. **Υπολογισμός Σκληρότητας:** Η σκληρότητα υπολογίζεται με βάση τη σχέση μεταξύ του εφαρμοζόμενου φορτίου και της διάστασης της εντύπωσης. Τα αποτελέσματα εκφράζονται σε διάφορες μονάδες σκληρότητας, όπως Vickers, Knoop, ή άλλες κλίμακες, ανάλογα με το όργανο μέτρησης που χρησιμοποιείται.

### Τύποι Μικροσκληρόμετρων

1. **Vickers:** Χρησιμοποιεί διαμαντένια πυραμίδα με γωνίες 136 μοιρών. Το μικροσκληρόμετρο Vickers είναι κατάλληλο για τη μέτρηση σκληρότητας σε μικρές περιοχές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για υλικά με ποικιλία σκληρότητας, καλύπτοντας μια ευρεία γκάμα υλικών και συνθηκών.
2. **Knoop:** Χρησιμοποιεί μια διαμαντένια περόνη με ορθογώνιο σχήμα και είναι ιδανικό για τη μέτρηση σκληρότητας σε πολύ λεπτές επιφάνειες και ευαίσθητα υλικά, καθώς η ειδική του γεωμετρία επιτρέπει την ανάλυση μικρών και ευαίσθητων περιοχών.
3. **Mohs:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί μια σειρά από υλικά με γνωστή σκληρότητα για σύγκριση. Αν και δεν χρησιμοποιείται τόσο συχνά για μικροσκληρομέτρηση, αποτελεί έναν χρήσιμο δείκτη για γενικότερες μετρήσεις σκληρότητας.
4. **Martens:** Το μικροσκληρόμετρο Martens συνδυάζει τη μέτρηση της σκληρότητας με την αξιολόγηση της ελαστικότητας. Είναι κατάλληλο για λεπτές επιστρώσεις και μικρά δείγματα, παρέχοντας πληροφορίες για την αντίσταση στη φθορά και την αντοχή στο φορτίο.

### Εφαρμογές

- **Μικρές Περιοχές:** Η μικροσκληρομέτρηση είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη μέτρηση της σκληρότητας σε μικρές επιφάνειες ή σε λεπτές επιστρώσεις, όπου η αξιολόγηση της σκληρότητας σε μικρές κλίμακες είναι κρίσιμη.
- **Δείγματα Υλικών:** Χρησιμοποιείται για την εξέταση σκληρότητας σε μικρά δείγματα ή σε ειδικά τμήματα του υλικού, που απαιτούν ακριβή μέτρηση για την αξιολόγηση της ποιότητας και της απόδοσης.
- **Ειδικές Εφαρμογές:** Ιδιαίτερα χρήσιμη για την ανάλυση πολύ λεπτών ή ευαίσθητων περιοχών που απαιτούν υψηλή ακρίβεια, όπως στην ανάπτυξη νέων υλικών ή σε εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας.

Η μικροσκληρομέτρηση διαδραματίζει καθοριστικό ρόλο στην αξιολόγηση της ποιότητας και της αντοχής των υλικών σε βιομηχανικές εφαρμογές. Επιτρέπει την ακριβή μέτρηση της σκληρότητας σε επίπεδα που δεν είναι δυνατά με άλλες μεθόδους, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για την έρευνα και την ανάπτυξη νέων υλικών και τεχνολογιών. [1]

### 4.2 Μακροσκληρομέτρηση ( θα πάει πάνω στο κεφάλαιο μηχανικών αντοχών στη θεωρία)

Η μακροσκληρομέτρηση είναι μια σημαντική μέθοδος μέτρησης της σκληρότητας υλικών, η οποία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για μεγαλύτερες ή ευρύτερες επιφάνειες. Σε αντίθεση με την μικροσκληρομέτρηση, που χρησιμοποιείται για μικρές περιοχές ή λεπτές επιφάνειες, η μακροσκληρομέτρηση επικεντρώνεται στην αξιολόγηση της σκληρότητας σε μεγαλύτερες κλίμακες. Αυτή η διαδικασία περιλαμβάνει τη χρήση ειδικών οργάνων που εφαρμόζουν μεγαλύτερες δυνάμεις για να αξιολογήσουν την αντοχή του υλικού στην παραμόρφωση.

## Διαδικασία Μακροσκληρομέτρησης

1. **Προετοιμασία Δείγματος:** Η σωστή προετοιμασία του δείγματος είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση ακριβών μετρήσεων. Το δείγμα πρέπει να είναι καθαρό και ομοιογενές, με λεία και στύλβωμένη επιφάνεια, ώστε να μειωθούν οι ελαττωματικές παραμορφώσεις που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα. Η προετοιμασία μπορεί να περιλαμβάνει λείανση, στύλβωση και, σε ορισμένες περιπτώσεις, τη χρήση ειδικών χημικών ή μηχανικών διαδικασιών για την εξάλειψη ακαθαρσιών.
2. **Χρήση Μακροσκληρόμετρου:** Τα κυριότερα όργανα μακροσκληρομέτρησης περιλαμβάνουν:
  - **Μακροσκληρόμετρο Brinell:** Χρησιμοποιεί μια σφαιρική περόνη, συνήθως από χάλυβα ή σκληρυμένο χάλυβα, η οποία εφαρμόζει μια συγκεκριμένη δύναμη στο δείγμα. Η διάμετρος της εντύπωσης που δημιουργείται μετράται για την αξιολόγηση της σκληρότητας.
  - **Μακροσκληρόμετρο Rockwell:** Εφαρμόζει μια καθορισμένη δύναμη μέσω μιας περόνης ή σφαιρικής επιφάνειας και μετρά την αντίσταση του υλικού στην παραμόρφωση. Τα αποτελέσματα καταγράφονται σε κλίμακες Rockwell, όπως HRA, HRB, ή HRC, ανάλογα με το είδος του υλικού και το τύπο της περόνης.
  - **Μακροσκληρόμετρο Vickers:** Αν και χρησιμοποιείται κυρίως για μικροσκληρομέτρηση, το Vickers μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη μέτρηση σκληρότητας σε μεγαλύτερα δείγματα, με τη χρήση διαφορετικών φορτίων. Παρόλο που είναι πιο ακριβές για μικρότερες περιοχές, προσφέρει αξιόπιστα αποτελέσματα και για μεγαλύτερες επιφάνειες.
3. **Εφαρμογή Φορτίου:** Το μακροσκληρόμετρο εφαρμόζει ένα συγκεκριμένο φορτίο μέσω της περόνης ή της σφαιρικής επιφάνειας στο δείγμα. Η διάρκεια εφαρμογής του φορτίου μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το όργανο και το είδος του υλικού. Είναι σημαντικό να διασφαλιστεί ότι το φορτίο εφαρμόζεται ομοιόμορφα για να αποφευχθούν ανακριβείς μετρήσεις.
4. **Μετρήσεις:** Μετά την εφαρμογή του φορτίου, μετράται η διάμετρος της εντύπωσης ή το βάθος της παραμόρφωσης που δημιουργήθηκε στο δείγμα. Αυτές οι μετρήσεις χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της σκληρότητας του υλικού σύμφωνα με τη μέθοδο και την κλίμακα του επιλεγμένου οργάνου.
5. **Υπολογισμός Σκληρότητας:** Οι μετρήσεις μετατρέπονται σε τιμές σκληρότητας σύμφωνα με την κλίμακα του μακροσκληρόμετρου που χρησιμοποιείται. Οι υπολογισμένες τιμές παρέχουν πληροφορίες για τη συνολική αντοχή του υλικού στην παραμόρφωση και μπορούν να συγκριθούν με τα πρότυπα ή τις απαιτήσεις για την αξιολόγηση της ποιότητας του υλικού.

## Εφαρμογές Μακροσκληρομέτρησης

- **Εξέταση Υλικών:** Χρησιμοποιείται για τη μέτρηση της σκληρότητας σε μεγαλύτερες επιφάνειες υλικών, όπως μέταλλα, κράματα και πλαστικά. Αυτή η μέτρηση είναι κρίσιμη για την κατανόηση της συνολικής αντοχής και της απόδοσης των υλικών σε βιομηχανικές εφαρμογές.
- **Βιομηχανική Παραγωγή:** Βοηθά στην αξιολόγηση της ποιότητας και της αντοχής προϊόντων που παράγονται σε μεγάλες ποσότητες. Η σωστή μέτρηση της σκληρότητας μπορεί να επηρεάσει τη διαδικασία παραγωγής και την τελική ποιότητα των προϊόντων.
- **Επιθεώρηση και Συντήρηση:** Χρησιμοποιείται για την επιθεώρηση υλικών και εξαρτημάτων σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις, βοηθώντας στην πρόληψη φθορών και αποτυχιών. Η τακτική επιθεώρηση και συντήρηση με τη χρήση μακροσκληρομέτρησης συμβάλλει στη διατήρηση της αξιοπιστίας και της ασφάλειας των βιομηχανικών συστημάτων.[1]

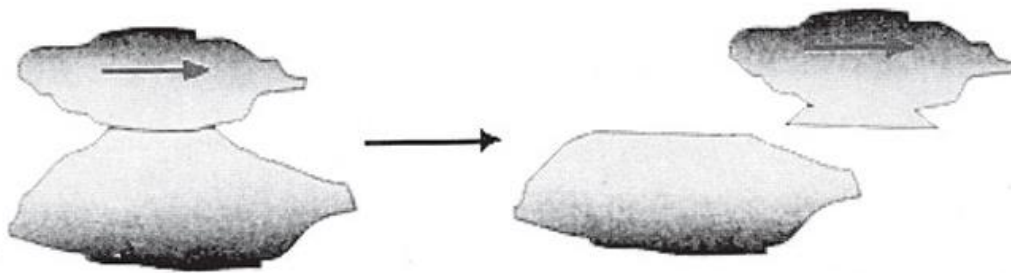
## 5 Φθορά

Η σημασία της φθοράς είναι εμφανής στα εξαρτήματα και τα προϊόντα, καθώς αυτά πρέπει να αντικαθίστανται ή να επιδιορθώνονται σε τακτά χρονικά διαστήματα, ανάλογα με τη συχνότητα χρήσης, παραγωγής και κατανάλωσης στη συγκεκριμένη βιομηχανία. Επιπλέον, είναι απαραίτητο να τονιστεί ότι η φθορά επηρεάζει την επιφανειακή τοπογραφία του εξαρτήματος και μπορεί να προκαλέσει σοβαρές επιφανειακές βλάβες. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να έχει θετικές επιδράσεις στη λειτουργία του εξαρτήματος. Στην αρχική φάση λειτουργίας ενός εργαλείου, οι τοπικές προεξοχές αμβλύνονται. Σε αυτή την περίπτωση, η φθορά λειτουργεί ως μέσο λείανσης της επιφάνειας, εξομαλύνοντας τις προεξοχές. Τέλος, είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η φθορά ενός εξαρτήματος προκαλείται συνήθως από συνδυασμό διαφόρων μηχανισμών φθοράς που δρουν ταυτόχρονα.

### Μηχανισμοί Φθοράς

#### 5.1 Φθορά λόγω πρόσφυσης

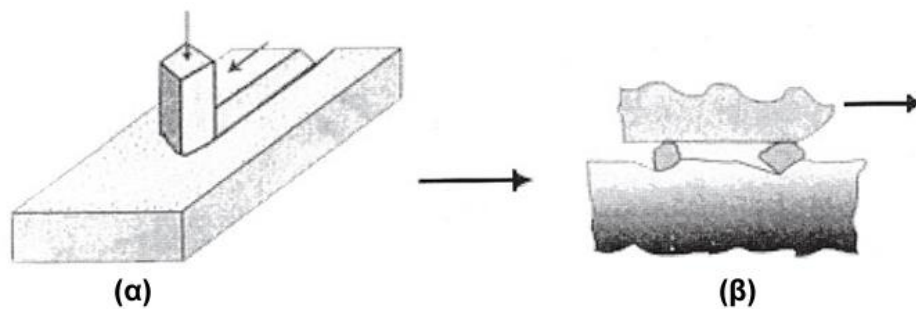
Όταν δύο υλικά έρχονται σε επαφή και ασκείται εφαπτομενική δύναμη, εμφανίζεται το φαινόμενο της διάτμησης. Κατά την ολίσθηση του ενός υλικού πάνω στο άλλο, προκαλείται φθορά λόγω πρόσφυσης. Κατά τη διάρκεια της ολίσθησης, το ασθενέστερο υλικό υποφέρει από θραύση, δημιουργώντας ένα ψήγμα φθοράς, το οποίο προσκολλάται στην επιφάνεια του σκληρότερου υλικού. Αυτό δημιουργεί το λεγόμενο ψήγμα φθοράς. Οι μέθοδοι για τη μείωση της φθοράς λόγω πρόσφυσης περιλαμβάνουν τη χρήση υλικών που οξειδώνονται εύκολα, την εφαρμογή σκληρών επικαλύψεων, την επιμετάλλωση της μίας επιφάνειας με υλικό χαμηλότερης σκληρότητας, τη χρήση λιπαντικών, τη χρήση υλικού υψηλότερης σκληρότητας για το τριβικό ζευγάρι, και την επιλογή υλικών που δεν δημιουργούν ισχυρούς δεσμούς ζευγαρώματος.



Εικόνα 5.1 Σχηματική παράσταση της φθοράς πρόσφυσης [7]

## 5.2 Φθορά λόγω εκτριβής

Η φθορά λόγω απόξεσης συμβαίνει όταν ένα υλικό με μεγαλύτερη σκληρότητα και προεξοχές ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια ενός δεύτερου υλικού. Το δεύτερο υλικό, που έχει μικρότερη σκληρότητα, παρουσιάζει κοιλότητες και επιμήκεις χαραγές στην επιφάνειά του. Υπάρχουν δύο τύποι φθοράς λόγω απόξεσης: η φθορά από την επαφή δύο σωμάτων και η μηχανική διάβρωση. Για να μειωθούν οι συνέπειες της φθοράς και η ίδια η φθορά, μπορούν να χρησιμοποιηθούν υλικά μεγάλης σκληρότητας και να μειωθεί η κάθετη δύναμη που ασκείται. Για παράδειγμα, τα φυσικά και τεχνητά ελαστομερή, όπως τα ελαστικά των οχημάτων, εμφανίζουν αντοχή στη φθορά από απόξεση, ενώ οι χάλυβες, ακόμα και μετά από σκλήρυνση, έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής.



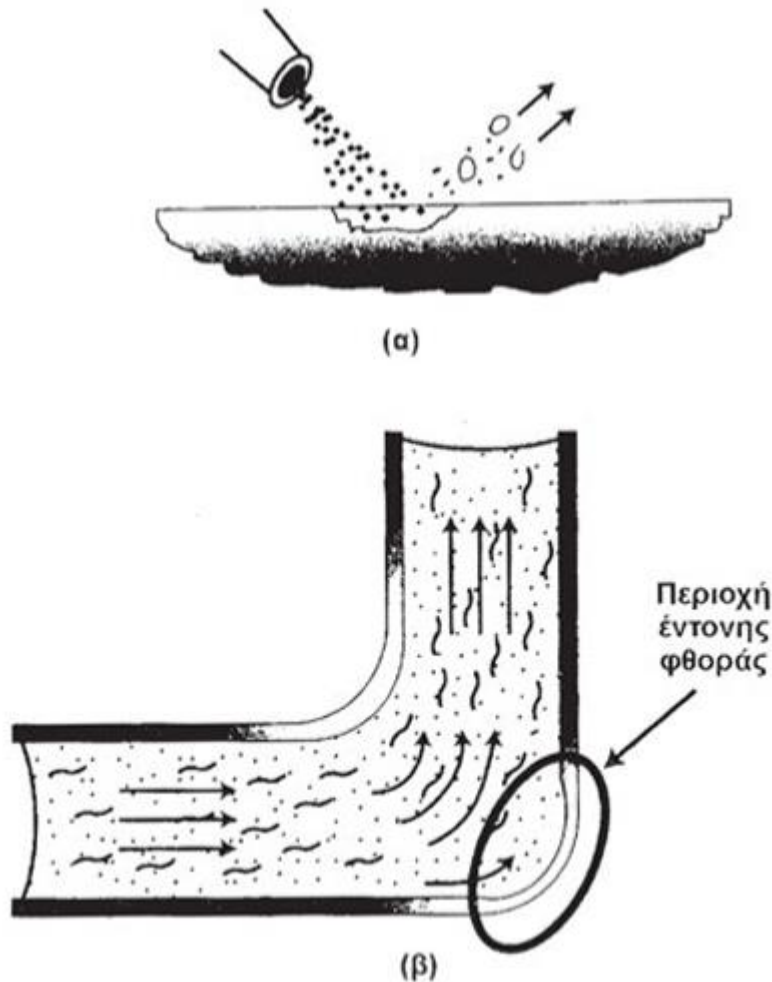
Εικόνα 5.2 Σχηματική παράσταση της φθοράς εκτριβής α) το εργαλείο κοπής αποτελεί τη σκληρή επιφάνεια προκαλεί αυλακώσεις στο κατεργαζόμενο τεμάχιο β) τα απόβλιττα φθοράς είναι τα σκληρά σωματίδια που παραμορφώνουν πλαστικά την ανταγωνιστική επιφάνεια [7].

## 5.3 Φθορά λόγω εκλέπισης (chipping)

Η φθορά λόγω εκλέπισης (chipping) είναι ένα συχνό φαινόμενο στα εργαλεία και εξαρτήματα που υπόκεινται σε έντονες μηχανικές καταπονήσεις, αναφερόμενη στην αποκόλληση μικρών τμημάτων υλικού από την επιφάνειά τους, συχνά λόγω τοπικών υπερβολικών τάσεων ή κρουστικών φορτίσεων. Αυτή η διαδικασία μειώνει την ακρίβεια κατεργασίας και επιταχύνει τη φθορά των εργαλείων, περιορίζοντας τη διάρκεια ζωής τους και την αποδοτικότητα της παραγωγής. Για τη μείωση της φθοράς λόγω εκλέπισης, είναι σημαντική η επιλογή ανθεκτικών υλικών, όπως εργαλεία από καρβίδιο ή κεραμικά, που περιορίζουν την εμφάνιση μικρορωγμών. Η βελτιστοποίηση της γεωμετρίας του εργαλείου, όπως η σωστή σχεδίαση της γωνίας κοπής και της ακτίνας αιχμής, μειώνει τις συγκεντρωμένες τάσεις. Ο έλεγχος των κρουστικών φορτίων μέσω της προσαρμογής των παραμέτρων κατεργασίας μειώνει τις μηχανικές καταπονήσεις, ενώ οι ανθεκτικές επιστρώσεις, όπως το τιτάνιο (TiN) ή το αλουμίνιο (AlTiN), βελτιώνουν την αντοχή του εργαλείου. Επιπλέον, η βελτίωση της λίπανσης και ψύξης μέσω κατάλληλων ψυκτικών και λιπαντικών υγρών μειώνει την τριβή και τη θερμοκρασία, περιορίζοντας την εμφάνιση μικρορωγμών. Τέλος, η τακτική επιθεώρηση και τα ακονίσματα των εργαλείων διατηρούν τις αιχμές κοπής σε καλή κατάσταση, αποτρέποντας την εξάπλωση μικρορωγμών. Συνδυάζοντας αυτές τις τεχνικές, είναι δυνατό να μειωθεί σημαντικά η φθορά λόγω εκλέπισης και να αυξηθεί η αντοχή και αποδοτικότητα των εργαλείων κατά τη διάρκεια της κατεργασίας.

#### **5.4 Φθορά λόγω διάβρωσης**

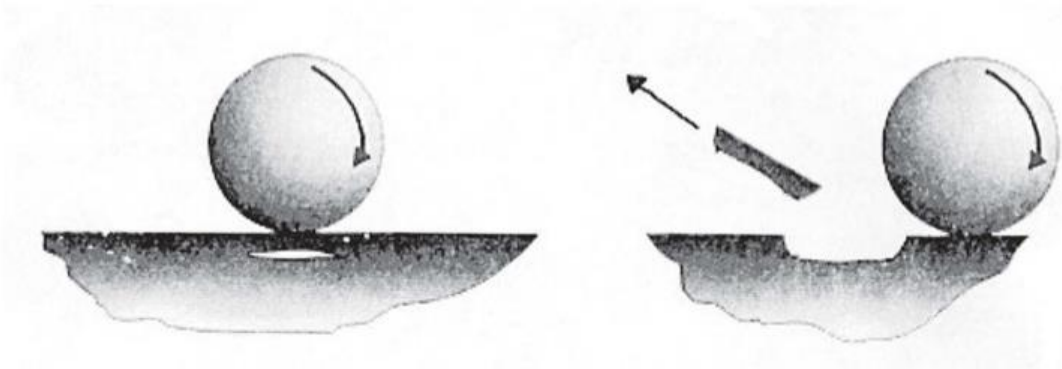
Η φθορά λόγω διάβρωσης, που συχνά αναφέρεται και ως χημική φθορά ή οξείδωση, προκύπτει από την αντίδραση της επιφάνειας του υλικού με το περιβάλλον του. Για παράδειγμα, τα ψήγματα φθοράς είναι αποτέλεσμα αυτής της αντίδρασης. Όταν το στρώμα διάβρωσης αφαιρείται λόγω ολίσθησης ή εκτριβής, η διαδικασία της διάβρωσης επαναλαμβάνεται. Υγρά όπως το θαλασσινό νερό, τα οξέα, διάφορα χημικά και το νερό, και αέρια όπως το οξυγόνο, το διοξείδιο του θείου και το υδρόθειο, προκαλούν διάβρωση. Η φθορά λόγω διάβρωσης μπορεί να μειωθεί με τη χρήση υλικών που αντιστέκονται στη διάβρωση, τον έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών, την εφαρμογή προστατευτικών επιστρώσεων και τη μείωση της θερμοκρασίας λειτουργίας.



Εικόνα 5.3 Σχηματική παράσταση της μηχανικής διάβρωσης α) λόγω πρόσκρουσης στερεών σωματιδίων πάνω στην επιφάνεια του υλικού και β) λόγω της ροής μιγμάτων υγρών/στερεών [7]

### 5.5 Φθορά λόγω κόπωσης

Η φθορά λόγω κόπωσης, γνωστή και ως επιφανειακή φθορά, προκαλείται όταν κυκλικές φορτίσεις εφαρμόζονται στην επιφάνεια του εξαρτήματος, όπως συμβαίνει στα έδρανα κύλισης. Η θερμική κόπωση είναι μια μορφή επιφανειακής κόπωσης που οφείλεται στις θερμικές τάσεις που προκαλούνται από εναλλαγές θερμοκρασίας, οδηγώντας στη δημιουργία ρωγμών που ενώνονται και προκαλούν αποφλοίωση της επιφάνειας. Για να μειωθεί η επιφανειακή φθορά, συνιστάται η μείωση των τάσεων στην επιφάνεια επαφής, η μείωση των εναλλαγών θερμοκρασίας, η βελτίωση των υλικών, και η απομάκρυνση ακαθαρσιών και άλλων ελαττωμάτων της μικροδομής που μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές.



Εικόνα 5.4 Σχηματική παράσταση της φθοράς επιφανειακής κόπωσης [7]

### 5.6 Φθορά στα Θερμοπλαστικά Υλικά

Η φθορά στα θερμοπλαστικά υλικά παρουσιάζει κάποιες ομοιότητες με αυτή των μετάλλων. Η ανθεκτικότητά τους στην απόξεση εξαρτάται από την ικανότητα του πολυμερούς να υποστεί ελαστική παραμόρφωση και να επανέλθει στο αρχικό του σχήμα, παρόμοια με τα φυσικά και συνθετικά ελαστομερή. Ορισμένα πολυμερή, όπως τα πολυαμίδια, τα νάιλον, τα πολυανθρακικά, το πολυπροπυλένιο, οι ακετάλες και το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας, παρουσιάζουν σημαντική αντοχή στη φθορά. Αυτά τα υλικά κατασκευάζονται μέσω χύτευσης ή μηχανουργικής κατεργασίας για τη δημιουργία οδοντωτών τροχών, τροχαλιών, αλυσοτροχών και παρόμοιων μηχανολογικών εξαρτημάτων. Τα θερμοπλαστικά μπορούν να παραχθούν με διάφορες συνθέσεις, στις οποίες προστίθενται εσωτερικοί λιπαντές όπως το πολυτετραφθοροαιθυλένιο, το πυρίτιο, ο γραφίτης, το σουλφίδιο του μολυβδαινίου και σωματίδια ελαστικού, τα οποία διασπείρονται ομοιόμορφα στη μήτρα του πολυμερούς.

### 5.7 Φθορά στα Ενισχυμένα Πλαστικά

Η ανθεκτικότητα στη φθορά των ενισχυμένων πλαστικών εξαρτάται από το είδος, την ποσότητα και τον προσανατολισμό της ενίσχυσης μέσα στο πολυμερές. Ίνες από άνθρακα, υαλόνημα και αραμίδιο αυξάνουν την ανθεκτικότητα του υλικού στη φθορά. Η φθορά συνήθως συμβαίνει μέσω της αποκόλλησης των ινών από τη μήτρα του πολυμερούς, μια διαδικασία που είναι γνωστή ως "εκρίζωση ινών". Η φθορά είναι πιο έντονη όταν η κατεύθυνση της ολίσθησης είναι παράλληλη με τη διεύθυνση των ινών, καθώς αυτό διευκολύνει την αποκόλλησή τους από τη μήτρα. Οι μακρύτερες ίνες αυξάνουν την αντοχή στη φθορά των σύνθετων υλικών, καθώς δυσκολεύουν την εκρίζωση και επιβραδύνουν την εξάπλωση των ρωγμών στην επιφάνεια του πολυμερούς.



## 5.8 Φθορά στα Κεραμικά Υλικά

Όταν τα κεραμικά υλικά ολισθαίνουν πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες, η φθορά προκαλείται λόγω του περιορισμένου εύρους πλαστικών παραμορφώσεων που μπορούν να υποστούν, της επιφανειακής θραύσης, της άρρωσης, της κόπωσης και των χημικών αντιδράσεων στην επιφάνειά τους. Κατά τη διάρκεια της ολίσθησης, υλικό από την επιφάνεια του μεταλλικού σώματος μπορεί να μεταφερθεί στην κεραμική επιφάνεια και να υποστεί οξειδωση. Μετά από αυτό, η ολίσθηση πραγματοποιείται ανάμεσα στην επιφάνεια του μετάλλου και το στρώμα οξειδίου του μετάλλου.

## 5.9 Μηχανοχημική Φθορά

Η μηχανοχημική φθορά είναι ένας μηχανισμός υποβάθμισης υλικών που προκύπτει από τη συνέργεια μεταξύ μηχανικών καταπονήσεων και χημικών αντιδράσεων στην επιφάνεια του υλικού. Αυτή η μορφή φθοράς συμβαίνει όταν το υλικό εκτίθεται σε ταυτόχρονες μηχανικές δυνάμεις, όπως τριβή, κρούση ή πίεση, ενώ παράλληλα υπόκειται σε χημικές διεργασίες, όπως οξειδωση, διάβρωση ή αλληλεπίδραση με υγρά ή αέρια. Οι χημικές αντιδράσεις μπορεί να μειώσουν την αντοχή της επιφανειακής στιβάδας του υλικού, καθιστώντας το πιο ευάλωτο σε μηχανική καταπόνηση, ενώ οι μηχανικές φθορές επιταχύνουν τη διάχυση χημικών παραγόντων στο υλικό. Τυπικά παραδείγματα περιλαμβάνουν την επιταχυνόμενη διάβρωση σε μεταλλικές επιφάνειες που υπόκεινται σε τριβή ή φθορά σε μηχανολογικά συστήματα, όπως ρουλεμάν και αντλίες. [2]

## 6 Θερμικές Κατεργασίες Χαλύβων

Οι χάλυβες, προκειμένου να είναι κατάλληλοι για τις ανάγκες της αγοράς, πρέπει να αποκτήσουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Για τον λόγο αυτό, υποβάλλονται σε θερμικές κατεργασίες που στοχεύουν στην απόκτηση των απαιτούμενων ιδιοτήτων ανάλογα με τη χρήση τους. Αυτές οι κατεργασίες μπορεί να πραγματοποιούνται είτε στη μάζα του χάλυβα είτε στην επιφάνειά του. Η πρώτη κατηγορία αποσκοπεί στη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα.

Είναι γνωστό ότι η αύξηση της αντοχής σε εφελκυσμό και η τάση διαρροής συνοδεύεται συχνά από μείωση της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητας του υλικού. Έτσι, κατά τη διάρκεια των κατεργασιών, επιδιώκεται μια ισορροπία μεταξύ αυτών των ιδιοτήτων ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό αποτέλεσμα σε όλες τις μηχανικές ιδιότητες. [2]

### 6.1 Κατεργασίες Μάζας

Οι κατεργασίες που εφαρμόζονται στην εσωτερική μάζα του χάλυβα συνήθως οδηγούν σε σκλήρυνση του υλικού, ρύθμιση του μεγέθους των κόκκων και μείωση των μηχανικών τάσεων. Αυτές οι θερμικές κατεργασίες διακρίνονται στις εξής κατηγορίες και υποκατηγορίες:

#### I. Ανόπτηση

### 1. **Ανόπτηση Κατεργασίας:**

Σε αυτήν τη διαδικασία, το μέταλλο αυξάνει την ολκιμότητά του μετά την ψυχρή κατεργασία. Η ανόπτηση επιτρέπει στο υλικό να υποστεί πλαστική παραμόρφωση χωρίς να σπάσει ή να απαιτηθεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας. Κατά τη διάρκεια αυτής της κατεργασίας, συχνά παρατηρούνται αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση. Εάν η διεργασία σταματήσει έγκαιρα, μπορεί να προκύψει λεπτόκοκκη δομή.

### 2. **Ανόπτηση Εξομάλυνσης:**

Η ανόπτηση εξομάλυνσης χρησιμοποιείται κυρίως για τη βελτίωση της δομής των κόκκων σε χυτοχάλυβες ή σε χάλυβες που έχουν υποστεί υπερθέρμανση. Η διαδικασία αποσκοπεί στην επίτευξη ομοιόμορφης, φερριτοπερλιτικής και λεπτόκοκκης δομής. Στην διαδικασία αυτή ο χάλυβας θερμαίνεται κατά 55-85 °C υψηλότερα της αν κρίσιμης θερμοκρασίας  $A_{c3}$ .

### 3. **Πλήρης Ανόπτηση:**

Η πλήρης ανόπτηση εφαρμόζεται σε χάλυβες με χαμηλή ή μέση περιεκτικότητα σε άνθρακα που προορίζονται για περαιτέρω μορφοποιήσεις. Αυτή η κατεργασία έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την ανόπτηση εξομάλυνσης, αλλά απαιτεί περισσότερο χρόνο και στοχεύει στη μείωση των μηχανικών τάσεων και την αύξηση της αντοχής και της δυσθραυστότητας του χάλυβα. Σε αυτή την διαδικασία το κράμα ωστενιτοποιείται με θέρμανση κατά 15-40 °C υψηλότερα της καμπύλης  $A_{c3}$  μέχρι να αποκατασταθεί πλήρης ισορροπία.

### 4. **Ανόπτηση Ανακρυστάλλωσης:**

Η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται για την απομάκρυνση της ενδοτράχυνσης του μετάλλου και την προετοιμασία του για περαιτέρω μορφοποιήσεις, συνήθως μετά από ψυχρή έλαση. Η διαδικασία συνήθως πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες 650-750 °C

### 5. **Ανόπτηση Αποκατάστασης:**

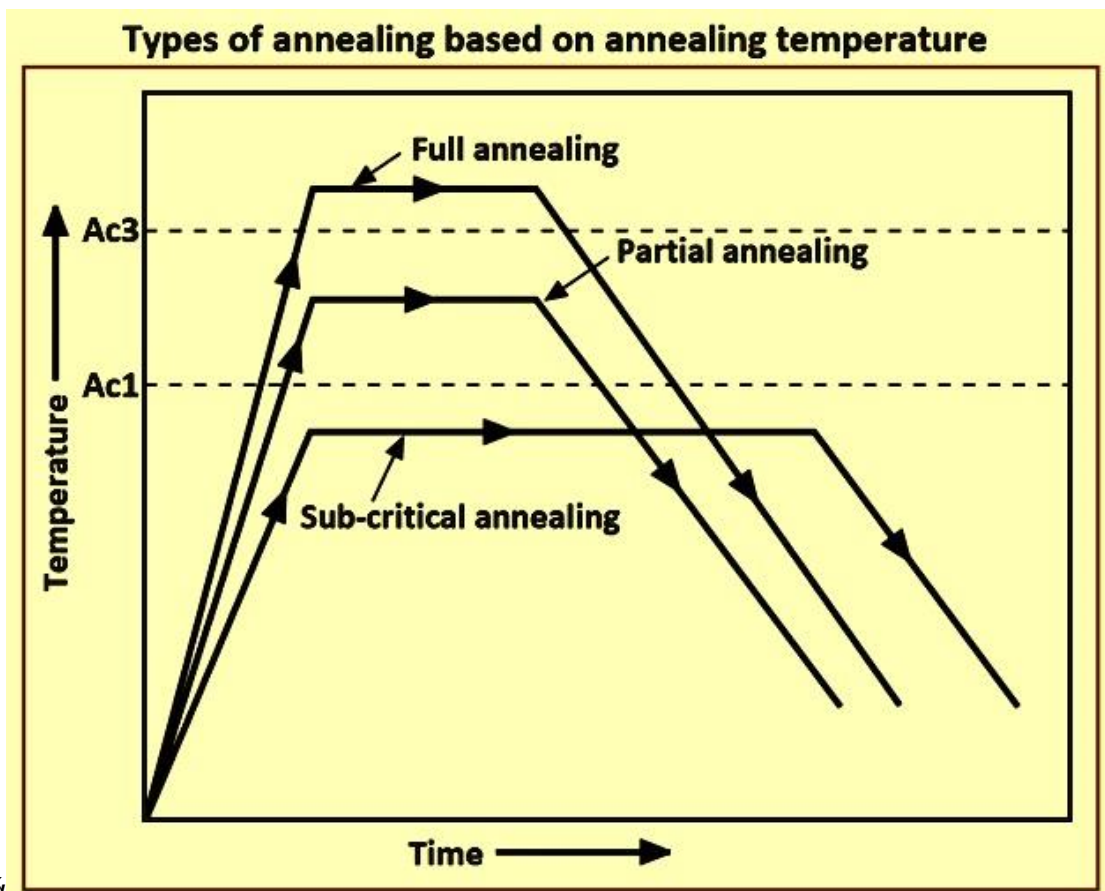
Η ανόπτηση αποκατάστασης έχει παρόμοιο στόχο με την ανόπτηση ανακρυστάλλωσης, αλλά πραγματοποιείται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες 450-600°C.

## 6. Αποτακτική Ανόπτηση:

Αυτή η διαδικασία εξαλείφει τις τάσεις που δημιουργήθηκαν κατά την παραγωγή ή επεξεργασία των χαλύβων, χωρίς να επηρεάζεται η μικροδομή του υλικού. Οι θερμοκρασίες για αυτή τη διαδικασία κυμαίνονται από 580-650°C.

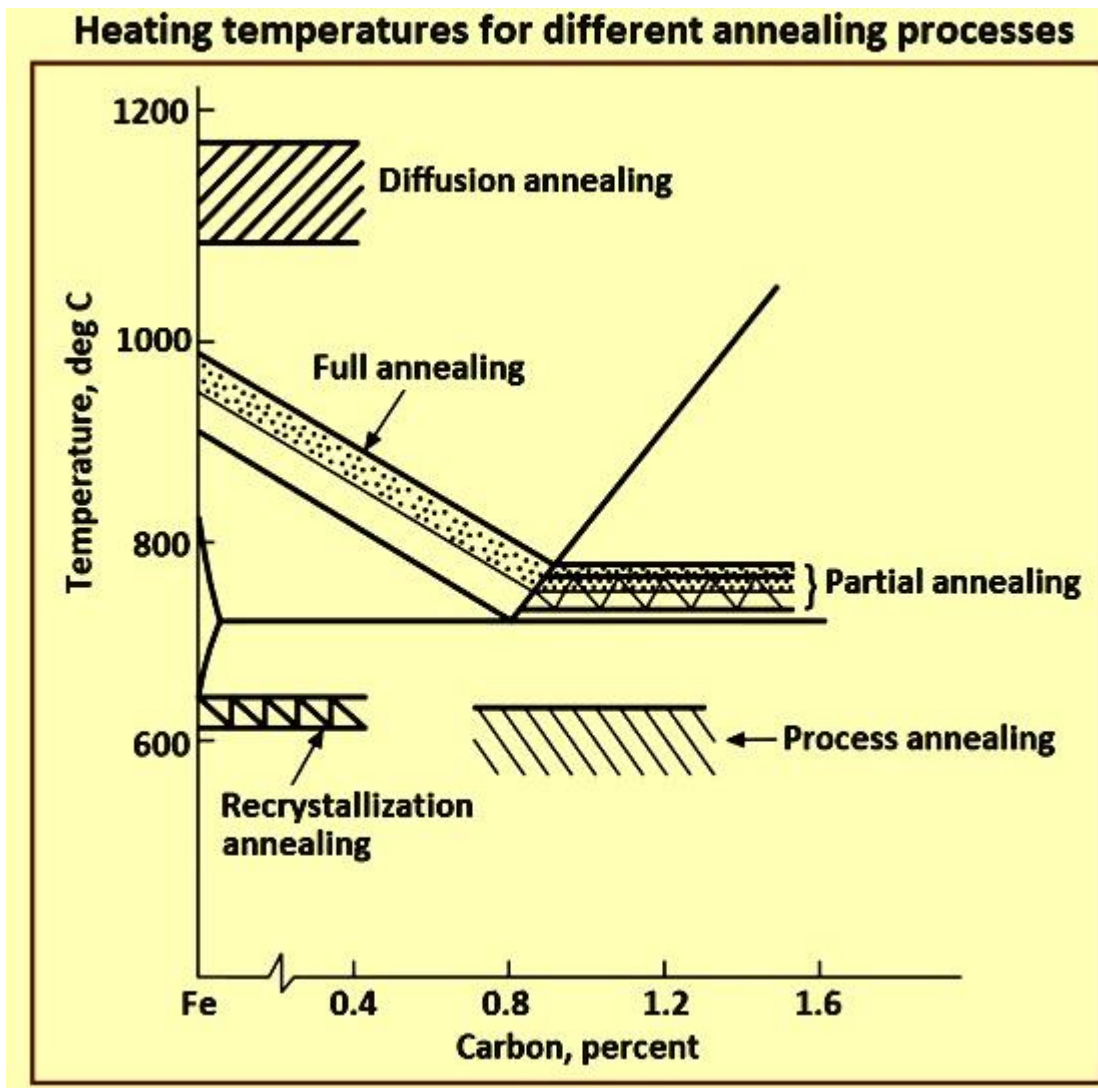
## 7. Ανόπτηση Σφαιροποίησης:

Η ανόπτηση αυτή προκαλεί τη σφαιροποίηση του σεμεντίτη, καθιστώντας το μέταλλο πιο μαλακό και εύκολα κατεργάσιμο. Η διαδικασία αυτή συνήθως πραγματοποιείται σε θερμοκρασία περίπου 700 °C. [1],[7],[10]



ά

Εικόνα 6.1 Τύποι ανόπτησης με βάση τη θερμοκρασία ανόπτησης [26]



Εικόνα 6.2 Θερμοκρασίες θέρμανσης για διαφορετικές διαδικασίες ανόπτησης [26]

## II. Βαφή Χαλύβων

### 1. Ωστενιτοποίηση:

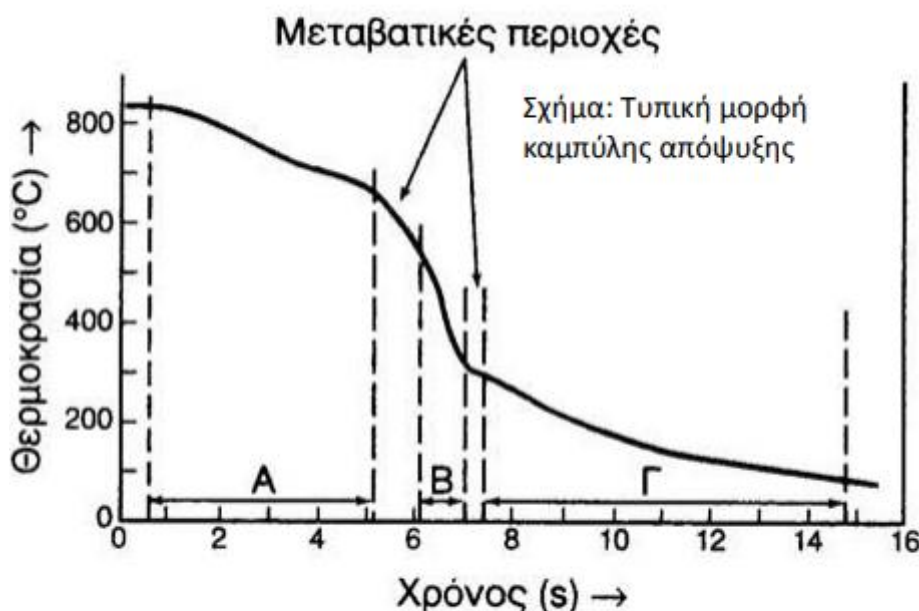
Η ωστενιτοποίηση είναι απαραίτητη για τη βαφή των χαλύβων και περιλαμβάνει τη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασία που υπερβαίνει την κρίσιμη θερμοκρασία κατά 50°C. Ο χάλυβας πρέπει να παραμείνει σε αυτήν τη θερμοκρασία αρκετό χρόνο για να επιτευχθεί πλήρης ωστενιτοποίηση, χωρίς όμως να αυξηθεί το μέγεθος των κόκκων. Είναι σημαντικό η θέρμανση να γίνεται αργά, λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της διατομής του αντικειμένου, για να αποφεύγονται διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ της επιφάνειας και του εσωτερικού, που θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε πλαστική παραμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος του ωστενίτη. Επιπλέον, για να αποφευχθεί η οξείδωση της επιφάνειας του αντικειμένου, η θέρμανση πραγματοποιείται σε φούρνους με ελεγχόμενη ατμόσφαιρα.

## 2. Βαφή

Η διαδικασία της θερμικής κατεργασίας των χαλύβων, γνωστή ως βαφή, περιλαμβάνει την ταχεία ψύξη του υλικού με σκοπό τη βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων. Η βαφή μπορεί να πραγματοποιηθεί σε φυσικό περιβάλλον, σε φούρνο με αργούς ρυθμούς, ή με τη χρήση υγρών μέσων που προσφέρουν ταχύτερη ψύξη. Η καμπύλη ψύξης ενός χάλυβα καταγράφει την μεταβολή της θερμοκρασίας κατά την ψύξη, απεικονίζοντας πώς αυτή μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου. Στο διάγραμμα παρατηρείται πάντα μείωση της θερμοκρασίας με την πάροδο του χρόνου, άλλοτε πιο απότομα και άλλοτε πιο σταδιακά.

### Διακριτές Περιοχές Ψύξης

- **Περιοχή Α:** Σε αυτήν την περιοχή, η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή ώστε να εξατμίζεται το υγρό ψύξης, δημιουργώντας ένα στρώμα ατμών γύρω από το αντικείμενο. Αυτό προκαλεί την ψύξη μέσω αγωγής και ακτινοβολίας, με την ταχύτητα ψύξης να είναι αργή.
- **Περιοχή Β:** Το στρώμα ατμών διαλύεται και εμφανίζεται βρασμός, οδηγώντας σε αισθητή μείωση της θερμοκρασίας και αύξηση του ρυθμού ψύξης σε σχέση με την προηγούμενη περιοχή.
- **Περιοχή Γ:** Η θερμοκρασία του μετάλλου φθάνει τη θερμοκρασία βρασμού του υγρού ψύξης, με τον ρυθμό ψύξης να είναι πλέον μικρότερος από αυτόν στις προηγούμενες δύο περιοχές. Η ταχύτητα ψύξης εξαρτάται από το είδος και τη θερμοκρασία του ψυκτικού μέσου, την ανάδευσή του, καθώς και από τα χαρακτηριστικά του μετάλλου, όπως η γεωμετρία, το μέγεθος, η μάζα και η επιφάνεια του αντικειμένου.[7],[10]



Εικόνα 6.3 [Από Γ.Δ Χρυσουλάκης , 2003, σ.475]

## Μέσα Βαφής

Διάφορα μέσα βαφής, όπως ο αέρας, το λάδι, το νερό και τα υδατικά διαλύματα αλάτων, παρουσιάζουν διαφορετικές ταχύτητες ψύξης. Το νερό και τα διαλύματα οργανικών αλάτων έχουν υψηλή ταχύτητα ψύξης σε όλες τις περιοχές. Ιδανικά, ένα μέσο βαφής πρέπει να παρέχει ταχεία ψύξη στην Περιοχή Α και πιο αργή στην Περιοχή Γ. Η δραστηριότητα του μέσου βαφής μετράται μέσω ενός συντελεστή που προσδιορίζει την αποτελεσματικότητά του και ονομάζεται συντελεστής grossman H. Ο συντελεστής αυτό αυξάνεται με την αύξηση της τιμής της ταχύτητας απόψυξης και έχει χαρακτηριστική τιμή για το κάθε μέσο βαφής.

## Εμβαπτότητα

Η εμβαπτότητα αναφέρεται στην ικανότητα ενός χάλυβα να σκληραίνει μετά τη βαφή, και μετράται μέσω της δοκιμής Jominy. Ένας χάλυβας με υψηλή εμβαπτότητα διατηρεί τη μαρτενσιτική δομή του σε μεγάλο βάθος από την επιφάνεια, ακόμη και όταν η ψύξη πραγματοποιείται στον αέρα. Η υψηλή εμβαπτότητα υποδηλώνει ότι η σκληρότητα του χάλυβα παραμένει σταθερή σε όλο το μήκος του δοκιμίου, καθώς η ταχύτητα ψύξης είναι μεγαλύτερη από την κρίσιμη.

Το βάθος βαφής εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, όπως η μάζα του χαλύβδινου αντικειμένου, η δραστηριότητα του λουτρού, το είδος του χάλυβα, οι προσθήκες στον χάλυβα και το μέγεθος των κόκκων του ωστενίτη.

## Τεχνικές Βαφής Χαλύβων

Η βαφή των χαλύβων πραγματοποιείται μέσω συνεχούς ή διακοπτόμενης απόψυξης. Ανάλογα με τις μικροδομές που προκύπτουν, διακρίνονται σε:

- Συνεχής μαρτενσιτική βαφή
- Κλιμακωτή μαρτενσιτική βαφή
- Κλιμακωτή μπαινιτική βαφή
- Κλιμακωτή μπαινιτομαρτενσιτική βαφή

## Επαναφορά Χαλύβων

Μετά τη βαφή, ακολουθεί η διαδικασία επαναφοράς, η οποία είναι απαραίτητη για να καταστεί ο χάλυβας χρησιμοποιήσιμος. Ο μαρτενσιτικός χάλυβας, που είναι εύθραυστος και σκληρός μετά τη βαφή, θερμαίνεται για συγκεκριμένο χρόνο και στη συνέχεια ψύχεται στον αέρα μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ο μαρτενσίτης να σταθεροποιείται και ο χάλυβας να αποκτά δυσθραυστότητα και ολκιμότητα, με ταυτόχρονη μείωση της σκληρότητας.

## Οφέλη της Επαναφοράς

- Αύξηση της δυσθραυστότητας
- Βελτίωση της ολκιμότητας
- Απαλλαγή της μικροδομής του χάλυβα από εσωτερικές τάσεις
- Μετασχηματισμός του υπολειπόμενου ωστενίτη σε μαρτενσίτη.[10]

## 6.2 Επιφανειακές κατεργασίες χαλύβων

Κατά την κατασκευή ενός εξαρτήματος, εκτός από την επιλογή του υλικού και της μεθόδου επεξεργασίας, οι ιδιότητες της επιφάνειάς του παίζουν κρίσιμο ρόλο. Υπάρχουν πολλές τεχνικές που μπορούν να μεταβάλλουν την επιφάνεια ενός εξαρτήματος, είτε για να βελτιώσουν τα τεχνικά χαρακτηριστικά του είτε για αισθητικούς σκοπούς. Συνεπώς, συχνά μετά την παραγωγή ενός εργαλείου ή εξαρτήματος, απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία για την απόκτηση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Οι βασικοί λόγοι για την εφαρμογή επιφανειακών κατεργασιών είναι οι εξής:

- Βελτίωση αντοχής στη φθορά και τη διάβρωση.
- Ενίσχυση της αντοχής σε κόπωση.
- Επιδιόρθωση φθαρμένων επιφανειών.
- Τροποποίηση της υφής της επιφάνειας.
- Προσθήκη διακοσμητικών στοιχείων.
- Μείωση της φθοράς πρόσφυσης.

### 6.2.1 Μηχανικές επιφανειακές κατεργασίες

#### Σφαιροβολή

Η σφαιροβολή περιλαμβάνει τη χρήση μικρών σφαιριδίων με διάμετρο 0,125mm έως 5mm, κατασκευασμένα συνήθως από χυτοσίδηρο, γυαλί ή κεραμικό. Αυτά τα σφαιρίδια προσκρούουν στην επιφάνεια του εξαρτήματος, προκαλώντας πλαστική παραμόρφωση στο επιφανειακό στρώμα πάχους περίπου 1,25mm. Οι παραμένουσες θλιπτικές τάσεις που δημιουργούνται από την πλαστική παραμόρφωση αυξάνουν την αντοχή σε κόπωση του εξαρτήματος. Ωστόσο, είναι σημαντική η σωστή ρύθμιση των παραμέτρων της διαδικασίας για την αποφυγή καταστροφής της επιφάνειας. Η σφαιροβολή εφαρμόζεται σε εξαρτήματα όπως οδοντωτοί τροχοί, πτερύγια στροβίλων, άξονες και ελατήρια.

#### Σκλήρυνση με Δέσμη Laser

Αναπτύχθηκε στα μέσα της δεκαετίας του 1960 και χρησιμοποιείται για την επιφανειακή σκλήρυνση μέσω εφαρμογής κρουστικών κυμάτων laser. Η διαδικασία αυτή δημιουργεί στρώματα παραμενουσών θλιπτικών τάσεων με πάχος περίπου 1mm και χαμηλό ποσοστό εργοσκλήρυνσης. Εφαρμόζεται κυρίως σε χάλυβες, κράματα νικελίου και τιτανίου για την αύξηση της αντοχής σε διάβρωση και κόπωση.

#### Εκρηκτική Σκλήρυνση

Σε αυτή τη μέθοδο, τοποθετείται εκρηκτική ύλη στην επιφάνεια του εξαρτήματος, η οποία με την εκτόνωσή της προκαλεί υψηλές πιέσεις της τάξεως των 35GPa για 2-3 μικροδευτερόλεπτα. Αυτή η κατεργασία αυξάνει τη σκληρότητα της επιφάνειας με ελάχιστη μεταβολή της γεωμετρίας. Ένα παράδειγμα εφαρμογής είναι στις σιδηροδρομικές τροχιές.

## **Στίλβωση με Ράουλο (κύλινδρος επενδεδυμένος με λειαντικά υλικά, )**

Η στίλβωση με ράουλο, γνωστή και ως επιφανειακή έλαση, περιλαμβάνει την κατεργασία εν ψυχρώ της επιφάνειας του εξαρτήματος με τη χρήση ενός ή περισσότερων ράουλων. Το ράουλο περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα και ασκεί σταθερή πίεση στην επιφάνεια του υλικού, αφαιρώντας μικροσκοπικές ανωμαλίες και γραμμές, ώστε η επιφάνεια να αποκτήσει λείο φινίρισμα. Αυτή η μέθοδος βελτιώνει την ποιότητα της επιφάνειας, την αντοχή στη διάβρωση και τις μηχανικές ιδιότητες. Χρησιμοποιείται σε υδραυλικά συστήματα, ατράκτους και βαλβίδες.

## **Σκλήρυνση με Δέσμη Ύδατος**

Σε αυτή τη μέθοδο, μια δέσμη ύδατος υψηλής πίεσης (400 MPa) προσκρούει στην επιφάνεια του εξαρτήματος, δημιουργώντας θλιπτικές παραμένουσες τάσεις που αυξάνουν την επιφανειακή και υποεπιφανειακή σκληρότητα. Η σκλήρυνση με δέσμη ύδατος εφαρμόζεται σε χάλυβες και κράματα αλουμινίου, αλλά απαιτεί προσεκτικό έλεγχο των παραμέτρων για την αποφυγή επιφανειακών βλαβών.

## **Σκλήρυνση με Υπερήχους**

Η σκλήρυνση με υπερήχους χρησιμοποιεί ένα εργαλείο χειρός που δονείται μέσω πιεζοηλεκτρικού διεγέρτη με συχνότητα 22kHz, προκαλώντας επιφανειακή σκλήρυνση.

## **6.2.2 Μηχανική επιμετάλλωση και μεταλλικές επενδύσεις**

### **Μηχανική Επιμετάλλωση**

Αυτή η διαδικασία εφαρμόζεται κυρίως σε σκληρυμένα χαλύβδινα στοιχεία και περιλαμβάνει την εν ψυχρώ συγκόλληση μεταλλικών σωματιδίων στην επιφάνεια του εξαρτήματος, μέσω της συμπίεσής τους από κινούμενα σφαιρίδια.

### **Μεταλλικές Επενδύσεις**

Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την επένδυση ενός μετάλλου με στρώση άλλου μετάλλου μικρού πάχους, για την αύξηση της αντοχής στη διάβρωση. Μπορεί να γίνει μέσω συμπίεσης με ράουλα ή άλλες τεχνικές, όπως εκρηκτική συμπίεση. Ένα παράδειγμα είναι η επένδυση ενός κράματος αλουμινίου με ένα ανθεκτικό στη διάβρωση αλουμίνιο (Alclad).



### **6.2.3 Επιφανειακή σκλήρυνση με επιγομώσεις και εμποτισμό**

#### **Επιγομώσεις**

Οι επιγομώσεις αφορούν την εφαρμογή ενός υλικού με υψηλή αντοχή στη φθορά στην επιφάνεια του εξαρτήματος μέσω τεχνικών συγκόλλησης τήξεως, για την αποκατάσταση φθαρμένων επιφανειών.

#### **Εμποτισμός**

Ο εμποτισμός είναι μια θερμική διαδικασία που βελτιώνει τις επιφανειακές ιδιότητες, όπως η αντοχή στη φθορά και στη χάραξη, δημιουργώντας παραμένουσες θλιπτικές τάσεις. Δημοφιλείς τεχνικές εμποτισμού περιλαμβάνουν την ενανθράκωση, την ενδοκυάνωση, και την εναζώτωση, μεταξύ άλλων.

### **6.2.4 Θερμικός Ψεκασμός**

Ο θερμικός ψεκασμός αναφέρεται σε μια σειρά από τεχνικές όπου υλικά όπως καρβίδια, κράματα, μέταλλα και πολυμερή εφαρμόζονται σε μεταλλικές επιφάνειες με τη χρήση ακροφυσίων ψεκασμού. Αυτά τα ακροφύσια διοχετεύουν αέρια ρεύματα, τα οποία θερμαίνονται μέσω ηλεκτρικού τόξου, τόξου πλάσματος ή φλόγας οξυγόνου/καυσίμου. Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι θερμικού ψεκασμού, όπως ο θερμικός ψεκασμός με μεταλλική σκόνη, με σύρμα ή με πλάσμα. Κατά τη διαδικασία αυτή, τηγμένα σωματίδια εκτοξεύονται με ταχύτητες που κυμαίνονται από 150 έως 1000 m/s και θερμοκρασίες που κυμαίνονται από 3000 έως 8000°C, προσπίπτοντας στην επιφάνεια του εξαρτήματος. Οι επιστρώσεις που δημιουργούνται είναι στρωματικές, παρουσιάζουν σημαντικό πορώδες, υψηλή σκληρότητα και αυξημένη αντοχή στη φθορά. Τέλος, οι πηγές ενέργειας για αυτές τις κατεργασίες μπορεί να είναι είτε ηλεκτρικές είτε προερχόμενες από χημική καύση.

### **6.2.5 Ψυχρός Ψεκασμός**

Στον ψυχρό ψεκασμό, τα σωματίδια δεν υφίστανται τήξη σε υψηλές θερμοκρασίες. Αντίθετα, διατηρούνται σε χαμηλές θερμοκρασίες, γεγονός που μειώνει την πιθανότητα οξειδωσης. Εξαιτίας της μικρής διαμέτρου της δέσμης ψεκασμού, οι ταχύτητες των σωματιδίων είναι υψηλές, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η αντοχή πρόσφυσης των σωματιδίων στην επιφάνεια του κατεργαζόμενου εξαρτήματος.

### **6.2.6 Εναπόθεση Ατμών**

Κατά την εναπόθεση ατμών, το κατεργαζόμενο εξάρτημα εκτίθεται σε αέρια που περιέχουν ενώσεις του υλικού που πρόκειται να εναποτεθεί. Το πάχος των επιστρώσεων είναι εξαιρετικά μικρό και μπορεί να εφαρμοστεί σε επιφάνειες από πλαστικό, μέταλλο, χαρτί κ.ά. Τα υλικά επιστρώσεων περιλαμβάνουν κράματα, κεραμικά, βορίδια, οξείδια και μέταλλα. Αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται σε μήτρες κάμψης, διαμόρφωσης, κοπτικά εργαλεία και επιφάνειες φθοράς. Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες εναπόθεσης ατμών: η φυσική και η χημική. Στη φυσική εναπόθεση ατμών, συναντάμε τεχνικές όπως η εναπόθεση εν κενώ, η ιοντική επιμετάλλωση και η ιοντοβολή.

### **6.2.7 Κατεργασίες με Χρήση Δέσμης Laser**

Η δέσμη laser κερδίζει συνεχώς έδαφος σε εφαρμογές που αφορούν συγκόλληση, μηχανουργικές κατεργασίες και επιφανειακές επεξεργασίες, όπως σκλήρυνση και

διαμόρφωση υφής επιφανειών. Οι πηγές laser προσφέρουν μια εξαιρετικά αποτελεσματική και αξιόπιστη επιλογή με μεγάλη ποικιλία λειτουργικών παραμέτρων, επιτρέποντας την προσαρμογή τους σε κάθε επιφανειακή κατεργασία.

### **6.2.8 Εμφύτευση Ιόντων και Επιστρώσεις Διάχυσης**

Στην εμφύτευση ιόντων, φορτισμένα άτομα επιταχύνονται σε θάλαμο κενού και εμφυτεύονται στην επιφάνεια του εξαρτήματος σε βάθος μερικών μικρομέτρων. Η τεχνική αυτή μπορεί να εφαρμοστεί σε συγκεκριμένες περιοχές της επιφάνειας, αφήνοντας τις υπόλοιπες αμετάβλητες. Το αποτέλεσμα είναι η αύξηση της σκληρότητας και η βελτίωση της αντοχής σε φθορά, διάβρωση και τριβή, με αξιοσημείωτα αποτελέσματα σε υλικά όπως ανοξείδωτοι χάλυβες, αλουμίνιο, τιτάνιο και καρβίδια. Οι επιστρώσεις διάχυσης επιτυγχάνονται με τη διάχυση ενός στοιχείου κραμάτωσης, συνήθως σε χάλυβα. Ανάλογα με το στοιχείο που διαχέεται, οι τεχνικές περιλαμβάνουν τη βορίωση, ενανθράκωση και εναζώτωση.

### **6.2.9 Επιμετάλλωση με και Χωρίς Ηλεκτρόλυση και Ηλεκτροδιαμόρφωση**

Η επιμετάλλωση είναι μια κατεργασία που βελτιώνει την αντοχή στη διάβρωση, την εμφάνιση και την ηλεκτρική αγωγιμότητα μιας επιφάνειας. Στην ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, η επιφάνεια επικαλύπτεται με διαφορετικό μέταλλο μέσω ενός υδατικού διαλύματος ηλεκτρολύτη, με την εξής διαδικασία: εξαγωγή των ιόντων από το μέταλλο, διάλυσή τους στο υδατικό περιβάλλον και τελική εναπόθεση στο τεμάχιο. Η μη ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση, αν και πιο δαπανηρή, παράγει ομοιόμορφο πάχος επίστρωσης χωρίς εξωτερική πηγή ρεύματος. Συνήθως χρησιμοποιείται νικέλιο, το οποίο προσφέρει αντοχή στη φθορά και διάβρωση, καθώς και αυξημένη σκληρότητα. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για την κάλυψη εσοχών, κοιλοτήτων και εσωτερικών αγωγών. Η ηλεκτροδιαμόρφωση περιλαμβάνει την εναπόθεση μετάλλου στην επιφάνεια μιας μήτρας, η οποία στη συνέχεια αφαιρείται, αφήνοντας πίσω μια μεταλλική επίστρωση. Αυτή η διαδικασία παράγει πολύπλοκα γεωμετρικά τεμάχια από υλικά όπως χρυσός, νικέλιο, χαλκός και άργυρος, αλλά συνήθως σε μικρές ποσότητες.

### **6.2.10 Επιστρώσεις Μετατροπής**

Οι επιστρώσεις μετατροπής αποτελούν μια διαδικασία κατά την οποία σχηματίζονται επιστρώσεις μέσω χημικών ή ηλεκτροχημικών αντιδράσεων. Αυτές οι επιστρώσεις δημιουργούνται με τη χρήση διαλυμάτων χρωμικών, φωσφορικών ή οξαλικών αλάτων και εφαρμόζονται σε μέταλλα όπως ο χάλυβας, ο ψευδάργυρος και το αλουμίνιο, παρέχοντας προστασία από τη διάβρωση και προετοιμάζοντας τις επιφάνειες για διακόσμηση και βαφή. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται επίσης για την επίστρωση μετατροπής κατεργαζόμενων τεμαχίων, συχνά με εφαρμογή οξαλικού και φωσφορικού ψευδαργύρου. Οι δύο πιο συνήθεις μέθοδοι εφαρμογής αυτών των επιστρώσεων είναι ο ψεκασμός και η εμβάπτιση.

### **Ανοδίωση**

Κατά την ανοδίωση, το τεμάχιο τοποθετείται σε λουτρό οξέος και λειτουργεί ως άνοδος σε ένα ηλεκτρολυτικό κύτταρο. Στη διαδικασία αυτή, το οξυγόνο από το λουτρό προσροφάται στην επιφάνεια του τεμαχίου, οδηγώντας σε οξειδωση που καθιστά την επιφάνεια σκληρή και πορώδη, μετατρέποντάς την σε οξειδίο. Η επιφάνεια αυτή είναι

ιδανική για χρωματισμό με οργανικές βαφές. Η ανοδίωση εφαρμόζεται συχνά σε έπιπλα, αθλητικά είδη, κλειδιά και πλαίσια φωτογραφιών.

## **Χρωματισμός**

Ο χρωματισμός αφορά την αλλαγή του χρώματος της επιφάνειας ενός κατεργαζόμενου τεμαχίου, που μπορεί να είναι από κεραμικό, μέταλλο ή κράμα. Ο χρωματισμός επιτυγχάνεται μέσω χημικών, ηλεκτροχημικών ή θερμικών διεργασιών, όπου μέσω αντιδράσεων δημιουργείται το επιθυμητό χρώμα.

### **6.2.11 Εμβάπτιση Εν Θερμώ**

Στην εμβάπτιση εν θερμώ, το τεμάχιο, συνήθως χάλυβας ή σίδηρος, βυθίζεται σε ένα λουτρό που περιέχει μέταλλο σε υγρή κατάσταση. Το μέταλλο αυτό ποικίλλει ανάλογα με το επιθυμητό τελικό προϊόν. Παρακάτω αναφέρονται ορισμένες εφαρμογές:

- Για γαλβανισμένα ελάσματα χάλυβα και είδη υδραυλικής, χρησιμοποιείται ψευδάργυρος.
- Για την επικασσιτέρωση σκευών αποθήκευσης τροφίμων, χρησιμοποιείται κασσίτερος.
- Για επαργύρωση, χρησιμοποιούνται αλουμίνιο και κράμα μολύβδου-κασσίτερου.

### **6.2.12 Επιχρίσματα και Επιστρώσεις: Σμάλτα, Κεραμικά και Οργανικά Υλικά**

Πολύ συχνά γίνεται χρήση σμάλτων, δηλαδή, υαλωδών επιστρώσεων με στόχο την αποφυγή φθορών, διάβρωσης και την βελτιστοποίηση των ιδιοτήτων των επιφανειών των μετάλλων που υπάρχουν ως υλικό υπόβαθρο στο εκάστοτε τεμάχιο.

#### **Σμάλτα Πορσελάνης:**

Τα μέταλλα επικαλύπτονται με υαλώδεις επιστρώσεις, γνωστές ως σμάλτα ή επιχρίσματα πορσελάνης, που παρέχουν προστασία σε υψηλές θερμοκρασίες και αντίσταση στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Το σμάλτο περιλαμβάνει οξειδία μετάλλων και εφαρμόζεται με εμβάπτιση, ψεκασμό ή ηλεκτρολυτική απόθεση σε θερμοκρασίες από 425 έως 1000 °C (800-1800 °F). Η επίστρωση έχει πάχος συνήθως 0.05-0.6 mm (0.002-0.025 in.) και προσφέρει αντοχή σε αλκαλίες, οξέα και νερό. Χρησιμοποιείται σε οικιακές συσκευές, υδραυλικά εξαρτήματα, σκεύη ψησίματος και ως προστατευτική επίστρωση σε εξαρτήματα στροβιλοκινητήρων.

#### **Κεραμικές Επιστρώσεις:**

Κεραμικά υλικά, όπως το οξείδιο του αλουμινίου και το οξείδιο του ζirkονίου, εφαρμόζονται σε μεταλλικά υποστρώματα και έπονται επεξεργασίας με θερμικό ψεκασμό. Αυτές οι επιστρώσεις δρουν ως θερμικοί φραγμοί και χρησιμοποιούνται σε εξαρτήματα στροβίλων, ντιζελοκινητήρων και πυραυλοκινητήρων, καθώς και σε εφαρμογές που απαιτούν ηλεκτρική αντίσταση.

## **Οργανικές Επιστρώσεις:**

Οι οργανικές επιστρώσεις προσφέρουν βελτιωμένη εμφάνιση και αντίσταση στη διάβρωση σε μεταλλικές επιφάνειες. Εφαρμόζονται σε πάχος 0.0025-0.2 mm (0.0001-0.008 in.) και χρησιμοποιούνται σε προϊόντα όπως οικιακές συσκευές, έπιπλα και διαχωριστικά. Σημαντικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την προστασία αεροσκαφών του ναυτικού από υγρασία, βροχή, θαλασσίνο νερό και άλλες χημικές ουσίες, με εποξειδική ρητίνη και πολυουρεθάνη.

### **6.2.13 Επιστρώσεις Διαμαντιού και Άνθρακα Τύπου Διαμαντιού**

#### **Επιστρώσεις Διαμαντιού:**

Η εφαρμογή επιστρώσεων διαμαντιού έχει εξελιχθεί σημαντικά χάρη σε τεχνικές όπως η χημική εναπόθεση ατμών (CVD) και η φυσική εναπόθεση ατμών (PVD) υποβοηθούμενη από πλάσμα. Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν την επικάλυψη διαμαντιού σε διάφορους τύπους υποστρωμάτων, όπως μέταλλα, υάλους, κεραμικά και πλαστικά. Ορισμένα παραδείγματα χρήσης περιλαμβάνουν:

- Υαλοπίνακες υψηλής αντοχής, που χρησιμοποιούνται σε αεροσκάφη και στρατιωτικά οχήματα για προστασία από άμμο.
- Κοπτικά εργαλεία, όπως ένθετα πλακίδια και τρυπάνια.
- Χειρουργικά νυστέρια, ξυριστικές λεπίδες, ηλεκτρονικοί ανιχνευτές και αισθητήρες.
- Πτερύγια στροβίλων και ακροφύσια έγχυσης καυσίμου.

Επιπλέον, αναπτύσσονται αυτοδύναμες στρώσεις διαμαντιού με πάχος περίπου 1 mm και διάμετρο έως 125 mm, οι οποίες είναι λείες, κόβονται με δέσμες laser και μπορούν να συγκολληθούν σε επιφάνειες.

#### **Άνθρακας Τύπου Διαμαντιού (DLC):**

Οι επιστρώσεις DLC, που έχουν πάχος μερικών νανομέτρων, συνδυάζουν ιδιότητες του διαμαντιού και του γραφίτη. Εφαρμόζονται μέσω φυσικής εναπόθεσης ατμών υποβοηθούμενη από δέσμη ιόντων και είναι λιγότερο δαπανηρές από τις επιστρώσεις διαμαντιού. Παρ' όλα αυτά, προσφέρουν παρόμοιες ιδιότητες όπως χαμηλή φθορά και υψηλή σκληρότητα, και χρησιμοποιούνται σε:

- Κοπτικά εργαλεία, μήτρες διαμόρφωσης, εξαρτήματα κινητήρων, οδοντωτούς τροχούς, έδρανα, διατάξεις MEMS και μικρούς ανιχνευτές.

Η σκληρότητα του DLC μπορεί να φτάσει τα 5000 HV, σχεδόν διπλάσια από αυτήν του διαμαντιού.[2]

## 7 Επιβελτιώσεις

Η επιβελτίωση χάλυβα είναι η διαδικασία βελτίωσης των ιδιοτήτων του χάλυβα μέσω διάφορων τεχνικών και μεθόδων. Αυτές οι βελτιώσεις μπορούν να αφορούν τη μηχανική αντοχή, τη σκληρότητα, την αντοχή στη διάβρωση, την ευκαμψία και άλλες φυσικές ή χημικές ιδιότητες που κάνουν τον χάλυβα πιο κατάλληλο για συγκεκριμένες εφαρμογές.

Μερικές από τις πιο κοινές μεθόδους επιβελτίωσης του χάλυβα περιλαμβάνουν:

1. **Θερμική επεξεργασία:** Μέθοδοι όπως η σκλήρυνση, η απόσκληση και η ανόπτηση χρησιμοποιούνται για να αλλάξουν τις ιδιότητες του χάλυβα, όπως η σκληρότητα και η αντοχή του.
2. **Επιφανειακή κατεργασία:** Τεχνικές όπως η επιφανειακή νίτρωση, η κατεργασία με πλάσμα και η επίστρωση χρησιμοποιούνται για να βελτιώσουν την αντοχή στη φθορά και στη διάβρωση του χάλυβα.
3. **Χημικές τροποποιήσεις:** Αυτές μπορεί να περιλαμβάνουν την προσθήκη στοιχείων όπως το χρώμιο, το νικέλιο, το μολυβδαίνιο και άλλα, για να παραχθούν κράματα χάλυβα με ειδικές ιδιότητες, όπως η ανοξείδωτη αντοχή.
4. **Πλαστική παραμόρφωση:** Μέσω διαδικασιών όπως η ψυχρή έλαση, ο χάλυβας μπορεί να βελτιωθεί σε αντοχή και σκληρότητα.

Ο συνδυασμός της βαφής και της επαναφοράς χαρακτηρίζεται επιβελτίωση του χάλυβα.

## 8 Επικαλύψεις

Οι επικαλύψεις χαλύβων αποτελούν κρίσιμες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την προστασία και την ενίσχυση της επιφάνειας του χάλυβα, με σκοπό τη βελτίωση της απόδοσης και της διάρκειας ζωής των μεταλλικών κατασκευών. Αυτές οι επικαλύψεις παρέχουν αυξημένη αντοχή στη διάβρωση, την τριβή, και άλλους περιβαλλοντικούς παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του χάλυβα. Η εφαρμογή των επικαλύψεων καθιστά τα προϊόντα από χάλυβα πιο ανθεκτικά, ακόμα και στις πιο απαιτητικές συνθήκες χρήσης.

### 8.1 Κατηγοριοποίηση Επικαλύψεων

Οι επικαλύψεις χαλύβων ταξινομούνται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με το υλικό και την τεχνική εφαρμογής. Ορισμένες από τις πιο διαδεδομένες μέθοδοι περιλαμβάνουν:

1. **Γαλβανισμός:** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει την επικάλυψη του χάλυβα με ψευδάργυρο για την πρόληψη της διάβρωσης. Ο γαλβανισμός είναι ιδανικός για εφαρμογές σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία ή έκθεση σε αλμυρό νερό, όπως στις κατασκευές πλοίων και τις υπαίθριες κατασκευές.
2. **Επιχρωμίωση:** Η επιχρωμίωση χρησιμοποιεί χρώμιο για να αυξήσει την αντοχή του χάλυβα στη διάβρωση και να προσδώσει μια ελκυστική, λαμπερή επιφάνεια. Είναι ιδιαίτερα δημοφιλής στην αυτοκινητοβιομηχανία και σε άλλες εφαρμογές όπου η εμφάνιση παίζει σημαντικό ρόλο.
3. **Επιφανειακές Επικαλύψεις με Πολυμερή ή Κεραμικά Υλικά:** Αυτές οι επικαλύψεις παρέχουν πρόσθετη προστασία έναντι της φθοράς και της διάβρωσης, καθώς και βελτιωμένη αντοχή στη θερμότητα. Χρησιμοποιούνται

ευρέως σε εξαρτήματα που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες ή σκληρές χημικές ουσίες.

4. **Επιμετάλλωση με Κράματα:** Η μέθοδος αυτή περιλαμβάνει την επικάλυψη του χάλυβα με κράματα όπως το νικέλιο ή το μολυβδαίνιο για τη βελτίωση της αντοχής του σε χημικά περιβάλλοντα. Η επιμετάλλωση με κράματα εφαρμόζεται συχνά σε εξοπλισμό χημικής βιομηχανίας και σε βιομηχανίες παραγωγής ενέργειας.

Αυτές οι τεχνολογίες επικαλύψεων έχουν εκτεταμένες εφαρμογές σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς, όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η ναυπηγική, και η κατασκευή δομικών υλικών. Η χρήση τους συμβάλλει στην παράταση της διάρκειας ζωής των χαλύβων και στην ενίσχυση των επιδόσεών τους σε συνθήκες υψηλών απαιτήσεων.

## 8.2 Επικάλυψη με Στελίτη

Η επικάλυψη με στελίτη (Stellite) είναι μια εξειδικευμένη διαδικασία που αφορά την εφαρμογή ενός κράματος στελίτη στην επιφάνεια ενός μετάλλου, συνήθως χάλυβα, με σκοπό τη σημαντική βελτίωση της αντοχής του στη φθορά, τη διάβρωση, και τη θερμότητα. Ο στελίτης, που είναι ένα κράμα που περιέχει κυρίως κοβάλτιο, χρώμιο και βολφράμιο, είναι γνωστό για την υψηλή σκληρότητα και αντοχή του σε ακραίες συνθήκες λειτουργίας.

Η χρήση του στελίτη στις επικαλύψεις χαλύβων παρέχει τα εξής πλεονεκτήματα:

1. **Ανθεκτικότητα στη Φθορά:** Το στελίτη προσφέρει εξαιρετική αντοχή στην τριβή και στη φθορά, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές όπου τα εξαρτήματα υπόκεινται σε συνεχή φθορά, όπως εργαλεία κοπής, εξαρτήματα μηχανών, και βαλβίδες.
2. **Ανθεκτικότητα στη Διάβρωση:** Λόγω της υψηλής περιεκτικότητάς του σε χρώμιο, το στελίτη προσφέρει επίσης σημαντική αντοχή στη διάβρωση, κάτι που το καθιστά πολύτιμο σε χημικές βιομηχανίες και περιβάλλοντα με διαβρωτικά μέσα, όπως υγρά καύσιμα και οξέα.
3. **Ανθεκτικότητα στη Θερμότητα:** Το στελίτη διατηρεί την αντοχή και τις μηχανικές του ιδιότητες σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, καθιστώντας το ιδανικό για εφαρμογές σε κινητήρες, αεριοστρόβιλους, και άλλες κατασκευές που λειτουργούν σε ακραίες θερμικές συνθήκες.

Η διαδικασία επικάλυψης με στελίτη μπορεί να πραγματοποιηθεί μέσω διαφόρων τεχνικών, όπως η συγκόλληση, ο ψεκασμός πλάσματος, ή άλλες μέθοδοι εφαρμογής υλικών σε επιφάνειες. Αυτές οι τεχνικές χρησιμοποιούνται σε πολλούς τομείς, όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία, και η παραγωγή ενέργειας, για την αύξηση της διάρκειας ζωής και της απόδοσης των εξαρτημάτων σε απαιτητικές συνθήκες.

## 8.3 Διαδικασία Εναπόθεσης

Η διαδικασία εναπόθεσης στελίτη αφορά την εφαρμογή του κράματος στην επιφάνεια χάλυβα ή άλλου υλικού για την αύξηση της αντοχής του στη φθορά, τη διάβρωση και τη θερμότητα. Οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι εναπόθεσης στελίτη περιλαμβάνουν:

1. **Επικάλυψη με Συγκόλληση (Weld Overlay):** Στη μέθοδο αυτή, το στελίτη εφαρμόζεται στην επιφάνεια μέσω συγκόλλησης, συνήθως χρησιμοποιώντας τεχνικές όπως η συγκόλληση τόξου (arc welding) ή η συγκόλληση με αέριο (TIG, MIG). Αυτή η διαδικασία επιτρέπει την εφαρμογή του στελίτη σε κρίσιμα σημεία που υπόκεινται σε έντονη φθορά και θερμικά φορτία.
2. **Θερμικός Ψεκασμός (Thermal Spraying):** Αυτή η μέθοδος περιλαμβάνει τη χρήση θερμικού ψεκασμού για την εναπόθεση του στελίτη στην επιφάνεια του υλικού. Το υλικό του στελίτη θερμαίνεται σε υψηλές θερμοκρασίες και ψεκάζεται στην επιφάνεια με μεγάλη ταχύτητα, δημιουργώντας μια ανθεκτική και σκληρή επικάλυψη.
3. **Επικάλυψη με Ψεκασμό Πλάσματος (Plasma Spraying):** Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί ένα ηλεκτρικό τόξο για να δημιουργήσει πλάσμα, το οποίο λιώνει το υλικό του στελίτη και το εφαρμόζει στην επιφάνεια του εξαρτήματος. Αυτή η τεχνική προσφέρει υψηλή ακρίβεια και είναι κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν εξαιρετικά ανθεκτική επικάλυψη.
4. **Λειοτεχνική Εναπόθεση (Laser Cladding):** Σε αυτή τη μέθοδο, το στελίτη εφαρμόζεται μέσω δέσμης λέιζερ που λιώνει το κράμα και το συνενώνει με την επιφάνεια του υλικού. Η λειοτεχνική εναπόθεση προσφέρει υψηλή ακρίβεια, ελάχιστη θερμική παραμόρφωση του βασικού υλικού, και είναι ιδιαίτερα αποτελεσματική για εφαρμογές υψηλής ακρίβειας.

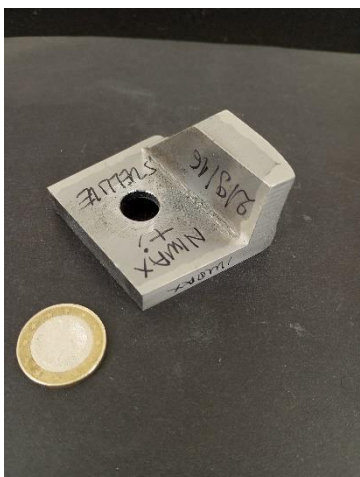
Οι παραπάνω τεχνικές εφαρμογής στελίτη συμβάλλουν σημαντικά στην αύξηση της διάρκειας ζωής και της αξιοπιστίας των μεταλλικών κατασκευών σε περιβάλλοντα με ακραίες συνθήκες λειτουργίας, προσφέροντας μοναδικά πλεονεκτήματα που τις καθιστούν απαραίτητες σε κρίσιμες βιομηχανικές εφαρμογές.

## 9 Ανάλυση αστοχίας εργαλείων

### 9.1 Συλλογή ιστορικών δεδομένων

#### Εξαρτήματα που αστόχησαν

Τα εξαρτήματα που μελετάμε για την αστοχία τους κατά την αυξημένη παραγωγή πούδρας είναι εξαρτήματα του μύλου. Στον συγκεκριμένο μύλο, τα εξαρτήματα είναι έξι και τοποθετούνται στην περιφέρεια του δίσκου, με τα απέναντι να είναι ισοβαρή μεταξύ τους. Τα εξαρτήματα τοποθετούνται με την μεγαλύτερη επιφάνειά τους να εφάπτεται στον δίσκο. Η επιφάνεια που εφάπτεται στον δίσκο διαθέτει μια οπή για την τοποθέτηση κοχλία, προκειμένου να σταθεροποιηθεί το εξάρτημα στον δίσκο. Επομένως, αναμένουμε φθορές στα σημεία επαφής του κοχλία με το εξάρτημα, καθώς και στα σημεία επαφής του εξαρτήματος με τον δίσκο, λόγω τριβής και αυξημένης θερμοκρασίας στο εσωτερικό του μύλου.



Εικόνα 9.1

### Υλικά κατασκευής του εξαρτήματος

- Το πρώτο από τα δοκίμια κατασκευάζεται από Uddeholm Nimax, με επικάλυψη Stellite 6 στην πλευρά του μετώπου. Η σύνδεση των δύο υλικών έγινε με τη διαδικασία συγκόλληση με λέιζερ (Laser Cladding). Αυτή η μέθοδος προσφέρει υψηλή ακρίβεια και μειώνει τη θερμική καταπόνηση στο υπόστρωμα, κάτι που είναι σημαντικό για υλικά όπως το Nimax, τα οποία μπορεί να υποστούν αλλαγές στις ιδιότητές τους λόγω υπερθέρμανσης.

#### **Laser Cladding:**

- **Μεταλλουργική σύνδεση:** Το Stellite 6 λιώνει τοπικά και σχηματίζει μεταλλουργική σύνδεση με το υπόστρωμα, εξασφαλίζοντας υψηλή πρόσφυση και αντοχή.
  - **Ελεγχόμενη θερμική ζώνη:** Η χαμηλή θερμική επιρροή της διαδικασίας προστατεύει το Nimax από ανεπιθύμητες αλλαγές στη μικροδομή του ή στη σκληρότητα.
  - **Μείωση παραμορφώσεων:** Η χρήση λέιζερ περιορίζει την παραμόρφωση του υποστρώματος, καθιστώντας τη μέθοδο ιδανική για εφαρμογές όπου απαιτείται διαστασιακή ακρίβεια.
- 
- Το δεύτερο υλικό κατασκευής του δοκιμίου είναι το Uddeholm Vanadis 10.
  - Το τρίτο υλικό είναι ανοξείδωτος χάλυβας 304 με επικάλυψη καρβιδίου. Η σύνδεση των δύο υλικών έχει γίνει με μπρουτζοκόλληση.

### Χαρακτηριστικά της διάρκειας ζωής των εξαρτημάτων

#### **Uddeholm Nimax / Impax**

#### **με Stellite 6**

- Εμφανή φθορά σε 20 μέρες λειτουργίας.
- Εκτεταμένη φθορά στους 2 μήνες λειτουργίας.



### Uddeholm Vanadis 10

- Εμφανή φθορά στις 30 μέρες λειτουργίας.
- Εκτεταμένη φθορά στους 3 μήνες λειτουργίας.
- Ανάλογα με την κόλληση της επικάλυψης με το υπόβαθρο. Υπάρχουν παρτίδες που σε 3 ώρες λειτουργίας ή σε 7-8 μήνες είχε ξεκολλήσει η επικάλυψη.

### Ανοξειδωτος χάλυβας AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων

- Σε κάποιες περιπτώσεις υπάρχουν σφυριά που λειτουργούν για πάνω από 5 χρόνια χωρίς φθορά στο καρβίδιο.
- Πρόβλημα: Αποκόλληση καρβιδίων λόγω μπρουτζοκόλλησης, οδηγώντας σε σπάσιμο.
- Βελτίωση: Πιο αξιόπιστες κολλήσεις από τον νέο προμηθευτή.

### Uddeholm Nimax

Το Nimax είναι ένας προ-σκληρυμένος χάλυβας με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και περίπου 1% νικέλιο, με σκληρότητα που φτάνει περίπου τα 50 HRC. Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτού του υλικού είναι ότι η απαιτούμενη σκληρότητα επιτυγχάνεται με ψύξη στον αέρα από τη θερμοκρασία σφυρηλάτησης. Αυτό σημαίνει ότι δεν απαιτούνται επιπλέον κατεργασίες, όπως σκλήρυνση και σβήσιμο, μειώνοντας έτσι το κόστος και τον χρόνο παραγωγής. Επίσης, το υλικό αυτό εμφανίζει καλύτερη συγκόλληση και χαμηλότερη διαφοροποίηση μεταξύ της θερμικά επηρεασμένης ζώνης (HAZ) και της μήτρας, λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα.

#### Χαρακτηριστικά του Uddeholm Nimax:

- Χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα
- Αυξημένη σκληρότητα και αντοχή σε κραδασμούς
- Ανήκει στη νέα γενιά προ-σκληρυμένων πλαστικών χαλύβων καλουπιού

#### Παραδείγματα εφαρμογών του Uddeholm Nimax:

- Κατασκευή καλουπιών
- Κατασκευή περιβλημάτων εργαλείων για σφυρηλάτηση και χύτευση

#### Πίνακας 9.1 με τα πιο βασικά χαρακτηριστικά του Uddeholm Nimax

| Ιδιότητα                | Περιγραφή                |
|-------------------------|--------------------------|
| Σκληρότητα (HB)         | ~370 HB (περίπου 40 HRC) |
| Αντοχή διαρροής (Rp0.2) | 785 MPa                  |
| Εφελκυστική αντοχή (Rm) | 1265 MPa                 |
| Επιμήκυνση (A)          | 11%                      |

|   |   |
|---|---|
| <b>Συρρίκνωση περιοχής</b>                  | 47%   |
| <b>Σκληρότητα επιφάνειας (με νιτρίδωση)</b> | 950-1000 HV (μετά από 60 ώρες νιτρίδωσης)   |
| <b>Αντοχή στη θλίψη</b>                     | Σκληρότητα ~370 HB  |
| <b>Αντοχή σε κρούση</b>                     | Υψηλή αντοχή κατά των ρωγμών με ενέργεια Charpy V-notch έως 150 J   |
| <b>Θερμική αγωγιμότητα</b>                  | 28 W/m•°C   |
| <b>Συντελεστής θερμικής διαστολής</b>       | 12.4 x 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>  |
| <b>Συγκολλησιμότητα</b>                     | Άμεση συγκόλληση χωρίς ανάγκη για προθέρμανση ή μεταθερμική επεξεργασία                                     |
| <b>Πολυαξονικότητα/Στίλβωση</b>             | Πολύ καλή στίλβωσιμότητα με χαμηλή περιεκτικότητα σε εγκλείσματα  |
| <b>Νιτρίδωση</b>                            | Βελτιώνει τη σκληρότητα και την αντοχή στη φθορά, συνιστάται νιτρίδωση μεταξύ 480-525°C                     |
| <b>Συνιστώμενες εφαρμογές</b>               | Καλούπια για πλαστικά, συσκευασίες, αυτοκινητοβιομηχανία, μεγάλες εσωτερικές επιφάνειες                     |
| <b>Μηχανική κατεργασία</b>                  | Εξαιρετική κατεργασιμότητα, με μειωμένο κόστος εργαλείων κοπής και μειωμένο χρόνο μηχανουργικής διαδικασίας |
| <b>Αντίσταση σε εντυπώσεις</b>              | Καλή αντοχή ενάντια σε εντυπώσεις και χτυπήματα λόγω του συνδυασμού σκληρότητας και αντοχής στη θραύση      |
| <b>Χρήση σε μεγάλες διαστάσεις</b>          | Σταθερές ιδιότητες σε μεγάλα τμήματα  |

[14], [15]

## Uddeholm Impax Supreme

Το Uddeholm Impax Supreme είναι ένας κορυφαίας ποιότητας προβαθμισμένος χάλυβας καλουπιών, προορισμένος για χρήση σε εφαρμογές όπου απαιτείται υψηλή αντοχή, καλή στίλβωση και υφή. Διακρίνεται για την ομοιόμορφη σκληρότητα σε όλη τη διατομή του, ακόμη και σε μεγάλες διαστάσεις, ενώ η σκληρότητα παράδοσης είναι περίπου 310 HB. Αυτές οι ιδιότητες το καθιστούν ιδανικό για μια ποικιλία απαιτητικών βιομηχανικών εφαρμογών.

### Χαρακτηριστικά Uddeholm Impax Supreme :

- Προβαθμισμένος χάλυβας: Έτοιμος προς χρήση χωρίς την ανάγκη περαιτέρω κατεργασίας.
- Υψηλή ομοιομορφία σκληρότητας: Ομοιόμορφο προφίλ σκληρότητας σε όλη τη διατομή, ακόμη και σε μεγάλα κομμάτια.
- Σκληρότητα παράδοσης ~310 HB: Ιδανικό για εφαρμογές που απαιτούν συγκεκριμένη αντοχή και σκληρότητα.
- Εξαιρετική στίλβωση και υφή: Κατάλληλο για εφαρμογές όπου η επιφάνεια πρέπει να έχει υψηλή ποιότητα φινιρίσματος.
- Καλή κατεργασιμότητα: Εύκολο στην κατεργασία και επεξεργασία, μειώνοντας το κόστος κατασκευής.

## Παραδείγματα εφαρμογών του Uddeholm Impax Supreme:

- Καλούπια για χύτευση πλαστικών με έγχυση: Ιδανικό για την κατασκευή καλουπιών υψηλής ακρίβειας και αντοχής για παραγωγή πλαστικών με έγχυση.
- Καλούπια για χύτευση πλαστικών με εμφύσηση: Κατάλληλο για χύτευση πλαστικών προϊόντων με διαδικασία εμφύσησης.
- Μήτρες για εξώθηση πλαστικών: Χρησιμοποιείται για την παραγωγή πλαστικών εξαρτημάτων μέσω εξώθησης.
- Κατασκευαστικά εξαρτήματα μηχανών: Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε εξαρτήματα μηχανών που απαιτούν υψηλή αντοχή στην κόπωση και αξιοπιστία.

**Πίνακας 9.2 Με τα βασικά χαρακτηριστικά Uddeholm Impax Supreme**

|   |  |
|---|--|
| <b>Οφέλη</b>                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Χωρίς κίνδυνο σκλήρυνσης</li> <li>- Μηδενικό κόστος σκλήρυνσης</li> <li>- Εξοικονόμηση χρόνου (π.χ. δεν απαιτείται θερμική κατεργασία)</li> <li>- Μείωση κόστους εργαλείων (π.χ. δεν απαιτούνται διορθώσεις λόγω παραμόρφωσης)</li> <li>- Εύκολες τροποποιήσεις</li> <li>- Δυνατότητα νιτρίδωσης για αύξηση της αντοχής στη φθορά ή τοπικής σκλήρυνσης με φλόγα για μείωση των ζημιών στην επιφάνεια</li> </ul> |
| <b>Σημείωση</b>                           | Ο Uddeholm Impax Supreme είναι 100% ελεγχμένος με υπερήχους.   |
| <b>Οφέλη βαριάς διατομής</b>              | <p>Οι βαριές διατομές παρέχονται προεπεξεργασμένες (premachined), προσφέροντας τα παρακάτω πλεονεκτήματα σε σύγκριση με μη κατεργασμένα υλικά:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Εξοικονόμηση βάρους</li> <li>- Μη αποκαρβονισμένη επιφάνεια</li> <li>- Ακριβές ονομαστικό μέγεθος (με ανοχή)</li> <li>- Λιγότερη μηχανική κατεργασία</li> <li>- Η απουσία κλίμακας ελαχιστοποιεί τη φθορά εργαλείων και μηχανών</li> </ul>                   |
| <b>Μηχανικές Ιδιότητες</b>                | Η αντοχή σε κρούση, η αντοχή εφελκυσμού και η αντοχή σε θλίψη εξαρτώνται από τη σκληρότητα στην κατάσταση που παραδίδεται.   |
| <b>Αντοχή σε Κρούση (IMPACT STRENGTH)</b> | Η απορρόφηση ενέργειας κατά τη δοκιμή κρούσης εξαρτάται από το υλικό δοκιμής (μέγεθος ράβδου και σκληρότητα παράδοσης), τη θερμοκρασία δοκιμής, και το δοκίμιο (τύπος, τοποθεσία και προσανατολισμός στη ράβδο).   |
| <b>Χημική Σύνθεση (% κ.β.)</b>            | <p><b>C:</b> 0.37<br/> <b>Si:</b> 0.3<br/> <b>Mn:</b> 1.4<br/> <b>Cr:</b> 2.0<br/> <b>Ni:</b> 1.0<br/> <b>Mo:</b> 0.2<br/> <b>S:</b> &lt; 0.010</p>  |

**Γράφημα Ενέργειας Κρούσης**

Το παρακάτω γράφημα δείχνει πώς αλλάζει η ενέργεια κρούσης ως συνάρτηση της θερμοκρασίας δοκιμής και της μεταβολής της σκληρότητας εντός της περιοχής σκληρότητας παράδοσης.

[29]

**Stellite 6**

Το Stellite6 είναι ένα κράμα που βασίζεται στο κοβάλτιο, το οποίο είναι γνωστό για την αντοχή του σε υψηλές θερμοκρασίες, φθορά και διάβρωση. Αυτές οι ιδιότητες το καθιστούν ένα από τα πιο ανθεκτικά κράματα επιφανειακής σκληρότητας που χρησιμοποιούνται επί δεκαετίες. Το Stellite6 μπορεί να εφαρμοστεί απευθείας σε χαλύβδινα υποστρώματα, αν και οι διαφορές στη θερμική διαστολή μεταξύ των υλικών μπορεί να προκαλέσουν παραμένουσες τάσεις κατά τη συγκόλληση. Το S6 περιέχει υψηλότερα ποσοστά βολφραμίου (W) για ενίσχυση του στερεού διαλύματος και αυξημένα επίπεδα άνθρακα (C) για την προώθηση του σχηματισμού καρβιδίων. Αυτά τα κράματα προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα, όπως αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις σε υψηλές θερμοκρασίες, αντίσταση στη διάβρωση και φθορά, καθώς και αντοχή σε μεγάλες πιέσεις επαφής και θραύση, γεγονός που τα καθιστά αναντικατάστατα στη βιομηχανία.

**Χαρακτηριστικά του Stellite6:**

- Αυξημένη αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
- Αντοχή στη φθορά
- Αντοχή στην οξείδωση
- Αντίσταση στη θραύση

**Παραδείγματα εφαρμογών του Stellite6:**

- Χρήση στη βιομηχανία λόγω των ιδιοτήτων του
- Εναπόθεση σε εξαρτήματα για βελτίωση των μηχανικών τους χαρακτηριστικών

Πίνακας 9.3 Χημική σύσταση του Stellite 6 (Chemical composition of Stellite 6 (wt.%))

| C    | Si   | Mn   | P     | S      | Ni   | Cr   | Mo   | Fe   | W    | Co |
|------|------|------|-------|--------|------|------|------|------|------|----|
| 0.93 | 1.08 | 0.13 | 0.014 | 0.0063 | 1.81 | 27.3 | 0.26 | 2.17 | 3.36 |    |

**Πίνακας 9.4 με τα χημικά και φυσικά χαρακτηριστικά του Stellite 6 Alloy, καθώς και τις μηχανικές του ιδιότητες σε διαφορετικές θερμοκρασίες.**

| Ιδιότητα         | Τιμή/Περιγραφή  |
|------------------|---|
| Σύνθεση (Mass %) | Co: Βάση, Cr: 27-32, W: 3-6, C: 0.9-1.4, Άλλα: (Ni, Fe, Si, Mn, Mo) |
| Σκληρότητα (HRC) | 36-45 HRC, 380-490 HV   |
| Πυκνότητα        | 8.44 g/cm <sup>3</sup> (0.305 lb/in <sup>3</sup> )                  |
| Σημείο Τήξης     | 1250-1360°C (2282-2480°F)   |

|   |   |
|---|---|
| <b>Αντίσταση σε Θερμοκρασία</b>                             | Καλή αντοχή σε θερμοκρασίες έως 500°C (930°F)   |
| <b>Αντοχή στη Διάβρωση</b>                                  | Ρυθμός διάβρωσης κάτω από 0.05 mm/έτος σε 22°C σε θαλασσινό νερό  |
| <b>Αντοχή σε Μηχανική Φθορά</b>                             | Εξαιρετική αντοχή σε φθορά, κρούση και αποσύνθεση σε υψηλές θερμοκρασίες  |
| <b>Εφαρμογές</b>  | Βαλβίδες, έδρανα, αντλίες, ασπίδες διάβρωσης και προστασία από φθορά  |
| <b>Χρήση σε Θερμικές Επεξεργασίες</b>                       | Χρησιμοποιείται κυρίως για επιχρίσματα και σκληρές επιστρώσεις  |
| <b>Ονομαστικός Συντελεστής Θερμικής Διαστολής</b>           | 6.31-17.72 $\mu\text{m}/\text{m}\cdot\text{K}$ ανάλογα με την θερμοκρασία (20°C-900°C)  |
| <b>Θερμική Αγωγιμότητα</b>                                  | 14.82 W/m·K   |
| <b>Ηλεκτρική Αντίσταση</b>                                  | 106 $\mu\Omega\cdot\text{cm}$   |
| <b>Εκτατή Αντοχή (UTS) σε Θερμοκρασία Δωματίου</b>          | 123 ksi (850 MPa)   |
| <b>Όριο Διαρροής (0.2% R<sub>po</sub>)</b>                  | 101.5 ksi (700 MPa)   |
| <b>Επιμήκυνση</b>   | <1%   |
| <b>Ελαστικό Μέτρο</b>                                       | 30.3x10 <sup>3</sup> ksi (209 GPa)  |
| <b>Ονομαστική Σκληρότητα (DPN) σε διάφορες Θερμοκρασίες</b> | 410 DPN (20°C), 390 DPN (100°C), 356 DPN (300°C), 345 DPN (400°C), 334 DPN (500°C), 301 DPN (600°C), 235 DPN (700°C), 155 DPN (800°C), 138 DPN (900°C), 95 DPN (1000°C) |
| <b>Μορφές Προϊόντος</b>                                     | Ράβδοι, χυτά προϊόντα, ηλεκτρόδια, καλώδια, μέρη κατασκευασμένα με μέθοδο PM (Powder Metallurgy)  |
| <b>Πιστοποιήσεις &amp; Προδιαγραφές</b>                     | UNS R30006, UNS W73006, AWS A5.21, AMS 5387, AMS 5373, ASME BPVC II   |

[18],[13],[17]

## Vanadis 10

Το Uddeholm Vanadis 10 είναι ένας χάλυβας εργαλείων κονιομεταλλουργίας, εν ψυχρώ εφαρμογών. Το Vanadis 10 έχει δύο πολύ σημαντικές ιδιότητες. Η πρώτη είναι η υψηλή αντοχή στη φθορά και την τριβή και η δεύτερη είναι η σκληρότητα. Συνεπώς, το συγκεκριμένο υλικό αποτελεί ιδανική επιλογή σε περιπτώσεις στις οποίες η φθορά εκτριβής είναι παρούσα και υπεύθυνη για την φθορά του εκάστοτε εργαλείου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω το Vanadis 10 είναι ένας υψηλά κραματοποιημένος χάλυβας με χρώμιο, μολυβδαίνιο και βανάδιο.

Χαρακτηριστικά του Vanadis 10.

- Αυξημένη αντοχή στην τριβή
- Αυξημένη αντοχή σε θλίψη
- Αντοχή στην φθορά

- Πολύ καλή εμβαπτότητα
- Μεγάλη δυσθραυστότητα
- Καλή διαστασιακή σταθερότητα μετά την βαφή
- Υψηλή αντίσταση στην πτώση σκληρότητας κατά την επαναφορά
- Υψηλή σκληρότητα

Το Vanadis 10 αποτελεί μια χρήσιμη εναλλακτική στις περιπτώσεις όπου συναντώνται εργαλεία, τα οποία κατασκευάζονται από καρβίδιο με τσιμέντο και είναι αρκετά πιθανό να θρυμματισθούν ή να ραγίσουν. Ο λόγος για τον οποίο το υλικό αυτό είναι μια εναλλακτική αποτελεί η αυξημένη αντοχή στη φθορά και της υψηλή τους σκληρότητα.

Παραδείγματα όπου συναντάται το Vanadis 10:

- Κοπή και μορφοποίηση
- Λεπτή κοπή
- Κοπή ηλεκτρικού φύλλου
- Διάτρηση φλαντζών
- Βαθεία κοίλανση
- Ψυχρή σφυρηλάτηση
- Μαχαίρια κοπής (χαρτί και φύλλα αλουμινίου)
- Εργαλεία διαμόρφωσης εν ψυχρώ
- Πρεσάρισμα πούδρας
- Μαχαίρια κονιορτοποίησης
- Βίδες εξώθησης κ.λπ.

**Πίνακας 9.5 Περιέχει τόσο τα χημικά όσο και τα φυσικά χαρακτηριστικά του Uddeholm Vanadis 10 SuperClean, μαζί με τις βασικές του ιδιότητες και τις εφαρμογές του.**

| <b>Ιδιότητα</b>                          | <b>Τιμή/Περιγραφή</b>  |
|--|--|
| <b>Χημική Σύνθεση (Mass %)</b>           | C: 2.9%, Si: 0.5%, Mn: 0.5%, Cr: 8.0%, Mo: 1.5%, V: 9.8%   |
| <b>Σκληρότητα</b>                        | Σκληρυμένο και ανοπτημένο στους 62 HRC   |
| <b>Εφαρμογές</b>                         | Κοπή και διαμόρφωση, Λείανση, Σφράγιση γάστας, Βαθιά διαμόρφωση, Σχιστικές λεπίδες, Κόπτες γρανιτών, Εξωθητήρες    |
| <b>Ιδιότητες Εργαλείων</b>               | Πολύ καλή αντίσταση σε φθορά, Ικανότητα σκλήρυνσης, Καλή αντοχή και σταθερότητα στη σκλήρυνση                      |
| <b>Ιδιότητες για Κατασκευή Εργαλείων</b> | Κατεργασιμότητα, Αντοχή σε θερμότητα, Διαστατική σταθερότητα κατά τη θερμική επεξεργασία, Καλή ποιότητα επιφάνειας |
| <b>Ειδικά Χαρακτηριστικά</b>             | Κατάλληλο για εργαλεία με μακρά διάρκεια ζωής που λειτουργούν σε περιβάλλοντα με φθορά από τριβή                   |
| <b>Θερμική Αγωγιμότητα (W/m·K)</b>       | 10.7 W/m·K στους 20°C, 11.4 W/m·K στους 200°C  |

|   |   |
|---|---|
| <b>Πυκνότητα</b>                              | 7.400 kg/m <sup>3</sup>   |
| <b>Συντελεστής Θερμικής Διαστολής</b>         | 10.7 x 10 <sup>-6</sup> /K (20-200°C), 11.4 x 10 <sup>-6</sup> /K (20-400°C)  |
| <b>Ελαστικό Μέτρο (Modulus of Elasticity)</b> | 31.9 x 10 <sup>3</sup> ksi στους 20°C, 30.4 x 10 <sup>3</sup> ksi στους 200°C, 29.0 x 10 <sup>3</sup> ksi στους 400°C |
| <b>Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)</b>              | 210 GPa στους 20°C, 200 GPa στους 200°C, 190 GPa στους 400°C  |
| <b>Ειδική Θερμότητα</b>                       | 460 J/kg·K  |
| <b>Χρώμα</b>                                  | Πράσινο/Βιολετί   |

[19]

### Ανοξειδωτος χάλυβας AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων.

Το τρίτο εξάρτημα είναι κατασκευασμένο από χάλυβα AISI 304, ο οποίος είναι γνωστός ως ανοξειδωτος χάλυβας 304. Στον χάλυβα αυτό έχουν συγκολληθεί πλακίδια καρβιδίου. Τα κύρια συστατικά στα πλακίδια αυτά είναι το καρβίδιο του βολφραμίου, το οποίο αντιπροσωπεύει το 90% της σύνθεσης, ενώ το υπόλοιπο 10% αποτελείται από κοβάλτιο, με σκληρότητα 85,7 Rockwell A.

### Χαρακτηριστικά του ανοξειδωτου χάλυβα AISI 304:

- Ισχυρή αντοχή στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες
- Κατάλληλος για διαδικασίες συγκόλλησης
- Καλές μηχανικές ιδιότητες
- Ικανός για σφυρηλάτηση
- Ιδανικός για ψυχρή διαμόρφωση

### Εφαρμογές του ανοξειδωτου χάλυβα AISI 304:

- Τομέας πυρηνικής ενέργειας
- Εφαρμογές στις υπεράκτιες και πετρελαϊκές κατασκευές
- Χημική βιομηχανία
- Αεροδιαστημική
- Κατασκευές μηχανολογικές
- Κατασκευή λευκών συσκευών
- Αυτοκινητοβιομηχανία

### Πίνακας 9.6 Χημική Σύνθεση (Μέγιστο ποσοστό κατά βάρος σύμφωνα με το DIN EN 10088-3):

| C      | Si     | Mn     | P       | S       | Cr        | Ni       | N      | Cu | Mo | Ti | Άλλα |
|--------|--------|--------|---------|---------|-----------|----------|--------|----|----|----|------|
| ≤ 0,07 | ≤ 1,00 | ≤ 2,00 | ≤ 0,045 | ≤ 0,015 | 17,5-19,5 | 8,0-10,5 | ≤ 0,11 | -  | -  | -  | -    |

**Πίνακας 9.7 Προδιαγραφές:**

| Προδιαγραφή          | Τιμή                     |
|----------------------|--------------------------|
| Αριθμός υλικού EN    | 1.4301                   |
| EN αριθμός           | X5CrNi18-10              |
| Πρότυπο EN           | 10088-3                  |
| AISI                 | 304                      |
| B.S.                 | 304S31                   |
| UNS                  | S30400                   |
| Κατηγορία μικροδομής | Ωστενιτικός (Austenitic) |

**Πίνακας 9.8 Φυσικές Ιδιότητες:**

| Ιδιότητα                              | Τιμή                                   |
|---------------------------------------|--|
| Μαγνητισμός                           | Χαμηλός                                |
| Πυκνότητα (kg/dm <sup>3</sup> )       | 7,9                                    |
| Ειδική θερμότητα (J/g K)              | 500                                    |
| Συντελεστής θερμικής διαστολής (20°C) | 15 (10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup> ) |
| Ηλεκτρική αγωγιμότητα                 | 0,73 (Ω mm <sup>2</sup> /m)            |

**Πίνακας 9.9 Θερμική Επεξεργασία και Θερμή Διαμόρφωση:**

| Διαδικασία          | Θερμοκρασία (°C) |
|---------------------|------------------|
| Ανόπτηση σε διάλυμα | 1000-1100        |
| Θερμή διαμόρφωση    | 1200-900         |

**Πίνακας 9.10 Μηχανικές Ιδιότητες σε Θερμοκρασία Δωματίου:**

| Διάμετρος<br>Ø (mm) | Σκληρότητα<br>(HB) | Αντοχή σε<br>θλίψη<br>(MPa) | Δύναμη<br>εφελκυσμού<br>(MPa) | Επιμήκυνση<br>(%) | Επιμήκυνση<br>στη θραύση<br>(%) |
|---------------------|--------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|---------------------------------|
| ≤ 5                 | ≤ 215              | Rp0.2 ≥<br>190              | Rm = 500-700                  | 45                | -                               |



|               |       |             |              |    |   |
|---------------|-------|-------------|--------------|----|---|
| > 5 έως ≤ 250 | ≤ 215 | Rp0.2 ≥ 190 | Rm = 500-700 | 40 | - |
|---------------|-------|-------------|--------------|----|---|

**Πίνακας 9.11 Όρια Διάβρωσης σε Θερμοκρασία Δωματίου:**

| Διάμετρος Ø (mm) | Rp0.2 (MPa) | Rm (MPa) | Σκληρότητα (HB) |
|------------------|-------------|----------|-----------------|
| ≤ 160            | 155         | 500-700  | 215             |
| > 160 έως ≤ 250  | 150         | 500-700  | 215             |

Σημείωση για Συγκόλληση:

Το υλικό **1.4301 / AISI 304** μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλες τις συνήθεις διαδικασίες συγκόλλησης (εκτός από συγκόλληση με οξυγόνο). [21],[22]

### **Χαρακτηριστικά του Καρβιδίου του Βολφραμίου (Tungsten Carbide Grade WB25G)**

Το καρβίδιο βολφραμίου WB25G αποτελείται κατά 90% από καρβίδιο του βολφραμίου (WC) και κατά 10% από κοβάλτιο (Co). Αυτή η σύνθεση προσδίδει στο υλικό εξαιρετική αντοχή και ανθεκτικότητα σε φθορά και τριβή. Η πυκνότητά του ανέρχεται στα  $14,5 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$ , πράγμα που το καθιστά ένα πολύ πυκνό και στιβαρό υλικό, ικανό να αντέξει σε έντονες μηχανικές καταπονήσεις.

Όσον αφορά τη σκληρότητα, το WB25G παρουσιάζει υψηλή τιμή στα  $960 \pm 50 \text{ HV30}$  στη μονάδα Vickers και  $85,7 \pm 0,5 \text{ HRA}$  στη μονάδα Rockwell, κάτι που το καθιστά κατάλληλο για εφαρμογές όπου απαιτείται μεγάλη αντίσταση στην τριβή.

Η αντοχή του σε θραύση (TRS) φτάνει τα  $2500 \text{ N/mm}^2$  (MPa), προσφέροντας στο υλικό εξαιρετική αντοχή σε δυναμικές φορτίσεις και κρούσεις.

Επιπλέον, το WB25G παρουσιάζει μαγνητικό κορεσμό που κυμαίνεται μεταξύ 18,5 και  $20,6 \text{ μTm}^3$ , ή 185 και  $206 \text{ gs.cm}^3/\text{g}$ , και διαθέτει συνεκτικότητα (coercivity) που κυμαίνεται από 3,5 έως  $5,2 \text{ kA/m}$ , ή 44 έως  $65 \text{ Oe}$ , κάτι που είναι σημαντικό σε εφαρμογές όπου το υλικό υπόκειται σε μαγνητικά πεδία.

Τέλος, το μέγεθος των κόκκων του συγκολλημένου καρβιδίου (WC) κυμαίνεται μεταξύ 3,0 και 5,0 μικρόμετρα, χαρακτηριζόμενο ως χονδρό. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι κρίσιμο για τη συνολική ανθεκτικότητα και απόδοση του υλικού σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.

**Πίνακας 9.12**

| Χαρακτηριστικό | Τιμή   |
|----------------|--|
| Σύνθεση        | WC $90,0 \pm 0,2\%$ / Co $10,0 \pm 0,2\%$              |
| Πυκνότητα      | $14,5 \pm 0,1 \text{ g/cm}^3$                          |
| Σκληρότητα     | $960 \pm 50 \text{ HV30}$ / $85,7 \pm 0,5 \text{ HRA}$ |

|                            |   |
|----------------------------|---|
| Αντοχή σε κάμψη (TRS)      | 2500 N/mm <sup>2</sup> (MPa)                                  |
| Μαγνητικός κορεσμός        | 18,5 – 20,6 μTm <sup>3</sup> / 185 – 206 G.cm <sup>3</sup> /g |
| Συνεκτικότητα (Coercivity) | 3,5 – 5,2 kA/m / 44 – 65 Oe                                   |
| Μέγεθος κόκκων WC          | 3,0 – 5,0 μm (Χονδρό / Coarse)                                |

[23]

### Εφαρμογές των Καρβιδίων Βολφραμίου

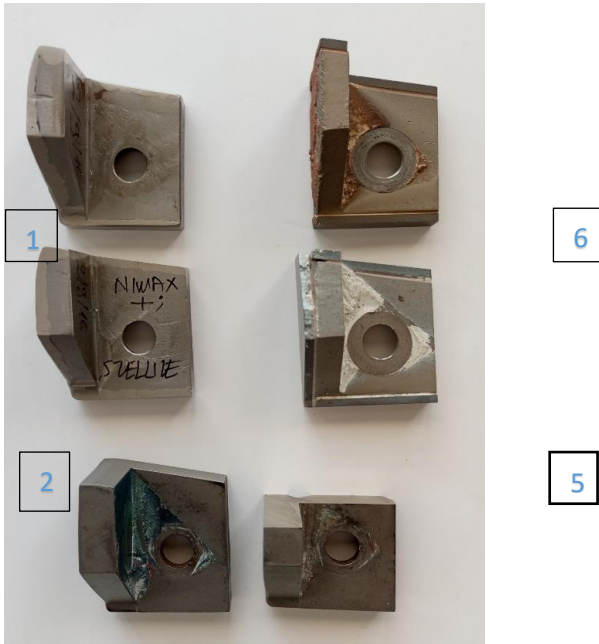
Το καρβίδιο βολφραμίου είναι γνωστό για την εξαιρετική του σκληρότητα και αντοχή στη φθορά, γι' αυτό χρησιμοποιείται σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, όπως:

- **Εργαλεία Κοπής:** Χρησιμοποιείται για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων που απαιτούν υψηλή σκληρότητα και ανθεκτικότητα.
- **Διατρητικά Εργαλεία:** Ιδανικό για την παραγωγή τρυπανιών και άλλων διατρητικών εργαλείων που δουλεύουν σε σκληρά υλικά.
- **Μηχανικά Μέρη:** Συχνά χρησιμοποιείται σε μέρη μηχανημάτων που υφίστανται έντονη τριβή και φθορά.
- **Εξαρτήματα που εκτίθενται σε Υψηλή Πίεση και Θερμοκρασία:** Το καρβίδιο του βολφραμίου είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου οι ιδιότητες των υλικών δοκιμάζονται σε ακραίες συνθήκες.

Η επιλογή του συγκεκριμένου υλικού βασίζεται στις απαιτήσεις αντοχής στη φθορά, μαγνητικών ιδιοτήτων και της γενικότερης σκληρότητας που απαιτεί η κάθε εφαρμογή.[23]

## 9.2 Οπτική επιθεώρηση

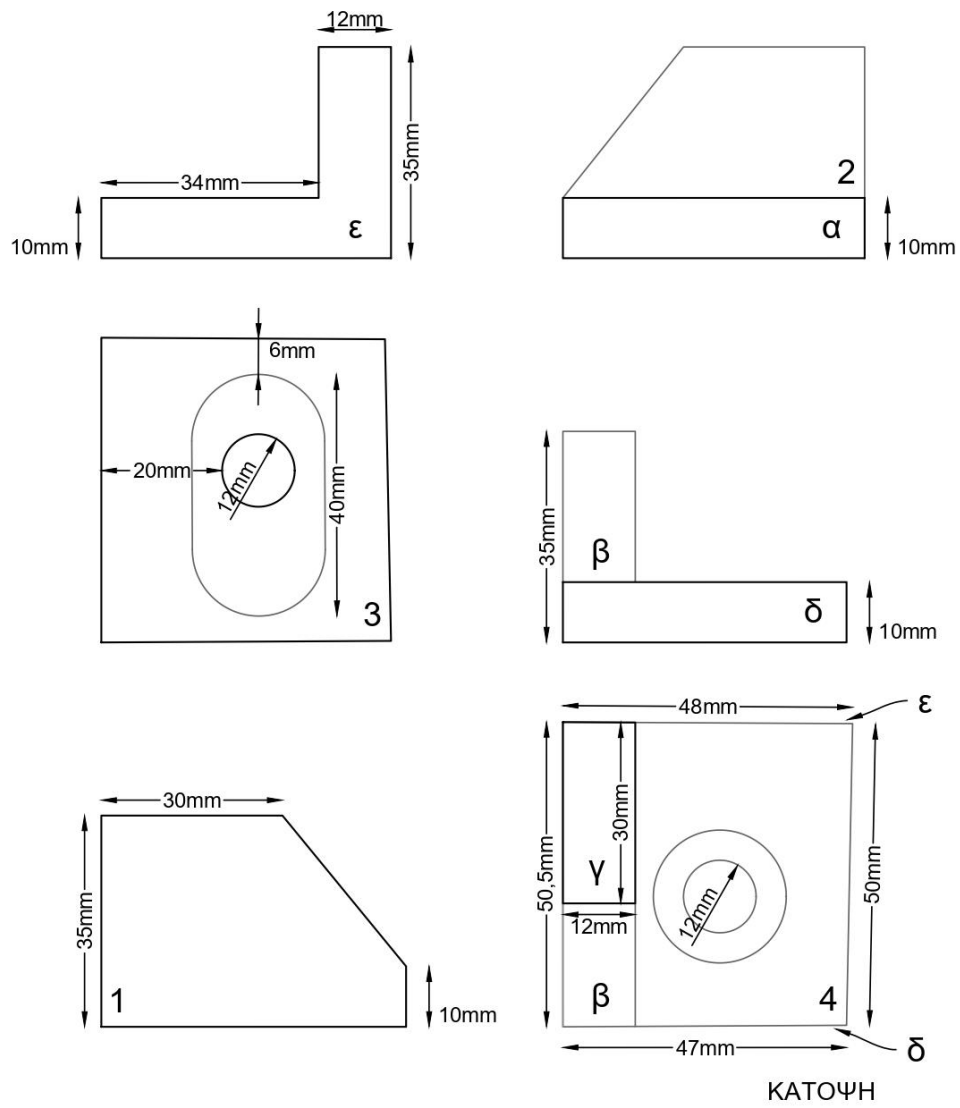
Τα διαθέσιμα εξαρτήματα ανέρχονται σε δώδεκα, από τα οποία τέσσερα είναι κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων, δύο από Uddeholm Vanadis 10, τα υπόλοιπα 5 από Uddeholm Nimax με επικάλυψη Stellite6 και το ένα να έχει υπόβαθρο Uddeholm Impax αντι για Uddeholm Nimax. Από τα δοσμένα δοκίμια, θα εξεταστούν δύο Uddeholm Vanadis 10, δύο κατασκευασμένα από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων και ένα Uddeholm Nimax&Stellite 6 και ένα Impax & Stellite 6. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται τα εξαρτήματα που εξετάστηκαν αριθμημένα ώστε να είναι ευδιάκριτο ποιο αναλύεται κάθε φορά. Επιπλέον, στις επόμενες σελίδες παρατίθενται λεπτομερείς παρατηρήσεις για κάθε τύπο υλικού από τις τρεις κατηγορίες, οι οποίες έγιναν τόσο με γυμνό μάτι χρησιμοποιώντας το Photobox, όσο και με τη βοήθεια του στερεοσκοπίου Dino Lite Pro 2, που είναι διαθέσιμο στο εργαστήριο του μαθήματος Ανάλυση Αστοχίας Μηχανολογικών Υλικών. Οι παρατηρήσεις αυτές εστιάζουν στις φθορές, στις προσκολλήσεις υλικών στα εξαρτήματα, στη διάβρωση, στην οξείδωση, καθώς και σε άλλα είδη φθοράς. Για την καλύτερη κατανόηση των φαινομένων φθοράς, οι επιφάνειες των εξαρτημάτων έχουν αριθμηθεί, όπως φαίνεται και στο σχέδιο που παρέχεται παρακάτω.



Εικόνα 9.2 Εξαρτήματα προς εξέταση

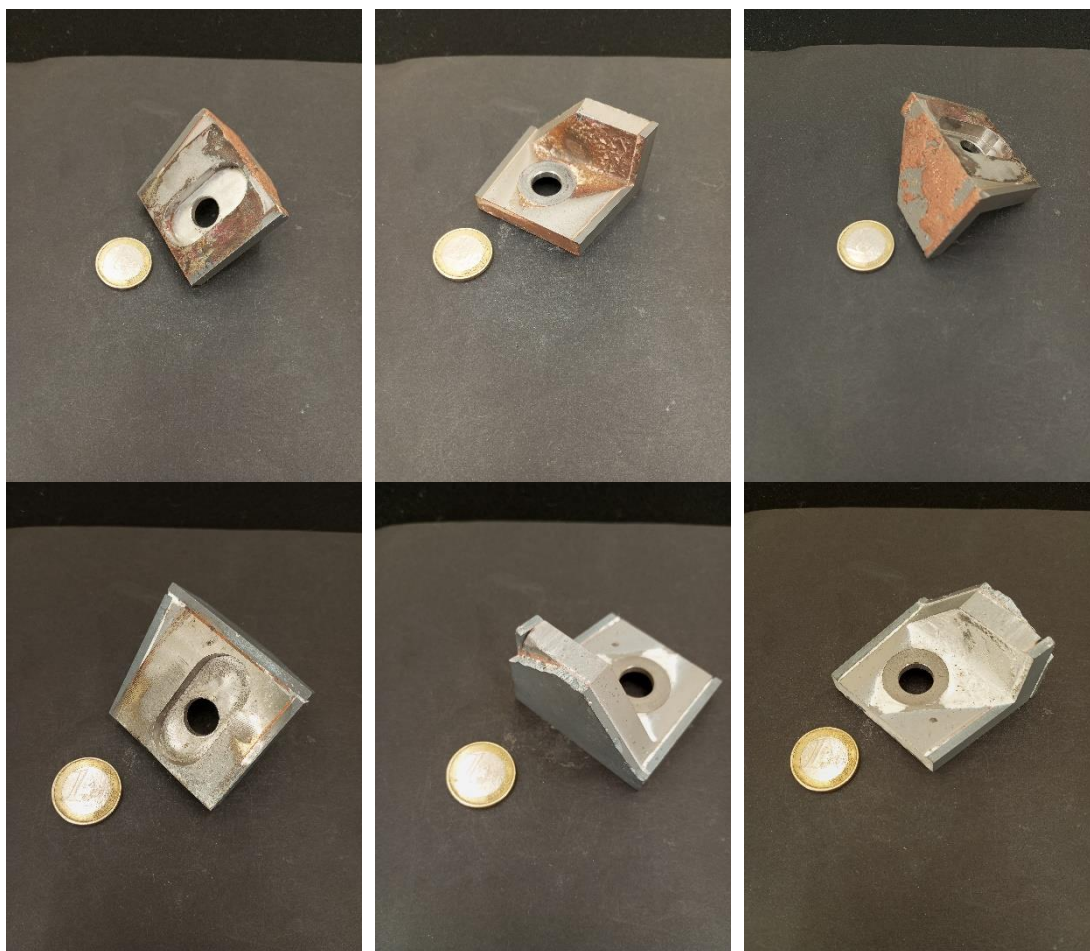
4

3



Εικόνα 9.3 Σχέδιο εξαρτήματος

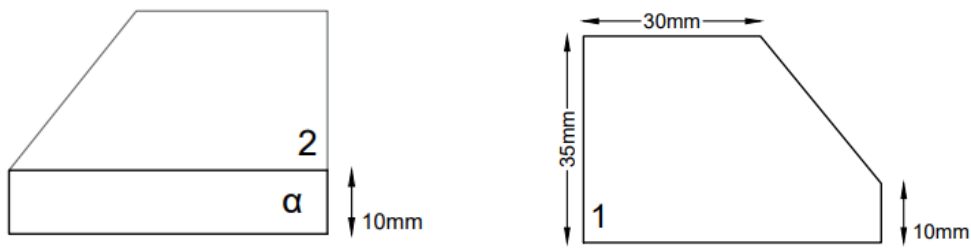
### 9.2.1 Ανοξείδωτος χάλυβας 304 με επικάλυψη καρβιδίων.



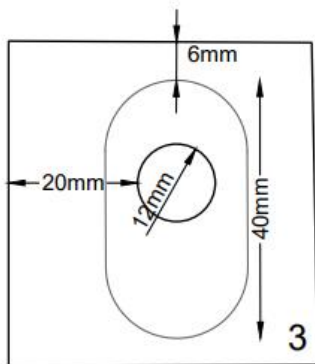
Εικόνα 9.4 Φωτογραφίες με τη χρήση του Photobox Ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων

#### Οπτική παρατήρηση εξαρτημάτων

Στην περίπτωση του χάλυβα με επικάλυψη καρβιδίων, παρατηρείται η αποκόλληση της επιφανειακής στρώσης που έχει εφαρμοστεί στο υπόβαθρο. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να αντιμετωπιστεί με την επιλογή καλύτερου τρόπου και υλικού σύνδεσης. Επιπλέον, παρατηρείται αποκόλληση της επικάλυψης στην επιφάνεια που έχει αριθμηθεί με 1. Αξίζει να σημειωθεί ότι η συγκεκριμένη επιφάνεια είναι αυτή που έρχεται πρώτη σε επαφή με την πούδρα και τις χρωστικές που αυτή περιέχει. Σημαντική φθορά παρατηρείται επίσης στις επιφάνειες δύο και τέσσερα του δοκιμίου. Αντίθετα, τα μέτωπα που έρχονται σε επαφή με την πούδρα σε δεύτερη φάση ή είναι πιο προστατευμένα, δεν εμφανίζουν έντονες φθορές. Για παράδειγμα, το μέτωπο "α" δεν παρουσιάζει σημαντική φθορά, καθώς είναι αρκετά προστατευμένο από την επιφάνεια "ένα".



Στα εν λόγω εξαρτήματα διακρίνονται έντονα τα χρώματα λευκό και κόκκινο, κάτι που πιθανώς οφείλεται στη χρήση αυτών των χρωμάτων στην πούδρα. Ωστόσο, στην περίπτωση του κόκκινου χρώματος, είναι πιθανό η αιτία να είναι η οξείδωση της επιφάνειας. Ένα ακόμα παρατηρήσιμο φαινόμενο είναι ότι οι ακμές της επιφάνειας "ένα" είναι αρκετά φθαρμένες λόγω της πρόσκρουσης της πούδρας, η οποία κινείται με αυξημένη σχετική ταχύτητα και προσκρούει στην επιφάνεια. Στην επιφάνεια "τρία", η οποία είναι η επιφάνεια επαφής με τον δίσκο, παρατηρούνται χαραγές και αλλοιώσεις χρώματος. Οι χαραγές πιθανόν οφείλονται σε φθορά λόγω απόξεσης. Επιπλέον, σε ορισμένα σημεία της επιφάνειας "τρία" παρατηρείται επικόλληση υλικού, γεγονός που υποδηλώνει φθορά λόγω πρόσφυσης.



Στη φθορά λόγω πρόσφυσης, ως αποτέλεσμα της ολίσθησης του ενός υλικού πάνω στο άλλο, προσκολλώνται θραύσματα του ασθενέστερου υλικού σε σκληρότητα πάνω στο υλικό με τη μεγαλύτερη σκληρότητα, δημιουργώντας ψήγματα φθοράς. Είναι επίσης σημαντικό να αναφερθεί ότι στην επιφάνεια αυτή βρίσκεται η οπή στην οποία συνδέεται ο κοχλίας. Αυτή η οπή παρουσιάζει κάποια σημεία φθοράς, πιθανόν λόγω των αυξημένων τάσεων που αναπτύσσονται μεταξύ της επιφάνειας και του κοχλίου.

Μικροσκοπική παρατήρηση με χρήση στερεοσκοπίου.

Εξάρτημα Νο 5 Επικάλυψη Καρβιδίων με υποβάθρο χάλυβα 304



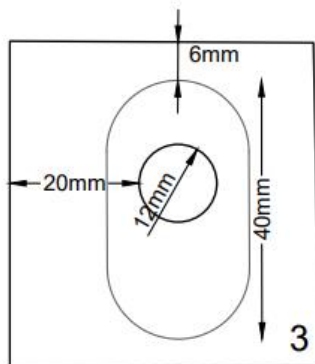
Εικόνα 9.5

Στην εικόνα 9.5 ( $M \times 20$ ,  $z = 77,9\text{mm}$ ) που αποτυπώθηκε από το στερεοσκόπιο διακρίνεται στο πάνω μέρος της επιφάνειας ένα αλλά και στο μέτωπο  $\gamma$ , όπως αυτά έχουν ονομασθεί, σπασίματα του υλικού. Τα παραπάνω σπασίματα είναι πιθανό να οφείλονται στην αυξημένη ταχύτητα πρόσκρουσης της πούδρας στις επιφάνειες και στα μέτωπα και η μειωμένη αντοχή της συγκεκριμένης επικάλυψης. Ακόμα, είναι ευδιάκριτη η αδυναμία σύνδεσης των δύο υλικών, της επικάλυψης και του υποβάθρου. Τέλος, στο μέτωπο  $\gamma$  παρατηρούνται κάποιες αυλακώσεις με πιθανή αιτία τη σύγκρουση της πούδρας με το υλικό.



Εικόνα 9.6

Στην εικόνα 9.6 ( $M \times 20$ ,  $z = 71,2\text{mm}$ ) που αποτυπώθηκε φαίνεται στην επιφάνεια 3 στις κοιλότητες επικολημένο χρώμα από την πούδρα και πολλές χαραγές σε διάφορες κατευθύνσεις λόγω της επαφής της επιφάνειας τρία του εξαρτήματος με τον κοχλία, ο οποίος τοποθετείται για να συνδέσει το εξάρτημα με τον δίσκο. Τέλος, πλησιάζοντας στην οπή παρατηρείται κόκκινο χρώμα που δηλώνει φθορά λόγω διάβρωσης (οξειδωση).

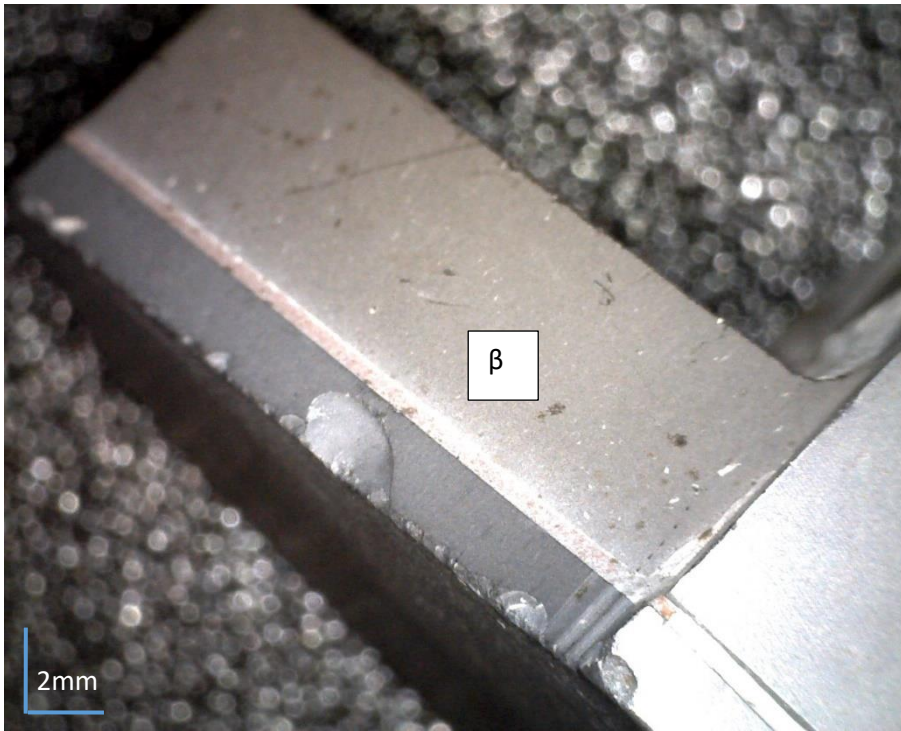






Εικόνα 9.7

Στην εικόνα 9.7 ( $M \times 20$ ,  $z = 70,6\text{mm}$ ) που αποτυπώθηκε από το στερεοσκόπιο παρατηρείται στην επιφάνεια δύο επικολλήσεις χρώματος και ξεφλούδισμα αυτής. Πιθανοί λόγοι είναι η αυξημένη σχετική ταχύτητα πρόσκρουσης της πούδρας.



Εικόνα 9.8

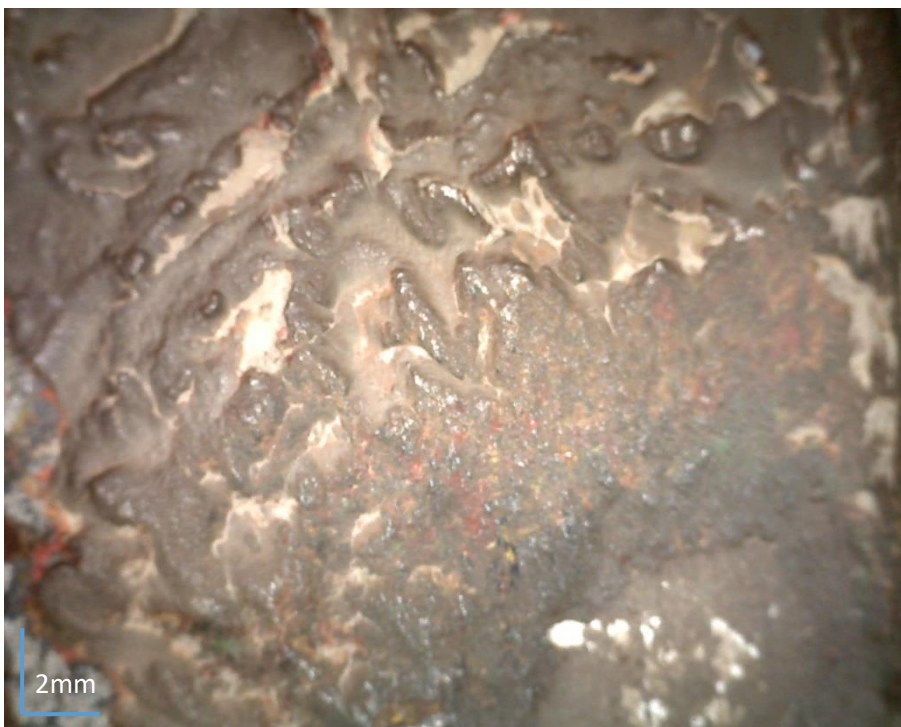
Στην εικόνα 9.8 ( $M \times 23$ ,  $z = 48,2\text{mm}$ ) που αποτυπώθηκε από το στερεοσκόπιο στο μέτωπο β φαίνεται πάλι η αδυναμία σύνδεσης του υλικού επικάλυψης (καρβίδια) με το υλικό υπόβαθρο (ανοξειδωτος χάλυβας 304). Στο μέτωπο β διακρίνονται πολλά σπασίματα, αφού το μέτωπο αυτό είναι από τα πρώτα που έρχονται σε επαφή με την πούδρα. Τα σπασίματα αυτά πιθανόν να ανήκουν και στην περίπτωση της φθοράς λόγω κόπωσης κατά την οποία συμβαίνει θερμική κόπωση και λόγω αυξημένων θερμικών τάσεων προκύπτουν ρωγμές οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους και τελικά το αποτέλεσμα είναι η αποφλοίωση. Συνεπώς, τα σπασίματα αυτά είναι δυνατόν να έχουν προκύψει και για τους δύο λόγους που προαναφέρθηκαν.

- Εξάρτημα έκτο Επικάλυψη Καρβιδίων με υπόβαθρο χάλυβα AISI 304



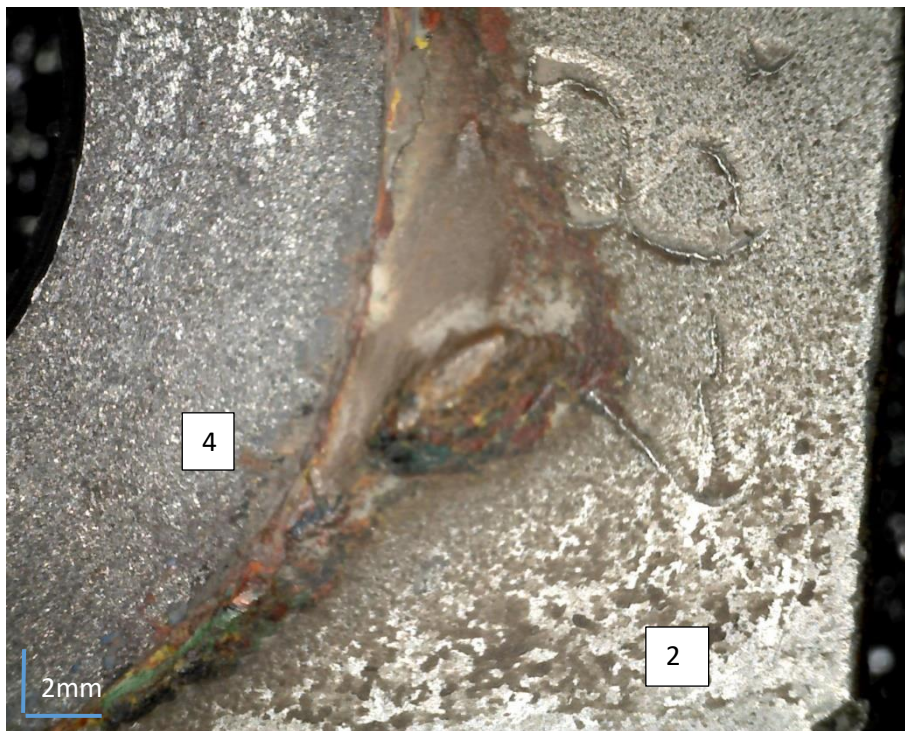
Εικόνα 9.9

Στην εικόνα 9.9 ( $M \times 20$ ,  $z = 49,3\text{mm}$ ) που αποτυπώθηκε από το στερεοσκόπιο φαίνεται η αποκόλληση της επικάλυψης της επιφάνειας ένα και είναι διακριτός και ο τρόπος με τον οποίο είχαν συνδεθεί τα δύο αυτά υλικά. Πιθανός λόγος αποκόλλησης είναι οι αυξημένες θερμοκρασίες στον μύλο, οι δυνάμεις που ασκεί η πούδρα κατά την πρόσκρουση αλλά και ο τρόπος σύνδεσης των δύο υλικών.



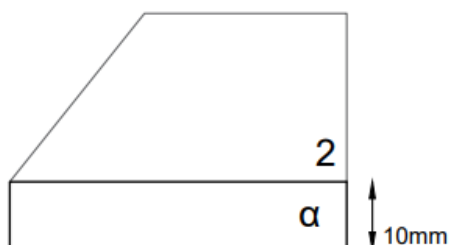
Εικόνα 9.10

Στην εικόνα 9.10 ( $M \times 20$ ,  $z = 49,5\text{mm}$ ) γίνεται ευδιάκριτη η παρουσία χρώματος, η τραχύτητα και το ξεφλούδισμα της επιφάνειας δύο. Αυτά είναι πιθανό να έχουν συμβεί εξαιτίας του χρώματος που περιέχει η πούδρα και της αυξημένης σχετικής ταχύτητας αυτής αντίστοιχα.



Εικόνα 9.11

Στην εικόνα 9.11 ( $M \times 30$ ,  $z = 7,3\text{mm}$ ) στην ένωση των επιφανειών δύο και τέσσερα φαίνεται αυξημένη παρουσία χρώματος και ξεφλούδισμα της επιφάνειας περιμετρικά του χρώματος. Οι πιθανοί λόγοι είναι η χρήση χρωστικών στην πούδρα και ο εγκλωβισμός αυτών σε κοιλότητες και εσοχές.

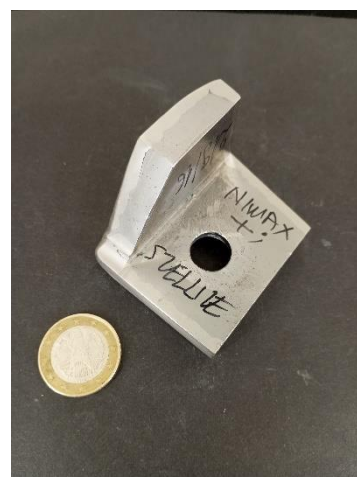


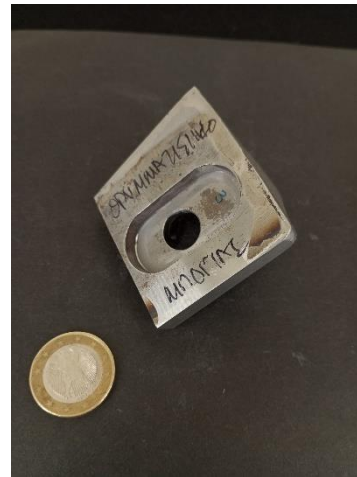
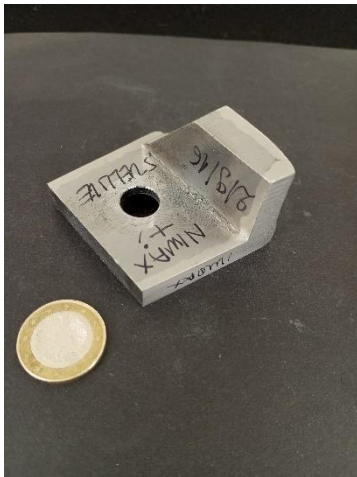


Εικόνα 9.12

Στην εικόνα 9.12 ( $M \times 30$ ,  $z = 2,9\text{mm}$ ) υπάρχει έντονη οξείδωση στο σημείο που έρχεται σε επαφή με τον δίσκο. Στο σημείο όμως περιμετρικά της οπής στο οποίο τοποθετείται επιπλέον εξάρτημα για τον κοχλία φαίνεται πιο προστατευμένο από την οξείδωση αλλά έχει υποστεί φθορά εκτριβής πιθανόν λόγω της ύπαρξης του κοχλία και της ανάπτυξης τάσεων μεταξύ των επιφανειών.

### 9.2.2 Εργαλειοχάλυβας με επικάλυψη Stellite 6.

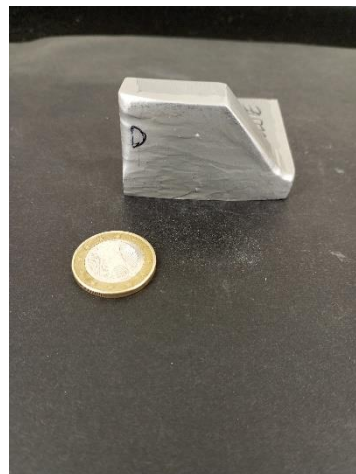
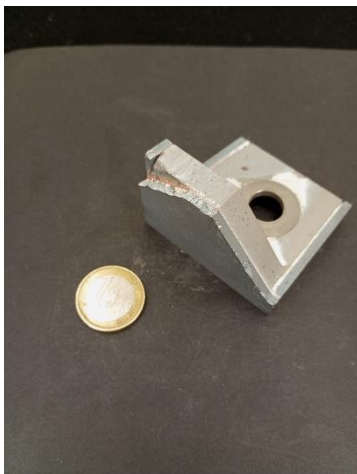




Εικόνα 9.13 Φωτογραφίες με τη χρήση του Photobox Nimax/Impax & Stellite 6

### Οπτική παρατήρηση εξαρτημάτων

Στην περίπτωση αυτή φαίνεται ότι το υλικό της επικάλυψης έχει καλύτερη σύνδεση με το υλικό που χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο συγκριτικά με την παραπάνω περίπτωση της επικάλυψης καρβιδίων σε υπόβαθρο χάλυβα.

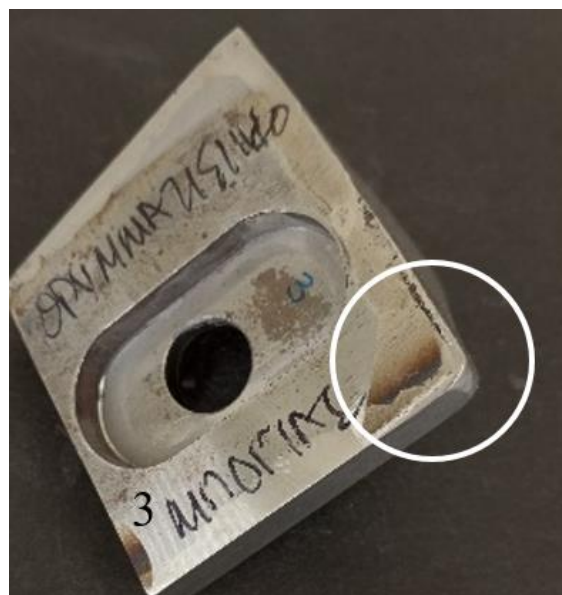


Εικόνα 9.14

Σχετικά με την αλλοίωση των χαρακτηριστικών και τις φθορές παρατηρείται η στρογγυλοποίηση των ακμών της επιφάνειας τρία αλλά και των ακμών του μετώπου β.



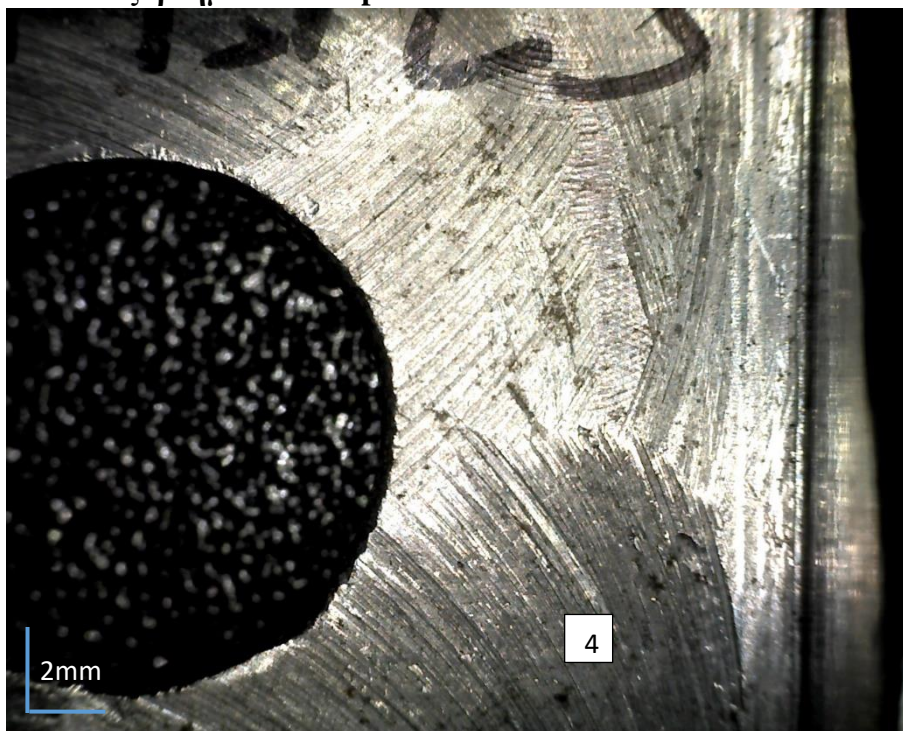
Εικόνα 9.15



Αυτό πολύ πιθανόν να οφείλεται σε αδυναμίες και χαρακτηριστικά του υλικού επικάλυψης όπως είναι η μειωμένη σκληρότητα. Επίσης, παρατηρούνται χαραγές και χρώμα στην επιφάνεια τρία αλλά δεν παρατηρείται επικόλληση χρώματος στην επιφάνεια δύο κάτι που συνέβη στην περίπτωση των καρβιδίων. Συνεπώς, δεν είναι έντονη η παρουσία της φθοράς λόγω πρόσφυσης στην επιφάνεια δύο. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι οι χαραγές στην επιφάνεια τρία είναι πιθανό να είναι φθορά εκτριβής. Στο συγκεκριμένο είδος φθοράς ένα υλικό με μεγαλύτερη σκληρότητα ολισθαίνει στην επιφάνεια ενός άλλου υλικού και δημιουργεί τα σημάδια φθοράς. Στην περίπτωση αυτή, η πούδρα που προσκρούεται στο εξάρτημα περιέχει ρητίνες, οξείδια τιτανίου και αλουμινίου, τα οποία έχουν αυξημένη σκληρότητα. Συνεπώς, η πούδρα που ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια του χάλυβα δημιουργεί επιμήκεις χαραγές και σημάδια φθοράς εκτριβής κυρίως, η οποία προκύπτει λόγω σκληρών σωματιδίων που προσκρούουν στην επιφάνεια. Ένας ακόμη λόγος της φθοράς είναι και η αυξημένη ταχύτητα πρόσκρουσης της πούδρας στο εξάρτημα που εξετάζεται. Τέλος, τα δύο δοκίμια Uddeholm Nimax & Stellite6 που αναλύθηκαν έχουν παρόμοιες φθορές μεταξύ τους κάτι το οποίο διαφέρει από την περίπτωση του χάλυβα με τις επικαλύψεις καρβιδίων.

Μικροσκοπική παρατήρηση με χρήση στερεοσκοπίου.

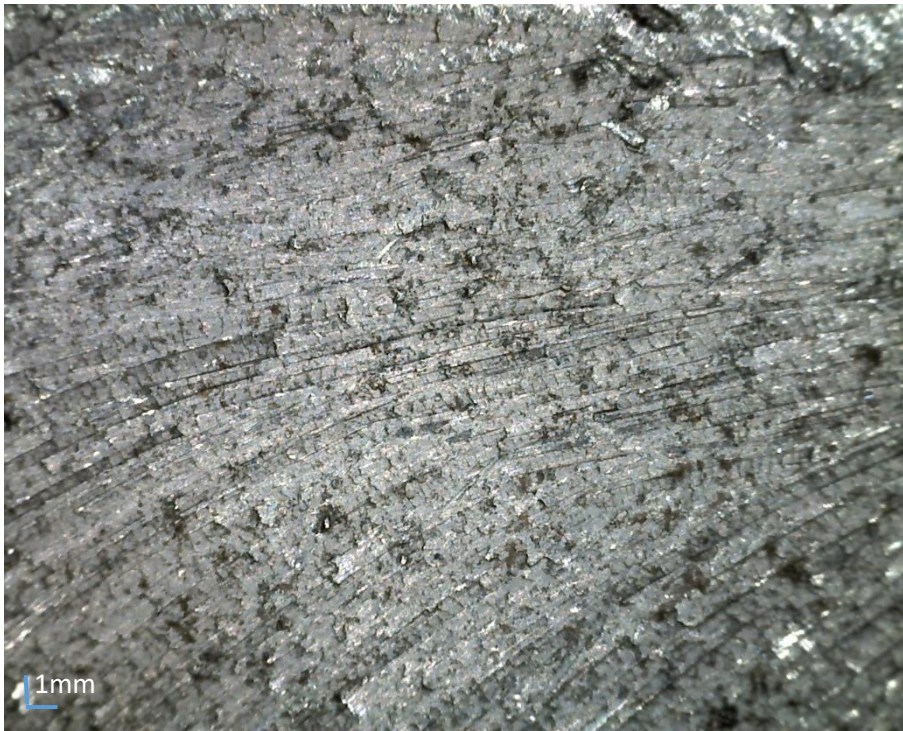
- Εξάρτημα No 2 Impax & Stellite6.



Εικόνα 9.16

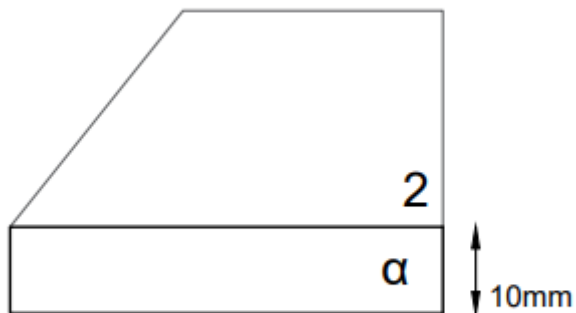
Στην εικόνα 9.16 ( $M \times 20$ ,  $z = 57,3$  mm) παρατηρείται ότι στην επιφάνεια τέσσερα υπάρχουν χαραγές προς διάφορες κατευθύνσεις κάτι που δηλώνει την φθορά λόγω εκτριβής. Λόγος της ύπαρξης της φθοράς αυτής μπορεί να είναι ο κοχλίας που τοποθετείται στην οπή.





Εικόνα 9.17

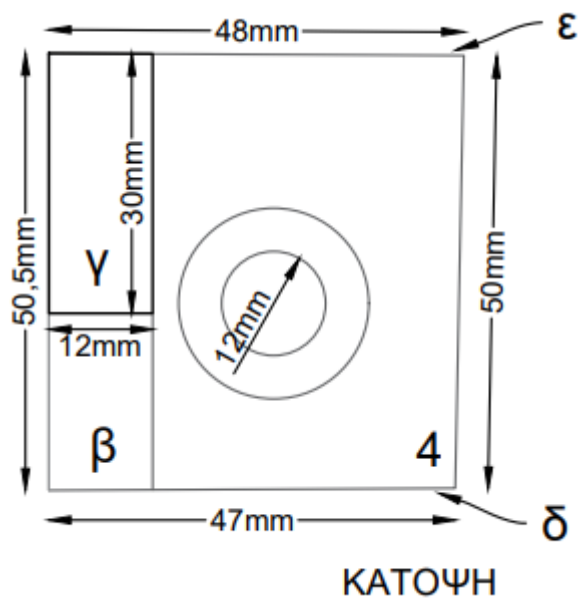
Στην εικόνα 9.17 ( $M \times 45$ ,  $z = 46,1$  mm) παρατηρείται ότι το μέτωπο  $\alpha$  έχει πολλά σημάδια φθοράς εκτριβής με αποτέλεσμα το χρώμα του υλικού πριν τη φθορά να φαίνεται μόνο στις άκρες αυτής.





Εικόνα 9.18

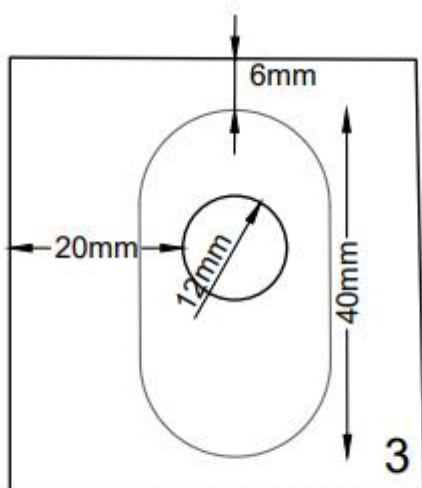
Στην εικόνα 9.18 ( $M \times 40$ ,  $z = 34,9\text{mm}$ ) στο μέτωπο  $\beta$  είναι διακριτή η ένωση της επικάλυψης με το υλικό υποβάθρου αλλά και η αυλάκωση που έχει δημιουργηθεί ανάμεσά τους. Η αυλάκωση αυτή φανερώνει ότι ο τρόπος σύνδεσης δεν λειτουργεί πολύ αποδοτικά.





Εικόνα 9.19

Στην εικόνα 9.19 ( $M \times 27$ ,  $z = 42,8\text{mm}$ ) παρατηρείται στην επιφάνεια 3 κόκκινο χρώμα, που δηλώνει οξείδωση, η οποία συμβαίνει κυρίως λόγω συνθηκών περιβάλλοντος στις οποίες βρίσκεται το εξάρτημα. Επίσης υπάρχουν επιμήκεις χαραγές, δηλαδή, φθορά εκτριβής. Τέλος, φαίνεται ο χρωματισμός κάποιων σημείων πιθανόν εξαιτίας του χρώματος της πούδρας.

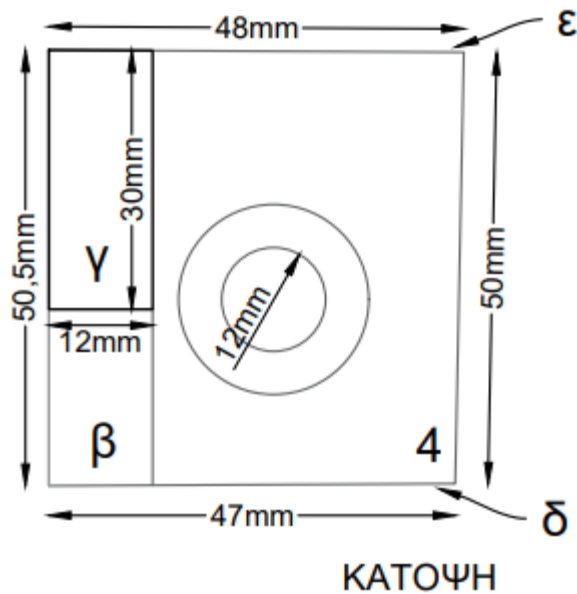


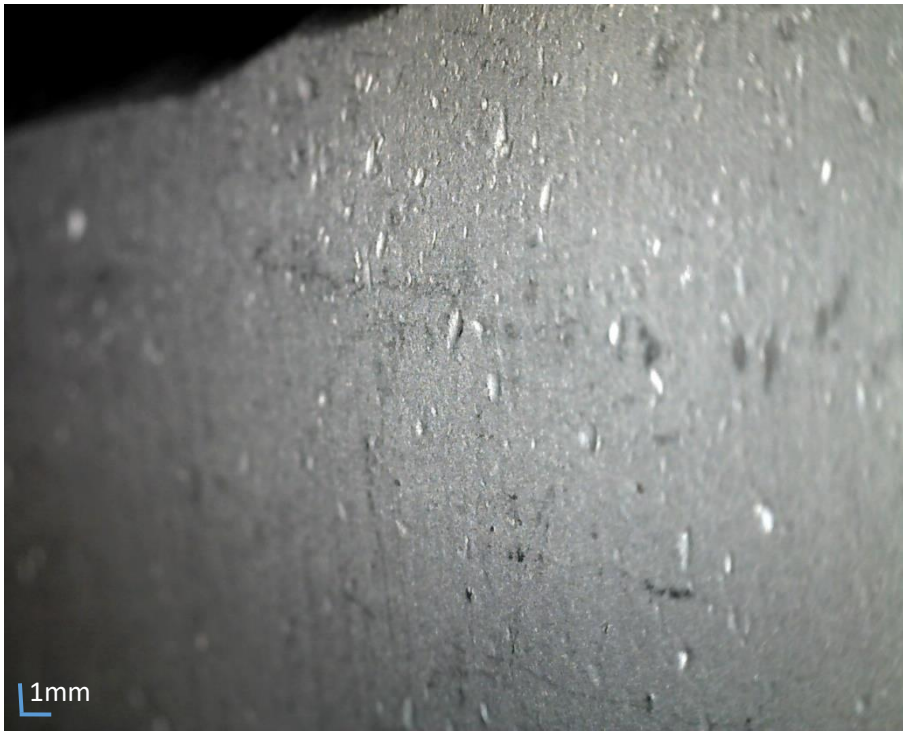
- **Εξάρτημα No 1 Uddeholm Nimax & Stellite6.**



Εικόνα 9.20

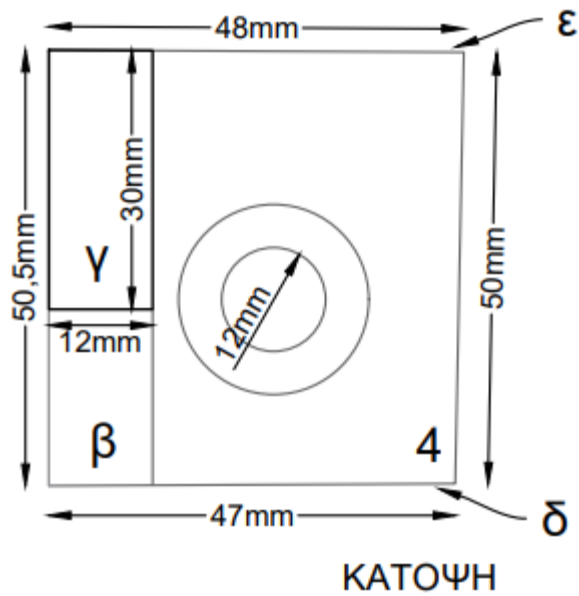
Στην εικόνα 9.20 ( $M \times 35$ ,  $z = 60,8\text{mm}$ ) παρατηρείται μια κάθετη ρωγμή στο μέτωπο  $\delta$ . Η θραύση αυτή οφείλεται σε παραμένουσες τάσεις που εγκλωβίστηκαν στη διεπιφάνεια μεταξύ Uddeholm Nimax & Stellite6. Οι τάσεις αυτές αυξήθηκαν κατά τη λειτουργία και οδήγησαν στη θραύση του τεμαχίου. Παρατηρείται επίσης φθορά εκτριβής εξαιτίας της πούδρας που προσπίπτει με αυξημένη σχετική ταχύτητα.

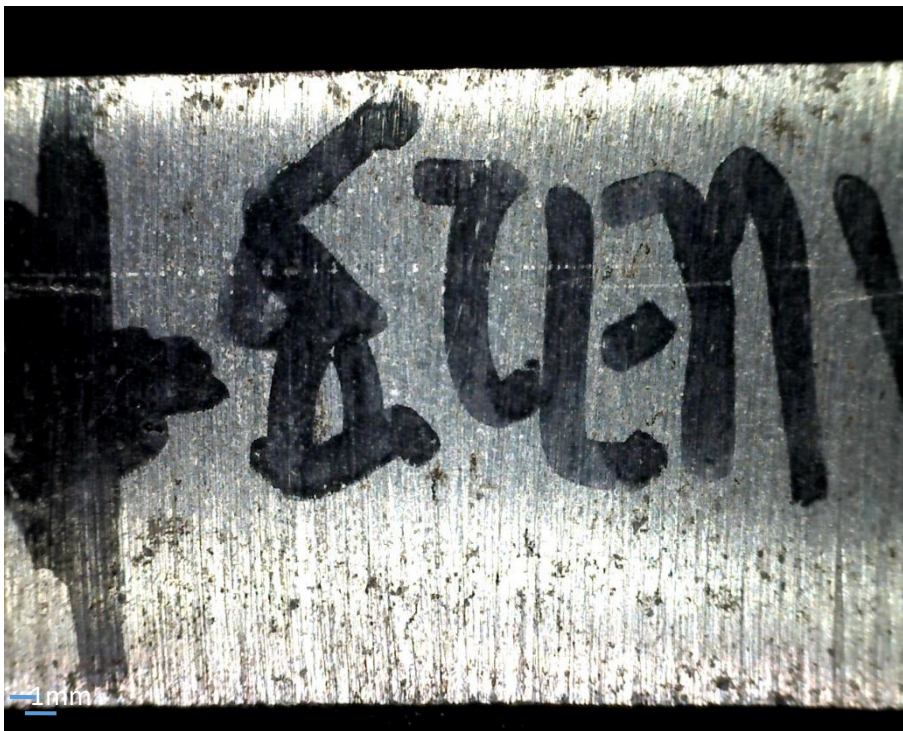




Εικόνα 9.21

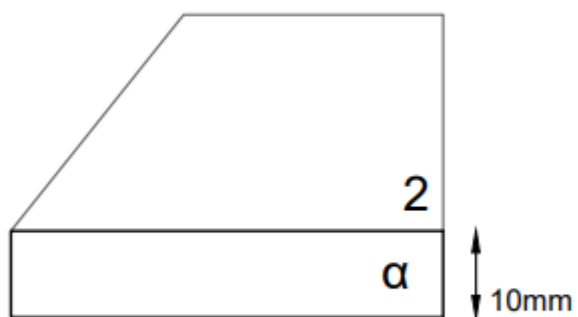
Στην εικόνα 9.21 ( $M \times 35$ ,  $z = 47,5\text{mm}$ ) διακρίνονται τα αποτυπώματα από τους κόκκους της πούδρας που προσπίπτουν με αυξημένη σχετική ταχύτητα και ασκούν αυξημένες δυνάμεις στο μέτωπο  $\epsilon$ .





Εικόνα 9.22

Στην εικόνα 9.22 ( $M \times 33$ ,  $z = 60,7\text{mm}$ ) παρατηρούνται στο μέτωπο  $\alpha$  κάθετες χαραγές και σημάδια από τους κόκκους της πούδρας αλλά και οξείδωση λόγω των συνθηκών λειτουργίας στο εσωτερικό του μύλου.



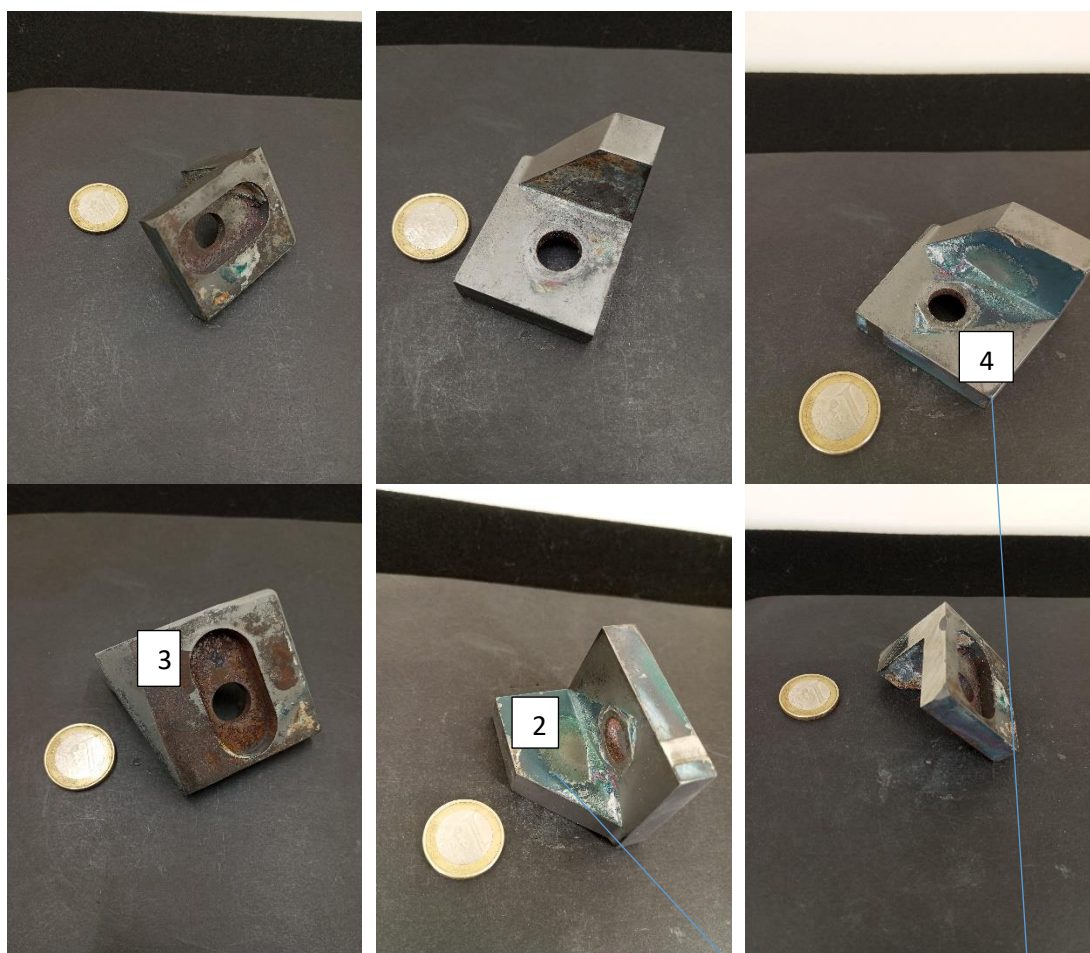


Εικόνα 9.23

Στην εικόνα 9.23 ( $M \times 23$ ,  $z = 61,3\text{mm}$ ) παρατηρείται αλλοίωση της επιφάνειας ένα. Πιο συγκεκριμένα, έχουν δημιουργηθεί ανομοιογενείς γραμμώσεις και σημάδια αποφλοίωσης ίσως εξαιτίας των συνθηκών λειτουργίας που επικρατούν και των οξειδίων τιτανίου και αλουμινίου που περιέχει η πούδρα.

### 9.2.3 Εργαλειοχάλυβας Uddeholm Vanadis10

#### Φωτογραφίες με τη χρήση του Photobox



Εικόνα 9.24 Vanadis10

#### Παρατηρήσεις με τη χρήση του Photobox

Στα συγκεκριμένα εξαρτήματα παρατηρείται χρώμα στις επιφάνειες δύο και τέσσερα (φαίνονται αριθμημένες στις παραπάνω εικόνες). Στην επιφάνεια τρία υπάρχει αυξημένη τραχύτητα και αλλαγή χρώματος με πιθανό λόγο της αλλαγής χρώματος την οξείδωση και τη διάβρωση λόγω των συστατικών της πούδρας. Οι ακμές στη συγκεκριμένη περίπτωση εξαρτήματος δεν είναι τόσο φθαρμένες όσο στην επικάλυψη των Uddeholm Nimax/ Impax & Stellite6. Στην περιοχή της οπής και ιδιαίτερα κοντά σε αυτή παρουσιάζονται πολλές χαραγές λόγω επαφής του κοχλία με την οπή. Η οπή επιπροσθέτως, φαίνεται να είναι διογκωμένη λόγω των αυξημένων τάσεων. Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην περίπτωση του εξαρτήματος Uddeholm Vanadis 10 σε σύγκριση με το εξάρτημα Uddeholm Nimax & Stellite 6 οι επιφάνειες δύο και τέσσερα έχουν λιγότερες χαραγές και σημάδια φθοράς και κατά συνέπεια λιγότερη φθορά.



## Παρατηρήσεις με τη χρήση του Dino Lite Pro2

- Εξάρτημα No 4 Uddeholm Vanadis 10.



Εικόνα 9.25

Στην εικόνα 9.25 ( $M \times 20$ ,  $z = 50,6\text{mm}$ ) διαπιστώνεται ότι στην επιφάνεια ένα έχει δημιουργηθεί μια κοιλότητα και στην επιφάνεια τρία έχει επικολληθεί χρώμα λόγω των χρωμάτων που χρησιμοποιούνται στην πούδρα. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει φθορά λόγω εκτριβής. Το εξόγκωμα που παρατηρείται ανήκει στη γενικότερη μορφή της φθοράς του εξαρτήματος, η οποία είναι τυχαία λαμβανομένου υπόψη της ταχύτητας κίνησης της πούδρας. Ακόμα, φαίνονται μικρές χαραγές κάτι το οποίο οδηγεί στο συμπέρασμα ότι υπάρχει φθορά εκτριβής.



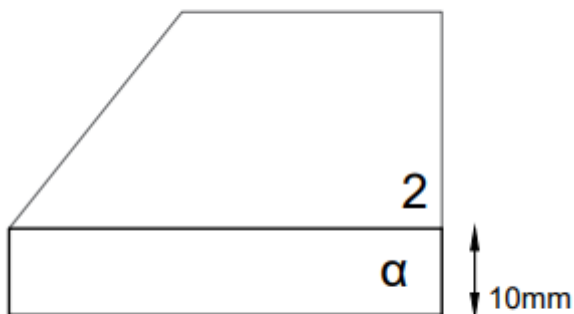
Εικόνα 9.26

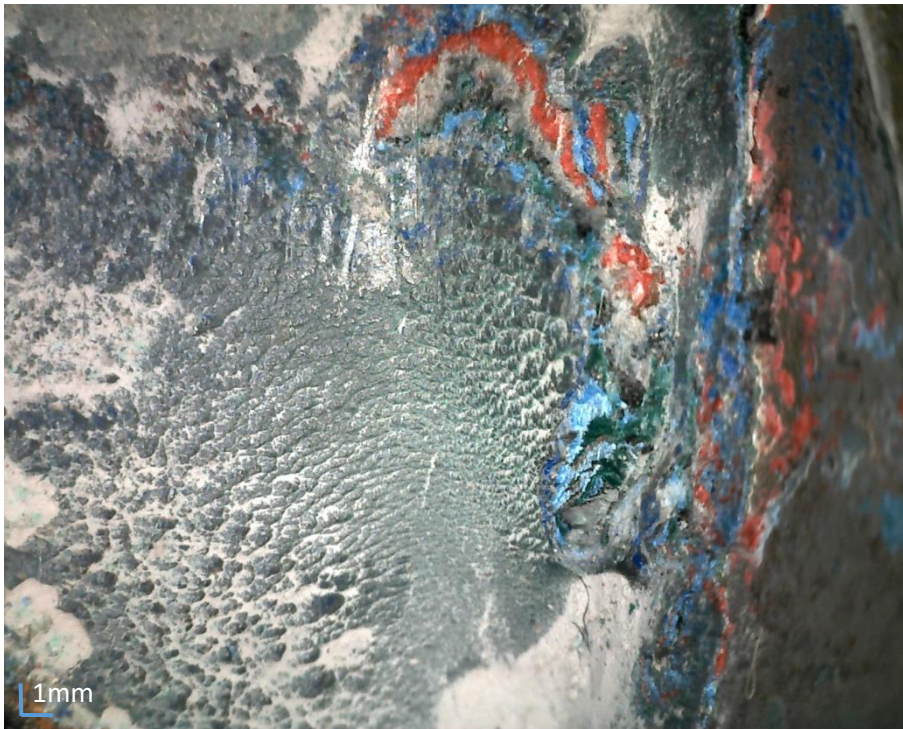
Στην εικόνα 9.26 ( $M \times 20$ ,  $z = 19,4\text{mm}$ ) διαπιστώνεται ότι στην επιφάνεια τρία έχει δημιουργηθεί κοκκινωπό χρώμα, το οποίο μπορεί να οφείλεται στο χρώμα της πούδρας είτε σε οξείδωση, η οποία είναι φαινόμενο κατά το οποίο συμβαίνει η αλλαγή χρώματος. Ο λόγος της οξείδωσης είναι συνήθως το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται το εξάρτημα. Στο περιβάλλον του μύλου αναπτύσσονται αυξημένες θερμοκρασίες, η πούδρα περιέχει οξείδια και προφανώς υπάρχει το οξυγόνο τα οποία δρούν θετικά στο να συμβεί η αντίδραση που προκαλεί την διάβρωση. Επίσης, η επιφάνεια που αποτυπώνεται στην εικόνα είναι κοντά στην οπή στην οποία τοποθετείται ένα εξάρτημα το οποίο στηρίζει τον κοχλία της οπής. Είναι, λοιπόν, περιοχή επαφής δύο επιφανειών και συνεπώς περιοχή ανάπτυξης τριβής και υψηλών θερμοκρασιών.



Εικόνα 9.27

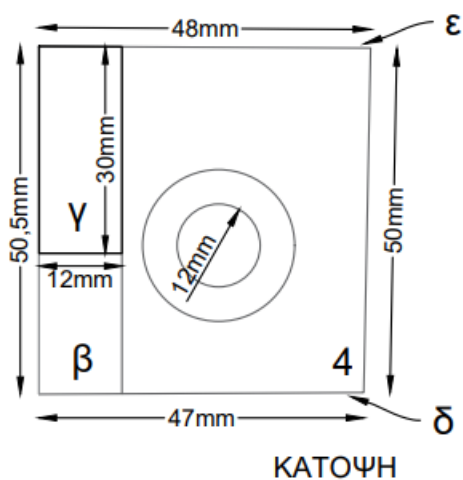
Στην εικόνα 9.27 ( $M \times 37$ ,  $z = 0\text{mm}$ ) παρατηρείται η αποκόλληση τμήματος στο πάνω μέρος της επιφάνειας δύο. Πιο συγκεκριμένα παρατηρείται η αποφλοΐωση τμήματος κάτι το οποίο συγκαταλέγεται στην περίπτωση της φθοράς λόγω κόπωσης. Πιο αναλυτικά συμβαίνει θερμική κόπωση η οποία είναι είδος επιφανειακής κόπωσης. Είναι φανερό ότι λόγω αυξημένων θερμικών τάσεων προκύπτουν ρωγμές οι οποίες ενώνονται μεταξύ τους και τελικά το αποτέλεσμα είναι η αποφλοΐωση. Ακόμα, φαίνεται και η παρουσία χρώματος, η οποία υπάρχει λόγω του χρώματος της πούδρας. Εμφανής είναι η τραχύτητα και οι χαραγές στο συγκεκριμένο τμήμα, τα οποία χαρακτηρίζονται ως φθορά λόγω πρόσφυσης και φθορά λόγω εκτριβής αντίστοιχα.





Εικόνα 9.28

Στην εικόνα 9.28 ( $M \times 32$ ,  $z = 7,8\text{mm}$ ) παρατηρείται στην ένωση των επιφανειών δύο και τέσσερα εγχρωματισμός καθώς και απομάκρυνση τμημάτων του υλικού κάτι το οποίο όπως αναφέρθηκε και παραπάνω αποτελεί φθορά λόγω εκτριβής και θερμική κόπωση, η οποία λαμβάνεται συνήθως ως δευτερεύουσα συνθήκη λειτουργίας αλλά συλλειτουργεί με τάση ή υγρασία για να δώσει ερπυσμό ή διάβρωση αντίστοιχα. Είναι γενικά σύνηθες να υπάρχει χρώμα στις ενώσεις των επιφανειών καθώς είναι δύσκολο κατά την κίνηση της πούδρας να ξεφύγει από τις ενώσεις του εξαρτήματος.



- **Εξάρτημα No 3 Vanadis 10.**



Εικόνα 9.29

Στην εικόνα 9.29 ( $M \times 20$ ,  $z = 51,9\text{mm}$ ) παρατηρούνται στην επιφάνεια βαθιές χαραγές προς διάφορες κατευθύνσεις αλλά και επιμήκεις κάτι που δηλώνει φθορά λόγω εκτριβής. Ακόμα, διαπιστώνεται και φθορά λόγω πρόσφυσης αφού διακρίνονται επικολλημένα κομμάτια υλικού πάνω στην επιφάνεια. Η επικόλληση αυτών είναι φανερή και από την αλλαγή χρώματος της επιφάνειας σε κάποια σημεία αλλά και την τραχύτητα αυτής. Η τραχύτητα αυτού του τμήματος είναι έντονη και θεωρείται μια από τις πιο φθαρμένες περιοχές του εξαρτήματος.



Εικόνα 9.30

Στην εικόνα 9.30 ( $M \times 20$ ,  $z = 047,8\text{mm}$ ) σε μια περιοχή γύρω από την οπή που τοποθετείται ο κοχλίας παρατηρούνται κυκλικές χαραγές λόγω της επαφής της επιφάνειας με τον κοχλία και την μεταξύ τους τριβή. Είναι επίσης κατανοητό ότι ανάμεσα τους δημιουργούνται και αυξημένες τάσεις κάτι το οποίο δημιουργεί περαιτέρω φθορά αλλά και πλαστική παραμόρφωση. Σημαντικό είναι να τονισθεί πως η περιοχή γύρω από την οπή έχει ελάχιστη παρουσία χρώματος κάτι το οποίο διαφοροποιείται σε σχέση με την εμφάνιση άλλων επιφανειών. Είναι πιθανό ο κοχλίας να προστατεύει την περιοχή αυτή από την επικόλληση των χρωμάτων που περιέχει η πούδρα.



Εικόνα 9.31

Στην εικόνα 9.31 ( $M \times 20$ ,  $z = 84,8\text{mm}$ ) διακρίνεται έντονη φθορά κοντά στο άκρο του μετώπου  $\alpha$ . Συγκεκριμένα, έχει συμβεί αποκόλληση μεγάλου κομματιού από το μέτωπο αυτό. Το τμήμα από το οποίο έχει αποκολληθεί κομμάτι είναι αυτό που βρίσκεται πολύ κοντά στον δίσκο. Το γεγονός αυτό μπορεί να είναι πιθανός λόγος της αποκόλλησης. Με την αποβολή του υλικού που φαίνεται και στην φωτογραφία η επικάλυψη του εξαρτήματος έχει σχεδόν αφαιρεθεί, με αποτέλεσμα να διακρίνεται το υλικό που χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο, δηλαδή, ο χάλυβας. Ακόμα, φαίνονται αυλακώσεις στην επιφάνεια πιθανώς εξαιτίας της αυξημένης σχετικής ταχύτητας που προσκρούει η πούδρα στις επιφάνειες και κατ'επέκταση στο μέτωπο  $\alpha$  του εξαρτήματος.



Εικόνα 9.32

Στην εικόνα 9.32 ( $M \times 20$  ,  $z = 40,3\text{mm}$ ) διακρίνεται έντονο κόκκινο χρώμα στη επιφάνεια τρία , στην οποία τοποθετείται ένα εξάρτημα για να τοποθετηθεί μετά ο κοχλίας σε σταθερή βάση. Η παρουσία του κόκκινου χρώματος είναι πιθανός σημάδι οξείδωσης και χημικής διάβρωσης της επιφάνειας. Επίσης, είναι φανερό ότι εφόσον αποτελεί περιοχή επαφής δύο επιφανειών αναπτύσσονται αυξημένες τάσεις και υπάρχει έντονη η παρουσία δυνάμεων της τριβής. Τέλος, είναι φανερή η παρουσία χρώματος από την πούδρα κυρίως στις κοιλότητες του εξαρτήματος, στις οποίες είναι προφανώς πιο εύκολο να επικαθήσει ένα υλικό.





Εικόνα 9.33

Στην εικόνα 9.33 ( $M \times 20$ ,  $z = 77,3\text{mm}$ ) φαίνεται στο μέτωπο  $\delta$ , το οποίο βρίσκεται σε αρκετά κοντινή απόσταση από τον κυκλώνα να έχει σημάδια από την πρόσκρουση της πούδρας σε αυτό. Όπως, προαναφέρθηκε η πούδρα προσπίπτει με αυξημένη σχετική ταχύτητα στο εξάρτημα και αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία σημαδιών και μικρών οπών- αυλακώσεων στην επιφάνεια. Εφόσον το μέτωπο της φωτογραφίας είναι σε κοντινή απόσταση από τον κυκλώνα είναι αρκετά εκτεθειμένο στην πούδρα και στις φθορές που αυτή προκαλεί. Επιπροσθέτως, παρατηρούνται μικρού μήκους και όχι μεγάλου βάθους χαραγές ανάμεσα στα σημάδια της πρόσκρουσης, με τα σημάδια αυτά όπως είναι και ευδιάκριτο στη φωτογραφία να έχουν σκούρο χρώμα.

### 9.3 Δοκιμές σκληρότητας

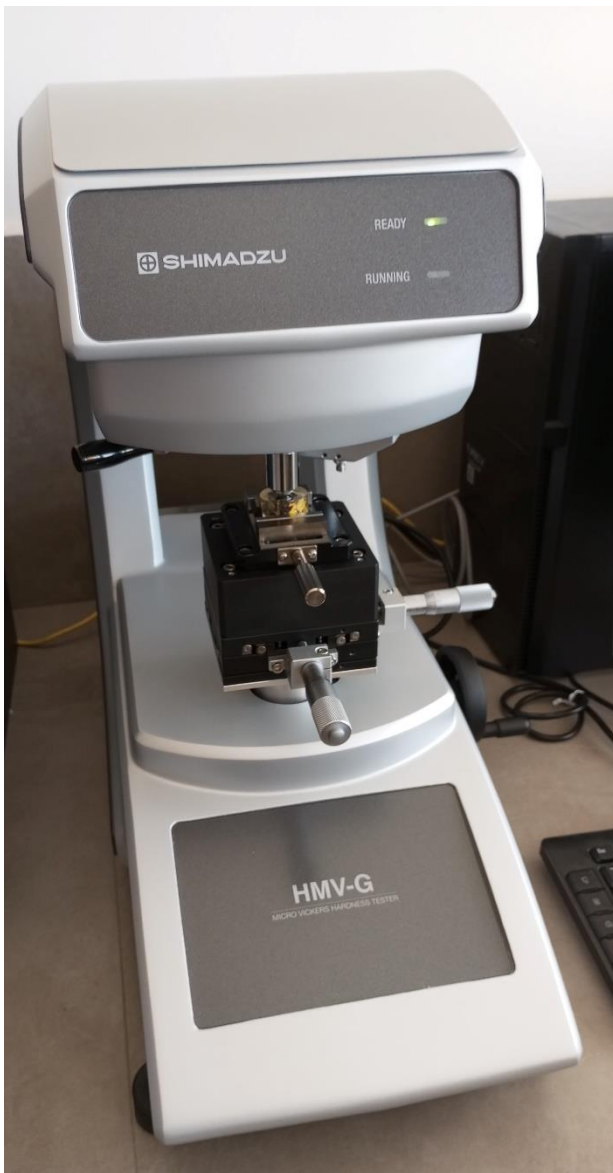
#### Μικροσκληρομέτρηση

Πριν από τη διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης, είναι απαραίτητο να προετοιμαστεί σωστά η επιφάνεια του δείγματος. Η προετοιμασία περιλαμβάνει τον καθαρισμό και τη λείανση της επιφάνειας του χάλυβα για να εξασφαλιστεί ακριβής μέτρηση της σκληρότητας. Το μηχάνημα που χρησιμοποιείται για αυτή τη διαδικασία είναι το Beuhler Metaserv Grinder – Polisher. Αρχικά και η επιφάνεια του δείγματος υποβάλλεται σε στίλβωση με αιώρημα αλουμίνας  $0,3\ \mu\text{m}$ . Η διαδικασία αυτή γίνεται στον περιστρεφόμενο δίσκο του μηχανήματος, ο οποίος περιστρέφεται με ταχύτητα  $n = 150$  στροφές ανά λεπτό. Η τοποθέτηση του δείγματος στον δίσκο έχει ως στόχο τη λείανση της επιφάνειας και την προετοιμασία της για τη μέτρηση της σκληρότητας. Κατά τη διάρκεια της λείανσης, προστίθεται απιονισμένο νερό για να διευκολυνθεί η διαδικασία και να μειωθεί η θερμότητα. Αφού ολοκληρωθεί η λείανση, το δείγμα απομακρύνεται από τον δίσκο και υποβάλλεται σε καθαρισμό με μεθανόλη, προκειμένου να επιταχυνθεί η διαδικασία στέγνωσης της επιφάνειας. Στη συνέχεια, η επιφάνεια του δείγματος στεγνώνεται με ζεστό αέρα χρησιμοποιώντας πιστολάκι. Με την ολοκλήρωση

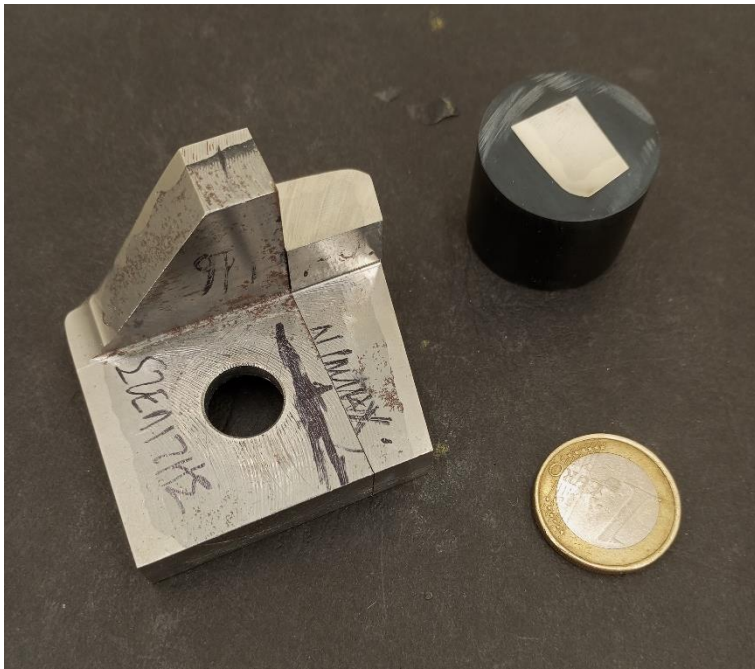
αυτών των βημάτων, το δείγμα είναι έτοιμο για την μικροσκληρομέτρηση. Η μικροσκληρομέτρηση περιλαμβάνει τη μέτρηση της σκληρότητας του υλικού σε μικροκλίμακα, με τη χρήση ειδικών οργάνων όπως το μικροσκληρόμετρο Vickers ή Knoop, τα οποία εφαρμόζουν μια καθορισμένη δύναμη μέσω μιας μικρής περόνης και μετρούν την αντίσταση του υλικού στην παραμόρφωση. Αυτή η προετοιμασία εξασφαλίζει ακριβή και αξιόπιστα αποτελέσματα στη μέτρηση της σκληρότητας, κρίσιμα για την αξιολόγηση της ποιότητας και της αντοχής του χάλυβα σε διάφορες βιομηχανικές εφαρμογές.

### **Δοκίμιο α**

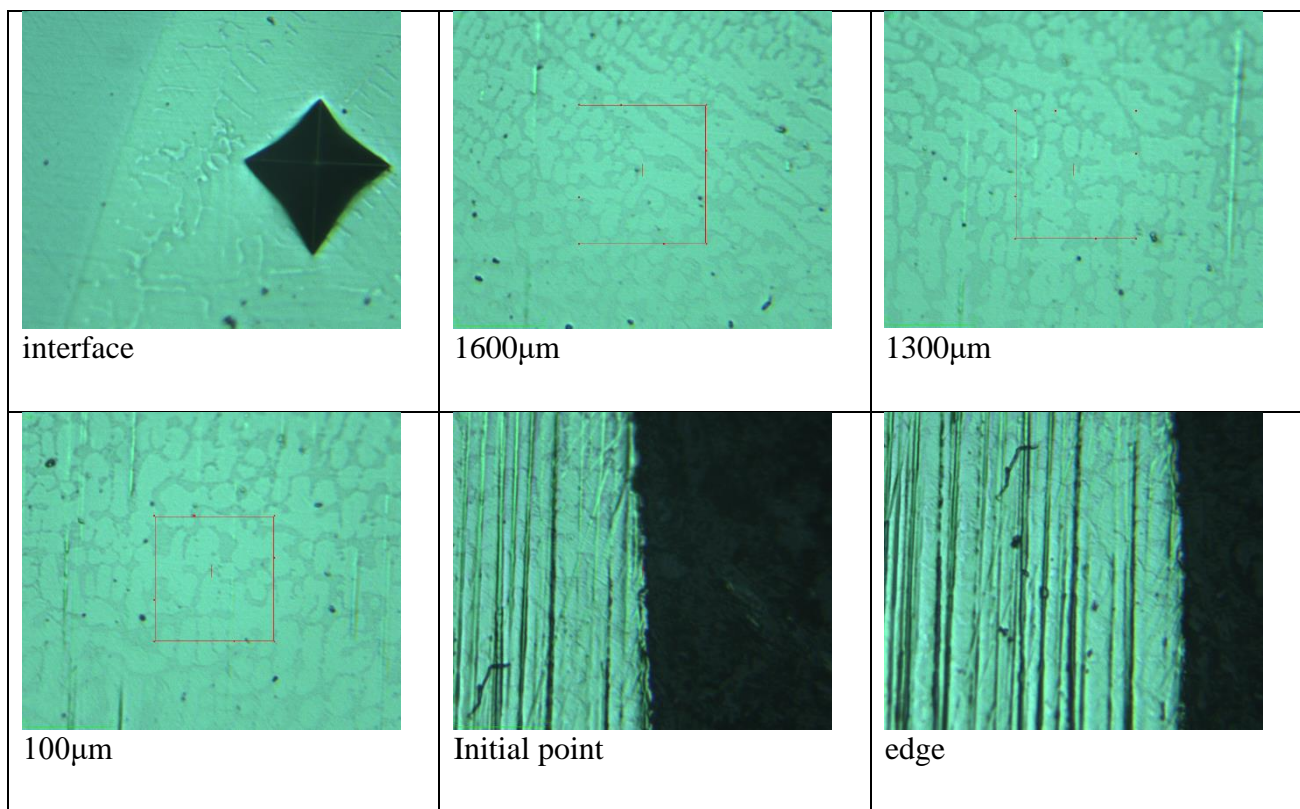
Η μικροσκληρομέτρηση πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του μαθήματος Ανάλυση Αστοχίας Μηχανολογικών Υλικών του Π.Α.Δ.Α. και χρησιμοποιήθηκε το μηχάνημα SHIMADZU HMV-G31ST-HC Serial no. 1631 259A025. Το δοκίμιο που θα υποστεί και στη συνέχεια οι μετρήσεις αυτές θα παρουσιασθούν μέσω ενός διαγράμματος. Οι μετρήσεις που πραγματοποιούνται αφορούν την επικάλυψη του Stellite 6. Το δοκίμιο τοποθετείται κάθετα στο μηχάνημα και μετριέται κάθε φορά η απόσταση από την αρχή του δοκιμίου μέχρι το σημείο υπολογισμού της σκληρότητας, αυτή η απόσταση που υπολογίζεται ονομάζεται  $z$  και μετριέται σε μικρόμετρα  $\mu\text{m}$ . Η μεταβλητή  $y= 12,40\text{mm}$  που φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί ορίζει το ύψος από την άκρη του τεμαχίου ως το σημείο υπολογισμού της σκληρότητας και παραμένει σταθερό. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από την πειραματική διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης και πίνακας με τις τιμές που ελήφθησαν.



Εικόνα 9.34 Μικροσκληρόμετρο SHIMADZU HMV-G31ST-HC Serial no. 1631 259A025



Εικόνα 9.35 Δοκίμιο μικροσκληρομέτρησης



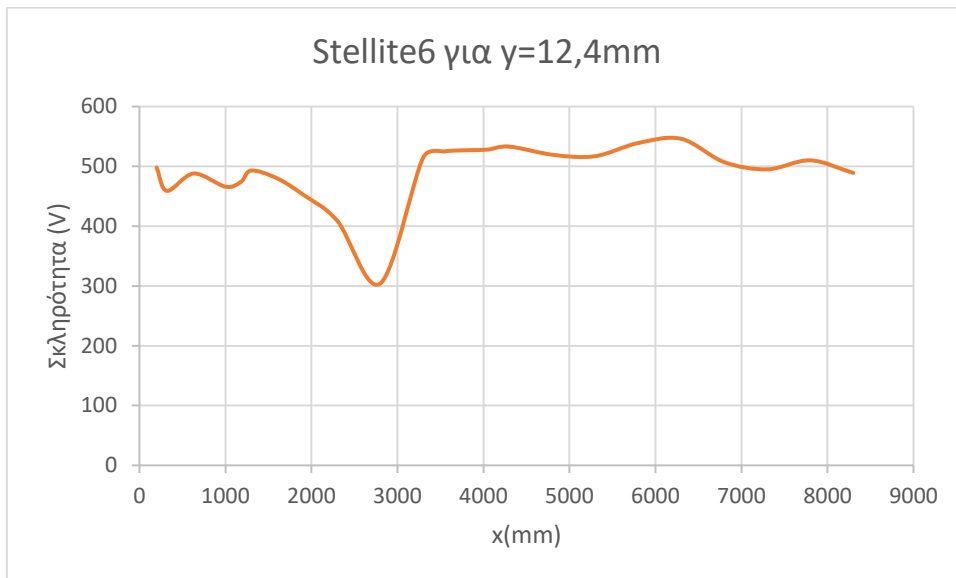
Εικόνα 9.36 Δοκίμιο Nimax&Stellite 6 στο μικροσκληρόμετρο

**Πίνακας 9.13 Τιμές μικροσκληρότητας Uddeholm Nimax&stellite 6**

| Μετρήσεις | z(μm) | y(mm) | Σκληρότητα(V) | Σκληρότητα (HRC) |
|-----------|-------|-------|---------------|------------------|
| 1         | 200   | 12,40 | 498           | 51.5             |
| 2         | 320   | 12,40 | 459           | 48.5             |
| 3         | 630   | 12,40 | 488           | 51.2             |
| 4         | 1000  | 12,40 | 466           | 49.2             |
| 5         | 1180  | 12,40 | 474           | 50.1             |
| 6         | 1300  | 12,40 | 493           | 51.6             |
| 7         | 1600  | 12,40 | 480           | 50.3             |
| 8         | 1900  | 12,40 | 453           | 48.5             |
| 9         | 2300  | 12,40 | 409           | 42.5             |
| 10        | 2800  | 12,40 | 304           | 30.5             |
| 11        | 3300  | 12,40 | 515           | 51.9             |
| 12        | 3550  | 12,40 | 525           | 52.5             |
| 13        | 3830  | 12,40 | 527           | 52.5             |
| 14        | 4050  | 12,40 | 528           | 52.6             |
| 15        | 4300  | 12,40 | 533           | 52.7             |
| 16        | 4820  | 12,40 | 519           | 52.4             |
| 17        | 5300  | 12,40 | 517           | 52.3             |
| 18        | 5800  | 12,40 | 539           | 52.9             |
| 19        | 6300  | 12,40 | 546           | 53               |
| 20        | 6800  | 12,40 | 507           | 52.1             |
| 21        | 7300  | 12,40 | 495           | 51.8             |
| 22        | 7800  | 12,40 | 510           | 51.7             |
| 23        | 8300  | 12,40 | 489           | 50.9             |

[28]

### Διάγραμμα 9.1 Τιμές μικροσκληρότητας Uddeholm Nimax&stellite 6

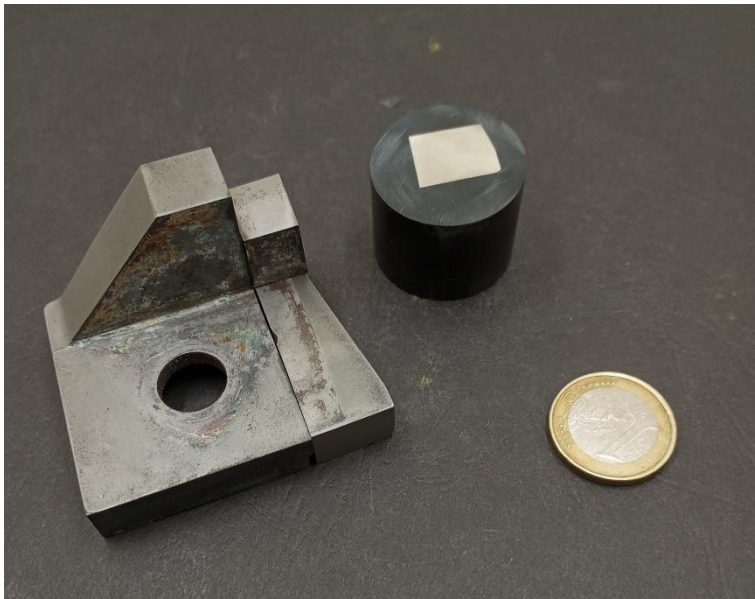


#### Σχολιασμοί και συμπεράσματα εκ του διαγράμματος

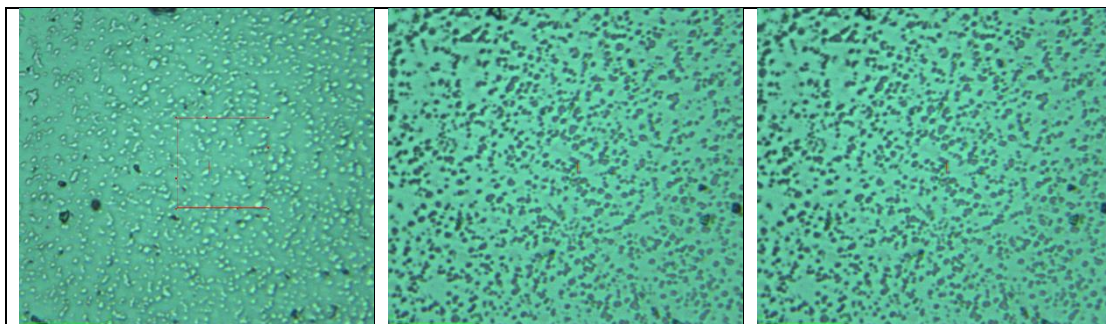
Στο διάγραμμα παρατηρείται ξαφνική μείωση της σκληρότητας του δοκιμίου και αυτό συμβαίνει, διότι ο υπολογισμός της σκληρότητας γίνεται ξεκινώντας από το άκρο του δοκιμίου προχωρώντας προς το εσωτερικό του. Το δοκίμιο αποτελείται από επικάλυψη Stellite 6 και υποβάθρο Uddeholm Nimax. Το πρώτο τμήμα του διαγράμματος ως τα 3mm που οι τιμές σκληρότητας κινούνται μεταξύ 300 – 500 Vickers αφορά την επικάλυψη Stellite6 και στην συνέχεια η απότομη πτώση δικαιολογείται από την παρουσία του υλικού σύνδεσης μεταξύ της επικάλυψης και του υποβάθρου. Τέλος, ακολουθούν οι τιμές 500 – 550 Vickers, οι οποίες αφορούν την σκληρότητα του υποβάθρου του δοκιμίου. Σύμφωνα με τις τιμές σκληρότητας του Stellite6 όπως αυτές καταγράφονται στις περιγραφές των υλικών που προηγούνται, οι τιμές σκληρότητας που ευρέθησαν μέσω του εργαστηριακού πειράματος είναι αρκετά κοντά σε αυτές. Συγκεκριμένα οι τιμές σκληρότητας όσον αφορά το Stellite 6 κινούνται στο εύρος τιμών 450-550 HV άρα υπάρχουν κοινό εύρος τιμών συγκριτικά με αυτές που ευρέθησαν κατά την μικροσκληρομέτρηση. Βέβαια, οι τιμές του Uddeholm Nimax κινούνται από 300-370 HV, οι οποίες συγκριτικά με τις τιμές που προέκυψαν από τις δοκιμές μικροσκληρομέτρησης είναι πιο μικρές. Ο λόγος της ανόδου των τιμών της σκληρότητας αυτού πιθανόν να είναι ότι αυτός έχει σκληρυνθεί στην περίπτωση αυτού του εξαρτήματος..

## Δοκίμιο β

Το δοκίμιο που θα σκληρομετρηθεί είναι το Vanadis 10. Και θα χρησιμοποιηθεί το σκληρόμετρο της παραπάνω εικόνας. Παρακάτω παρατίθενται εικόνες από την πειραματική διαδικασία και πίνακας με τις μετρήσεις σκληρότητας.



Εικόνα 9.37 Δοκίμιο μικροσκληρομέτρησης

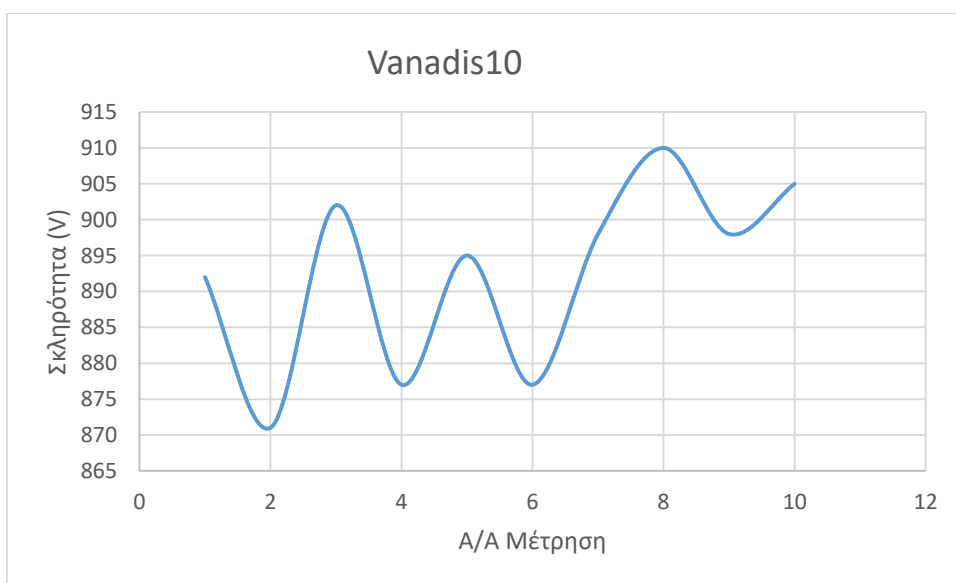


Εικόνα 9.38 Δοκίμιο Uddeholm Vanadis 10 στο μικροσκληρόμετρο

**Πίνακας 9.14 Τιμές μικροσκληρότητας Uddeholm Vanadis10**

| Μετρήσεις | Σκληρότητα(V) | Σκληρότητα HRC |
|-----------|---------------|----------------|
| 1         | 892           | 66.7           |
| 2         | 871           | 66.1           |
| 3         | 902           | 67.2           |
| 4         | 877           | 66.5           |
| 5         | 895           | 66.9           |
| 6         | 877           | 66.5           |
| 7         | 898           | 66.9           |
| 8         | 910           | 67.5           |
| 9         | 898           | 66.9           |
| 10        | 905           | 67.2           |

**Διάγραμμα 9.2 Τιμές μικροσκληρότητας Vanadis 10**



Μέση τιμή:  $\mu = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} = 892,5 \text{ HV}$

Τυπική απόκλιση:  $s_v = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2} = 13,18$

$\mu$         892,5  
           13,1761  
 $S_v$         6



## Σχολιασμοί και συμπεράσματα εκ του διαγράμματος

Οι τιμές μικροσκληρότητας σύμφωνα με τη δοκιμή που πραγματοποιήθηκε στο δοκίμιο Vanadis 10 κυμαίνονται από 870-910 HV. Συνεπώς, είναι πολύ κοντά στις τιμές που αναφέρονται και στον πίνακα με τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου υλικού, δηλαδή, 850-900 HV (βλ. Κεφ. 9.1).

## Μακροσκληρομέτρηση

Η μακροσκληρομέτρηση είναι κρίσιμη για τη διασφάλιση της ποιότητας και της αξιοπιστίας υλικών και προϊόντων σε πολλές βιομηχανικές εφαρμογές. Το σκληρόμετρο που χρησιμοποιείται παρέχεται από το Εργαστήριο Ελέγχου Ποιότητας Τεχνολογίας Υλικών του Π.Α.Δ.Α. και περιλαμβάνει το μηχάνημα INNOVATEST 600A (SIN: 13154, Man date: 2013) για τα τέσσερα πρώτα εξαρτήματα, και το μηχάνημα VEB Werkzeugmaschinen – Kombinat με Key Nr 138 66 510 για τα υπόλοιπα δύο. Στην παρακάτω ενότητα παρατίθενται εικόνες από την πειραματική διαδικασία της μακροσκληρομέτρησης και πίνακας με τις τιμές που ελήφθησαν.



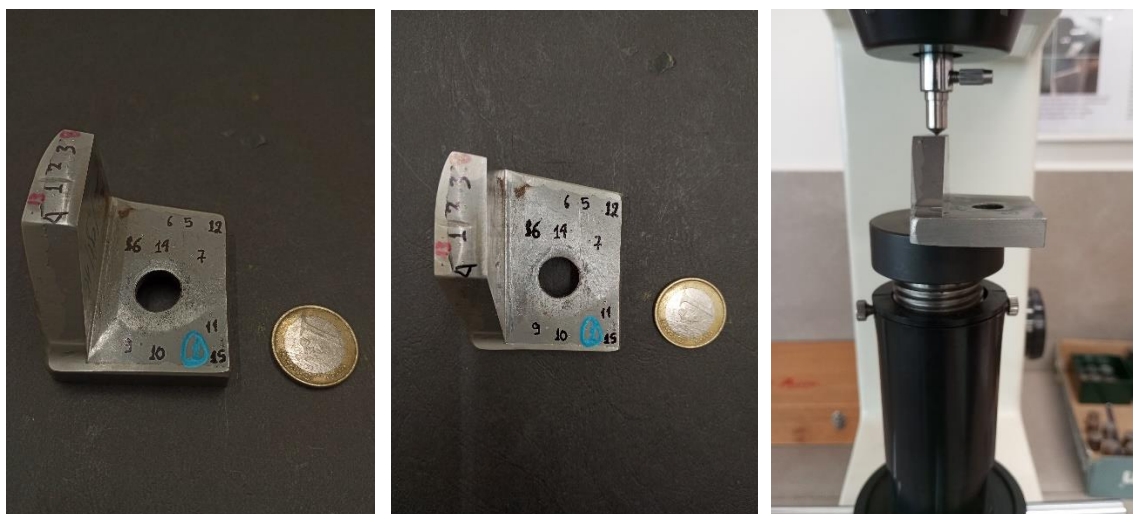
VEB Werkzeugmaschinen – Kombinat  
Key Nr 138 66 510



INNOVATEST 600A SIN:13154 Man  
date 2013

Εικόνα 9.39 Μακροσκληρόμετρα της πειραματικής διαδικασίας

## Εξάρτημα 1



Εικόνα 9.40 Μακροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 1

Στο εξάρτημα ένα όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το πρώτο που εξετάστηκε είναι αυτό που αποτελείται από υποβάθρο Uddeholm Nimax με επικάλυψη Stellite 6.

Πίνακας 9.15 Τιμές σκληρότητας

| Σημείο σκληρομέτρησης υποβάθρου | Σκληρότητα υποβάθρου (HRC) | Σημείο σκληρομέτρησης επικάλυψης | Σκληρότητα επικάλυψης (HRC) |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1                               | 47                         | 8                                | 41                          |
| 2                               | 44                         | 13                               | 31                          |
| 3                               | 43                         |                                  |                             |
| 4                               | 47                         |                                  |                             |
| 5                               | 57                         |                                  |                             |
| 6                               | 58                         |                                  |                             |
| 7                               | 35                         |                                  |                             |
| 9                               | 52                         |                                  |                             |
| 10                              | 55                         |                                  |                             |
| 11                              | 33                         |                                  |                             |
| 12                              | 52                         |                                  |                             |
| 14                              | 33                         |                                  |                             |
| 15                              | 40                         |                                  |                             |
| 16                              | 34                         |                                  |                             |

## Σχολιασμός τιμών σκληρότητας .

Τα σημεία σκληρομέτρησης 14, 16 και 7 εμφανίζουν παρόμοιες τιμές σκληρότητας (33,34,35 HRC) , διότι είναι γύρω από την οπή όπου τοποθετείται ο κοχλίας. Η περιοχή αυτή υπόκειται σε φθορές και γι'αυτό εμφανίζει αρκετά χαμηλές τιμές συγκριτικά με άλλες τιμές σκληρότητας στα υπόλοιπα σημεία μέτρησης. Ακόμα, τα σημεία 6,5,9,10 και 12 εμφανίζουν μεγαλύτερες τιμές (58,57,52,55,52) , αφού είναι σημεία που βρίσκονται κοντά στην επικάλυψη Stellite 6 του εξαρτήματος. Όσον αφορά τη σύγκριση των τιμών σκληρότητας που προέκυψαν από τη δοκιμή με τις τιμές σκληρότητας των υλικών που υπάρχουν στους πίνακες των υλικών Uddeholm Nimax και Stellite 6, οι οποίες είναι 40 HRC κα 38-45 HRC αντίστοιχα είναι πολύ κοντά στις τιμές του παραπάνω πίνακα.

## Εξάρτημα 2



Εικόνα 9.41 Μακροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 2

Στο εξάρτημα δύο όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το εξάρτημα αυτό αποτελείται από υπόβαθρο Uddeholm Imrax με επικάλυψη Stellite 6.

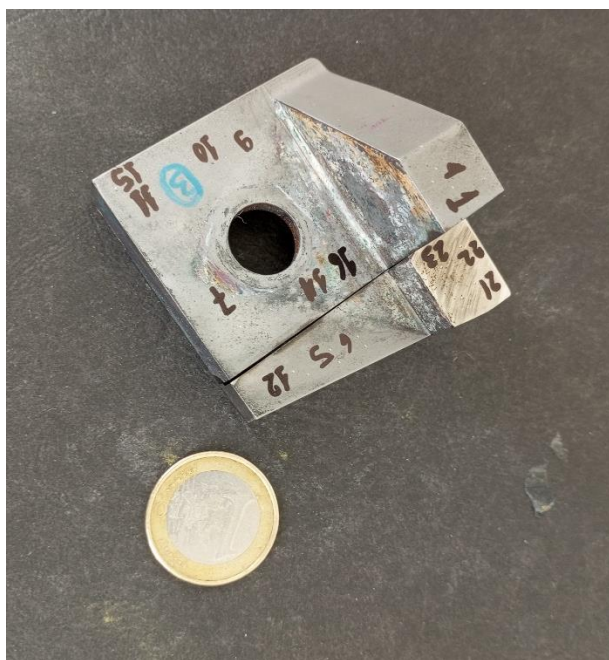
## Πίνακας 9.16 Τιμές σκληρότητας υποβάθρου

| Σημείο σκληρομέτρησης υποβάθρου | Σκληρότητα (HRC) | Σημείο σκληρομέτρησης επικάλυψης | Σκληρότητα (HRC) |
|---------------------------------|------------------|----------------------------------|------------------|
| 1                               | 51               | 8                                | 38               |
| 2                               | 48               | 13                               | 45               |
| 3                               | 45               | 17                               | 51               |
| 4                               | 52               | 18                               | 51               |
| 5                               | 54               | 19                               | 49               |
| 6                               | 56               | 20                               | 50               |
| 7                               | 30               |                                  |                  |
| 9                               | 55               |                                  |                  |
| 10                              | 56               |                                  |                  |
| 11                              | 38               |                                  |                  |
| 12                              | 52               |                                  |                  |
| 14                              | 32               |                                  |                  |
| 15                              | 54               |                                  |                  |
| 16                              | 35               |                                  |                  |

### Σχολιασμός τιμών σκληρότητας.

Όπως και στον παραπάνω πίνακα τα σημεία σκληρομέτρησης 14, 16 και 7 εμφανίζουν παρόμοιες τιμές σκληρότητας (32,35,30 HRC) ,διότι είναι γύρω από την οπή όπου τοποθετείται ο κοχλίας. Η περιοχή αυτή υπόκεινται σε φθορές και γι'αυτό εμφανίζει αρκετά χαμηλές τιμές συγκριτικά με άλλες. Ακόμα, τα σημεία 6,5,9,10 και 12 εμφανίζουν ξανά μεγαλύτερες τιμές , αφού είναι σημεία που βρίσκονται κοντά στην επικάλυψη Stellite 6 του εξαρτήματος. Όσων αφορά την σύγκριση των τιμών σκληρότητας που προέκυψαν από τη δοκιμή με τις τιμές σκληρότητας του υλικού με τις τιμές που υπάρχουν στους πίνακες των υλικών Uddeholm Impax και Stellite 6, οι οποίες είναι 30-34 HRC κα 38-45 HRC αντίστοιχα. Οι τιμές που αφορούν το Uddeholm Impax , με βάση τους πίνακες του υλικού είναι πιο λίγο μικρότερες συγκριτικά με αυτές που προέκυψαν στη δοκιμή σκληρότητας. Αυτό μπορεί να συμβαίνει , διότι μπορεί το υπόβαθρο Uddeholm Impax να έχει σκληρυνθεί.

### Εξάρτημα 3



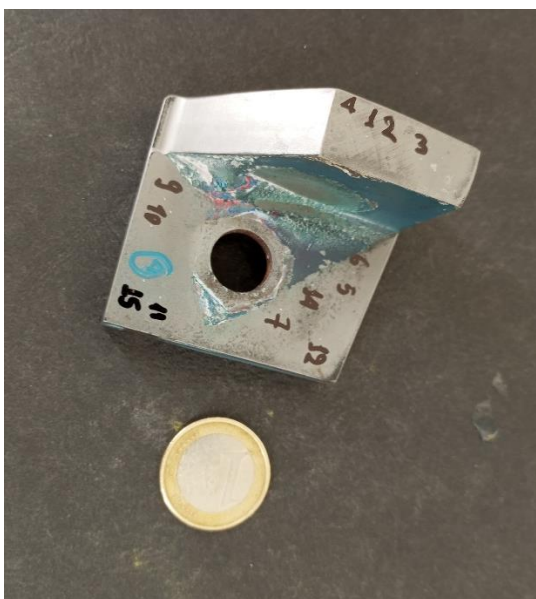
Εικόνα 9.42 Μακροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 3

Στο εξάρτημα τρία όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το εξάρτημα αυτό αποτελείται Uddeholm Vanadis 10.

### Πίνακας 9.17 Τιμές σκληρότητας εξαρτήματος 3

| Σημείο σκληρομέτρησης | Σκληρότητα (HRC) |
|-----------------------|------------------|
| 1                     | 66               |
| 4                     | 65               |
| 5                     | 65               |
| 6                     | 64               |
| 7                     | 65               |
| 9                     | 63               |
| 10                    | 64               |
| 11                    | 64               |
| 12                    | 64               |
| 14                    | 64               |
| 16                    | 65               |
| 21                    | 63               |
| 22                    | 64               |
| 23                    | 63               |

### Εξάρτημα 4



Εικόνα 9.43 Μακροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 4

Στο εξάρτημα τέσσερα όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το εξάρτημα αυτό αποτελείται Uddeholm Vanadis 10.

### Πίνακας 9.18 Τιμές σκληρότητας εξαρτήματος 4

| Σημείο σκληρομέτρησης | Σκληρότητα (HRC) |
|-----------------------|------------------|
| 1                     | 64               |
| 2                     | 65               |
| 3                     | 66               |
| 4                     | 62               |
| 5                     | 66               |
| 6                     | 66               |
| 7                     | 64               |
| 9                     | 64               |
| 10                    | 65               |
| 11                    | 65               |
| 12                    | 65               |
| 14                    | 64               |
| 15                    | 65               |
| 16                    | 65               |

#### Σχολιασμός τιμών σκληρότητας.

Οι τιμές και στις δύο περιπτώσεις των εξαρτημάτων εμφανίζουν μεγάλη ομοιότητα μεταξύ τους και όχι έντονη διασπορά στα διάφορα σημεία της επιφάνεια στα οποία έγιναν οι μετρήσεις. Οι τιμές βάσει της δοκιμής κυμαίνονται από 63-66 HRC και βάσει των πινάκων που περιγράφουν τα χαρακτηριστικά του υλικού κυμαίνονται από 58-65 HRC. Συνεπώς, υπάρχει ομοιότητα κάτι που αποδεικνύει και την σταθερότητα της τιμής σκληρότητας του υλικού Uddeholm Vanadis 10.

#### Εξάρτημα 5



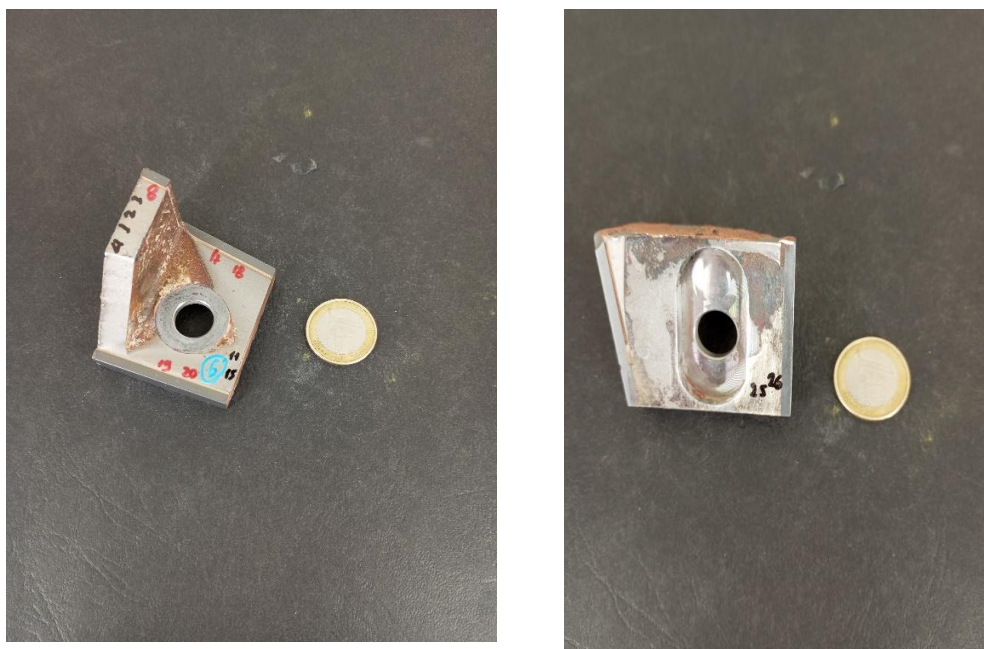
Εικόνα 9.44 Μικροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 5

Στο εξάρτημα πέντε όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το εξάρτημα αυτό αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων.

**Πίνακας 9.19 Τιμές σκληρότητας υποβάθρου**

| Σημείο σκληρομέτρησης υποβάθρου | Σκληρότητα υποβάθρου (HRB) | Σκληρότητα υποβάθρου (HRC) | Σημείο σκληρομέτρησης επικάλυψης | Σκληρότητα επικάλυψης (HRC) |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1                               | 91                         | 20.5                       | 8                                | 72                          |
| 2                               | 92                         | 20                         | 17                               | 74                          |
| 3                               | 93                         | 21.5                       | 18                               | 77                          |
| 4                               | 91                         | 20.5                       | 19                               | 71                          |
| 11                              | 86                         | 18                         | 20                               | 72                          |
| 15                              | 86                         | 18                         |                                  |                             |
| 25                              | 89                         | 19.5                       |                                  |                             |

## Εξάρτημα 6



Εικόνα 9.45 Μακροσκληρομέτρηση του εξαρτήματος 6

Στο εξάρτημα Νο 6 όπως αυτό έχει αριθμηθεί και φαίνεται στις φωτογραφίες που παρουσιάζονται παραπάνω έχει πραγματοποιηθεί μακροσκληρομέτρηση. Το εξάρτημα αυτό αποτελείται από ανοξείδωτο χάλυβα 304 με επικάλυψη καρβιδίων.

**Πίνακας 9.20 Τιμές σκληρότητας**

| Σημείο σκληρομέτρησης υποβάθρου | Σκληρότητα υποβάθρου (HRB) | Σκληρότητα υποβάθρου (HRC) | Σημείο σκληρομέτρησης επικάλυψης | Σκληρότητα επικάλυψης (HRC) |
|---------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|
| 1                               | 86                         | 18                         | 8                                | 73                          |

|    |    |      |    |    |
|----|----|------|----|----|
| 2  | 87 | 18.5 | 17 | 73 |
| 3  | 89 | 19.5 | 18 | 74 |
| 4  | 86 | 18   | 19 | 73 |
| 11 | 88 | 19   | 20 | 72 |
| 15 | 91 | 20.5 |    |    |
| 25 | 89 | 19.5 |    |    |
| 26 | 85 | 17.5 |    |    |

Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την μετατροπή των τιμών σκληρότητας στους παραπάνω πίνακες από HRB σε HRC είναι εμπειρικός τύπος και είναι ο εξής:

$$HRC = \frac{HRB - 50}{2}$$

#### Σχολιασμός τιμών σκληρότητας.

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα οι τιμές του υποβάθρου είναι από 12.5-15.5 HRC και οι τιμές σκληρότητας της επικάλυψης είναι από 74-73HRC. Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά των τεχνικών φυλλαδίων στην περίπτωση του ανοξείδωτου χάλυβα AISI 304 οι τιμές σκληρότητας αντιστοιχούν σε τιμές περίπου 10-20 HRC, αν και συνήθως δεν μετρείται σε κλίμακα Rockwell C λόγω της χαμηλής σκληρότητάς του σε αυτήν την κατάσταση. Σε εργοσκληρυνση (work-hardened condition), η σκληρότητα του AISI 304 μπορεί να φτάσει έως και 30 HRC. Τα καρβίδια έχουν τιμές σκληρότητας 68-72 HRC με βάση τις τιμές που δίνονται από τους πίνακες τεχνικών φυλλαδίων. Σύμφωνα, λοιπόν, με τα παραπάνω αν συγκριθούν τα στοιχεία από τα τεχνικά φυλλάδια με τις τιμές των μετρήσεων σκληρομέτρησης που πραγματοποιήθηκε φαίνεται να είναι κοινές στην περίπτωση της επικάλυψης και του υποβάθρου.

#### 10 Συμπεράσματα και σχόλια – σύγκριση εξαρτημάτων

Η μελέτη αστοχίας των εξαρτημάτων επικεντρώθηκε στην αξιολόγηση τριών διαφορετικών υλικών με βάση τις επιδόσεις τους σε συνθήκες χρήσης. Στηρίχθηκε σε δεδομένα σχετικά με τη μακροσκληρότητα και τη μικροσκληρότητα των υλικών. Ακολουθούν τα αποτελέσματα της ανάλυσης και τα τελικά συμπεράσματα:

##### 1. Ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 με Επικάλυψη Καρβιδίων

###### Φθορές:

- **Αποκόλληση Επικάλυψης:** Παρατηρήθηκε αποκόλληση της επιφανειακής επικάλυψης, ιδιαίτερα σε περιοχές που έρχονται σε άμεση επαφή με την πούδρα.
- **Φθορά λόγω Πρόσκρουσης:** Υπήρξαν έντονες φθορές λόγω της πρόσκρουσης, κυρίως στις ακμές.
- **Χαραγές και Αλλοιώσεις:** Χαραγές και επικόλληση υλικού στην επιφάνεια, πιθανώς λόγω εκτριβής και πρόσφυσης.



- **Οξείδωση:** Παρατηρήθηκαν χρωματικές αλλαγές πιθανώς λόγω οξείδωσης.

#### **Συμπεράσματα:**

- Η αποκόλληση και η φθορά λόγω πρόσκρουσης υποδεικνύουν αδύναμη σύνδεση της επικάλυψης με το υπόβαθρο και περιορισμένη αντοχή.

### **2. Uddeholm Nimax/Impax & Stellite 6**

#### **Φθορές:**

- **Καλύτερη Σύνδεση:** Η επικάλυψη παρουσιάζει καλύτερη σύνδεση με το υπόβαθρο συγκριτικά με τον ανοξείδωτο χάλυβα 304 με επικάλυψη καρβιδίων.
- **Στρογγυλοποίηση Ακμών:** Οι ακμές είναι στρογγυλεμένες, πιθανώς λόγω μειωμένης σκληρότητας.
- **Χαραγές και Χρώμα:** Χαραγές και αλλαγές χρώματος.
- **Φθορά Εκτριβής:** Φθορά εκτριβής από την πούδρα που περιέχει οξείδια του αλουμινίου και του τιτανίου.

#### **Συμπεράσματα:**

- Η επικάλυψη Nimax & Stellite6 προσφέρει καλύτερη αντοχή και συνδεσιμότητα, αν και η σκληρότητα είναι περιορισμένη.

### **3. Uddeholm Vanadis 10**

#### **Φθορές:**

- **Χρώμα και Τραχύτητα:** Αλλαγές χρώματος και αυξημένη τραχύτητα, πιθανώς λόγω οξείδωσης και διάβρωσης.
- **Χαραγές και Διάσταση:** Χαραγές και διογκώσεις στην περιοχή της οπής λόγω αυξημένων τάσεων.
- **Μειωμένη Φθορά:** Λιγότερες χαραγές και φθορά σε σύγκριση με Uddeholm Nimax/Impax & Stellite6.

#### **Συμπεράσματα:**

- Το Vanadis 10 παρουσιάζει την καλύτερη συνολική αντοχή και λιγότερες φθορές, κάνοντάς το την καλύτερη επιλογή σε συνθήκες χρήσης.

### **Συγκρίσεις διάρκειας ζωής**

#### **1. Uddeholm Nimax/Impax & Stellite 6**

- Τα σφυριά με Uddeholm Nimax / Impax και επικάλυψη Stellite 6 παρουσιάζουν σχετικά γρήγορη φθορά, με την εκτεταμένη φθορά να εμφανίζεται μετά από περίπου 2 μήνες λειτουργίας. Αυτά τα υλικά, παρά την αρχική τους αντοχή,

υποφέρουν από φθορά σε σύντομο χρονικό διάστημα, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο ιδανικά για εφαρμογές με απαιτήσεις μακροχρόνιας αντοχής.

## **2. Uddeholm Vanadis 10**

- Τα σφυριά με Vanadis 10 παρουσιάζουν καλύτερη αντοχή στη φθορά σε σχέση με τα Uddeholm Nimax/Impax & Stellite 6, με την πρώτη εμφανή φθορά να παρατηρείται στις 30 μέρες και την εκτεταμένη φθορά στους 3 μήνες λειτουργίας. Παρά τη βελτιωμένη αντοχή σε σχέση με το Uddeholm Nimax/Impax & Stellite, το Uddeholm Vanadis 10 φθείρεται γρηγορότερο από ότι απαιτείται.

## **3. Ανοξείδωτος χάλυβας AISI 304 με Επικάλυψη Καρβιδίων**

- Τα σφυριά με ανοξείδωτο χάλυβα AISI 304 και επικάλυψη καρβιδίων παρουσιάζουν αποκόλληση της επικάλυψης και σπασίματα κάτι που αποδεικνύει ότι η σύνδεση του υλικού με την επικάλυψη (μπρουτζοκόλληση) δεν είναι η επιθυμητή. Βέβαια, υπάρχουν περιπτώσεις όπου τα σφυριά λειτουργούν για πάνω από 5 χρόνια χωρίς έντονες φθορές στην επικάλυψη καρβιδίου, λόγω της αυξημένης σκληρότητας αυτών. Συχνά, όμως, εμφανίζουν εμφανείς φθορές σε 3 ώρες ή σε 7-8 μήνες κάτι που δείχνει ότι δεν έχουν σταθερή διάρκεια ζωής, Παρόλα αυτά, η πρόσφατη αλλαγή προμηθευτή έχει βελτιώσει την ποιότητα των κολλήσεων, καθιστώντας τα σφυριά πιο αξιόπιστα.

### **Συμπεράσματα:**

Τα σφυριά με Uddeholm Nimax/Impax και Stellite 6 εμφανίζουν ταχύτερη φθορά σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά. Το Uddeholm Vanadis 10 προσφέρει αντοχή, καλύτερη από το Uddeholm Nimax/Impax & Stellite 6. Τέλος, τα σφυριά με AISI 304 με επικάλυψη καρβιδίων αν και αντέχουν σε κάποιες περιπτώσεις περισσότερο χρόνο έχουν το ζήτημα της αποκόλλησης, το οποίο φαίνεται να έχει βελτιωθεί με τον νέο προμηθευτή. Η επιλογή υλικού εξαρτάται από τη διάρκεια λειτουργίας και τις απαιτήσεις αντοχής, λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα που μπορεί να προκύψουν, όπως η αποκόλληση στα καρβίδια.

### **Συγκρίσεις Μικροσκληρομέτρησης**

#### **Uddeholm Vanadis 10:**

- Μέση Τιμή: 892.5 HV

#### **Uddeholm Nimax & Stellite 6:**

- Μέση Τιμή: 487.7 HV

### **Συμπεράσματα:**

1. Το Uddeholm Vanadis 10 έχει σημαντικά υψηλότερη μέση τιμή σκληρότητας σε σύγκριση με το Uddeholm Nimax & Stellite 6.

2. Οι τιμές του Uddeholm Vanadis 10 είναι πιο συγκεντρωμένες γύρω από τη μέση τιμή, ενδεικτικές της υψηλότερης συνεκτικότητας στη σκληρότητα.

### **Συγκρίσεις Μακροσκληρομέτρησης**

#### **Uddeholm Vanadis 10:**

- **Μέση Τιμή:** Περίπου 64-65 HRC

#### **Uddeholm Nimax & Stellite 6:**

- **Μέση Τιμή για Υπόβαθρο:** 46.4 HRC
- **Μέση Τιμή για Επικάλυψη:** 36 HRC

#### **Uddeholm Impax & Stellite 6:**

- **Μέση Τιμή για Υπόβαθρο:** 46.4
- **Μέση Τιμή για Επικάλυψη:** 47.67

#### **Ανοξείδωτος Χάλυβας AISI 304 με Επικάλυση Καρβιδίων:**

- **Μέση Τιμή Υπόβαθρο:** 89.1 HRB → 20 HRC
- **Μέση Τιμή Επικάλυση Καρβιδίων:** 73.2 HRC

### **Συμπεράσματα:**

1. Το Uddeholm Vanadis 10 έχει την υψηλότερη μέση τιμή μακροσκληρότητας και είναι πιο σταθερό σε σχέση με τα άλλα υλικά.
2. Το Uddeholm Nimax / Impax & Stellite 6 έχει καλύτερη σύνδεση συγκριτικά με τον ανοξείδωτο χάλυβα 304 με επικάλυψη καρβιδίων αλλά έχει μειωμένη σκληρότητα συγκριτικά με το Uddeholm Vanadis 10.
3. Ο ανοξείδωτος χάλυβας με επικάλυψη καρβιδίων έχει υψηλότερη σκληρότητα στην επικάλυψη καρβιδίων σε σύγκριση με το υπόβαθρο.

### **Συνολικό Συμπέρασμα**

Με βάση τη συνολική αξιολόγηση των υλικών, το Uddeholm Vanadis 10 αποδεικνύεται ως η ιδανικότερη επιλογή για τις συνθήκες λειτουργίας που περιγράφονται στη μελέτη. Παρουσιάζει την καλύτερη ισορροπία αντοχής στη φθορά και συνολικής ζημιάς σε σύγκριση με τα υπόλοιπα υλικά, καθώς και σταθερές υψηλές τιμές σκληρότητας. Η μικρότερη διακύμανση στη σκληρότητα και η αυξημένη ανθεκτικότητα καθιστούν το Uddeholm Vanadis 10 την πιο αξιόπιστη λύση για απαιτητικές εφαρμογές.

Τα σφυριά με Uddeholm Nimax/Impax & Stellite 6 παρουσιάζουν ταχύτερη φθορά, γεγονός που τα καθιστά λιγότερο κατάλληλα για μακροχρόνια χρήση. Αν και τα σφυριά με AISI 304 και επικάλυψη καρβιδίων προσφέρουν σε κάποιες περιπτώσεις την υψηλότερη διάρκεια ζωής, το ζήτημα της αποκόλλησης των καρβιδίων είναι ένας σημαντικός περιορισμός. Ωστόσο, με τη βελτίωση των κολλήσεων από τον νέο προμηθευτή, τα καρβίδια αποτελούν μια εξαιρετική επιλογή για εφαρμογές

μακροχρόνιας χρήσης, υπό την προϋπόθεση ότι θα αποφευχθούν προβλήματα αποκόλλησης.

Συνολικά, το Uddeholm Vanadis 10 αποτελεί την καλύτερη επιλογή για βέλτιστη αντοχή στη φθορά και αξιοπιστία, λαμβάνοντας υπόψη τις απαιτήσεις και τις συνθήκες λειτουργίας που μελετήθηκαν.

## 11 Βιβλιογραφία

1. Τριανταφυλλίδης, Γ. Κ. *Μεταλλογνωσία* (3η έκδοση).
2. Kalpakjian, S., & Schmid, S. R. *Μηχανουργική Επιστήμη & Τεχνολογία* (μετάφραση).
3. HMicron Powder. *HMicron Powder*. Διαθέσιμο από: <https://www.hmicronpowder.com/>
4. Hosokawa Alpine. *Classifier Mills ACM*. Διαθέσιμο από: <https://www.hosokawa-alpine.com/powder-particle-processing/machines/classifier-mills/acm/>
5. Neuman & Esser. *Impact Classifier Mill Extra*. Διαθέσιμο από: <https://www.neuman-esser.com/en/products-services/mills-classifier-systems/impact-classifier-mill-extra/>
6. Neuman & Esser. *Mills & Classifier Systems*. Διαθέσιμο από: <https://www.neuman-esser.com/en/products-services/mills-classifier-systems/>
7. Υπουργείο Παιδείας. *Μηχανουργική Τεχνολογία II* (Γ' ΕΠΑΛ, Βιβλίο Μαθητή). Διαθέσιμο από: [http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/4056/24-0047-03\\_Michanourgiki-Technologia-II\\_G-EPAL\\_Vivlio-Mathiti/](http://ebooks.edu.gr/ebooks/v/pdf/8547/4056/24-0047-03_Michanourgiki-Technologia-II_G-EPAL_Vivlio-Mathiti/)
8. Καρνά, Μ. *Διπλωματική Εργασία*. Διαθέσιμο από: [https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/44166/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%9A%CE%91%CE%A1%CE%9D%CE%91\\_%CE%9C%CE%91%CE%A1%CE%99%CE%91.pdf](https://dspace.lib.ntua.gr/xmlui/bitstream/handle/123456789/44166/%CE%94%CE%99%CE%A0%CE%9B%CE%A9%CE%9C%CE%91%CE%A4%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%9A%CE%91%CE%A1%CE%9D%CE%91_%CE%9C%CE%91%CE%A1%CE%99%CE%91.pdf)
9. Gök, D. A., Bayraktar, C., & Hoşkun, M. *A review on processing, mechanical and wear properties of Al matrix composites reinforced with Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, B<sub>4</sub>C and MgO by powder metallurgy method*. Διαθέσιμο από: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2024.06.110>
10. Χημικός, Ι. *Μεταλλουργία Πετρόπουλου*. Διαθέσιμο από: <https://www.xhmikos.gr/METALLOYRGIA%20PETROPOUYLOY.pdf>
11. BHP. *Pathways to Decarbonisation: Episode Two – Steelmaking Technology*. Διαθέσιμο από: <https://www.bhp.com/news/bhp-insights/2020/11/pathways-to-decarbonisation-episode-two-steelmaking-technology>
12. Formlabs. *The Ultimate Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing*. Διαθέσιμο από: <https://formlabs.com/eu/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
13. Seraj, R. A., Abdollah-zadeh, A., Dosta, S., Assadi, H., & Cano, I. G. *Comparison of Stellite coatings on low carbon steel produced by CGS and HVOF spraying*. Διαθέσιμο από: <https://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/157497/1/693729.pdf>

14. Uddeholm. *Uddeholm Nimax*. Διαθέσιμο από: <https://www.uddeholm.com/uk/en/products/uddeholm-nimax/>
15. Uddeholm. *Technical Datasheet: Uddeholm Nimax*. Διαθέσιμο από: [https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/216/productdb/api/tech\\_uddeholm-nimax\\_en.pdf](https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/216/productdb/api/tech_uddeholm-nimax_en.pdf)
16. Wu, Y., Bousser, E., Schmitt, T., Tarfa, N., Khelifaoui, F., René, R., Klemberg-Sapieha, J.-E., & Brochu, M. *Thermal stability of a Stellite/steel hardfacing interface during long-term aging*.
17. Special Metals. *Stellite 6 - Technical Information*. Διαθέσιμο από: [http://specialmetals.ir/images/technical\\_info/cobalt\\_base/Stellite\\_6.pdf](http://specialmetals.ir/images/technical_info/cobalt_base/Stellite_6.pdf)
18. Kennametal. *Stellite 6 Alloy*. Διαθέσιμο από: <https://catalogs.kennametal.com/infrastructure/Stellite-6-Alloy/1/>
19. Uddeholm. *Vanadis 10*. Διαθέσιμο από: [http://www.uddeholm.gr/Storage/Media/Shared/SteelBrochures/Vanadis%2010/PB\\_vanadis\\_10\\_english.pdf](http://www.uddeholm.gr/Storage/Media/Shared/SteelBrochures/Vanadis%2010/PB_vanadis_10_english.pdf)
20. Zhang, X., Fan, J., Królczyk, G. M., Zhang, X., Ren, L., Gupta, M. K., Chen, S., & Li, Z. *Corrosion behavior of 304 stainless steel in supercritical water*.
21. Chen, Y., Zhao, X., Yang, B., Liu, Y., Liang, Y., Li, Z., & Chen, C. *Study on properties of 304 wire arc additive manufacturing stainless steel TIG welded joints*.
22. AGST Steel. *304 Stainless Steel*. Διαθέσιμο από: <https://www.agst-steel.de/data/gr/4301.pdf>
23. Hartmetall Wilke. *WB25G Technical Datasheet*. Διαθέσιμο από: <https://www.hartmetall-wilke.de/app/uploads/2022/08/WB25G.pdf>
24. ScienceDirect. *Processes and Applications of Stellite Deposition*.
25. Stellite. *Stellite Alloys*. Διαθέσιμο από: <https://www.stellite.com/us/en/alloys/stellite.html>
26. ScienceDirect. Διαθέσιμο από: <https://www.sciencedirect.com/>
27. IspatGuru. *Annealing of Steels*. Διαθέσιμο από: <https://www.ispatguru.com/an-nealing-of-steels/>
28. Micron Coatings. *Electroless Nickel Hardness Conversion Tool*. Διαθέσιμο από: <https://www.microncoatings.it/en/electroless-nickel/hardness-conversion-tool/>
29. Uddeholm. *Impax Supreme*. Διαθέσιμο από: [\[http://www.uddeholm.gr/Storage/Media/Shared/SteelBrochures/Impax%20Supreme/PB\\_impax\\_supreme\\_english.pdf\]](http://www.uddeholm.gr/Storage/Media/Shared/SteelBrochures/Impax%20Supreme/PB_impax_supreme_english.pdf)