

**ΚΥΠΑΡΙΣΙΔΗΣ
ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΓΗΡΟΥΣΗΣ
ΜΗΧΑΛΗΣ**

**ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ ΚΟΙΝΟΥ
ΧΑΛΥΒΑ, ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΥ, ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΚΑΙ
ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

(ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ)



ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΜΟΣΧΙΔΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

ΣΕΡΡΕΣ, ΜΑΪΟΣ 2010

Περιεχόμενα

1) Εισαγωγή	σελ.1
2) Πειραματική Διαδικασία	σελ.2
2.1) κοπή του αρχικού τεμαχίου	σελ.2
2.1.1) Υδροψυκτος δίσκος κοπής, υψηλής ταχύτητας	σελ.2
2.1.2) Πριόνια	σελ.3
2.1.3) Δίσκος χαμηλής ταχύτητας	σελ.3
2.2) Λείανση	σελ.4
2.3) Εγκιβωτισμός	σελ.6
2.4) Χημική προσβολή	σελ.7
2.5) Παρατήρηση στο μικροσκόπιο	σελ.7
3) Φωτογραφίες	σελ.8
3.1) Κοινός χάλυβας	σελ.8
3.2) Δείγμα εκκεντροφόρου	σελ.11
3.3) Συγκόλληση	σελ.15
3.4) Κράμα αλουμινίου	σελ.22
4) Συζήτηση Αποτελεσμάτων-Συμπεράσματα	σελ.25
4.1) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του κοινού χάλυβα	σελ.25
4.2) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του δείγματος του εκκεντροφόρου.	σελ.30
4.3) Συμπεράσματα από την παρατήρηση της συγκόλλησης	σελ.33
4.4) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του δοκιμίου του Αλουμινίου.	σελ.35

1) ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μεταλλογραφία είναι ο επιστημονικός κλάδος που ασχολείται με την εξέταση και καθορισμό της σύστασης και της βαθύτερης δομής των συστατικών των μετάλλων, των κραμάτων και των άλλων διαφόρων υλικών, που πραγματοποιείται με την παρατήρηση των υλικών (στο εξής μεταλλογραφική παρατήρηση), με χρήση μικροσκοπίου είτε οπτικού είτε ηλεκτρονικού αλλά και με άλλες τεχνικές όπως η χρήση ακτινών Χ. ωστόσο πιο διαδομένη και πιο οικεία μέθοδος παρατήρησης είναι με οπτικό μικροσκόπιο και αυτή χρησιμοποιήθηκε για την παρατήρηση των μεταλλικών υλικών σε αυτή την εργασία.

Η παρατήρηση μεταλλικών υλικών με οπτικό μικροσκόπιο είναι μια από τις σημαντικές μεθόδους μελέτης αυτών των υλικών, εφόσον η χημική τους σύσταση είναι γνωστή. Αποκαλύπτει τις φάσεις που υπάρχουν στο υλικό, το σχήμα και το μέγεθος των κρυστάλλων που τις αποτελούν, και την τυχόν ύπαρξη ξένων σωμάτων (πόρων, εγκλεισμάτων). Από τα στοιχεία αυτά μπορούν να βγουν συμπεράσματα για τις θερμικές κατεργασίες και την πλαστική παραμόρφωση που έχει υποστεί το υλικό, και να προβλεφθεί η μηχανική συμπεριφορά.

Η μεταλλογραφική παρατήρηση πραγματοποιείται ως εξής: κατασκευάζεται μια επίπεδη τομή στο δείγμα του υλικού, η οποία κατόπιν στιλβώνεται και υποβάλλεται σε χημική προσβολή. Επειδή τα διαφορά στοιχεία της δομής του υλικού (κρύσταλλοι της κάθε φάσης, σύνορα κόκκων και άλλα τυχόν στοιχεία) προσβάλλονται κατά διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό βαθμό το καθένα, γίνονται παρατηρήσιμα σε οπτικό μικροσκόπιο ανάκλασης. Πιο συγκεκριμένα:

- Η χημική προσβολή δημιουργεί αυλάκια κατά μήκος των συνόρων των κόκκων, επειδή τα σύνορα παθαίνουν εντονότερη χημική διάβρωση.
- Στους ευτηκτικούς και ευτηκτοειδείς σχηματισμούς, στους οποίους τα σύνορα των κόκκων είναι πολύ πυκνά, παράγονται αντίστοιχα πολύ πυκνά αυλάκια.
- Σε ειδικές περιπτώσεις, κάποιες φάσεις ξεχωρίζουν από το διαφορετικό τους χρώμα και την διαφορετική τους φωτεινότητα. Το χρώμα και η φωτεινότητα μπορούν να οφείλονται είτε στην ίδια φάση είτε στην επίδραση του αντιδραστηρίου της χημικής προσβολής.
- Αν το υλικό αποτελείται από μια σκληρή και μια μαλακή φάση τότε αφαιρείται λιγότερο υλικό από την σκληρή φάση κατά την διάρκεια της στίλβωσης και οι κόκκοι της σχηματίζουν μικροσκοπικά «οροπέδια» πάνω στην στιλβωμένη επιφάνεια.
- Άλλοι λιγότερο συχνοί μηχανισμοί μπορεί να δημιουργούν άλλα είδη ανάγλυφου.

Σαυτη την εργασία ζητείται να εξετασθούν μεταλλογραφικά δοκίμια από κοινό χάλυβα, χυτοσίδηρο, συγκόλλησης κοινού χάλυβα και αλουμινίου.

2) Πειραματική διαδικασία

Για να γίνει η μεταλλογραφική παρατήρηση των ανωτέρω δοκιμίων, αυτά υποβλήθηκαν σε διαδικασία προετοιμασίας, τα στάδια της οποίας είναι τα εξής:

- κοπή του αρχικού τεμαχίου
- εγκιβωτισμός
- λείανση
- χημική προσβολή
- παρατήρηση στο μικροσκόπιο.

Για κάθε ένα από τα τεμάχια μας ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία αλλά με κάποιες διαφοροποιήσεις ανάλογα με το υλικό του τεμαχίου.

Τα τεμάχια μας έπρεπε να κοπούν σε σχετικά μικρό μέγεθος ώστε να μπορούν να χωρέσουν στο μικροσκόπιο και να γίνει η παρατήρηση τους. Στη συνέχεια γίνεται ο εγκιβωτισμός του τεμαχίου, για να έχουμε την δυνατότητα συγκράτησης του, σε περίπτωση που είναι πολύ μικρό. Έπειτα, γίνεται η λείανση του υλικού στο μηχάνημα λείανσης του εργαστηρίου, μέχρι να πετύχουμε την μέγιστη δυνατή λεία επιφάνεια. Ακολουθεί η χημική προσβολή και η διαδικασία τελειώνει με την παρατήρηση του τεμαχίου στο μικροσκόπιο.

2.1) Κοπή του αρχικού τεμαχίου

2.1.1) Υδροψυκτος δίσκος κοπής , υψηλης ταχυτητας.

Στον υδροψυκτο δίσκο υψηλής ταχύτητας κόπηκε η συγκόλληση. Το συγκεκριμένο μηχάνημα είναι κλειστό, με ένα προστατευτικό τζάμι για να παρατηρείται η διαδικασία της κοπής . το τεμάχιο της συγκόλλησης δέθηκε σε μέγγενη που βρίσκεται μέσα στο μηχάνημα. Εξωτερικά του μηχανήματος υπάρχει ο μοχλός που χειροκίνητα οδηγεί τον δίσκο στο τεμάχιο μας. Κατά την κοπή, ψυκτικό υγρό πέφτει πάνω στο τεμάχιο ώστε να ψυχεται, με σκοπό την αποφυγή των θερμικών τάσεων που παρατηρούνται κατά την διάρκεια της κοπής.



Εικ. 2.1.1 Φωτογραφία μηχανήματος δίσκου υψηλής ταχύτητας.

2.1.2) Πριόνια

Για την κοπή του απλού χάλυβα χρησιμοποιήθηκε η πριονοκορδέλα . Η πριονοκορδέλα έχει αυτόματη πρόωση που ρυθμίζεται από ένα ροοστάτη. Επίσης το τεμάχιο ψύχεται με την βοήθεια ψυκτικού υγρού που ρέει πάνω στο τεμάχιο από δυο σωληνάκια τοποθετημένα στον κορμό του μηχανήματος. Η ψύξη βοηθά στην όσο το δυνατόν λιγότερη θερμική κατεργασία της επιφάνειας, του μελλοντικά προς εξέταση διαμορφούμενου τεμαχίου, από την θερμότητα που αναπτύσσεται επάνω σαυτη εξαιτίας της κοπής.



Εικ. 2.1.2 Φωτογραφία μηχανήματος πριονοκορδέλας.

2.1.3) Δίσκος κοπής χαμηλής ταχύτητας

Ο δίσκος κοπής χαμηλής ταχύτητας χρησιμοποιήθηκε για την κοπή του χυτοσίδηρου και του αλουμινίου. Γι'αυτή την εργασία ο δίσκος που χρησιμοποιήθηκε δουλεύει χαμηλόστροφα με μέγιστο τις 500 στροφές.

Η κοπή του βαμμένου χάλυβα έγινε στις 250-300 στροφές. Η διαδικασία της κοπής έγινε ως εξής: το τεμάχιο δέθηκε σε βραχίονα που βρίσκεται πάνω από τον δίσκο κοπής και με την βοήθεια της βαρύτητας και 2 βαριδιών που βρίσκονται τοποθετημένα πάνω στον βραχίονα του μηχανήματος ασκήθηκε

στο τεμάχιο η απαιτούμενη διατμητική δύναμη από τον δίσκο για να πραγματοποιηθεί η κοπή. Η τοποθέτηση των βαριδιών έγινε κατά τέτοιο τρόπο ώστε η δύναμη αυτή να είναι η ελάχιστη απαιτούμενη για να αποφευχθεί οποιαδήποτε παραμόρφωση από θερμικές τάσεις και από ρινίσματα του υλικού. Εξαιτίας της σκληρότητας του υλικού η διαδικασία κοπής του προς εξέταση χυτοσιδήρου διήρκησε 3 μέρες.

Με όμοιο τρόπο έγινε και η κοπή του αλουμινίου, η οποία διήρκεσε περίπου 5 ώρες.



Εικ. 2.1.3 Φωτογραφία μηχανήματος δίσκου χαμηλής ταχύτητας.

2.2) Λείανση

Μετά την κοπή του προς εξέταση τεμαχίου λαμβάνει χώρα η διαδικασία της λείανσης του τεμαχίου η οποία αποσκοπεί στην ελαχιστοποίηση της τραχύτητας της επιφάνειας που θα εξετασθεί στο μικροσκόπιο και στην ανάδειξη της μικροδομής η οποία γίνεται περισσότερο αντιληπτή με την χημική προσβολή. Η διαδικασία της λείανσης που ακολουθήθηκε σαυτη την εργασία έχει ως εξής: η λείανση των τεμαχίων έγινε σε λειαντική μηχανή του εργαστηρίου και έγινε 3 η 4 φάσεις ανάλογα με τη σκληρότητα του εξεταζόμενου υλικού. Έτσι στον κοινό χάλυβα η λείανση έγινε σε τέσσερα στάδια, όπου στο πρώτο χρησιμοποιήθηκε γυαλόχαρτο νούμερο 220, στο δεύτερο νούμερο 500 και στο τρίτο νούμερο 800. στο τέταρτο και τελευταίο στάδιο για να πραγματοποιηθεί η τελειοποίηση της λείανσης χρησιμοποιήθηκε πανί εμποτισμένο με διάλυμα κόκκων διαμαντιού. Η τελειοποίηση της λείανσης επηλθε όταν στην επιφάνεια του εξεταζόμενου υλικού δημιουργήθηκε καθρέφτης. Η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τα άλλα 3 υλικά με τη διαφορά ότι στο τεμάχιο του αλουμινίου τα γυαλόχαρτα που χρησιμοποιήθηκαν είχαν νούμερο κατά σειρά χρήσης 500, 800, 1000 και πανί.

Οι λειάνσεις που αναφέρονται εδώ, αρχίζουν από λεπτόκοκκο γυαλόχαρτο (νούμερο 220 για τον χάλυβα και 500 για το αλουμίνιο). Αυτό συνέβη επειδή τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν στο προηγούμενο στάδιο (δηλ. ο δίσκος κοπής υψηλής ταχύτητας και εκείνος της χαμηλής ταχύτητας) δημιουργούν επιφάνεια που ήδη έχει αρκετά μικρή τραχύτητα. Αν η τραχύτητα που δημιουργείται με την κοπή ήταν μεγάλη (όπως συμβαίνει π.χ. όταν κόβουμε με πριόνι χειρός) θα έπρεπε να προηγηθούν δύο ακόμη στάδια λείανσης, με γυαλόχαρτα σε νούμερα 80 και 120



Εικ. 2.2 Φωτογραφία μηχανήματος λείανσης.

2.3) Εγκιβωτισμός

Στην περίπτωση που τα προς εξέταση τεμάχια έχουν τόσο μικρό μέγεθος ώστε να είναι αδύνατη η συγκράτησή τους με το χέρι για να λειανθούν ακολουθείται μια τεχνική γνωστή ως εγκιβωτισμός κατά την οποία το προς εξέταση τεμάχιο τοποθετείται σε θερμαντική μηχανή μαζί με κόκκους πλαστικού. Η θερμαντική μηχανή είναι ένας θερμαινόμενος κύλινδρος του οποίου η ανοιχτή άκρη κλείνει με έμβολο. Με την θέρμανση οι κόκκοι του πλαστικού που έχουν σκεπάσει το προς εξέταση τεμάχιο, λιώνουν και το λιωμένο πλαστικό διαχεεται περιμετρικά του τεμαχίου. Έτσι δημιουργείται ένα πλαστικό αντικείμενο στη μια άκρη του οποίου βρίσκεται η προς εξέταση επιφάνεια του υλικού, το οποίο έχει τέτοιο μέγεθος ώστε να είναι δυνατή η συγκράτησή του με το χέρι και η λείανση του στη λειαντική μηχανή. Επειδή τα τεμάχια που εξετάστηκαν στη συγκεκριμένη εργασία είχαν μέγεθος ικανό για να γίνει η συγκράτησή τους με το χέρι δεν υποβλήθηκαν σε διαδικασία εγκιβωτισμού. Εδώ θα πρέπει να σημειωθεί ότι ο εγκιβωτισμός προηγείται της λείανσης.



Εικ. 2.3 Φωτογραφία μηχανήματος εγκιβωτισμού.

2.4) Χημική προσβολή

Η χημική προσβολή ακολουθεί τη λείανση. Αφού τα τεμάχια λειανθούν προσβάλλονται χημικά με κατάλληλα διαλύματα έτσι ώστε τα διάφορα στοιχεία της δομής του υλικού να γίνονται παρατηρησιμα σε οπτικό μικροσκόπιο ανάκλασης. Αυτό συμβαίνει διότι τα διάφορα στοιχεία της δομής του υλικού (κρύσταλλοι της κάθε φάσης, σύνορα των κόκκων, και άλλα τυχόν στοιχεία) προσβάλλονται κατά διαφορετικό τρόπο και σε διαφορετικό βαθμό το καθένα. Επίσης η χημική αυτή προσβολή δημιουργεί αυλάκια κατά μήκος των συνόρων των κόκκων, επειδή τα σύνορα παθαίνουν εντονότερη χημική διάβρωση. Σε ειδικές περιπτώσεις, κάποιες φάσεις ξεχωρίζουν από το διαφορετικό τους χρώμα και τη διαφορετική τους φωτεινότητα. Το χρώμα και η φωτεινότητα μπορούν να οφείλονται είτε στην ίδια φάση είτε στην επίδραση του αντιδραστηρίου της χημικής προσβολής.

2.5) Παρατήρηση στο μικροσκόπιο

Η διαδικασία αυτή έγινε για να παρατηρηθούν οι επιφάνειες των τεμαχίων που έχουν κοπεί σε διαφορετικές θέσεις, ώστε να φωτογραφηθούν και να συγκριθούν με κάποια πρότυπα φωτογραφιών και φτάσουμε σε κάποια συμπεράσματα τα οποία θα αναφερθούν στα παρακάτω κεφάλαια.

Εξοπλισμός: Μικροσκόπιο **OLYMPYS BX60**. Έξοδος της εικόνας μέσω φακού **OLYMPYS U-TV1 X** σε <<ψηφιακή κάμερα>> **LEICA DFC290** η οποία δίνει την εικόνα H/Y. Ανάλυση της εικόνας στον H/Y με το πρόγραμμα Leica MW.

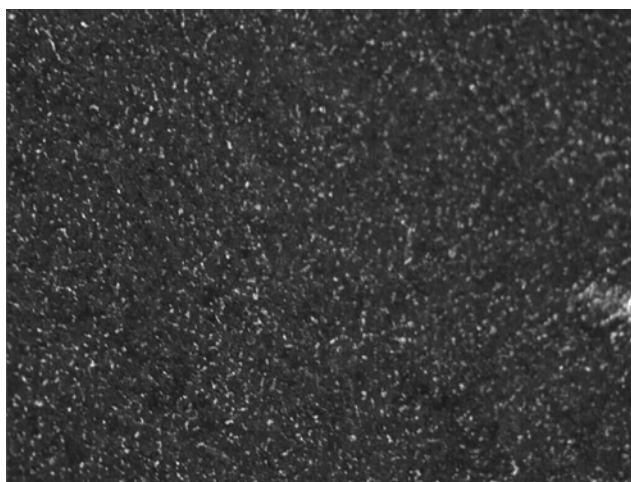
3) Φωτογραφίες

3.1) Κοινός χάλυβας

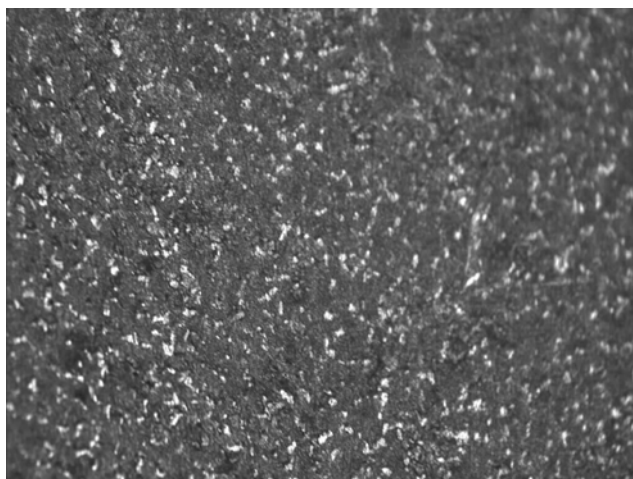
Αρχικά παρατηρήθηκε το δοκίμιο του κοινού χάλυβα με τον αντικειμενικό φακό μεγέθυνσης 5x σε διάφορες θέσεις. Βρέθηκε ότι η μεταλλογραφική εικόνα που παρουσιάζει είναι η ίδια ανεξάρτητα από την απόσταση της παρατηρούμενης θέσης από το κέντρο του δοκιμίου. Για το λόγο αυτό φωτογραφήθηκε το δοκίμιο σε μία μόνο θέση, με αντικειμενικούς φακούς διαφόρων μεγεθύνσεων, και προέκυψαν οι παρακάτω φωτογραφίες.



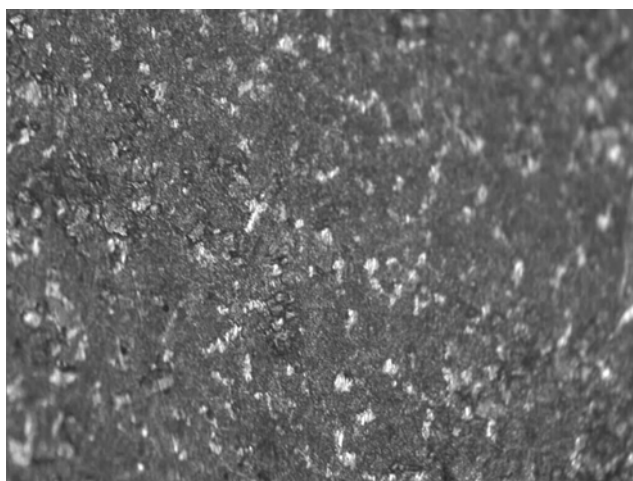
Φωτογραφία τεμαχίου κοινού χάλυβα



Εικ. 3.1.1 Φωτογραφία κοινού χάλυβα με τον αντικειμενικό φακό 5x



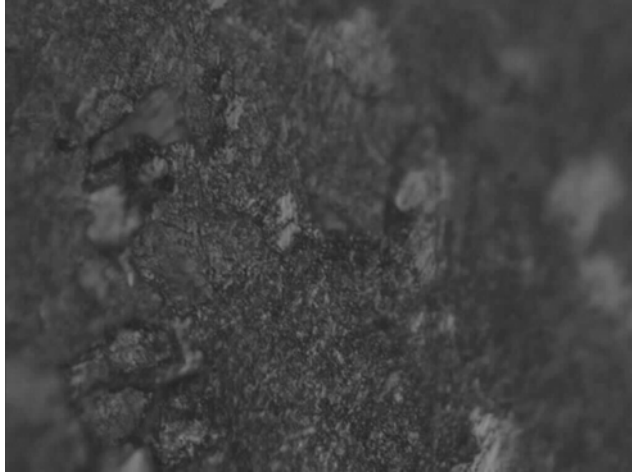
Εικ. 3.1.2 Φωτογραφία κοινού χάλυβα με τον αντικειμενικό φακό 10x



Εικ. 3.1.3 Φωτογραφία κοινού χάλυβα με τον αντικειμενικό φακό 20x



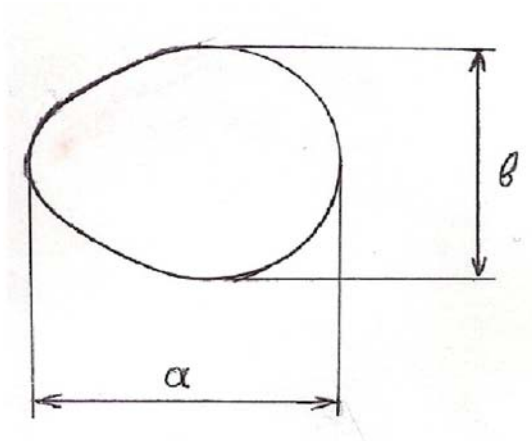
Εικ. 3.1.4 Φωτογραφία κοινού χάλυβα με τον αντικειμενικό φακό 50x. Φαίνονται οι κόκκοι του μετάλλου: υπόβαθρο σε σκούρο χρώμα, νησίδες ανοιχτόχρωμες



Εικ. 3.1.5 Φωτογραφία
κοινού χάλυβα με τον
αντικειμενικό φακό 100x
Φαίνεται η λεπτή υφή της
σκούρας περιοχής

3.2) Δείγμα εκκεντροφόρου

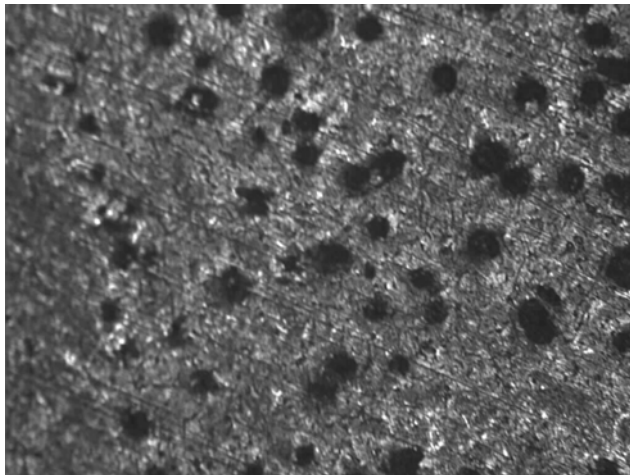
Μετά τη χημική προσβολή διαπιστώθηκε ότι ένα επειφανειακό στρώμα του αντικειμένου, πάχους περίπου 5mm, είχε ανοιχτό χρώμα, ενώ το εσωτερικό (που θα ονομάζεται πυρήνας) είχε χρώμα σκούρο. Παρατηρήθηκαν λοιπόν ξεχωριστά: ο πυρήνας, η διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα και επειφανειακού στρώματος, και τέλος το επειφανειακό στρώμα.



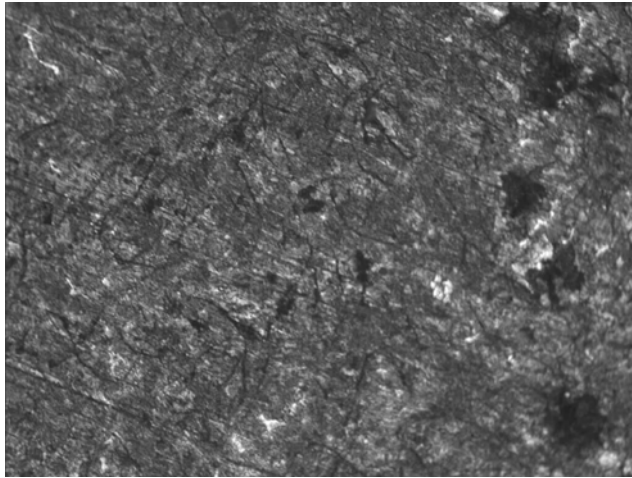
Κάθετη τομή έκκεντρου στον εκκεντροφόρου άξονα που εξετάστηκε. Διαστάσεις: $\alpha=34\text{mm}$, $\beta=28\text{mm}$.



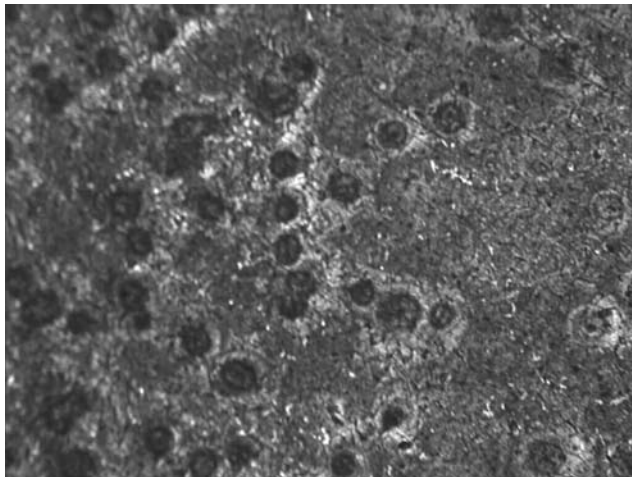
Φωτογραφία τεμαχίου εκκεντροφόρου



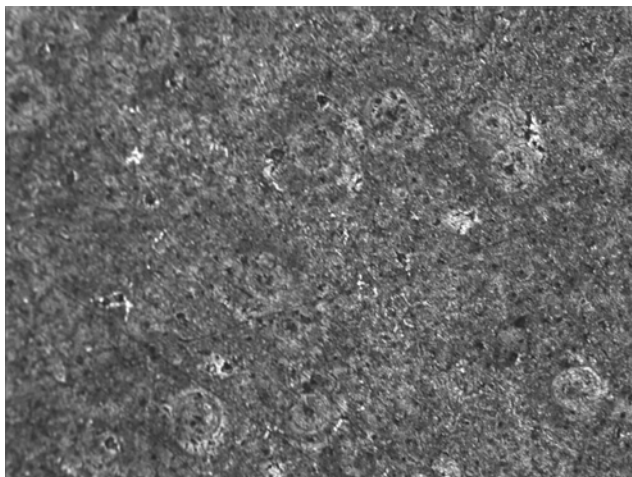
Εικ. 3.2.1 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 10x
Θέση: Κέντρο εκκεντροφόρου. Παρατηρούμε μαύρες περίπου στρογγυλές νησίδες



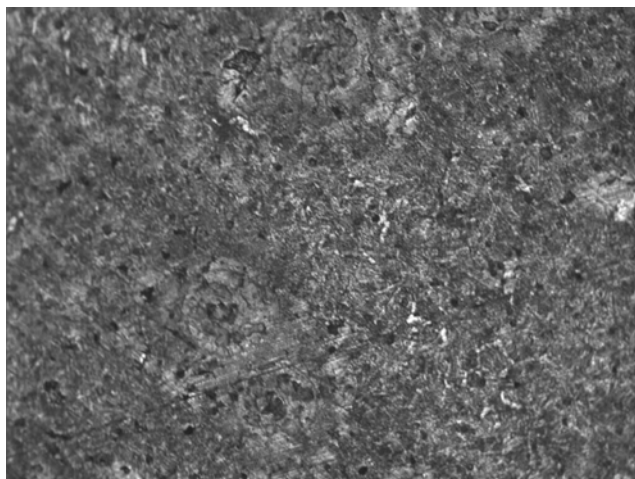
Εικ. 3.2.2 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 20x
Θέση: Κέντρο εκκεντροφόρου



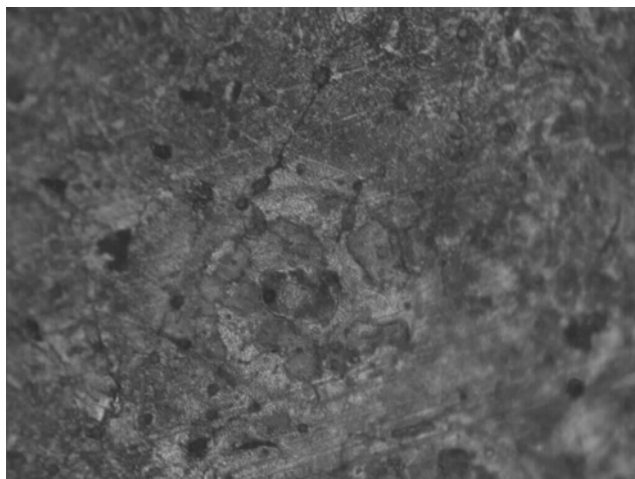
Εικ. 3.2.3 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 10x
Θέση: Διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ πυρήνα (αριστερά) και επιφανειακού στρώματος.



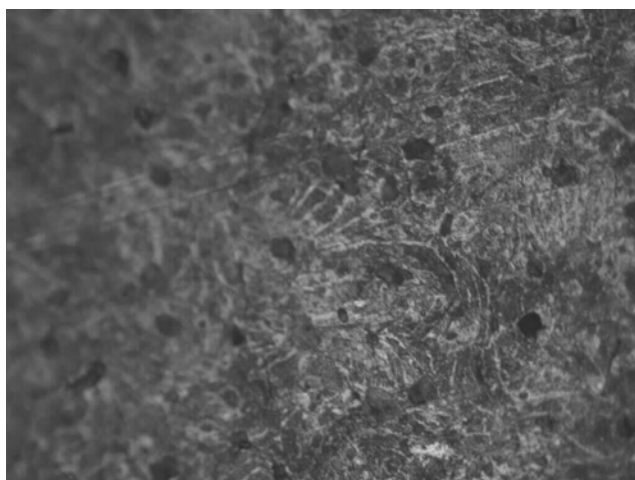
Εικ. 3.2.4 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 10.
Θέση:Επιφανειακό στρώμα



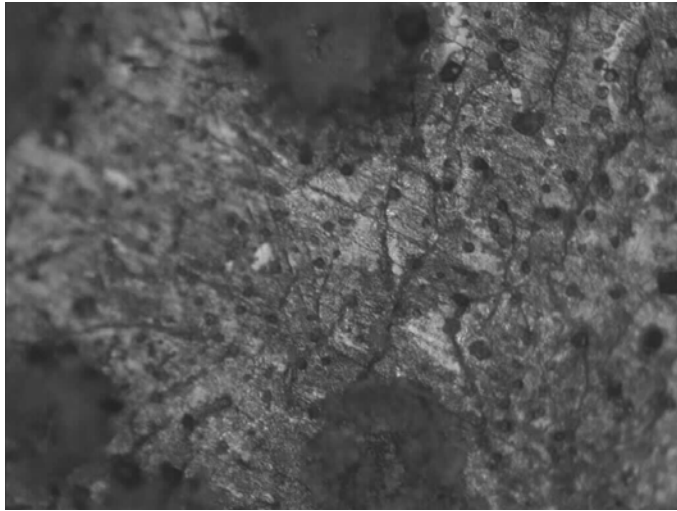
Εικ. 3.2.5 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 20x
Θεση:Επιφανειακό στρώμα



Εικ. 3.2.6 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 50x.
Θεση:Επιφανειακό στρώμα. Φαίνεται στο κέντρο της φωτογραφίας μια ανοιχτόχρωμη κηλίδα (ανοιχτόχρωμη επειδή βρισκόμαστε στην άκρη του δοκιμίου) σε κυκλικό σχήμα. Οι ίδιες κηλίδες στο πυρήνα του δοκιμίου είναι μαύρες.



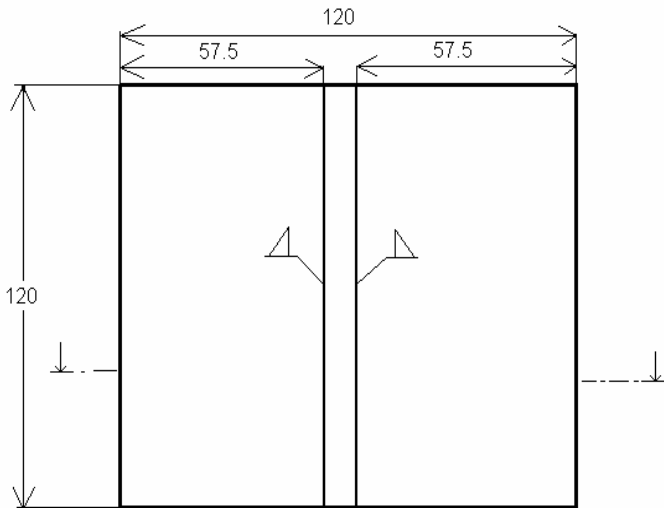
Εικ. 3.2.7 Φωτογραφία χυτοσίδηρου με τον αντικειμενικό φακό 50x
Φαίνονται σχηματισμοί από πυκνές άσπρες γραμμές(μαρτενσίτης;).



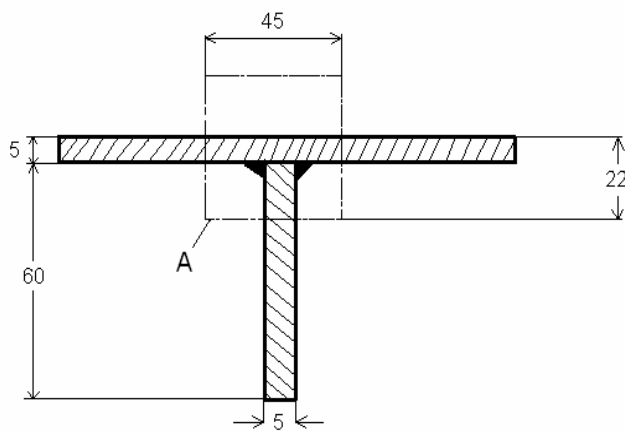
Εικ. 3.2.8 Φωτογραφία
χυτοσίδηρου με τον
αντικειμενικό φακό 50x
Θέση: Κέντρο δοκιμίου
Μεγάλες γκρι κηλίδες,
μικρες πιο σκούρες
κηλίδες, κοκκοι

3.3) Συγκόλληση

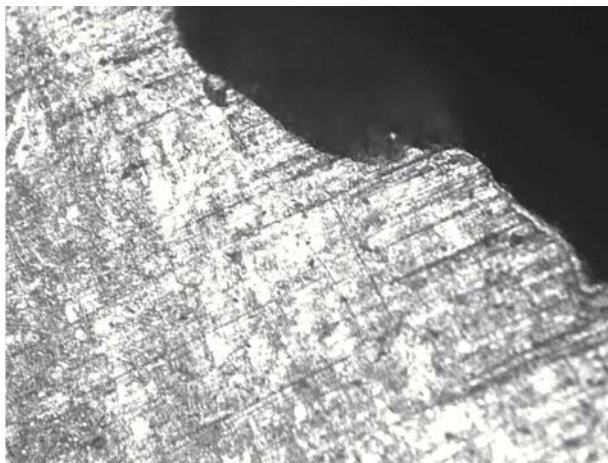
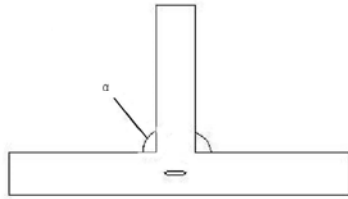
Όπως είναι γνωστό, σε διάφορες περιοχές της συγκόλλησης υπάρχει μέταλλο με διάφορες δομές. Για το λόγο αυτό, πάρθηκαν φωτογραφίες από διάφορες θέσεις της συγκόλλησης. Η θέση από την οποία πάρθηκαν οι φωτογραφίες εξηγείται με σχήμα στην αρχή της κάθε ομάδας φωτογραφιών.



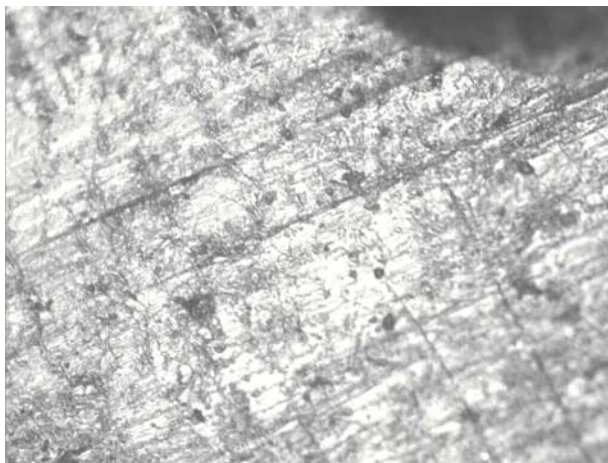
Φωτογραφία τεμαχίου συγκόλλησης.



Εικ.3.3.1 Συγκολλητό τεμάχιο που εξετάστηκε. Υλικό: κοινός χάλυβας. Το μεταλλογραφικό δοκίμιο δημιουργείται από την περιοχή Α.



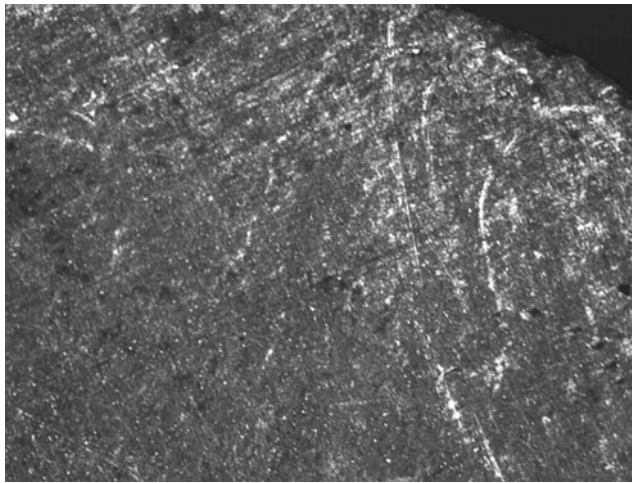
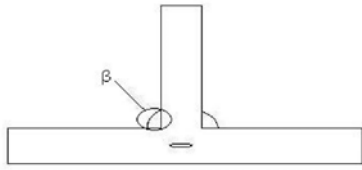
Εικ. 3.3.2 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 20x Θέση α (πρόσωπο συγκόλλησης), φαίνονται γραμμές από την λείανση του δοκιμίου.



Εικ. 3.3.3 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 50x Θέση α. Ανάμεσα στις γραμμές της λείανσης φαίνεται η δομή του υλικού

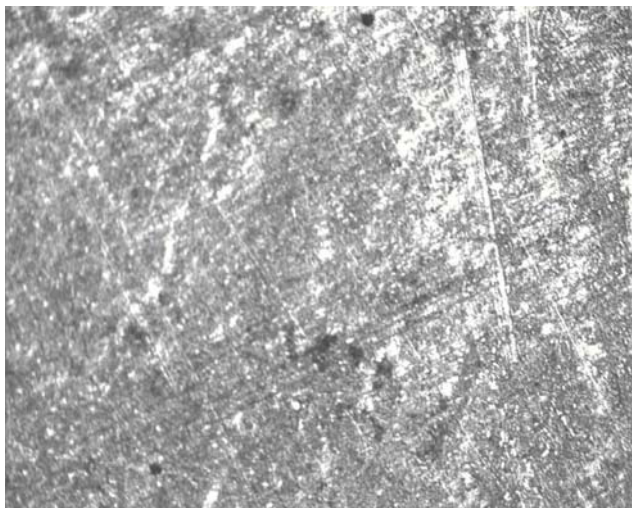


Εικ. 3.3.4 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 100x Θέση α.



Εικ. 3.3.5 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 5x θέση β.

Φαίνονται: επάνω δεξιά το πρόσωπο της συγκόλλησης, κάτω αριστερά το βασικό μέταλλο, ενδιάμεσοι κάποιοι κυνικοί κρύσταλλοι (άσπρο χρώμα) οι οποίοι όμως είναι αραιοί.

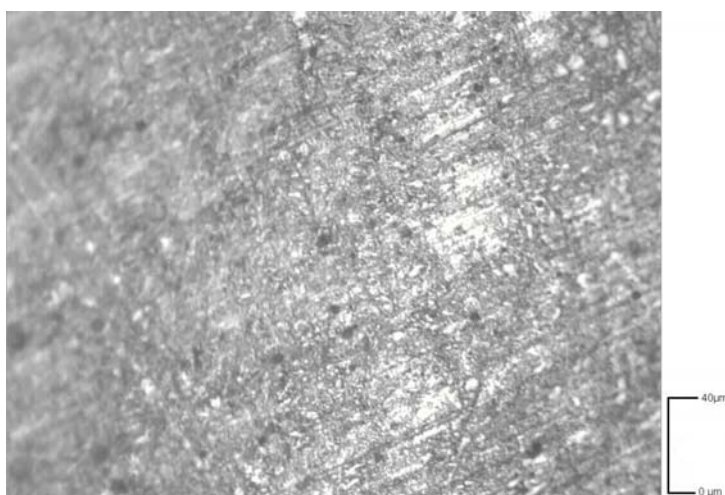


Εικ. 3.3.6 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 10x θέση β. Κέντρο της περιοχής της προηγούμενης φωτογραφίας.

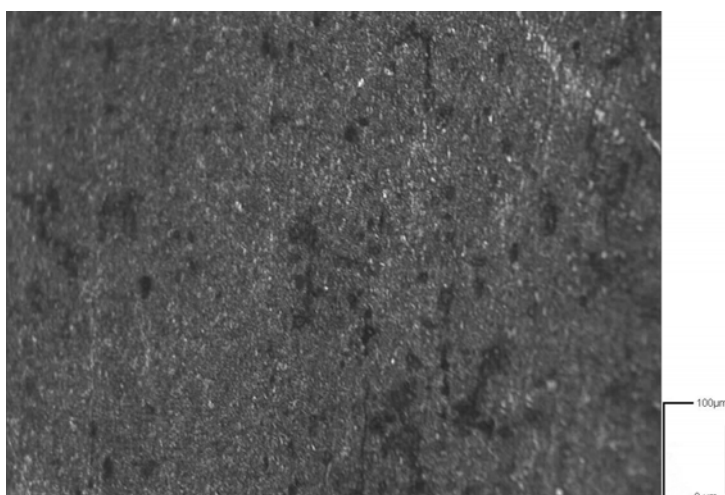
Το οπτικό πεδίο αυτής και των επόμενων 2 φωτογραφιών βρίσκεται στο εσωτερικό της συγκόλλησης. Οι περιοχές που το μέταλλο εμφανίζεται λεπτόκοκκο έχουν υποστεί ανακρυστάλλωση από τα στρώματα της συγκόλλησης που αποτεθήκαν μεταγενέστερα.



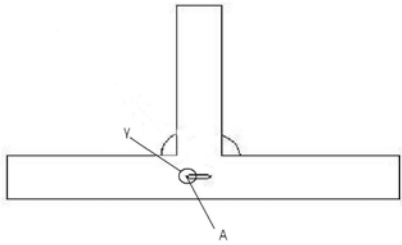
Εικ. 3.3.7 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 20x θέση β.



Εικ. 3.3.8 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 20x θέση β. Σε κατακόρυφη κατεύθυνση φαίνεται ένας «κιονικός κρύσταλλος» (μεγάλη νησίδα φερρίτη) και ακριβώς αριστερά του το υπόβαθρο, πιο σκούρο, διάσπαρτο με μικρές νησίδες φερρίτη. (δηλ. πολύ λεπτόκοκκο).



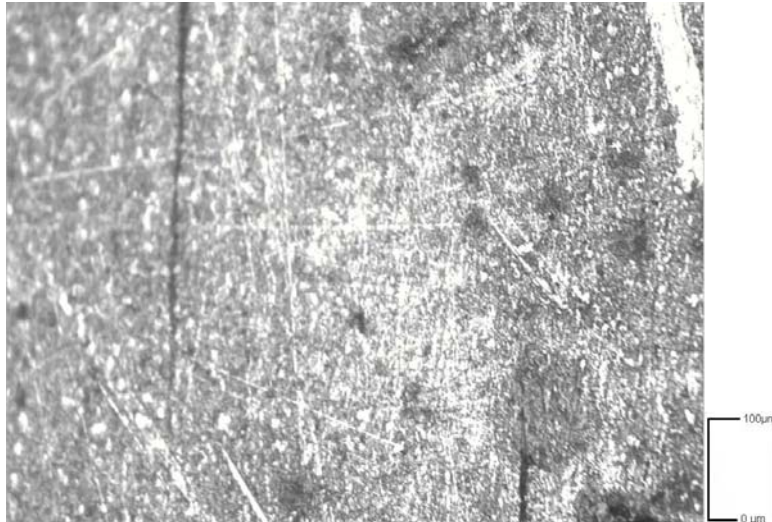
Εικ. 3.3.9 Φωτογραφία συγκόλλησης με τον αντικειμενικό φακό 20x θέση β. Βασικό μεταλλο: πολύ λεπτόκοκκο, η κατεύθυνση της έλασης (ακριβέστερα πλάτυνσης) είναι η κατακόρυφη κατεύθυνση της φωτογραφίας.



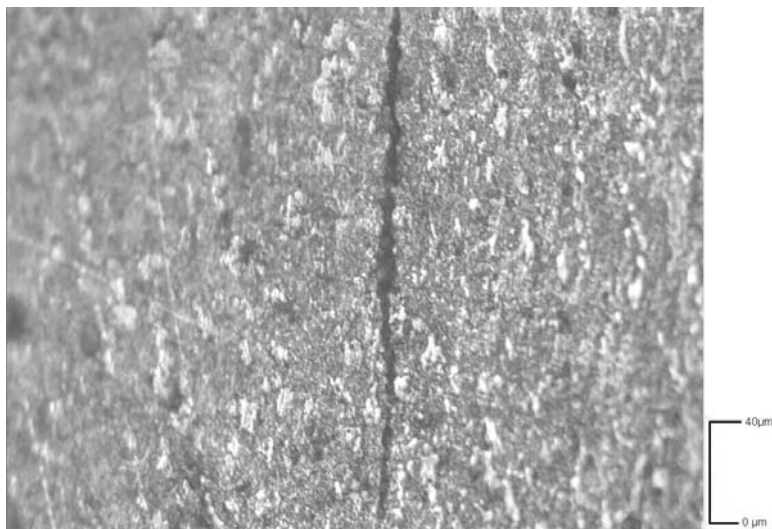
Εικ. 3.3.10
Φωτογραφία
συγκόλλησης με τον
αντικειμενικό φακό 5x
θέση γ.
Υπάρχει και
γρατσουνιά.



Εικ. 3.3.11
Φωτογραφία
συγκόλλησης με τον
αντικειμενικό φακό
10x θέση γ.



Εικ. 3.3.12
Φωτογραφία
συγκόλλησης με τον
αντικειμενικό φακό
20x θέση γ. Το
σημείο A βρίσκεται
κάτω δεξιά στη
συγκόλληση, άρα το
κέντρο της και
αριστερή πλευρά της
συγκόλλησης μας
δείχνει την θερμικά
επηρασασμένη ζώνη.



Εικ. 3.3.13
Φωτογραφία
συγκόλλησης με τον
αντικειμενικό φακό
50x θέση γ: Θερμικά
επηρασασμένη ζώνη.
Στο κεντρο της
φωτογραφίας
φαίνεται σε κατά-
κόρυφη θέση μια
ρωγμή.



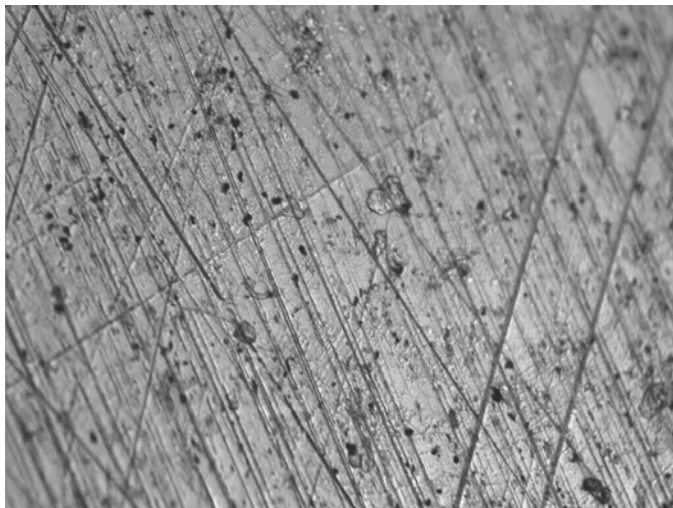
Εικ. 3.3.14
Φωτογραφία
συγκόλλησης με τον
αντικειμενικό φακό
50x θέση γ. Όπως
προηγουμένως, αλλά
το οπτικό πεδίο της
φωτογραφίας έχει
μετακινηθεί προς τα
πάνω. Άρα το άνω
άκρο της ρωγμής
φαίνεται στο μέσον
της κάτω πλευράς
της φωτογραφίας.

3.4) Κράμα αλουμινίου

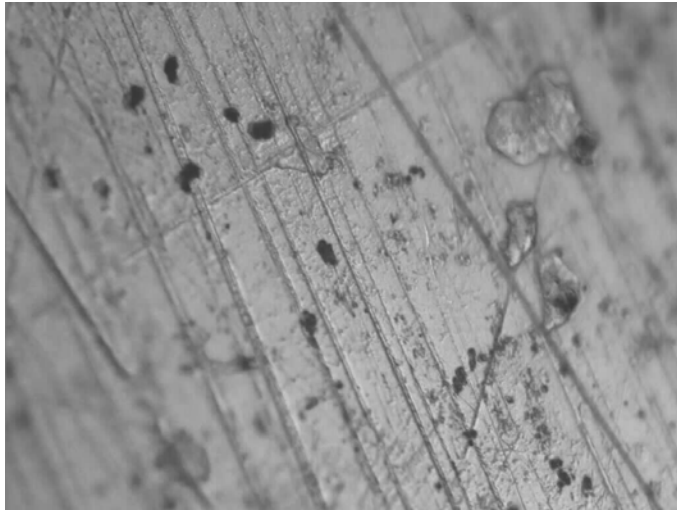
Αρχικά παρατηρήθηκε το δοκίμιο του αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό μεγέθυνσης 5x σε διάφορες θέσεις. Βρέθηκε ότι η μεταλλογραφική εικόνα που παρουσιάζει είναι η ίδια ανεξάρτητα από την απόσταση της παρατηρούμενης θέσης από το κέντρο του δοκιμίου. Για το λόγο αυτό φωτογραφήθηκε το δοκίμιο σε μία μόνο θέση, με αντικειμενικούς φακούς διαφόρων μεγεθύνσεων, και προέκυψαν οι παρακάτω φωτογραφίες



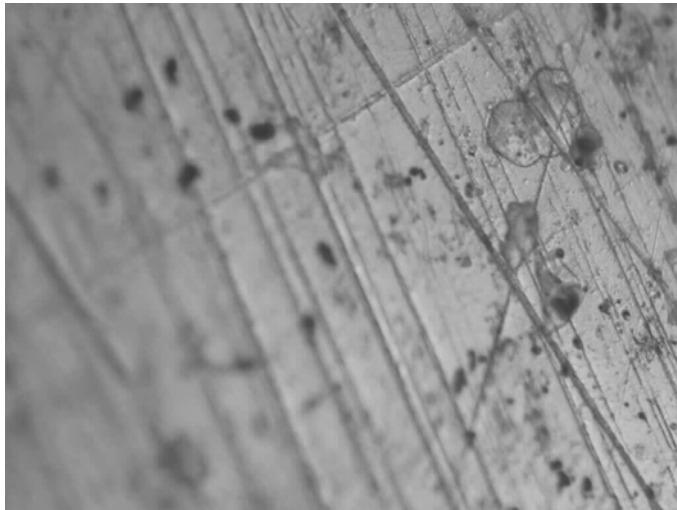
Φωτογραφία τεμαχίου αλουμινίου



Εικ. 3.4.1 Φωτογραφία αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό 20x. Φαίνονται όρια κόκκων (αχνές γραμμές μέσα στο λευκό υπόβαθρο) μαύρες νησίδες μικρές (πρόσμειξη), γκριζες φάσεις μεγαλύτερου μεγέθους.



Εικ. 3.4.2 Φωτογραφία αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό 50x



Εικ. 3.4.3 Φωτογραφία αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό 50x Με την ίδια μεγέθυνση, αλλά τώρα η εστίαση είναι στην γκριζα φάση άνω δεξιά.



Εικ. 3.4.4 Φωτογραφία αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό 20x Κέντρο αλουμινίου. όπως φωτογραφία 3.4.1 αλλά εδώ δεν φαίνονται γκριζες φάσεις.



Εικ. 3.4.5 Φωτογραφία αλουμινίου με τον αντικειμενικό φακό 50x

Διαπιστώθηκε ότι οι γκρίζες φάσεις δεν είναι συστηματικά διασκορπισμένες σε όλη την περίμετρο του δοκιμίου. Αποτελούν ιδιομορφία του υλικού σε μια μόνο θέση του δοκιμίου.

4) Συζήτηση Αποτελεσμάτων-Συμπεράσματα

4.1) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του κοινού χάλυβα

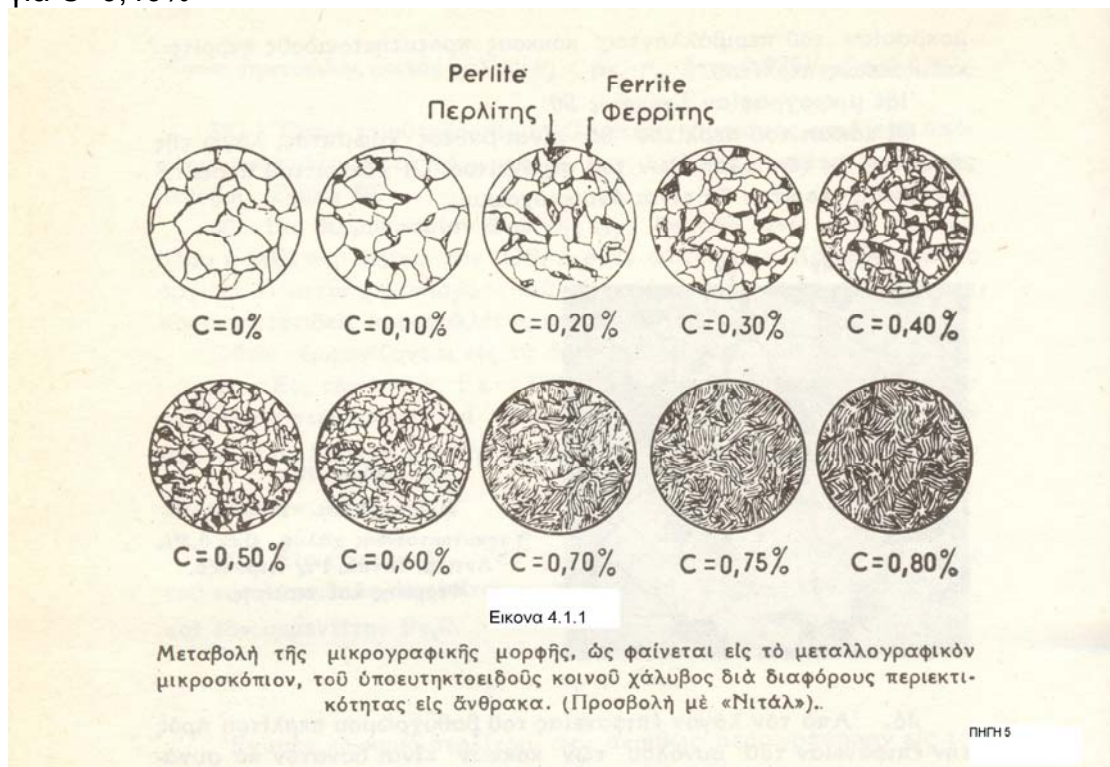


Fig. 163 25-mm (1-in.) diam 4140 steel bar, austenitized 1 h at 845 °C (1550 °F), cooled to 650 °C (1200 °F) and held 1 h for isothermal transformation, then cooled to room temperature. White areas are ferrite; gray and black areas, pearlite with fine and coarse lamellar spacing. Nital. 500×

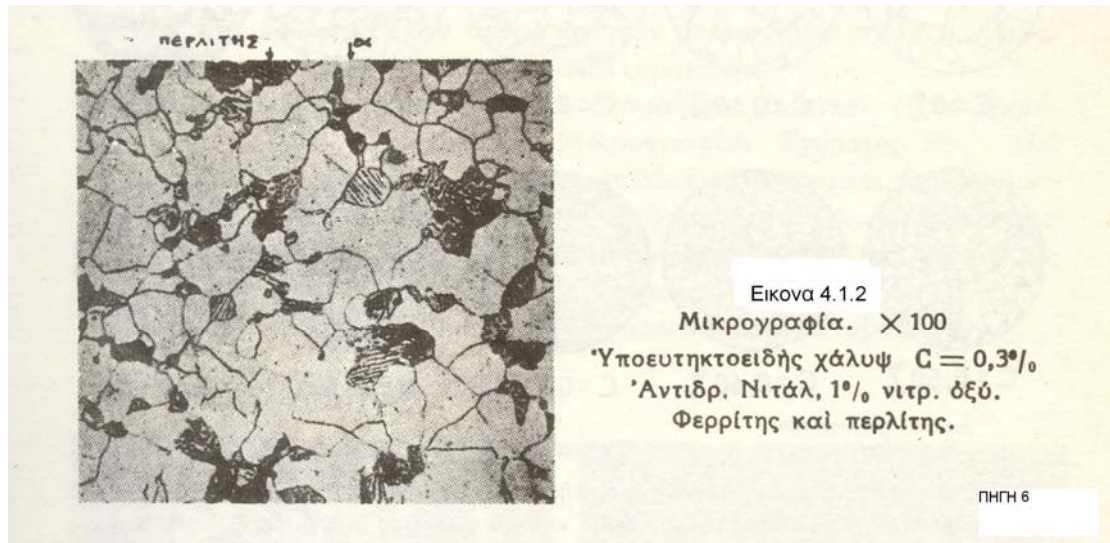
ΠΗΓΗ 2

Οι φωτογραφίες 3.1.1, 3.1.2, 3.1.3, 3.1.4, 3.1.5, που είναι φωτογραφίες κοινού χάλυβα ομοιάζουν αρκετά με την διπλανή φωτογραφία fig.163. στην οποία αναφέρεται ότι το υλικό που απεικονίζεται εκεί είναι κοινός χάλυβας ο οποίος ωστενιτοποιήθηκε στους 845 °C ,ψύχθηκε στους 650 °C , αφέθηκε για μια ώρα σε ισοθερμικό μετασχηματισμό και στη συνέχεια ψύχθηκε σε θερμοκρασία δωματίου. Οι λευκές περιοχές είναι φερριτης και οι γκρι και μαύρες περιοχές περλίτης με λεπτοφυή και τραχιά βελονοειδή διαστήματα. Στην φωτογραφία αυτή η χημική προσβολή της εξεταζόμενης επιφάνειας του δοκιμίου έχει γίνει με NITAL.

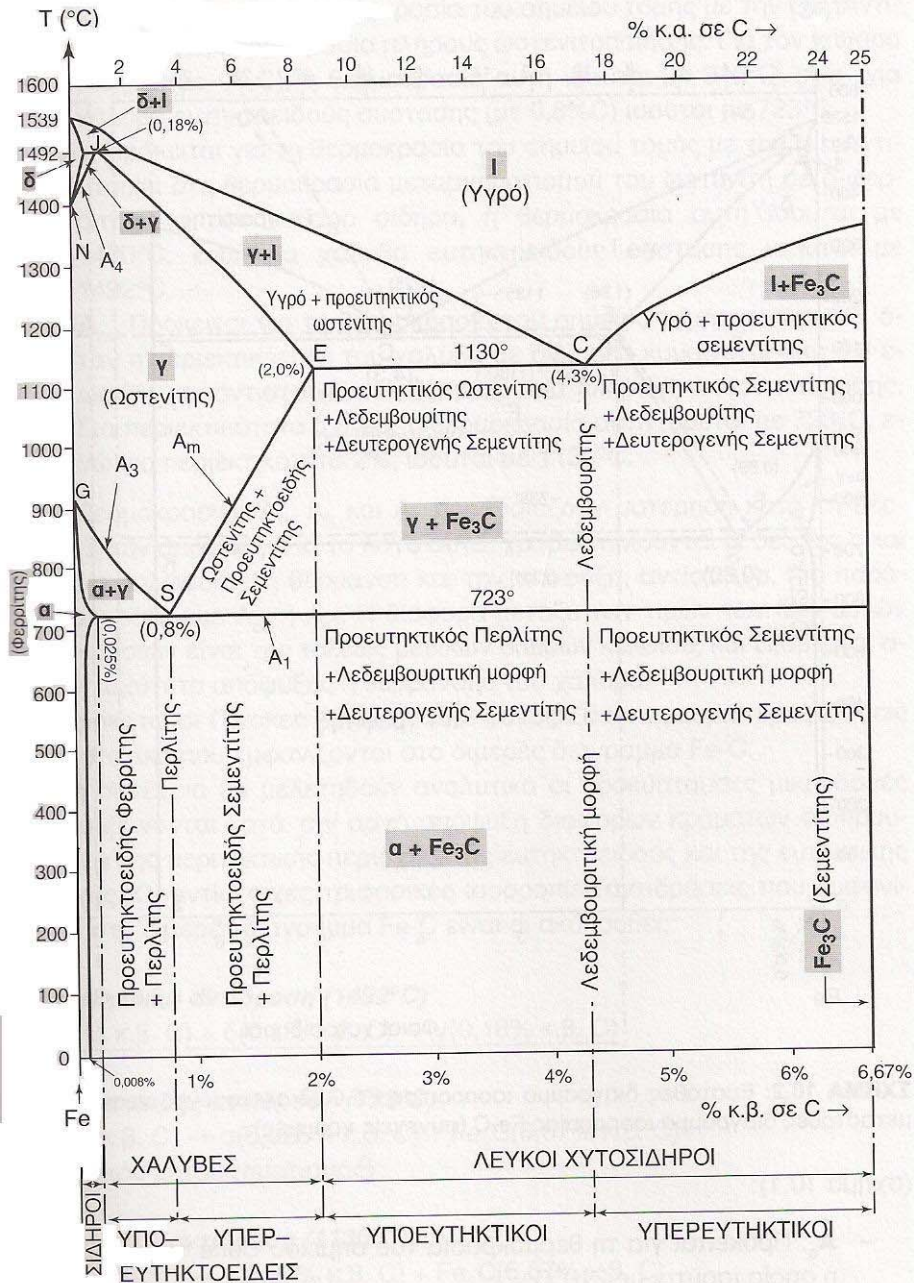
Επίσης οι φωτογραφίες αυτές ομοιάζουν αρκετά με τη φωτογραφία 4.1.1 για C=0,40%



Οι ίδιες φωτογραφίες του χάλυβα ομοιάζουν αρκετά με την φωτογραφία 4.1.2, στην οποία όπως φαίνεται, οι μαύρες περιοχές είναι περλίτης και οι άσπρες φερρίτης.



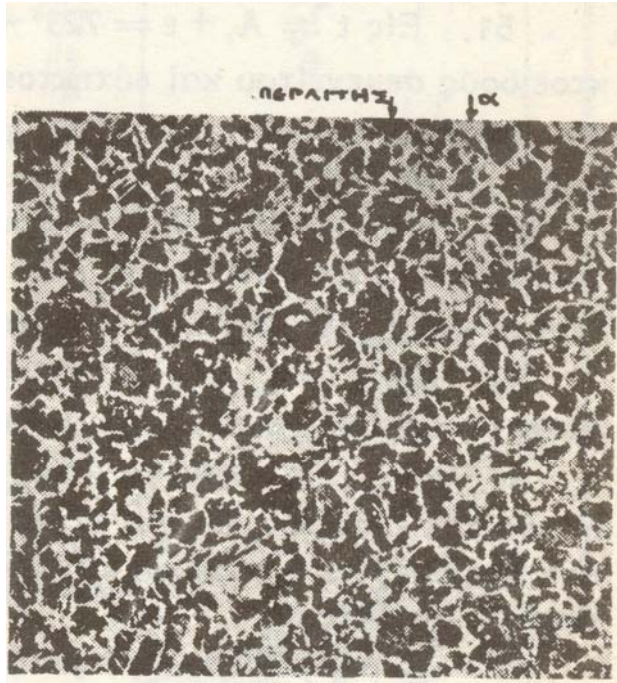
Όλα αυτά μας οδηγούν στο συμπέρασμα ότι ο κοινός χάλυβας που εξετάζεται στην εργασία αυτή είναι περιεκτικότητας σε άνθρακα 0,3% -0,4% και ανήκει στην κατηγορία των υποευθηκτοειδων χαλύβων, όπου οι λευκές περιοχές που εμφανίζονται είναι φερριτης και οι γκριζες περλιτης, σύμφωνα και με το μετασταθες διάγραμμα ισορροπίας σιδήρου-άνθρακα το οποίο αναφέρει ότι μέχρι την ευθηκτοειδη σύσταση, που βρίσκεται στο 0,8% περιεκτικότητας άνθρακα και ο χάλυβας αποτελείται μόνο από περλιτη, μπορούμε να έχουμε μόνο προευθηκτοειδη φερριτη και περλιτη.



Μετασταθές διάγραμμα ισορροπίας Fe-Fe₃C.

ΠΗΓΗ 11

Επειδή υπάρχει και κάποια σχετική ομοιότητα με την φωτογραφία 4.1.3, υπάρχει μια πιθανότητα ο υποευτηκτοειδής χάλυβας που εξετάζεται να έχει υποστεί ανοπτηση με εξομάλυνση.



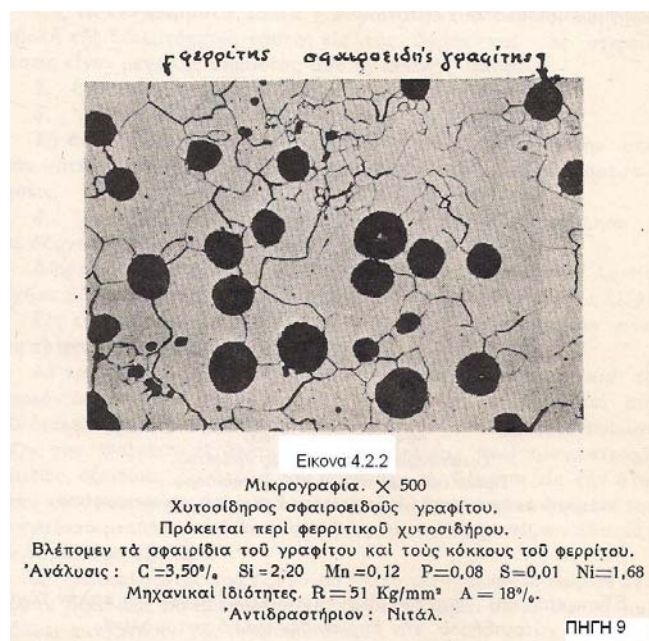
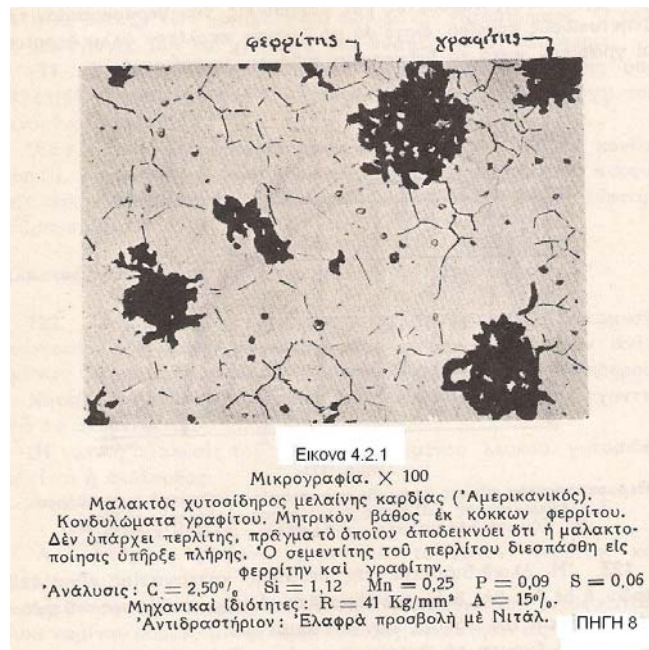
Εικ.4.1.3. Χάλυβας μετά από ανοπτηση με εξομάλυνση. Οι κρυσταλλίτες του φερριτη είναι κυτταροειδής. Πηγή 7.

4.2) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του δείγματος του εκκεντροφορου.

Η φωτογραφία 3.2.1 που απεικονίζει το κέντρο του τεμαχίου του εκκεντροφορου άξονα, παρατηρούμε ότι ομοιάζει με τις φωτογραφίες 4.2.1 και 4.2.2, οι οποίες απεικονίζουν μαλακτο χυτοσίδηρο σφαιροειδούς γραφίτη. Εξαιτίας της ομοιότητας αυτής μπορούμε να συμπεράνουμε ότι το δείγμα του εκκεντροφορου αποτελείται από μαλακτο χυτοσίδηρο. Επίσης στην εξαγωγή του συμπεράσματος ότι το υλικό του δείγματος είναι μαλακτος χυτοσίδηρος συνηγορεί και το γεγονός ότι ο εκκεντροφορος άξονας, τεμάχιο το οποίο εξετάζεται εδώ είναι ένας κοινός εκκεντροφορος άξονας από μια Μ.Ε.Κ. που ως γνωστό οι άξονες αυτοί κατασκευάζονται από χυτοσίδηρο. Ο μαλακτος χυτοσίδηρος μπορεί να ανήκει σε ένα από τα εξής είδη: στο μαλακτο χυτοσίδηρο μαύρης επιφάνειας θραύσης και στο μαλακτο χυτοσίδηρο λευκής επιφάνειας θραύσης.

Στη φωτογραφία του τεμαχίου, παρατηρούμε ότι η εξωτερική του επιφάνεια είναι λευκή ενώ το κέντρο του είναι φαιό. Δύο είναι οι πιθανές αιτίες της διαφοράς του κέντρου του τεμαχίου από την εξωτερική επιφάνεια. Εδώ θα αναφερθούν και οι δύο, και κατόπιν θα συζητηθούν οι επιπλέον έλεγχοι που απαιτούνται για να διαπιστωθεί ποια από τις δύο ισχύει.

Η πρώτη ερμηνεία για τα ευρήματά μας στον χυτοσίδηρο είναι ότι πρόκειται για μαλακτο χυτοσίδηρο λευκής επιφάνειας θραύσης. Γενικά ο μαλακτος χυτοσίδηρος παράγεται από λευκό χυτοσίδηρο κατάλληλης χημικής σύστασης (μια τυπική σύσταση λευκού χυτοσίδηρου είναι η ακόλουθη: C=2-3%, Si=0.45-0.75%, Mn=0.15-0.45%, S=0.04-0.06% και P<0,15%), ύστερα

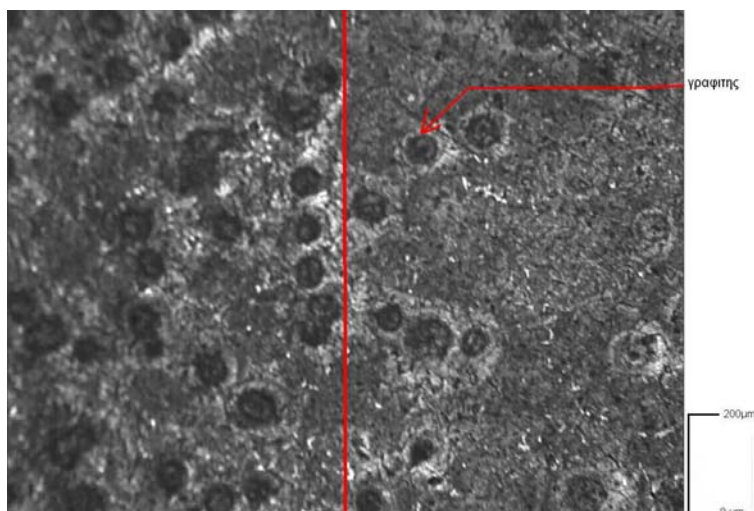


από θερμική κατεργασία (ανοπτηση). Η μαλακτοποίηση έχει σκοπό τη διάσπαση του σεμεντιτη και την απελευθέρωση του άνθρακα υπό μορφή σφαιρικών σωματιδίων γραφίτη με ακανόνιστη επιφάνεια.

Ο σεμεντιτης που περιέχεται στο λευκό χυτοσίδηρο βρίσκεται σε ασταθή κατάσταση και έχει την τάση να διασπαστεί σε σίδηρο και άνθρακα. Η διάσπαση του σεμεντιτη ευνοείται γενικά από υψηλές θερμοκρασίες, υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα και από την παρουσία ορισμένων προσμείξεων, όπως π.χ του πυριτίου και του μαγγανίου.

Το ότι η εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου είναι λευκή και το κέντρο του φαιο εξηγείται από το ότι ο μαλακτος χυτοσίδηρος λευκής επιφανείας θραύσης ο οποίος λαμβάνεται ύστερα από θέρμανση των χυτών στους 950-1050 °C επί 70-100 ώρες, υφίσταται τη θερμική κατεργασία της ανοπτησης* που γίνεται σε οξειδωτική ατμόσφαιρα (συχνά μέσα σε ειδικά κιβώτια, όπου τα χυτά βρίσκονται σε επαφή με αιματίτη) και η οποία αποσκοπεί στην εξανθρακωση, του χυτοσιδήρου. Κάτω από τις συγκεκριμένες συνθήκες ο άνθρακας της επιφανειακής στοιβάδας οξειδώνεται και αποβάλλεται. Ταυτόχρονα όμως, ο άνθρακας από το εσωτερικό διαχέεται προς την επιφάνεια, οπότε η εξανθράκωση συνεχίζεται. Με την κατεργασία αυτή τεμάχια μικρής διατομής αποκτούν κρυσταλλική δομή φερριτη και λευκή επιφάνεια θραύσης. Τα τεμάχια όμως με σχετικά μεγάλη διατομή (όπως το εξεταζόμενο), επειδή δεν εξανθρακωνονται εντελώς, αποκτούν ένα εξωτερικό στρώμα φερριτη, κάτω από το οποίο υπάρχει άλλο στρώμα που αποτελείται από λίγο περλιτη, ενώ στον πυρήνα τους εμφανίζονται σωματίδια σφαιροειδούς γραφίτη. Το σφαιροειδές σχήμα του γραφίτη εμφανίζεται λόγω συμφύισης εκ των φαινομένων επιφανειακής ενέργειας. Έτσι η λευκή εξωτερική επιφάνεια στη φωτογραφία του τεμαχίου αποτελείται από φερριτη ενώ το φαιό κέντρο από σφαιροειδή γραφίτη. Λόγω της μεγέθυνσης της φωτογραφίας δεν είναι δυνατόν να διακριθεί εάν υπάρχει στρώμα περλιτη ή όχι.

Στην εικόνα 3.2.3 που απεικονίζεται το όριο μεταξύ της λευκής και φαιας επιφάνειας δηλαδή μεταξύ φερριτη και των σωματιδίων του σφαιροειδούς γραφίτη, αριστερά του ορίου (δηλαδή προς το κέντρο του τεμαχίου) υπάρχει μεγαλύτερη συγκέντρωση γραφίτη ενώ δεξιά υπάρχουν λίγα σωματίδια γεγονός που καταδεικνύει ότι υπάρχει μετακίνηση άνθρακα από το κέντρο προς τα έξω.



*Η ανοπτηση είναι θερμική κατεργασία του χάλυβα κατά την οποία ο χάλυβας θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία και στη συνέχεια ψύχεται αργά, κατά προτίμηση μέσα στον κλίβανο ή σε οποιαδήποτε συσκευή με θερμομόνωση. Η διαδικασία αυτή, επειδή απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα, θεωρείται ότι ακολουθεί κατά προσέγγιση το διάγραμμα φάσεων σιδηρού-άνθρακα. Η πλήρης ανοπτηση έχει σκοπό να καταστήσει το χάλυβα

λεπτόκοκκο, να μειώσει την σκληρότητα του , να βελτιώσει τις ηλεκτρικές και μαγνητικές του ιδιότητες και τέλος, σε ορισμένες περιπτώσεις να αυξήσει την κατεργασιμότητα του.

Η δεύτερη ερμηνεία για τα ευρήματά μας στον χυτοσίδηρο είναι ότι πρόκειται για μίγμα φαιού και λευκού χυτοσιδήρου όπου ο φαιός χυτοσίδηρος βρίσκεται στο κέντρο και ο λευκός στην επιφάνεια. Την εικόνα αυτή μπορούμε να την λάβουμε εάν ο χυτοσίδηρος υποβληθεί σε διαφορετική κατεργασία από αυτή που προαναφέρθηκε. Έτσι εάν μετά τη χύτευση η εξωτερική επιφάνεια του αντικειμένου ψυχθεί απότομα είναι δυνατόν αυτή να είναι λευκός χυτοσίδηρος ενώ το κέντρο το οποίο θα ψυχθεί με πιο αργούς ρυθμούς να είναι φαιός χυτοσίδηρος. Η εμφάνιση του γραφίτη με μορφή σφαιριδίων στο φαιό χυτοσίδηρο, που βρίσκεται στο κέντρο, οφείλεται στη προσθήκη μαγνησίου που γίνεται κατά τη χύτευση. Το μαγνήσιο προστίθεται με τη μορφή κράματος Fe+Si+Mg καθώς η απευθείας προσθήκη μαγνησίου είναι επικίνδυνη διότι το μαγνήσιο βράζει στους 1107°C και οξειδώνεται γρήγορα. Παρατηρούμε και μια ενδιάμεση ζώνη, στο όριο μεταξύ φαιού και λευκού χυτοσιδήρου. Σ'αυτή τη θέση συναντούμε το στικτό χυτοσίδηρο. Η ονομασία στικτός προέρχεται από την όψη την οποία δίνουν τα στίγματα του γραφίτη στην επιφάνεια θραύσης.

Αν αναλογιστεί κανείς τον ρόλο του εκκεντροφορου άξονα σε μια Μ.Ε.Κ. γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι στην εξωτερική επιφάνεια των έκκεντρων προτιμούμε να έχουμε πολύ σκληρό υλικό, που να αντέχει στη φθορά λόγω κρούσεων και τριβής. Έτσι κλίνουμε περισσότερο προς το συμπέρασμα ότι ο χυτοσίδηρος υποβλήθηκε στη δεύτερη κατεργασία, διότι ο λευκός χυτοσίδηρος που εμφανίζεται κατά αυτήν στην εξωτερική επιφάνεια του τεμαχίου είναι πολύ σκληρότερος από το φερριτη που εμφανίζεται στην εξωτερική επιφάνεια κατά την πρώτη κατεργασία.

Βέβαια για να ελεγχθεί αν ισχύει η πρώτη ή η δεύτερη ερμηνεία πρέπει να γίνουν σκληρομετρήσεις του εξωτερικού στρώματος και του κέντρου του δοκιμίου και να βρεθεί σε ποια περιοχή έχουμε το σκληρότερο υλικό. Γι αυτές τις σκληρομετρήσεις όμως θεωρήθηκε ότι βρίσκονται έξω από το αντικείμενο της πτυχιακής μας και γι' αυτό δεν εκτελέστηκαν.

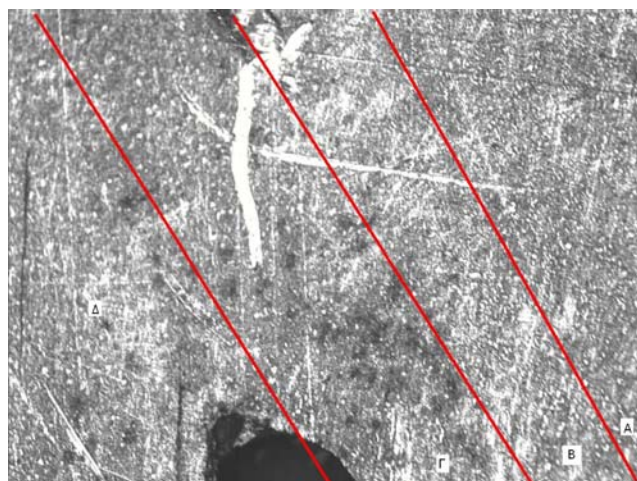
4.3) Συμπεράσματα από την παρατήρηση της συγκόλλησης

Στο δοκίμιο της συγκόλλησης που εξετάζεται, το υλικό των συγκολλημένων τεμαχίων είναι ο κοινός χάλυβας και το ηλεκτρόδιο που χρησιμοποιήθηκε ήταν από υλικό κοινού χάλυβα με επένδυση βορακα. Στις συγκολλητές συνδέσεις και στο σημείο της συγκόλλησης θα πρέπει να διακρίνονται 3 βασικές περιοχές που είναι οι εξής: η κόλληση, η ζώνη επηρεαζόμενη θερμικά (Ζ.Ε.Θ) και το βασικό ή μητρικό υλικό με αμετάβλητη δομή ύστερα από την συγκόλληση.

Στην εικόνα 3.3.5 διακρίνεται ανώμαλο μέτωπο στη συγκόλληση που σημαίνει ότι κατά τη συγκόλληση δεν υπήρξε σωστή εναπόθεση των κορδονιών μετώπου το οποίο προξενεί εγκάρσιες ή διαμήκεις εμβαθύνσεις και κυρτώσεις .

Στην εικόνα 3.3.11 διακρίνεται γρατζουνιά η οποία πιθανόν οφείλεται σε εξωτερικούς παράγοντες και δεν σχετίζεται με τη διαδικασία της συγκόλλησης. Η μαύρη περιοχή είναι κενό ανάμεσα στα συγκολλημένα ελάσματα.

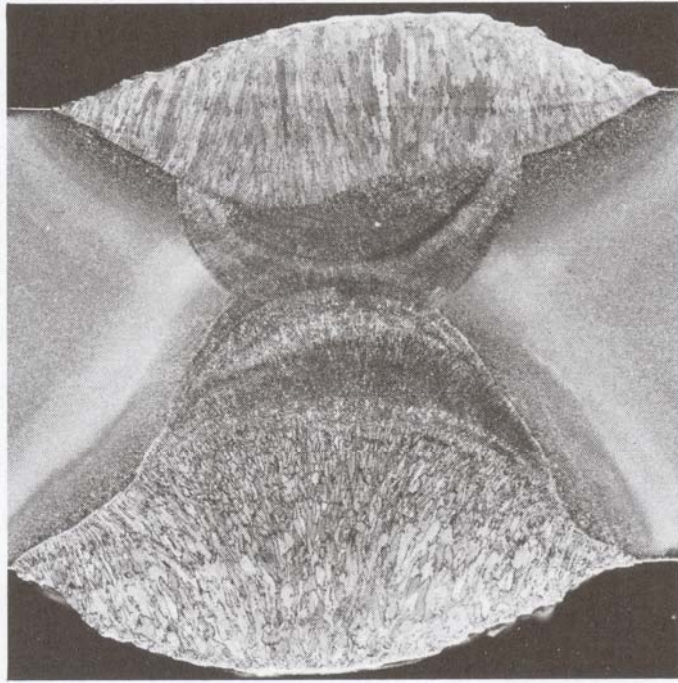
Επίσης διακρίνεται ρωγμή στη Ζ.Ε.Θ. η οποία δημιουργήθηκε πιθανότατα εξαιτίας των τάσεων συστολής κατά τη στερεοποίηση και της μεγάλης ταχύτητας συγκόλλησης.



Στην διπλανή φωτογραφία (3.3.11) έχουν διακριθεί οι περιοχές της θερμικά επηρεαζόμενης ζώνης οι οποίες δεν διακρίνονται καθαρά και ο διαχωρισμός έχει γίνει κατά προσέγγιση. (Στα όρια της ΖΕΘ δεν περιλαμβάνεται το υλικό της συγκόλλησης. Έτσι στη ΖΕΘ βρίσκονται οι περιοχές Β,Γ,Δ της φωτογραφίας.). Η περιοχή

Α είναι εναποτιθέμενο υλικό από το ηλεκτρόδιο, η περιοχή Β είναι η γραμμή σύντηξης, η περιοχή Γ είναι η χονδρόκοκκη δομή και η περιοχή Δ είναι η ψιλοκοκκη δομή. Εκτός από αυτά υπάρχουν η περιοχή του ψιλοκοκκου περλιτη και μετά το μητρικό υλικό τα οποία δεν φαίνονται στη φωτογραφία.

Μία τυπική μεταλλογραφική εικόνα συγκόλλησης θα ήταν η παρακάτω, στην οποία διακρίνονται καθαρά οι 4 περιοχές της Ζ.Ε.Θ. που προαναφέρθηκαν.

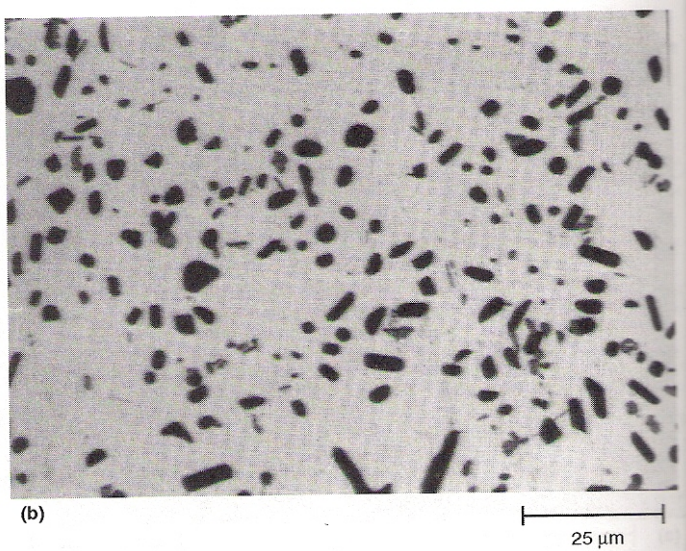


Εικόνα 4.3.1
Πηγη 3.

Το ότι η συγκόλληση που παρατηρήθηκε (βλ. εικ. 3.3.5, 3.3.6, 3.3.7, 3.3.8, 3.3.9) όπου ο χωρισμός σε περιοχές δεν είναι ξεκάθαρος) διαφέρει από την τυπική συγκόλληση (εικ.4.3.1) πιθανόν να οφείλεται στο ότι η συγκόλληση που εξετάσαμε θερμάνθηκε στη διάρκεια κάποιας οξυγονοκοπής που εκτελέστηκε μετά τη συγκόλληση.

4.4) Συμπεράσματα από την παρατήρηση του δοκιμίου του Αλουμινίου.

Στη φωτογραφία 3.4.1. εικονίζεται τμήμα της επιφάνειας του δοκιμίου του αλουμινίου. Σ'αυτή διακρίνονται ορισμένες μικρές μαύρες νησίδες και κάποιες γκριζες μεγαλύτερου μεγέθους. Επίσης διακρίνονται κάποιες βαθιές χαραγές. Συγκρινόμενη η φωτογραφία αυτή με την παρακάτω φωτογραφία της βιβλιογραφίας, παρατηρείται μεγάλη ομοιότητα.



Εικ. 4.4.1
Πηγη 13.

Η φωτογραφία εικονίζει υποευκτικό μίγμα αλουμινίου, στην οποία οι μικρές μαύρες νησίδες είναι σωματίδια καθαρού πυριτίου. Από τη σύγκριση λοιπόν αυτή εξάγεται το συμπέρασμα ότι το υλικό του υπό εξέταση δοκιμίου, είναι υποευκτικό μίγμα αλουμινίου-πυριτίου όπου οι μαύρες νησίδες είναι σωματίδια καθαρού πυριτίου. Το γεγονός ότι το μίγμα είναι υποευκτικό μας οδηγεί στη σκέψη ότι η περιεκτικότητα του μίγματος σε πυρίτιο κυμαίνεται από 1-12%. Συνήθως όμως τα κράματα που κυκλοφορούν στο εμπόριο περιέχουν πυρίτιο σε ποσοστό 5-13%, άρα και στο εξεταζόμενο δοκίμιο το ποσοστό του πυριτίου στο κράμα του αλουμινίου θα βρίσκεται σ'αυτά τα επίπεδα. Οι γκριζες νησίδες παρατηρούμε ότι δεν βρίσκονται εξαπλωμένες σε όλο το υλικό αλλά σε ορισμένα μόνο σημεία και χωρίς κάποια συγκέντρωση σε ένα μόνο σημείο, ούτε υπάρχει κάποια περιοδικότητα στην εμφάνισή τους. Αυτό μας κάνει να σκεφτούμε ότι πρόκειται για κάποια ιδιομορφία του υλικού και όχι για κάποιο φαινόμενο που λαμβάνει χώρα κατά τη διαδικασία της στερεοποίησης του κράματος.

Οι βαθιές χαραγές που υπάρχουν στην επιφάνεια του υλικού προέρχονται από εξωτερικούς παράγοντες. Κυρίως προκλήθηκαν κατά τη διαδικασία της λείανσης και κατά την κοπή του δοκιμίου. Αυτό συνέβη διότι το υλικό είναι πολύ μαλακό.

Βιβλιογραφία

- 1) ASM HANDBOOK, VOL. 9 Metallography and Microstruntyres, έκδοση 1985.
- 2) όπως το 1, σελ. 191.
- 3) όπως το 1, σελ. 178.

- 4) Κων. Κωνοφάγου, Μεταλλογνωσία, Τόμος ΙΙ, Τα κράματα, Αθήνα 1973.
- 5) όπως το 4, σελ. 160
- 6) όπως το 4, σελ. 159
- 7) όπως το 4, σελ. 161
- 8) όπως το 4, σελ. 200
- 9) όπως το 4, σελ. 203

- 10) Γιαννης Δ. Χρυσουλακης (Καθηγητης Ε.Μ.Π.), Δημητρης Ι. Παντελης (Καθηγητης Ε.Μ.Π.), Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών, έκδοση 2, εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 2008.
- 11) όπως το 10, σελ. 317

- 12) ASM HANDBOOK, VOL. 9 Metallography and Microstruntyres, έκδοση 2004
- 13). όπως το 12, σελ. 722

- 14) Θ. Α. Διαμαντούδης, Συγκολλήσεις Μετάλλων, Έκδοση Α, Θεσσαλονίκη 2000.

- 15) Ν.Σ.Παπασαραντοπούλου , Τεχνολογία Υλικών, σημειώσεις για την διδασκαλία του μαθήματος, Σέρρες πριν από το 2005.