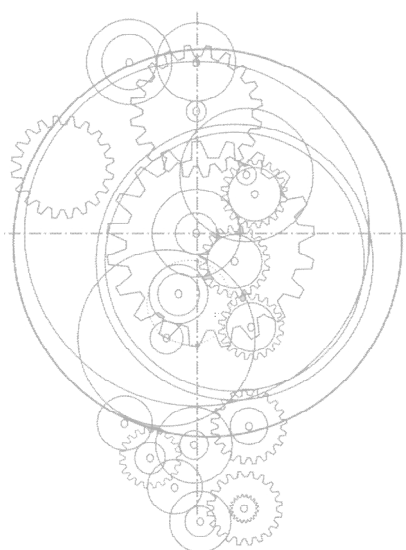
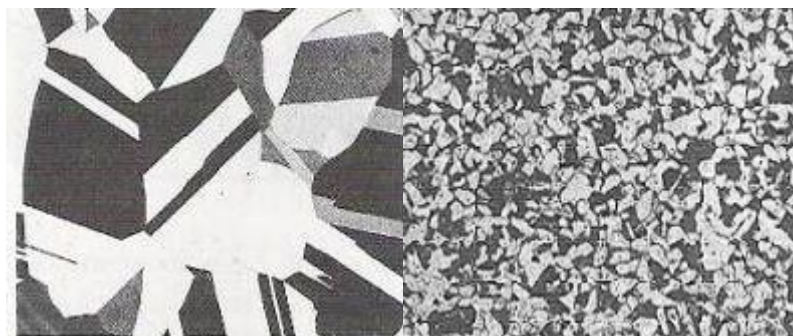




ΤΕΙ ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧ/ΚΩΝ & ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ
ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΤΕ
Τηλ.: 2461 0 68239 , 2461 0 68225
Φαξ: 2461 0 39682, 2461 0 38675
Email: weld-ndt@grad.teiwm.gr, sec-mech@teiwm.gr

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΟΓΝΩΣΙΑΣ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
& ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ
<http://me-id.teiwm.gr>

Διδάσκων: Δρ. Στέργιος Μαρόπουλος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

- **ΑΣΚΗΣΕΙΣ 1-2-3: ΧΑΛΥΒΕΣ-ΘΕΡΜΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΒΑΦΗΣ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 4: ΔΟΚΙΜΗ ΕΜΒΑΠΤΟΤΗΤΑΣ (JOMINY TEST)**
- **ΑΣΚΗΣΗ 5: ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΑ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 6: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 7: ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΑΝΟΔΙΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 8: ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΚΑΙ ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ**
 - 1) **ΧΑΛΚΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ**
 - 2) **ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ – ΓΗΡΑΝΣΗ AL**
 - 3) **ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 9: ΔΙΑΒΡΩΣΗ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ**
- **ΑΣΚΗΣΗ 10: ΜΕΓΕΘΟΣ ΚΟΚΚΩΝ – ΜΗΧ. ΑΝΤΟΧΗ**

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1,2,3

ΑΣΚΗΣΕΙΣ 1-2-3: ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΒΑΦΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΦΟΡΑΣ

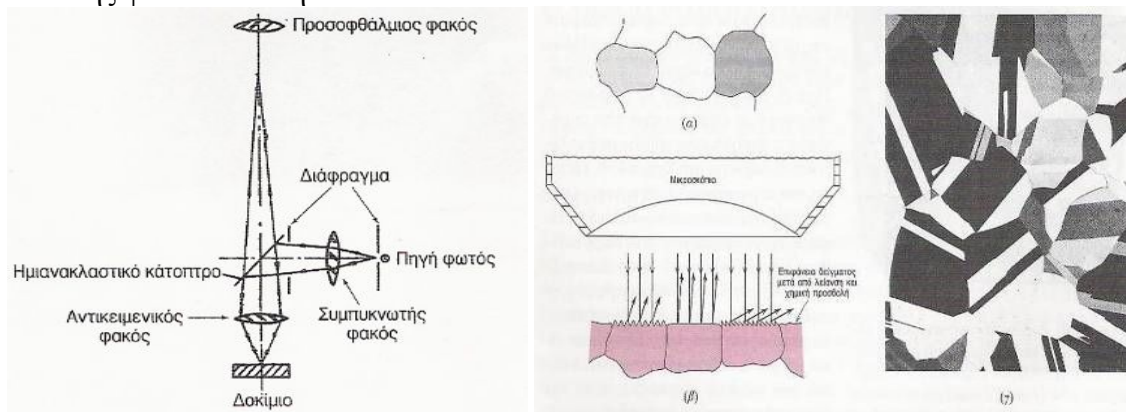
1. Περίληψη

Στην άσκηση αυτή θα ερευνηθεί η δομή και οι ιδιότητές συγκεκριμένων μεταλλικών υλικών. Θα εξεταστούν δοκίμια χάλυβα, με διαφορετικές συστάσεις το κάθε ένα. Με συγκεκριμένες θερμικές κατεργασίες θα γίνει βελτίωση της σκληρότητάς τους. Θα χρησιμοποιηθεί ο εξοπλισμός του Εργαστηρίου Μεταλλογνωσίας και βάσει των δεδομένων που θα ληφθούν από τα όργανα μετρήσεων, θα γίνει συγκριτική έρευνα σχετικά με την μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων (εστιαζόμενοι κυρίως στην σκληρότητα). Επίσης θα ακολουθηθεί η αντίστροφη διαδικασία επαναφοράς των ιδιοτήτων σε ελεγχόμενες τιμές.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Η **δομή της ύλης** είναι ο ιδιαίτερος τρόπος, με τον οποίο διατάσσονται τα δομικά στοιχεία κάθε σώματος, στον χώρο. Έχει σχέση με το είδος των δεσμών που εμφανίζονται μεταξύ των ατόμων ή των μορίων και το κυριότερο κριτήριο χαρακτηρισμού του δεσμού, είναι η ενέργεια που αυτός περικλείει. Ο τρόπος τελικά που διατάσσονται τα άτομα κυρίως στα μεταλλικά σώματα, είναι συγκεκριμένος (HCP, BCC, FCC). Έτσι σχηματίζονται οι κρυσταλλικές δομές (μικρόκοσμος), όπου αν αυτές στοιβάζονται περιοδικά η μία μετά την άλλη στον χώρο, σχηματίζονται οι κρύσταλλοι - κόκκοι (μακρόκοσμος).

Στα περισσότερα υλικά οι κόκκοι που τα συνθέτουν είναι μικροσκοπικών διαστάσεων, έχουν διαμέτρους στην τάξη μεγέθους των μικρομέτρων και οι λεπτομέρειές τους θα πρέπει να διερευνηθούν, χρησιμοποιώντας κάποιο τύπο **μικροσκοπίου**. Το μέγεθος και το σχήμα των κόκκων είναι μόνο δύο από τα χαρακτηριστικά αυτού που καλούνται μικροδομή. Η αρχή λειτουργίας, αλλά και τα βασικά στοιχεία ενός απλού οπτικού μικροσκοπίου ανάκλασης φαίνονται στην εικόνα 1.

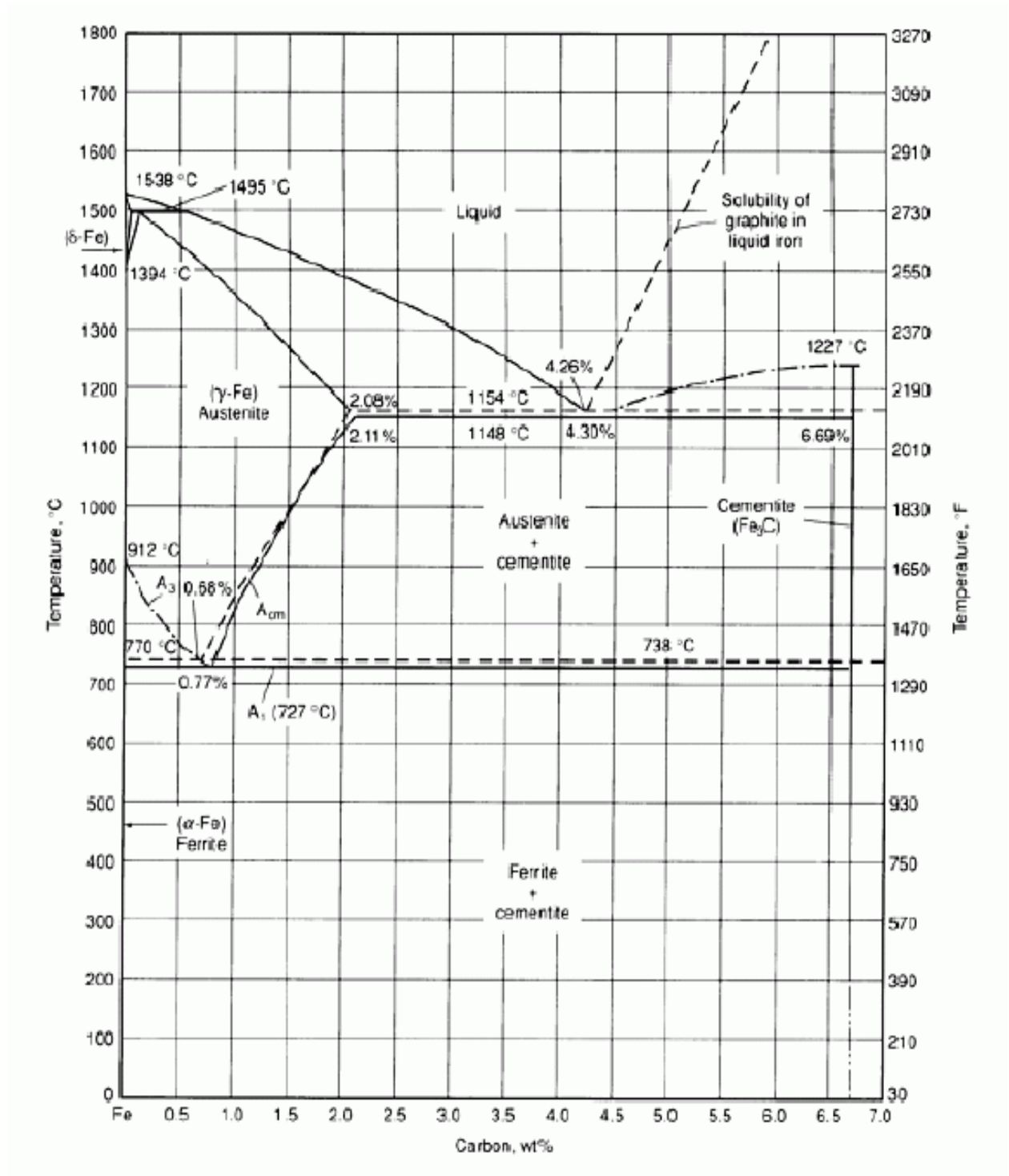


Εικόνα 1: Διάγραμμα λειτουργίας οπτικού (μεταλλογραφικού) μικροσκοπίου και συμπεριφορά ενός πολυκρυσταλλικού υλικού στην ανάκλαση του φωτός.

2.1. Διάγραμμα φάσεων σιδήρου άνθρακα

Στα διαγράμματα φάσεων παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο κατά την στερεοποίηση ενός μετάλλου, που βρισκόταν σε υγρή κατάσταση στο χυτήριο και ψύχεται μέχρι την θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τα συστατικά του στοιχεία στοιβάζονται στην έκταση της μάζας του στερεού σώματος που δημιουργείται, σε νέες μόνιμες θέσεις ισορροπίας. Έτσι δημιουργούνται περιοχές - περιοχές στην έκταση του όγκου του στερεού, με διαφορετική δομή μεταξύ τους, οι οποίες με την σειρά τους συνυπάρχουν και δίνουν τις τελικές ιδιότητες

του υλικού.

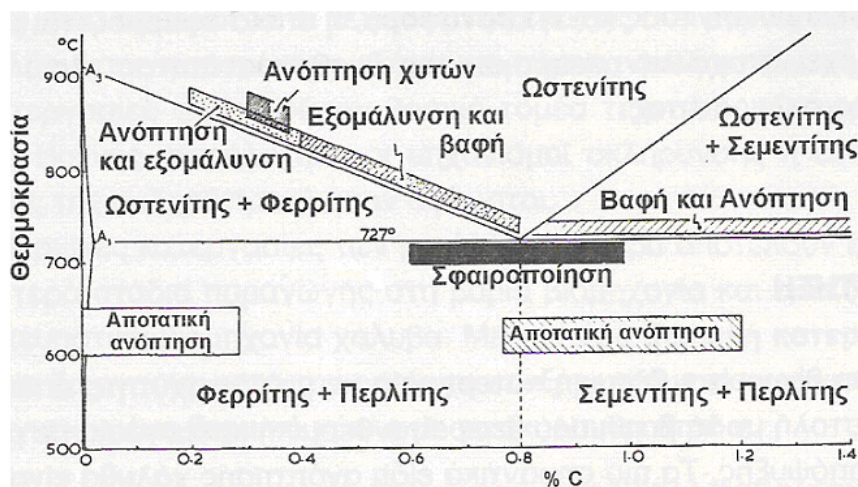


εικόνα 2: διάγραμμα φάσεων σιδήρου- άνθρακα

2.2. Βαφή χάλυβα – Μαρτενσιτικός μετασχηματισμός

Είναι μια θερμική κατεργασία. Το υλικό καθίσταται πολύ σκληρό, δυσκολοκατέργαστο, ψαθυρό και με λεπτεπίλεπτη δομή. Το ποσοστό άνθρακα στους χάλυβες παίζει καθοριστικό ρόλο στην επιδεκτικότητα σκλήρυνσης του υλικού. Όσο λιγότερο άνθρακα έχει το υλικό, τόσο πιο λίγο βάφεται. Τα κραματικά στοιχεία επηρεάζουν θετικά την εμβαπτότητα. Η διαδικασία βαφής γίνεται ως εξής: το υλικό θερμαίνεται σε μια ζώνη θερμοκρασιών λίγο πιο πάνω από την περιοχή γ (εκεί που υπάρχει ακριβώς μόνο ωστενίτης γ). Κατόπιν ακολουθεί απότομη ψύξη σε νερό, ή λάδι, ή σε άλατα. Έτσι το υλικό δεν προλαβαίνει να αποκτήσει την

δομή φερρίτη - σεμεντίτη, αλλά έχει την δομή του ωστενίτη, που είναι αρκετά σκληρή και καλείται μαρτενσίτης. Έτσι με γνωστή την περιεκτικότητα σε άνθρακα και με την χρήση του διαγράμματος φάσεων βρίσκεται η θερμοκρασία στην οποία πρέπει να θερμανθεί ο χάλυβας ώστε αφού ψυχθεί μετά απότομα, θα σκληρύνει. Στην εικόνα 3 φαίνεται η ζώνη θερμοκρασιών βαφής.



εικόνα 3: τμήμα του διαγράμματος φάσεων όπου σημειώνονται οι ζώνες θερμικών κατεργασιών και μεταξύ αυτών και της βαφής.

2.3. Σκληρότητα

Η σκλήρυνση είναι μια μεταλλουργική διαδικασία, κατά την οποία τα μέταλλα γίνονται στιβαρότερα και ανθεκτικότερα. Σκληρότητας είναι η αντίσταση του υλικού στην διείσδυση ξένων σωμάτων από την επιφάνειά του. Η σκλήρυνση οδηγεί όμως και σε μείωση της ολκιμότητας.

Το όργανο με το οποίο μετράτε η σκληρότητα, είναι το σκληρόμετρο. Υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι στατικής σκληρομέτρησης:

1. η μέθοδος Rockwell
2. η μέθοδος Brinell
3. η μέθοδος Vickers

Rockwell C: Χρησιμοποιείται ως διεισδυτής κώνος από διαμάντι, γωνίας 120° και άκρης με ακτίνα καμπυλότητας 0,02 mm. Κατά τη διάρκεια της προφορτίσεως, η εφαρμοζόμενη δύναμη είναι ίση με 10 kp και κατά τη διάρκεια της φορτίσεως είναι ίση με 150 kp. Η κλίμακα της σκληρότητας εκτείνεται από 0 έως 80 HRC. Πρέπει να σημειωθεί ότι η δοκιμή σκληρότητας Rockwell C εφαρμόζεται ευρύτατα στην περίπτωση θερμικά κατεργασμένων χαλύβων και γενικότερα μετάλλων και κραμάτων μετά από κατεργασίες σκληρύνσεως (π.χ. βαμμένοι χάλυβες, επιφανειακά κατεργασμένοι χάλυβες, κράματα αλουμινίου μετά από γήρανση (ντουραλουμίνιο), κ.λπ.).

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα

Στο εργαστήριο υπάρχουν τρία διαφορετικά είδη χαλύβων, με γνωστή σύσταση σε άνθρακα το καθένα, όπως φαίνεται στον πίνακα 1.

Χάλυβες κατά (EN):

Χάλυβας	% C	Παρατηρήσεις
1.5919	0.15	Επιφανειακής βαφής
1.6582	0.4	Επιβελτιώσεως
1.7225	0.6	Επιβελτιώσεως

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΑ					
1. Με τον κοπτικό δίσκο θα κοπούν <u>δύο</u> μικρά τεμάχια από τον κάθε χάλυβα. 2. Θα απομακρυνθούν τα γρέζια και οι αιχμηρές άκρες. 3. Θα ακολουθήσει καθαρισμός με καθαρό νερό, για να φύγουν τυχόν λάδια και σαπούνια. 4. Θα σχηματιστούν δυο σετ δοκιμίων. Ένα είδος χάλυβα σε κάθε σετ.					
1ο σετ δοκιμίων			2ο σετ δοκιμίων		
<u>Προετοιμασία για βαφή</u>			<u>Προετοιμασία για μεταλλογραφικό έλεγχο</u>		
5. Τα δοκίμια θα τοποθετηθούν στον φούρνο στην θερμοκρασία γ φάσης και θα παραμείνουν για χρονικό διάστημα 20 min, το κάθε ένα. Θα γίνει επιλογή των θερμοκρασιών από το διάγραμμα φάσεων που δίνεται.			5. Η προετοιμασία γίνεται λειανώντας τα δοκίμια με λειαντικά χαρτιά. Για διευκόλυνση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται οι λειαντικοί δίσκοι που υπάρχουν στο εργαστήριο.		
% C	Θερμοκρασία	Παρατηρήσεις	1ο χαρτί	grid 200	Λείανση γίνεται μέχρι να φύγουν όλες οι γραμμές από την επιφάνεια. Με ειδικό πανί, χωρίς νερό, σε χαμηλές στροφές, τοποθετείται αλουμινόπαστα ή διαμαντόπαστα και στίλβώνεται απαλά το δοκίμιο. Πρέπει να είναι τόσο καλή η στίλβωση ώστε το δοκίμιο να είναι καθρέπτης.
0.15			2ο χαρτί	grid 600	
0.4			3ο χαρτί	grid 800	
0.6			στίλβωση	πάστα	
6. Όταν ολοκληρωθεί ο χρόνος παραμονής τους στον φούρνο (τα δοκίμια είναι πυρωμένα), με την ειδική λαβίδα θα απομακρυνθούν από το φούρνο και θα τοποθετηθούν μέσα σε δοχείο που περιέχει νερό σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Εκεί με έντονη ανάδευση θα ψυχθούν, ώστε να γίνει η βαφή.					
 Μετά την βαφή ακολουθεί η προετοιμασία για μεταλλογραφικό έλεγχο (κοίτα τα βήματα 5 και 6 της διπλανής στήλης)			6. Ακολουθεί χημική προσβολή των λειασμένων πλέον δοκιμίων. Το χημικό διάλυμα λέγεται Nital και είναι 2% νιτρικό οξύ σε αλκοόλη. Η προσβολή γίνεται βαπτίζοντας το κάθε δοκίμιο στο Nital για 15 sec. Κατόπιν πλένεται επιμελώς σε νερό, ξεπλένεται με αλκοόλη και στεγνώνεται με αερόθερμο πιστόλι αέρος. Δεν πρέπει να ακουμπήσει γυμνό χέρι στην επιφάνεια		

7. Οπτική μικροσκοπία

Αφού πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες προετοιμασίας για μεταλλογραφικό έλεγχο, το δοκίμιο τοποθετείται στο μικροσκόπιο, στην ειδική θέση δοκιμίου αφού πρώτα οριζοντιωθεί με την ειδική συσκευή. Με συνδυασμό μεγεθυντικών φακών και κατάλληλου φωτισμού, θα γίνει χρήση λογισμικού software στον υπολογιστή για λήψη φωτογραφιών της μικροδομής. Η μέγιστη μεγέθυνση που μπορεί να δώσει το μικροσκόπιο είναι x600.



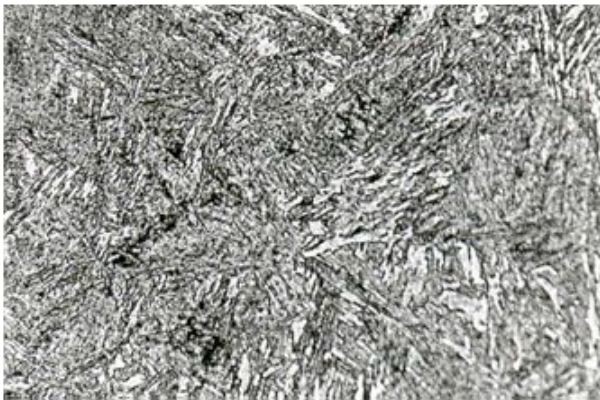
Οπτικό μικροσκόπιο

Ηλεκτρονικός υπολογιστής

Πρέσα οριζοντίωσης δειγμάτων

Δομή βαμμένου υλικού - μαρτενσίτη

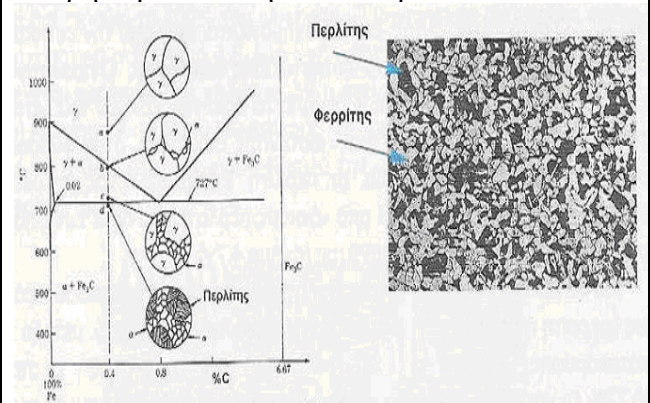
Ο μαρτενσίτης είναι μια δομή που παρουσιάζουν όλοι οι χάλυβες, οι οποίοι έχουν βαφεί. Ανεξάρτητα την περιεκτικότητά τους σε άνθρακα, η δομή είναι σχεδόν πάντα η ίδια. Όμως σε περιπτώσεις που ο άνθρακας δεν είναι πολύς, τότε η βαφή είναι επιφανειακή και η δομή αυτή σχηματίζεται μόνο στην άκρη του δοκιμίου, σε αντίθεση με την μεγάλη περιεκτικότητα σε C, όπου η δομή του μαρτενσίτη καταλαμβάνει όλο το δοκίμιο. Σημαντική επίδραση παίζουν και τα κραματικά στοιχεία (όσο περισσότερα τόσο πιο εύκολα σχηματίζεται ο μαρτενσίτης). Η δομή του μαρτενσίτη είναι αυτήν που φαίνεται στην κάτω εικόνα. Είναι μια ομοιόμορφη εξάπλωση βελονοειδούς μορφής άνθρακα σ' όλο το υλικό.



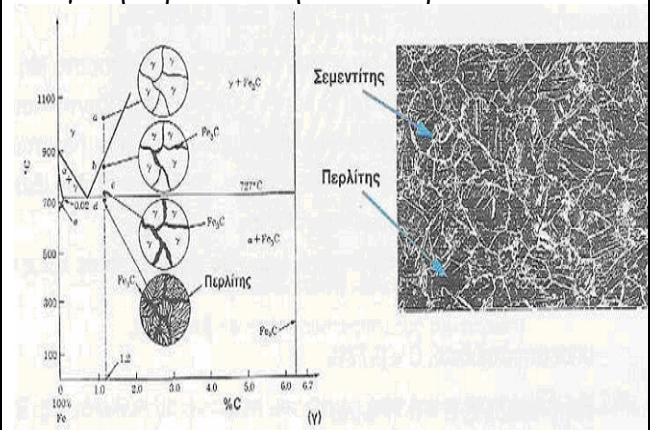
Δομή χάλυβων vs περιεκτικότητα σε %C

Η δομή του χάλυβα με μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα θα πρέπει να είναι παρόμοια με αυτήν που δείχνει η φωτογραφία:

Μικρή περιεκτικότητα σε άνθρακα



Μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα

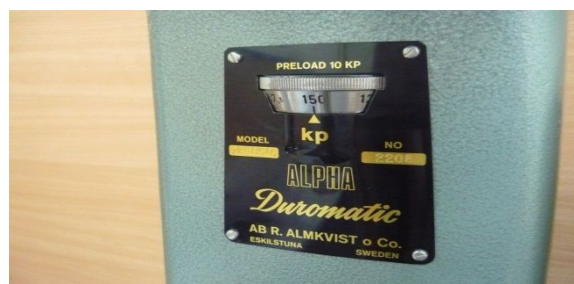


8. Σκληρομέτρηση

Τα δοκίμια τοποθετούνται λειασμένα στο σκληρόμετρο. Πρώτα γίνεται η προφόρτιση 10 Kp και κατόπιν η φόρτιση 150 Kp. Θα ληφθούν από το κάθε δοκίμιο 10 μετρήσεις σκληρότητας και θα γίνει στατιστική επεξεργασία.



Το δοκίμιο τοποθετείται σε οριζόντια θέση και σταθερά (χωρίς να παλαντζάρει). Με τον κοχλία προφόρτισης σιγά σιγά προφορτίζεται το δοκίμιο μέχρι η μικρή βελόνα στο καντράν να δείξει 0 και η μεγάλη να πάρει σχεδόν οριζόντια θέση. Στο σημείο εκείνο στο σκληρόμετρο ανάβει ενδεικτική λυχνία (πράσινο χρώμα), που σημαίνει ότι το όργανο είναι έτοιμο να κάνει μέτρηση. Έτσι πιέζοντας το κόκκινο μπουτόν, που βρίσκεται κάτω από τον κοχλία, το όργανο κάνει την μέτρηση. Η ανάγνωση της σκληρότητας γίνεται από την κίτρινη κλίμακα και είναι σκληρότητα Rockwell C.



Στοιχεία Στατιστικής Ανάλυσης.

Μέσος όρος	Όλες οι μετρούμενες τιμές αθροίζονται και ο προκύπτων αριθμός διαιρείται με το πλήθος των μετρήσεων.
Διάμεση τιμή	Ενός δείγματος παρατηρήσεων, οι οποίες έχουν διαταχθεί κατά αύξουσα τάξη, είναι η μεσαία παρατήρηση εάν το πλήθος των παρατηρήσεων είναι περιττό ή ο μέσος όρος των δύο μεσαίων παρατηρήσεων εάν το πλήθος είναι άρτιο. π.χ. 2,5,7,8,8,9,15 η διάμεση τιμή το 8
Επικρατούσα Τιμή	Είναι η τιμή που εμφανίζεται περισσότερες φορές στο π.χ. 8
Εύρος	Είναι η απόσταση από την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή max- min στο π.χ. 15-2=13
Διακύμανση	Η διακύμανση είναι ένα μέτρο διασποράς των τιμών του δείγματος $s^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}$
Τυπική Απόκλιση	είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς. Δηλαδή $s = \sqrt{s^2}$

5. Αποτελέσματα

Θα πρέπει να γίνει μια καρτέλα αποτελεσμάτων για κάθε εξεταζόμενο χάλυβα. Στην καρτέλα αυτή θα αναγράφονται όλα τα στοιχεία του υλικού, ποιες διαδικασίες έχει υποστεί στο εργαστήριο και γιατί έγιναν (κοπή, τρόχισμα, προετοιμασία για μεταλλογραφικό έλεγχο, κλπ), ποια όργανα χρησιμοποιήθηκαν για την εξέταση του υλικού (με φωτογραφίες αυτών), περιγραφή των θερμικών διεργασιών βαφής και επαναφοράς σχολιάζοντας πως αυτές επιλέχθηκαν, οι μετρήσεις από τα όργανα με την στατιστική επεξεργασία και τέλος φωτογραφίες από τα οπτικά μικροσκόπια. Τέλος θα πρέπει να γίνει ένα διάγραμμα μεταβολής της σκληρότητας vs ποσοστού άνθρακα.

	Ποσοστό χάλυβα σε άνθρακα	Αρχική σκληρότητα (μέσος όρος) HB _α	Τελική σκληρότητα (μέσος όρος) HB _τ	Διαφορά HB _τ -HB _α	Ποσοστό μεταβολής A (%) = 100* ((HB _τ -HB _α) / HB _α)
1					
2					
3					

ΑΣΚΗΣΗ 4

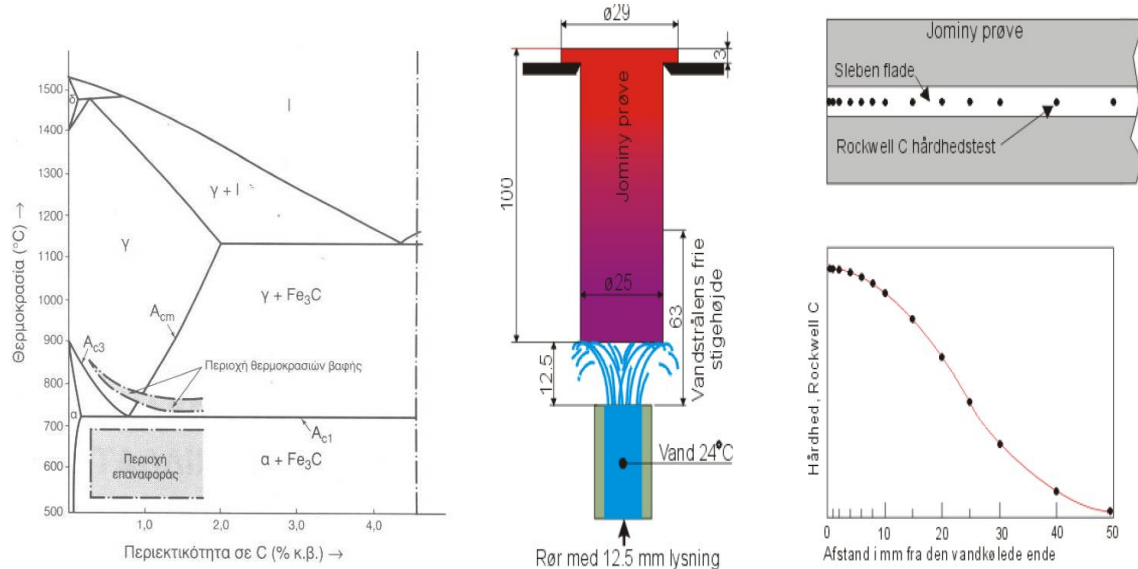
ΑΣΚΗΣΗ 4: ΔΟΚΙΜΗ ΕΜΒΑΠΤΟΤΗΤΑΣ (JOMINY TEST)

1. Περίληψη

Στην άσκηση αυτή εξετάζεται η ικανότητα αποδοχής σκλήρυνσης από κάποιο υλικό. Χρησιμοποιείται τυποποιημένο δοκίμιο από χάλυβα, το οποίο αφού θερμανθεί τοποθετείται στην συσκευή του Jominy test και ελέγχεται το βάθος βαφής στο υλικό.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Με την δοκιμή Jominy προσδιορίζεται η εμβαιπτότητα ενός υλικού. Κατά την δοκιμασία Jominy μεταλλικό κυλινδρικό δοκίμιο μήκους 100mm και διαμέτρου 25,4 mm θερμαίνεται σε φούρνο μέχρι την πλήρη ωστενοποίηση του, έτσι ώστε να διαλυθούν πλήρως ο άνθρακας που περιέχει καθώς και όλα τα στοιχεία προσθήκης. Η ωστενοποίηση (δηλαδή η ομοιόμορφη διάλυση του άνθρακα μέσα στο υλικό) του χάλυβα περιλαμβάνει θέρμανση σε θερμοκρασία υψηλότερη κατά 50°C περίπου, της υψηλότερης κρίσιμης θερμοκρασίας, η οποία οριοθετείται από την καμπύλη A_{c3} του σχήματος 1.



Σχήμα 1: Θερμοκρασιακές περιοχές βαφής και επαναφοράς των χάλυβων συναρτήσει του %C και η σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής Jominy

Το δοκίμιο μετά την εξαγωγή του από το φούρνο τοποθετείται σε ειδική διάταξη, έτσι ώστε το ένα του άκρο να ψύχεται με πίδακα νερού, όπως φαίνεται το σχήμα 1. Με αυτόν τον τρόπο η κάτω επιφάνεια του δοκιμίου (ψυχόμενο άκρο) ψύχεται ταχύτατα, ενώ οι υπόλοιπες περιοχές ψύχονται με βραδύτερους ρυθμούς.

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα

Το δοκίμιο είναι κυλινδρικό διαμέτρου 25,4 mm και ύψους 100 mm. Η περιεκτικότητα του σε άνθρακα να είναι σημαντική και μπορεί να περιέχει μικρές ποσότητες άλλων κραματικών στοιχείων.

Πίνακας 1: Περιεκτικότητα άνθρακα του χάλυβα

ΣΤΟΙΧΕΙΑ	Min/Max περιεκτικότητα (%)
C	0,40

1. Σκληρομέτρηση του υλικού

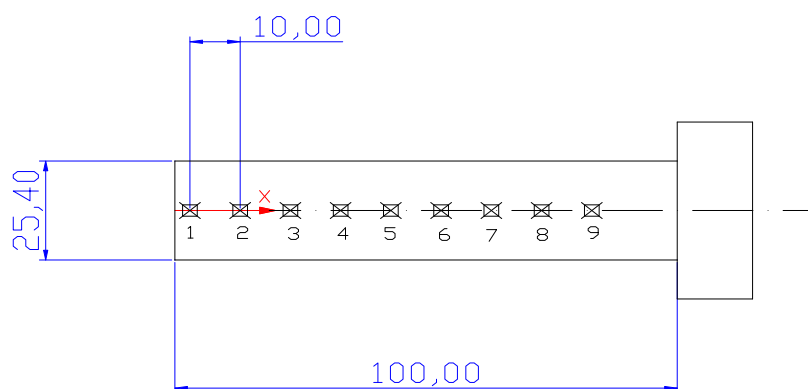
Το δοκίμιο τοποθετείται λειασμένο στο σκληρόμετρο. Πρώτα γίνεται η προφόρτιση 10 Kp και κατόπιν η φόρτιση 150 Kp. Θα ληφθούν τουλάχιστον 5 μετρήσεις.



Το δοκίμιο τοποθετείται σε οριζόντια θέση και σταθερά (χωρίς να παλαντζάρει). Με τον κοχλία προφόρτισης σιγά σιγά προφορτίζεται το δοκίμιο μέχρι η μικρή βελόνα στο καντράν να δείξει 0 και η μεγάλη να πάρει σχεδόν οριζόντια θέση. Στο σημείο εκείνο στο σκληρόμετρο ανάβει ενδεικτική λυχνία (πράσινο χρώμα), που σημαίνει ότι το όργανο είναι έτοιμο να κάνει μέτρηση. Έτσι πιέζοντας το κόκκινο μπουτόν, που βρίσκεται κάτω από τον κοχλία, το όργανο κάνει την μέτρηση. Η ανάγνωση της σκληρότητας γίνεται από την κίτρινη κλίμακα και είναι σκληρότητα Rockwell C.



2. Θέρμανση του δοκιμίου σε φούρνο στους 850 °C για 20 λεπτά της ώρας.
3. Προσεκτική εξαγωγή του δοκιμίου από το φούρνο και γρήγορη τοποθέτησή του στη συσκευή Jominy. Ακολουθεί η διαδικασία ψύξης με τον πίδακα νερού.
4. Εξαγωγή του δοκιμίου από τη συσκευή Jominy και παραμονή του σε θερμοκρασία περιβάλλοντος μέχρι την πλήρη ψύξη του.
5. Επιφανειακή λείανση της επίπεδης επιφάνειας του δοκιμίου, ώστε να διασπαστεί το στρώμα των οξειδίων.
6. Χωρισμός του δοκιμίου σε διαστήματα του ενός εκατοστού, όπως φαίνεται στο σχήμα 2. Η μέτρηση των διαστημάτων γίνεται από την πλευρά του ψυχόμενου άκρου.



Σχήμα 2: Χωρισμός του δοκιμίου σε διαστήματα. Σχηματική παράσταση δοκιμίου Jominy

7. Το δοκίμιο να χωριστεί σε 9 περιοχές, του ενός εκατοστού η καθεμία.
8. Σε κάθε περιοχή πραγματοποιείται σκληρομέτρηση Rockwell C.

Πίνακας 3 : Μετρήσεις σκληρότητας

ΣΗΜΕΙΑ ΛΗΨΗΣ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ ΚΑΤΑ ROCKWELL C
Σημείο 1: απόσταση $x=2\text{mm}$	
Σημείο 2: απόσταση $x=12\text{mm}$	
Σημείο 3: απόσταση $x=22\text{mm}$	
Σημείο 4: απόσταση $x=32\text{mm}$	
Σημείο 5: απόσταση $x=42\text{mm}$	
Σημείο 6: απόσταση $x=52\text{mm}$	
Σημείο 7: απόσταση $x=62\text{mm}$	
Σημείο 8: απόσταση $x=72\text{mm}$	
Σημείο 9: απόσταση $x=82\text{mm}$	

Αποτελέσματα

Ζητείται να γίνει γραφική παράσταση: απόσταση από την άκρη βαφής vs σκληρότητας. Επίσης να ληφθούν φωτογραφίες από το οπτικό μικροσκόπιο και κυρίως από το σημείο όπου διαπιστώνεται η μεταβολή της δομής και να σημειωθεί η θέση όπου εμφανίζεται αυτήν η αλλαγή πάνω στο δοκίμιο.

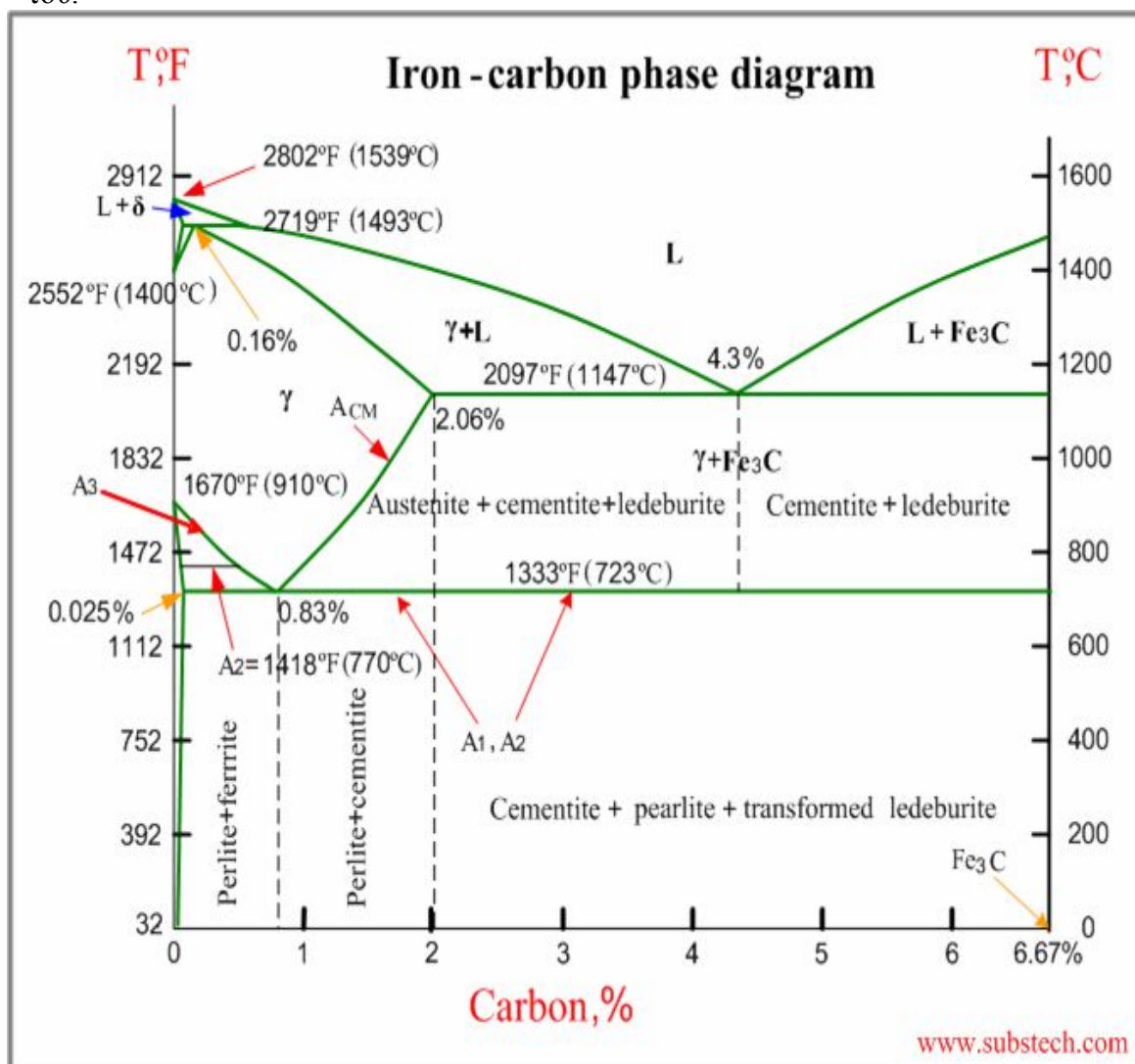
ΑΣΚΗΣΗ 5

ΑΣΚΗΣΗ 5: ΕΠΑΝΑΦΟΡΑ ΧΑΛΥΒΩΝ

1. Περίληψη: Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση, μελετάται και εξετάζεται εργαστηριακά η διεργασία επαναφοράς των βαμμένων χαλύβων. Είναι μια μέθοδος αντίστροφής πορείας της βαφής κατά την οποία το βαμμένο υλικό θερμαίνεται σε κατάλληλη θερμοκρασία ώστε ο χάλυβας να αποκτήσει καλύτερη δυσθραυστότητα εις βάρος όμως της σκληρότητας και αντοχής.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο: Η βαφή του χάλυβα προκαλεί συχνά παραμορφώσεις λόγω συσσώρευσης τάσεων. Το βαμμένο υλικό είναι εύθραυστο, ψαθυρό και ελάχιστα πλαστικό, εξαιτίας του περιεχόμενου μαρτενσίτη, γεγονός που το καθιστά ακατάλληλο για πολλές εφαρμογές.

Προκειμένου να αντιμετωπιστούν αυτά τα μειονεκτήματα, ο βαμμένος χάλυβας υποβάλλεται στη θερμική κατεργασία της επαναφοράς, οπότε επαναφέρεται η ολκιμότητά του σε επιθυμητά επίπεδα. Παράλληλα ανακτά σημαντικό μέρος της δυσθραυστότητάς του, απαλλάσσεται από εσωτερικές τάσεις, με μια μικρή όμως μείωση της σκληρότητάς του.



Σχήμα 1: διάγραμμα ισορροπίας των φάσεων του χάλυβα με τις περιοχές θερμικών κατεργασιών

Η διαδικασία της επαναφοράς ακολουθεί τα εξής στάδια:

1. Αναθέρμανση του βαμμένου αντικειμένου στην θερμοκρασία επαναφοράς, η οποία είναι χαμηλότερη από την κατώτερη κρίσιμη γραμμή A1 των 723 °C (σχήμα 1) και ψηλότερη από

την θερμοκρασία έναρξης σχηματισμού του μαρτενσίτη Ms. Βέβαια η τιμή της Ms δεν είναι σταθερή, διότι εξαρτάται από το ποσοστό του άνθρακα. Γενικά η θερμοκρασία επαναφοράς για τους χάλυβες που συνήθως βάφονται είναι μεταξύ 260 και 723 °C.

2. Παραμονή για ορισμένο χρόνο στην θερμοκρασία αυτή.
3. Αργή ψύξη σε ήρεμο αέρα μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος.

Η δομή που προκύπτει αποτελείται από:

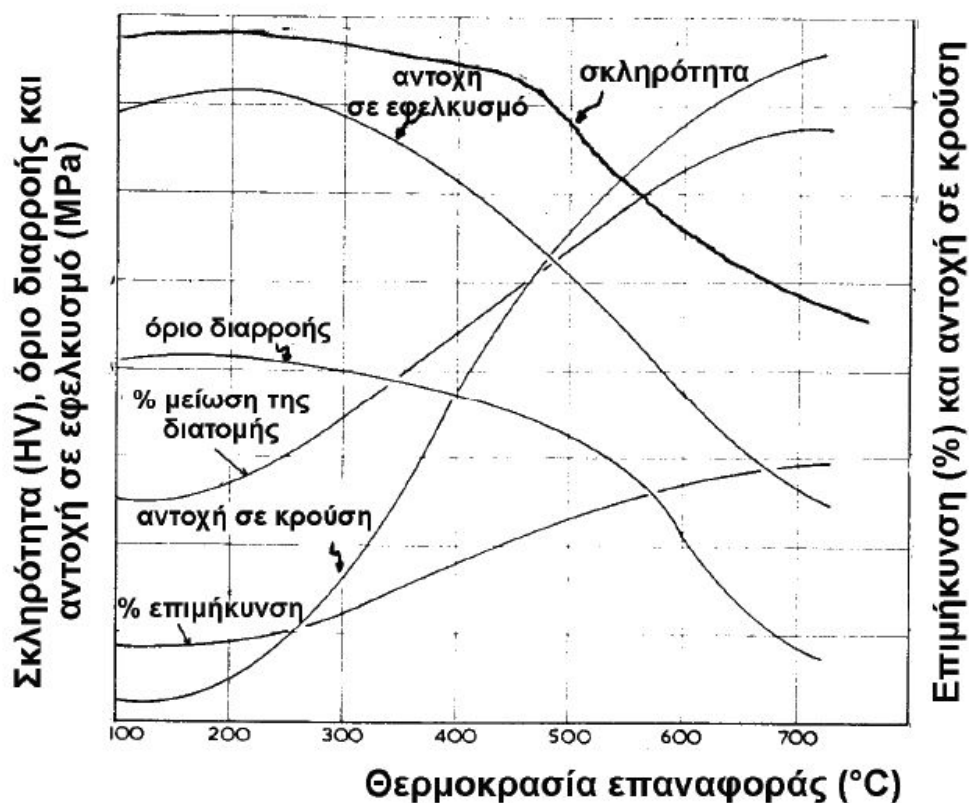
- Το τμήμα του μαρτενσίτη που δεν επηρεάστηκε από την αναθέρμανση
- Το τμήμα εκείνο του μαρτενσίτη που μετασχηματίστηκε κατά την αναθέρμανση σε μια σύμπλοκη μορφή φερρίτη – σεμεντίτη και ονομάζεται μαρτενσίτης από επαναφορά.

Στο σχήμα 2, φαίνονται οι μεταβολές της δομής των χάλυβων, κατά την διαδικασία της βαφής και μετέπειτα της επαναφοράς. Ο χάλυβας από το χυτήριο έχει την δομή του φερρίτη και του περλίτη ($\alpha + P$). Όταν βαφεί τότε η δομή του μετασχηματίζεται σε δομή μαρτενσίτη (α'). Με την θέρμανση επαναφοράς, καθορίζοντας τους χρόνους που θα διαρκέσει αυτή η διαδικασία σαν τελική δομή λαμβάνεται η μαρτενιστική που απομένει (α') και εν μέρει η ($\alpha + P$) που ξανασχηματίζεται.



Σχήμα 2: μεταβολές της δομής των χάλυβων κατά την διαδικασία της βαφής και μετέπειτα της επαναφοράς

Η επιλογή της θερμοκρασίας επαναφοράς γίνεται με βάση τα επιδιωκόμενα αποτελέσματα. Το σχήμα 3 δείχνει την μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων ενός χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας επαναφοράς. Αν για παράδειγμα είναι επιθυμητή η ανάκτηση ενός μεγάλου μέρους της δυσθραυστότητας (Gc) και της ολκιμότητας (%EL) του συγκεκριμένου χάλυβα, τότε θα γίνει επιλογή υψηλής θερμοκρασίας επαναφοράς, θυσιάζοντας όμως μεγάλο μέρος της τιμής του ορίου θραύσης (σ). Μεγάλες επίσης θα είναι και οι απώλειες της σκληρότητας. Προφανώς όσο ανεβαίνει η θερμοκρασία επαναφοράς, τόσο μειώνεται ο μαρτενσίτης βαφής και αυξάνονται οι νέες κρυσταλλικές φάσεις, δηλαδή ο μαρτενίτης επαναφοράς.



σχήμα 2: μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων ενός χάλυβα με $p(C)=0.45\%$ συναρτήσει της θερμοκρασίας επαναφοράς

Τυπική εφαρμογή του συνδυασμού βαφής – επαναφοράς συναντάται στην περίπτωση των εργαλείων κοπής, στα οποία οι προδιαγραφές τους ορίζουν ότι δεν πρέπει να θραύονται εύκολα, αλλά και να έχουν μεγάλη σκληρότητα. Για το λόγο αυτό μετά την βαφή υποβάλλονται σε μια ελαφρά επαναφορά (μέχρι τους 300 °C), ώστε να διατηρήσουν το μεγαλύτερο μέρος της σκληρότητάς τους.

Αν επίσης ήταν επιθυμητή η εφαρμογή κάποιας θερμικής κατεργασίας μόνο σε ορισμένο τμήμα του εργαλείου π.χ. επιλεκτική σκλήρυνση της ακίδας ενός τρυπανιού, τότε γίνεται επικάλυψη του υπόλοιπου τμήματος με ένα προστατευτικό στρώμα αργίλου ή ειδικής μονωτικής αλοιφής.

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα: από το εκπαιδευτικό προσωπικό στο εργαστήριο, θα λάβετε δοκίμια χάλυβα (ειδικός χάλυβας 0,4 % C κ.β.) τα οποία είναι από πριν βαμμένα (από τους 890° C / 50 λεπτά της ώρας → βαφή). Το κάθε ένα δοκίμιο έχει υποστεί επαναφορά σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες και χρονικές διάρκειες, όπως φαίνονται στον πίνακα που ακολουθεί.

1 ^ο δοκίμιο	2 ^ο δοκίμιο	3 ^ο (τετραπλό σετ δοκιμίων)	4 ^ο δοκίμιο
200 °C – 20 λεπτά	400 °C – 20 λεπτά	600 °C– 10 λεπτά	700 °C– 20 λεπτά
		600 °C– 20 λεπτά	
		600 °C– 30 λεπτά	
		600 °C– 40 λεπτά	

Το δοκίμιο (600 °C– 20 λεπτά) της 3^{ης} σειράς, δεν σας θα δοθεί, αλλά θα παρασκευαστεί στο εργαστήριο από εσάς. Πιο συγκεκριμένα θα λάβετε τον απλά βαμμένο χάλυβα και θα τον τοποθετήσετε στον φούρνο, στους 600 °C για 20 λεπτά και κατόπιν θα το βγάλετε και θα το αφήσετε να κρυώσει στον αέρα (είτε με λουτρό μέσα σε κρύο νερό).

Σύμφωνα με την μεθοδολογία των πρώτων εργαστηριακών ασκήσεων, θα ακολουθήσετε την διαδικασία προετοιμασίας για οπτικό έλεγχο (φωτογραφίες) στο μικροσκόπιο των εξής δοκιμίων:

200 °C – 20 λεπτά
400 °C – 20 λεπτά
600 °C– 20 λεπτά
700 °C– 20 λεπτά

Κατόπιν θα κάνετε σε όλα τα δοκίμια σκληρομετρήσεις RC, ως εξής: σε κάθε δοκίμιο 5 μετρήσεις και θα βγάλετε τον μέσο όρο. Μετά θα μετατρέψετε τις μέτρησες από RC σε VPN από πίνακα μετατροπής σκληρότητας.

4. Αποτελέσματα: θα σχηματίσετε τα εξής διαγράμματα: 1) Σκληρότητα δοκιμίων (VPN) συναρτήσει του χρόνου παραμονής τους στον φούρνο (t) και 2) σκληρότητα δοκιμίων (VPN) συναρτήσει της θερμοκρασίας που είχε ο φούρνος (T_a). Θα πρέπει να είναι εμφανής η μείωση της σκληρότητας.

Θα λάβετε από το προσωπικό του εργαστηρίου και φωτογραφίες από το οπτικό μικροσκόπιο των παρακάτω δοκιμίων τις οποίες θα τις παραθέσετε στην σωστή σειρά.

600 °C– 10 λεπτά
600 °C– 30 λεπτά
600 °C– 40 λεπτά

ΑΣΚΗΣΗ 6

ΑΣΚΗΣΗ 6: ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Περίληψη

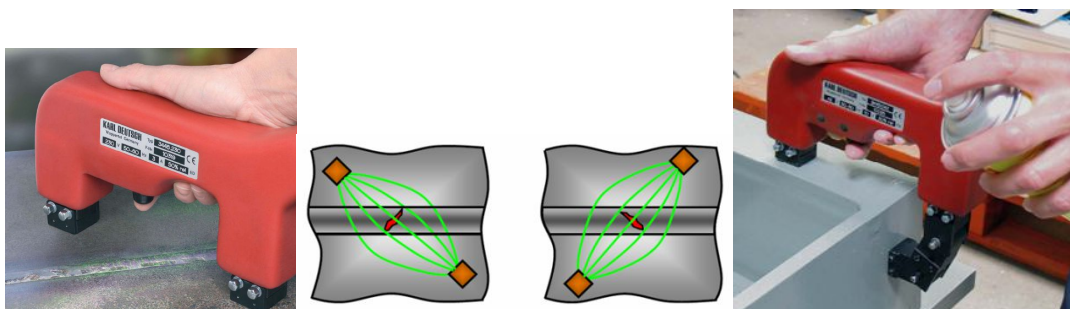
Μια σειρά ελέγχων για την ύπαρξη ατελειών, σε βιομηχανικής κλίμακα παραγωγή, είναι οι NDT (μη καταστροφικοί μέθοδοι ελέγχου). Με τη συνδυασμένη χρήση των μεθόδων Μη-Καταστροφικού Ελέγχου (ΜΚΕ) και της Θραυστομηχανικής, ελέγχεται η καλή «υγεία» μιας κατασκευής (Health Monitoring) και ο προβλεπόμενος χρόνος ζωής και καλής λειτουργίας της (Residual Lifetime). Οι ΜΚΕ είναι πολύ οικονομικότερες από τον καταστροφικό έλεγχο καθώς αφήνουν την κατασκευή άθικτη και διαθέσιμη για περαιτέρω έλεγχο ή λειτουργία. Αναλυτική αναφορά γίνεται στις μεθόδους που θα χρησιμοποιήσουμε στο εργαστήριο.

1. Μέθοδοι Μη Καταστρεπτικών Δοκιμών (NDT) με Οπτική Αξιολόγηση

- ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ (MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION – MT)

Η συντομογραφία προέρχεται από την έκφραση «Δοκιμή Μαγνητικού Σωματιδίου – Magnetic Particle Testing».

Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ βασίζονται στον εντοπισμό των απωλειών της μαγνητικής ροής λόγω ατελειών του υλικού. Όταν ένα δοκίμιο μαγνητιστεί και περιέχει μια ασυνέχεια στην επιφάνειά του ή κάτω από αυτήν, δημιουργείται μια παραμόρφωση στη μαγνητική ροή η οποία προκαλεί ένα τοπικό πεδίο απώλειας μαγνητικής ροής. Οι μαγνητικές μέθοδοι ΜΚΕ μπορούν να εφαρμοστούν μόνο σε υλικά που μαγνητίζονται. Η πλέον χρησιμοποιούμενη μαγνητική μέθοδος ελέγχου είναι η τεχνική των μαγνητικών ρινιδίων σε μελάνι, σκόνη ή ειδικά υγρά. Τα υπό έλεγχο δοκίμια μαγνητίζονται κατάλληλα και στην επιφάνειά τους τοποθετούνται σιδηρομαγνητικά ρινίδια. Τα ρινίδια έλκονται και συγκεντρώνονται στα σημεία απώλειας της ροής, κάνοντας τις ατέλειες ορατές με γυμνό μάτι. Τα ρινίδια τοποθετούνται στην επιφάνεια ελέγχου είτε σαν χρωματιστό μαγνητικό μελάνι (magnetic ink) ή σαν μαγνητική σκόνη (magnetic particles).



Εικόνα 1-2: Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια και το όργανο ελέγχου με Μαγνητικά Ρινίδια - Διαδικασία ελέγχου συγκολλήσεων



Εικόνα 3: Έλεγχος με Μαγνητικά Ρινίδια σε διάφορα μηχανολογικά εξαρτήματα. Τα δοκίμια ελέγχονται σε ειδικό φως που αναδεικνύει καλύτερα τις ατέλειες.

Τα ογκώδη αντικείμενα που υπόκεινται σε έλεγχο όπως τα σκάφη ή οι γέφυρες μαγνητίζονται τμηματικά. Για αυτόν τον σκοπό, υπάρχουν στην αγορά όργανα ελέγχου που μπορούν να μεταφερθούν. Όσο πιο μεγάλες είναι οι περιοχές που πρόκειται να ελεγχθούν σε μια διαδικασία τόσο πιο μεγάλα και βαριά γίνονται τα όργανα αυτά. Για τον εντοπισμό των πολυκατευθυντικών ρωγμών η μαγνήτιση πρέπει να πραγματοποιηθεί δυο φορές, με τα σημεία επαφής ή τους πόλους να έχουν κλίση 90^0 . Τα πιο μικρά αντικείμενα ελέγχονται από ακίνητα όργανα εντοπισμού των ρωγμών, τα οποία είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά μήκη σύσφιξης.

Οι δύο κατευθύνσεις μαγνήτισης που απαιτούνται για τον εντοπισμό ρωγμών κάθε κατεύθυνσης πρέπει να εφαρμόζονται είτε η μία μετά την άλλη είτε σε συνδυασμό μεταξύ τους. Στην περίπτωση του συνδυασμού πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι τα δύο μαγνητικά πεδία παρουσιάζουν μια διαφορετική χρονική συμπεριφορά. Η αποτελεσματική μαγνήτιση πρέπει να αλλάζει την κατεύθυνση της έτσι ώστε να είναι κάθετη σε όλες τις ρωγμές για ένα μικρό χρονικό διάστημα. Τα συνεχή ρεύματα (direct currents – DC) ή τα εναλλασσόμενα ρεύματα (alternating currents – AC) της ίδιας φάσης δεν πληρούν αυτήν την προϋπόθεση. Κατάλληλος είναι είτε ένας συνδυασμός ενός εναλλασσόμενου ρεύματος με ένα συνεχές ρεύμα είτε δύο εναλλασσόμενα ρεύματα με εναλλαγή φάσης, π.χ. οι δύο φάσεις του τριφασικού δικτύου.

Τα πεδία του εναλλασσόμενου ρεύματος AC εξασφαλίζουν μια περισσότερο ομοιόμορφη μαγνήτιση των αντικειμένων που έχουν μια πολύπλοκη γεωμετρία, ενώ τα πεδία του συνεχούς ρεύματος DC είναι καλύτερα στο να εντοπίσουν επίσης ρωγμές που υπάρχουν κάτω από την επιφάνεια (δράση σε βάθος).

Η απαραίτητη αντίθεση για τον εντοπισμό ελαττωμάτων επιτυγχάνεται με τη χρήση μαύρου μέσου εξέτασης σε μια μεταλλική γυαλιστερή επιφάνεια αφού προηγηθεί η χρήση άσπρου χρώματος φόντου σε μορφή σπρέι ή – ανεξάρτητα από το χρώμα της επιφάνειας – χρησιμοποιώντας κιτρινο-πράσινα ή κόκκινα φθορίζοντα μέσα. Για την διέγερση αυτών των φθορίζοντων χρωμάτων χρειάζονται λυχνίες υπεριώδων ακτινών (ultra-violet lamps – UV). Για την χρήση τους πρέπει να προβλέπονται ρυθμίσεις για την προστασία του ελεγκτή. Μόνο τα πρόσφατα χρόνια είναι αναγκαίο επίσης να περιοριστεί η ένταση των μαγνητικών πεδίων, ώστε να μην διακινδυνέψει ο ελεγκτής από την ηλεκτρική αιθαλομίχλη.

Τα αντικείμενα που έχουν ελεγχθεί πρέπει να απομαγνητιστούν μετά την μαγνητική δοκιμή. Αυτό μπορεί να γίνει χωρίς προβλήματα μετά από μια μαγνήτιση με εναλλασσόμενο ρεύμα (AC), ωστόσο πιο δύσκολα μετά από μαγνήτιση με συνεχές ρεύμα (DC).

Κύριες εφαρμογές:

Τμήματα ασφαλείας της κατασκευής αυτοκινήτων.

Αυτά είναι τμήματα που αφορούν τα τιμόνια, τους άξονες τροχού και τις μηχανές σε σφυρηλατημένη, χυτευτή ή ολοκληρωμένη μηχανικά κατάσταση.

Συγκολλήσεις με «ραφή» σε πλοία και διασυνδετικούς αγωγούς.

2. Μαγνητικές και Ηλεκτρικές Μέθοδοι (εκτός της εξέτασης μαγνητικού σωματιδίου – MT)

- ΔΟΚΙΜΗ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ - ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ (EDDY CURRENT TESTING – ET)

Με μέσα που χρησιμοποιεί η μέθοδος ET μπορούν να εντοπιστούν τα ελαττώματα και κυρίως οι ρωγμές στην επιφάνεια των ηλεκτρικά αγωγικών υλικών. Συνεπώς, η δοκιμή με ρεύμα αυτεπαγωγής περιγράφεται επίσης στην πράξη συχνά ως «εντοπισμός των ρωγμών στις επιφάνειες».

Η δοκιμή με ρεύμα αυτεπαγωγής, η οποία στα γερμανικά είχε παλαιότερα τη συντομογραφία WS, εμφανίζεται σήμερα γενικά ως ET, βασισμένη στην αγγλική έκφραση.

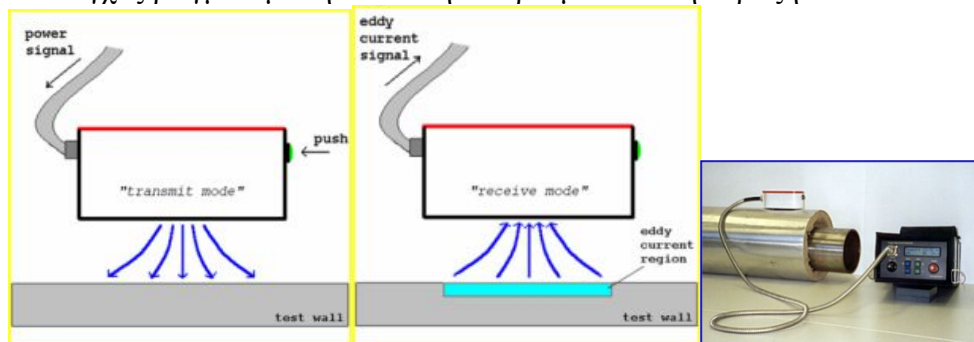
Μια ακόμη εφαρμογή των δινορευμάτων, είναι η εύρεση επιφανειακών και υποεπιφανειακών ατελειών (κυρίως ρωγμών) που υπάρχουν σε ηλεκτροαγωγικά υλικά. Η

μέθοδος αυτή βασίζεται στην εφαρμογή εναλλασσόμενου μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται κάθετα σε μια επιφάνεια το οποίο δημιουργεί δινορεύματα παράλληλα προς την επιφάνεια που εξετάζουμε. Τα δινορεύματα αυτά με τη σειρά τους δημιουργούν δεύτερο μαγνητικό πεδίο το οποίο αντιτίθεται στο πρώτο και το αδυνατίζει. Στα σημεία που υπάρχουν ρωγμές γίνεται παράκαμψη των δινορευμάτων με αποτέλεσμα σε εκείνο το σημείο το δεύτερο μαγνητικό πεδίο να μην είναι αρκετά ισχυρό και να γίνεται εντοπισμός της ατέλειας.

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει βρει κυρίως εφαρμογή στην αεροπορική βιομηχανία και χρησιμοποιείται σε απλά γεωμετρικά σχήματα.



Εικόνα 4: Έλεγχος ρωγμών με τη συσκευή δινορευμάτων στην πράξη



Εικόνα 5: Συσκευή δινορευμάτων, καθώς και τρόπος μετάδοσης του σήματος στην κεφαλή και πίσω

3. Ακουστικές Μέθοδοι

- ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ (ULTRASONIC TESTING – UT)

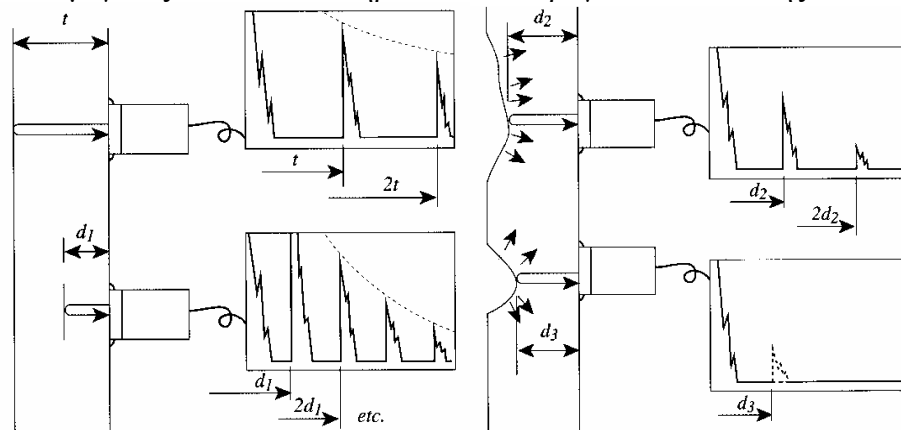


Αρχή λειτουργίας της δοκιμής με υπερήχους:

Με τον υπέρηχο μπορούν να εντοπιστούν ανομοιογένειες και ελαττώματα σε όλη την κατακόρυφη διατομή – επίσης και σε όλη την επιφάνεια – των αντικειμένων που αποτελούνται από υλικά κάθε είδους, αγωγίμα στον ήχο.

Ένας παλμός υπερήχων εκπέμπεται μέσα στο αντικείμενο που εξετάζεται. Αυτό αποτελεί ένα μικρό κομμάτι μιας μηχανικής δόνησης, της οποίας η συχνότητα υπερέρχει της ανθρώπινης

αντίληψης. Σε αναλογία με τον ήχο που μπορεί να ακουστεί από το ανθρώπινο αυτί ο υπερηχητικός παλμός αντανakλάται, όταν, κατά την ευθεία διασπορά του συναντά την επιφάνεια ενός άλλου υλικού. Στην περίπτωση μιας κάθετης πρόσκρουσης αυτή η αντανάκλαση αντηχεί στον μετατροπέα, από όπου είχε σταλεί ως ένας εκπεμπόμενος παλμός (ηχώ). Ένας τέτοιος μετατροπέας ενέργειας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ακουστική ενέργεια και αντίθετα. Αυτό το φυσικό φαινόμενο ονομάζεται πιεζοηλεκτρικότητα (piezoelectricity) και συνεπώς το υλικό του μετατροπέα ενέργειας ονομάζεται πιεζοηλεκτρικό. Στις μέρες μας, αυτά τα υλικά είναι κυρίως κεραμικά, κάποιες φορές επίσης πλαστικά ή σύνθετα υλικά. Έχουν δισκοειδή σχήμα και έχουν κατασκευαστεί σε ακροδέκτες ελέγχου, τα οποία λειτουργούν τόσο ως πομποί του παλμού όσο και ως δέκτες των αντανakλασμένων παλμών. Από τη διαφορά του χρόνου μεταξύ του εκπεμπόμενου παλμού και των αντανakλασεων, στην περίπτωση μιας γνωστής ταχύτητας ήχου μέσα στο μέσο, μπορεί να προσδιοριστεί η απόσταση μεταξύ της πηγής του ήχου που έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια και του ανακλαστήρα. Το κομμάτι του υπέρηχου που αντανakλάται αυξάνεται με το μέγεθος του ανακλαστήρα και τον παράγοντα ανάκλασης.



Εικόνα 6: Τρόπος ανάκλασης υπερηχητικού παλμού
Συνθήκες λειτουργίας των συσκευών:

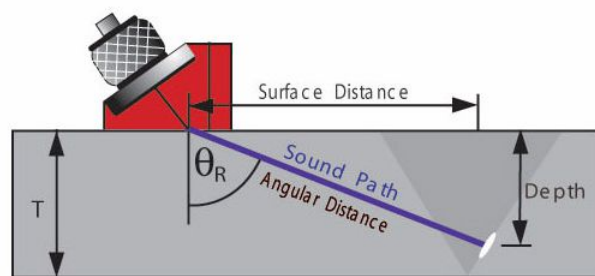
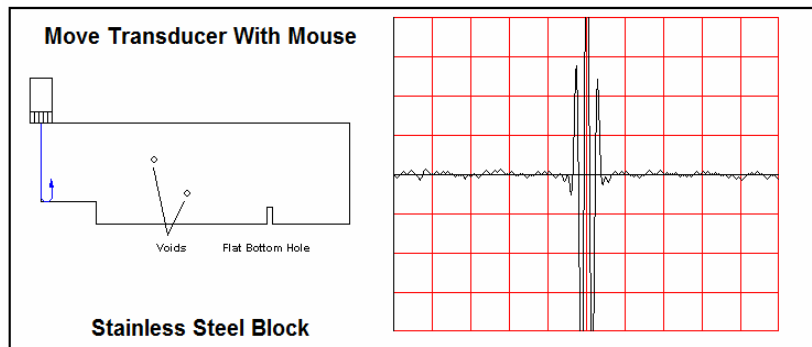
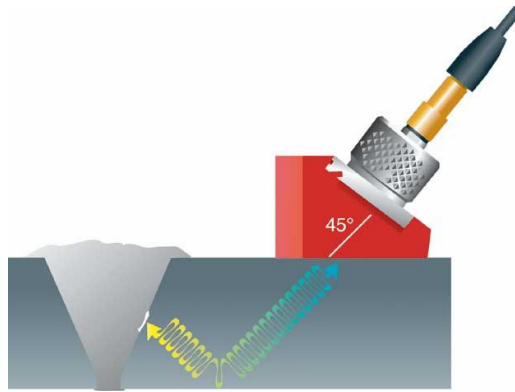
Ο ανακλαστήρας που πρέπει να εντοπιστεί πρέπει να χτυπηθεί από το παλμό υπερήχων έτσι ώστε το μεγαλύτερο δυνατό τμήμα της ανακλώμενης ενέργειας να αντανakλάται πίσω στον ακροδέκτη. Συνεπώς, υπάρχουν ακροδέκτες υπερήχων με διαφορετικές κατευθύνσεις ήχου, βλ. Εικόνα 7 και Εικόνα 8. Ο κάθετος ακροδέκτης εκπέμπει υπέρηχο κάθετα στην επιφάνεια του αντικειμένου στην οποία εφάπτεται. Ο εκπεμπόμενος παλμός (transmitter pulse – TP), η ηχώ που προέρχεται από την εσωτερική πλευρά του αντικειμένου (backwall echo – BE), και η ηχώ που προέρχεται από το ελάττωμα (flaw echo – FE) παρουσιάζονται στην οθόνη του οργάνου υπερήχων. Ο ακροδέκτης με γωνία εκπέμπει τη δέσμη ηλεκτρονίων από μια γωνία α (35° , 45° , 60° , 70° , 80°) μέσα στο εξάρτημα. Από την αντίθετη πλευρά του αντικειμένου εντοπίζεται μια ρωγμή από την αντανάκλαση. Σε αυτήν την περίπτωση δεν αναπτύσσεται ηχώ από την εσωτερική πλευρά του αντικειμένου. Σε μια κατάσταση χωρίς ελαττώματα ο παλμός υπερήχων αντανakλάται υπό την ίδια οξεία γωνία προς τα πάνω, αλλά μακριά από τον ακροδέκτη.



Εικόνα 7: Κάθετοι ακροδέκτες
υπερήχων



Εικόνα 8: Ακροδέκτες
υπερήχων με γωνία



θ_R = Angle of Refraction

T = Material Thickness

Surface Distance = $\sin \theta_R \times \text{Sound Path}$

Depth (1st Leg) = $\cos \theta_R \times \text{Sound Path}$

Εικόνα 9: Προσδιορισμός της απόστασης υπερπήδησης a_p .

Και στις τρεις περιπτώσεις ένα υγρό (λάδι, λίπος, νερό) πρέπει να τοποθετηθεί μεταξύ του ακροδέκτη και της επιφάνειας του αντικείμενου, το οποίο διευκολύνει τη μετάδοση του υπέρηχου στο αντικείμενο. Οι κάθετοι ακροδέκτες και οι ακροδέκτες με γωνία έχουν σχεδιαστεί κυρίως για διαφορετικά είδη κύματος σε προσπτώσεις του ήχου με γωνία. Ωστόσο, υπάρχουν και τύποι με αντίθετη λειτουργία. Αυτά τα δύο είδη κυμάτων δείχνουν διαφορετική ταχύτητα διάδοσης. Το διάμηκες κύμα διαδίδεται με σχεδόν τη διπλάσια ταχύτητα του εγκάρσιου κύματος. Οι ταχύτητες του ήχου στα υλικά που ελέγχονται είναι γνωστές. Συνεπώς, η θέση του ανακλώμενου τμήματος του παλμού μπορεί να υπολογιστεί επακριβώς ή μπορεί να παρουσιαστεί στην οθόνη του ανιχνευτή ελαττωμάτων με υπέρηχο (εντοπισμός ελαττώματος). Μεγαλύτερη δυσκολία παρουσιάζει ο υπολογισμός του μεγέθους του ελαττώματος, καθώς το σχήμα και η θέση του ασκούν μεγάλη επιρροή. Μέσα σε ένα αντικείμενο που δεν παρουσιάζει ελαττώματα ο ακουστικός παλμός μεταδίδεται προς την αντίθετη πλευρά και αντανακλάται από την εσωτερική πλευρά του αντικείμενου. Ένα ελάττωμα με ευνοϊκή θέση, το οποίο είναι μεγαλύτερο από τη δέσμη υπερήχων – αυτό

αφορά την περίπτωση όπου δεν έχουμε μεγάλες αποστάσεις, περίπου όσο η διάμετρος του ακροδέκτη με κρύσταλλο – αντανakλά ολοκληρωτικά τον ήχο και εμποδίζει την ηχώ που προέρχεται από την εσωτερική πλευρά του αντικειμένου. Όταν το ελάττωμα βρίσκεται σε κεκλιμένη θέση δεν παρουσιάζεται ούτε ηχώ από την εσωτερική πλευρά του αντικειμένου ούτε από το ελάττωμα. Ένα ελάττωμα με ευνοϊκή θέση αλλά με μικρό μέγεθος εκπέμπει μεγαλύτερη ένδειξη ηχούς (πλάτος) από ότι ένα κυλινδρικό ή κομβικό ελάττωμα. Όταν ο ανακλαστήρας έχει τοποθετηθεί μπροστά από το μέσο του αντικείμενου τότε εκπέμπεται μια δεύτερη (πολλαπλή) ηχώ και πάλι πριν από την ηχώ που προέρχεται από την εσωτερική πλευρά του αντικείμενου. Στην περίπτωση ενός κεκλιμένου ελαττώματος και μικρότερου από τη δέσμη των υπερήχων, η ηχώ που προέρχεται από την εσωτερική πλευρά αυξάνεται ως προς το πλάτος της. Ορισμένα εσωτερικά ελαττώματα που έχουν διαφορετικές αποστάσεις μεταξύ τους εκπέμπουν διακεκομμένες ενδείξεις. Για να μπορούσαμε να προσδιορίσουμε το σχήμα του ανακλαστήρα συνιστάται δοκιμή με υπέρηχο με διαφορετικές κατευθύνσεις.

Συνηθίζεται επίσης να γίνεται σύγκριση των ενδείξεων με τις ενδείξεις που εκπέμπουν οι τρύπες από τρυπάνι ή από βίδες που έχουν διαταχθεί τεχνητά (έλεγχος ελαττωμάτων ή μέθοδοι αναφορά γραμμής) ή σύγκριση με υπολογισμούς, φανταστικούς κυκλικούς δίσκους που τοποθετούνται κάθετοι στην κατεύθυνση του ήχου, οι οποίοι έχουν χαρακτηριστεί ως ισοδύναμοι ανακλαστήρες της μεθόδου DGS (απόσταση/ αύξηση /μέγεθος – distance/gain/size).

Για βιομηχανική χρήση υπάρχουν επίσης κοινοί αναλογικοί ανιχνευτές ελαττωμάτων με υπέρηχο, οι οποίοι διαθέτουν μεγάλες οθόνες όπως επίσης και ψηφιακά όργανα που υποστηρίζονται από υπολογιστές ή μικροεπεξεργαστές, και μετρητές πάχους τοιχώματος που εμφανίζουν τις ενδείξεις τους ψηφιακά.

Πλεονεκτήματα της δοκιμής με υπέρηχο (Ultrasonic testing - UT)

Σε σύγκριση με όλες τις άλλες διαδικασίες των μη καταστροφικών δοκιμών:

Ανίχνευση και εντοπισμός των εσωτερικών και εξωτερικών ελαττωμάτων σε όλα τα υλικά που είναι αγωγίμα στον ήχο, και αυτών που έχουν μεγάλο βάθος (επίσης πάνω από 1 μέτρο, ανάλογα με το υλικό). Ιδιαίτερα ανιχνεύσιμα είναι τα εσωτερικά ελαττώματα όπως είναι οι ελασματοποιήσεις σε λαμαρίνες, οι ρωγμές και ανοίγματα σε συγκολλήσεις με «ραφή» και γραμμικές ανομοιογένειες σε τροχαία υλικά κάθε είδους. Ανιχνεύσιμα είναι επίσης και κάθε μικρό ελάττωμα μικρότερο από ένα μέτρο.

Η δοκιμή με υπέρηχο μπορεί να αυτοματοποιηθεί, κάτι που ισχύει ωστόσο και για κάποιες άλλες μεθόδους των μη καταστροφικών δοκιμών (Δοκιμή με ρεύμα αυτεπαγωγής (ET) δοκιμή με κατανεμημένη ροή με χρήση μαγνητικής σκόνης).

Μειονεκτήματα της δοκιμής με υπέρηχο (UT)

Σε σύγκριση με όλες τις άλλες διαδικασίες των μη καταστρεπτικών δοκιμών:

Στην περίπτωση της χειρωνακτικής δοκιμής – σε αντίθεση με την αυτοματοποιημένη δοκιμή - η τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων της δοκιμής είναι δύσκολη. Το ίδιο ισχύει για την δυνατότητα αναπαραγωγής των αποτελεσμάτων που παρουσιάζονται, ειδικά για κάποιες δοκιμές που είναι ανεξάρτητες ή μια από την άλλη, όπως επίσης ισχύει και για τον προσδιορισμό του μεγέθους των ελαττωμάτων.

Οι απαιτήσεις σε σχέση με τα προσόντα, την προσοχή και την εμπειρία του προσωπικού που συμμετέχει στις δοκιμές είναι υψηλές.

Για μια καλή ακουστική μετάδοση του υπέρηχου μεταξύ του ακροδέκτη και του αντικείμενου απαιτείται η χρήση ενός υγρού, το οποίο διευκολύνει τη μετάδοση του υπέρηχου στο αντικείμενο.

Κύριες εφαρμογές:

Φορητές δοκιμές των ενώσεων με συγκόλληση, μετρήσεις πάχους τοιχώματος σε αγωγούς, λέβητες και σε χημικά εργοστάσια. Λόγω του χαμηλότερου κόστους συχνά διεξάγεται μια προκαταρκτική δοκιμή με υπέρηχο, ακόμα και στην περίπτωση που απαιτείται η αποδοχή μιας προδιαγραφής μιας δοκιμής με ακτινοβολία (RT).

Έλεγχος ελαττωμάτων και έλεγχος ποιότητας χυτού σιδήρου.

Αυτόματη δοκιμή μαζικών προϊόντων όπως ημι-κατεργασμένα προϊόντα (στρογγυλοποιημένα προϊόντα μέταλλα σε μορφή ελάσματος, αγωγοί) από ατσάλι, μη σιδηρούχα μέταλλα (NF – non ferrous metals) και πλαστικά.

Εναλλακτικές μέθοδοι

Στην περίπτωση που συναντάμε τα όρια της μεθόδου:

Δοκιμή με ακτινοβολία (RT) για μια ασφαλή τεκμηρίωση των αποτελεσμάτων των δοκιμών.

Μαγνητική δοκιμή (MT) ή δοκιμή με διεισδυτικά υγρά (PT) για τον εντοπισμό λεπτών ρωγμών σε σκληρές επιφάνειες και/ή σε περίπλοκη γεωμετρία αντικειμένων.

Δοκιμή με ρεύμα αυτεπαγωγής (ET) για τον έλεγχο ρωγμών επιφανειών με υψηλές ταχύτητες τροφοδοσίας ($> 2 \text{ m/s}$).

Κατηγορίες εφαρμογών:

1. Χυτεύσεις
2. Σφυρηλατημένα τμήματα
3. Συνδέσεις με συγκόλληση
4. Σωλήνες
5. Μορφοποιημένα προϊόντα
6. Βιομηχανία κατασκευής βιομηχανικών προϊόντων και μεταλλοβιομηχανία (περιέχει τα 1, 2, 4 και 5)
7. Τεχνικές εγκαταστάσεις εργοστασίου και κατασκευές εγκαταστάσεων εργοστασίου (περιέχει τα 3,4 και 5).
8. Αεροναυτική και διαστημική τεχνολογία, και
9. Σιδηροδρομικές γραμμές

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για τη μέτρηση του πάχους επικάλυψης σε μεταλλικές επιφάνειες, μαγνητικές ή μη, με την προϋπόθεση ότι η επικάλυψη δεν έχει μαγνητικές ιδιότητες. Π.χ. μπορούμε να μετρήσουμε το πάχος του χρώματος σ' ένα μεταλλικό υπόστρωμα, το πάχος του ψευδαργύρου σ' ένα γαλβανισμένο σωλήνα ή λαμαρίνα, το πάχος της ανοδίσωσης του αλουμινίου, το πάχος του υαλώματος κλπ. Έμμεσα μπορούμε να μετρήσουμε και το πάχος λεπτών φύλλων υλικού, όπως χαρτί, αλουμίνιο, πλαστικό κλπ.



Εικόνα 10: Η συσκευή υπερήχων και δινορευμάτων για μέτρηση πάχους επικαλύψεων

ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Οι παχυμετρήσεις με τη μέθοδο των υπέρηχων είναι ακριβείς, αξιόπιστες και επαναλήψιμες. Οι στιγμιαίες ψηφιακές αναγνώσεις μπορούν να επιτευχθούν με τη διαβίβαση υπέρηχων σε ένα υλικό από τη μια του πλευρά μόνο, κάτι που καθιστά τη μέθοδο μη καταστροφική. Τα παχύμετρα διάβρωσης μετρούν το εναπομένειν πάχος των μερών που υπόκεινται σε διάβρωση. Χρησιμοποιούν δίδυμες κεφαλές (πομπό και δέκτη) ώστε να παρέχουν την καλύτερη ευαισθησία σε τραχιά ή διαβρωμένα μέρη όπως οι σωληνώσεις, οι δεξαμενές αποθήκευσης, τα πιεστικά δοχεία, και οι σωληνώσεις ατμού. Γενικά, τα παχύμετρα υπέρηχων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετρήσουν τα μέταλλα, τα πλαστικά, το γυαλί, το λάστιχο, τα σύνθετα και τα περισσότερα άλλα υλικά εφαρμοσμένης μηχανικής.



Εικόνα 11: Η συσκευή υπέρηχων για μέτρηση πάχους

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟ ΜΕΡΟΣ

Στην άσκηση αυτή θα ακολουθήσουμε τις εξής πειραματικές διαδικασίες:

1. **ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ**
2. **ΔΟΚΙΜΗ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ – ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ**
3. **ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ**
4. **ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ**
5. **ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ**

1. ΕΞΕΤΑΣΗ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΣΩΜΑΤΙΔΙΟΥ

Στη μέθοδο αυτή έχουμε ένα συγκολλημένο δοκίμιο στο οποίο ακολουθούμε τον εξής τρόπο ελέγχου της ρωγμής: Ψεκάζουμε με σπρέι λευκής μπογιάς και περιμένουμε να στεγνώσει. Έπειτα ψεκάζουμε με το σπρέι μαγνητικών σωματιδίων και ταυτόχρονα τοποθετούμε τη συσκευή, δημιουργώντας μαγνητικό πεδίο. Παρατηρούμε ότι στο σημείο που υπάρχει ρωγμή μετακινούνται να ρινίδια και συνεπώς μπορούμε να ελέγξουμε εάν υπάρχει ή όχι ρωγμή. Η μέθοδος αυτή είναι καθαρά για επίδειξη και δεν λαμβάνονται μετρήσεις.

2. ΔΟΚΙΜΗ ΓΙΑ ΕΝΤΟΠΙΣΜΟ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΕΥΜΑ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ – ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

Με τη συσκευή δινορευμάτων ακολουθούμε την εξής διαδικασία: ανοίγουμε τη συσκευή και ελέγχουμε εάν είναι φορτισμένη επαρκώς. Ακολούθως τοποθετούμε την κεφαλή και εφαρμόζουμε στην επιφάνεια του δοκιμίου. Ενδιάμεσα στην κεφαλή και το δοκίμιο τοποθετούμε ένα φύλλο αλουμινίου (αλουμινόχαρτο) και ελέγχουμε εάν στο δοκίμιό μας

υπάρχει κάποια ρωγμή. Τα αποτελέσματα εμφανίζονται στην οθόνη της συσκευής με τη μορφή γραφικών παραστάσεων.

3. ΔΟΚΙΜΗ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Στη δοκιμασία αυτή ακολουθούμε τα παρακάτω βήματα: ανοίγουμε τη συσκευή των υπερήχων και ελέγχουμε εάν είναι φορτισμένη επαρκώς. Τοποθετούμε την κατάλληλη κεφαλή στη συσκευή, αναλόγως με το δοκίμιο που έχουμε να εξετάσουμε. Βάζουμε πάνω στην επιφάνεια της κεφαλής και στην επιφάνεια του εξεταζόμενου δοκιμίου το ειδικό τζελ, το οποίο αποτελεί σημαντικό παράγοντα έτσι ώστε να μπορέσουμε να πάρουμε κάποια μέτρηση. Έπειτα τοποθετούμε την κεφαλή πάνω στο δοκίμιο και απαλά την μετακινούμε μέχρις ότου δούμε κάποια ένδειξη στην οθόνη της συσκευής. Εμφανίζεται το μέγεθος της ρωγμής ή του ελαττώματος, εάν υπάρχει. Αφού ολοκληρωθεί η επίδειξη, καθαρίζουμε με χαρτί την κεφαλή και το δοκίμιο.

4. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΚΑΙ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ

Στη δοκιμασία αυτή έχουμε τέσσερα δοκίμια, τα οποία είναι βαμμένα με χρώμα. Επίσης τα συγκεκριμένα δοκίμια περιέχουν σίδηρο (Fe), οπότε χρησιμοποιούμε την κεφαλή της συσκευής η οποία μετρά με υπερήχους. Τοποθετούμε την κεφαλή πάνω στο δοκίμιο και παίρνουμε τις εξής μετρήσεις:

A/A	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΠΙΚΑΛΥΨΗΣ
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:	
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:	

5. ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Στη δοκιμασία αυτή έχουμε επίσης τέσσερα δοκίμια, τα οποία είναι άβαφα. Σ' αυτή τη διαδικασία μετράμε το πάχος των δοκιμίων ως εξής: Τοποθετούμε την κεφαλή στη συσκευή και έπειτα χρησιμοποιούμε το τζελ στην κεφαλή και στα δοκίμια παίρνοντας μετρήσεις του παρακάτω πίνακα:

A/A	ΜΕΤΡΗΣΗ ΠΑΧΟΥΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	
9	
10	
ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ:	
ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ:	

ΑΣΚΗΣΗ 7

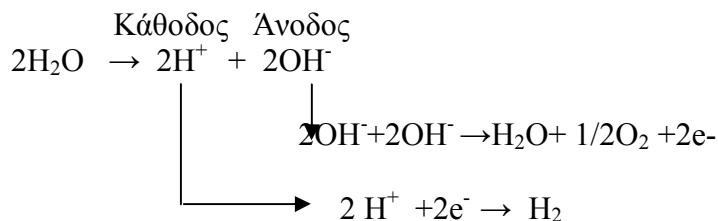
ΑΣΚΗΣΗ 7: ΗΛΕΚΤΡΟΛΥΤΙΚΗ ΑΝΟΔΙΩΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

1. Περίληψη

Η Ηλεκτρολυτική ανοδίωση των μετάλλων είναι μια διαδικασία προστασίας των επιφανειών των μετάλλων, που σαν σκοπό της έχει την επικάλυψη με ένα επιφανειακό στρώμα οξειδίων. Αυτά δεν επιτρέπουν περαιτέρω διάβρωση των υλικών και τα καθιστούν σε μια κατάσταση παθητικοποίησης.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο:

Πολλά μέταλλα και κράματα μετάλλων προστατεύονται αντιδιαβρωτικά με οξείδια. Με τεχνητό τρόπο μπορεί να γίνει πιο έντονα η οξείδωση των μεταλλικών επιφανειών με ανοδική οξείδωση ή ανοδίωση. Καλείται έτσι διότι το μέταλλο συνδέεται με τον θετικό πόλο μιας πηγής ρεύματος. Αν τοποθετηθούν σε νερό δύο πόλοι μιας πηγής τότε το νερό θα ηλεκτρολυθεί, δηλαδή θα διασπαστεί σε υδρογόνο και σε υδροξύλιο:



έτσι αν η άνοδος είναι το μέταλλο τότε πάνω της υπάρχει πλεόνασμα οξυγόνου και έτσι οξειδώνεται.

Αυτό δεν μπορεί να γίνει σε όλα τα μέταλλα διότι δεν αντιδρούν όλα με το οξυγόνο και το προκύπτον οξείδιο πρέπει να έχει βελτιωμένες ιδιότητες σε σχέση με το μέταλλο. Έτσι η ανοδίωση χρησιμοποιείται για το αλουμίνιο το χαλκό το μαγνήσιο και τα κράματά τους. Επίσης με τον τρόπο αυτό δεν είναι ανάγκη να γίνει επικάλυψη με οξείδια αλλά με ηλεκτροστατικό τρόπο να επικαλυφθεί το μέταλλο και με άλλα στοιχεία.

Τα βασικά στάδια της δημιουργίας ανοδικού επιστρώματος είναι: η προεργασία, η ανοδίωση, ο χρωματισμός (αν απαιτείται) και το σφράγισμα.

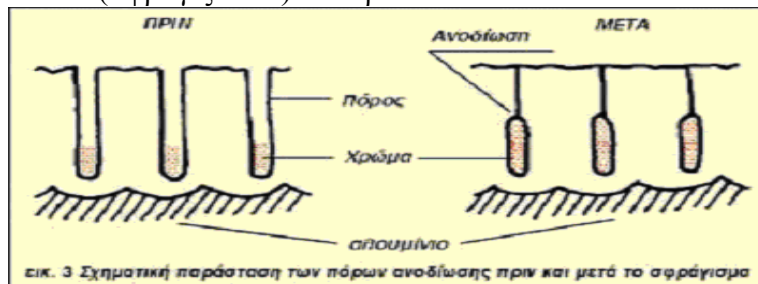
Προεργασία: Οι επιφάνειες που πρόκειται να ανοδιωθούν υποβάλλονται, συνήθως, σε μηχανικές ή και σε χημικές επεξεργασίες λείανσης με κατάλληλα λειαντικά μέσα ή χημικά αντιδραστήρια. Σκοπός αυτής της επεξεργασίας είναι να δώσει στην επιφάνεια εμφάνιση γυαλιστερή ή ματ. Στην συνέχεια, τα τεμάχια αλουμινίου υφίστανται επεξεργασία απολάδωσης / προσβολής (σόδα) και εξουδετέρωσης (νιτρικό οξύ).

Ανοδίωση: Η διαδικασία γίνεται με ηλεκτρόλυση (διοχέτευση συνεχούς ρεύματος), σε μπάνιο θεικού οξέος, κάτω από αυστηρές συνθήκες ελέγχου των συγκεντρώσεων των χημικών συστατικών, της θερμοκρασίας, της πυκνότητας του ρεύματος κτλ. Αποτέλεσμα της ηλεκτρόλυσης είναι η -με απόλυτα ελεγχόμενο τρόπο- οξείδωση της επιφάνειας του αλουμινίου. Το ανοδικό επίστρωμα είναι διαφανές (σαν γυαλί). Επίσης, το ανοδικό επίστρωμα δεν είναι συνεχές και παρουσιάζει πόρους.

Χρωματισμός: Το έγχρωμο ανοδιωμένο αλουμίνιο επιτυγχάνεται με την εναπόθεση έγχρωμων στοιχείων στους πόρους του ανοδικού επιστρώματος (ηλεκτρολυτικός χρωματισμός) και γίνεται μετά την φάση της ανοδίωσης και πριν τη φάση του σφραγίσματος. Τα πλέον διαδεδομένα χρώματα ανοδίωσης είναι οι αποχρώσεις του καφέ.

Αυτό επιτυγχάνεται με την εμφάνιση των τεμαχίων σε μπάνιο που περιέχει άλατα κασσιτέρου (Sn). Ανάλογα με το χρόνο παραμονής τους στο μπάνιο, επιτυγχάνονται οι διάφορες αποχρώσεις του καφέ. Επίσης και άλλα χημικά στοιχεία χρησιμοποιούνται για την δημιουργία άλλων αποχρώσεων (χρυσό κλπ).

Σφράγισμα: Το σφράγισμα των πόρων αποτελεί μία από τις βασικότερες διεργασίες προκειμένου να εξασφαλισθεί η σωστή προστασία του αλουμινίου. Όπως αναφέρθηκε πριν, το ανοδικό επίστρωμα παρουσιάζει πόρους. Στα σημεία των πόρων, το πάχος της ανοδίωσης είναι πολύ μικρό (2-3 μικρά), και η προστασία στα σημεία αυτά είναι ασθενής. Με την διαδικασία του σφραγίσματος ενυδατώνεται το οξείδιο του αλουμινίου και με τη επερχόμενη διόγκωσή του κλείνουν (σφραγίζονται) οι πόροι.



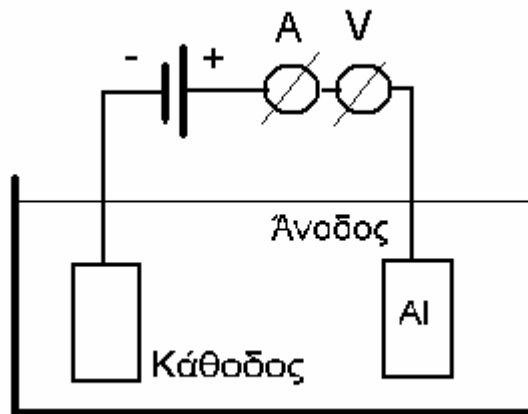
Επιπλέον, στην περίπτωση που έχει προηγηθεί η διαδικασία του ηλεκτρολυτικού χρωματισμού, οι χρωστικές ύλες εγκλωβίζονται μέσα στους πόρους και εξασφαλίζεται έτσι η σταθερότητα του χρώματος στον χρόνο. Οι χρωστικές ουσίες είναι ορατές γιατί, όπως ήδη αναφέρθηκε, το ανοδικό επίστρωμα είναι διαφανές σαν γυαλί

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα

1. ετοιμασία ηλεκτρολυτικού διαλύματος 150g H_2SO_4 / 1 λίτρ νερού, σε θερμοκρασία χώρου (περίπου 16-25° C). Αν δεν μπορεί να διατηρηθούν αυτές οι συνθήκες τότε καταγράφεται η θερμοκρασία χώρου και επιδιώκεται να μείνει σταθερή κατά την έκβαση του πειράματος.
2. λειαινείται το δοκίμιο και μετρούνται οι διαστάσεις του.
3. καθαρίζεται με διάλυμα NaOH 10%w/w και κατόπιν ξεπλένεται με υδροβολέα που περιέχει HNO_3 (14 ml HNO_3 σε 100 ml νερό) και στεγνώνεται με αλκοόλη.
4. Ζυγίζεται σε ζυγό ακριβείας 0,1 gr.
5. υπολογίζεται η πυκνότητα ρεύματος ανάλογα με το επιθυμητό αποτέλεσμα:
 - υπολογίζεται η επιφάνεια του δοκιμίου A
 - η πυκνότητα ρεύματος d για να γίνει η διαδικασία της ανοδίωσης βρίσκεται από τον πίνακα που ακολουθεί:

ΛΟΥΤΡΟ	ΘΕΠΚΟ ΟΞΥ		ΧΡΩΜΙΚΟ ΟΞΥ
Παραγόμενο οξύδιο	γ1 (διαφανές)	γ2 (αδιαφανές)	Οξείδια αλουμινίου
Άνοδος	Αλουμίνιο ή κράμα του	Αλουμίνιο ή κράμα του	Αλουμίνιο ή κράμα του
Κάθοδος	Μόλυβδος ή γραφίτης	Μόλυβδος ή γραφίτης	Μόλυβδος ή γραφίτης
Ηλεκτρολύτης	Θεικό οξύ 15%	Θεικό οξύ 15%	Χρωμικό οξύ 3%
Θερμοκρασία	25° C	25° C	40° C
Πυκνότητα ρεύματος ανόδου	1,5 A/dm ²	3,5 A/dm ²	0,2-0,4 A/dm ²
Τάση	10-20 V	10-20 V	0 -40 V
Χρόνος ηλεκτρόλυσης	30 min	70 min	60 min

- γίνεται η τοποθέτηση των δοκιμίων μέσα στο δοχείο που περιέχει το διάλυμα.
- Γίνεται η συνδεσμολογία όπως στο κύκλωμα που φαίνεται.



- Ρυθμίζεται η ένταση του ρεύματος με το ποτενσιόμετρο, ενώ συνεχώς γίνονται διορθωτικές ρυθμίσεις.



- Χρονομέτρηση.
- Μετά την διαδικασία απομακρύνεται το δοκίμιο και ξεπλένεται με αλκοόλη, χωρίς έντονους ξυσμούς στην επιφάνεια.
- Ζυγίζεται η πλάκα και υπολογίζεται η διαφορά βάρους.

4. Αποτελέσματα

Θα πρέπει να γίνει μια πλήρη τεχνική περιγραφή του πειράματος, στην οποία να αναφέρονται οι λόγοι που γίνονται οι ηλεκτρολυτικές ανοδewώσεις στα μεταλλικά υλικά, οι μέθοδοι και οι τεχνικές, και με φωτογραφίες του πειράματος να γίνει μια περιγραφή της συνδεσμολογίας.

ΑΣΚΗΣΗ 8

ΑΣΚΗΣΗ 8: ΜΗ ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΚΑΙ ΠΡΟΗΓΜΕΝΑ ΥΛΙΚΑ

4) Ο ΧΑΛΚΟΣ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ

5) ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΚΑΙ ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΤΟΥ – ΓΗΡΑΝΣΗ ΑΛ

6) ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΗΣ ΜΗΤΡΑΣ

1. Περίληψη

Στην εργαστηριακή αυτή άσκηση θα γίνει μια εισαγωγή στα μη σιδηρούχα υλικά στοχεύοντας: στον χαλκό και τα κράματά του, στο αλουμίνιο και τα κράματά του, στις θερμική επεξεργασία σκλήρυνσης του ΑΙ και των κραμάτων του και τέλος στα Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας. Θα επισημανθούν οι ιδιότητές τους, οι εφαρμογές τους και θα γίνει μεταλλογραφικός έλεγχος της δομής τους, με οπτικό μικροσκόπιο. Ο σκοπός της άσκησης αυτής είναι να εξοικειωθεί ο σπουδαστής και με τα επιπλέον κράματα, εκτός του χάλυβα.

2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Χαλκός και κράματα αυτού

Ο χαλκός είναι μέταλλο μεγάλης σημασίας, λόγω των εφαρμογών του από την αρχαιότητα μέχρι σήμερα. Οι σημαντικότερες σήμερα εφαρμογές του, έχουν σχέση με την πολύ καλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, την ευκολία που παρέχει με την διαμόρφωσή του σε πλαστικές παραμορφώσεις και της εξαιρετικής αντοχής του στην διάβρωση. Επίσης είναι υλικό που παγκοσμίως έχει μεγάλη παραγωγή.

Ο χαλκός και τα κράματά του όσο περισσότερο ενδοτραχύνονται, τόσο περισσότερο βελτιώνουν τις μηχανικές του ιδιότητες. Η ενδοτράχυνση είναι μια μέθοδος εξάλειψης εσωτερικών ατελειών (κυρίως με έλαση ή με διέλαση ή με εξέλαση για τον χαλκό), που σε συνδυασμό με ελεγχόμενες ανοπτήσεις (θερμικές κατεργασίες με τις οποίες το υλικό απελευθερώνεται από τις εσωτερικές τάσεις που αποκτά κατά την ενδοτράχυνση) αποκτά πολύ καλή μηχανική συμπεριφορά.

Στην μεταλλουργία ο χαλκός παρουσιάζει πολύ καλή κραματοποίηση με ορισμένα μέταλλα και με τον τρόπο αυτό λαμβάνονται πολλά κράματα χρήσιμα για πολλές ηλεκτρομηχανολογικές εφαρμογές.

ΟΝΟΜΑΣΙΑ	ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
Ορείχαλκος	Cu+Zn	Διαμορφώνονται εύκολα εν θερμώ και εν ψυχρώ
Μπρούτζος	Cu+Sn	Διαμορφώνονται εύκολα εν θερμώ και εν ψυχρώ. Ενδοτραχύνονται ισχυρά και χρησιμοποιούνται για κατασκευή ελατηρίων.
Χαλκοβηρύλλιο	Cu+Be	Το βηρύλλιο επιτρέπει την σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης
Χαλκοαλουμίνιο	Cu+Al	Εμφανίζουν πολύ καλή αντοχή σε διάβρωση από θαλασσινό νερό.
Χαλκονικέλιο	Cu+Ni	Ηλεκτρικές εφαρμογές σε σχέση με τις καλές μηχανικές ιδιότητες
Χαλκοπυρίτιο	Cu+Si	Είναι συγκολλησιμο. Έχει καλή αντοχή σε

Το Αλουμίνιο και τα κράματά του

Το αλουμίνιο ή αργίλιο είναι το τρίτο κατά σειρά στοιχείο μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο που συναντάται σε πληθώρα στο φλοιό της γης. Όμως δεν απαντάται σε απλές χημικές ενώσεις (που να είναι εύκολα διασπασίμες), σε αντίθεση με τον χαλκό, τον χρυσό και τον σίδηρο. Το καθαρό αλουμίνιο προέρχεται από το βωξίτη. Μετά την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στη συνέχεια μετά από ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο.

Το αλουμίνιο έχει ασημί – λευκό χρώμα, παρουσιάζει καλή αντανάκλαση στο φως και καλή αγωγιμότητα στην θερμότητα. Τα κράματά του συνήθως έχουν παραπλήσιο χρώμα, μερικά έχουν μια απόχρωση προς το μπλε. Η πυκνότητά του είναι $2,6 \text{ gr/cm}^3$.

Σειρές ΚΑ, ιδιότητες και εφαρμογές

Στο καθαρό αλουμίνιο με προσθήκη κραματικών στοιχείων (χαλκός, μαγνήσιο, πυρίτιο, μαγγάνιο, ψευδάργυρος κλπ), δημιουργούνται συνθέσεις κραμάτων, με διαφορετικές ιδιότητες το κάθε ένα. Η δυνατότητα αυτή καθιστά το αλουμίνιο και τα κράματά του ξεχωριστό διότι προσφέρει ικανοποιητικές ιδιότητες σε ειδικές απαιτήσεις. Έτσι η αντοχή σε εφελκυσμό του καθαρού αλουμινίου είναι 31 MPa και η με την κραματοποίησή του φτάνει στα 200 MPa. Αντίστοιχα, μεταβάλλεται και η σκληρότητά του.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του διανέμονται σε δυο κατηγορίες: στα «cast» και τα «wrought». Η πρώτη κατηγορία διαχωρίζει τα κράματα που έχουν συνθεθεί για χύτευση (castability), ενώ η δεύτερη διαχωρίζει αυτά που έχουν συνθεθεί για διαμορφωσιμότητα (formability). Οι ιδιότητες των κραμάτων της κάθε κατηγορίας εξαρτώνται από την περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων και από την δομή που αποκτούν τα μέταλλα κατά την στερεοποίησή τους και την κατεργασία τους μετά.

Πιο συγκεκριμένα τα CastKA είναι υλικά που η σύνθεσή τους επιτρέπει την εύκολη χύτευση σε διάφορους τύπους καλουπιών, άμμου, μόνιμα ή diecasting. Συνεπώς η ρευστότητά τους είναι ικανή για κάτι τέτοιο και καλή ικανότητα πλήρωσης των καλουπιών κατά την διάρκεια της χύτευσης. Επιπροσθέτως το τελικό κράμα πρέπει να έχει καλή αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις, όπως επίσης και αντοχή στην διάβρωση. Τα συγκεκριμένα κράματα βρίσκουν ευρεία εφαρμογή στην αυτοκινητοβιομηχανία.

Ο τρόπος με τον οποίο η cast κατηγορία κωδικοποιείται φαίνεται στον πίνακα 1. Το πρώτο ψηφίο είναι ενδεικτικό του κυριότερου κραματικού/ων στοιχείου/ων. Τα επόμενα δυο ψηφία καθορίζουν την επακριβή σύσταση του κράματος. Το τελευταίο ψηφίο (το οποίο ξεχωρίζει από τα άλλα με τελεία) υποδηλώνει την μορφή του προϊόντος (casting (0), ingot (1,2)). Αν τα κράματα είναι τροποποιημένα., τότε πριν τα ψηφία μπαίνει ένα κεφαλαίο γράμμα A, B, C.

Πίνακας 1:Κωδικοποίηση των ΚΑ της cast κατηγορίας

Συμβολισμός - Ονομασία ΚΑ	Κυριότερο κραματικό στοιχείο
1xx.x	Αλουμίνιο 99,00%κ.β. και άνω καθαρό
2xx.x	Χαλκός
3xx.x	Πυρίτιο, με προσθήκη Χαλκού και/ή Μαγνησίου
4xx.x	Πυρίτιο
5xx.x	Μαγνήσιο
6xx.x	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά

7xx.x
8xx.x
9xx.x

Ψευδάργυρος
Κασσίτερος
Άλλα στοιχεία

Από την άλλη πλευρά τα Wrought KA έχουν σύνθεση τέτοια που η παραγωγή τους να πετυχαίνεται με έλαση, διέλαση, σφυρηλάτηση. Έτσι δεν περιέχουν κραματικά στοιχεία που να αυξάνουν την ρευστότητα αλλά στοιχεία που να αυξάνουν την αντοχή. Κράματα της κατηγορίας αυτής βρίσκονται στην μορφή που έχουν μετά από την κατεργασία μορφοποίησης όπως φύλλα, πλάκες, προφίλ, σωλήνες, ράβδοι, μπάρες και σύρματα. Εφαρμογή βρίσκουν στην αυτοκινητοβιομηχανία αλλά κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία. Ο τρόπος με τον οποίο η Wrought κατηγορία κωδικοποιείται φαίνεται στον πίνακα 2. Το πρώτο ψηφίο είναι ενδεικτικό του κυριότερου κραματικού/ων στοιχείου/ων. Το επόμενο ψηφίο καθορίζει την απόκλιση από την επακριβή σύσταση του κράματος ή αλλιώς τα όριά τους. Το τελευταίο ψηφίο (το οποίο ξεχωρίζει από τα άλλα με τελεία) υποδηλώνει την μορφή του προϊόντος (casting (0), ingot (1,2)). Αν τα κράματα είναι τροποποιημένα, τότε πριν τα ψηφία μπαίνει ένα κεφαλαίο γράμμα A, B, C.

Πίνακας 2: κωδικοποίηση των KA της wrought κατηγορίας

Συμβολισμός - Ονομασία KA	Κυριότερο κραματικό στοιχείο
1xxx	Αλουμίνιο 99,00% κ.β. και άνω καθαρό
2xxx	Χαλκός
3xxx	Μαγγάνιο
4xxx	Πυρίτιο
5xxx	Μαγνήσιο
6xxx	Μαγνήσιο και Πυρίτιο
7xxx	Ψευδάργυρος
8xxx	Άλλα στοιχεία
9xxx	Μη χρησιμοποιούμενη σειρά

Γήρανση

Ο όρος σκλήρυνση με γήρανση χρησιμοποιείται προκειμένου ναδειχθεί ότι η συγκεκριμένη διεργασία σκλήρυνσης εξελίσσεται χρονικά, καθώς το κράμα «γερνά».

Τα σπουδαιότερα κράματα που επιδέχονται γήρανση με κατακρήμνιση είναι:

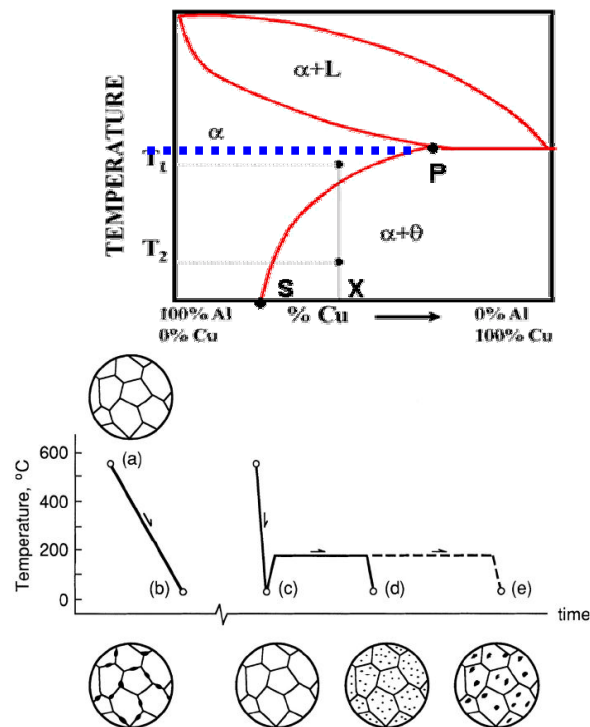
- Κράματα αλουμινίου Al-Cu, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg
- Κράματα χαλκού Cu-Be, Cu-Sn
- Οι κοινοί μαλακοί χάλυβες, Maraging, inox
- Τα υπερκράματα νικελίου και τα υπερκράματα κοβαλτίου.

Οι προϋποθέσεις για να είναι δυνατή η σκλήρυνση του κράματος με κατακρήμνιση είναι οι κάτω:

1. το συστατικό διάλυσης πρέπει να παρουσιάζει μέγιστη διαλυτότητα στο κύριο συστατικό, σε ικανοποιητικό % κ.β.
2. το όριο διαλυτότητας του συστατικού διάλυσης, πρέπει να μειώνεται γρήγορα ως προς το κύριο συστατικό καθώς μειώνεται η θερμοκρασία.

Η διαδικασία γίνεται ως εξής: θέρμανση του κράματος σύστασης x, στην θερμοκρασία T1, όπου γίνεται η ομογενοποίηση. Ακολουθεί απότομη ψύξη ώστε να αποφευχθεί ο σχηματισμός της φάσης θ (αυτό λέγεται υπερβαφή διότι διατηρείται η φάση α μόνο. Το κράμα έτσι όπως έχει γίνει τώρα είναι πολύ μαλακό και έχει χαμηλή μηχανική αντοχή. Τότε το κράμα ξανά θερμαίνεται σε θερμοκρασίες T2 για αρκετή ώρα. Η διαδικασία αυτή λέγεται

επαναφορά. Η τελική απόψυξη γίνεται με πιο ήπιους ρυθμούς. Τότε το υλικό αυτό θεωρείται ότι έχει υποστεί γήρανση.



Εικόνα 1: το τμήμα του διαγράμματος φάσεων στο οποίο εξετάζεται η ικανότητα σκλήρυνσης με κατακρήμνιση και η διαδικασία της γήρανσης

Η αύξηση της σκληρότητας εξαρτάται από την θερμοκρασία T_2 και από τον χρόνο παραμονής στην θερμοκρασία αυτή. Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι η σκλήρυνση με κατακρήμνιση είναι δυνατόν να επιτευχθεί όταν κατά το στάδιο της επαναφοράς η προδιδόμενη ενέργεια είναι μηχανική και όχι θερμική. Για παράδειγμα η εν ψυχρώ κατεργασία μαλακού χάλυβα είναι δυνατό να οδηγήσει σε κατακρήμνιση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται και κατακρήμνιση λόγω ενδοτράχυνσης ή εργοσκλήρυνση.

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα

Τα κράματα προς μεταλλογραφία, θα σας δοθούν από το προσωπικό του εργαστηρίου. Είναι εκ των προτέρων χωρισμένα σε δυο κατηγορίες: χαλκού, κραμάτων χαλκού, αλουμινίου, κραμάτων αλουμινίου, γηρασμένο αλουμίνιο και σύνθετα μεταλλικά υλικά.

Πιο αναλυτικά τα κράματα του χαλκού είναι ο καθαρός χαλκός, το Cu-Zn (Brass) και το Cu-Al. Αντίστοιχα στην κατηγορία του αλουμινίου θα δοθούν το καθαρό αλουμίνιο, το κράμα AA7075 σε γήρανση και χωρίς γήρανση, το Al-Si. Τέλος τα σύνθετα υλικά που θα λάβετε είναι το AA7075 με ενίσχυση κενοσφαιρών από Al_2O_3 και το AA2024 με ενίσχυση από SiC.

3.1. Προετοιμασία για μεταλλογραφικό έλεγχο

Η προετοιμασία γίνεται λειαίνοντας τα δοκίμια με λειαντικά χαρτιά. Για διευκόλυνση της διαδικασίας χρησιμοποιούνται οι λειαντικοί δίσκοι που υπάρχουν στο εργαστήριο.

1ο χαρτί	grid 200	Λείανση γίνεται μέχρι να φύγουν όλες οι γραμμές από την επιφάνεια.
2ο χαρτί	grid 600	
3ο χαρτί	grid 800	
στίλβωση	πάστα	Με ειδικό πανί, χωρίς νερό, σε χαμηλές στροφές, τοποθετείται αλουμινόπαστα ή διαμαντόπαστα και στίλβώνεται απαλά το δοκίμιο. Πρέπει να είναι τόσο καλή η στίλβωση ώστε το δοκίμιο να είναι καθρέπτης.



Ακολουθεί χημική προσβολή των λειασμένων πλέον δοκιμίων με χημικά διαλύματα.

Χαλκός και κράματα χαλκού: Το διάλυμα που πραγματοποιεί την χημική προσβολή λέγεται όξινο διάλυμα τριχλωριούχου σιδήρου.

Αλουμίνιο και κράματα αλουμινίου: Το διάλυμα που πραγματοποιεί την χημική προσβολή λέγεται Keller.

Η προσβολή γίνεται βαπτίζοντας το κάθε δοκίμιο στο διάλυμα για 5 sec. Το διάλυμα αυτό έχει την ικανότητα να χρωματίζει σκούρα τις περιοχές με την σκληρότερη δομή (μικρότεροι κόκκοι). Κατόπιν πλένεται επιμελώς σε νερό, ξεπλένεται με αλκοόλη και στεγνώνεται με αερόθερμο πιστόλι αέρος. Δεν πρέπει να ακουμπήσει γυμνό χέρι στην επιφάνεια.

3.2. Οπτική μικροσκοπία

Αφού πραγματοποιηθούν οι διαδικασίες προετοιμασίας για μεταλλογραφικό έλεγχο, το κάθε δοκίμιο τοποθετείται στο μικροσκόπιο, στην ειδική θέση δοκιμίου αφού πρώτα οριζοντιωθεί με την ειδική συσκευή. Με συνδυασμό μεγεθυντικών φακών και κατάλληλου φωτισμού, θα γίνει χρήση λογισμικού software στον υπολογιστή για λήψη φωτογραφιών της μικροδομής. Η μέγιστη μεγέθυνση που μπορεί να δώσει το μικροσκόπιο είναι x600.



Οπτικό μικροσκόπιο

Ηλεκτρονικός υπολογιστής

Πρέσα οριζοντίωσης δειγμάτων

3.3. Σκληρομέτρηση

Τα δοκίμια τοποθετούνται λειασμένα στο σκληρόμετρο. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να γίνει αλλαγή του διεισδυτή του σκληρομέτρου. Θα πρέπει με προσοχή να ξεβιδωθεί ο κωνικός διαμαντένιος εντυπωτής και να τοποθετηθεί ο σφαιρικός τυπωτής από σκληρομέταλλο. Επίσης θα πρέπει να αλλάξει και το φορτίο στα 60 Kp Πρώτα γίνεται η προφόρτιση 10 Kp και κατόπιν η φόρτιση 60 Kp. Θα ληφθούν από το κάθε δοκίμιο 10 μετρήσεις σκληρότητας και θα γίνει στατιστική επεξεργασία.

Στοιχεία Στατιστικής Ανάλυσης.

Μέσος όρος	Όλες οι μετρούμενες τιμές αθροίζονται και ο προκύπτον αριθμός διαιρείται με το πλήθος των μετρήσεων.
Διάμεση τιμή	Ενός δείγματος παρατηρήσεων, οι οποίες έχουν διαταχθεί κατά αύξουσα τάξη, είναι η μεσαία παρατήρηση εάν το πλήθος των παρατηρήσεων είναι περιττό ή ο μέσος όρος των δύο μεσαίων παρατηρήσεων εάν το πλήθος είναι άρτιο. π.χ. 2,5,7,8,8,9,15 η διάμεση τιμή το 8
Επικρατούσα Τιμή Εύρος	Είναι η τιμή που εμφανίζεται περισσότερες φορές στο π.χ. 8 Είναι η απόσταση από την μέγιστη και την ελάχιστη τιμή max-min στο π.χ. 15-2=13
Διακύμανση	Η διακύμανση είναι ένα μέτρο διασποράς των τιμών του δείγματος
Τυπική Απόκλιση	$s^2 = \frac{\sum (x_i - \mu)^2}{N}$ είναι η τετραγωνική ρίζα της διασποράς. Δηλαδή $s = \sqrt{s^2}$

4. Αποτελέσματα

Θα πρέπει να γίνει μια καρτέλα αποτελεσμάτων για το κάθε εξεταζόμενο κράμα όπου θα αναγράφονται τα στοιχεία του υλικού, ποιες ενέργειες έγιναν στο εργαστήριο για την προετοιμασία της μεταλλογραφίας και τις φωτογραφίες από το μικροσκόπιο συνοδευόμενες από λεζάντες που θα εξηγούν την δομή.

ΑΣΚΗΣΗ 9

ΑΣΚΗΣΗ 9 : ΔΙΑΒΡΩΣΗ – ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΑΠΟ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

1. Περίληψη

Στην εργασία αυτή γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του φαινομένου της διάβρωσης. Εξηγείται ο μηχανισμός της, οι μορφές της και οι επιδράσεις του περιβάλλοντος στα υλικά και οι τρόποι προστασίας από αυτήν. Στο εργαστηριακό μέρος μετράτε το ελεύθερο δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος ενός μεταλλικού υλικού, γίνεται επιταχυνόμενη διάβρωση με εξωτερική διέγερση ενός μεταλλικού σωλήνα, για να δοθεί στον σπουδαστή μια εικόνα του φαινομένου και τέλος στον ίδιο σωλήνα, πάλι με επιταχυνόμενο τρόπο εξωτερικής διέγερσης, θα μελετηθούν δυο τρόποι προστασίας από την διάβρωση.

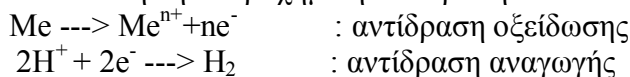
2. Θεωρητικό υπόβαθρο

Η διάβρωση είναι ένα φυσικό φαινόμενο, με πολύ μεγάλες επιπτώσεις στις κατασκευές (πολύ συχνά οδυνηρές). Είναι η καταδίκη της φθαρτής ύλης, που περιστοιχίζει τον κόσμο, να αλλοιώνεται με το πέρασμα του χρόνου. Κάποια υλικά φθείρονται πιο γρήγορα από τα άλλα και έτσι υπάρχει μια κατάταξη αντοχής σε φθορά διάβρωσης, των υλικών. Συνεπώς ο μηχανικός θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη του, την επίδραση της διάβρωσης στις κατασκευές του (αφού έχει κατανοήσει τους μηχανισμούς της) και να επινοεί τρόπους και τεχνικές προστασίας ή ελέγχου της.



Εικόνα 1: χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελεσμάτων διάβρωσης.

Η διάβρωση (corrosion) είναι φαινόμενο χημικής διεργασίας και η φυσική του εξήγηση ανήκει στον επιστημονικό κλάδο της ηλεκτροχημείας. Κατά τη διάβρωση το μεταλλικό υλικό, υπό την επίδραση του περιβάλλοντος, χάνει ηλεκτρόνια, τα οποία δεσμεύονται (συνήθως) από το οξυγόνο ή το υδρογόνο του περιβάλλοντος (εικόνα 2). Υπάρχει δηλαδή αύξηση του σθένους του μετάλλου κατά την ηλεκτροχημική αντίδραση:

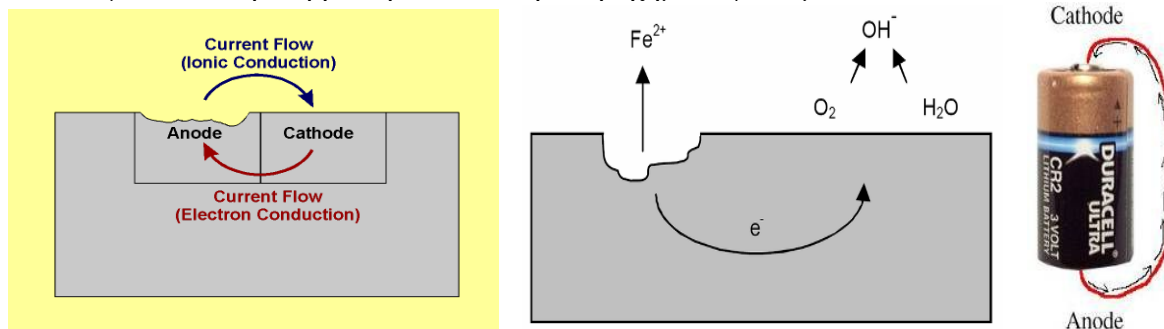


Το φαινόμενο είναι, τις περισσότερες φορές, επιφανειακό, δηλαδή εντοπίζεται στην εκτεθειμένη προς το περιβάλλον επιφάνεια του μετάλλου.

Η διάβρωση εκδηλώνεται: είτε με αυθόρμητο τρόπο, είτε με εξαναγκασμένο τρόπο σε τεχνητό περιβάλλον, είτε με ηλεκτροχημικό μηχανισμό, είτε τέλος με συνδυασμό όλων των παραπάνω. Πρέπει όμως πάντα να ισχύει η μείωση της ενεργειακής κατάστασης του συστήματος, δηλαδή η τελική ενεργειακή στάθμη πρέπει να είναι μικρότερη από αυτήν στην αρχή του φαινομένου.

Μια άλλη προϋπόθεση για να πραγματοποιηθεί ο μηχανισμός της διάβρωσης είναι η συνύπαρξη δυο ηλεκτροχημικών αντιδράσεων, που πρέπει να συμβούν συγχρόνως: μιας οξείδωσης και μιας αναγωγής. Το μέταλλο που διαβρώνεται, ουσιαστικά διασπάται από την μοριακή του δομή στην ιοντική του, με ταυτόχρονη αποβολή ελεύθερων ηλεκτρονίων. Αυτή είναι η αντίδραση οξείδωσης. Έτσι τα ηλεκτρόνια που δημιουργήθηκαν, πρέπει κάπου να απορροφηθούν, οπότε κινούνται με την μορφή ηλεκτρικού ρεύματος λόγω διαφοράς δυναμικού και ανάγουν ελεύθερα ιόντα, που βρίσκουν στο πέρασμά τους, δηλαδή

προσκολλούνται σε ελεύθερα ιόντα και τα μετατρέπουν σε μόρια. Έτσι λοιπόν δικαιολογείται ότι, η διάβρωση είναι ένα ηλεκτροχημικό φαινόμενο.



Εικόνα 2: ο ηλεκτροχημικός μηχανισμός διάβρωσης, η άνοδος φθείρεται οπότε λαμβάνει χώρα η αντίδραση οξείδωσης, ρεύμα κινείται με μορφή ηλεκτρονίων: 1) διαμέσου του στερεού και 2) διαμέσου του διαλύματος με την μορφή ιόντων και η κάθοδος μένει άφθαρτη, πάνω στην οποία λαμβάνει χώρα η αναγωγική αντίδραση. Με άλλα λόγια σχηματίζεται μια μπαταρία.

2.1. Μορφές διάβρωσης

Η διάβρωση σύμφωνα με τον τρόπο που εκδηλώνεται, χωρίζεται σε οκτώ διαφορετικές μορφές:

- Ομοιόμορφη: το υλικό φθείρεται ομοιόμορφα σ' όλη του την εκτεθειμένη στο διαβρωτικό περιβάλλον, επιφάνεια.
- Γαλβανική διάβρωση: παρουσιάζεται όταν μέσα στο ίδιο διαβρωτικό περιβάλλον δυο διαφορετικά μέταλλα έρθουν σε επαφή, μεταξύ τους.
- Διάβρωση εσοχής (crevice corrosion) : σε περιοχές της επιφάνειας όπου υπάρχουν ρωγμές, παρουσία οξυγόνου, ενεργοποιείται ο μηχανισμός διάβρωσης εντονότερα.
- Βελονισμός (pitting corrosion): λέγεται εντοπισμένη ή σημειακή διάβρωση. Δεν είναι εύκολα ορατή με το μάτι και ακολουθεί την βαρύτητα.
- Περικρυσταλλική διάβρωση (intergranular corrosion): λόγω της αυξημένης ενεργειακά στάθμης που έχουν τα όρια των κόκκων εκεί λοιπόν ενεργοποιείται διάβρωση. Δεν είναι ορατή και αυτή κυρίως στα πρώιμα στάδιά της.
- Επιλεκτική απομύζηση (selective leaching): παρατηρείται σε κράματα που έχουν κυρίως την δομή του στερεού διαλύματος, όπου το ένα κραματικό στοιχείο διαβρώνεται εντονότερα από τα άλλα. Ενισχύεται και από μικρο-γαλβανική συμπεριφορά του συστήματος.
- Διάβρωση φθοράς (wear erosion – corrosion): είναι ένας συνδυασμός χημικής προσβολής και μηχανικής καταπόνησης. (π.χ. τριβή, απόξεση) παρατηρείται κυρίως σε δίκτυα σωληνώσεων κυκλοφορίας υγρών, όπου φερτά σωματίδια ή φυσαλίδες χτυπούν με ορμή πάνω στην επιφάνεια των μεταλλικών εξαρτημάτων και απομακρύνουν υλικό από την επιφάνεια.
- Διάβρωση υπό μηχανική τάση (stress corrosion): όταν ένα σώμα βρίσκεται υπό τάση μέσα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχουν υποκατηγορίες μορφών διάβρωσης όπως: η δυναμοδιάβρωση, η σπηλαίωση, η διάβρωση χαραγής, η διάβρωση αποφλοιώσης, η διακρυσταλλική, η διάβρωση υδρογόνου, ψαθυροποίησης κ.α.

Τέλος είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι στην πραγματικότητα όταν εξετάζεται ένα υλικό το οποίο έχει διαβρωθεί στην επιφάνειά του, δεν ανιχνεύεται μόνο ένα είδος διάβρωσης, αλλά περισσότερων. Δηλαδή λαμβάνουν χώρα περισσότερες μορφές από μία. Εργαστηριακά όμως είναι δυνατόν να εξεταστούν μία προς μία.

2.2. Δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος

Είναι η τάση του μετάλλου να διαβρωθεί μέσα σε ένα περιβάλλον. Ένα μέταλλο έχει διαφορετικό δυναμικό σε διαφορετικό διάλυμα. Πιο συγκεκριμένα όταν πραγματοποιείται μια αντίδραση οξείδωσης εμφανίζεται και ένα ηλεκτρικό δυναμικό μεταξύ μετάλλου και διαλύματος. Αυτό μπορεί να μετρηθεί εύκολα με ένα ηλεκτρονικό πολύμετρο. Έτσι σχηματίζονται λίστες δυναμικών των υλικών σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα

2.3. Ρυθμός διάβρωσης

Ο ρυθμός διάβρωσης διεξόδου R περιγράφει την απώλεια πάχους του υλικού ανά μονάδα χρόνου.

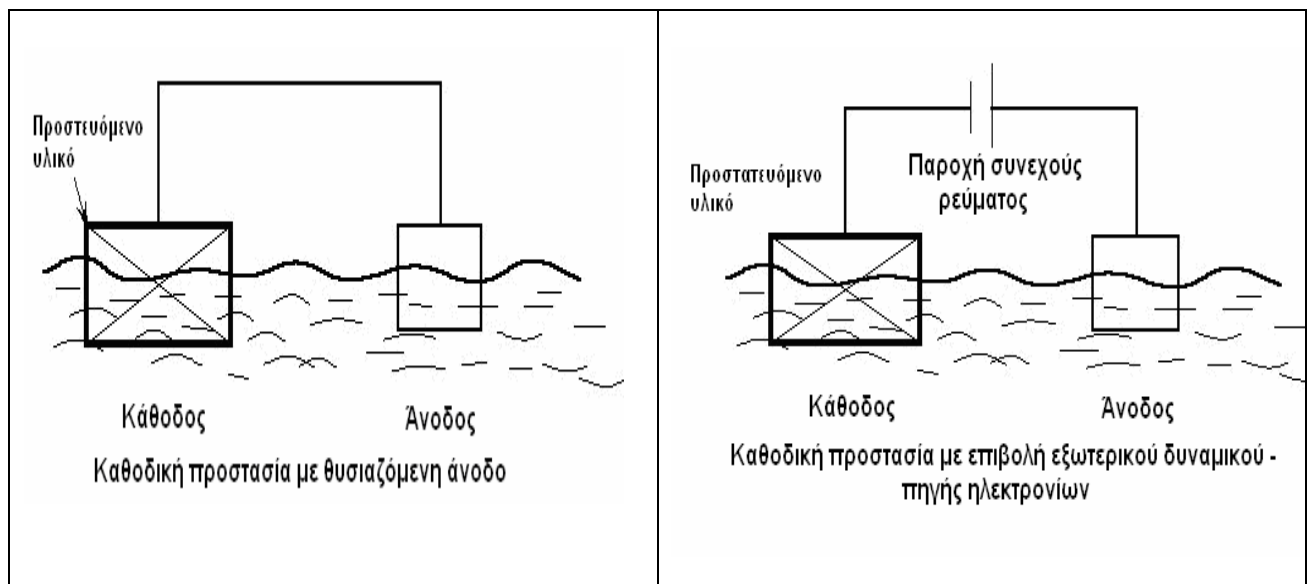
$$R = [\Delta m / (d S t)] \text{ σε (mm/year)}$$

Όπου Δm είναι η απώλεια μάζας μετά από χρόνο διάβρωσης t , ενώ d και S είναι η πυκνότητα και το εμβαδόν του δείγματος που έχει εκτεθεί. Ικανοποιητικό R θεωρείται μικρότερο του 0,5 mm/y.

2.4. Μέθοδοι προστασίας από διάβρωση

Υπάρχουν αρκετοί μέθοδοι προστασίας από την διάβρωση. Μερικές μέθοδοι επιδρούν στην δραστηριότητα του περιβάλλοντος (π.χ. η χρήση παρεμποδιστών, ο χημικός ή ο φυσικός τρόπος απομάκρυνσης οξυγόνου και υδρογόνου από το διάλυμα κ.α.), μερικές μέθοδοι επιδρούν στην δραστηριότητα των υλικών (π.χ. επιλογή κραμάτων λιγότερο ευπαθών στην διάβρωση, παθητικοποίηση, προστατευτικές επικαλύψεις, καθοδική προστασία κ.α.) και τέλος μέθοδοι που συνδυάζουν τα παραπάνω.

Θα γίνει επικέντρωση στην καθοδική προστασία, αφού είναι η πιο εφαρμόσιμη σήμερα. Γίνεται με δύο τρόπους: α) με θυσιαζόμενες ανόδους και β) με χρήση εξωτερικής πηγής ρεύματος. Στο εργαστήριο θα εξεταστούν και οι δυο.



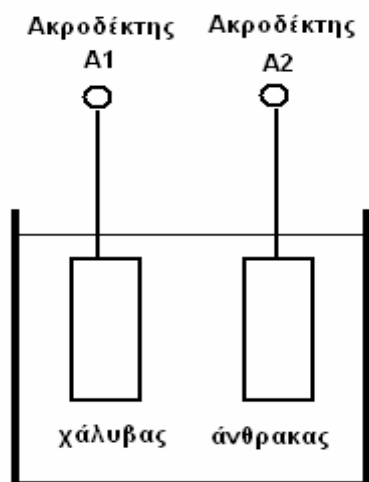
3. Εργαστηριακή δραστηριότητα

3.1. Μέτρηση δυναμικού ανοιχτού κυκλώματος

Σκοπός της άσκησης αυτής είναι, αφού πρώτα μετρηθεί η επιφάνεια A (cm^2) του δοκιμίου και μετά βυθιστεί σε ένα διάλυμα, να μετρήσει ο σπουδαστής την τάση V (εύρος: mV έως και V) που δημιουργείτε μεταξύ του υλικού και του διαβρωτικού διαλύματος. Όσο μεγαλύτερη τιμή έχει, τόσο πιο δραστική είναι και η διάβρωση που θα συμβεί. Επίσης θα γίνει μέτρηση του ρεύματος I (εύρος: μA μέχρι και mA). Έτσι θα διερευνηθεί η τάση (V) και η πυκνότητα του ρεύματος διάβρωσης (I/A) του συγκεκριμένου υλικού. Με τον τρόπο αυτό θα είναι σε θέση πλέον ο σπουδαστής να προφυλάξει μια μεταλλική κατασκευή, που η εκτεθειμένη επιφάνειά της A , θα βρίσκεται σε διαβρωτικό περιβάλλον και με ένα απλό τροφοδοτικό, θα εφαρμόσει μια τάση V (με αντίθετη πολικότητα), αφήνοντας ρεύμα ίσο με I/A να την διαρρέει και η επιφάνεια αυτή θα προφυλαχθεί από την διάβρωση.

Η διαδικασία μέτρησης θα γίνει ως εξής:

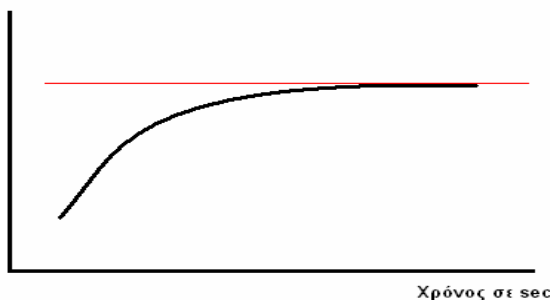
1. Γυάλινο δοχείο γεμίζεται με υδατικό διάλυμα NaCl (κοινό μαγειρικό αλάτι) 3,5%κ.β και 10ml υπεροξείδιο του υδρογόνου H_2O_2 (Οξυζενέ). Αυτό το διάλυμα προσομοιάζει το θαλασσινό νερό. Πρώτα γεμίζει το δοχείο με 1 λίτρο απιονισμένο νερό και με δοσομετρικό σωλήνα διοχετεύονται 10 ml H_2O_2 μέσα στο δοχείο. Αντί για δοσομετρικό δοχείο βολεύει και μια σύριγγα (χωρίς την βελόνα) με υποδιαίρεση των 5 ml. Κατόπιν με ζυγό μετράτε ποσότητα άλατος 3,5 gr και με αργή συνεχόμενη ανάδευση διαλύεται στο υπόλοιπο διάλυμα
2. Κατόπιν λαμβάνεται ένα δοκίμιο από χάλυβα, λειαίνετε από όλες τις πλευρές του, ζυγίζετε σε ζυγό ακριβείας, μετράτε η επιφάνειά του με παχύμετρο και τέλος ανοίγεται μια οπή 2,5 mm με το τρυπάνι του εργαστηρίου (όχι διαμπερή, αν αυτό είναι δυνατόν και κοντά στην άκρη). Σπειροτομείται με ειδικό κολαούζο $\Phi 3$ και βιδώνεται μικρή βίδα $\Phi 3$. Στην βίδα αυτή στερεώνεται ειδικός ακροδέκτης καλωδίου και σφίγγετε ελαφρώς. Με στεγανοποιητικό teflon καλύπτεται η βίδα και ο ακροδέκτης του καλωδίου. Σκοπός είναι η σύνδεση με της βίδας με το σύρμα του καλωδίου να μην βρέχονται καθόλου από το διάλυμα.
3. Το δοκίμιο αφού έχει ετοιμαστεί, πρέπει να ξεπλυθεί με αλκοόλη ή απιονισμένο νερό.
4. Σχηματίζεται το παρακάτω κύκλωμα:



5. Με εργαστηριακό ηλεκτρονικό πολύμετρο μετράτε η διαφορά δυναμικού μεταξύ του δοκιμίου και του διαλύματος (η μέτρηση γίνεται στους ακροδέκτες $A1$ και $A2$). Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί ότι το δυναμικό είναι ανεξάρτητο της

επιφάνειας προσβολής του δοκιμίου. Οι μετρήσεις γίνονται ανά πέντε λεπτά της ώρας, μέχρι οι τιμές τους να σταθεροποιηθούν σε μια συγκεκριμένη τιμή. Προσοχή: δεν πρέπει να αναδεύεται το διάλυμα. Όσο το δυνατόν σταθερές συνθήκες θερμοκρασίας. Το διάγραμμα θα πρέπει να είναι της μορφής:

Δυναμικό σε mV

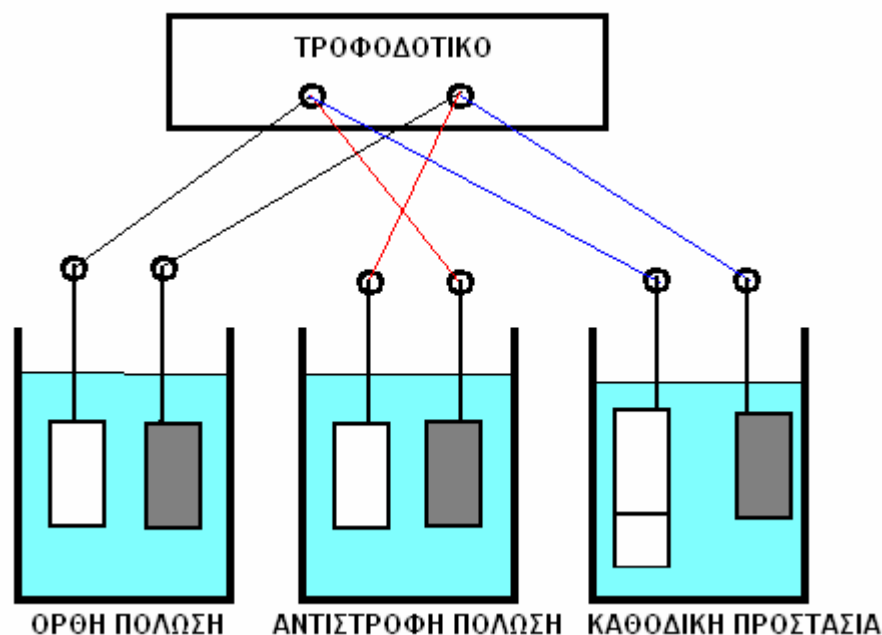


6. Το δυναμικό ανοιχτού κυκλώματος προκύπτει από τον μέσο όρο των 5 τελευταίων μετρήσεων.
7. Αποτελέσματα

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ		
Επιφάνεια A (cm ²)		
Δυναμικό V (mV – V)		
Ρεύμα I (μA – mA)		
Πυκνότητα ρεύματος I/A		
ΕΦΑΡΜΟΓΗ		
Αν πρέπει να προστατευθεί μεταλλική επιφάνεια ίση με (A.M. * 150) στο ίδιο διάλυμα, τότε τι τροφοδοτικό θα επιλεγεί;		

3.2. Προστασία με εφαρμογή τάσης και καθοδική προστασία με θυσιαζόμενη άνοδο

Στο σημείο αυτό θα γίνει παράλληλα η εξέταση και των δυο μορφών προστασίας από διάβρωση και θα γίνουν συγκρίσεις διαφοράς βαρών. Για λόγους συντομίας θα γίνει επιταχυνόμενη διάβρωση με εξωτερική ηλεκτρική διέγερση. Η τιμή της τάσης που θα εφαρμοστεί θα είναι ίση με αυτήν που μετρήθηκε πιο πριν για το ίδιο υλικό, αλλά πολλαπλασιασμένη με το 10. έτσι οι μετρήσεις που θα γίνουν θα είναι : i) του χαλύβδινου υλικού χωρίς καμιά προστασία με ορθή πόλωση, ii) του χαλύβδινου υλικού με αντιστραμμένη πόλωση iii) του ίδιου υλικού, το οποίο όμως βρίσκεται σε επαφή με αλουμίνιο ή ψευδάργυρο, όπως φαίνεται στο σχήμα:



Όπως είναι φυσικό το διάλυμα θα υποστεί και ηλεκτρόλυση, όμως εργαστηριακά το μέταλλο θα φθαρεί. Θα πρέπει να παρατηρηθεί η διάβρωση από την αλλαγή του χρώματος του διαλύματος, από τις φυσαλίδες που θα εμφανίζονται και από την αλλαγή του βάρους. Η διάρκεια θα είναι μια και μισή ώρα. Στην ορθή πόλωση το χρώμα του διαλύματος θα είναι σκούρο καφέ αδιαφανές, το δοκίμιο θα έχει χάσει την μεταλλική του λάμψη, θα βγαίνουν φυσαλίδες από την επιφάνειά του και θα έχει την μεγαλύτερη διαφορά βάρους. Στην αντιστραμμένη πόλωση το χρώμα του διαλύματος θα είναι καφέ ανοιχτό (δεν είναι δυνατόν να μην εμφανιστεί διάβρωση), το δοκίμιο σε ένα αρκετά ικανοποιητικό βαθμό δεν θα έχει χάσει την μεταλλική του λάμψη, δεν θα βγαίνουν φυσαλίδες από την επιφάνειά του και θα έχει μικρή διαφορά βάρους. Τέλος στην καθοδική προστασία το χρώμα του διαλύματος θα είναι καφέ ανοιχτό, το δοκίμιο σε ένα όχι και τόσο ικανοποιητικό βαθμό δεν θα έχει χάσει την μεταλλική του λάμψη, θα έχει μέτρια διαφορά βάρους. Φυσαλίδες στην περίπτωση αυτή θα βγαίνουν από το υλικό που είναι κολλημένο πάνω στον χάλυβα, διότι στο συγκεκριμένο περιβάλλον είναι πιο δραστικό σε διάβρωση. Αυτό είναι εύκολο να διαπιστωθεί αν γίνει μέτρηση του δυναμικού στο ίδιο διάλυμα με πολύμετρο.

4. Αποτελέσματα

Ζητούνται να γίνουν οι μετρήσεις: ρευμάτων, δυναμικών, επιφανειών, να ληφθούν φωτογραφίες από τα στάδια της διάβρωσης και των προστασιών και να συνταχθεί τεχνική έκθεση (report) που να περιγράφεται με ακρίβεια όλες τις διαδικασίες τα όργανα και τις μετρήσεις που έγιναν στο πείραμα.

ΑΣΚΗΣΗ 10

ΑΣΚΗΣΗ 10: Μέγεθος κόκκων (grain size) σε αντιδιαστολή με την $\sigma_{0.2}$ απλού χάλυβα

1. Περίληψη: στην άσκηση αυτή γίνεται μια θερμική κατεργασία σε έναν ήδη πλαστικά μορφοποιημένο χάλυβα. Με την διεργασία αυτή επιδιώκεται η μεταβολή της δομής του συγκεκριμένου υλικού. Ταυτόχρονα θα ελέγχονται σε συγκεκριμένες φάσεις της διεργασίας οι μεταβολές της δομής (σχήμα και μέγεθος κόκκων και σκληρότητα). Παράλληλα με την εφαρμογή ενός εμπειρικού μαθηματικού μοντέλου, θα διερευνηθεί πως η μεταβολή του σχήματος και του μεγέθους των κόκκων του χάλυβα επιδρά στις μηχανικές ιδιότητές του. Η κατεργασία αυτή ονομάζεται ανόπτηση και συνοδεύεται από ανακρυστάλλωση στην δομή.

2. Εισαγωγή: Η μηχανική αντοχή των χαλύβων εξαρτάται από διάφορα χαρακτηριστικά της μικροδομής. Τα χαρακτηριστικά αυτά είναι ο συνδετικός κρίκος μεταξύ της ανάπτυξης των κρυσταλλικών δομών που εμφανίζονται στον μικρόκοσμο και των ιδιοτήτων που τα υλικά αποκτούν και αναδεικνύουν το υλικού στον μακρόκοσμο.

Μερικά από αυτά είναι :

- Το μέγεθος των κόκκων
- Η Περιεκτικότητα και το μέγεθος των καρβιδίων
- Η Πυκνότητα και η ανάπτυξη των γραμμικών ατελειών

Μεγάλο ποσοστό χαλύβων προκειμένου να διοχετευθεί στην παραγωγή, θα πρέπει να έχει συγκεκριμένες ιδιότητες, οι οποίες αποκτώνται όταν αυτοί υποβληθούν σε συγκεκριμένες θερμικές κατεργασίες.

Οι θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας των χαλύβων έχουν σκοπό την αποτελεσματική βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων. Για παράδειγμα η αύξηση της τάσης διαρροής και της αντίστασης στον εφελκυσμό συνοδεύεται από μια ελάττωση της τιμής της δυσθραυστότητας και της ολκιμότητας. Είναι συνεπώς αναγκαίο να βρεθεί ένας αποδεκτός συνδυασμός των τιμών των ιδιοτήτων αυτών, εάν θέλουμε να βελτιώσουμε τις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων.

Γενικά οι θερμικές κατεργασίες εντός της μάζας των χαλύβων οδηγούν κυρίως στην σκλήρυνσή τους, σε ελάττωση ή ολική απαλοιφή των μηχανικών τάσεων και σε ρύθμιση του μεγέθους των κόκκων και των μηχανικών και άλλων ιδιοτήτων.

Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή της ανόπτησης. Υπάρχουν πολλές κατηγορίες ανόπτησης οι οποίες εξαρτώνται από την προηγούμενη επεξεργασία που δέχτηκε ο χάλυβας, από την περιεκτικότητά του σε άνθρακα και από την θερμοκρασία. Έτσι οι ανοπτήσεις είναι: κατεργασίας, εξομάλυνσης, πλήρη ανόπτησης, ανακρυστάλλωσης, αποκατάστασης, αποτατικής ανόπτησης, αποτατικής σφαιροποίησης και ταλαντευτικής ανόπτησης.

Στην παρούσα εργασία εξετάζεται η επίδραση του μεγέθους των κόκκων στο χάλυβα St 27 στην σκληρότητα και την μηχανική αντοχή του, ο οποίος εν ψυχρώ έχει παραμορφωθεί. Η περιεκτικότητά του σε άνθρακα είναι μικρή. Συνεπώς η ανόπτηση που θα υποστεί είναι η κατεργασίας. Πιο αναλυτικά η ανόπτηση κατεργασίας είναι μια θερμική κατεργασία στην οποία υποβάλλεται ένα μέταλλο, προκειμένου να αναιρεθούν οι επιπτώσεις της ψυχρής (ή εν μέρει θερμής) κατεργασίας. Στόχος είναι η αύξηση της ολκιμότητας του μετάλλου, το οποίο έχει υποστεί ενδοτράχυνση με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητάς του. Κατά την διάρκεια της κατεργασίας είναι πιθανό να συμβούν αποκατάσταση και ανακρυστάλλωση.

Γενικά η θερμική αυτή κατεργασία επιτρέπει της απόκτηση λεπτοκρυσταλλικής δομής, εφόσον σταματήσει εγκαίρως (λουτρό), προτού δηλαδή συμβεί σημαντική αύξηση του μεγέθους των κόκκων.

Η εμπειρική σχέση που συνδέει το όριο διαρροής σε έναν χάλυβα ($\sigma_{0.2}$) σε MPa, με το μέγεθος των κόκκων του d σε μm , το οποίο μπορεί να μετρηθεί με κατάλληλο πρόγραμμα σε H/Y που είναι συνδεδεμένος με το οπτικό μικροσκόπιο, είναι η:

$$\sigma_{(0,2)} = K d^{-1/2}$$

όπου K είναι μια σταθερά η οποία εξαρτάται από μεταλλουργικούς παράγοντες. Με άλλα λόγια είναι μια ευθεία που η κλίση της είναι το K.

3. Εργαστηριακή δραστηριότητα: δίδονται δοκίμια από χάλυβα St 27, τα οποία έχουν υποστεί ανακρυστάλλωση στους 890 °C σε διαφορετικούς χρόνους. Από αυτά θα γίνει μεταλλογραφική προετοιμασία για οπτικό έλεγχο στο μικροσκόπιο (με τον τρόπο που αναγράφεται στην άσκηση 1,2,3). Θα μετρηθεί το μέγεθος των κόκκων, θα σκληρομετρηθεί 5 φορές και με αντιστοίχιση των σκληρομετρήσεων από RC σε VPN θα συμπληρωθεί ο παρακάτω πίνακας. Έτσι με εφαρμογή της άνω εμπειρικής σχέσης θα εξαχθεί και το $\sigma_{(0,2)}$.

Time (min)	Grain size (μm)	RC	VPN	$\sigma_{(0,2)}$
30'				
60'				
90'				
120'				

4. Αποτελέσματα: θα πρέπει να γίνουν τα εξής διαγράμματα (από τα στοιχεία του πίνακα):

- 1) VPN και grain size [μm]
- 2) $\sigma_{(0,2)}$ [MPa] και grain size [μm]
- 3) grain size [μm] και t [min]

θα πρέπει τέλος να εξηγήσετε τις μεταβολές που δείχνουν τα διαγράμματα.