

## ΑΣΚΗΣΗ 5 : ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ - ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ

### ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### ΘΕΡΜΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ

Οι θερμικές κατεργασίες συνίσταται σε θέρμανση και ψύξη ενός υλικού ώστε να αποκτήσει συγκεκριμένες ιδιότητες.

Το αποτέλεσμα μιας θερμικής κατεργασίας εξαρτάται από :

- Την ανώτερη θερμοκρασία στην οποία θερμαίνεται το υλικό
- Το χρόνο παραμονής στην θερμοκρασία αυτή
- Την ταχύτητα ψύξης

Τα περισσότερα μεταλλικά υλικά υφίστανται σε κάποιο από τα στάδια παραγωγής τους θερμικές κατεργασίες με αποτέλεσμα μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων τους.

Οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες των μεταλλικών υλικών είναι η **ανόπτηση** , η **βαφή** και η **επαναφορά** μετά από βαφή.

#### ΑΝΟΠΤΗΣΗ

Ανόπτηση είναι μια θερμική κατεργασία κατά την οποία το υλικό θερμαίνεται σε μια καθορισμένη θερμοκρασία για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια ψύχεται αργά σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Η ανόπτηση πραγματοποιείται για :

- Εξάλειψη εσωτερικών τάσεων
- Ελάττωση σκληρότητας και αντοχής αλλά αύξηση ολκιμότητας και δυσθραυστότητας
- Αλλαγή κρυσταλλογραφικού ιστού ( δομή κόκκων )

Η ανόπτηση εφαρμόζεται συνήθως σε ελατά μέταλλα και κράματα που έχουν υποστεί σκλήρυνση από ψυχρή κατεργασία προκειμένου να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση.

Κατά την διάρκεια της ανόπτησης , η ενέργεια που είχε συσσωρευθεί στο εσωτερικό του μετάλλου , λόγω της παραμόρφωσης ελευθερώνεται , συντελώντας στην ελάττωση της πυκνότητας των διαταραχών και τη μετακίνησή τους σε σταθερότερες θέσεις.

Δύο γενικές κατηγορίες ανόπτησης μετάλλων και κραμάτων είναι η αποκατάσταση και η ανακρυστάλλωση.

### **1) Αποκατάσταση ( ανόπτηση αποκατάστασης )**

Όταν ένα μεταλλικό υλικό , που έχει υποστεί ψυχρή κατεργασία , θερμανθεί στη θερμοκρασία αποκατάστασης , ορισμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες που είχαν μεταβληθεί κατά την διάρκεια της ψυχρής κατεργασίας , αποκαθίστανται, χωρίς να επέλθει καμμία ουσιαστική αλλαγή στην κρυσταλλική δομή του μετάλλου.

Η αποκατάσταση πραγματοποιείται σε σχετικά υψηλή θερμοκρασία ,προκειμένου να διευκολυνθεί η διάχυση σε στερεή κατάσταση, αλλά πάντοτε σε θερμοκρασία χαμηλότερη της χαρακτηριστικής θερμοκρασίας ανακρυστάλλωσης του υλικού.

Η αποκατάσταση προκαλεί:

- Εξάλειψη εσωτερικών τάσεων
- Μικρή μείωση της σκληρότητας και της αντοχής
- Σημαντική αύξηση της ηλεκτρικής και θερμικής αγωγιμότητας
- Καμμία ουσιαστική αλλαγή στη δομή των κόκκων

Η θερμική κατεργασία που γίνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες ( χαμηλότερες της θερμοκρασίας αποκατάστασης ) προκειμένου να εξαλειφθούν οι παραμένουσες τάσεις που προκλήθηκαν από προηγούμενες κατεργασίες , όπως οι κατεργασίες πλαστικής παραμόρφωσης , οι συγκολλήσεις κ.λ.π. , ονομάζεται **αποτατική ανόπτηση** .

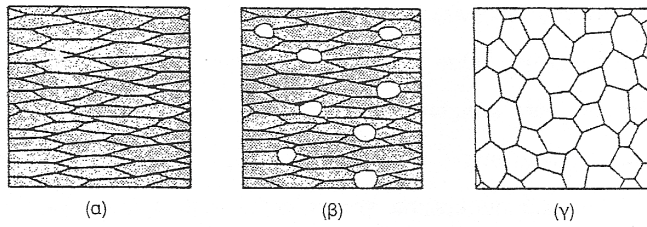
### **2) Ανακρυστάλλωση ( ανόπτηση ανακρυστάλλωσης )**

Η ανακρυστάλλωση πραγματοποιείται σε θερμοκρασία υψηλότερη της αποκατάστασης και χαρακτηρίζεται από την ριζική ανάπλαση των κρυστάλλων που υπέστησαν ψυχρή παραμόρφωση και τη δημιουργία ενός νέου ιστού κόκκων.

Κατά τη διάρκεια της ανακρυστάλλωσης , εμφανίζονται αρχικά πυρήνες κρυστάλλωσης ( νέα φύτρα ) οι οποίοι αναπτύσσονται μέχρις ότου αντικαταστήσουν πλήρως το μητρικό υλικό. Ο νέος κρυσταλλικός ιστός που δημιουργείται αποτελείται από κόκκους ισομεγέθεις και ισοδιάστατους.

Οι μηχανικές ιδιότητες του μετάλλου αποκαθίσταται στις προ της ψυχρής κατεργασίας τιμές δηλαδή το υλικό με την ανακρυστάλλωση αποκτά :

- Μικρότερη σκληρότητα
- Μικρότερη αντοχή
- Μεγαλύτερη ολκιμότητα
- Μεγαλύτερη δυσθραυστότητα



Σχηματική αναπαράσταση της ανακρυστάλλωσης : (α) Ανισότροπη δομή μετάλλου , μετά από ενδοτράχυνση . (β) Σχηματισμός πυρήνων νέων κόκκων . (γ) Ισοαξονική και ισότροπη δομή νέου ιστού κόκκων του μετάλλου , μετά από ανακρυστάλλωσή του.

Η **θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης** δεν είναι μια συγκεκριμένη θερμοκρασία , κάτω από την οποία δεν παρατηρείται ανακρυστάλλωση , αλλά μια κατά προσέγγιση θερμοκρασία , η οποία συχνά ορίζεται ως η θερμοκρασία εκείνη , στην οποία ένα μέταλλο με υψηλό βαθμό ενδοτράχυνσης ανακρυσταλλώνεται πλήρως σε διάστημα μιας ώρας. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης εξαρτάται από το σημείο τήξεως του μετάλλου και συνήθως κυμαίνεται μεταξύ  $1/3T_m$  και  $1/2 T_m$  , όπου  $T_m$  η απόλυτη θερμοκρασία τήξεως.

Για να λάβει πρακτικά χώρα η ανακρυστάλλωση είναι απαραίτητος ένας ελάχιστος βαθμός ενδοτράχυνσης , που ονομάζεται **κρίσιμη ενδοτράχυνση** και κυμαίνεται συνήθως μεταξύ 2% και 20%

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης εξαρτάται

- Από το σημείο τήξεως , όπως αναφέραμε παραπάνω.
- Από το ποσοστό ενδοτράχυνσης. Όσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός ενδοτράχυνσης , τόσο χαμηλότερη είναι η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης .
- Από τη καθαρότητα του μετάλλου . Όσο αυξάνεται το ποσοστό προσμίξεων , τόσο αυξάνεται η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης . Πράγματι , τα άτομα των προσμίξεων βρίσκονται κυρίως στα όρια των κόκκων , τα οποία αποτελούν τους τόπους εμφάνισης των νέων πυρήνων , παρεμποδίζοντας έτσι το σχηματισμό των νέων κόκκων. Ενώ για τα καθαρά μέταλλα η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι συνήθως  $0,3 T_m$  για μερικά εμπορικά κράματα , αυτή , μπορεί να φθάσει και το  $0,7 T_m$
- Από το χρόνο της ανόπτησης . Για τον ίδιο βαθμό ενδοτράχυνσης η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι τόσο χαμηλότερη , όσο ο χρόνος της ανόπτησης είναι μεγαλύτερος .

Το μέγεθος των κόκκων μετά την ανακρυστάλλωση εξαρτάται

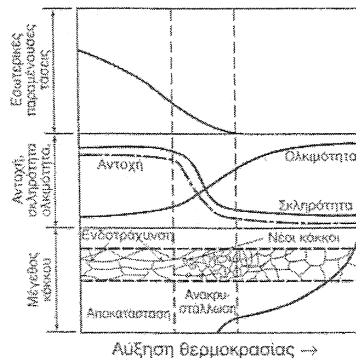
- Από το βαθμό ενδοτράχυνσης . Οσο μεγαλύτερος είναι ο βαθμός ενδοτράχυνσης , τόσο μικρότερο είναι το μέγεθος των κόκκων .
- Από τη θερμοκρασία ανόπτησης . Οσο υψηλότερη ( πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ) είναι η θερμοκρασία που συντελέστηκε η ανακρυστάλλωση και όσο μεγαλύτερος ο χρόνος παραμονής στη θερμοκρασία αυτή , τόσο μεγαλύτερο και το μέγεθος των κόκκων .

Η έκταση της ανακρυστάλλωσης εξαρτάται από το χρόνο και τη θερμοκρασία της θερμικής κατεργασίας. Θα πρέπει εν τούτοις να σημειωθεί ότι η διαδικασία της ανακρυστάλλωσης είναι περισσότερο ευαίσθητη στο ύψος της θερμοκρασίας από ότι στη διάρκεια παραμονής σε μια σταθερή θερμοκρασία .

### 3) Ανάπτυξη κόκκων

Μετά την ολοκλήρωση της ανακρυστάλλωσης , εάν το δοκίμιο παραμείνει στην υψηλή θερμοκρασία , το μέγεθος των κόκκων αυξάνεται , με σταδιακή απορρόφηση των μικρών κόκκων από τους μεγαλύτερους. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ανάπτυξη κόκκων.

Η υπερβολική ανάπτυξη των κόκκων ( που είναι συνάρτηση του ύψους της θερμοκρασίας και της διάρκειας παραμονής ) συνεπάγεται τελικά ελλάτωση του όλκιμου και της δυσθραυστότητας , πράγμα ανεπιθύμητο . Σημαντικό μέγεθος κόκκων μπορεί να ληφθεί και όταν η ανακρυστάλλωση πραγματοποιηθεί μετά από μικρό βαθμό ενδοτράχυνσης .



Γραφική αναπαράσταση της μεταβολής της κρυσταλλικής δομής , των μηχανικών ιδιοτήτων ( αντοχή , σκληρότητα , ολκιμότητα ) και των παραμενουσών τάσεων , συναρτήσει της θερμοκρασίας ανόπτησης ενός μετάλλου μετά από ψυχρή κατεργασία .

## ΣΚΟΠΟΣ

Το περιεχόμενο της άσκησης αυτής είναι με ποιούς παράγοντες , ποιές συνθήκες μπορούμε να αναπτύξουμε κόκκους ( θερμοκρασία , χρόνος θέρμανσης , τρόπος ψύξης ) .

## ΟΡΓΑΝΑ – ΥΛΙΚΑ

1. Σκληρόμετρο
2. Δοκίμιο το οποίο έχει υποστεί ενδοτράχυνση
3. Δύο φούρνοι
4. Χρονόμετρο

## ΠΟΡΕΙΑ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η ράβδος αλουμινίου της άσκησης της έλασης η οποία υπέστη πλαστική παραμόρφωση (ενδοτράχυνση) κόβεται σε πέντε ίσα κομμάτια .

Τα τρία κομμάτια τοποθετούνται στον φούρνο 1 και σε σταθερή θερμοκρασία  $400^{\circ}\text{C}$  και παραμένουν μέσα σ'αυτόν 30 , 60 , 90 min αντίστοιχα .

Μετά αφού τα βγάλουμε έξω από τον φούρνο και τα αφήσουμε να ψυχθούν ήρεμα σε θερμοκρασία περιβάλλοντος , μετράμε την σκληρότητά τους και τις τιμές της σκληρότητας τις καταχωρούμε στον πίνακα της άσκησης .

Τα άλλα δύο κομμάτια τα τοποθετούμε στον φούρνο 2 και για χρονική διάρκεια 30 min . Το πρώτο κομμάτι παραμένει για την ανωτέρω χρονική διάρκεια 30 min στην θερμοκρασία των  $350^{\circ}\text{C}$  και το δεύτερο για την ίδια χρονική διάρκεια των 30 min στην θερμοκρασία των  $450^{\circ}\text{C}$

Μετά την ήρεμη απόψυξη μετράμε την σκληρότητα των κομματιών και τις τιμές τις καταχωρούμε στον πίνακα της άσκησης .

## ΖΗΤΟΥΜΕΝΑ

Χάραξη των παρακάτω διαγραμμάτων σε μελιμετρέ χαρτί .

- 1) διάγραμμα σκληρότητας συναρτήσει του χρόνου παραμονής ( θερμοκρασία σταθερή )
- 2) διάγραμμα σκληρότητας συναρτήσει της θερμοκρασίας ( χρόνος παραμονής σταθερός )

**ΠΙΝΑΚΑΣ ΑΝΑΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗΣ**

Α/Α Δοκιμής	Α/Α Φούρνου	Θερμοκρασία ( °C )	Χρόνος παραμονής στο φούρνο ( min )	Σκληρομέτρηση ROCKWELL ( HR.... )		
				Σκληρότητα πριν την έλαση	Σκληρότητα μετά την έλαση	Σκληρότητα μετά την ανακρυστάλλωση
1	1					
2						
3						
4	2					
5						
6						