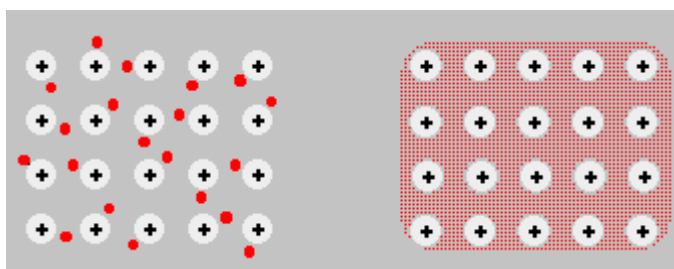


1Α. ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

Τα περισσότερα μέταλλα είναι στερεά σώματα στις συνήθεις συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας. Εξαιρέση αποτελεί ο υδράργυρος (Hg) που είναι υγρό (σ.τ. $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$). Τα στερεά σώματα μπορεί να βρίσκονται σε κρυσταλλική ή σε άμορφη κατάσταση ή σε συνδυασμό των δύο αυτών. Στην κρυσταλλική κατάσταση τα δομικά σωματίδια του υλικού (τα οποία μπορεί να είναι άτομα, μόρια ή ιόντα) διατάσσονται στο χώρο κανονικά με επαναλαμβανόμενο και συμμετρικό τρόπο. Η άμορφη κατάσταση χαρακτηρίζεται από τυχαία και μη κανονική διάταξη των δομικών σωματιδίων του υλικού στο χώρο. Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μετάλλων είναι η μεταλλική λάμψη, η υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα, η μεγάλη σκληρότητα, οι σημαντικές μηχανικές αντοχές, η πλαστικότητα, η ελατότητα, η ολκιμότητα, καθώς και η ικανότητά τους να λαμβάνουν οποιοδήποτε σχήμα με τη χύτευση, δηλαδή όταν μεταφερθούν σε κατάλληλα καλούπια σε μορφή τήγματος και αφεθούν να ψυχθούν.

Οι ιδιότητες των μετάλλων ερμηνεύονται με τις θεωρίες του μεταλλικού δεσμού. Μια τέτοια θεωρία, είναι η θεωρία των ελεύθερων ηλεκτρονίων, που διατυπώθηκε από τον P. Drude το 1900. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων του μετάλλου θεωρούνται ελεύθερα και κινούνται επηρεαζόμενα από το στατικό ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργούν τα κατιόντα του κρυσταλλικού πλέγματος, σχηματίζοντας έτσι ένα ενιαίο ηλεκτρονιακό νέφος. Μεταξύ των ηλεκτρονίων και των κατιόντων του πλέγματος αναπτύσσονται ελκτικές δυνάμεις ηλεκτροστατικής φύσης (δυνάμεις Coulomb), οι οποίες συγκρατούν τα άτομα ενωμένα σε μια ενιαία διάταξη, το μεταλλικό πλέγμα (Σχήμα 1).



Σχήμα 1. Σχηματική απεικόνιση δημιουργίας του μεταλλικού δεσμού.

Η θεωρία των ζωνών ή ταινιών (band theory) ερμηνεύει το μεταλλικό δεσμό με όρους της κβαντικής θεωρίας. Χρησιμοποιεί τη θεωρία των μοριακών τροχιακών κατά την οποία η αλληλεπίδραση 2 ατόμων οδηγεί στο σχηματισμό ισάριθμων μοριακών τροχιακών. Το ένα απ' αυτά, το δεσμικό, έχει μικρότερη ενέργεια από το άλλο, το αντιδεσμικό. Έτσι, τα ηλεκτρόνια σθένους συμπληρώνουν ως ζεύγος το δεσμικό τροχιακό, και ανήκουν πλέον από κοινού στο σύστημα των ατόμων. Στο μεταλλικό δεσμό ο αριθμός των συνδυαζόμενων ατόμων είναι πολύ μεγάλος, οπότε και ο αριθμός των μοριακών τροχιακών είναι εξ' ίσου

πολύ μεγάλος. Τα μοριακά τροχιακά αυτά έχουν πολύ μικρή ενεργειακή διαφορά ώστε να μπορεί να θεωρηθεί ότι σχηματίζεται μια ζώνη (ταινία) ενέργειας που είναι πρακτικά συνεχής. Συνεπώς, η μετάπτωση των ηλεκτρονίων από τη μία ενεργειακή στάθμη στην άλλη είναι πρακτικά ελεύθερη, αφού για το σκοπό αυτό χρειάζονται αμελητέα ποσά ενέργειας. Οι ενεργειακές αυτές ζώνες μπορεί να είναι πλήρεις ή μερικώς πληρωμένες με ηλεκτρόνια ή ακόμα κενές, καθορίζοντας έτσι τις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του μετάλλου.

Ο μεταλλικός δεσμός προσδίδει στα μέταλλα ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες που καθορίζουν τον μεταλλικό χαρακτήρα. Έτσι:

- Τα μέταλλα έχουν μεταλλική λάμψη και γενικά είναι σκληρά υλικά. Όταν φως ορισμένης συχνότητας, πέσει πάνω στην επιφάνεια ενός μετάλλου, τότε τα χαλαρά συγκρατούμενα ηλεκτρόνια της επιφάνειάς του, απορροφούν την ενέργεια της ακτινοβολίας την οποία στη συνέχεια εκπέμπουν ξανά υπό τη μορφή φωτός. Το εκπεμπόμενο φως προσδίδει στα μέταλλα χαρακτηριστική μεταλλική λάμψη.
- Τα μέταλλα είναι ελατά, δηλαδή μετατρέπονται σε λεπτά μεταλλικά φύλλα (ελάσματα) και όλκιμα, δηλαδή μετατρέπονται σε λεπτά σύρματα όταν διέρχονται μέσα από ολκό.
- Τα μέταλλα είναι θερμικά και ηλεκτρικά αγωγά, ιδιότητες που οφείλονται στην κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων .

Οι τεχνολογικές ιδιότητες αναφέρονται στη συμπεριφορά των μετάλλων στις διάφορες μηχανικές και θερμικές κατεργασίες, όπως είναι η ολκιμότητα, η χυτευσιμότητα, η συγκολλησιμότητα και η ελατότητα.

- Ολκιμότητα είναι η ιδιότητα των μετάλλων να αποκτούν μορφή σύρματος, όταν υποβάλλονται σε εφελκυστικές τάσεις σε ειδική συσκευή (ολκό).
- Συγκολλησιμότητα είναι η ιδιότητα να συγκολλώνται δύο κομμάτια του ίδιου μετάλλου χωρίς να μειώνονται οι μηχανικές ιδιότητες στη διατομή της συγκόλλησης.
- Χυτευσιμότητα είναι η ικανότητα των μετάλλων να αποκτούν οποιοδήποτε επιθυμητό σχήμα, όταν χυθούν σε κατάλληλα καλούπια σε κατάσταση τήγματος.
- Ελατότητα είναι η ικανότητα των μετάλλων να μεταβάλλεται μόνιμα το σχήμα τους υπό την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων. Η μεταβολή του σχήματος των μετάλλων γίνεται είτε εν ψυχρώ ή σε θερμοκρασία περιβάλλοντος ή εν θερμώ ή σε θερμοκρασία ερυθροπύρωσης.

Οι μηχανικές ιδιότητες αναφέρονται στην καταπόνηση των υλικών υπό την επίδραση διάφορων εξωτερικών δυνάμεων, όπως καταπόνηση σε θλίψη, εφελκυσμό, κρούση κ.ά. και αποτελούν σημαντικό κριτήριο κατά τον ποιοτικό έλεγχο των υλικών.

Το είδος της κρυσταλλικής δομής ενός μετάλλου ή ενός κράματος επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού. Έτσι για παράδειγμα τα μέταλλα που αποτελούνται από κυβικό ενδοκεντρωμένο μεταλλικό πλέγμα, όπως ο σίδηρος, εμφανίζουν γενικά μεγάλη μηχανική αντοχή. Τα μέταλλα με εξαγωνικό πλέγμα, όπως το μαγνήσιο και ο ψευδάργυρος, δε

σφυρηλατούνται καλά. Η πολύ καλή ολκιμότητα του χρυσού και του χαλκού οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο κυβικό μεταλλικό πλέγμα τους.

Τα περισσότερα μέταλλα και κράματα κατά τη βιομηχανική διαδικασία παραγωγής τους τήκονται και μετά χυτεύονται σε καλούπια όπου και στερεοποιούνται παίρνοντας την τελική τους μορφή. Κατά τη στερεοποίηση των μετάλλων και των κραμάτων διακρίνονται τα παρακάτω στάδια:

- Σχηματισμός σταθερών πυρήνων στο τήγμα (πυρηνοποίηση).
- Ανάπτυξη των πυρήνων σε κρυστάλλους (δενδριτική ανάπτυξη).
- Σχηματισμός της τελικής δομής (ολοκλήρωση της δομής των κόκκων).

Αρχικά σχηματίζονται σε τυχαίες θέσεις μέσα στο τήγμα σταθεροί πυρήνες κρυστάλλωσης, προερχόμενοι από συσσωμάτωση μικρού αριθμού ατόμων. Οι πυρήνες αυτοί στη συνέχεια αναπτύσσονται σε κρυστάλλους με προσθήκη νέων ατόμων σε θέσεις που προβλέπονται από το κρυσταλλικό σύστημα στο οποίο κρυσταλλώνεται το συγκεκριμένο μέταλλο. Οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται με διαφορετικό προσανατολισμό στο χώρο. Καθώς συνεχίζεται η στερεοποίηση δημιουργούνται νέοι πυρήνες κρυστάλλωσης σε νέες τυχαίες θέσεις. Όταν γειτονικοί κρύσταλλοι συναντώνται, σταματά η ανάπτυξή τους, συνεπώς όταν ολοκληρωθεί η στερεοποίηση οι κρύσταλλοι εφάπτονται μεταξύ τους. Οι κρύσταλλοι αυτοί ονομάζονται κρυσταλλίτες ή κόκκοι και οι διεπιφάνειες μεταξύ τους όρια κόκκων. Τα όρια των κόκκων είναι περιοχές υψηλότερης ενέργειας. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα άτομα στα όρια των κόκκων να παρουσιάζουν μεγαλύτερη χημική δραστηριότητα από ότι τα άτομα των γειτονικών κόκκων με αποτέλεσμα να υφίστανται επιλεκτική διάβρωση.

Το στερεοποιημένο μέταλλο δεν παρουσιάζει μια συνεχόμενη κρυσταλλική δομή σε όλη τη μάζα του, δηλαδή δεν είναι μονοκρύσταλλος, αλλά αποτελείται από πολλούς κόκκους, δηλαδή είναι ένα πολυκρυσταλλικό υλικό.

Οι κόκκοι στην περίπτωση των καθαρών μετάλλων διαφέρουν ως προς τον προσανατολισμό του κρυσταλλικού τους πλέγματος στο χώρο. Στην περίπτωση κραμάτων οι κόκκοι μπορεί να διαφέρουν και ως προς τη χημική σύσταση και ως προς την κρυσταλλική δομή, οπότε αποτελούν και διαφορετικές φάσεις στη μάζα του υλικού.

Το μέγεθος των κόκκων ποικίλλει από περίπου 1 μm έως μερικά cm, ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής του μετάλλου και τις κατεργασίες στις οποίες έχει υποβληθεί. Γενικά απότομη ψύξη κατά τη στερεοποίηση τήγματος του μετάλλου έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία πολλών πυρήνων κρυστάλλωσης και επομένως σε λεπτόκοκκο υλικό, ενώ αργή ψύξη οδηγεί σε χονδρόκοκκο υλικό. Ένα χονδρόκοκκο μεταλλικό υλικό εμφανίζει μικρότερη αντοχή, μικρότερη σκληρότητα και καλύτερη ελατότητα από ίδιου είδους λεπτόκοκκο υλικό. Επιπλέον ένα λεπτόκοκκο μεταλλικό υλικό εμφανίζει μεγαλύτερη ηλεκτρική αντίσταση σε σχέση αντίστοιχο χονδρόκοκκο.

Τα μέταλλα γενικά δε χρησιμοποιούνται σε τελείως καθαρή μορφή. Συνήθως τα περισσότερα μεταλλικά βιομηχανικά μεταλλικά υλικά είναι κράματα, δηλαδή συνδυασμούς μετάλλων με άλλα μέταλλα ή αμέταλλα (κραματικά στοιχεία), ώστε το μεταλλικό υλικό που προκύπτει να εμφανίζει βελτιωμένες ιδιότητες, όπως μεγαλύτερη αντοχή ή αντοχή στη διάβρωση. Ο απλούστερος τύπος κράματος είναι το στερεό διάλυμα. Ένα στερεό διάλυμα αποτελείται από δύο ή περισσότερα στοιχεία τα άτομα των οποίων είναι διεσπαρμένα σε μια μόνο φάση. Στα στερεά διαλύματα τα διαφορετικά άτομα από τα οποία αποτελούνται σχηματίζουν κοινό κρυσταλλικό πλέγμα. Το συστατικό που περιλαμβάνεται σε μεγαλύτερο ποσοστό στο κράμα, και του οποίου το κρυσταλλικό πλέγμα διατηρείται στο σχηματιζόμενο στερεό διάλυμα, ονομάζεται «διαλύτης», ενώ το προστιθέμενο σε μικρότερη ποσότητα κραματικό στοιχείο ονομάζεται «διαλυμένο» στοιχείο. Όπως και στα υγρά διαλύματα έτσι και στα στερεά υπάρχει μια μέγιστη ποσότητα από το διαλυμένο στοιχείο που μπορεί να διαλυθεί στο διαλύτη (μέγιστη διαλυτότητα), η οποία εξαρτάται από το είδος των ατόμων και από τη θερμοκρασία.

Στη κρυσταλλική δομή των μεταλλικών υλικών εμφανίζονται διάφορα είδη ατελειών της δομής (αταξίες), οι οποίες επηρεάζουν τις μηχανικές και ηλεκτροχημικές ιδιότητες του μεταλλικού υλικού. Οι ατέλειες της κρυσταλλικής δομής διακρίνονται σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με τη γεωμετρία και τη μορφή τους:

- Ατέλειες μηδενικής διάστασης ή σημειακές ατέλειες
- Ατέλειες μιας διάστασης ή γραμμικές ατέλειες (διαταραχές)
- Ατέλειες δύο διαστάσεων ή επίπεδες ατέλειες
- Ατέλειες τριών διαστάσεων

ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

Υλικά

- Δοκίμια μεταλλικών υλικών σε διάφορα σχήματα και μεγέθη.
- Αναλυτικός ή ημιαναλυτικός ζυγός.
- Διαστημόμετρο με βερνιέρο.
- Λαβίδα

Πειραματική πορεία

Δίνονται ορισμένα δοκίμια μεταλλικών υλικών. Για καθένα από αυτά:

- α) μετρήστε τη μάζα του χρησιμοποιώντας το ζυγό.
- β) μετρήστε τις διαστάσεις του με το διαστημόμετρο.
- γ) προσδιορίστε τον όγκο και τη πυκνότητα του υλικού.

Πίνακας 1. Πυκνότητα ορισμένων μετάλλων (χημικά καθαρή μορφή) σε συνθήκες περιβάλλοντος.

Μέταλλο	Πυκνότητα (g/cm ³)
Αλουμίνιο (Al)	2.70
Μαγνήσιο (Mg)	1.74
Σίδηρος (Fe)	7.86
Τιτάνιο (Ti)	4.50
Χαλκός (Cu)	8.94
Ψευδάργυρος (Zn)	7.14
Άργυρος (Ag)	10.50
Κασσίτερος (Sn)	7.28

ΕΡΩΤΗΣΗ

Η ατομική πυκνότητα ενός χημικού στοιχείου ορίζεται ως ο αριθμός ατόμων του στοιχείου ανά μονάδα όγκου (N/V). Με δεδομένα τη πυκνότητα (d) και το ατομικό βάρος (aw) του σιδήρου (Fe), που είναι $d = 7.86 \text{ g/cm}^3$, $aw = 55.85$, να υπολογίσετε την ατομική πυκνότητα του σιδήρου. Δίνεται ο αριθμός Avogadro $N = 6.022 \cdot 10^{23}$ άτομα/mol. Εκφράστε το αποτέλεσμα σε άτομα ανά cm^3 και σε άτομα ανά μm^3 .