

# Κεφάλαιο 1

## 1.1 Υλικά

Βασικός σκοπός της Τεχνολογίας Παραγωγής, είναι η περιγραφή της παραγωγικής διαδικασίας αντικειμένων επιθυμητής μορφής και ιδιοτήτων.

Για την παραγωγή αυτή χρησιμοποιούνται διάφορες πρώτες ύλες που μορφοποιούνται με τη βοήθεια εργαλειομηχανών. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται, είναι κυρίως μέταλλα, πλαστικά, ξύλα κ.α. Στις σημειώσεις αυτές θα περιοριστούμε στις μηχανουργικές κατεργασίες των μετάλλων, αν και τα πλαστικά, ιδίως τα ενισχυμένα με ίνες, χρησιμοποιούνται διαρκώς και σε μεγαλύτερο αριθμό κατασκευών. Πάντως, οι βασικοί τύποι κατεργασιών, δηλαδή η χύτευση και η κοπή, δε διαφέρουν αισθητά από υλικό σε υλικό.

Οι διάφοροι τύποι μετάλλων μπορούν να χωριστούν σε δύο μεγάλες κατηγορίες, στο σίδηρο και στα κράματά του αφ' ενός, και αφ' ετέρου στα υπόλοιπα μέταλλα και κράματά τους.

Οι ιδιότητες των μετάλλων, των κραμάτων, οι τρόποι κατασκευής τους, και οι διάφορες θερμικές κατεργασίες, είναι αντικείμενα της Μεταλλουργίας και της Μεταλλογνωσίας. Πάντως, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθούν ορισμένα στοιχεία για τα θέματα αυτά, για να γίνουν στη συνέχεια σαφέστερα τα προβλήματα κατεργασίας που παρουσιάζονται και οι εφαρμοζόμενες λύσεις.

## 1.2. Ο σίδηρος και τα κράματά του

Ο σίδηρος πολύ σπάνια χρησιμοποιείται στη χημικά καθαρή του μορφή. Συνήθως είναι αναμειγμένος με άλλα στοιχεία, όπως άνθρακα, μαγγάνιο, νικέλιο, χρώμιο, πυρίτιο, κ.α. Αναλόγως των ιδιοτήτων και του τρόπου παρασκευής τους, διακρίνουμε τις έξης γενικές κατηγορίες κραμάτων σιδήρου:

- I. Ακατέργαστος χυτοσίδηρος.
- II. Χυτοσίδηρος χυτηρίου.
- III. Χάλυβες άνθρακα.

#### ○ IV. Κράματα χάλυβα.

Αναλυτικά οι κατηγορίες αυτές έχουν ως εξής:

##### I. Ακατέργαστος χυτοσίδηρος

Ο τύπος αυτός του χυτοσιδήρου προέρχεται απ' ευθείας από την υψικάμινο, υπό μορφή ακατέργαστων κομματιών διαφόρων σχημάτων. Υπό τη μορφή αυτή ο χυτοσίδηρος δε χρησιμοποιείται, γιατί δεν είναι εύκολη η κατεργασία του, και δεν έχει τις κατάλληλες μηχανικές ιδιότητες. Οι περιεκτικότητες του χυτοσιδήρου αυτού σε στοιχεία είναι, σίδηρος (Fe) 92-97%, άνθρακας (C) 0.25-3.51%, μαγγάνιο (Mn) 0.5-1.5%, πυρίτιο (Si) 0.5-4%, θείο (S) 0.02-0.5% και φώσφορος (P) 0.1-0.3% .

Ο άνθρακας στο χυτοσίδηρο παρουσιάζεται με δύο μορφές, ενωμένος με το σίδηρο υπό μορφή καρβιδίου, οπότε ο χυτοσίδηρος τείνει να πάρει χρώμα προς το άσπρο, και υπό μορφή σφαιροειδούς γραφίτη, οπότε ο χυτοσίδηρος έχει το χρώμα της στάχτης. Από τις δύο αυτές μορφές είναι προτιμότερη, στη μηχανουργία, η μορφή με τη μεγαλύτερη δυνατή περιεκτικότητα σε σφαιροειδή γραφίτη. Οι τύποι αυτοί του χυτοσιδήρου παρουσιάζουν μικρότερη σκληρότητα και ρευστότητα στην υγρή κατάσταση. Η παρουσία του πυριτίου υποβοηθά τη δημιουργία γραφίτη. Το θείο δεν είναι ιδιαίτερα επιθυμητό σε μεγάλα ποσοστά, γιατί αυξάνει τη σκληρότητα του χυτοσιδήρου. Αντίθετα, η παρουσία μαγγανίου είναι πολύ επιθυμητή, γιατί δεσμεύει το θείο, μειώνει τη σκληρότητα του χυτοσιδήρου και αυξάνει τη ρευστότητα του μετάλλου.

Η παρουσία του φωσφόρου σε μικρά ποσοστά βελτιώνει πολύ τη ρευστότητα του χυτοσιδήρου, πράγμα πολύ σημαντικό για την κατασκευή χυτών αντικειμένων. Σε μεγάλα ποσοστά, ο φώσφορος καθιστά τον χυτοσίδηρο ψαθυρό και πορώδη.

##### II. Χυτοσίδηρος χυτηρίου

Ο ακατέργαστος χυτοσίδηρος της υψικαμίνου για να γίνει υλικό κατάλληλο για χύτευση, υφίσταται διάφορες θερμικές κατεργασίες σε ρευστή κατάσταση και προστίθενται και διάφορα άλλα μέταλλα για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του. Τα συνηθισμένα στοιχεία που προστίθενται στο κράμα είναι, το νικέλιο (Ni) σε ποσοστά 2.5-6%, και σε χυτοσιδήρους μεγάλης αντοχής έως 20%, το χρώμιο (Cr) σε ποσοστά 0.5-4%, το αλουμίνιο, το μολυβδένιο (Mo), ο χαλκός (Cu), κ.α.

##### III. Χάλυβες άνθρακα

Οι χάλυβες του τύπου αυτού περιέχουν κυρίως σίδηρο και άνθρακα σε ποσοστά που ποικίλουν από 0 έως 1.81%. Για την παραγωγή των χαλύβων αυτών χρησιμοποιείται ακατέργαστος χυτοσίδηρος και κομμάτια παλαιού χάλυβα, τα οποία αφού θερμανθούν μέχρι ρευστοποίησεως σε καμίνους τύπου BESSEMER<sup>1</sup> ή ηλεκτρικούς υφίστανται μείωση του περιεχομένου άνθρακα με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα που διοχετεύεται στη ρευστή μάζα του μετάλλου.

Αναλόγως της περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα, μεταβάλλονται και οι μηχανικές ιδιότητές του. Γενικά, οι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα παρουσιάζουν μεγαλύτερο σημείο θραύσεως και σκληρότητα, αλλά μικρότερη αντοχή σε κρουστικά φορτία.

Οι μηχανουργικές ιδιότητες των χαλύβων είναι δυνατό να βελτιωθούν με διάφορες μηχανικές κατεργασίες, όπως η σφυρηλάτηση ή η έλαση, καθώς και με διάφορες θερμικές κατεργασίες, όπως η ανόπτηση, η αναθέρμανση, η βαφή, κ.α. Επίσης, είναι

---

<sup>1</sup> Η μέθοδος Bessemer ήταν η πρώτη βιομηχανική μέθοδος μαζικής παραγωγής χάλυβα. Η μέθοδος πήρε το όνομα της από τον Henry Bessemer το 1855.

δυνατή η επιφανειακή χημική επεξεργασία του χάλυβα για τη βελτίωση τοπικά των ιδιοτήτων του. Παρόμοιες επεξεργασίες είναι η ενανθράκωση, η εναζώτωση, για την αύξηση της επιφανειακής σκληρότητας του μετάλλου, οι διάφορες επιμεταλλώσεις, κ.α. Οι κατεργασίες αυτές δεν είναι ιδιαίτερο χαρακτηριστικό των χαλύβων άνθρακα, αλλά χρησιμοποιούνται κατά κόρον και στα λοιπά είδη χάλυβα.

Το βασικό πλεονέκτημα των χαλύβων άνθρακα είναι η χαμηλή τιμή τους σε σχέση με τα άλλα κράματα χάλυβα, δεν παρουσιάζουν όμως την ποικιλία ιδιοτήτων που απαιτεί η σύγχρονη τεχνολογία.

#### **IV. Κράματα χάλυβα (κραματωμένοι χάλυβες).**

Τα κράματα χάλυβα είναι δυνατόν να διαχωριστούν στις έξης κατηγορίες:

1. Χάλυβες Μαγγανίου.
2. Χάλυβες Νικελίου.
3. Χάλυβες Νικελίου-Χρωμίου, Νικελίου-Χρωμίου-Μολυβδενίου, Νικελίου-Χρωμίου-Βαναδίου.
4. Χάλυβες Χρωμίου.
5. Χάλυβες Μολυβδενίου.
6. Χάλυβες Χρωμίου-Μολυβδενίου.
7. Ανοξειδωτοι Χάλυβες.
8. Χάλυβες Πυριτίου.
9. Ταχυχάλυβες.

Αναλυτικά οι κατηγορίες αυτές έχουν ως έξης:

##### **1. Χάλυβες Μαγγανίου.**

Γενικά όλοι οι χάλυβες περιέχουν μαγγάνιο σε μικρά ποσοστά. Το μαγγάνιο σε μικρά ποσοστά 1-2% βελτιώνει την αντοχή, ολκιμότητα, και αντοχή σε κρούση των χαλύβων άνθρακα. Το μαγγάνιο σε μεγάλα ποσοστά 10-15%, δημιουργεί με βαφή και κατεργασία εν ψυχρώ, μεγάλη επιφανειακή σκληρότητα και αντοχή σε φθορά. Η κατεργασία των χαλύβων αυτών απαιτεί κοπτικά εργαλεία μεγάλης σκληρότητας.

##### **2. Χάλυβες Νικελίου.**

Το νικέλιο χρησιμοποιείται σε διάφορες αναλογίες που κυμαίνονται από 6 έως και άνω του 50% σε νικέλιο. Το νικέλιο σε μικρά ποσοστά βελτιώνει την αντοχή, τη σκληρότητα και την ολκιμότητα του χάλυβα. Επίσης, διευκολύνει τη θερμική κατεργασία και τη βαφή.

Σε μεγάλες περιεκτικότητες το νικέλιο αυξάνει τη σκληρότητα του χάλυβα και βελτιώνει την αντοχή σε φθορά. Επίσης, μειώνει το συντελεστή διαστολής και βελτιώνει τις μαγνητικές ιδιότητες του υλικού.

##### **3. Χάλυβες Νικελίου-Χρωμίου-Μολυβδενίου-Βαναδίου.**

Οι χάλυβες νικελίου-χρωμίου είναι η συνηθέστερα χρησιμοποιούμενη κατηγορία χαλύβων. Οι χάλυβες αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις που είναι απαραίτητη η υψηλή μηχανική αντοχή και σκληρότητα.

Οι περιεκτικότητες σε στοιχεία των χαλύβων αυτών είναι:

- ✓ Άνθρακας 0.1-0.55%
- ✓ Νικέλιο 1.0-4.75%
- ✓ Χρώμιο 0.45-1.75%

- ✓ Μαγγάνιο 0.3-0.81%

Το μολυβδένιο προστιθέμενο στο κράμα του χρωμιονικελιούχου χάλυβα βελτιώνει την αντοχή σε κρούση και διευκολύνει τις θερμικές κατεργασίες του μετάλλου, μειώνοντας έτσι το κόστος κατασκευής. Τα χρησιμοποιούμενα ποσοστά είναι 0.3-0.6%. Το βανάδιο (V) χρησιμοποιείται για τη βελτίωση της αντοχής του κράματος σε δυναμικά φορτία και την αύξηση της σκληρότητας. Χρησιμοποιείται σε ποσοστά 0.2%, ή και σε μεγαλύτερα για τη κατασκευή κοπτικών εργαλείων.

#### 4. Χάλυβες Χρωμίου.

Το χρώμιο προστιθέμενο σε μικρά ποσοστά 0.2-1.6% αυξάνει το όριο θραύσεως του χάλυβα μαγγανίου.

#### 5. Χάλυβες Μολυβδενίου.

Το μολυβδένιο προστιθέμενο σε ποσοστό 0.2-0.7% βελτιώνει την ολκιμότητα του χάλυβα άνθρακα, και χρησιμοποιείται για χύτευση, έλαση και σφυρηλάτηση.

#### 6. Χάλυβες Χρωμίου-Μολυβδενίου.

Οι χάλυβες της κατηγορίας αυτής περιέχουν χρώμιο σε ποσοστά 0.4-10% και μολυβδένιο 0.2-1.5% και παρουσιάζουν μεγάλη μηχανική αντοχή και ολκιμότητα. Χρησιμοποιούνται για χύτευση, έλαση και σφυρηλάτηση.

#### 7. Ανοξειδωτοι χάλυβες.

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες περιέχουν μεγάλα ποσοστά νικελίου 0-26% και χρωμίου 4-22%. Ο συνηθέστερος τύπος ανοξειδωτου χάλυβα, ο 18/8 περιέχει 18% χρώμιο και 8% νικέλιο. Οι χάλυβες αυτοί παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην οξείδωση, και μετά από ακριβή θερμική κατεργασία, σημαντική αντοχή, ολκιμότητα και αντοχή σε κρούση.

#### 8. Χάλυβες Πυριτίου.

Το πυρίτιο υπάρχει σε μικρά ποσοστά σε όλους τους τύπους των χαλύβων. Σε ποσοστά 0.6-0.9% το πυρίτιο αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε κόπωση, γι' αυτό το λόγο οι χάλυβες αυτοί χρησιμοποιούνται για την κατασκευή ελατηρίων. Επίσης, ο χάλυβας με ποσοστά 0.05% άνθρακα, 0.3% μαγγάνιο και 3.4% πυρίτιο παρουσιάζει μικρή μαγνητική υστέρηση και χρησιμοποιείται για την κατασκευή ηλεκτρικών μηχανών.

#### 9. Ταχυχάλυβες.

Για την κατασκευή κοπτικών εργαλείων χρησιμοποιούνται ειδικά κράματα χάλυβα με μεγάλες περιεκτικότητες σε Βολφράμιο (W) και Κοβάλτιο (Co). Τυπικές αναλογίες δίδονται στον Πίνακα 1. Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται και για την κατασκευή καλουπιών.

Η θερμική κατεργασία των κραμάτων αυτών γίνεται ως εξής: Το κράμα θερμαίνεται στην αρχή πολύ αργά για να αποφευχθεί θραύση, στη συνέχεια η θερμοκρασία πρέπει να αυξηθεί απότομα στους 800°C, έως τη θερμοκρασία βαφής 1250- 1400°C.

Η βαφή γίνεται σε αέρα ή σε λάδι ή σε λειωμένο μολύβι. Στη συνέχεια ακολουθεί αναθέρμανση μέχρι θερμοκρασίας 600°C για την αύξηση της σκληρότητας σε 700 Brinell (HB).

Πίνακας 1. Κράματα κατασκευής κοπτικών εργαλείων

C	Mn	Si	W	Cr	Va	Cb	Mo
0.78	0.3	0.25	18.5	4.2	1.1	-	-
0.79	0.3	0.25	14-20	4.5	1.4	4-6	-
0.90	0.3	0.3	6	4.0	2-4	-	5
1.2	0.37	0.35	2.5	-	1.75-2.5	-	8.5

Η σκληρότητα αυτή δεν είναι ιδιαίτερα υψηλή και επιτυγχάνεται εύκολα με κοινούς χάλυβες άνθρακα. Το βασικό πλεονέκτημα των ταχυχαλύβων είναι η ικανότητά τους να διατηρούν τη σκληρότητα αυτή σε υψηλές θερμοκρασίες έως 600οC.

Οι ταχυχάλυβες παρά τη μεγάλη τεχνολογική πρόοδο που επέφεραν με την εμφάνισή τους, σήμερα τείνουν να αντικατασταθούν σαν κοπτικά εργαλεία από τα καρβίδια.

Στους πίνακες 2 και 3, δίδονται χαρακτηριστικά στοιχεία διαφόρων τύπων χυτοσιδήρων και χαλύβων.

#### V. Θερμικές κατεργασίες χαλύβων

Η επίτευξη των παραπάνω μηχανικών ιδιοτήτων είναι αποτέλεσμα όχι μόνο της χημικής σύνθεσης του κράματος, αλλά και των θερμικών και μηχανικών κατεργασιών, που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή.

Πίνακας 2. Στοιχεία διαφόρων τύπων χυτοσιδήρων

Χυτοσίδηρος	C	Si	Mn	Ni	Αντοχή (kp/mm <sup>2</sup> )	Brinell (HB)
Χυτοσίδηρος χυτηρίου	3.3	1.8	0.7	1.5	28	220
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (χυτό)	3.2	4.6	0.88	1.1	45	280
Χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη (αναθέρμανση)	3.2	4.6	0.88	1.1	35	180

Πίνακας 3. Στοιχεία διαφόρων τύπων χαλύβων.

Χάλυβας	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo	Άλλα	Αντοχή (kp/mm <sup>2</sup> )
Άνθρακος	0.10	0.10	1.0	-	-	-	S,P	23
"	0.50	0.20	0.7	-	-	-	S,P	50
Νικελίου	0.40	0.20	1.5	0.8	-	-	S,P	40
Χρωμίου	0.60	0.20	0.7	-	0.65	-	S,P	60
Μαγγανίου	0.20	0.20	1.5	0.4	0.25	-	S,P	40

"	0.35	0.20	1.5	-	-	-	S,P	45
Μαγγανίου-Μολυβδενίου	0.35	0.20	1.5	-	-	0.3	S,P	55
Νικελίου-Χρωμίου	0.30	0.20	0.60	3.0	0.7	0.65	S,P	60
Νικελίου-Χρωμίου Μολυβδενίου	0.4	0.20	0.60	1.5	1.2	0.3	S,P	100
Νικελίου-Μολυβδενίου	0.2	0.2	0.50	2.0	-	0.25	S,P	45
Νικελίου-Χρωμίου-Μολυβδενίου-Βαναδίου	0.4	0.2	0.60	0.4	3.0	1.0	Va 1%	85
Ανοξειδωτος	0.15	0.2	2.0	10.0	19	-	Ti 0.6	35

Οι κυριότερες θερμικές κατεργασίες των χαλύβων είναι οι ακόλουθες:

### 1. Ανόπτηση

Η κατεργασία αυτή συνίσταται στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασίες ανώτερες της κρίσιμης στην ωστενιτική περιοχή και στην αργή ψύξη, σε κατάλληλη κάμινο ρυθμιζόμενης θερμοκρασίας.

Η θερμική αυτή κατεργασία εφαρμόζεται συνήθως σε χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0.35% και έχει σαν αποτέλεσμα τη μείωση του ορίου θραύσης και ελαστικότητας, με αντίστοιχη αύξηση της ολκιμότητας του υλικού.

### 2. Επαναφορά

Η επαναφορά συνίσταται στη θέρμανση του χάλυβα σε θερμοκρασίες ανώτερες της κρίσιμης και στη συνέχεια στην ψύξη του στον αέρα. Σκοπός της θερμικής αυτής κατεργασίας, είναι η βελτίωση της κρυσταλλικής δομής του μετάλλου και χρησιμοποιείται συνήθως μετά από θερμές κατεργασίες, παραμόρφωση, σφυρηλάτηση, έλαση κλπ.

### 3. Εξομάλυνση

Η θερμική αυτή κατεργασία χρησιμοποιείται για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων που δημιουργούνται κατά τις ψυχρές κατεργασίες των μετάλλων. Στην εξομάλυνση ο χάλυβας θερμαίνεται σε θερμοκρασία περίπου 650°C σε κατάλληλες καμίνους.

### 4. Επιφανειακή σκλήρυνση

Η επιφανειακή σκλήρυνση είναι μια θερμική και χημική κατεργασία των χαλύβων, η οποία αποβλέπει στην τοπική βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους, σε περιοχές όπου προβλέπονται υψηλές καταπονήσεις ή συνθήκες έντονης φθοράς. Η μέθοδος αυτή συνίσταται στην αύξηση των ποσοστών περιεκτικότητας του χάλυβα σε άνθρακα ή άζωτο, στην επιφάνεια του κατεργαζόμενου αντικειμένου. Τούτο επιτυγχάνεται με τη θέρμανση του αντικειμένου σε περιβάλλον με περίσσεια άνθρακα ή αζώτου. Οι χρησιμοποιούμενες θερμοκρασίες είναι της τάξης των 1000°C στην περίπτωση της εναζώτωσης. Γενικά το πάχος του επιφανειακού στρώματος που επηρεάζεται από την εναζώτωση είναι μικρό περίπου 0.75mm και συνήθως αυξάνεται η ευθραυστότητά του. Η ενανθράκωση γενικά εισχωρεί σε μεγαλύτερα βάθη που φθάνουν τα 2.5 mm και παρουσιάζει καλύτερες μηχανικές ιδιότητες αντοχής. Από την άποψη όμως της σκληρότητας η εναζώτωση υπερτερεί. Η

ενανθράκωση πραγματοποιείται συνήθως με θέρμανση του χάλυβα σε ατμόσφαιρα πλούσια σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO) ή υδρογονάνθρακες (HC). Η εναζώτωση χρησιμοποιεί ατμόσφαιρα αμμωνίας ή λουτρό κυανιούχων αλάτων.

Οι κατεργασίες της εναζώτωσης και της ενανθράκωσης συνήθως ακολουθούνται από κατεργασίες βαφής.

## 5. Βαφή

Με τον όρο βαφή εννοούμε τη θέρμανση του μετάλλου σε υψηλή θερμοκρασία, περίπου 1000°C, για την επίτευξη της ωστενιτικής φάσης του χάλυβα και στη συνέχεια την ταχεία ψύξη του σε νερό, λάδι ή στον αέρα. Για τη βαφή χρησιμοποιούνται συνήθως χάλυβες με ποσοστά περιεκτικότητας σε άνθρακα (C) μεγαλύτερα του 0.3% ή κράματα χάλυβα με άλλα μέταλλα.

Βασικό πρόβλημα κατά τη βαφή είναι οι θερμικές τάσεις που δημιουργούνται κατά την ταχεία ψύξη του χάλυβα, οι οποίες είναι ιδιαίτερα αισθητές στην περίπτωση της ψύξης στο νερό.

Μετά τη βαφή συνήθως γίνεται θερμική κατεργασία του μετάλλου για τη βελτίωση της ολκιμότητας του υλικού και την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων. Σε ιδιαίτερα ευαίσθητα κράματα χάλυβα χρησιμοποιούνται για τη βαφή λουτρά ελαίου ή αλάτων θερμοκρασίας 200-300°C. Γενικά, η βαφή αποτελεί τη βασικότερη θερμική κατεργασία βελτίωσης των μηχανικών ιδιοτήτων των χαλύβων και συνήθως δίδεται μεγάλη σημασία στην επιτυχή εκτέλεσή της. Τούτο δεν είναι πάντοτε απλό, γιατί συνήθως η βαφή συνδυάζεται με άλλες χημικές, μηχανικές και θερμικές κατεργασίες για την περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού. Βασικό μειονέκτημα της βαφής είναι η μετέπειτα δυσκολία που παρουσιάζεται στη συγκόλληση των βαμμένων αντικειμένων. Για το λόγο αυτό θα πρέπει, αν είναι δυνατόν, η συγκόλληση να προηγείται της βαφής.

## 1.3. Το αλουμίνιο και τα κράματά του

Το αλουμίνιο (Al) και η οικογένεια των κραμάτων του είναι σήμερα, μετά το σίδηρο και το χάλυβα, τα σημαντικότερα βιομηχανικά μέταλλα και η χρήση τους διαρκώς επεκτείνεται. Η σημερινή διάδοση του αλουμινίου είναι εύκολο να εξηγηθεί εάν ληφθούν υπ' όψη οι φυσικές ιδιότητές του. Πράγματι, το αλουμίνιο έχει το μικρότερο, μετά το μαγνήσιο, ειδικό βάρος από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα. Επίσης, η μηχανική αντοχή ορισμένων κραμάτων του φθάνει το όριο θραύσεως 70 kρ/mm<sup>2</sup>.

Για τους λόγους αυτούς, η αντοχή ανά μονάδα βάρους ορισμένων κραμάτων είναι εντυπωσιακά υψηλή, κατάλληλη για εφαρμογές στις αεροπορικές και διαστημικές κατασκευές. Επίσης, η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου είναι πολύ υψηλή, μικρότερη μόνο από το χαλκό (Cu), τον άργυρο (Ag) και το χρυσό (Au). Πάντως, η ανά μονάδα βάρους αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι η μεγαλύτερη από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην οξειδωση και στη διάβρωση, αν και αντιδρούν ισχυρά με το οξυγόνο. Αυτό οφείλεται στο οξείδιο του αλουμινίου, που σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και δεν επιτρέπει την περαιτέρω οξειδωση του μετάλλου. Στο οξείδιο αυτό οφείλεται και το μοναδικό ίσως μειονέκτημα που παρουσιάζει το αλουμίνιο και τα κράματά του, δηλαδή τη δύσκολη συγκόλλησή τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίθετα, το αλουμίνιο και τα κράματά του προσφέρονται για όλους τους τύπους των μηχανουργικών κατεργασιών, χύτευση, κοπή, εξέλαση κλπ.

Τα πλεονεκτήματα αυτά, σε συνδυασμό με τα μεγάλα αποθέματα αλουμινίου που υπάρχουν (το αλουμίνιο είναι το πιο διαδεδομένο μέταλλο στην επιφάνεια της γης), το καθιστούν ισχυρό ανταγωνιστή του σιδήρου και του χάλυβα.

Η παραγωγή αλουμινίου από βωξίτη απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας, έτσι η τιμή του αλουμινίου είναι σημαντικά ανώτερη του σιδήρου.

Αντίθετα, η ανακύκλωση του σιδήρου απαιτεί σημαντικά μεγαλύτερη ενέργεια από την ανακύκλωση του αλουμινίου, καθόσον ο σίδηρος έχει πολύ υψηλότερο σημείο τήξεως.

Οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων επηρεάζονται σημαντικά από τις μηχανικές και θερμικές κατεργασίες του. Ιδιαίτερη σημασία από μηχανουργικής άποψης έχουν οι εσωτερικές τάσεις που δημιουργούνται κατά τις μηχανουργικές κατεργασίες του υλικού. Οι τάσεις αυτές είναι σκόπιμο να απαλείφονται με αναθέρμανση του υλικού γιατί πολύ συχνά λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου προκαλούν με την πάροδο του χρόνου μεταβολή του σχήματος και των διαστάσεων ή ακόμη και εμφάνιση ρωγμών. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται και στην καθαρή του μορφή με περιεκτικότητα 99.0% και άνω σε A1, και κράμα με Si, Cu, Zn, Mn, Mg, Ni κ.ά.

Το πυρίτιο γενικά, αυξάνει τη ρευστότητα του αλουμινίου και χρησιμοποιείται για κράματα χύτευσης. Επίσης αυξάνει ελαφρά και τη μηχανική αντοχή του μετάλλου. Οι περιεκτικότητες κραμάτων A1-Si σε Si κυμαίνονται από 3.5 έως 13.0% με αντίστοιχα όρια θραύσεως 14 έως 22 kP/mm<sup>2</sup>. Με μηχανικές και θερμικές κατεργασίες το όριο θραύσεως είναι δυνατό να ανυψωθεί στα 60 kP/mm<sup>2</sup>.

Κράματα με μεγάλη περιεκτικότητα έως 23% σε πυρίτιο (Si) παρουσιάζουν υψηλή αντοχή σε φθορά. Ο χαλκός γενικά αυξάνει τη μηχανική αντοχή του κράματος. Συνήθως χρησιμοποιούνται περιεκτικότητες κράματος Al-Cu σε Cu από 4 έως 12%. Η προσθήκη χαλκού (Cu) βελτιώνει επίσης τις μηχανουργικές ιδιότητες του κράματος. Ο ψευδάργυρος γενικά, αυξάνει τη σκληρότητα του αλουμινίου και χρησιμοποιείται σε συνδυασμό με μαγνήσιο (Mg) για την παραγωγή κραμάτων υψηλότερης αντοχής και καλής κατεργαστικότητας (machinability). Το ισχυρότερο κράμα αλουμινίου περιέχει ψευδάργυρο, χαλκό, μαγνήσιο και μικρή ποσότητα χρωμίου (Cr) και μαγγανίου (Mn).

Το μαγνήσιο σε συστατικό κραμάτων αλουμινίου αυξάνει τη σκληρότητα, την κατεργαστικότητα του αλουμινίου και την αντοχή σε οξειδωση. Ο σίδηρος γενικά δεν είναι επιθυμητός στα κράματα του αλουμινίου γιατί μειώνει τις μηχανικές ιδιότητές τους. Το νικέλιο (Ni), το βισμούθιο (Bi), το κάδμιο (Cd), ο μόλυβδος (Pb) και το θάλλιο (Tl) σε μικρή ποσότητα βελτιώνουν τις μηχανουργικές ιδιότητες του αλουμινίου. Τα γνωστότερα κράματα του αλουμινίου είναι ντουραλουμίνια με περιεκτικότητες, 0.4% Si, 0.4-0.7% Mn, 3.5-4.5% Cu, και 0.4-0.7% Mg. Το κράμα αυτό χρησιμοποιείται για σφυρηλάτηση και έλαση, σε μορφή φύλλων λαμαρίνας. Το ντουραλουμίνιο, μετά από τη μηχανική κατεργασία, υφίσταται συνήθως βαφή και γήρανση με σημαντική βελτίωση των μηχανικών του ιδιοτήτων. Βασικό μειονέκτημα του αλουμινίου και των κραμάτων του είναι η μεγάλη ευπάθεια που παρουσιάζουν στη διάβρωση λόγω ηλεκτρόλυσης. Η διάβρωση αυτή παρουσιάζεται ιδιαίτερα έντονη ακόμη και στον ατμοσφαιρικό αέρα παρουσία υγρασίας. Καταστροφικά αποτελέσματα για το αλουμίνιο λόγω ηλεκτρόλυσης παρουσιάζονται σε παραθαλάσσιες περιοχές ή αν το αλουμίνιο βρίσκεται κοντά ή σε επαφή με χαλκό. Για τους λόγους αυτούς, οι επιφάνειες των προϊόντων αλουμινίου καλύπτονται με ειδικές βαφές ή υφίστανται ανοδική προστασία. Περισσότερες πληροφορίες για τις επιφανειακές προστασίες του αλουμινίου δίδονται στο κεφάλαιο των επιμεταλλώσεων.



## 1.4. Ο χαλκός και τα κράματά του

Ο χαλκός χρησιμοποιείται και στην καθαρή του μορφή 99,99% και σε μορφή κραμάτων, κυρίως με ψευδάργυρο (Zn), κασσίτερο (Sn), Al, Ni, Pb. Στην καθαρή του μορφή, παρουσιάζει την ανά μονάδα όγκου μεγαλύτερη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα από όλα τα στοιχεία, σε συνδυασμό δε με τη μεγάλη ολκιμότητά του έχει μεγάλη εφαρμογή σε ηλεκτρικά έργα και εναλλακτικές θερμότητας. Επίσης, παρουσιάζει πολύ βραδεία οξειδωση και διάβρωση στον ατμοσφαιρικό αέρα και στη θάλασσα, με αποτέλεσμα να έχει εφαρμογές στη ναυπηγική. Χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή χυτών αντικειμένων, φύλλων λαμαρίνας, σωλήνων και ιδίως συρμάτων.

Ο χαλκός, ενώ είναι πολύ μαλακός και όλκιμος, βελτιώνει πολύ τις μηχανικές του ιδιότητες μετά από μηχανικές και θερμικές κατεργασίες, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4. Χαρακτηριστικά χαλκού

	Όριο θραύσεως (kp/mm <sup>2</sup> )	Επιμήκυνση (%)	Σκληρότητα (HB)
Χαλκός χυτός	15-17	25-30	40-45
Χαλκός ψυχρής κατεργασίας	30-40	5-20	80-100
Χαλκός ψυχρής κατεργασίας με αναθέρμανση	20-25	50-60	45-55
Σύρμα χαλκού	47	1-5	120

Οι ιδιότητες του χαλκού, και ιδιαίτερα η αγωγιμότητα, αλλοιώνονται σημαντικότερα με την ύπαρξη έστω και ελαχίστων προσμίξεων. Τα κράματα του χαλκού με τα διάφορα στοιχεία παρουσιάζουν ποικιλία ιδιοτήτων.

Το κράμα του χαλκού με 2.0% βιρύλλιο μετά από βαφή, παρουσιάζει όριο θραύσεως 95-125 kp/mm<sup>2</sup> και χρησιμοποιείται για ελατήρια. Ανάλογες είναι και οι ιδιότητες του κράματος με 26% κοβάλτιο και 0.4% βιρύλλιο (Be). Τα κράματα του χαλκού με ψευδάργυρο, με περιεκτικότητες 63-70% σε χαλκό (Cu) και 30-37% σε ψευδάργυρο (Zn), έχουν μεγάλη χρησιμότητα, γιατί συνδυάζουν υψηλή αντοχή 30-55 kp/mm<sup>2</sup> με καλή ολκιμότητα 12-17% και σκληρότητα 60-200 HB. Τα κράματα αυτά πρέπει, μετά τις μηχανικές κατεργασίες εν ψυχρώ, να υποστούν αναθέρμανση για την εξομάλυνση των εσωτερικών τάσεων σε 250-275°C.

Τα κράματα χαλκού-ψευδαργύρου (ορείχαλκος) επιδέχονται και βαφή στο νερό ή στον αέρα μετά από θέρμανση σε 300-600°C. Τα κράματα χαλκού-κασσιτέρου περιέχουν συνήθως έως 8% Sn και παρουσιάζουν συγκριτικά με το χαλκό, βελτιωμένη αντοχή (40 kp/mm<sup>2</sup>) με ικανοποιητική ολκιμότητα (60%). Μετά από ψυχρή κατεργασία το όριο θραύσεως φθάνει τα 95 kp/mm<sup>2</sup>.

Μεγάλη σημασία για την καλή χύτευση του χαλκού και των κραμάτων του, έχει η παρουσία φωσφόρου (P). Ο φώσφορος σε ποσοστά 0.05-1.0% βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες του κράματος, αντίθετα σε μεγαλύτερα ποσοστά κάνει τα χυτά εύθραυστα.

Για την περαιτέρω βελτίωση των ιδιοτήτων των κραμάτων του χαλκού χρησιμοποιούνται διάφορα μέταλλα σε μικρές περιεκτικότητες, π.χ. το Mn, Al, Ni, Fe, Pb. Τα κράματα αυτά βελτιώνουν το όριο θραύσεως, διατηρώντας την ολκιμότητα και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του χαλκού, δηλαδή την καλή προσαρμογή του σε κατεργασίες εν θερμώ και εν ψυχρώ, σε χύτευση, σε συγκόλληση και σε κοπή.

## 1.5. Το νικέλιο και τα κράματά του

Το νικέλιο χρησιμοποιείται σε καθαρή μορφή, σε κράματα σιδήρου όπως ήδη εξετάσαμε, αλλά και σαν κύριο συστατικό ειδικών κραμάτων γνωστών σαν υπερκράματων νικελίου. Τα κυριότερα κράματα του νικελίου είναι: τα Monel, τα Inconel και τα Nimonic.

Τα κράματα Monel με περιεκτικότητες 63-70% Ni, 0-3.0% Fe, 0-2.0% Mn, 0-4.0% Si και το υπόλοιπο Cu παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στην οξειδωση συνδυασμένα με υψηλή μηχανική αντοχή 40-115 kN/mm<sup>2</sup> αναλόγως των μηχανικών και θερμικών κατεργασιών. Οι ιδιότητες αυτές διατηρούνται ικανοποιητικά και σε υψηλές θερμοκρασίες.

Τα κράματα Inconel με σύσταση 76% Ni, 15% Cr και 8% Fe περίπου παρουσιάζουν υψηλή μηχανική αντοχή 45-125 kN/mm<sup>2</sup> και αντοχή στην οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Ανάλογες είναι και οι ιδιότητες των κραμάτων Nimonic με σύσταση 37-80% Ni, 18-20% Cr, 0-43% Fe, 0-18% Co, 0-2% Si. Οι θερμικές κατεργασίες των κραμάτων νικελίου είναι γενικά πολύ δύσκολες και απαιτούν λεπτομερώς ρυθμίσεις θερμοκρασιών.

Τα κράματα αυτά βρίσκουν εφαρμογή στις αεροπορικές και διαστημικές εφαρμογές και στην κατασκευή αεροστροβίλων, πυραυλοκινητήρων, ατμοστροβίλων κ.ά.

## 1.6. Το τιτάνιο και τα κράματά του

Το τιτάνιο και τα κράματά του αποκτούν τελευταία διαρκώς και μεγαλύτερη διάδοση, ιδίως σε αεροπορικές, διαστημικές και πολεμικές εφαρμογές.

Βασικό χαρακτηριστικό των κραμάτων τιτανίου, είναι η αντοχή του σε υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με το μικρό σχετικά ειδικό βάρος του, περίπου το μισό του σιδήρου. Η αντοχή του τιτανίου και των κραμάτων του κυμαίνεται από 25 έως 125 kN/mm<sup>2</sup>, ανάλογα με το είδος των μηχανικών και θερμικών κατεργασιών. Η αντοχή αυτή διατηρείται ικανοποιητικά μέχρι τους 500°C περίπου. Το τιτάνιο παρουσιάζει δυσκολία στις μηχανουργικές κατεργασίες και στη συγκόλληση και χρειάζεται λεπτομερή ρύθμιση θερμοκρασιών στις θερμικές κατεργασίες του. Το κόστος παραγωγής του τιτανίου και των κραμάτων του είναι πολύ υψηλό προς το παρόν, με αποτέλεσμα τον περιορισμό της χρησιμοποίησής του σε ειδικές περιπτώσεις που ο παράγων κόστος δε λαμβάνεται υπόψη.