

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

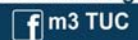
Κατεργαζόμενα υλικά



1

<http://www.m3.tuc.gr>


Κατεργαζόμενα υλικά



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

1

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

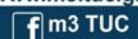
Κατεργαζόμενα υλικά

Ανάλογα με τη χημική σύστασή τους οι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες :

- **Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες:** Περιέχουν έως 1,0% Mn και ελάχιστα ποσοστά προσμείξεων θείου (S) και φωσφόρου (P) έως 0,05%. Πρόκειται για μαλακούς χάλυβες (για μικρή περιεκτικότητα C) οι οποίοι παρουσιάζουν αυξημένη συγκολλησιμότητα.
- **Κραματωμένοι χάλυβες:**
 - Ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις έως 2%. Τέτοιοι είναι οι δομικοί ή κατασκευαστικοί χάλυβες.
 - Μέτρια κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις από 2% έως 10%.
 - Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες. Περιέχουν προσμείξεις πάνω από 10%. Τέτοιοι είναι οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, οι ταχυχάλυβες, οι ανοξείδωτοι χάλυβες και οι χάλυβες μαρτενγήρανσης (Maraging), με μεγάλα ποσοστά βολφράμιου (W), βανάδιου (V), μολυβδαίνιου (Mo), χρώμιου (Cr), νικέλιου (Ni) και κοβάλτιου (Co).


<http://www.m3.tuc.gr>


Χάλυβες



2019-20



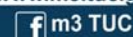
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

2

Ανθρακούχοι χάλυβες								
Όνομασία / Αριθμός	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Εφαρμογή
C45W 1.1730	0.40	0.15	0.60					Σφυριά, τσεκούρι, ψαλίδι, κατασβίδια
	-	-	-					
C85W 1.1830	0.80	0.25	0.50					Πριόνια
	-	-	-					
C125W 1.1563	1.20	0.10	0.10					Λίμες, κόφτης χαρτιών
	-	-	-					
	1.35	0.30	0.35					
Κραματωμένοι χάλυβες								
45CrMoV7 1.2328	0.42	0.20	0.85	1.7	0.25			Καλέμια
	-	-	-	-	-			
115CrV3 1.2210	1.10	0.15	0.20	0.5	-	0.07		Λίμες, κόφτης χαρτιών
	-	-	-	-	-	-		
X210CrW12 1.2436	2.0	0.10	0.15	11.0	-	-	0.6	Κοπτικά εργαλεία, εργαλεία αυλάκωσης, εργαλεία απότμησης ελασμάτων
	-	-	-	-	-	-	-	
	2.25	0.40	0.45	12.0	-	-	0.8	

<http://www.m3.tuc.gr>

Παραδείγματα χάλυβων



m3 TUC

2019-20

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

3

Όσον αφορά τον προορισμό τους οι χάλυβες διακρίνονται σε:

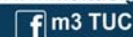
- **Χάλυβες διαμόρφωσης:** Αυτοί υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση).
- **Χυτοχάλυβες:** Παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή «χελωνών».

Όσον αφορά τη χρήση, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- **Χάλυβες κατασκευών:** Είναι χάλυβες με μικρά σχετικά ποσοστά κραματικών στοιχείων (συνήθως Mn, Cr) και χρησιμοποιούνται σε πλήθος κατασκευών, όπως π.χ. λέβητες, μεταλλικοί σκελετοί, κ.λπ., αλλά και σε στοιχεία μηχανών, όπως π.χ. άξονες, διωστήρες, βαλβίδες, ελατήρια, κ.λπ..
- **Ανοξειδωτοι χάλυβες:** Είναι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε Cr (>13%) και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή αντοχή σε διάβρωση, όπως π.χ. στη χημική βιομηχανία. Κατασκευές από ανοξειδωτο χάλυβα είναι σωλήνες, πτερωτές, δοχεία, εναλλάκτες θερμότητας, αντιδραστήρες και οτιδήποτε έρχεται σε επαφή με διαβρωτικό υγρό, καθώς επίσης σε ιατρικά εργαλεία (π.χ. χειρουργικά νυστέρια) και είδη οικιακής χρήσης, όπως π.χ. είδη κουζίνας, μαχαιροπήρουνα, κ.λπ..
- **Εργαλειοχάλυβες:** Περιέχουν συνήθως μεγάλα ποσοστά κραματικών στοιχείων (W, Mo, Cr, V), τα οποία ευνοούν την αύξηση της σκληρότητας και της αντίστασης σε φθορά-τριβή. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων κοπής (κοπτικά τόνου, φραιζας, πλάνης, κ.λπ.) ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης και διαμόρφωσης).
- **Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών:** Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών ηλεκτρικών γεννητριών, μονίμων μαγνητών, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>

Κατηγοριοποίηση χάλυβων



m3 TUC

2019-20

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

4

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Προστίθενται επιπλέον στοιχεία στο χάλυβα τα οποία έχουν στόχο να βελτιώσουν τη δομή, τις μηχανικές του ιδιότητες, την αντοχή σε φθορά και διάβρωση. Ορισμένες από τις δράσεις των στοιχείων προσθήκης αναφέρονται παρακάτω:

- Σταθεροποίηση του φερρίτη (α-φερρογόνα στοιχεία): **Cr, Mo, W, V, Si**
- Σταθεροποίηση του ωστενίτη (γ-φερρογόνα στοιχεία): **Mn, Ni, Co**
- Τάση σχηματισμού καρβιδίων (καρβιδιογόνα στοιχεία): **Co, Fe, Mn, Cr, Mo, W, V, Ti**
- Τάση διάσπασης καρβιδίων σε γραφίτη (γραφιτίζοντα στοιχεία): **Ni, Si, Al**
- Μετατόπιση των καμπυλών TTT προς τα δεξιά - αύξηση της εμβαπτότητας: **μικρή για Mn, Cr, σημαντική για Ni και μεγάλη Mo, W, V**
- Βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση: **Cr, Ni, Si**
- Τάση εκλέπτυνσης των κόκκων: **V, Al**
- Αύξηση κατεργασιμότητας: **Mn**
- Αύξηση της μαγνητικής διαπερατότητας: **Si**

<http://www.m3.tuc.gr>

Κραματωμένοι χάλυβες

m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

5

10

9

8

7

6

5

4

3

2

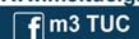
1

Κατεργαζόμενα υλικά

Είναι χάλυβες εξαιρετικής αντοχής στην οξειδωση και στη διάβρωση γενικότερα. Η αντοχή τους αυτή οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε χρώμιο (Cr) που κυμαίνεται από 12-30% κ.β.. Το Cr αντιδρά χημικά με το οξυγόνο του αέρα και δημιουργείται επιφανειακά το οξειδίο του χρωμίου Cr_2O_3 που προστατεύει το μέταλλο βάσης από την οξειδωση. Το φαινόμενο αυτό προστασίας ονομάζεται **παθητικοποίηση**. Οι ανοξειδωτοί χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε χρώμιο ψαθυροποιούνται με παρατεταμένη θέρμανση κοντά στους $900^\circ C$, λόγω κατακρήμνισης της σ-φάσης (FeCr), η οποία είναι πολύ σκληρή και εύθραυστη. Οι ωστενικοί ανοξειδωτοί χάλυβες εμφανίζουν το φαινόμενο της ευαισθητοποίησης κατά τη θέρμανσή τους μέσα στο διάστημα $600-870^\circ C$ (π.χ. κατά τη συγκόλληση). Στο θερμοκρασιακό αυτό διάστημα κατακρήμνίζονται (σχηματίζονται) καρβίδια του χρωμίου, τύπου $Cr_{23}C_6$ και Cr_7C_3 , στα όρια των κόκκων του ωστενίτη. Η ζώνη γύρω από τα καρβίδια είναι ελαττωμένης περιεκτικότητας σε Cr και επομένως παρουσιάζει μειωμένη αντοχή σε διάβρωση. Έτσι, παρουσία οξέων ή άλλων διαβρωτικών μέσων, η ζώνη γύρω από τα καρβίδια ευαισθητοποιείται και διαβρώνεται με μεγάλους ρυθμούς, με αποτέλεσμα τη χαλάρωση της συνάφειας των ορίων των κόκκων. Η χαρακτηριστική αυτή περίπτωση διάβρωσης ονομάζεται περικρυσταλλική διάβρωση και οδηγεί σε περικρυσταλλική ψαθυρή θραύση του υλικού. Με αυτό το μηχανισμό εξηγείται και η φθορά και τελικά η αστοχία συγκολλήσεων ανοξειδωτων τεμαχίων στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη. Οι τρόποι πρόληψης της ευαισθητοποίησης είναι οι παρακάτω:

- μείωση του ποσοστού του άνθρακα κάτω από 0.03%,
- αύξηση του ποσοστού του χρωμίου πάνω από 16%,
- προσθήκη Nb, Ti τα οποία είναι περισσότερο καρβιδιογόνα από το χρώμιο και έτσι ευνοείται ο σχηματισμός των καρβιδίων τους σε σχέση με τα καρβίδια του χρωμίου,
- θερμική κατεργασία με γρήγορη ψύξη για τη διαλυτοποίηση των καρβιδίων του χρωμίου ($>900^\circ C$) και διατήρησή τους στο στερεό διάλυμα (ωστενίτη) μετά από την ψύξη.

<http://www.m3.tuc.gr>

Ανοξειδωτοί χάλυβες

m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

6

10

9

8

7

6

5

4

3

2

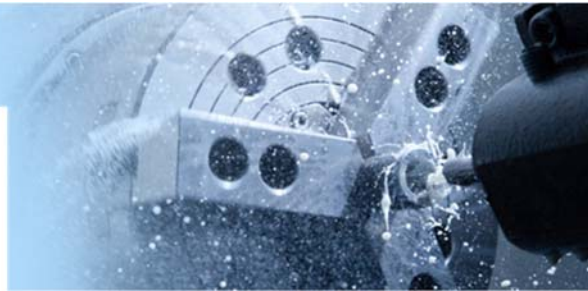
1

Κατεργαζόμενα υλικά

Οι εργαλειοχάλυβες είναι υλικά που χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτείται υψηλή μηχανική αντοχή και κυρίως μεγάλη σκληρότητα και αντίσταση σε φθορά, όπως π.χ. κοπτικά εργαλεία, μήτρες διαμόρφωσης, έμβολα διέλασης, ράουλα έλασης. Η χρήση γίνεται πάντοτε μετά από θερμική κατεργασία βαφής - επαναφοράς (επιβελτίωση). Τα κύρια κραματικά στοιχεία που συμβάλλουν στη μηχανική ενίσχυση είναι τα ακόλουθα: Ni, Cr, Mo, W, V, Mn, Si, Co. Βασικό χαρακτηριστικό των εργαλειοχαλύβων είναι η ύπαρξη **καρβιδίων**, (δηλ. ενώσεων μετάλλου-άνθρακα) είτε σφαιρικού σχήματος (π.χ. καρβίδια του μολυβδαινίου και βολφραμίου στους ταχυχάλυβες) είτε ακανόνιστου-μακρόστενου σχήματος (π.χ. καρβίδια του χρωμίου στους εργαλειοχάλυβες υψηλού ποσοστού άνθρακα και χρωμίου).

Η παρουσία σκληρών καρβιδίων (1500-2500 HV) αυξάνει τη σκληρότητα του χάλυβα και την αντοχή σε φθορά - τριβή. Επιπλέον, σε ορισμένες κατηγορίες (**ταχυχάλυβες**) επιδρούν και στην εν θερμώ αντοχή. Κατά την καταπόνηση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως π.χ. σε κοπή υψηλής ταχύτητας, σχηματίζονται νέα καρβίδια (δευτερογενή καρβίδια), αυξάνοντας τη σκληρότητα και την αντίσταση σε φθορά του εργαλείου (δευτερογενής σκλήρυνση).

Tool Steel



<http://www.m3.tuc.gr>



Εργαλειοχάλυβες



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

7

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Οι χυτοσίδηροι είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα σε ποσοστό 2-5% και περιέχουν και άλλες προσμείξεις όπως πυρίτιο (Si), θείο (S) και φωσφόρο (P). Τα βασικά είδη χυτοσιδηρών είναι τα ακόλουθα:

- λευκός χυτοσίδηρος,
- φαιός χυτοσίδηρος,
- μαλακός χυτοσίδηρος και
- χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη.

Ο **λευκός χυτοσίδηρος** κατασκευάζεται απευθείας με χύτευση και περιέχει συνήθως Si < 0,7%. Η δομή του λευκού χυτοσιδήρου ποικίλλει ανάλογα με τη χημική του σύσταση:

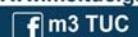
- Υποευτηκτικός λευκός χυτοσίδηρος (2 < C < 4,3%): Η δομή του αποτελείται από περλίτη και λεδεμβουριτική μορφή.
- Ευτηκτικός λευκός χυτοσίδηρος (C = 4,3%): Η δομή του αποτελείται εξ ολοκλήρου από λεδεμβουριτική μορφή.
- Υπερευτηκτικός λευκός χυτοσίδηρος (C > 4,3%): Περιέχει προευτηκτικό σεμεντίτη και λεδεμβουριτική μορφή.

Ο **γκρίζος ή φαιός χυτοσίδηρος** κατασκευάζεται και αυτός με χύτευση, αλλά το ποσοστό σε άνθρακα μπορεί να φθάνει στα επίπεδα του 4% και του πυριτίου (Si) γύρω στα 3-4% (πάνω από 1%). Η ταχύτητα στερεοποίησης, που καθορίζεται από την ταχύτητα ψύξης, είναι μικρότερη σε σχέση με αυτήν του λευκού χυτοσιδήρου. Η δομή του αποτελείται από «φυλλίδια» γραφίτη μέσα σε φερρίτη ή σε περλίτη ή συνηθέστερα σε μείγμα φερρίτη-περλίτη. Ο γραφίτης είναι μια μαλακή φάση η οποία αποτελεί κρυσταλλική δομή του άνθρακα (εξαγωνική) και λόγω της «αιχμηρής» μορφής με την οποία κρυσταλλώνεται (φυλλίδια) ψαθυροποιεί το χυτοσίδηρο. Η ύπαρξη του πυριτίου καθώς και η μικρή σχετικά ταχύτητα ψύξης, ευνοούν την αντίδραση της γραφίτισης του σεμεντίτη.

<http://www.m3.tuc.gr>



Χυτοσίδηροι – λευκός & φαιός



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

8

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Ο **μαλακτός χυτοσίδηρος** κατασκευάζεται από το λευκό χυτοσίδηρο με κατάλληλη θερμική κατεργασία (μαλακτοποίηση), όταν το ποσοστό σε Si είναι γύρω στο 1%. Η θερμική κατεργασία γίνεται σε θερμοκρασία 850-950°C και για μεγάλο χρονικό διάστημα που κυμαίνεται από 10-100 ώρες, ώστε να διασπαστεί ο σεμεντίτης και να μετατραπεί σε γραφίτη και ωσενίτη. Ο γραφίτης στο μαλακό χυτοσίδηρο κρυσταλλώνεται με τη μορφή ασύμμετρου στρογγυλού συσσωματώματος που καλείται **ροζέτα**. Μετά από αργή ψύξη που ακολουθεί η δομή του μαλακού χυτοσιδήρου, καταλήγει να αποτελείται συνήθως από ροζέτες γραφίτη μέσα σε μήτρα φερρίτη ή φερρίτη-περλίτη. Ο μαλακτός χυτοσίδηρος, λόγω της δομής του παρουσιάζει καλή ευχυτότητα, καλή κατεργασιμότητα, μέτρια δυσθραυστότητα και αντοχή στη διάβρωση. Οι βασικές χρήσεις του μαλακού χυτοσιδήρου εντοπίζονται στην αυτοκινητοβιομηχανία και στην κατασκευή εξαρτημάτων δικύκλων και γεωργικών μηχανημάτων.

Ο **Όλκιμος χυτοσίδηρος ή χυτοσίδηρος σφαιροειδούς γραφίτη** είναι γνωστός για τις καλές μηχανικές ιδιότητες και την καλή δυσθραυστότητα που επιδεικνύει. Το είδος αυτό του χυτοσιδήρου προέρχεται από το γκρίζο χυτοσίδηρο με προσθήκη Mg (μαγνησίου) όταν ακόμα είναι ρευστός. Το μαγνήσιο βοηθά κατά τη χύτευση να δημιουργηθεί ο γραφίτης σε σχήμα σφαιρικό, πράγμα που προσδίδει σε μεγάλο βαθμό την καλή πλαστικότητα και δυσθραυστότητα αυτού του χυτοσιδήρου. Επίσης, το πυρίτιο πρέπει να βρίσκεται σε μεγάλα επίπεδα, από 2-3%, προκειμένου να μη δημιουργηθεί σεμεντίτης κατά τη χύτευση. Η δομή αυτού του χυτοσιδήρου αποτελείται από σφαιρίδια γραφίτη μέσα σε μήτρα φερρίτη ή φερρίτη-περλίτη. Λόγω των βελτιωμένων μηχανικών του ιδιοτήτων, ο σφαιροειδής χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται για την κατασκευή χυτοπρεσαριστών τεμαχίων, όπως σωμάτων αντλιών και βαλβίδων, επίσης αξόνων και ράουλων ελάστρων, κυλίνδρων αυτοκινήτων και γενικά εξαρτημάτων που καταπονούνται σε κρουστικές ή/και εναλλασσόμενες φορτίσεις.

Οι **κραματωμένοι χυτοσίδηροι** περιέχουν προσμείξεις Cr, Mo, Ni οι οποίες βελτιώνουν τη σκληρότητα και την αντίσταση σε φθορά αλλά και την αντοχή σε κρούση, με αποτέλεσμα τη χρήση τους σε πιο απαιτητικές εφαρμογές: στην κατασκευή εργαλείων και εξαρτημάτων εξόρυξης μεταλλευμάτων, τύμπανων φρένων, δίσκων συμπλέκτη, ελατηρίων εμβόλων βενζινομηχανών, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>


Χυτοσίδηροι – μαλακός, όλκιμος και κραματωμένος



m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

9

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

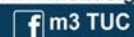
Ο χαλκός είναι το πρώτο μέταλλο που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος, είτε καθαρό είτε με τη μορφή κράματος (κρατέρωμα). Ο χαλκός ως καθαρό μέταλλο έχει κόκκινο χρώμα, κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρικό (κ.ε.) κρυσταλλικό πλέγμα και λιώνει στους 1083°C. Η πυκνότητά του είναι ίση με 8.9g/cm³.

Ο χαλκός παρουσιάζει μεγάλη ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα, ενώ η ολκιμότητά του είναι τέτοια ώστε να μπορεί να διαμορφωθεί εύκολα σε εξαρτήματα διαφόρων γεωμετριών, π.χ. σε ράβδους και σύρματα με διέλαση και σε φύλλα με έλαση. Ο καθαρός χαλκός χρησιμοποιείται ευρύτατα στην ηλεκτρολογία (κατασκευή συρμάτων, πυκνωτών), λόγω της υψηλής ηλεκτρικής αγωγιμότητας. Η καθαρότητα του χαλκού (>99,9%) είναι απαραίτητη προϋπόθεση για πολλές ηλεκτρολογικές εφαρμογές, εφόσον αυτή επιδρά θετικά στην ηλεκτρική αγωγιμότητα. Η κατασκευή υπερκαθαρού χαλκού γίνεται, είτε θερμικά (σε φούρνους τήξεως), είτε ηλεκτρολυτικά (ηλεκτρολυτικός χαλκός). Υπάρχει επίσης μια ποιότητα χαλκού υψηλών απαιτήσεων που ονομάζεται **χαλκός OFHC** (Oxygen Free High Conductivity Copper/ Χαλκός Ελεύθερος Οξυγόνου Υψηλής Αγωγιμότητας). Ο χαλκός αυτός περιέχει μικρό ποσοστό φωσφόρου (0,05%) ο οποίος βοηθά στην **αποξειδωση** κατά τη χύτευση, δεσμεύοντας το οξυγόνο και δημιουργώντας στρώμα P₂O₅. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αποφυγή δημιουργίας Cu₂O κατά τη χύτευση, το οποίο παρουσία H₂ οδηγεί σε ψαθυροποίηση του μετάλλου.

Τα κράματα του χαλκού, λόγω των ιδιοτήτων που παρουσιάζουν (ηλεκτρική-θερμική αγωγιμότητα, αντοχή στη διάβρωση, αντοχή στη φθορά-τριβή) και της αυξημένης διαμορφωσιμότητας (της δυνατότητας με την οποία μπορούν εύκολα να διαμορφωθούν), χρησιμοποιούνται στη ναυπηγική, στη μηχανολογία (κατασκευή εδράνων, κουζινέτων), στην κοσμηματοποιία, στην ωρολογοποιία, στην αρχιτεκτονική, στην κατασκευή εναλλακτών θερμότητας, κελυφών και καλύκων βλημάτων, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>


Κράματα χαλκού



m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

10

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	Τόρνευση		Φραιζάρισμα		Διάτρηση		Πριόνισμα	
	HS	HW	HS	HW	HS	HW	HS	HW
Υλικό κοπτικού εργαλείου								
Ταχύτητα κοπής v_c [m/min]	10-220	75-1320	10-80	40-560	18-80	50-125	30-180	500-1000
Γωνία αποβλίπτου γ [deg]	20-30	6-8	16-20	6-8	10-30	10-30	5-15	5-15
Γωνία ελευθερίας α [deg]	8-10	6-8	5-7	5-7	6-8	6-8	8	8
Πρώση f [mm/min]	0.1-0.63	0-0.8	-	-	0.1-0.4	0.1-0.4	-	-
f_z [mm/min, δόντι]	-	-	0.1-0.35	0.1-0.35	-	-	0.03-0.15	0.03-0.15
Βάθος κοπής t [mm]	0.6-4	0.6-4	0.6-4	0.6-4	-	-	-	-

Η προσθήκη του ψευδαργύρου μέχρι ποσοστού 30% βοηθά στην αύξηση της μηχανικής αντοχής του κράματος. Αυξανόμενου επίσης του ποσοστού ψευδαργύρου, το χρώμα από κόκκινο γίνεται σταδιακά κίτρινο. Με αναλογία ψευδαργύρου 0-39% δημιουργείται μονοφασικό κράμα φάσης α , κυβικού εδροκεντρωμένου πλέγματος (α -ορείχαλκοι). Όταν ο ψευδαργύρος βρίσκεται σε ποσοστό 40-45%, τότε το κράμα είναι διφασικό, δηλαδή περιέχει δύο διαφορετικές φάσεις α και β' ($\alpha+\beta'$ ορείχαλκοι). Το ποσοστό του ψευδαργύρου δεν πρέπει να ξεπερνά το 45%, διότι σε μεγάλη αναλογία οδηγεί στο σχηματισμό εύθραυστων φάσεων και στην ψαθυροποίηση του υλικού. Στην πράξη δηλαδή χρησιμοποιούνται δύο βασικά είδη ορείχαλκου:

- οι α -ορείχαλκοι ή μονοφασικοί ορείχαλκοι ($Zn < 39\%$),
- οι $\alpha+\beta'$ ορείχαλκοι ή διφασικοί ορείχαλκοι ($Zn > 39\%$).

Οι μονοφασικοί α -ορείχαλκοι διαμορφώνονται ευκολότερα εν ψυχρώ, ενώ οι διφασικοί $\alpha+\beta'$ -ορείχαλκοι διαμορφώνονται ευκολότερα εν θερμώ. Αυτό συμβαίνει, γιατί η β' φάση είναι σκληρή και εύθραυστη και μόνο με θέρμανση πάνω από τους 450°C μετατρέπεται στη β -φάση, η οποία είναι όλκιμη. Η σκληρότητα των ορειχάλκων ανάλογα με την κατεργασία (ανόπτηση, ψυχρή παραμόρφωση) κυμαίνεται από 60-180 HV.

Οι ορείχαλκοι με ποσοστό ψευδαργύρου μεγαλύτερο από 10% εμφανίζουν το φαινόμενο της εποχικής ρωγμάτωσης. Αυτό οφείλεται στην **εργοδιάβρωση**, δηλαδή στην ταυτόχρονη επίδραση της διάβρωσης γύρω από τα όρια των κόκκων (περικρυσταλλική), λόγω της υγρασίας της ατμόσφαιρας και των εσωτερικών τάσεων που υπάρχουν σε ορειχάλκινα εξαρτήματα, έπειτα από κατάλληλη ψυχρή παραμόρφωση (π.χ. έλαση, βαθεία κοίλανση). Η εργοδιάβρωση αντιμετωπίζεται με ανόπτηση σε θερμοκρασία $250-300^\circ\text{C}$, μετά από την ψυχρή διαμόρφωση για την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων.

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

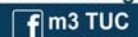
Κατεργαζόμενα υλικά

Περιέχουν κασσίτερο σε ποσοστά 7-18%. Συνήθως πρόκειται για μονοφασικά κράματα α-φάσης (κυβικού εδροκεντρωμένου πλέγματος), εφόσον η περιεκτικότητα σε κασσίτερο δεν ξεπερνά το 14%. Ανάλογα με τη μέθοδο κατασκευής τους, διακρίνονται σε κράματα χύτευσης και διαμόρφωσης. Παρουσιάζουν γενικά μεγαλύτερη αντοχή σε διάβρωση και φθορά-τριβή σε σχέση με τους ορείχαλκους αλλά το κόστος τους είναι μεγαλύτερο λόγω του ότι ο κασσίτερος είναι ακριβότερο μέταλλο απ' ό τι ο ψευδάργυρος. Βασικά είδη μπρούντζου είναι τα ακόλουθα:

- **Μπρούντζος φωσφόρου.** Ο φωσφόρος αποτελεί στοιχείο αποξειδωσης πριν από τη χύτευση. Επιπλέον, αυξάνει την αντοχή σε διάβρωση, τη μηχανική αντοχή και την αντοχή σε τριβή, μέσω της δημιουργίας της ένωσης Cu_3P (ποσοστό φωσφόρου 0,1-1%). Από χυτό μπρούντζο φωσφόρου κατασκευάζονται **έδρανα** και **κουζινέτα** και γενικά στοιχεία που καταπονούνται σε τριβή.
- **Μπρούντζος ψευδαργύρου.** Περιέχει μικρές ποσότητες ψευδαργύρου (2-3%) προς αντικατάσταση του κασσιτέρου, κυρίως για λόγους οικονομίας. Επιπλέον ο ψευδάργυρος δρα ως αποξειδωτικό στοιχείο στα κράματα χύτευσης. Χυτοί μπρούντζοι ψευδαργύρου χρησιμοποιούνται στην **κατασκευή πυροβόλων** ($88Cu-10Sn-2Zn$), αλλά και **νομισμάτων** ($95,5Cu-3Sn-1,5Zn$).
- **Μπρούντζος μολύβδου.** Η προσθήκη μολύβδου (έως 3%) βελτιώνει την κατεργασιμότητα στην κοπή. Επίσης, το συγκεκριμένο είδος μπρούντζου χρησιμοποιείται στην αυτοκινητοβιομηχανία και αεροναυπηγική καθώς και στην κατασκευή **εδράνων υψηλών απαιτήσεων** που δέχονται μεγάλα φορτία ή/και η λίπανση είναι ανεπαρκής.


<http://www.m3.tuc.gr>


Κράματα Cu-Sn (Μπρούτζοι)



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

13

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

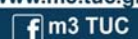
Κατεργαζόμενα υλικά

Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή σε διάβρωση σε βιομηχανικό περιβάλλον λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας προστατευτικού στρώματος Al_2O_3 . Είναι μονοφασικά κράματα α-φάσης, όταν το ποσοστό Al δεν υπερβαίνει το 9%, ενώ είναι διφασικά $\alpha+\gamma_2$, όταν το ποσοστό είναι 9-16%.

- Τα **μονοφασικά κράματα** ($Al < 9\%$) διαμορφώνονται με κατεργασία εν ψυχρώ και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή σωλήνων, εναλλακτών θερμότητας, καθώς και στην κοσμηματοποιία και στην κατασκευή διακοσμητικών αντικειμένων.
- Τα **διφασικά κράματα** ($9\% < Al < 16\%$) διαμορφώνονται εν θερμώ ή με απευθείας χύτευση σε καλούπι ή στην άμμο. Τα κράματα διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία σε εφαρμογές που απαιτείται μεγάλη αντοχή σε διαβρωτική ατμόσφαιρα ή/και σε υψηλές θερμοκρασίες. Τα κράματα χύτευσης χρησιμοποιούνται για την κατασκευή αξόνων, πτερωτών, εδράνων, κ.λπ..


<http://www.m3.tuc.gr>


Κράματα Cu-Al (χαλκοαλουμίνιο)



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

14

10

9

8

7

6

5

4

3

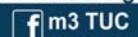
2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Σε κάθε αναλογία Cu/Ni δημιουργείται μονοφασικό κράμα α-φάσης, που κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα. Το νικέλιο, σε ποσοστό μεγαλύτερο από 15%, αλλάζει το χρώμα του χαλκού από κόκκινο σε λευκό. Παρουσιάζει μεγάλη ολκιμότητα και έτσι μπορεί εύκολα να διαμορφωθεί εν ψυχρώ με διάφορες τεχνικές, π.χ. έλαση, διέλαση, σφυρηλάτηση, κ.λπ.. Λόγω της ομοιογένειας που παρουσιάζει με την ύπαρξη μίας μόνο φάσης σε κάθε αναλογία, εμφανίζει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση και μάλιστα κάτω από σκληρές περιβαλλοντικές συνθήκες (π.χ. θαλάσσιο περιβάλλον). Χρησιμοποιείται για την κατασκευή σωλήνων, εναλλακτών θερμότητας, όπου απαιτείται υψηλή αντοχή στη διάβρωση, καθώς και στην κοπή νομισμάτων.


<http://www.m3.tuc.gr>

Κράματα Cu-Ni (χαλκονικέλιο)

m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

15

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

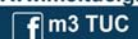
Κατεργαζόμενα υλικά

Το αλουμίνιο, μαζί με το μαγνήσιο και το τιτάνιο, ανήκει στην κατηγορία των ελαφρών μετάλλων με πυκνότητα 2.7g/cm^3 έναντι του σιδήρου που είναι 7.8g/cm^3 και του χαλκού 8.9g/cm^3 . Το αλουμίνιο και τα κράματά του εμφανίζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση λόγω της αυθόρμητης δημιουργίας επιφανειακού στρώματος Al_2O_3 που είναι λεπτό και αδιαπέραστο από το οξυγόνο, προστατεύοντας έτσι το υλικό από περαιτέρω οξείδωση και διάβρωση.

Τα διάφορα κράματα αλουμινίου διακρίνονται σε κράματα **διαμόρφωσης** και κράματα **χύτευσης** και τυποποιούνται σύμφωνα με την A.A. (Aluminium Association). Τα κράματα αλουμινίου διαμόρφωσης κατεργάζονται με έλαση, διέλαση ή άλλη κατεργασία διαμόρφωσης παράγοντας τελικά προϊόντα. Οι προσθήκες στο κράμα διαμόρφωσης ενισχύουν κυρίως την αντοχή σε θραύση. Αντίστοιχα, τα κράματα χύτευσης χρησιμοποιούνται κυρίως για την κατασκευή χυτών εξαρτημάτων σε χυτόπρεσες, όπως παραγωγή αντλιών, εμβόλων, βαλβίδων, ζαντών αυτοκινήτων και λοιπών στοιχείων που χρησιμοποιούνται στην αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροναυπηγική. Οι προσθήκες στα κράματα χύτευσης επηρεάζουν ιδιαίτερα την ευκολία χύτευσης του κράματος. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των διαφόρων κραμάτων Αλουμινίου είναι ο Χαλκός (Cu), το Μαγγάνιο (Mn), το Πυρίτιο (Si), το Μαγνήσιο (Mg), ο Ψευδάργυρος (Zn) και ο Σίδηρος (Fe). Η τυποποίηση των κραμάτων αλουμινίου γίνεται σύμφωνα με την κύρια πρόσμειξη στις παρακάτω οκτώ σειρές, τόσο στα κράματα διαμόρφωσης όσο και χύτευσης με το πρώτο γράμμα της σειράς να είναι ίδιο και στις δύο περιπτώσεις:

- 1xxx : κράματα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο πάνω από 99%.
- 2xxx : κράματα αλουμινίου - χαλκού.
- 3xxx : κράματα αλουμινίου - μαγγανίου.
- 4xxx : κράματα αλουμινίου - πυριτίου.
- 5xxx : κράματα αλουμινίου - μαγνησίου.
- 6xxx : κράματα αλουμινίου - μαγνησίου - πυριτίου.
- 7xxx : κράματα αλουμινίου - ψευδαργύρου - μαγνησίου.
- 8xxx : Διάφορα κράματα αλουμινίου (λιθίου, σιδηρούχα, κ.λπ.)

<http://www.m3.tuc.gr>

Κράματα Αλουμινίου

m3 TUC

2019-20


 School of Production Eng. & Management
 Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
 Prof. Aristomenis Antoniadis

16

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

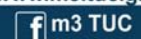
Κατεργαζόμενα υλικά

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	Τόρνευση			Φραιζάρισμα			Διάτρηση		Πριόνισμα	
Υλικό κοπτικού εργαλείου	HS	HW	PCD	HS	HW	PCD	HS	HW	HS	HW
Ταχύτητα κοπής V_c [m/min]	≤ 800	≤ 4000	*	≤ 1200	≤ 2500	≤ 2500	≤ 200	≤ 500	400-2000	≤ 3000
Γωνία αποβλίπτου γ [deg]	25-35	≤ 30	*	15-30	10-20	2	30	30	25	10
Γωνία ελευθερίας α [deg]	7-10	7-10	*	19-20	9-20	6	15-17	5-10	8	7-9
Πρόωση f [mm/min]	$\leq 0,8$		*	-	-	-	0,1-0,5	$\leq 0,15$	-	-
f_z [mm/min, δόντι]	-		-	$\approx 0,3$	$\approx 0,3$	$\approx 0,3$	-	-	$\leq 0,06$	$\leq 0,06$
Βάθος κοπής t [mm]	≤ 6	≤ 6	*	≤ 6	≤ 8	$\leq 2,5$	-	-	-	-

* Δε χρησιμοποιούνται

<http://www.m3.tuc.gr>

Συνιστάμενες τιμές συνθηκών κατεργασίας κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

17

10

9

8

7

6

5

4

3

2

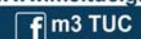
1

Κατεργαζόμενα υλικά

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	Τόρνευση			Φραιζάρισμα			Διάτρηση		Πριόνισμα	
Υλικό κοπτικού εργαλείου	HS	HW	PCD	HS	HW	PCD	HS	HW	HS	HW
Ταχύτητα κοπής V_c [m/min]	≤ 400	≤ 1200	≤ 1500	≤ 300	≤ 700	≤ 1500	80-100	≤ 500	200-1000	≤ 3000
Γωνία αποβλίπτου γ [deg]	10-20	6-12	6	15-25	10-20	2	30	30	25	8
Γωνία ελευθερίας α [deg]	7-10	5-8	12	9-20	9-20	6	12	5-10	8	7-9
Πρόωση f [mm/min]	$\leq 0,5$	$\leq 0,6$	$\leq 0,3$	-	-	-	0,1-0,4	0,15	-	-
f_z [mm/min, δόντι]	-	-	-	$\approx 0,3$	$\approx 0,3$	$\approx 0,2$	-	-	$\leq 0,6$	$\leq 0,6$
Βάθος κοπής t [mm]	≤ 6	≤ 6	≤ 1	≤ 6	≤ 8	$\leq 2,5$	-	-	-	-

<http://www.m3.tuc.gr>

Συνιστάμενες τιμές συνθηκών κατεργασίας υποευθηκτοειδών κραμάτων αλουμινίου



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

18

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ	Τόρνευση			Φραιζάρισμα			Διάτρηση		Πριόνισμα	
Υλικό κοπτικού εργαλείου	HS	HW	PCD	HS	HW	PCD	HS	HW	HS	HW
Ταχύτητα κοπής v_c [m/min]	*	≤400	≤900	*	≤300	≤1000	50	60-100	80-200	≤1000
Γωνία αποβλίπτου γ [deg]	*	6	6	*	10-20	2	30	30	15	6
Γωνία ελευθερίας α [deg]	*	5-8	12	*	9-20	6	12	5-10	8	7-9
Πρώωση f [mm/min]	*	≤0,6	≤0,2	-	-	-	0,1-0,4	0,15	-	-
f_z [mm/min, δόντι]	-	-	-	*	≈ 0,3	≈ 0,15	-	-	≤0,6	≤0,6
Βάθος κοπής t [mm]	*	≤4	≤0,8	*	≤8	≤2,5	-	-	-	-

<http://www.m3.tuc.gr>

Συνιστάμενες τιμές συνθηκών κατεργασίας υπερευθηκτοειδών κραμάτων αλουμινίου-πυριτίου



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

19

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Ντουραλουμίνιο είναι κράμα Al- 4%Cu που ανήκει στη σειρά κραμάτων αλουμινίου διαμόρφωσης 2000 (π.χ. 2024). Η κατεργασία σκλήρυνσης που πραγματοποιείται σε ένα τέτοιο κράμα ονομάζεται **σκλήρυνση με κατακρήμνιση λόγω γήρανσης**. Η συγκεκριμένη θερμική κατεργασία περιλαμβάνει τα ακόλουθα στάδια:

- **Διαλυτοποίηση.** Η αρχική δομή τέτοιων κραμάτων αποτελείται από δύο φάσεις: κόκκους της α -φάσης και χονδρά σωματίδια της θ -φάσης (CuAl_2). Διαλυτοποίηση καλείται η θέρμανση σε θερμοκρασία 500-550°C, που πραγματοποιείται προκειμένου να διαλυθεί πλήρως ο χαλκός στη α -φάση και έτσι να δημιουργηθεί μονοφασικό κράμα α -φάσης.
- **Υπερβαφή.** Μετά τη διαλυτοποίηση ακολουθεί απότομη ψύξη, η οποία σκοπό έχει να διατηρήσει την α -φάση και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Η δομή αυτή είναι υπέρκορη σε χαλκό.
- **Γήρανση.** Είναι η παραμονή του κράματος για μεγάλο χρονικό διάστημα (100-500 ώρες) είτε σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (**φυσική γήρανση**), είτε σε κάποια χαμηλή σχετικά θερμοκρασία, 100-200°C (**τεχνητή γήρανση**). Σκοπός της γήρανσης είναι η δημιουργία μίας μεταβατικής φάσης θ' (η οποία είναι πρόδρομος της θ) σε πολύ λεπτό διαμερισμό μέσα στην α -φάση. Τα λεπτά σωματίδια της θ' -φάσης (διαμέτρου μόλις μερικά angstrom ή το πολύ nm), διασκορπίζονται ομογενώς μέσα στην α -φάση μέσω μιας διεργασίας που ονομάζεται **κατακρήμνιση** και απαιτεί μεγάλο χρονικό διάστημα προκειμένου να επιτευχθεί. Η λεπτή αυτή διασπορά της θ' -φάσης οδηγεί σε κατακόρυφη αύξηση της μηχανικής αντοχής του υλικού.

<http://www.m3.tuc.gr>

Ντουραλουμίνιο



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

20

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Το μαγνήσιο είναι ένα πολύ ελαφρό μέταλλο, πυκνότητας 1.7g/cm^3 , που χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές που απαιτείται υψηλός λόγος αντοχή/βάρους (αεροναυπηγική, αυτοκινητοβιομηχανία). Έχει καλή αντοχή στη διάβρωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες (στον αέρα) αλλά το προστατευτικό οξειδίο που δημιουργείται στην επιφάνεια είναι ασταθές, κυρίως κάτω από την παρουσία αλάτων.

Όπως και στα άλλα βιομηχανικά κράματα, έτσι και στα κράματα μαγνησίου, υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες: τα κράματα **διαμόρφωσης** και τα κράματα **χύτευσης**. Η τήξη του μαγνησίου κατά τη χύτευση παρουσιάζει δυσκολίες, επειδή το μαγνήσιο καίγεται σε υψηλές θερμοκρασίες. Η προσθήκη θείου προστατεύει το μαγνήσιο επειδή καίγεται και δημιουργεί αέριο διοξείδιο του θείου. Τα κυριότερα κράματα του μαγνησίου είναι τα ακόλουθα:

- **Κράματα Mg-Al-Zn.** Οι προσθήκες Al και Zn οδηγούν σε σκλήρυνση του κράματος (με κατακρήμνιση).
- **Κράματα Mg-Zr-Th.** Η προσθήκη ζirkονίου (Zr) βοηθά στη μείωση του μεγέθους των κόκκων, ενώ η προσθήκη θορίου (Th) καθώς και σπανίων γαιών (Ce, La), αυξάνει την αντοχή του υλικού σε ερπυσμό.

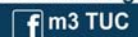
Βασικές χρήσεις των σφυρήλατων και χυτών κραμάτων Mg εντοπίζονται στην κατασκευή δομικών στοιχείων αυτοκινήτων και αεροσκαφών, όπως π.χ. τροχούς προσαγωγής, δοχεία πετρελαίου/λαδιού, πλαίσια στροφάλων, έμβολα μηχανών εσωτερικής καύσης.



<http://www.m3.tuc.gr>



Κράματα Μαγνησίου



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

21

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Το τιτάνιο έχει πυκνότητα 4.5g/cm^3 και ανήκει μαζί με το αλουμίνιο και το μαγνήσιο στα ελαφρά μέταλλα. Είναι αλλοτροπικό μέταλλο, δηλαδή αλλάζει η κρυσταλλική του δομή με τη θερμοκρασία. Πιο συγκεκριμένα, από εξαγωνικό μεγίστης πυκνότητας (α-φάση) μετατρέπεται στους 882°C σε κυβικό χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (β-φάση).

Το τιτάνιο παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή στη διάβρωση, λόγω του στρώματος TiO_2 που δημιουργείται στην επιφάνεια και λειώνει σε υψηλή θερμοκρασία (1660°C), ιδιότητα σύμφωνα με την οποία θεωρείται **πυρίμαχο υλικό**. Επιπλέον, παρουσιάζει σημαντική μηχανική αντοχή, πράγμα που το καθιστά ως το βασικό δομικό στοιχείο για την κατασκευή κινητήρων αεροπρωθούμενων αεροσκαφών (jet-engines) όπως οι τέσσερις κινητήρες του αεροπλάνου τύπου Concorde που περιείχαν 16 τόνους τιτανίου. Έτσι, οι σημαντικότερες ιδιότητες του τιτανίου (και των κραμάτων του) είναι:

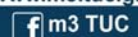
- χαμηλό ειδικό βάρος,
- χημική αντοχή (μεγάλη αντοχή στη διάβρωση),
- πυριμαχικότητα (αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες).

Καθαρό τιτάνιο (ή σπανιότερα κράμα τιτανίου-παλλαδίου) ή μονοφασικό α-κράμα λόγω της υψηλής αντοχής στη διάβρωση, καθώς και της καλής κατεργασιμότητας και συγκολλησιμότητας, χρησιμοποιείται ευρύτατα στη χημική βιομηχανία ως υλικό κατασκευής επενδύσεων, δοχείων και δεξαμενών που έρχονται σε επαφή με διαβρωτικά υγρά.

<http://www.m3.tuc.gr>



Κράματα Τιτανίου



2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

22

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Σύσταση κράματος	Όριο θραύσης σε εφελκυσμό Rm (MPa)	Όριο διαρροής 0,2% Rp0.2 (MPa)	Πυκνότητα ρ (g/cm ³)	Μέτρο ελαστικότητας E (GPa)	Βασική ιδιότητα
Ti5A12,5Sn	830	780	4.48	110	Υψηλή αντοχή
Ti6A12Sn4Zr2MoSi	900	830	4.54	114	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
Ti6A15Zr0.5MoSi	950	880	4.45	125	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
Ti5,8A14Sn3,5Zr0,7Nb 0.5Mo0.2Si0.05C	1030	910	4.55	120	Αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
Ti6A14V	900	830	4.43	114	Υψηλή αντοχή
Ti4A14Mo2Sn	1100	960	4.60	114	Υψηλή αντοχή
Ti6A16V2Sn	1030	970	4.54	116	Υψηλή αντοχή
Ti10V2Fe3Al	1250	1100	4.65	103	Υψηλή αντοχή
Ti5V3Cr3Sn3Al	1000	965	4.76	103	Υψηλή αντοχή παραμόρφωση εν ψυχρώ

<http://www.m3.tuc.gr>


Χαρακτηριστικά κράματα τιτανίου (ελάχιστες τιμές)



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

23

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

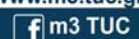
Κατεργαζόμενα υλικά

Το νικέλιο είναι μέταλλο μαγνητικό (όπως ο σίδηρος και το κοβάλτιο). Έχει πυκνότητα 8.9g/cm³ και λειώνει στους 1453°C. Το νικέλιο κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.), είναι αδρανές και παρουσιάζει έτσι εξαιρετική αντίσταση στη διάβρωση. Τα βασικά κράματα του νικελίου με μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον (μαζί με τις καθιερωμένες εμπορικές τους ονομασίες) είναι τα ακόλουθα:

- Κράματα Ni-Cu (Monel).**
Είναι κράματα με σύσταση περίπου 70% Ni - 30% Cu, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρύτατα στην κατασκευή δοχείων και δεξαμεμών στη χημική βιομηχανία. Επίσης χρησιμοποιούνται και στη ναυπηγική, π.χ. στην κατασκευή αξόνων προπελών πλοίων.
- Κράματα Ni-Ti (Nitinol).**
Σε συγκεκριμένη αναλογία 55% Ni - 45% Ti κατασκευάζονται ειδικά κράματα που ονομάζονται **κράματα μνήμης**. Αυτά τα κράματα, μετά από κατάλληλη θερμομηχανική κατεργασία, παρουσιάζουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα ανάκτησης των αρχικών τους διαστάσεων. Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές για την κατασκευή ειδικών διακοπών, συρμάτων, ενισχυμένων κατασκευών και ικανοποιούν απαιτήσεις της αεροδιαστημικής τεχνολογίας, όπως στην περίπτωση κατασκευής εξαρτημάτων κεραιών δορυφόρων.
- Υπερκράματα.**
Είναι κράματα Ni-Cr-Co-Mo-Ti-Al και Ni-Cr-Co-Fe-Mo-Ti-Al-W που σκληραίνουν σε μεγάλο βαθμό με κατάλληλες θερμικές κατεργασίες. Παρουσιάζουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση και οξειδωτική αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς επίσης και μεγάλη αντοχή στον ερπυσμό. Παρουσιάζουν εφαρμογές υψηλών απαιτήσεων τόσο σε χημική, όσο και σε μηχανική αντοχή και αντέχουν σε επιθετικές ατμόσφαιρες, όπου επικρατούν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και έντονα οξειδωτικό περιβάλλον. Είναι δομικά στοιχεία για την κατασκευή εξαρτημάτων φούρνων, χημικών αντδραστήρων με έντονα όξινο περιβάλλον, ηλεκτρικών αντιστάσεων, μηχανών και πτερυγίων αεροστροβίλων, θαλάμων καύσεως, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>


Κράματα Νικελίου



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

24

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Material	Όριο θραύσης σε εφέλκυσμό (MN/m ²)	Όριο διαρροής (MN/m ²)	Επιμήκυνση (%)	Εφαρμογές
Καθαρό Ni (99,9% Ni)	345 655	110 620	45 4	Αντίσταση σε διάβρωση Αντίσταση σε διάβρωση
Κράματα Ni-Cu Monel 400 (Ni-31.5% Cu)	540	270	37	Βαλβίδες, αντλίες, εναλλάκτες θερμότητας άξονες, ελατήρια, πτερωτές
Monel K-500 (Ni-29.5% Cu 2.7% Al-0.6% Ti)	1030	760	30	
Υπερκράματα Ni Inconel 600 (Ni-15,6% Cr-8 % Fe)	620	200	49	Εξοπλισμός θερμικής επεξεργασίας υλικών
Hastelloy B-2 (Ni-285 Mo)	900	415	61	Αντίσταση σε διάβρωση
DS-Ni (Ni-2% ThO ₂)	490	330	14	Αεριοστρόβιλοι
Υπερκράματα Fe-Ni Incolloy 800 (Ni-46% Fe-21% Cr)	615	258	37	Εναλλάκτες θερμότητας
Υπερκράματα Co Satellite 6B (60% Co-30% Cr-4.5%W)	1220	710	4	Αντίσταση σε φθορά με απόξεση

<http://www.m3.tuc.gr>

Χαρακτηριστικά κράματα νικελίου



m3 TUC

2019-20

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

25

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

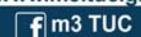
Κατεργαζόμενα υλικά

Ο ψευδάργυρος κρυσταλλώνεται στο εξαγωνικό μέγιστης πυκνότητας (ε.μ.π.) και λειώνει στους 420°C. Ο καθαρός ψευδάργυρος έχει μέτριες μηχανικές ιδιότητες αλλά παρουσιάζει μεγάλη αντοχή στη διάβρωση στον αέρα λόγω της δημιουργίας προστατευτικού ZnO στην επιφάνειά του. Έτσι, χρησιμοποιείται ευρύτατα σε οικοδομικές και ηλεκτρολογικές εφαρμογές, ως «θυσιαζόμενο» ηλεκτρόδιο για την προστασία από τη διάβρωση σε μεταλλικές κατασκευές. Επίσης, χρησιμοποιείται ως επικαλυπτικό υλικό λαμαρινών για την προστασία από διάβρωση (γαλβανισμένες και επιψευδαργυρωμένες λαμαρίνες).

Τα κράματα του ψευδαργύρου με το μεγαλύτερο πρακτικό ενδιαφέρον είναι τα κράματα Zn-Al, γνωστά με την εμπορική ονομασία **Zamac**. Τα κράματα αυτά έχουν πολύ καλή ρευστότητα και γι' αυτόν κυρίως το λόγο κατασκευάζονται με χύτευση. Αυτά χρησιμοποιούνται ως εξαρτήματα πλυντηρίων, ραδιοφώνων, παιχνιδιών, χειρολαβών, πλαισίων, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>

Κράματα Ψευδαργύρου



m3 TUC

2019-20

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

26

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

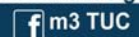
Κατεργαζόμενα υλικά

Ο μόλυβδος είναι από τα πιο βαριά μέταλλα με πυκνότητα 11.3g/cm^3 και κρυσταλλώνεται στο κυβικό εδροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα (κ.ε.). Λειώνει στους 327°C και παρουσιάζει εξαιρετική αντοχή σε διάβρωση. Διαμορφώνεται εύκολα με χύτευση και παρουσιάζει πολύ μεγάλη ολκιμότητα: μπορεί πολύ εύκολα να παραμορφωθεί με το χέρι. Παλαιότερα, από μόλυβδο κατασκευάζονταν νομίσματα, κοσμήματα και αργότερα οροφές κατοικιών. Σήμερα από μόλυβδο κατασκευάζονται συσσωρευτές, επενδύσεις δοχείων χημικών και θωρακίσεις αντιδραστήρων για προστασία από την ακτινοβολία γ και X . Τα βασικότερα κράματα μολύβδου είναι τα ακόλουθα:

- **Κράματα Pb-Sb:** Περιέχουν 7-12% Sb με αποτέλεσμα την αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή σχαρών ηλεκτρικών συσσωρευτών.
- **Κράματα Pb-Sn:** Είναι κράματα με ποσοστό κασσιτέρου 20-50% και χρησιμοποιούνται, λόγω του χαμηλού σημείου τήξης, ως συγκολλητικό υλικό για ψυχρές κολλήσεις όπως η κασσιτεροκόλληση (καλάι).
- **Κράματα Pb-Sb-Sn:** Τα κράματα που περιέχουν 5-10% Sn και 5-20% Sb παρουσιάζουν πολύ καλή ευχυτότητα και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή τυπογραφικών στοιχείων. Η σημαντικότερη ίσως κατηγορία αυτών των κραμάτων είναι κράματα Pb-Sn-Sb γνωστά ως **λευκά μέταλλα**. Υπάρχουν επίσης και λευκά μέταλλα με βάση τον κασσίτερο (babbitts). Ονομάζονται λευκά μέταλλα, σε αντιδιαστολή με τα κόκκινα που είναι τα κράματα του χαλκού, τα οποία χρησιμοποιούνται επίσης στην κατασκευή εδράνων (π.χ. φωσφορούχος μπρούντζος). Τα λευκά μέταλλα μολύβδου περιέχουν 10% Sn και 15% Sb και έχουν μεγάλη αντοχή στη φθορά - τριβή λόγω της ύπαρξης των κρυστάλλων τύπου Sb_3Sn μέσα σε μαλακή μήτρα ευηλεκτρικού Pb - Sn. Τα λευκά μέταλλα χρησιμοποιούνται ως επενδύσεις εδράνων και κουζινέτων. Τα έδρανα αυτά αποτελούνται από μια στιβαρή χαλύβδινη βάση (χιτώνιο) και στην επιφάνεια αποτίθεται (π.χ. με χύτευση) το στρώμα του λευκού μετάλλου.

<http://www.m3.tuc.gr>


Κράματα Μολύβδου



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

27

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Η λέξη **κεραμικό** σημαίνει ετυμολογικά το υλικό εκείνο που παρασκευάζεται με ψήσιμο. Τα κεραμικά ήταν από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος για την κατασκευή αγγείων, ποτηριών και ειδών καθημερινής χρήσης. Στις περισσότερες περιπτώσεις κεραμικών παρουσιάζεται μειωμένη έως καθόλου ολκιμότητα και επίσης μειωμένη αντοχή σε εφελκυσμό. Η αντοχή σε θλίψη είναι μεγαλύτερη. Αυτό οφείλεται εν μέρει στο είδος του δεσμού που υπάρχει στα κεραμικά και που είναι είτε ιοντικός (Al_2O_3 , MgO) είτε ομοιοπολικός (SiC , Si_3N_4), αλλά και στην ύπαρξη μικρορωγμών και πόρων μέσα στη μάζα του κεραμικού. Τα κεραμικά και κυρίως τα τεχνικά (που βρίσκουν πολλές μηχανολογικές εφαρμογές) παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα που ξεκινά από 1000-1500 HV (π.χ. αλουμίνια, Al_2O_3) και μπορεί να φθάσει τα 5000-7000 HV (νιτρίδιο του βορίου, BN). Το διαμάντι, που αποτελεί τετραεδρική δομή του άνθρακα, θεωρείται κεραμικό υλικό και μάλιστα το πιο σκληρό που υπάρχει (8000 - 10000 HV). Επίσης, στην πλειοψηφία τους τα κεραμικά υλικά χαρακτηρίζονται από μικρή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα (μονωτικά υλικά).

Συνοψίζοντας, τα κεραμικά είναι ανόργανα υλικά, είτε κρυσταλλικά είτε άμορφα (γυαλί), η δομή των οποίων στηρίζεται στη δημιουργία ενώσεων δύο ή περισσότερων στοιχείων με ιοντικό ή/και ομοιοπολικό δεσμό. Οι ιδιότητές τους συνοψίζονται παρακάτω:

- Υψηλό σημείο τήξεως (πυριμαχικότητα)
- Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή
- Ευθραυστότητα
- Μεγάλη αντοχή σε θλίψη
- Αντοχή στην οξειδωση-διάβρωση
- Μικρή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα

Τα κεραμικά, ανάλογα με το χημικό τους τύπο, χωρίζονται στις εξής βασικές κατηγορίες:

- Οξείδια (π.χ. Al_2O_3 , SiO_2 , ZrO_2)
- Καρβίδια (π.χ. SiC , WC , TiC , B_4C)
- Νιτρίδια (π.χ. Si_3N_4 , TiN , BN)

<http://www.m3.tuc.gr>


Κεραμικά - Γυαλιά



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

28

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Κατηγορία / Κεραμικό

Ιδιότητες - Εφαρμογές

Τεχνικά κεραμικά

καρβίδια (WC, TiC, SiC, B₄C)
νιτρίδια (TiN, Si₃N₄, BN)
οξειδία (Al₂O₃, ZrO₂)
οξυνιτρίδια (Si-AL-O-N)

Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή. Κατασκευή εργαλείων κοπής, εδράνων, τριβέων, παξιμαδιών, ακροφυσίων, εξαρτημάτων μηχανών εσωτερικής καύσης, αεριοστροβίλων, κ.λπ.

Ηλεκτροκεραμικά

Al₂O₃, ZnO, BaTiO₃, PbZrO₃

Ηλεκτρομονωτικές ιδιότητες, πιεζοηλεκτρικό και σιδηροηλεκτρικό φαινόμενο. Κατασκευή μονωτήρων (μπουζί), αισθητήρων.

Μαγνητικά κεραμικά

Fe₃O₄, NiFe₂O₄

Μαγνητικές ιδιότητες. Κατασκευή μαγνητών, πυρήνων, κ.λπ.

Υπεραγώγιμα κεραμικά

YBa₂Cu₃O₇,
Bi₂Sr₂Ca₂Cu₃O₁₀

Μηδενική αντίσταση σε θερμοκρασία υγρού αζώτου. Κατασκευή συρμάτων, πηνίων, ηλεκτρογεννητριών, αισθητήρων, αιωρούμενων μαγνητικά τρένων, κ.λπ..

Καταλύτες

Al₂O₃, TiO₂, SiO₂,
2MgO.2Al₂O₃.5SiO₂

Προσροφητικές ιδιότητες, καταλυτικές ιδιότητες. Χρήση στη χημική και πετροχημική βιομηχανία, καταλύτες αυτοκινήτων.

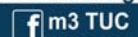
Βιοκεραμικά

Υδροξυαπατίτης
Ca₁₀(PO₄)₆(OH)₂
TiN
Al₂O₃, ZrO₂

Συμβατότητα με τον ανθρώπινο οργανισμό (βιοσυμβατότητα). Ιατρικές εφαρμογές: εμφυτεύματα ορθοπεδικά, οδοντιατρικά, κ.λπ..

<http://www.m3.tuc.gr>


Προηγμένα κεραμικά και εφαρμογές



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

29

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

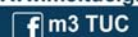
Σύνθετα καλούνται τα υλικά που κατασκευάζονται από δύο διαφορετικά υλικά προκειμένου να αποκτήσουν βελτιωμένες ιδιότητες (μηχανικές, ηλεκτρικές). Μία απλή περίπτωση παραδοσιακού σύνθετου υλικού είναι οι κολόνες οπλισμένου σκυροδέματος (μπετόν αρμέ), οι οποίες αποτελούνται από σκυρόδεμα (το οποίο από μόνο του αποτελεί σύνθετο υλικό από τσιμέντο και χαλίκια) και εσωτερικά από ράβδους μαλακού χάλυβα. Το οπλισμένο σκυρόδεμα παρουσιάζει αυξημένη αντοχή και δυσθραυστότητα.

Κάθε σύνθετο υλικό αποτελείται από το υλικό της μήτρας και από το ενισχυτικό υλικό. Ανάλογα με τη μορφή του ενισχυτικού υλικού, υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες σύνθετου υλικού:

- **Σύνθετα υλικά με διασπορά σωματιδίων:** Ένα παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι το σύνθετο πολυστυρενίου-ελαστομερούς. Το σύνθετο αυτό υλικό περιέχει σε διασπορά σωματίδια λάστιχου μέσα σε μήτρα πολυστυρενίου και έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της πλαστικότητας του αρχικά ψαθυρού πολυστυρενίου. Ένα άλλο παράδειγμα είναι το αλουμίνιο με διεσπαρμένους κόκκους καρβιδίου του πυριτίου (SiC). Λόγω των κεραμικών κόκκων (SiC), το υλικό συνδυάζει υψηλή σκληρότητα και ολκιμότητα λόγω της μήτρας αλουμινίου.
- **Σύνθετα υλικά με ίνες:** Το πιο χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιου σύνθετου υλικού είναι πολυμερές (φαινολικά, πολυεστέρες, εποξικές ρητίνες) ενισχυμένο με ίνες γυαλιού (**fiber glass**). Ένα τέτοιο σύνθετο υλικό παρουσιάζει μεγάλη μηχανική, χημική αντοχή και δυσθραυστότητα σε συνδυασμό με τη μικρή πυκνότητα. Χρησιμοποιείται σε αεροναυπηγικές - ναυπηγικές εφαρμογές και στη χημική βιομηχανία για την κατασκευή δοχείων που περιέχουν διαβρωτικά υγρά. **Πολυμερή με ίνες Kevlar** (είναι η εμπορική ονομασία κάποιου πολυαμιδίου που παρασκεύασε η εταιρεία Du Pont) ή άνθρακα, είναι σύνθετα υλικά με μεγάλη αντοχή στην κρούση. Βρίσκουν εφαρμογές στην κατασκευή αμαξωμάτων αγωνιστικών αυτοκινήτων, τριβέων και εδράνων και γενικά στοιχείων μηχανών που καταπονούνται κάτω από έντονες συνθήκες (μηχανικές - θερμικές).

<http://www.m3.tuc.gr>


Σύνθετα υλικά



m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

30

10

9

8

7

6

5

4

3

2

1

Κατεργαζόμενα υλικά

Κατηγορία σύνθετου υλικού**Εφαρμογές****Πολυμερικής μήτρας**

ΐνες Kevlar / εποξική ρητίνη
ΐνες γραφίτη / πολυεστέρας

Αεροναυπηγική - ναυπηγική, αθλητικά είδη
Αεροναυπηγική - αυτοκινητοβιομηχανία

Μεταλλικής μήτραςAl₂O₃ / Al

SiC / Al

SiC / Cu

WC / Co (cermet)

Κατασκευή εμβόλων ΜΕΚ

Έδρανα, τριβείς

Προπέλες, πτερωτές

Εργαλεία κοπής

Κεραμικής μήτρας

ΐνες άνθρακα / άνθρακας

ΐνες SiC / Si₃N₄

SiC / γυαλί

Αεροναυπηγική - αεροδιαστημική

Θερμομονωτικά υλικά

Αντιτριβικές εφαρμογές


<http://www.m3.tuc.gr>

Προηγμένα σύνθετα υλικά και εφαρμογές

m3 TUC

2019-20



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

31