

6. ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

Τα τεχνικά μεταλλικά υλικά χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες : στα **σιδηρούχα** και τα μη **σιδηρούχα**. Τα σιδηρούχα μεταλλικά υλικά περιλαμβάνουν κυρίως τους χάλυβες και τους χυτοσιδήρους (βλ. Παράγραφο 4.4.), ενώ τα μη σιδηρούχα περιλαμβάνουν κυρίως τα κράματα χαλκού, αλουμινίου, τιτανίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου, μολύβδου, κ.λπ..

6.1 Κατάταξη των χάλυβων

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

- (i) **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.
- (ii) **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).

Όσον αφορά τον προορισμό τους οι χάλυβες διακρίνονται σε :

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

Όσον αφορά τη χρήση οι χάλυβες διακρίνονται σε :

- (i) **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.
- (ii) **Ανοξείδωτοι 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 ανοξείδωτο 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 χρήσεως, όπως π.χ. είδη κουζίνας, μαχαιροπήρουνα, κ.λπ.
- (iii) **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 τόννου, φρέζας, πλάνης, κ.λπ.) ή διαμόρφωσης (μήτρες, έμβολα, καλούπια χύτευσης και διαμόρφωσης).
- (iii) **Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.** Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών ηλεκτρικών γεννητριών, μονίμων μαγνητών, κ.λπ..

6.2 Τυποποίηση χάλυβων

Η ονοματολογία των χάλυβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης, όπως είναι το γερμανικό DIN, το αμερικάνικο AISI-SAE, το γαλλικό AFNOR και το αγγλικό BS. Παρακάτω, θα αναπτυχθεί η ονοματολογία των χάλυβων στα πιο συνήθη συστήματα, που είναι το γερμανικό DIN και το αμερικάνικο AISI-SAE.

6.2.1 Τυποποίηση κατά DIN

Η ονομασία ενός **κοινού ανθρακούχου χάλυβα** ξεκινά με το πρόθεμα **St** (από το γερμανικό Stahl που σημαίνει χάλυβας) και ακολουθεί ένας αριθμός, που δηλώνει την αντοχή αυτού του χάλυβα σε εφελκυσμό, μετρούμενη σε kp/mm^2 . Έτσι, ένας ανθρακούχος χάλυβας με αντοχή 700 N/mm^2 (δηλ. 70 kp/mm^2) συμβολίζεται, σύμφωνα με αυτήν την ονοματολογία, ως **St 70**. Παλαιότερα ακολουθούσαν και δύο ακόμη ψηφία που δήλωναν τα δύο τελευταία ψηφία του προτύπου DIN. Π.χ. ο συμβολισμός St 5011 δηλώνει χάλυβα αντοχής 50 kp/mm^2 (ή 500 N/mm^2), ο οποίος είναι τυποποιημένος σύμφωνα με το πρότυπο DIN 1611 (τα δύο πρώτα ψηφία, 16, αναφέρονται στους χάλυβες). Συνήθως, τον αριθμό που δηλώνει την αντοχή ακολουθεί ένα ψηφίο που αφορά την ποιότητα (1: συνήθεις απαιτήσεις, 2: μεγαλύτερες απαιτήσεις, 3: ειδικές απαιτήσεις). Π.χ. ο χάλυβας St 40-1 έχει αντοχή 400 N/mm^2 και ανήκει στην ποιότητα 1.

Στην περίπτωση **ανθρακούχων χαλύβων καλύτερης ποιότητας** ο συμβολισμός ξεκινά με το γράμμα **C** (που δηλώνει άνθρακα) και ακολουθεί η εκατοστιαία περιεκτικότητα σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100. Π.χ. ο χάλυβας **C 60** είναι ανθρακούχος χάλυβας με $60/100 = 0,60 \%$ κ.β. C. Στην περίπτωση των υπερκαθαρών χαλύβων (με εξαιρετικά χαμηλά ποσοστά ακαθαρσιών S, P) μεταξύ του C και της περιεκτικότητας παρεμβάλλεται το γράμμα K. Π.χ. ο προηγούμενος χάλυβας θα ονομαζόταν CK 60, αν η περιεκτικότητά του σε S και P ήταν πολύ χαμηλή. Όταν ο χάλυβας έχει υποστεί κάποια θερμική κατεργασία, χρησιμοποιούνται γράμματα του λατινικού αλφαβήτου: το E δηλώνει ενανθράκωση, το G ανόπτηση, το N εξομάλυνση και το V επιβελτίωση.

Στην περίπτωση των **κραματωμένων χαλύβων** προηγείται η περιεκτικότητα του άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100 και έπεται ο χημικός συμβολισμός για τα στοιχεία προσθήκης με τις περιεκτικότητες πολλαπλασιασμένες με κάποιο αριθμό:

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W	x 4
Al, Cu, Mo, Ti, V	x 10
P, S, N, C	x 100

Παράδειγμα 6.1

Ποια είναι η χημική σύσταση των παρακάτω χαλύβων : 20 Cr 4 και 15 Cr Mo 86 ;

Λύση

Η περιεκτικότητα σε C του πρώτου χάλυβα είναι $20/100 \%$, δηλαδή $0,2\%$ κ.β και η περιεκτικότητα του Cr είναι ίση προς $4/4$, δηλαδή $1,0\%$ κ.β.

Ο δεύτερος χάλυβας έχει $15/100 = 0,15 \%$ κ.β. C, $8/4 = 2\%$ κ.β. Cr και $6/10 = 0,6\%$ κ.β. Mo.

Στην περίπτωση που τα ποσοστά των προσμείξεων θα ξεπεράσουν το 5% τότε μπροστά από την ονομασία του χάλυβα μπαίνει το γράμμα X, ακολουθεί η περιεκτικότητα του άνθρακα επί 100, τα στοιχεία προσθήκης και η περιεκτικότητές τους πολλαπλασιασμένες με τη μονάδα. Έτσι, π.χ. ο χάλυβας X 40 CrMo 124 περιέχει $0,40\%$ C, 12% Cr και 4% Mo.

6.2.2 Τυποποίηση κατά AISI-SAE

Η ονοματολογία των ανθρακούχων και κραματωμένων χαλύβων κατά AISI-SAE περιλαμβάνει τέσσερα ψηφία ΧΨΖΩ. Με τα δύο πρώτα ψηφία μπορεί να ευρεθεί (με τη βοήθεια πινάκων) το κύριο ή τα κύρια στοιχεία προσθήκης και τα ποσοστά τους στο χάλυβα. Τα δύο τελευταία ψηφία δείχνουν την περιεκτικότητα σε άνθρακα πολλαπλασιασμένη επί 100. Το πρώτο ψηφίο των ανθρακούχων χαλύβων με μικρά ποσοστά προσμείξεων είναι 1.

Παρακάτω αναφέρονται μερικά παραδείγματα τυποποιημένων κατά AISI-SAE χαλύβων:

- Ο χάλυβας AISI-1045 είναι ανθρακούχος με $0,45\%$ C.
- Ο χάλυβας AISI 1330 είναι χάλυβας με $1,60-1,90 \%$ Mn και $0,30 \%$ C.
- Ο χάλυβας AISI-2340 είναι νικελιούχος με $3,5\%$ Ni και $0,40\%$ C.
- Ο χάλυβας AISI-3430 είναι νικελιοχρωμιούχος με 3% Ni, $0,8\%$ Cr και $0,30\%$ C.

Η τυποποίηση των διαφόρων κατηγοριών χαλύβων κατασκευών, ανοξείδωτων και εργαλειοχαλύβων, αναφέρεται στις αντίστοιχες παραγράφους.

6.3 Κραματωμένοι χάλυβες

6.3.1 Επίδραση των στοιχείων προσθήκης

Τα στοιχεία τα οποία προστίθενται στο χάλυβα 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**

Οι ακαθαρσίες θείου και φωσφόρου πρέπει να διατηρούνται σε μικρά ποσοστά, διότι ψαθυροποιούν το χάλυβα. Αναλυτικά ο ρόλος για καθένα ξεχωριστά από τα βασικότερα στοιχεία προσθήκης παρουσιάζεται στον Πίνακα Π.6.1.

Στοιχείο προσθήκης	Κατηγορία	Διαλυτότητα	Επίδραση
Ni (νικέλιο)	γ-φερρογόνο και γραφιτίζον	10% στο φερρίτη και άνευ ορίου στον ωστενίτη	Σημαντική αύξηση εμβαπτότητας. Αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και της προστασίας από διάβρωση.
Cr (χρώμιο)	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	άνευ ορίου στο φερρίτη και 13% στον ωστενίτη	Μικρή αύξηση της εμβαπτότητας. Αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και της προστασίας από διάβρωση (ιδίως>13%)
Mn (μαγγάνιο)	γ-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	3% στο φερρίτη και άνευ ορίου στον ωστενίτη	Μικρή αύξηση της εμβαπτότητας. Αύξηση της κατεργασιμότητας σε κοπή (χάλυβες ελευθέρως κοπής). Μεγάλη αντοχή σε φθορά-τριβή για ποσοστά > 12% (χάλυβες Hadfield)
Mo (μολυβδαίνιο)	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	37% στο φερρίτη και 5% στον ωστενίτη	Μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας. Αύξηση της σκληρότητας, της αντοχής σε επαναφορά και της αντοχής σε φθορά-τριβή.
W (βολφράμιο)	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	33% στο φερρίτη και 6% στον ωστενίτη	Μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, της σκληρότητας, της αντοχής σε επαναφορά και

V (βανάδιο)	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	άνευ ορίου στο φερρίτη και 1% στον ωστενίτη	της αντοχής σε φθορά-τριβή. Πολύ μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας. Προκαλεί τη μέγιστη αύξηση της σκληρότητας μετά από επαναφορά. Μεγάλη αύξηση της αντοχής σε φθορά-τριβή.
Co (κοβάλτιο)	γ-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	75% στο φερρίτη και άνευ ορίου στον ωστενίτη	Μείωση της εμβαπτότητας. Προκαλεί σκλήρυνση με το σχηματισμό μεσομεταλλικών ενώσεων σε ειδικές κατηγορίες χαλύβων (χαλύβες Maraging)
Si (πυρίτιο)	α-φερρογόνο και γραφιτίζον	18,5% στο φερρίτη και 6% στον ωστενίτη	Μικρή αύξηση της εμβαπτότητας. Προστασία από διάβρωση. Χρήση σε ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές.

Πίνακας Π.6.1 : Επίδραση κραματικών στοιχείων στο χάλυβα

6.4 Χάλυβες κατασκευών

Η κατάταξη κατά AISI-SAE, οι ιδιότητες και οι βασικές χρήσεις των χαλύβων κατασκευών φαίνονται στον Πίνακα Π.6.2. Από άποψη δομής, οι χάλυβες κατασκευών διακρίνονται σε: φερριτικούς, φερριτικούς/περλιτικούς, ωστενιτικούς και μαρτενσιτικούς.

6.5 Ανοξειδωτοι χάλυβες

Είναι χάλυβες εξαιρετικής αντοχής στην οξείδωση και στη διάβρωση γενικότερα. Η αντοχή τους αυτή οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητά τους σε χρώμιο (Cr). Η περιεκτικότητά τους σε Cr κυμαίνεται από 12-30% κ.β.. Το Cr αντιδρά χημικά με το οξυγόνο του αέρα και δημιουργείται επιφανειακά το οξείδιο του χρωμίου, Cr_2O_3 , που προστατεύει το μέταλλο βάσης από την οξείδωση. Το φαινόμενο αυτό προστασίας ονομάζεται **παθητικοποίηση**.

Κύρια σειρά (AISI-SAE)	Είδος χάλυβα	Ιδιότητες - χρήσεις
2000	Νικελιούχος	Αντοχή σε κόπωση, διάβρωση. Ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές.
3000	Νικελιοχρωμιούχος	Καλή εμβαπτότητα και αντοχή σε διάβρωση. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Κατασκευή διωστήρων, αξόνων, κ.λπ.
4000	Μολυβδαινιούχος	Καλή εμβαπτότητα. Σκληρότητα, αντίσταση στη φθορά και αντοχή στον ερπυσμό. Κατασκευή τμημάτων λεβήτων, αεριοστροβίλων, κ.λπ.
5000	Χρωμιούχος	Καλή εμβαπτότητα. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Κατασκευή λεπίδων, διωστήρων, ρουλεμάν, εκκέντρων, κ.λπ.
6000	Χρωμιοβαναδιούχος	Πολύ καλή εμβαπτότητα. Αύξηση της

7000	Βολφραμιοχρωμιούχος	αντοχής σε φθορά-τριβή. Κατασκευή μαχαιριών, ψαλιδιών, λεπίδων, ελατηρίων βαλβίδων, κ.λπ. Πολύ καλή εμβαισιότητα. Μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά-τριβή. Κατασκευή στιγών, ψαλιδιών, λεπίδων, κ.λπ.
8000	Νικελιοχρωμιομολυβδαινιούχος	Πολύ καλή εμβαισιότητα. Επιδέχεται επιφανειακή σκλήρυνση. Χρησιμοποιείται για την κατασκευή ατράκτων, σφυρήλατων αντικειμένων, κ.λπ.
9000	Πυριτιούχος	Μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα. Κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών.

Πίνακας Π.6.2 : Βασικές κατηγορίες κραματωμένων χαλύβων κατασκευών και αντίστοιχες ιδιότητες - χρήσεις.

Οι βασικοί ανοξείδωτοι χάλυβες χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες (Βλ. Πίνακα Π.6.3) :

- (α) **Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Περιέχουν χρώμιο 12-17% και άνθρακα 0.15-1% και μπορούν να σκληρυνθούν με τη θερμική κατεργασία της βαφής. Παράλληλα με την αντοχή στη διάβρωση, οι χάλυβες αυτοί έχουν και μεγάλη σκληρότητα λόγω του μαρτενσίτη που δημιουργείται κατά τη βαφή.
- (β) **Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Περιέχουν χρώμιο πάνω από 13% με αποτέλεσμα να σταθεροποιείται ο φερρίτης (α-Fe), μετά από τη θερμική κατεργασία. Λόγω της μικρής περιεκτικότητας σε άνθρακα, υπάρχει περίπτωση να σχηματισθούν καρβίδια του χρωμίου, σε περιορισμένη όμως κλίμακα.
- (γ) **Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.** Περιέχουν χρώμιο 16-25%, νικέλιο 7-20% και μετά από ανόπτηση σχηματίζεται μονοφασικό ωστενιτικό κράμα (γ-Fe). Έχουν μεγάλη αντοχή στη διάβρωση, σχετικά καλή μηχανική αντοχή και καλή κατεργασιμότητα.
- (δ) **Ανοξείδωτοι χάλυβες σκληρύνσεως δια κατακρήμνισης.** Εκτός από την υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο, περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως νικέλιο (Ni), ταντάλιο (Ta), νιόβιο (Nb), τιτάνιο (Ti), αλουμίνιο (Al) και η σκληρότητά τους προκύπτει κυρίως από μαρτενσιτικό μετασχηματισμό (βαφή) και κατακρήμνιση μεσομεταλλικών ενώσεων τύπου Ni_3Al , Ni_3Ti , Ni_3Nb .

Είδος	AISI	C	Cr	Ni	Mo	Al	Ιδιότητες-χρήσεις
Μαρτενσιτικοί	410	<0,15	12	-	-	-	Μεγάλη σκληρότητα. Κατασκευές εργαλείων, εξαρτημάτων αντλιών, ψαλιδιών, κ.λπ.
	420	>0,15	13	-	-	-	
Φερριτικοί	405	0-0,08	13	-	-	0,2	Πυρίμαχοι και οξύμαχοι χάλυβες με χρήσεις στη χημική βιομηχανία, τη βιομηχανία τροφίμων και στην αρχιτεκτονική.
	430	0-0,12	17	-	-	-	
Ωστενιτικοί	304	0-0,08	19	9	-	-	Χρησιμοποιούνται στη χημική βιομηχανία, τη βιομηχανία αυτοκινήτων και την
	316	0-0,08	17	12	2,5	-	

Σκλήρυνση με κατακρήμνιση	361 17- 17PH	0,09	17	7	-	1,2	αεροναυπηγική. Παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και υψηλή αντοχή στη διάβρωση. Χρησιμοποιούνται ως δομικά στοιχεία αεροσκαφών.
---------------------------	--------------------	------	----	---	---	-----	---

Πίνακας Π.6.3 : Βασικοί ανοξείδωτοι χάλυβες και κύριες χρήσεις.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε χρώμιο ψαθυροποιούνται με παρατεταμένη θέρμανση κοντά στους 900°C, λόγω κατακρήμνισης της σ-φάσης (FeCr), η οποία είναι πολύ σκληρή και εύθραυστη.

Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες εμφανίζουν το φαινόμενο της **ευαισθητοποίησης** κατά τη θέρμανσή τους μέσα στο διάστημα 600-870°C (π.χ. κατά τη συγκόλληση). Στο θερμοκρασιακό αυτό διάστημα κατακρημνίζονται (σχηματίζονται) καρβίδια του χρωμίου, τύπου Cr₂₃C₆ και Cr₇C₃, 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 ανοξείδωτων τεμαχίων στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη.

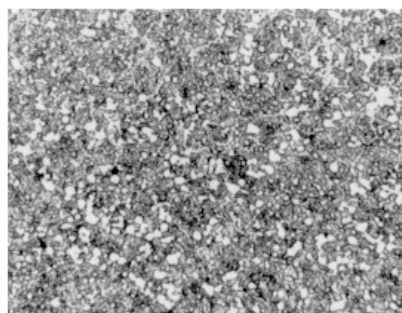
Οι τρόποι πρόληψης της ευαισθητοποίησης είναι οι παρακάτω :

- 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°C) και διατήρησή τους στο στερεό διάλυμα (ωστενίτη) μετά από την ψύξη.

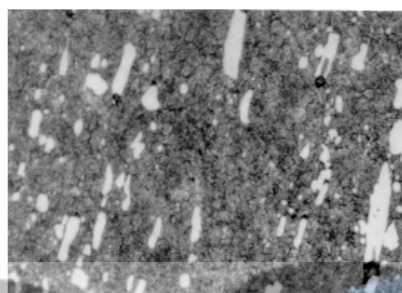
6.6 Εργαλειοχάλυβες

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), βλ. σχήμα 6.1.



(α)



(β)

Σχήμα 6.1 : Μικρογραφίες εργαλειοχαλύβων όπου διακρίνονται καρβίδια (λευκές περιοχές) (α) σφαιρικού τύπου σε ταχυχάλυβα M2 και (β) ακανόνιστου τύπου σε εργαλειοχάλυβα D2. (Μεγέθυνση X500)

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**). Η ταξινόμηση των χαλύβων, σύμφωνα με το αμερικάνικο σύστημα AISI-SAE, παρουσιάζεται στον Πίνακα Π.6.4 :

α/α	Σειρά κατά AISI-SAE	Βασικά χαρακτηριστικά
1	Σειρά W (Εργαλειοχάλυβες χαμηλής εμβαιπτότητας).	Οι κυριότερες προσθήκες είναι το Cr (0,20-0,50%), που συμβάλλει στην αύξηση της εμβαιπτότητας και της αντοχής στη φθορά, και το V για την εκλέπτυνση των κόκκων και τη βελτίωση της δυσθραυστότητας. Βάφονται στο νερό. Κύριες εφαρμογές : εργαλεία κοπής και επεξεργασίας ξύλου, μετάλλου, κ.λπ.
2	Σειρά S (Εργαλειοχάλυβες υψηλής αντοχής στην κρούση)	Κύριες προσθήκες: Si, Cr, W και δευτερευόντως Mo ή Ni. Κύριος ρόλος των παραπάνω προσμείξεων είναι η βελτίωση της εμβαιπτότητας και της αντοχής στη φθορά. Από αυτούς τους χάλυβες κατασκευάζονται εργαλεία και έδρανα που καταπονούνται σε κρουστικές φορτίσεις.
3	Σειρά O (Εργαλειοχάλυβες ψυχρής κατεργασίας, μέσης εμβαιπτότητας)	Κύριες προσθήκες: W, Mn, Cr, Mo. Βάφονται στο λάδι. Κύριες εφαρμογές συναντώνται στην κατασκευή εργαλείων και καλουπιών ψυχρής διαμόρφωσης.
4	Σειρά A (Εργαλειοχάλυβες μέτριας κραματοποίησης και υψηλής εμβαιπτότητας)	Κύριες προσθήκες: Cr, Mo, Mn, V. Βάφονται στον αέρα. Κύριες χρήσεις: εργαλεία υψηλής αντοχής σε φθορά-τριβή, κύλινδροι ελάσεως, κ.λπ.

5	Σειρά D (Εργαλειοχάλυβες υψηλού ποσοστού άνθρακα και χρωμίου)	Ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα (1-2,35%) και Cr (12%). Δευτερεύουσες προσθήκες: W, Mo, Co, V. Κύρια ιδιότητα αυτών των χάλυβων είναι η εξαιρετικά υψηλή αντοχή στη φθορά-τριβή. Χρησιμοποιούνται ως εργαλεία ψυχρής διαμόρφωσης (π.χ. ράουλα ελάστρων).
6	Σειρά H (Εργαλειοχάλυβες θερμών κατεργασιών)	Κύριες προσθήκες: Cr, W, Mo, V. Χρησιμοποιούνται ως εργαλεία (μήτρες, καλούπια, έμβολα) θερμών κατεργασιών, όπως θερμή εξέλαση, θερμή σφυρηλάτηση, χύτευση, κ.λπ.
7	Σειρά T (Ταχυχάλυβες βολφραμίου)	Κύριες προσθήκες: W, Mo, Cr, V, Co. Παρουσιάζουν μεγάλη σκληρότητα και αντοχή στη φθορά και αντέχουν επίσης και στη χρήση σε υψηλές θερμοκρασίες. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως κοπτικά εργαλεία: δράπανα, τρυπάνια, εργαλεία τόννευσης, φρεζαρίσματος.
8	Σειρά M (Ταχυχάλυβες μολυβδαινίου)	Κύριες προσθήκες: Mo, W, V, Co. Παρουσιάζουν παρόμοιες ιδιότητες με την παραπάνω σειρά. Εφαρμογές σε εργαλεία κοπής υψηλής ταχύτητας.
9	Σειρά P (Εργαλειοχάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα / χάλυβες καλουπιών χύτευσης πλαστικών)	Κύριες προσθήκες: Ni, Cr, V, Mo. Παρουσιάζουν μέτρια σκληρότητα και επίσης μέτρια αντίσταση σε φθορά-τριβή. Χρησιμοποιούνται κυρίως ως καλούπια χύτευσης πλαστικών.

Πίνακας Π.6.4 : Βασικές κατηγορίες εργαλειοχαλύβων κατά AISI-SAE

Η χημική σύσταση των βασικότερων τύπων εργαλειοχαλύβων που χρησιμοποιούνται στις μηχανουργικές κατεργασίες (O, H, D, M, T) παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα Π.6.5 :

Σειρά AISI	Χάλυβας	C	Cr	Mo	W	V	Mn	Co
Σειρά O	O1	0,90	0,50	-	0,50	-	1,00	-
	O2	0,90	-	-	-	-	1,60	-
Σειρά H	H11	0,35	5,00	1,50	-	0,40	-	-
	H13	0,35	5,00	1,50	-	1,00	-	-
	H23	0,30	12,00	-	12,00	-	-	-
	H26	0,50	4,00	-	18,00	1,00	-	-
	H42	0,60	4,00	5,00	6,00	2,00	-	-
Σειρά D	D2	1,50	12,00	1,00	-	1,00	-	-
	D3	2,25	12,00	-	-	-	-	-
	D4	2,25	12,00	1,00	-	-	-	-
	D5	1,50	12,00	1,00	-	-	-	3,00
Σειρά M	M1	0,85	4,00	8,50	1,50	1,00	-	-
	M2	1,00	4,00	5,00	6,00	2,00	-	-
	M4	1,30	4,00	4,50	5,50	4,00	-	-
	M7	1,00	4,00	8,75	1,75	2,00	-	-
Σειρά T	T1	0,75	4,00	-	18,00	1,00	-	-
	T15	1,50	4,00	-	12,00	5,00	-	5,00

Πίνακας Π.6.5 : Χημική σύσταση των κυριότερων εργαλειοχαλύβων.

6.7 Χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών

Αυτοί χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες :

- (i) **Μαγνητικά μαλακοί χάλυβες.** Περιέχουν μεγάλο ποσοστό Si (4-5%) και έχουν τις εξής ιδιότητες: μεγάλη μαγνητική διαπερατότητα και μικρές απώλειες ενέργειας από υστέρηση και δινορεύματα. Χρησιμοποιούνται για την κατασκευή πυρήνων μετασχηματιστών για ηλεκτρικές γεννήτριες και κινητήρες.
- (ii) **Μαγνητικά σκληροί χάλυβες.** Τυπικοί μαγνητικοί σκληροί χάλυβες περιέχουν C (0,8-1,0%), Cr (0,6-9,0%), W (έως 6,0%) και Co (3,0 και 15%). Άλλα μαγνητικά υλικά, με βάση το σίδηρο, είναι κράματα Fe-Ni, Fe-Co και Fe-Ni-Co. Επίσης, τελευταία έχουν βελτιωθεί οι ιδιότητές τους με προσθήκες Al, Cu και Ti, όπως είναι το κράμα 57Fe-12Co-9Al-16Ni-5Cu-1Ti (κράμα **Alnico**). Παρουσιάζουν μεγάλο βρόγχο υστέρησης και παραμένουσα μαγνητική επαγωγή (B_r) και χρησιμοποιούνται ευρύτατα ως μόνιμοι μαγνήτες. .

