

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Πρόκειται για κράματα που βρίσκουν ευρείες εφαρμογές στην πράξη. Διακρίνονται σε:

- *Σιδηρούχα κράματα:* Χάλυβες, χυτοσίδηροι.
- *Μη σιδηρούχα κράματα:* Κράματα Cu (ορείχαλκοι, μπρούντζοι κλπ), κράματα ελαφρών μετάλλων (Al, Mg, Ti), κράματα Zn, κράματα Pb, υπερκράματα (κράματα Ni, Co, κλπ.).

ΜΕΡΟΣ Α΄: ΣΙΔΗΡΟΥΧΑ ΚΡΑΜΑΤΑ

A. ΧΑΛΥΒΕΣ

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ

(α) *Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση:* Διακρίνονται σε κοινούς ή ανθρακούχους και σε κραματωμένους χάλυβες.

(β) *Ανάλογα με τον προσρισμό τους:* Διακρίνονται σε χάλυβες διαμόρφωσης και χυτοχάλυβες.

(γ) *Ανάλογα με τη χρήση τους:* Διακρίνονται σε χάλυβες κατασκευών, εργαλειοχάλυβες, ανοξείδωτους χάλυβες, πυρίμαχους χάλυβες και χάλυβες ηλεκτρομαγνητικών εφαρμογών.

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΚΑΤΑ AISI-SAE

Ο χάλυβας δηλώνεται με έναν τετραψήφιο αριθμό XYZZ, τα ψηφία του οποίου σημαίνουν:

X: οικογένεια χάλυβα (βλ. Πίν. 1α)

Y: ποσοστό κυρίων στοιχείων κραμάτωσης στον χάλυβα (βλ. Πίν. 1β).

ZZ: π(C) πολλαπλασιασμένη επί 100%.

Μπροστά από τον κωδικό του χάλυβα μπορεί να υπάρχει ένα κεφαλαίο γράμμα της λατινικής αλφαβήτου που δηλώνει τη μεταλλουργική διαδικασία για την παραγωγή του χάλυβα (Πίν. 2).

Πίνακας 1(α): Ονοματολογία χαλύβων κατά AISI-SAE (Κωδικός X)

Σειρά χάλυβα	Οικογένεια χάλυβα
1YZZ	Κοινοί ή Μαγγανιούχοι χάλυβες
2YZZ	Νικελιούχοι χάλυβες
3YZZ	Νικελιοχρωμιούχοι χάλυβες
4YZZ	Μολυβδαινιούχοι ή Χρωμιομολυβδαινιούχοι ή Νικελιομολυβδαινιούχοι ή Ni-Cr-Mo χάλυβες
5YZZ	Χρωμιούχοι χάλυβες
6YZZ	Χρωμιοβαναδιούχοι χάλυβες
7YZZ	Χάλυβες Βολφραμίου-Χρωμίου
8YZZ	Χάλυβες Ni-Cr-Mo
9YZZ	Μαγγανιοπυριτιούχοι ή Ni-Cr-Mo χάλυβες

Πίνακας 1(β): Ονοματολογία χαλύβων κατά AISI-SAE (Κωδικός Υ, αντιπροσωπευτικοί τύποι)

Σειρά χάλυβα	Οικογένεια χάλυβα
10ZZ	Κοινοί χάλυβες
11ZZ	Κοινοί χάλυβες ελεύθερης κοπής (free-cutting) με S
12ZZ	Κοινοί χάλυβες ελεύθερης κοπής (free-cutting) με S και P
13ZZ	Χαλβοκράματα μαγγανίου [$\pi(\text{Mn})=1.60-1.90\%$]
23ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου [$\pi(\text{Ni})=3.5\%$]
25ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου [$\pi(\text{Ni})=5\%$]
31ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=1.25\%$, $\pi(\text{Cr})=0.60\%$]
32ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=1.75\%$, $\pi(\text{Cr})=1\%$]
33ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-χρωμίου [$\pi(\text{Ni})=3.50\%$, $\pi(\text{Cr})=1.50\%$]
40ZZ	Χαλβοκράματα μολυβδαινίου [$\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
41ZZ	Χαλβοκράματα χρωμίου-μολυβδαινίου [$\pi(\text{Cr})=1\%$, $\pi(\text{Mo})=0.20\%$]
43ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου
46ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-μολυβδαινίου [$\pi(\text{Ni})=1.75\%$, $\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
48ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-μολυβδαινίου [$\pi(\text{Ni})=3.5\%$, $\pi(\text{Mo})=0.25\%$]
51ZZ	Χαλβοκράματα χρωμίου [$\pi(\text{Cr})=0.80\%$]
52ZZ	Χαλβοκράματα χρωμίου [$\pi(\text{Cr})=1.5\%$]
61ZZ	Χαλβοκράματα χρωμίου-βαναδίου
86ZZ	Χαλβοκράματα νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου [$\pi(\text{Ni})=0.55\%$, $\pi(\text{Cr})=0.50\%$, $\pi(\text{Mo})=0.20\%$]
92ZZ	Χαλβοκράματα μαγγανίου-πυριτίου [$\pi(\text{Mn})=0.80\%$, $\pi(\text{Si})=2\%$]
94ZZ	Χαλβοκράματα μαγγανίου-πυριτίου- νικελίου-χρωμίου-μολυβδαινίου

Πίνακας 2: Επεξήγηση προθέματος

Πρόθεμα	Μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής χάλυβα
A	Κραματωμένος χάλυβας σε κάμινο όξινης επένδυσης
B	Κοινός χάλυβας σε κάμινο Bessemer
C	Κοινός χάλυβας σε κάμινο ανοικτής εστίας με βασική επένδυση
D	Κοινός χάλυβας σε κάμινο ανοικτής εστίας με όξινη επένδυση
E	Χάλυβας σε ηλεκτρική κάμινο
X	Χάλυβας ειδικής σύστασης (εκτός προδιαγραφών)

Παράδειγμα: 1160 (1: Κοινός χάλυβας, 1:Με πρόσμιξη S, 60: $\pi(\text{C})=0,55-0,66\%$ κ.β.)

ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΚΑΤΑ DIN

ΚΟΙΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Συμβολισμός: St XX(YY)

όπου: St (από τη γερμανική λέξη Stahl=χάλυβας)

XX η ελάχιστη αντοχή του χάλυβα σε εφελκυσμό, εκφρασμένη σε daN/mm^2 .

YY (προαιρετικά) αφορούν ειδικές (ποιοτικές) προδιαγραφές αντίστοιχου πίνακα DIN

Παράδειγμα: Ο χάλυβας St 3722, είναι κοινός χάλυβας ελάχιστης αντοχής σε εφελκυσμό 37 daN/mm^2 που ικανοποιεί τις προδιαγραφές του DIN 1622.

ΚΟΙΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΓΙΑ ΕΠΙΒΕΛΤΙΩΣΗ Η ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ

Συμβολισμός: C XX ή C XX K

όπου: XX η $\pi(\text{C})$ πολλαπλασιασμένη επί 100.

K δηλώνει ότι το ποσοστό των ακαθαρσιών είναι πολύ μικρό.

Παράδειγμα: Ο χάλυβας C 40 K, είναι κοινός χάλυβας με $\pi(\text{C})=0.40\%$ και εξαιρετικής καθαρότητας που προορίζεται για επιβελτίωση ή ενανθράκωση.

Ειδικά προθέματα, δηλωτικά της θερμικής ή άλλης κατεργασίας που έχει υποστεί ο χάλυβας:

E: Ενανθράκωση
 G: Ανόπτηση
 N: Εξομάλυνση
 V: Επιβελτίωση
 GS: Χυτοχάλυβας (προϊόν χύτευσης)

ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ (ΧΑΛΥΒΟΚΡΑΜΑΤΑ)

Συμβολισμός: XX ABC...abc...

όπου: XX η $\pi(C)$ πολλαπλασιασμένη επί 100.

A, B, C ... τα χημικά σύμβολα των βασικών κραματικών στοιχείων κατά σειρά ελαττούμενης περιεκτικότητας

a, b, c ... αντίστοιχοι ακέραιοι δηλωτικοί της περιεκτικότητας των A, B, C ..., αντίστοιχα, οι οποίοι υπακούουν στους εξής κανόνες:

- Για τα στοιχεία: Cr, Co, Mn, Ni, Si, W προκύπτουν από την περιεκτικότητα (%) πολλαπλασιασμένη επί 4.
- Για τα στοιχεία: Al, Mo, Cu, Ti, V προκύπτουν από την περιεκτικότητα (%) πολλαπλασιασμένη επί 10.
- Για τα στοιχεία: S, P, N, προκύπτουν από την περιεκτικότητα (%) πολλαπλασιασμένη επί 100.

Παράδειγμα: Ο χάλυβας 40 CrMoP 212, είναι κραματωμένος χάλυβας με σύνθεση: $\pi(C)=0.40\%$, $\pi(Cr)=0.50\%$, $\pi(Mo)=0.10\%$ και $\pi(P)=0.02\%$.

ΚΟΙΝΟΙ Η ΑΝΘΡΑΚΟΥΧΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Είναι κράματα Fe-C που μπορεί να περιέχουν επιπλέον τις συνήθεις ακαθαρσίες (μέχρι 0,04% P και 0,05% S) και μικρό ποσοστό Mn.

Υπόκεινται στις ακόλουθες ταξινομήσεις:

I. Ανάλογα με την $\pi(C)$ διακρίνονται σε:

- *Ευτηκτοειδείς:* Με $\pi(C)=0,80\%$.
- *Υπερευτηκτοειδείς:* Με $\pi(C)=0,80-2,00\%$.
- *Υποευτηκτοειδείς:* Με $\pi(C)<0,80\%$, οι οποίοι με τη σειρά τους υποδιαιρούνται σε:
 ⇒ *Μαλακοί χάλυβες:* Με $\pi(C)=0,10-0,25\%$.
 ⇒ *Χάλυβες μετρίου ποσοστού C:* Με $\pi(C)=0,25-0,50\%$.
 ⇒ *Χάλυβες υψηλού ποσοστού C:* Με $\pi(C)=0,50-0,80\%$.

II. Ανάλογα με τη μέθοδο μορφοποίησης τους διακρίνονται σε:

- *Χάλυβες διαμόρφωσης:* Μορφοποιούνται με κάποια κατεργασία διαμόρφωσης. Στον Πίν. 3 παρέχονται πληροφορίες για τις θερμικές κατεργασίες, τις ιδιότητες και τις εφαρμογές τους.

Πίνακας 3: Γενικές πληροφορίες για τους κοινούς χάλυβες διαμόρφωσης

$\pi(C)$	Προηγούμενη θερμική κατεργασία	Ιδιότητες	Χρήσεις
<0,05	-	Υψηλή πλαστικότητα, καλή κατεργασιμότητα	Ελάσματα, σωλήνες, ράβδοι, σύρματα, κοχλίες, περικόχλια
0,15	-	Καλή μηχανική αντοχή	Μεταλλικές κατασκευές, τμήματα μηχανών
<0,30	-	Καλή συγκολλησιμότητα	Συγκολλήσεις χαλύβων
0,35	Χωρίς ή μετά από ανόπτηση	Καλή μηχανική αντοχή	Τμήματα μηχανών
0,45	Ανόπτηση	Επαρκής σκληρότητα /αντοχή σε φθορά / κατεργασιμότητα	
0,50	Χωρίς ή μετά από επαναφορά ή ανόπτηση	Μεγάλη σκληρότητα	Άξονες, ελατήρια, γρανάζια, αλυσίδες, λάμες κλπ.
0,70-1,20	Μαρτενσιτική βαφή	Υψηλή σκληρότητα/αντοχή σε φθορά	Κοπτικά εργαλεία, καλούπια, τμήματα εργαλειομηχανών

- *Χυτοχάλυβες*: Μορφοποιούνται με χύτευση υπό τη μορφή “χελωνών” και αντιστοιχούν συνήθως σε $\pi(C) < 0,5\%$. Πριν χρησιμοποιηθούν, υπόκεινται σε *ανόπτηση για εξομάλυνση*, με σκοπό τη μετατροπή της δομής βελονοειδούς προετηκτικού φερρίτη (που αυξάνει την ευθραυστότητα του χάλυβα) σε ομαλή κυτταροειδή μικροδομή.

ΓΕΝΙΚΕΣ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

1. Αύξηση της $\pi(C)$ προκαλεί:
 - Αύξηση της μηχανικής αντοχής
 - Μείωση της ολκιμότητας.
2. Υψηλή $\pi(C)$ προκαλεί:
 - Αύξηση της θερμοκρασίας μετάβασης από την όλκιμη στην ψαθυρή συμπεριφορά
 - Μείωση της συγκολλησιμότητας του χάλυβα
3. *Επίδραση των στοιχείων προσθήκης* (κραμάτωση)
 - Οι κοινοί χάλυβες χαρακτηρίζονται από μικρή αντοχή σε μηχανική φθορά και σε διάβρωση, από μικρή εμβαπτότητα και ανεπαρκή δυσθραυστότητα ή ολκιμότητα.
 - Στον Πίν. 4 παρουσιάζεται η επίδραση των διαφόρων στοιχείων προσθήκης στη βελτίωση των ιδιοτήτων αυτών.
 - Ως γνωστόν, η προσθήκη κραματικών στοιχείων επιδρά στην τροποποίηση του διαγράμματος ισορροπίας Fe-C και στη μετατόπιση των καμπυλών CCT και TTT. Αποδίδουν *μαρτενσιτικούς ή αυτόβαπτους χάλυβες* (με προσθήκη καρβιδιογόνων στη θερμοκρασία περιβάλλοντος έχουν μαρτενσιτική δομή), *ωστενιτικούς χάλυβες* (με προσθήκη γ-φερρογόνων είναι δυνατή η ύπαρξη σταθερής ωστενιτικής δομής στη θερμοκρασία περιβάλλοντος) και *φερριτικούς χάλυβες* (με προσθήκη α-φερρογόνων εμφανίζεται μόνο φερρίτης στη θερμοκρασία περιβάλλοντος).

ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- $\pi(C) \leq 1\%$
- Κύρια στοιχεία κραμάτωσης: Ni, Mn, Cr, Si, Mo
- Δευτερεύοντα στοιχεία κραμάτωσης: V, W, Cu, Ti, Al, B, Pb, Nb.

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

Διακρίνονται σε:

- *Ελαφρά κραματωμένους ή μικροκραματωμένους*: Με ποσοστό (συνολικής) κραμάτωσης $< 2\%$.
- *Μέτρια κραματωμένους*: Με ποσοστό κραμάτωσης $2 \div 10\%$.
- *Ισχυρά κραματωμένους*: Με ποσοστό κραμάτωσης $> 10\%$.

ΕΛΑΦΡΑ ΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ Η ΜΙΚΡΟΚΡΑΜΑΤΩΜΕΝΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

- $\pi(Mn) < 1,5\%$
- $\pi(Nb, V, Ti) < 0,1\%$
- $\sigma_y = 400 \div 650 \text{ MPa}$
- $UTS = 500 \div 850 \text{ MPa}$
- $\varepsilon_f = 14 \div 27\%$
- Θερμοκρασία μετάβασης από όλκιμη σε ψαθυρή θραύση χαμηλή (λόγω λεπτόκοκκης δομής).
- Κατεργασιμότητα εν ψυχρώ μικρή.
- Έχουν πολύ καλλίτερες ιδιότητες από τους κοινούς χάλυβες, αλλά πολύ υψηλό κόστος παραγωγής.
- Χρήση: Στην αυτοκινητοβιομηχανία (κιβώτια ταχυτήτων, φρένα, άξονες κλπ.), βλ. Πίν. 5.

Πίνακας 4: Επίδραση των στοιχείων κραμάτωσης στις ιδιότητες των κοινών χαλύβων

ΣΤΟΙΧΕΙΟ	ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ	ΔΙΑΛΥΤΟΤΗΤΑ	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ- ΚΥΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
Ni	γ-φερρογόνο και γραφιτίζον	10% στον α-Fe, άνευ ορίου στον γ-Fe	Προκαλεί σημαντική αύξηση της εμβαπτότητας, αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και παρεμποδίζει την ανακρυστάλλωση. Προστίθεται, επίσης, για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής σε διάβρωση.
Mn	γ-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	3% στον α-Fe, άνευ ορίου στον γ-Fe	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβαπτότητας, πολύ μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και μεγάλη μείωση των σημείων M_f και M_s .
Cr	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	άνευ ορίου στον α-Fe, 12,8% στον γ-Fe	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβαπτότητας, μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και μεγάλη βελτίωση της αντοχής σε διάβρωση.
Si	α-φερρογόνο και γραφιτίζον	18,5% στον α-Fe, 6% στον γ-Fe	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβαπτότητας και αύξηση της σκληρότητας. Δίνει φερριτικούς χάλυβες, με μεγάλους κόκκους για ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές. Χρησιμοποιείται, επίσης, για βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής σε διάβρωση.
Mo	α-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	37,5% στον α-Fe, 5% στον γ-Fe	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, αύξηση της σκληρότητας και της δυσθραυστότητας, και παρεμποδίζει τη γήρανση. Προστίθεται για αύξηση της αντοχής σε επαναφορά, σε φθορά και διάβρωση και για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων.
W	α-φερρογόνο και ισχυρά καρβιδιογόνο	33,0% στον α-Fe, 6% στον γ-Fe	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και μηχανική φθορά, βοηθά στη διατήρηση της σκληρότητας από δευτερογενή σκλήρυνση και αποτελεί βασικό στοιχείο των ταχυχαλύβων.
V	α-φερρογόνο και πολύ ισχυρά καρβιδιογόνο	άνευ ορίου στον α-Fe, 1% στον γ-Fe	Προκαλεί πολύ μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, υποβοηθά στο μέγιστο τη διατήρηση της σκληρότητας από δευτερογενή σκλήρυνση. Προστίθεται για βελτίωση αντοχής σε επαναφορά και μηχανική φθορά.
Al	α-φερρογόνο και γραφιτίζον	36,0% στον α-Fe, 1,1% στον γ-Fe	Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβαπτότητας και παρεμποδίζει τη μεγέθυνση των κόκκων.
Ti	α-φερρογόνο και ισχυρότατα καρβιδιογόνο	6,0% στον α-Fe, 0,1% στον γ-Fe	Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, μικρή αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και παρεμποδίζει τη γήρανση.
Co	γ-φερρογόνο και καρβιδιογόνο	75,0% στον α-Fe, άνευ ορίου στον γ-Fe	Προκαλεί μείωση της εμβαπτότητας και μεταθέτει προς τα αριστερά τις καμπύλες ΤΤΤ. Βοηθά στη διατήρηση της σκληρότητας.

Πίνακας 5: Κύριες εφαρμογές κραματωμένων χαλύβων

ΧΑΛΥΒΕΣ	ΚΥΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
Μαγγανιούχοι	
1330	Όπου απαιτείται υψηλότερη αντοχή από αυτή των κοινών ανθρακούχων, όπως για την κατασκευή αξόνων, ατράκτων, ελκυστήρων, κλπ.
1340	
Μολυβδαινιούχοι	
4037	Για την κατασκευή των αξόνων των πίσω τροχών των αυτοκινήτων.
Χρωμιομολυβδαινιούχοι	
4130	Σε σχέση με τους κοινούς ανθρακούχους χάλυβες παρουσιάζουν αυξημένη εμβαπτότητα, μηχανική αντοχή και αντοχή σε φθορά. Επιδέχονται βαφή σε λάδι και χρησιμοποιούνται για αεροναυπηγικές κατασκευές, άξονες αυτοκινήτων και δοχεία υψηλής πίεσης.
4140	
Χρωμιούχοι	
5130	Επιδέχεται επιφανειακή κατεργασία ενανθράκωσης.
5140	Συγκρινόμενος με τους κοινούς, παρουσιάζει αυξημένη εμβαπτότητα, μηχανική αντοχή και αντοχή σε φθορά.
5160	Χρησιμοποιείται ως χάλυβας έλασης.
Χάλυβες Ni-Cr-Mo	
4340	Συγκρινόμενος με τους κοινούς, παρουσιάζει υψηλότερο όριο ελαστικότητας, αντοχή σε κρούση και κόπωση και αυξημένη εμβαπτότητα. Χρησιμοποιείται για τμήματα κατασκευών, τα οποία δέχονται ισχυρές καταπονήσεις, π.χ. σύστημα τροχοπέδησης.
8620	Επιδέχεται επιφανειακή κατεργασία ενανθράκωσης.
8630	Χρησιμοποιούνται για κατασκευή ατράκτων και σφυρήλατων εξαρτημάτων, όπου απαιτούνται υψηλές μηχανικές αντοχές.
8640	
Πυριτιούχοι	
9260	Χρησιμοποιείται για την κατασκευή ελασμάτων.

ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

- Είναι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες.
- $\pi(\text{Cr}) > 12\%$ (Το Cr είναι το κύριο κραματικό στοιχείο του χάλυβα).
- $\pi(\text{S}) < 0,03\%$, $\pi(\text{P}) < 0,04\%$, $\pi(\text{Si}) < 1\%$ (Τα S, P και Si περιέχονται ως ακαθαρσίες).
- Υψηλή αντοχή σε διάβρωση λόγω σχηματισμού παθητικού επιφανειακού στρώματος Cr_2O_3 .
- Διακρίνονται στις εξής βασικές κατηγορίες:
 - ⇒ Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
 - ⇒ Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
 - ⇒ Ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες
 - ⇒ Ωστενιτοφερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες.

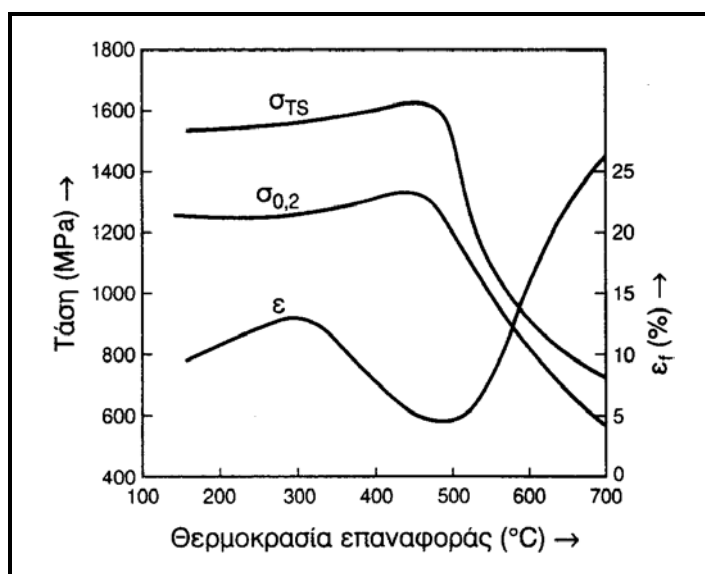
Ανοξείδωτοι μαρτενσιτικοί χάλυβες

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

1. Με χαμηλή περιεκτικότητα σε C: $\pi(\text{C}) = 0,1 \div 0,15\%$ (ελαφρά προσθήκη S αυξάνει την κατεργασιμότητα).
2. Με μικρή περιεκτικότητα σε C και κραματοποιημένοι με Ni.
3. Με μεσαία περιεκτικότητα σε C: $\pi(\text{C}) = 0,035 \div 0,4\%$ (παρουσιάζουν τις βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες)
4. Με υψηλή περιεκτικότητα σε C: $\pi(\text{C}) \cong 1\%$.

ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

- Τυπική σύσταση μαρτενσιτικού ανοξείδωτου χάλυβα: $\pi(C)=0,2\div0,4\%$, $\pi(Cr)=12\div17\%$
- Θερμοκρασία ωστενιτοποίησης $=950\div1100^{\circ}C$
- Βαφή στον αέρα ή σε λάδι.
- Υφίστανται επαναφορά.
- Οι μηχανικές ιδιότητες εξαρτώνται από τη θερμοκρασία επαναφοράς, βλ. Σχ. 1. Με επαναφορά στη θερμοκρασιακή περιοχή $350\div575^{\circ}C$ σημειώνεται δραστική μείωση της ολκιμότητας λόγω σχηματισμού του καρβιδίου $Cr_{23}C_6$ που δεσμεύει Cr και κατακρημνίζεται στα όρια των κόκκων (ευνοείται η περικρυσταλλική διάβρωση του χάλυβα).
- Βελτίωση της αντοχής σε οξείδωση υψηλών θερμοκρασιών με κραμάτωση με Si μέχρι $\pi(Si)=0,6\%$.
- Αύξηση της συνεκτικότητας με κραμάτωση με Ni μέχρι $\pi(Ni)=2\%$.
- Είναι μαγνητικοί.
- Χρήση: Κατασκευή στροβίλων, χειρουργικών εργαλείων, οικιακών συσκευών κλπ.



Σχήμα 1. Επίδραση της θερμοκρασίας επαναφοράς στις μηχανικές ιδιότητες των ανοξείδωτων μαρτενσιτικών χάλυβων

Ανοξείδωτοι φερριτικοί χάλυβες

- Τυπική σύσταση φερριτικού ανοξείδωτου χάλυβα: $\pi(C)=0,06\div0,12\%$, $\pi(Cr)=12\div30\%$.
- Διακρίνονται σε:
 - (α) Χάλυβες με $\pi(Cr)=12\%$ και $\pi(C)<0,08\%$.
 - (β) Χάλυβες με $\pi(Cr)=17\%$ και $\pi(C)=0,1\%$ (συνηθέστερα χρησιμοποιούμενοι).
 - (γ) Χάλυβες με $\pi(Cr)=20\div30\%$.
- Έχουν μονοφασική δομή και δεν παρουσιάζουν μεταβολές σε στερεά κατάσταση.
- Έχουν σχετικά μικρή μηχανική αντοχή.
- Είναι μαγνητικοί.
- Παρουσιάζουν καλή αντοχή σε διάβρωση από νιτρικό οξύ, οργανικά οξέα, νερό, θειικά και νιτρικά διαλύματα.
- Η παρουσία Mo σε ποσοστό 2% βελτιώνει την αντοχή του σε διάβρωση με βελονισμούς και τους καθιστά κατάλληλους για χρήση σε θαλάσσιο ή όξινο περιβάλλον.
- Χρήση: Σχετικά περιορισμένη λόγω της μικρής αντοχής τους.

Ανοξειδωτοι ωστενιτικοί χάλυβες

- Τυπική σύσταση ωστενιτικού ανοξειδωτου χάλυβα: $\pi(C) \approx 0,10\%$, $\pi(Cr) = 12 \div 30\%$, $\pi(Ni) = 8 \div 30\%$.
- Παρουσιάζουν ωστενιτική δομή και σε θερμοκρασίες χαμηλότερες από τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, ανάλογα με την περιεκτικότητα τους σε C, Cr, Ni.
- Δεν είναι μαγνητικοί.
- Έχουν καλές μηχανικές ιδιότητες και κατεργασιμότητα.
- Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή σε διάβρωση και οξείδωση.
- Μειονέκτημα: Μεγάλη ευαισθησία σε ενδοκρυσταλλική διάβρωση.
- Ο συννηθέστερα χρησιμοποιούμενος ωστενιτικός χάλυβας είναι ο *ανοξειδωτος χάλυβας 18/8* με σύσταση: $\pi(C) = 0,10\%$, $\pi(Cr) = 18\%$ και $\pi(Ni) = 8\%$.
- Προσθήκη άλλων στοιχείων οδηγεί σε βελτίωση των ιδιοτήτων τους, βλ. Πίν. 6.

Πίνακας 6: Επίδραση της προσθήκης κραματικών στοιχείων στους ανοξειδωτους ωστενιτικούς χάλυβες

Στοιχείο προσθήκης	Ποσοστό προσθήκης	Συνέπειες
Se	$\sim 0,15\%$	Βελτίωση κατεργασιμότητας.
S		Βελτίωση κατεργασιμότητας.
N	$< 0,20\%$	Αύξηση του σ_y χωρίς μείωση της ολκιμότητας.
Mo	2-4%	Αύξηση της αντοχής σε θαλάσσια διάβρωση.
Mn, Cr, Ni		Επιβράδυνση του μετασχηματισμού $\gamma \rightarrow \alpha$ λόγω διάχυσης. Ελάττωση σημείου M_s .
Ti, Nb		Επιβράδυνση της περικρυσταλλικής διάβρωσης. Σταθεροποίηση ωστενίτη

- Χρήση: Στην αυτοκινητοβιομηχανία, αεροναυπηγική, χημική βιομηχανία, βιομηχανία τροφίμων και οικιακών συσκευών.

Ανοξειδωτοι ωστενιτοφερριτικοί χάλυβες

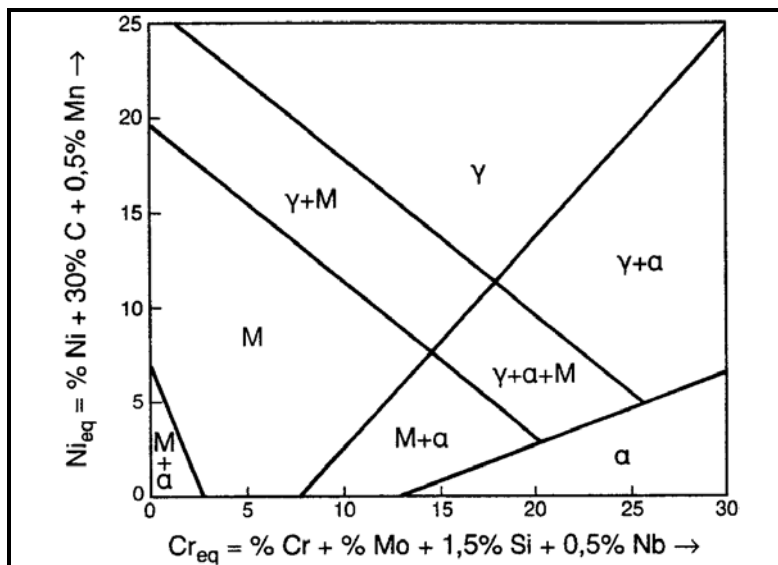
- Τυπική σύσταση ωστενιτοφερριτικού ανοξειδωτου χάλυβα: $\pi(C) < 0,05\%$, $\pi(Cr) = 18 \div 28\%$, $\pi(Ni) = 6 \div 9\%$ και ίσως $\pi(Mo) = 2 \div 2,5\%$ και $\pi(Mn) = 1,5 \div 3,0\%$.
- Πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες.
- Χαμηλή ευθραυστότητα.
- Υψηλή αντοχή σε διάβρωση και κόπωση.
- Πολύ καλή συγκολλησιμότητα.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Η ομάδα στην οποία ανήκει ένας ανοξειδωτος χάλυβας μπορεί να προσδιοριστεί άμεσα με τη βοήθεια του πειραματικής προελεύσεως διαγράμματος Schaeffler, βλ. Σχ. 2 κατωτέρω.

Το διάγραμμα αυτό έχει κατασκευαστεί συναρτήσει των ισοδυνάμων Cr και Ni, που υπολογίζονται από τους τύπους:

$$Cr_{eq} = \%Cr + \%Mo + 1,5\%Si + 0,5\%Nb + \%Cb + 2\%W + 2,5\%Ti + 3\%Al$$

$$Ni_{eq} = \%Ni + 30\%C + 0,5\%Mn$$



Σχήμα 2: Το διάγραμμα Schaeffler

Ανοξείδωτοι χάλυβες με σκλήρυνση λόγω κατακρήμνισης

- Είναι ειδική κατηγορία ανοξείδωτων χαλύβων.
- Τυπική σύσταση χάλυβα: $\pi(\text{C})=1\%$, $\pi(\text{Cr})=17\%$, $\pi(\text{Ni})=8\%$, $\pi(\text{Al})=1\%$.
- Υφίστανται σκλήρυνση λόγω κατακρήμνισης με την ακόλουθη σειρά θερμικών διεργασιών:
 - (α) Ανόπτηση στους 1050°C και απόψυξη στον αέρα: Προκύπτει όλκιμος μαλακός χάλυβας ωστενιτικής δομής. Ακολουθεί κατεργασία μορφοποίησης του χάλυβα.
 - (β) Θέρμανση του μορφοποιημένου χάλυβα σε θερμοκρασία $750\div 950^\circ\text{C}$ και απόψυξη στον αέρα: Εμφάνιση καρβιδίων στην ωστενιτική μάζα (εξαρτάται από τη θερμοκρασία θέρμανσης).
 - (γ) Απόψυξη σε θερμοκρασία $-75\div 0^\circ\text{C}$: Ολικός ή μερικός μετασχηματισμός ωστενίτη σε μαρτενσίτη.
 - (δ) Γήρανση χάλυβα στους 525°C για 1h περίπου: Κατακρήμνιση των φάσεων NiAl και Ni_3Al . Απόκτηση μέγιστων τιμών μηχανικών ιδιοτήτων που διατηρούνται σε υψηλές θερμοκρασίες ($400\div 500^\circ\text{C}$).

Στον Πίν. 7 δίνονται πληροφορίες για τη σύνθεση, τις μηχανικές ιδιότητες και τη χρήση χαρακτηριστικών ανοξείδωτων χαλύβων από κάθε ομάδα.

ΧΑΛΥΒΕΣ ΜΑΡΤΕΓΗΡΑΝΣΗΣ (MARAGING STEELS)

- Είναι ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες υψηλής αντοχής.
- Τυπική σύσταση: $\pi(\text{C})<0,03\%$, $\pi(\text{Ni})=17-25\%$, λοιπά κραματικά στοιχεία (Ti, Al, Co, Mo).
- *Μαρτεγήρανση* είναι η κατακρήμνιση λόγω γήρανσης μεσομεταλλικών ενώσεων μέσα σε μαρτενσιτική δομή.
- Το χαμηλό ποσοστό C σε συνδυασμό με την υψηλή περιεκτικότητα Ni απομακρύνουν τον κίνδυνο γραφίτισης του χάλυβα.
- Αντιπροσωπευτικές συστάσεις χαλύβων μαρτεγήρανσης παρουσιάζονται στον Πίν. 8.
- Η διαδικασία σκλήρυνσης του χάλυβα με κατακρήμνιση περιλαμβάνει:
 - (α) Θέρμανση στους 830°C και απόψυξη στον αέρα:
 - Απόκτηση όλκιμης μαρτενσιτικής δομής ($\text{UTS}=700\text{MPa}$, $\text{HV}=300$).
 - Ακολουθεί μηχανική κατεργασία του χάλυβα..
 - (β) Γήρανση του μορφοποιημένου χάλυβα στους 500°C για $2\div 3\text{h}$:
 - Κατακρήμνιση των μεσομεταλλικών ενώσεων Ni_3Ti , Fe_2Mo και Ni_3Mo .
 - Σκλήρυνση του χάλυβα ($\text{UTS}=2000\text{MPa}$, $\text{HV}=550$).

Πίνακας 7: Σύνθεση, μηχανικές ιδιότητες και χρήσεις χαρακτηριστικών ανοξειδωτων χαλύβων.

ΧΑΛΥΒΑΣ ΚΑΤΑ AISI-SAE	ΣΥΣΤΑΣΗ	ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ			ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ - ΧΡΗΣΕΙΣ
			$\sigma_{0,2}$ (MPa)	σ_{TS} (MPa)	ϵ %	
Μαρτενσιτικοί						
410	<0,15%C + 12,5%Cr	Μετά από βαφή και επαναφορά στους 400°C.	700	1000	20	Γενικές χρήσεις, για κατασκευή αντλιών, σιδηρικών, κοχλιών.
420	>0,15%C + 13%Cr		1375	1760	10	Λόγω καλής εμβαπτότητας για κατασκευή ελατηρίων, όπλων, ψαλιδιών.
440-B	0,75-0,95%C + 17%Cr		1900	1950	3	Λόγω αυξημένης σκληρότητας για κατασκευή μαχαιριών, βαλβίδων και χειρουργικών εργαλείων.
Φερριτικοί						
405	<0,08%C + 13%Cr + 0,2%Al	Μετά από ανόπτηση	275	450	25	Είναι πυρίμαχοι και χρησιμοποιούνται σε πετροχημικές βιομηχανίες.
430	<0,12%C + 17%Cr		345	650	25	Εχουν καλή αντοχή σε επίδραση νιτρικού οξέος, χρησιμοποιούνται σε βιομηχανίες τροφίμων και στην αρχιτεκτονική.
446	<0,20%C + 25%Cr + <0,25%N		350	560	20	Λόγω της αντοχής τους σε διάβρωση και αποφλοίωση σε υψηλές θερμοκρασίες, χρησιμοποιούνται ως πυρίμαχα.
Ωστενιτικοί						
301	<0,15%C + 17%Cr + 7%Ni	Μετά από ανόπτηση	275	750	50	Χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία αυτοκινήτων και λοιπών οχημάτων.
304	<0,08%C + 19%Cr + 9%Ni		250	580	55	Σε βιομηχανίες χημικών και τροφίμων.
316	<0,08%C + 17%Cr + 12%Ni + 2,5%Mo		290	580	50	Εχουν καλή συμπεριφορά σε χλωριούχο περιβάλλον.
316-L	<0,03%C + 17%Cr + 12%Ni + 2,5%Mo		260	550	50	Εχουν καλή συγκολλησιμότητα.
347	<0,08%C + 18%Cr + 11%Ni + Nb ή Ta≥0,8%		275	655	45	Λόγω της καλής αντοχής ως τους 850°C, χρησιμοποιείται σε χημικές βιομηχανίες και στην αεροναυπηγική.
Με σκλήρυνση λόγω κατακρήμνισης						
361 (17-7PH)	0,09%C + 17%Cr + 7%Ni + 1,2%Al	Μετά από γήρανση	1550	1650	6	Παρουσιάζουν εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και χρησιμοποιούνται στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών.

Πίνακας 8: Τυπικές συστάσεις χαλύβων μαρτενγήρανσης

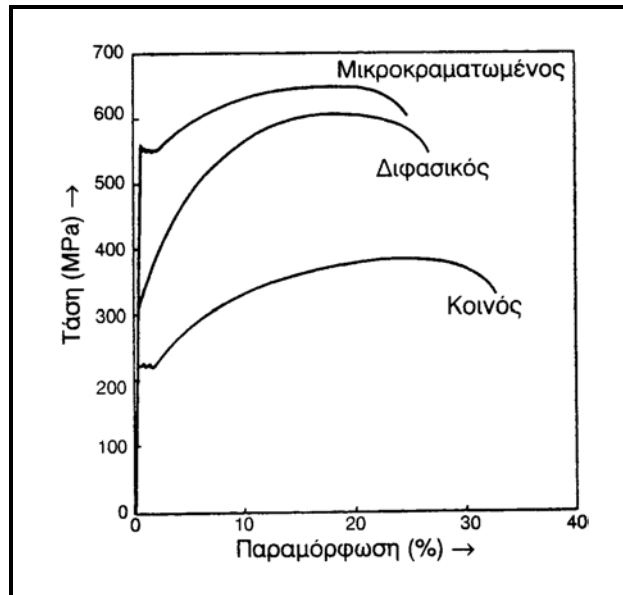
Τυποποίηση χάλυβα	Ni	Co	Mo	Al	Ti	C
200*	18	8	3,2	0,1	0,2	<0,03
250	18	8	5	0,1	0,4	<0,03
300	18	9	5	0,1	0,6	<0,03
350	18	12	4	0,1	1,8	<0,01

* Ο κωδικός πολλαπλασιαζόμενος επί 1000 παρέχει την UTS του χάλυβα σε lb/in².

ΔΙΦΑΣΙΚΟΙ ΦΕΡΡΙΤΟΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ (DUAL-PHASE STEELS)

- Τυπική σύσταση: $\pi(C)=0,08 \div 0,15\%$, $\pi(Mn)=1 \div 1,5\%$.
- Χαρακτηριστικά μικροδομής: Στα όρια κόκκων φερρίτη αναπτύσσονται μικρές περιοχές μαρτενσίτη σε ποσοστό 10-20%.
- Θερμική κατεργασία για απόκτησης μικροδομής:
(α) Θέρμανση χάλυβα σε θερμοκρασία μεταξύ των σημείων A_1 και A_3 (μετασχηματισμός περλίτη σε ωστενίτη πλούσιο σε C, ενώ ο φερρίτης παραμένει αμετάβλητος).
(β) Βαφή (μετασχηματισμός ωστενίτη σε μαρτενσίτη).
- Μηχανικές ιδιότητες: $\sigma_y=300-350\text{Mpa}$ (χαμηλή), $UTS=650-700\text{Mpa}$ (υψηλή), $\epsilon_f=25-30\%$ (υψηλή).

Στο Σχ. 3 συγκρίνονται οι μηχανικές ιδιότητες κοινού, διφασικού και μικοκραματωμένου χάλυβα, όπως προκύπτει από δοκιμή μονοαξονικού εφελκυσμού.



Σχήμα 3

ΕΡΓΑΛΕΙΟΧΑΛΥΒΕΣ

- Τυπική σύσταση χάλυβα: $\pi(C)=0,6\div 1,4\%$, λοιπά στοιχεία προσθήκης (καρβιδιογόνα): Cr, V, W, Mo, Co, Ni, Si, σε περιεκτικότητες εξαρτώμενες από την εφαρμογή του χάλυβα.
- Τυποποίηση των εργαλειοχαλύβων κατά AISI-SAE παρουσιάζεται στον Πίν. 9 (ανάλογα με τη θερμική κατεργασία που έχουν υποστεί).
- Υψηλή σκληρότητα που διατηρείται ως τους 600°C .
- Μεγάλη εμβαπτότητα.
- Ικανοποιητική αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Καλή δυσθραυστότητα.
- Καλή αντοχή σε φθορά λόγω τριβής και θερμική κόπωση.
- ΕΞΗΓΗΣΗ ΤΩΝ ΕΙΔΙΚΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΩΝ ΕΡΓΑΛΕΙΟΧΑΛΥΒΩΝ

Σχηματίζονται σταθερά καρβίδια της μορφής M_7C_3 , M_6C και $M_{23}C_6$, όπου M κάποιο από τα στοιχεία προσθήκης, που παρεμποδίζουν την ανάπτυξη του μεγέθους κόκκων κατά την ωστενιτοποίηση, με αποτέλεσμα την υψηλή σκληρότητα και αντοχή του χάλυβα.

Η θερμοκρασία ωστενιτοποίησης υπερβαίνει συνήθως τους 1000°C και ελέγχεται πλήρως λόγω της συρρίκνωσης της ωστενιτικής περιοχής.

- Διαδικασία θερμικής κατεργασίας εργαλειοχαλύβων
- (α) Αργή και σταδιακή θέρμανση μέχρι τη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης.
- (β) Παραμονή στη θερμοκρασία αυτή έως ότου επιτευχθεί ομογενοποίηση (προς αποφυγή ελάττωσης της $\pi(C)$ και μεγέθυνσης των κόκκων).
- (γ) Βαφή στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αφήνει υπολειπόμενο ωστενίτη (χάλυβας με μειωμένη σκληρότητα), ενώ βαφή στο θερμοκρασιακό εύρος $-196\div -50^{\circ}\text{C}$ εξασφαλίζει πλήρη μαρτενιτικό μετασχηματισμό.

Μερικές φορές απαιτείται μετά τη βαφή εφαρμογή διπλής επαναφοράς που περιλαμβάνει τον εξής κύκλο:

1^η επαναφορά: Μείωση σκληρότητας μαρτενίτη, κατακρήμνιση καρβιδίων στον υπολειπόμενο ωστενίτη, τοπική μείωση της $\pi(C)$ και αύξηση του σημείου M_s .

Απόψυξη: Μετασχηματισμός ωστενίτη σε μαρτενίτη.

2^η επαναφορά ($500-550^{\circ}\text{C}$): Τα καρβιδιογόνα στοιχεία προσθήκης προκαλούν δευτερογενή σκλήρυνση με κατακρήμνιση λεπτότερων καρβιδίων.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Θερμοκρασία επαναφοράς μεγαλύτερη από 550°C οδηγεί σε υπεργήρανση (υπερβολική ανάπτυξη των καρβιδίων).

Πίνακας 9: Τυποποίηση των εργαλειοχαλύβων κατά AISI-SAE και χρήσεις τους.

ΚΩΔΙΚΟΣ	ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (% κ.θ)				V	άλλα	ΕΡΜΗΝΕΙΑ ΚΩΔΙΚΟΥ ΚΥΡΙΕΣ ΧΡΗΣΕΙΣ
	C	W	Mo	Cr			
W							
W1	0,6-1,4						Εργαλειοχάλυβας σκληρυμένος με θαφή σε νερό
W2	0,6-0,14				0,25		Εργαλεία ξυλουργικών και χειρονακτικών εργασιών.
W5	1,10			0,50			
S							
S1	0,50	2,50		1,50			Εργαλειοχάλυβας υψηλής αντοχής σε αιφνιδιασμούς
S2	0,50		0,50			1,00Si	Ψαλίδια, έμβολα.
S5	0,55		0,40			0,8Mn + 2Si	
S7	0,50		1,40	3,25			
O							
O1	0,90	0,50		0,50		1,00Mn	Εργαλειοχάλυβας σκληρυμένος, με θαφή σε λάδι, για εν ψυχρώ κατεργασία
O2	0,90					1,60Mn	Κοπτικά εργαλεία, μήτρες για εν ψυχρώ κατεργασίες.
O6	1,45		0,25			0,8Mn + 1Si	
O7	1,20			0,75	0,75		
A							
A2	1,00		1,00	5,00			Μέτρια κραματωμένος και σκληρυμένος χάλυβας, για εν ψυχρώ κατεργασία
A3	1,25		1,00	5,00	1,00		Μήτρες εξέλασης, μικρά ράουλα ελάστρων.
A4	1,00		1,00	1,00		2,00Mn	
A6	0,70		1,25	1,00		2,00Mn	
D							
D2	1,50		1,00	12,00	1,00		Χάλυβας υψηλού C και Cr, για εν ψυχρώ κατεργασία
D3	2,25		1,00	12,00			Ράουλα ελάστρων, σφραγίδες, κάνες όπλων
D4	2,25		1,00	12,00			
D5	1,50		1,00	12,00		3,00Co	
H							
H10	0,40	2,50	3,25	0,40			Χάλυβας Cr ή W, για εν θερμώ κατεργασία
H11	0,35		1,50	5,00	0,40		
H12	0,35	1,50	1,50	5,00	0,40		
H13	0,35		1,50	5,00	1,00		
H21	0,35	9,00		3,50			Μήτρες διέλασης, καλούπια χύτευσης, μήτρες σφυρηλάτησης.
H22	0,35	11,00		2,00			
H23	0,35	12,00		12,00			
H42	0,60		8,00	4,00	2,00		
T							
T1	0,75	18,00		4,00	1,00		Βολφραμιούχος ταχυχάλυβας
T2	0,80	18,00		4,00	2,00		Εργαλεία για τόνους και φρέζες, τριπάνια, αλεζουάρ.
T4	0,75	18,00		4,00	1,00	5,00Co	
T5	0,80	18,00		4,00	2,00	8,00Co	
T6	0,80	20,00		4,50	1,50	12,00Co	
M							
M1	0,85	1,50	8,50	4,00	1,00		Μολυβδαινιούχος ταχυχάλυβας
M2	0,85-1,0	6,00	5,00	4,00	2,00		Εργαλεία υψηλής ταχύτητας κοπής, όπου απαιτείται μεγάλη αντοχή σε φθορά
M6	0,80	4,50	5,00	4,00	1,50	12,00Co	
M7	1,00	1,75	8,75	4,00	2,00		
P							
P1	0,07			2,0		0,50Ni	Χυτοχάλυβες
P3	0,10	0,20		2,6		1,25Ni	Καλούπια για έγχυση πλαστικών υλικών