

7. ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

7.1 ΓΕΝΙΚΑ

Τα μεταλλικά υλικά που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή μηχανολογικών εξαρτημάτων, μηχανημάτων και συσκευών καλούνται μηχανολογικά υλικά. Προφανώς η γνώση των ιδιοτήτων τους είναι ουσιαστική, τόσο για τον κατασκευαστή μηχανικό, όσο και για τον μηχανικό παραγωγής. Τον κατασκευαστή μηχανικό ενδιαφέρουν οι μηχανικές κυρίως ιδιότητες, με δευτερεύουσες τις θερμικές χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Τον μηχανικό παραγωγής, εκτός από τις παραπάνω ιδιότητες, ενδιαφέρει η κατεργασιμότητα του κάθε υλικού, η ευκολία δηλαδή διαμόρφωσής του με μηχανουργικές κατεργασίες.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε εν συντομία τους χάλυβες, τους χυτοσίδηρους και τα χαλυβοκράματα, καθώς και ορισμένα ελαφρά μέταλλα. Ο άνθρακας είναι το φθηνότερο και αποτελεσματικότερο στοιχείο κραμάτωσης του σιδήρου για αύξηση της σκληρότητάς του. Ο καθαρός σίδηρος του εμπορίου περιέχει λιγότερο από 0.008% κ.β. άνθρακα και αποτελείται αποκλειστικά από φάση α (φερίτης – bcc). Οι χάλυβες έχουν περιεκτικότητα από 0.008% έως 2.11% κ.β. Το ποσοστό του άνθρακα στους χάλυβες σπάνια υπερβαίνει το 1% κ.β. Οι χυτοσίδηροι περιέχουν από 2.11% έως 6.7% κ.β. άνθρακα, σπάνια όμως υπερβαίνουν το 4.5%.

7.2 ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι χάλυβες είναι πολυμερή κράματα σιδήρου – άνθρακα (Fe – C) και άλλων προσθηκών, με το σίδηρο να συναντάται σε περιεκτικότητα μεγαλύτερη του 50% και τον άνθρακα σε περιεκτικότητα μικρότερη του 2.11%. Ο άνθρακας είναι κατά κανόνα συνδεδεμένος κρυσταλλικά με τον σίδηρο.

Τα ευρέως χρησιμοποιούμενα συστήματα ονοματολογίας των χαλύβων είναι το Γερμανικό και το Αμερικανικό. Στη χώρα μας χρησιμοποιείται κυρίως το πρώτο, το οποίο θα παραθέσουμε στη συνέχεια. Οι Χάλυβες χωρίζονται σε **Ανθρακούχους** χάλυβες, χάλυβες **ενανθράκωσης** και **χαλυβοκράματα**. Η ονοματολογία τους παρατίθεται στη συνέχεια.

Οι Ανθρακούχοι χάλυβες συμβολίζονται με τα γράμματα St (Stahl = Χάλυβας στη Γερμανική Γλώσσα), ακολουθούμενα από αριθμό που αντιστοιχεί στο ελάχιστο όριο θραύσης σε εφελκυσμό σ_B μετρημένο σε Kp/mm^2 . Έτσι St60 σημαίνει ανθρακούχος χάλυβας με ελάχιστο όριο θραύσης σε εφελκυσμό $\sigma_B = 60 Kp/mm^2$.

Οι χάλυβες ενανθράκωσης είναι χάλυβες υψηλής ποιότητας και συμβολίζονται με το γράμμα C, ακολουθούμενο από την περιεκτικότητα επί τοις εκατό σε άνθρακα του χάλυβα, πολλαπλασιασμένη με τον παράγοντα 100. Οι πολύ καθαροί χάλυβες ενανθράκωσης με εξαιρετικά χαμηλό ποσοστό προσμίξεων S και P συμβολίζονται με το γράμμα k να ακολουθεί το C. Έτσι C60

σημαίνει χάλυβας ενανθράκωσης με περιεκτικότητα σε C ίση με 0.6%, ενώ Ck60 σημαίνει χάλυβας ενανθράκωσης με την ίδια περιεκτικότητα σε C αλλά πολύ χαμηλή περιεκτικότητα σε θείο και φώσφορο.

Τα χαλυβοκράματα συμβολίζονται αρχικά με διψήφιο αριθμό που δίνει την περιεκτικότητα σε C πολλαπλασιασμένη επί 100, ακολουθούμενο από τα χημικά σύμβολα των προσθηκών κατά σειρά φθίνουσας περιεκτικότητας. Στην περίπτωση ίσης περιεκτικότητας ακολουθείται η αλφαβητική σειρά. Μετά τα χημικά σύμβολα των προσθηκών ακολουθούν χαρακτηριστικοί αριθμοί που περιγράφουν την περιεκτικότητα στα εν λόγω στοιχεία. Ο χαρακτηριστικός αριθμός κάθε στοιχείου προκύπτει από την περιεκτικότητα (επί τοις εκατό) στο εν λόγω στοιχείο πολλαπλασιασμένη με συγκεκριμένο πολλαπλασιαστή. Ο πολλαπλασιαστής αυτός παίρνει τις ακόλουθες τιμές για τα διάφορα στοιχεία που απαντώνται:

Cr, Co, Mn, Ni, Si, W : **x4**

Al, B, Be, Cu, Pb, Mo, Nb, Ta, Ti, V, Zr : **x10**

Ce, P, S, N, C: **x100**

Υψηλά κεκραμένοι χάλυβες έχουν πριν το χαρακτηρισμό τους το γράμμα X και τότε οι αριθμοί αντιστοιχούν στις περιεκτικότητες επί τοις εκατό, χωρίς πολλαπλασιαστικούς παράγοντες. Έτσι 50CrMo46 σημαίνει χαλυβόκρμα με 0.5% C, 1% Cr, 0.6% Mo. 15Cr3 σημαίνει χαλυβόκρμα με 0.15% C, και 0.75% Cr. Το X10CrNi188 δηλώνει χαλυβόκρμα υψηλής κραμάτωσης, με 0.1% C, 18%Cr και 8% Ni.

Οι επιδράσεις των διαφόρων προσθηκών στον χάλυβα παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Ο **άνθρακας** (C) αυξάνει το όριο διαρροής και το όριο θραύσης σε εφελκυσμό, την σκληρότητα και την ευπάθεια στις εγκοπές, μειώνει την ολκιμότητα, τη δυνατότητα σφυρηλάτησης και συγκόλλησης, καθώς και την ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα. Ο σχηματισμός οξειδωσης είναι ανεξάρτητος της περιεκτικότητας σε C.

Το **Μαγγάνιο** (Mn) αυξάνει την αντοχή. Οι περλιτικοί Μαγγανιούχοι χάλυβες είναι πολύ σταθεροί στη φθορά, αλλά ευπαθείς στην υπερθέρμανση. Οι ωστενιτικοί μαγγανιούχοι χάλυβες είναι μη μαγνητικοί.

Το **Νικέλιο** (Ni) χρησιμοποιείται συνήθως μαζί με το Χρώμιο (Cr) και ευνοεί την σκλήρυνση. Δίνει χάλυβες υψηλής αντοχής, βαμμένους και χάλυβες εργαλείων. Μεταξύ των ωστενιτικών χαλύβων Cr-Ni σημαντικότεροι είναι οι χάλυβες που διατηρούν την ολκιμότητά τους στο ψύχος, ανθεκτικοί στη σκουριά και τη θερμοκρασία και δεν οξειδώνονται ούτε προσβάλλονται από οξέα.

Το **Χρώμιο** (Cr) αυξάνει τη σκληρότητα και την αντοχή στη φθορά μέσω του σχηματισμού καρβιδίων του Χρωμίου. Αυξάνει επίσης την αντοχή σε κρούση και την αντοχή σε εγκοπές. Οι αντίστοιχοι χάλυβες χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εργαλείων και ένσφαιρων τριβέων.

Το **Μολυβδαίνιο** (Mo) είναι το πιο αποτελεσματικό μέσο εναντίον της ψαθυρότητας και αυξάνει την καταλληλότητα για όλκιμη βαφή, έτσι ώστε το Mo μπορεί να αντικαταστήσει το Cr σε βαμμένους χάλυβες. Σε χάλυβες εργαλείων μπορεί να αντικαταστήσει το βολφράμιο.

Το **Βολφράμιο** (W) δίνει σκληρότητα και ανθεκτικότητα. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή χαλύβων κοπτικών εργαλείων σε ποσοστό 3-20%.

Το **Πυρίτιο** (Si) περιέχεται σε κάθε χάλυβα. Χειροτερεύει τη δυνατότητα ψυχρής παραμόρφωσης, γι' αυτό επιτρέπεται η παρουσία του μόνο μέχρι μικρά ποσοστά όταν θέλουμε να έχουμε την αντίστοιχη κατεργασία. Αυξάνει την ηλεκτρική αντίσταση του χάλυβα.

Το **Θείο** (S) βελτιώνει την κατεργασιμότητα του χάλυβα (ευκολία αφαίρεσης υλικού), μειώνει όμως την αντοχή.

Ο **Φώσφορος** (P) επιτρέπεται μέχρι 0.2% στους μαζικούς χάλυβες. Αυξάνει το όριο διαρροής και τη αντίσταση σε οξείδωση. Σε μεγαλύτερες ποσότητες αυξάνει την ευθραυστότητα.

Το **Βανάδιο** (V) είναι αποξειδωτικό, σχηματίζει καρβίδια, βελτιώνοντας (ακόμη και με περιεκτικότητα μερικά δέκατα επί τοις εκατό) τη σκληρότητα, και την αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία του χάλυβα. Χρησιμοποιείται στην κατασκευή κοπτικών εργαλείων.

Το **Κοβάλτιο** (Co) αυξάνει σημαντικά στα γρήγορα κοπτικά εργαλεία (μέχρι 15% Co) την κοπτική απόδοση, βελτιώνοντας τη σταθερότητα και μειώνοντας την ευπάθεια σε υπερθέρμανση.

Το **Αλουμίνιο** (Al) αυξάνει την επιφανειακή σκληρότητα των νιτρικών χαλύβων με σχηματισμό νιτριδίων του Al. Επίσης αυξάνει τη σταθερότητα του χάλυβα στη σκουριά και στην παλαιότητα. Δεν πρέπει να μένουν όμως υπολείμματα Al_2O_3 στο χάλυβα.

Για τεμάχια τórνευσης σε σειρά παραγωγής που διαμορφώνονται σε αυτόματες μηχανές, χρησιμοποιούμε ακριβέστερα διαμετρημένους ελατούς χάλυβες, οι οποίοι διατίθενται με υψηλότερο ποσοστό S, P, οι οποίοι ονομάζονται **χάλυβες ελευθέρας κοπής** και έχουν υψηλή ικανότητα αποτόρνευσης. Στην απόδοση κοπής υπερτερούν σημαντικά των συνηθισμένων μη κραματούχων χαλύβων.

Ο **χυτοχάλυβας** (GS) είναι κατάλληλος για χυτά τεμάχια μεγάλης αντοχής, μήκυνσης και σκληρότητας. Μπορεί να συγκολληθεί, να σφυρηλατηθεί και να σκληρυνθεί, αλλά έχει δυσκολότερη χύτευση και άρα ακριβότερος από τον φαιό χυτοσίδηρο. Έχει επίσης χειρότερη τραχύτητα επιφάνειας και χειρότερες ιδιότητες ολίσθησης από τον φαιό χυτοσίδηρο. Συμβολίζεται με τα γράμματα GS ακολουθούμενα από παύλα και από το όριο θραύσης σε εφέλκυσμό σε Kp/mm^2 .

Ο χυτοχάλυβας με λιγοστές προσμίξεις (μέχρι 2% Mn, μέχρι 1,5% Si, μέχρι 2% Cr) χρησιμοποιείται αν απαιτείται βελτίωση με θερμική κατεργασία,

της αντοχής σε φθορά, σε κρούση, σε ικανότητα ολίσθησης, σε σταθερότητα κατά την έλαση (οδοντωτοί τροχοί, έμβολα ναυτικών κινητήρων, κιβώτια ατμοστροβίλων).

Ο χρωμιούχος χυτοχάλυβας (13% έως 30% Cr) είναι ιδιαίτερα ανθεκτικός σε οξέα και οξείδωση, ενώ με προσθήκη πάνω από 1% Si γίνεται και ανθεκτικός στη θερμοκρασία και άρα κατάλληλος για τεμάχια κλιβάνων, κιβώτια πυράκτωσης και δοχεία που περιέχουν χημικές ενώσεις.

Προσθήκη Cr και W δίνει αντοχή σε καύση κοπής (χρηματοκιβώτια), ενώ προσθήκη Ni δίνει αντοχή σε προσβολή από θαλασσινό νερό.

7.3 ΧΥΤΟΣΙΔΗΡΟΙ

Όπως ήδη αναφέρθηκε, όταν το κράμα σιδήρου άνθρακα περιέχει C μεταξύ 2.1% κ.β. και 6.7 κ.β. ονομάζεται χυτοσίδηρος (επειδή μορφοποιείται κυρίως με χύτευση. Τα βασικά είδη χυτοσιδήρου που παρασκευάζονται πρωτογενώς είναι ο **λευκός** και ο **φαιός** χυτοσίδηρος. Η μικροδομή των λευκών χυτοσιδηρών περιλαμβάνει τον άνθρακα σε μορφή καρβιδίου (τον σεμεντίτη – Fe_3C) σε μορφή κυρίως δενδριτική. Η μικροδομή των φαιών χυτοσιδηρών περιλαμβάνει τον άνθρακα σε μορφή φυλλιδίων γραφίτη. Με τον σεμεντίτη ο χυτοσίδηρος γίνεται σκληρός, εύθραυστος και δυσκατέργαστος και η επιφάνεια θραύσης του είναι λευκή. Στους φαιούς χυτοσιδηρούς το ποσοστό του πυριτίου είναι μεγαλύτερο του 0,7% (πρακτικά μεταξύ 1% και 3%), ενώ στους λευκούς δεν ξεπερνά το 0.5%. Ο φαιός χυτοσίδηρος προκύπτει με αργή ψύξη του τήγματος, ενώ ο λευκός με γρήγορη ψύξη.

Ο φαιός χυτοσίδηρος χρησιμοποιείται στη μηχανολογία για χυτά τεμάχια, επειδή είναι φθηνός και έχει καλές ιδιότητες χύτευσης (μικρό μέτρο διαστολής, μικρή τάση δημιουργίας φυμαλίδων). Είναι ψαθυρός, άρα ακατάλληλος για κρουστικές φορτίσεις, ενώ η αντοχή του σε εφελκυσμό μειώνεται από την παρουσία των φυλλιδίων γραφίτη. Αντιθέτως, εμφανίζει ευνοϊκές ολισθητικές ιδιότητες, υψηλή αντοχή σε θλίψη (3-5 φορές το όριο θραύσης σε εφελκυσμό) και δεν είναι ευπαθής σε εξωτερικές εγκοπές (λόγω της παρουσίας εσωτερικών εγκοπών).

Η ονοματολογία των φαιών χυτοσιδηρών προσδιορίζεται από το όριο θραύσης τους. Συμβολίζονται με τα γράμματα **GG** ακολουθούμενα από πλύλα και το όριο θραύσης τους σε Kp/mm^2 . Για παράδειγμα GG-25 είναι φαιός χυτοσίδηρος με όριο θραύσης σε εφελκυσμό 25 Kp/mm^2 .

Η χρήση των συνηθισμένων φαιών χυτοσιδηρών παρουσιάζεται στη συνέχεια:

GG-10: για τεμάχια με μικρή καταπόνηση, όπως περιβλήματα, πλάκες βάσεων, ορθοστάτες.

GG-15: για περισσότερα καταπονούμενα λεπτότοιχα τεμάχια.

GG-20: για περιβλήματα, γλίστρες, έμβολα και συνήθη μηχανολογικά τεμάχια.

GG-25: Για τεμάχια ανθεκτικά στη θερμοκρασία (μέχρι 420°),

καταπονούνται σε τριβή ολίσθησης.

GG-30: Για υψηλή καταπόνηση, λεπτότοιχα τεμάχια.

GG-40: για ειδικές περιπτώσεις τεμαχίων μεγίστης καταπόνησης, απλής μορφής και σταθερού πάχους τοιχωμάτων.

Πυκνότερη δομή του φαιού χυτοσιδήρου επιτυγχάνουμε με φυγοκεντρική χύτευση. Ανθεκτικότερο στη φθορά και πιο λεπτόρευστο με προσθήκη φωσφόρου. Ανθεκτικότερο στη φθορά, τη διάβρωση και τη θερμότητα με προσθήκη Ni, Cr, Mo. Ανθεκτικότερο στη θερμότητα και στην απόρριψη φολλίδων με προσθήκη Ni-Cr-Si ή Cr-Al. Αντοχή στη σκουριά και στην υψηλή θερμοκρασία επιτυγχάνουμε με προσθήκη 20% έως 36% Cr, ενώ αντοχή σε οξεία με προσθήκη 14% έως 18% Si.

Με τα γράμματα **SG** (Spheroidal Graphite) συμβολίζουμε το χυτοσίδηρο με σφαιρικό γραφίτη. Έχει μεγαλύτερη αντοχή και παραμόρφωση θραύσης και μεγαλύτερη αντίσταση σε διάβρωση και φθορά από τον GG. Επίσης έχει μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας. Μπορεί να αντικαταστήσει σε πολλές περιπτώσεις το χυτό από χάλυβα. Για το συμβολισμό της αντοχής του χρησιμοποιούνται τα γράμματα GGG. Ο αριθμός μετά το GGG συμβολίζει και εδώ το όριο θραύσης σε εφελκυσμό σε Kp/mm^2 .

7.4 ΕΛΑΦΡΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Η Γερμανική (κατά DIN 1700) ονοματολογία των ελαφρών μετάλλων ξεκινά με χαρακτηριστικά γράμματα που δηλώνουν την κατασκευή και τη χρησιμοποίηση (G για χυτά, GD για χύτευση υπό πίεση, GK για χυτά σε μεταλλικούς τύπους, GZ για φυγοκεντρική χύτευση, L για συγκολλητικό μέσο, GI για επίμηκες μέταλλο). Ακολουθεί μετά από παύλα το σύμβολο του μετάλλου, ακολουθούμενο από τα συστατικά του κράματος με τις επί τοις εκατό περιεκτικότητες (πρώτα το κύριο συστατικό ακολουθούμενο από τα υπόλοιπα σε αλφαβητική ταξινόμηση). Ακολουθεί ένα χαρακτηριστικό ιδιαίτερων ιδιοτήτων (wa για σκλήρυνση εν θερμώ ή αριθμός F για την αντοχή θραύσης σε εφελκυσμό, όπου $F=0.102 \sigma_B$). Για παράδειγμα G-AlSi10Mgwa σημαίνει χυτό κράμα αλουμινίου με 10% πυρίτιο και λίγο μαγνήσιο, σκληρυμένο εν θερμώ.

Αλουμίνιο Al:

Χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό χαμηλής πυκνότητας ($SG=2.7$ έως 2.85) και υψηλής αντοχής. Δεκτικό βαθείας έλξης, αξιόλογα ανθεκτικό με ψυχρή παραμόρφωση και αντιμαγνητικό. Ιδιαίτερα καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και της θερμότητας, ανακλά θερμότητα και φως, ενώ είναι εύκολο να συγκολληθεί αλλά δύσκολο να κολληθεί. Δεν σκουριάζει, μιας και καλύπτεται από προστατευτικό στρώμα οξειδίου, αντέχει στο καθαρό νερό, σε αραιό φωσφορικό οξύ, πυκνό νιτρικό οξύ, διοξείδιο του θείου και σε πολλές ενώσεις του αζώτου. Δεν αντέχει στο θαλασσινό νερό, σε ανόργανα οξεία, στη σόδα, την αμμοκονία και στο πετρέλαιο. Σε συνδυαστικά σημεία με άλλα μέταλλα απαιτείται προστασία του από ηλεκτρολυτική διάβρωση.

Η προσθήκη σιδήρου το κάνει σκληρό και ψαθυρό, ο μόλυβδος

φυσалиδωτό και εύκολα αποτορνευόμενο, ο χαλκός πιο σκληρό, το μαγνήσιο αυξάνει την αντοχή και τη δυνατότητα αποτόρνευσης, το αντιμόνιο και το τιτάνιο την αντοχή στο θαλασσινό νερό, το μαγγάνιο την αντοχή σε διάβρωση. Η σκλήρυνσή του γίνεται με προσθήκη Cu-Si ή Cu-Mg-Si ή Mg-Si.

Μαγνήσιο Mg:

Έχει αρκετά μικρότερη πυκνότητα από το Al (SG=1.8) ώστε η μικρότερη αντοχή του δίνει τελικά μικρότερο βάρος για την ίδια αντοχή με το αλουμίνιο σε χυτά τεμάχια. Το ίδιο και τα κράματά του αποτορνεύονται ιδιαίτερα εύκολα, με πολύ μικρότερο κόστος απ' ό,τι ο φαιός χυτοσίδηρος. Δεν μορφώνονται εύκολα εν ψυχρώ, δεν κολλούνται και συγκολλούνται πολύ δύσκολα. Το μικρό μέτρο ελαστικότητας τα κάνει απαθή σε κρούσεις, ενώ δρα ηχομονωτικά (κιβώτια ταχυτήτων). Η μικρή τους ακαμψία δρα περιοριστικά σε πολλές εφαρμογές. Το μαγνήσιο έχει χαμηλή θερμοκρασία ανάφλεξης (400° C). Είναι ανθεκτικό στη διάβρωση από ρευστά οξέα αλλά προσβάλλεται πολύ περισσότερο από το αλουμίνιο στο θαλασσινό νερό.

Τιτάνιο Ti:

Το καθαρό τιτάνιο σημαντικά μεγαλύτερη αντοχή του αλουμινίου και του μαγνησίου (200-410 N/mm²). Έχει πυκνότητα το 55% του χάλυβα, μικρό συντελεστή θερμικής διαστολής και γι' αυτό βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην αεροδιαστημική τεχνολογία. Είναι συγκολλησιμο σε περιβάλλον ευγενών αερίων. Έχει μεγάλη αντοχή σε διάβρωση και στο θαλασσινό νερό. Είναι πολύ ακριβό μέταλλο (25 φορές την τιμή του αλουμινίου και του μαγνησίου). Με προσθήκη Al (5%-8%), Mo, V (~4,5%) και Sn (~3%) αυξάνεται πολύ περισσότερο το όριο θραύσης, μέχρι 1200 N/mm², το οποίο δύναται να αυξηθεί περισσότερο με σκλήρυνση.

7.5 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΛΙΚΩΝ

Κατά την επιλογή των υλικών λαμβάνονται υπ' όψιν οι συνθήκες λειτουργίας και καταπόνησης του συγκεκριμένου τεμαχίου, καθώς και η επιθυμητή διάρκεια ζωής, οι ανάγκες της κατεργασίας, τα έξοδα παραγωγής και η διαθεσιμότητα του υλικού. Με βάση την υπάρχουσα εμπειρία, για την κατασκευή διαφόρων τεμαχίων, συνήθως χρησιμοποιούνται τα υλικά που παρουσιάζονται στη συνέχεια.

- απλοί άξονες και άτρακτοι: συνήθεις χάλυβες κατασκευών (St-39 έως St-60), καθώς και βαμμένοι χάλυβες.
- Άτρακτοι με πολλαπλούς αγκώνες: χάλυβα άριστης ποιότητας ή ειδικό χυτοσίδηρο (λόγω της επίδρασης των εγχοπών).
- Σφήνες, ελατήρια εφαρμογής, πείροι: St-60.
- Χυτοί ορθοστάτες, πλάκες βάσης, περιβλήματα: Φαιός χυτοσίδηρος για συνήθη καταπόνηση, ειδικό χυτοσίδηρο ή χυτό από χάλυβα.
- Τεμάχια καταπονούμενα σε μεγάλη πίεση (κυλινδροτριβείς, εκκεντροφόροι άξονες, ιδιαίτερα καταπονούμενοι οδοντωτοί τροχοί): σκληρυμένος χάλυβας.

- Οδοντωτοί τροχοί: (ανάλογα με την καταπόνηση και το μέγεθός τους): φαιός χυτοσίδηρος, χυτό από χάλυβα, χάλυβας (St-42 έως St-70), βαμμένος ή σκληρυμένος χάλυβας, μη σιδηρούχα μέταλλα και συνθετικά υλικά (σε ειδικές περιπτώσεις).
- Αντιολισθητικά υλικά για επιφάνειες που καταπονούνται σε ολίσθηση: μαλακός φαιός χυτοσίδηρος, μπρούτζος, λευκό μέταλλο, ψευδάργυρος.
- Ελαστικά ελατήρια: χάλυβες ελατηρίων, καουτσούκ, μπρούτζος ελατηρίων (σε ειδικές περιπτώσεις).
- Τεμάχια που καταπονούνται σε υψηλές θερμοκρασίες ή φωτιά: θερμοανθεκτικό χάλυβα, ή κεραμικά υλικά.