

2. ΧΑΛΥΒΑΣ

2.1 Φάσεις - Θερμομηχανικές και θερμικές κατεργασίες χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

2.1.1 Εισαγωγή

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος (Χ.Ο.Σ.) οι οποίοι παράγονται σήμερα τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς, προέρχονται στο μεγαλύτερο μέρος τους από τήξη παλαιοσιδήρου (scrap) σε ηλεκτρικές καμίνους (Electric Arc Furnace-EAF). Στη φωτογραφία του Σχήματος 2.1 παρατηρούμε τη συνεχή τροφοδοσία scrap σε εργοστάσιο παραγωγής χάλυβα και στη φωτογραφία του Σχήματος 2.2 παρατηρούμε ηλεκτρικό κλίβανο τόξου. Η περαιτέρω επεξεργασία τους η οποία περιλαμβάνει τη δευτερογενή μεταλλουργία, τη χύτευση και τη θερμομηχανική κατεργασία, επιλέγεται έτσι ώστε να εξασφαλίζονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν.



Σχήμα 2.1 Φωτογραφία συνεχούς τροφοδοσίας scrap

Η ποιότητα των χαλύβων που παράγονται, εξαρτάται καταρχάς από την καθαρότητα της πρώτης ύλης η οποία, όπως προαναφέρθηκε, είναι κυρίως

παλαιοσίδηρος. Με τον όρο καθαρότητα εννοείται το ποσοστό των υπολειμματικών στοιχείων, όπως χαλκός (Cu), νικέλιο (Ni), κασσίτερος (Sn), κοβάλτιο (Co), αντιμόνιο (Sb), αρσενικό (As), βολφράμιο (W) και μολυβδαίνιο (Mo) τα οποία δεν απομακρύνονται πλήρως κατά την τήξη και, κατά συνέπεια, ο περιορισμός των ποσοστών τους στο τελικό προϊόν εξασφαλίζεται κυρίως με την κατάλληλη επιλογή της πρώτης ύλης. Άλλα κραματικά στοιχεία, όπως το χρώμιο (Cr), το θείο (S), ο φώσφορος (P), το μαγγάνιο (Mn), το άζωτο (N) και το υδρογόνο (H) ελέγχονται μέχρι ενός ορισμένου βαθμού, ενώ στοιχεία όπως ο ψευδάργυρος (Zn) εξατμίζονται και απομακρύνονται κατά τη διάρκεια της τήξης. Εκτός από τα στοιχεία τα οποία προέρχονται από την πρώτη ύλη, υπάρχουν και άλλα στοιχεία τα οποία προέρχονται από την ίδια τη μεταλλουργική επεξεργασία, όπως το ασβέστιο (Ca), το μαγνήσιο (Mg), το πυρίτιο (Si) και το αλουμίνιο (Al).

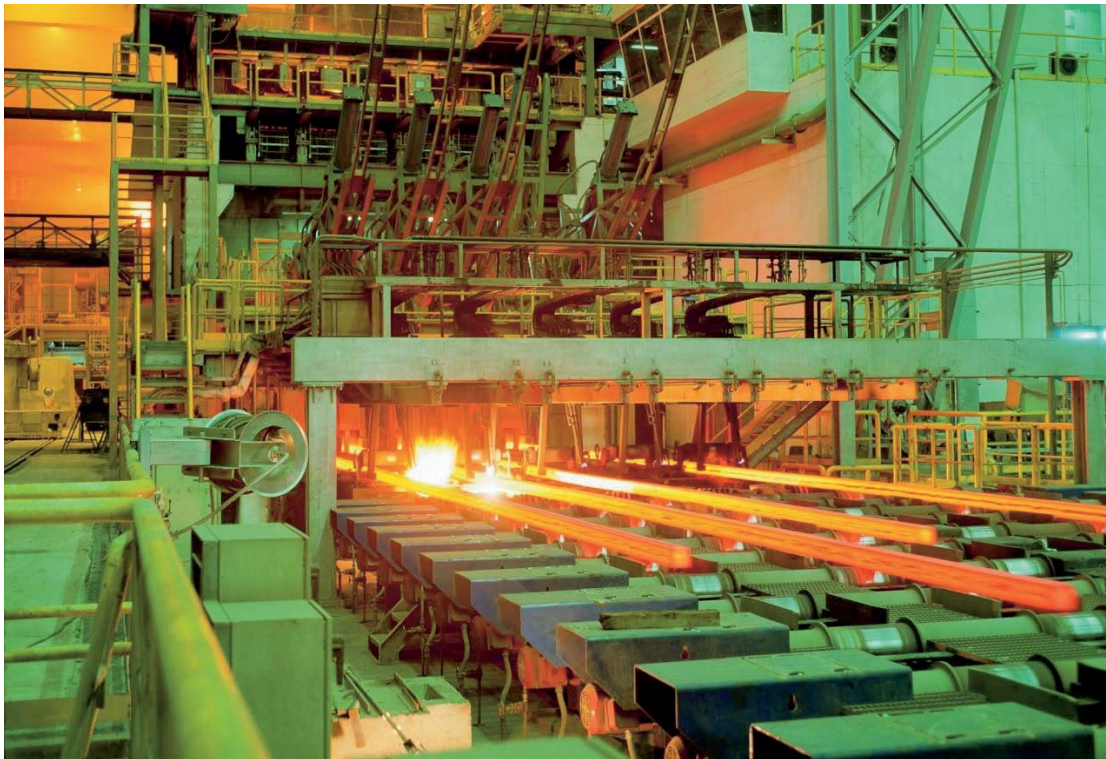


Σχήμα 2.2 Ηλεκτρικός κλίβανος τόξου (Electric Arc Furnace)

2.1.2 Θερμομηχανικές κατεργασίες παραγωγής χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Θερμομηχανικές κατεργασίες είναι οι κατεργασίες εκείνες οι οποίες πραγματοποιούνται στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη γεωμετρία και για ορισμένους χάλυβες όπως οι Tempcore προκειμένου να αποκτήσουν τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους βάσει προδιαγραφών.

Οι κατεργασίες αυτές πραγματοποιούνται κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα ο οποίος ήδη έχει μορφοποιηθεί σε κατάλληλες διατομές (μπιγιέτες), χαρακτηριστικές οι φωτογραφίες των Σχημάτων 2.3 και 2.4.. Οι κατεργασίες αυτές περιλαμβάνουν διαμόρφωση με έλαση, σφυρηλάτηση, ολκή κ.λπ. που γίνονται σε μεγάλες θερμοκρασίες (εν θερμώ) που ακολουθούνται από ψύξη με ελεγχόμενο ή μη ρυθμό. Σπανιότερα οι πιο πάνω κατεργασίες μπορούν να γίνουν σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (εν ψυχρώ).



Σχήμα 2.3 Φωτογραφία εγκατάστασης συνεχούς χύτευσης μπιγιετών



Σχήμα 2.4 Φωτογραφία συνεχούς χύτευσης και αυτόματης κοπής μπιγιετών με φλόγα οξυγόνου

2.1.3 Φάσεις των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Ο όρος φάση (phase) αναφέρεται σε μία ποσότητα ύλης η οποία έχει τις ίδιες ιδιότητες, την ίδια χημική σύσταση και χωρίζεται από το περιβάλλον με μία περατωτική επιφάνεια (Μαυροειδής 2005).

Σύμφωνα με τον ΚΤΧ – 2000 φάσεις είναι οι δομικά διακεκριμένες περιοχές σε ένα σύστημα υλικών.

Οι γραφικές παραστάσεις οι οποίες περιγράφουν σε συντεταγμένες θερμοκρασίες – συγκέντρωσης, τις περιοχές ύπαρξης ή συνύπαρξης των φάσεων ενός συστήματος ονομάζονται διαγράμματα φάσεων (phase equilibrium diagrams).

Σκληρότητα (hardness) ενός υλικού ορίζεται η αντίσταση την οποία προβάλλει αυτό στην κάθετο διείδυση ενός άλλου υλικού μεγαλύτερης

σκληρότητας από το εξεταζόμενο. Μέτρο της σκληρότητας είναι η μόνιμη (πλαστική) παραμόρφωση η οποία προκαλείται από τη διείσδυση (Μαυροειδής 2005).

Δοκιμή σκληρότητας

Η σκληρότητα μετρείται με την επιβολή διείσδυσης από διεισδυτής συγκεκριμένου σχήματος (πυραμίδα, κώνος, σφαίρα) και μεγαλύτερης σκληρότητας υλικού από αυτό το οποίο εξετάζεται όπως ήδη αναφέρθηκε.

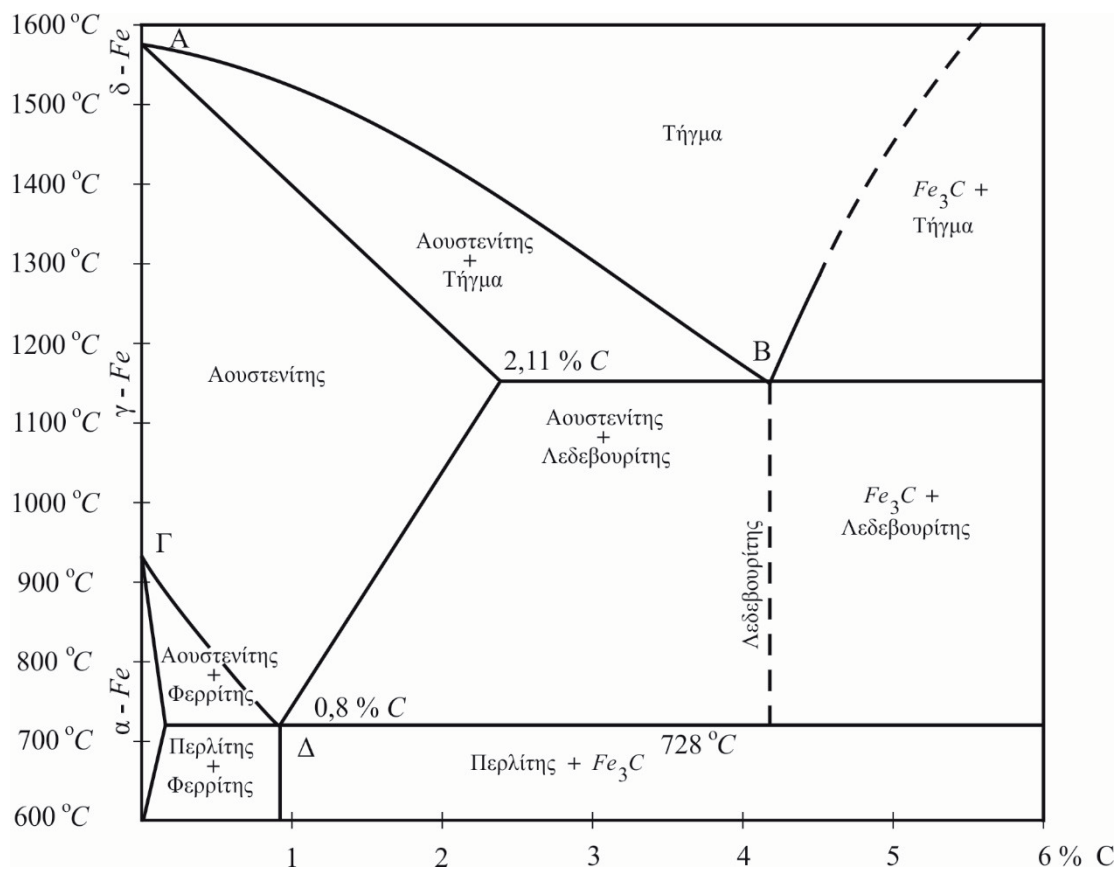
Το πηλίκο της δύναμης η οποία ασκήθηκε προς την επιφάνεια του αποτυπώματος το οποίο προέκυψε, δίνει το μέτρο της σκληρότητας.

$$H = \frac{P}{A} \text{ (kp / mm}^2 \text{)} \quad (2.1)$$

Στη μέθοδο σκληρομέτρησης κατά Brinell (HB), ο διεισδυτής είναι σφαίρα (Μαυροειδής 2005).

Το δυαδικό σύστημα Fe – C είναι γνωστό σε μικρή περιοχή περιεκτικότητας σε άνθρακα C, μέχρις 6% περίπου. Εντός της περιοχής αυτής περιλαμβάνονται τα διάφορα είδη χάλυβα και σιδήρου (Κόκκορος 1966). Οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα όπως η σκληρότητα, η αντοχή και η ελαστικότητα εξαρτώνται από τις κρυσταλλικές φάσεις οι οποίες συμμετέχουν στη σύστασή του και από το μέγεθος και τον τρόπο συναρμογής των κρυστάλλων προς αλλήλους, οι οποίοι αποτελούν τον “ιστό”.

Δια καταλλήλου θερμικής ή μηχανικής επεξεργασίας (σφυρηλάτηση) προκύπτουν διαφορές στον ιστό, οι επί μέρους φάσεις, οι οποίες συνεπάγονται ουσιώδεις διαφορές στις φυσικές και χημικές ιδιότητες του χάλυβα. Στο Σχήμα 2.5 φαίνεται το διάγραμμα φάσεων του συστήματος Fe – C εντός της γνωστής περιοχής αυτού (0 – 6%C).



Σχήμα 2.5 Διάγραμμα φάσεων του συστήματος Fe – C (Κόκκορος 1966, Μαυροειδής 2005)

Παρατηρούμε ότι μεγάλο μέρος του διαγράμματος καταλαμβάνει ο αουστενίτης με μέγιστο σε περιεκτικότητα άνθρακα C 1.7% σε θερμοκρασία 1130°C (Κόκκορος 1966) ή κατά τον Μαυροειδή (2005) σε περιεκτικότητα άνθρακα 2.11% στους 1149°C. Στο σημείο B υπάρχει ευτηκτικό σημείο. Το ευτηκτικό κράμα καλείται λεδεβουρίτης και συνίσταται από αουστενίτη και τσεμεντίτη. Δεύτερο ευτηκτικό σημείο έχουμε στο σημείο Δ. Το κράμα στο σημείο αυτό αποτελείται από φερρίτη και τσεμεντίτη υπό μορφή λεπτοτάτων πλακιδίων και ονομάζεται περλίτης.

Στην περιοχή περιεκτικότητας σε C από 0÷0.8%, εάν η ψύξη του χάλυβα πραγματοποιείται κάτω από τη γραμμή ΓΔ θα προκύψει αουστενίτης και φερρίτης. Όταν η θερμοκρασία φθάσει τους 728°C ο αουστενίτης μετατρέπεται σε περλίτη. Εάν ο χάλυβας ψυχθεί πολύ σύντομα π.χ. δι’

εμβαπτίσεως σε ψυχρό νερό, εμποδίζεται η διάσπαση του αουστενίτη σε φερρίτη και τσεμεντίτη.

Αλλά ο αουστενίτης σε χαμηλές θερμοκρασίες δεν διατηρείται και μετατρέπεται σε μαρτενσίτη. Τέτοιος ταχύτατα ψυχθείς χάλυβας είναι εξαιρετικά σκληρός και εύθραυστος (βαφείς χάλυβας). Ψύξη ταχύτατη στους 200° επιβραδύνει κατά περίπου μία ώρα τη μετατροπή του αουστενίτη σε περλίτη, ενώ στην περιοχή θερμοκρασιών $0 - 100^{\circ}\text{C}$ η μετατροπή σε μαρτενσίτη γίνεται ακαριαία.

Αξίζει να σημειωθεί ότι εντός της κύριας μάζας περλιτικής φάσης περιέχονται βελονοειδείς κρύσταλλοι τσεμεντίτου, οι οποίοι καθιστούν τον χάλυβα σκληρό και δύσκολα κατεργάσιμο.

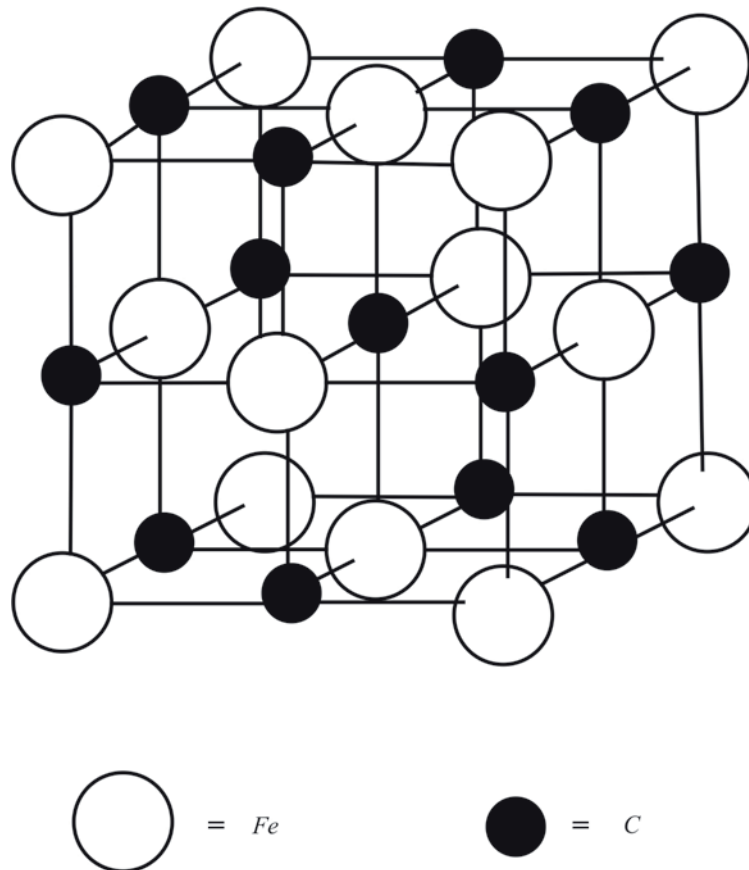
Με επανειλημμένες σφυρηλατήσεις του πυρακτωμένου χάλυβα επιτυγχάνεται ο αποχωρισμός των μεγάλων κρυστάλλων του τσεμεντίτου σε μικρά απεστρογγυλεμένα τεμάχια διάσπαρτα εντός περιλιτικής μάζας. Με τέτοια κατεργασία παρασκευάζοντουσαν τα περίφημα σπαθιά Δαμασκού, τα οποία ήταν ευλύγιστα αλλά συγχρόνως ανθεκτικά και σκληρά λόγω του καταμερισμού του τσεμεντίτου.

Κατωτέρω θα εξεταστούν διεξοδικότερα οι επί μέρους φάσεις του χάλυβα.

Φερρίτης (Ferrite α Fe) είναι στερεό διάλυμα σιδήρου με ένα ή περισσότερα στοιχεία, το οποίο κρυσταλλώνεται στο κυβικό ολοεδρικώς κεντρωμένο πλέγμα (b.c.c.). Διαλυόμενο στοιχείο είναι ο άνθρακας. Η περιεκτικότητα του άνθρακα είναι 0.005% σε θερμοκρασία περιβάλλοντος και 0.021% στους 723°C . Δύναται να διαλύσει και άλλα στοιχεία όπως Cr, Ni, Si, P. Είναι όλκιμος και έχει χαμηλή σκληρότητα $80 \div 100\text{HB}$. Περιέχεται επίσης και στον περλίτη (Μαυροειδής 2005).

Αουστενίτης (austenite, γ Fe) είναι στερεό διάλυμα άνθρακα στο σίδηρο γ . Ο άνθρακας έχει σχετικά καλή διαλυτότητα στον σίδηρο γ , η οποία φθάνει στο 1.7% στους 1130°C (Κόκκορος 1966) ή κατά τον Μαυροειδή στο 2.11% στους 1149°C . Είναι όλκιμη φάση με σκληρότητα $250 \div 300\text{HB}$. Ο αουστενίτης κρυσταλλώνεται στο ολοεδρικώς κεντρωμένο κυβικό πλέγμα, (f.c.c.). Ο αουστενίτης εμφανίζεται σε θερμοκρασίες άνω των 723°C από μετατροπή του α Fe σε γ Fe, η οποία για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος

πραγματοποιείται σε θερμοκρασίες άνω των 780°C περίπου (Μαυροειδής 2005). Στο Σχήμα 2.6 παρατηρούμε πλέγμα αουστενίτου (Κόκκορος 1966).



Σχήμα 2.6 Πλέγμα αουστενίτου (Κόκκορος 1966)

Τσεμεντίτης (cementite) είναι χημική ένωση σιδήρου με άνθρακα σταθερής σύνθεσης Fe_3C . Έχει σκληρότητα περίπου 800HB και είναι ιδιαίτερα εύθραυστος. Αποχωρίζεται από τον αουστενίτη κατά την απόψυξη ενός υπερευτηκτοειδούς χάλυβα ($\text{C} > 0.8\%$) στη μορφή του προ – ευτηκτοειδούς τσεμεντίτη, αλλά περιέχεται επίσης και στον περλίτη (Κόκκορος 1966, Μαυροειδής 2005).

Μαρτενσίτης (martensite) είναι υπέρκορο στερεό διάλυμα άνθρακα στον σίδηρο με κρυσταλλικό πλέγμα τετραγωνικό. Στους χάλυβες είναι φάση εκτός ισορροπίας η οποία προκύπτει από τον μετασχηματισμό του αουστενίτη σε θερμοκρασίες κάτω της M_s (θερμοκρασία έναρξης μαρτενσιτικού

μετασχηματισμού). Στη μικροδομή εμφανίζεται βελονοειδής. Δύναται να χαρακτηριστεί ως φερρίτης υπέρκορος σε άνθρακα. Είναι πολύ σκληρός και με σκληρότητα η οποία είναι συνάρτηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα ($500\pm 650\text{HB}$), (Κόκκορος 1966, KTX-2000, Μαυροειδής 2005).

Επαναφερμένος μαρτενσίτης (tempered martensite). Σχηματίζεται κατά την επαναφορά του μαρτενσίτη. Η μικρογραφική του δομή συνίσταται από λεπτούς κόκκους σεμεντίτη σε φερριτική μήτρα. Έχει πολύ καλή δυσθραυστότητα και σκληρότητα από $250\pm 450\text{HB}$ (Μαυροειδής 2005).

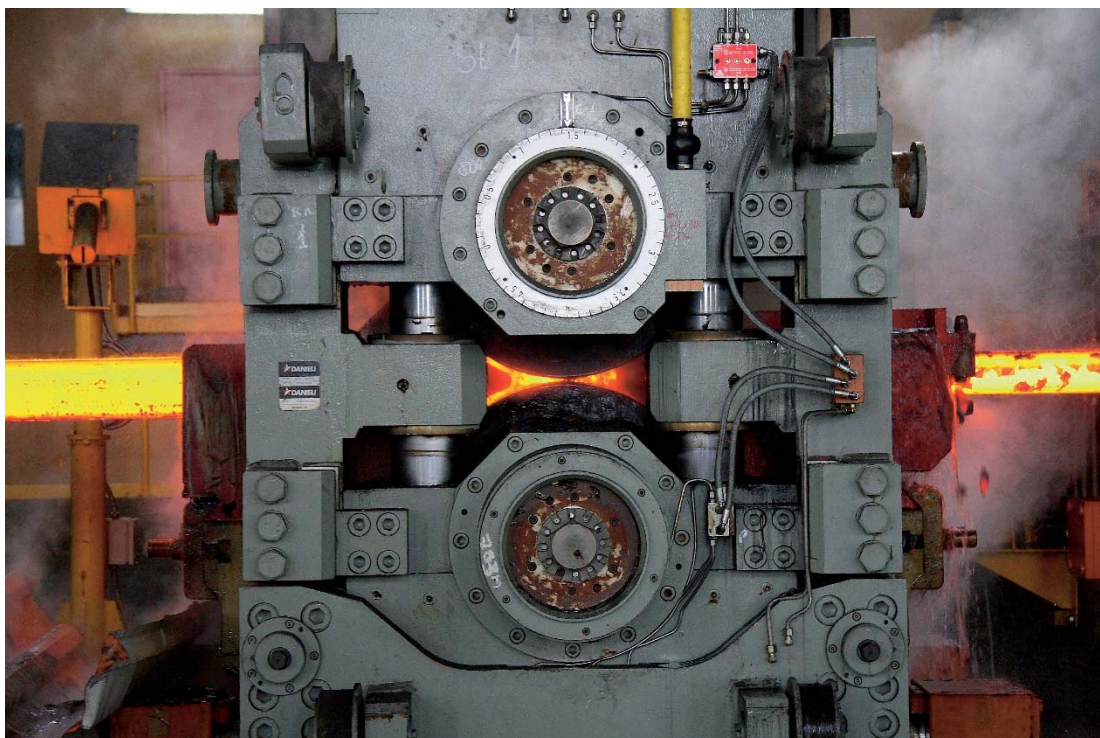
Περλίτης (perlite). Πρόκειται για μικρογραφική δομή και όχι φάση. Έκαστος κόκκος περλίτης συνίσταται από πλακοειδείς κρυσταλλίτες εναλλάξ φερρίτη και σεμεντίτη. Προέρχεται από τον μετασχηματισμό του αουστενίτη όταν η θερμοκρασία κατά την αργή απόψυξη φθάσει στους 723°C . Είναι όλκιμος και μαλακός με σκληρότητα περίπου 200 – 250HB. Εάν γίνει θερμική κατεργασία σε θερμοκρασία κάτω των 723°C , σφαιροποιείται ο τσεμεντίτης με αποτέλεσμα την αύξηση της δυσθραυστότητας του χάλυβα. Ο περλίτης συναντάται στους χάλυβες και στους χυτοσιδήρους (Κόκκορος 1966, KTX-2000, Μαυροειδής 2005).

Μπαινίτης (bainite): Προϊόν μετασχηματισμού του αουστενίτη, αποτελούμενο από μίγμα φερρίτη και καρβιδίων. Σχηματίζεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες εκείνων στις οποίες σχηματίζεται ο πολύ λεπτόκοκκος περλίτης και μεγαλύτερες εκείνων στις οποίες αρχίζει ο μετασχηματισμός σε μαρτενσίτη κατά την ψύξη (300° - 500°C για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Έχει σκληρότητα 400HB (Κόκκορος 1966, KTX-2000, Μαυροειδής 2005).

2.1.4 Μεταλλοτεχνικές κατεργασίες των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Έλαση

Διαδικασία διαμόρφωσης εν θερμώ ή εν ψυχρώ ενός μεταλλικού υλικού με τη χρήση αντίρροπα περιστρεφόμενων κυλίνδρων. Στο Σχήμα 2.7 φαίνεται φωτογραφία του ελάστρου κατά τη θερμή έλαση.



Σχήμα 2.7 Φωτογραφία συνεχούς έλασης: Άποψη του ελάστρου κατά τη θερμή έλαση

Ολκή

Ψυχρή κατεργασία μιας ράβδου ή ενός σύρματος, τα οποία ελκόμενα διέρχονται μέσα από κατάλληλη μήτρα με τελικό αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής τους (και επακόλουθο την αύξηση της αντοχής).

Κατά την ψυχρή κατεργασία δημιουργείται ενδοτράχυνση. Με τον όρο ενδοτράχυνση (work hardening, strain hardening), περιγράφεται η κατάσταση που δημιουργείται στον χάλυβα έπειτα από κατεργασία πλαστικής παραμόρφωσης σε θερμοκρασίες πρακτικά κάτω από 500°C. Κύριο χαρακτηριστικό της κατάστασης που δημιουργείται με την ενδοτράχυνση είναι η αύξηση της αντοχής του μετάλλου με αντίστοιχη μείωση της ολκιμότητας.

2.1.5 Θερμικές κατεργασίες

2.1.5.1 Μαρτενσιτική βαφή

Μαρτενσιτική βαφή στους χάλυβες ονομάζεται η μετατροπή του ωστενίτη σε μαρτενσίτη με αποτέλεσμα την πολύ μεγάλη αύξηση της αντοχής (σκληρότητας), αλλά και ταυτόχρονη μείωση της ολκιμότητας.

Η μετατροπή αυτή πραγματοποιείται με ταχύτατη ψύξη του αουστενίτη, κάτω από συγκεκριμένες και αυστηρά καθορισμένες συνθήκες.

2.1.5.2 Επαναφορά

Η θέρμανση του χάλυβα ο οποίος περιέχει μαρτενσίτη σε θερμοκρασίες μικρότερες των 723°C για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Η θέρμανση του χάλυβα ο οποίος περιέχει μαρτενσίτη έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση της σκληρότητας και την ταυτόχρονη σημαντική αύξηση της ολκιμότητας του υλικού.

2.1.5.3 Αποτατική Ανόπτηση

Με τον όρο αυτόν περιγράφεται η θέρμανση του υλικού σε θερμοκρασίες πρακτικά μεγαλύτερες των 80-100°C και αναφέρεται επίσης και ως “γήρανση” του υλικού.

Η κατεργασία αυτή διευκολύνει την εξομάλυνση των τάσεων οι οποίες δημιουργούνται στο εσωτερικό του μετάλλου μετά από “ψυχρή κατεργασία” και έχει ως αποτέλεσμα μικρές διαφοροποιήσεις στην αντοχή όπως αύξηση ή μείωση του ορίου διαρροής. Σε ορισμένες περιπτώσεις και κάτω από ορισμένες θερμοκρασίες επιτυγχάνεται αξιοσημείωτη αύξηση της ολκιμότητάς του.

2.1.5.4 Ανακρυστάλλωση

Πρόκειται για θερμική κατεργασία (θέρμανση) σε τέτοια θερμοκρασία ώστε να προκύψουν νέοι κρύσταλλοι (των επί μέρους φάσεων ή συστατικών του μετάλλου) απαλλαγμένοι από τις εσωτερικές τάσεις οι οποίες έχουν αναπτυχθεί σε αυτούς έπειτα από “ψυχρή” κατεργασία.

2.2 Διάκριση χαλύβων (ΚΤΧ – 2000)

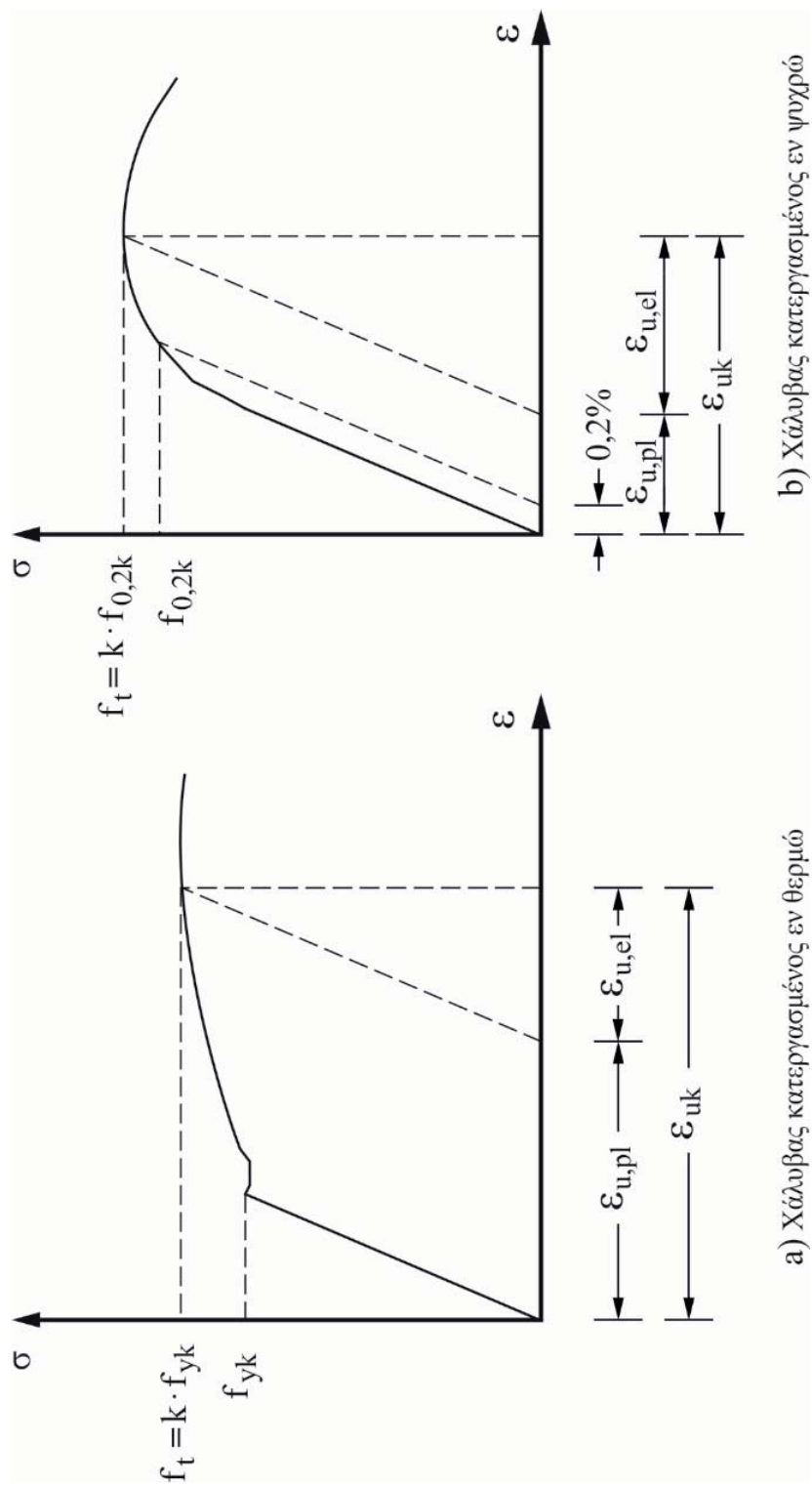
2.2.1 Διάκριση χαλύβων σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής, σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής:

- Θερμής έλασης, χωρίς καμία άλλη περαιτέρω θερμική ή θερμομηχανική κατεργασία οποιασδήποτε μορφής (χάλυβες ΘΕ-Χ)
- Θερμής έλασης, που ακολουθείται από μία άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας (χάλυβες ΘΕ-Θ). Από τα μέσα της δεκαετίας του '90 κυκλοφορούν σχεδόν αποκλειστικά οι χάλυβες ΘΕ-Θ που είναι γνωστοί και ως χάλυβες Temprocore, Thermex κ.λπ.
- Ψυχρής κατεργασίας, με ολκή ή έλαση του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Ο) ή με στρέψη αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Σ) ή με συνδυασμό των παραπάνω.

Οι χάλυβες ανάλογα με τη μέθοδο παραγωγής τους ενδέχεται να παρουσιάζουν:

- Διαφοροποιημένη συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες.
- Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων διαφορετικής μορφής από τις συνήθεις (Σχήμα 2.8).
- Διαφορετικό όριο διαρροής σε θλίψη από ό,τι σε εφελκυσμό
- Διαφορετική ολκιμότητα.



Σχήμα 2.8(a) Τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα με διακριτό όριο διαρροής (b) Τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα με μη διακριτό όριο διαρροής (ΚΤΧ – 2000, ΕΛΟΤ EN 1992-1-1:2005)

Η ψυχρή κατεργασία εφαρμόζεται για την αύξηση της αντοχής του χάλυβα (λόγω της προκαλούμενης ενδοτράχυνσης). Όμως η συγκεκριμένη μέθοδος κατεργασίας συνεπάγεται σημαντική μείωση της ολκιμότητας των χαλύβων οπλισμού και λόγω φαινομένων γήρανσης. Επίσης συνεπάγεται σημαντική μείωση της αντοχής τους μετά από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα μετά από πυρκαγιά ή συγκόλληση.

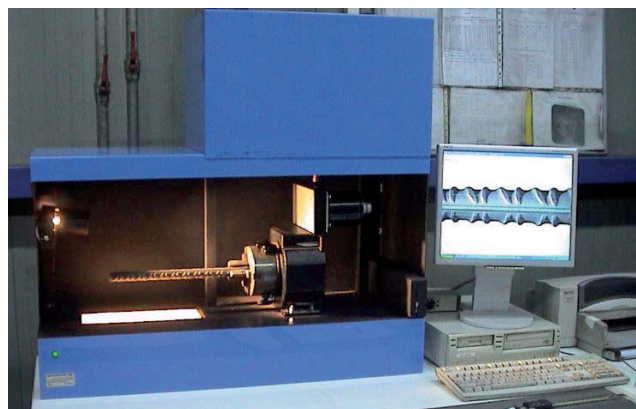
Χάλυβες ψυχρής κατεργασίας με στρέψη του αρχικού προϊόντος (ΨΚ-Σ) δεν παράγονται πλέον.

Κατά κανόνα, δεν είναι δυνατή η διάκριση μεταξύ χαλύβων ψυχρής και θερμής κατεργασίας μόνο με μακροσκοπική παρατήρηση (απαιτείται εργαστηριακός έλεγχος).

2.2.2. Διάκριση χαλύβων σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας των ράβδων (ΚΤΧ – 2000)

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας των ράβδων τους:

- Λείους χάλυβες κυκλικής διατομής.
Οι λείοι χάλυβες δεν καλύπτονται από τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Τα χαρακτηριστικά αυτών των χαλύβων περιγράφονταν στο Πρότυπο ΕΛΟΤ 959 το οποίο καταργήθηκε τον Ιανουάριο του 2007.
- Χάλυβες με ανάγλυφες αυλακώσεις υψηλής συνάφειας.



Σχήμα 2.9 Όργανο μέτρησης νευρώσεων χάλυβα

2.2.3 Διάκριση χαλύβων σύμφωνα με την ολκιμότητα

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής σύμφωνα με τη ολκιμότητά τους:

- Χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας.
Στους χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας κατατάσσονται οι χάλυβες κατηγορίας B500A κατά ΕΛΟΤ 1421-2 οι οποίοι επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται μόνο για την παραγωγή τυποποιημένων δομικών πλεγμάτων και δικτυωμάτων μέχρι διάμετρο Φ8.
- Χάλυβες υψηλής ολκιμότητας.
Στους χάλυβες υψηλής ολκιμότητας κατατάσσονται οι χάλυβες κατηγορίας B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3, οι οποίοι καλύπτουν τις αυξημένες απαιτήσεις για αντισεισμική συμπεριφορά των κατασκευών, όπως προβλέπονται από τον ΕΚΩΣ και από τους Ευρωκώδικες.

2.2.4 Διάκριση χαλύβων σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής, σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητά τους:

- Χάλυβες συγκολλησίμους
- Χάλυβες μη συγκολλησίμους ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις. Η χρήση των συγκολλησίμων υπό προϋποθέσεις χαλύβων δεν επιτρέπεται μετά τον Ιανουάριο του 2007.

2.2.5 Διάκριση χαλύβων σύμφωνα με την αντοχή τους σε διάβρωση

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής, σύμφωνα με την αντοχή τους σε διάβρωση:

- Κοινούς χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με άνθρακα (Fe-C) και με άλλα στοιχεία σε μικρές περιεκτικότητες
- Ανοξειδωτους χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο (Cr) 12%. Οι χάλυβες αυτοί είναι ανθεκτικοί σε διάβρωση. Η αντοχή τους σε διαβρωτικό περιβάλλον είναι μεγαλύτερη

εάν περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία όπως νικέλιο (Ni), μολυβδένιο (Mo), τιτάνιο (Ti) κ.λ.π.

2.3 Τεχνικές κατηγορίες ποιότητας χαλύβων

Οι χάλυβες που αποτελούν αντικείμενο του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων είναι συγκολλησιμοι, διακρίνονται δε στις εξής τεχνικές κατηγορίες:

- B500A κατά ΕΛΟΤ 1421-2
- B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3

Και για τις δύο αυτές κατηγορίες χαλύβων, η ονομαστική (χαρακτηριστική) τιμή του ορίου διαρροής $f_{y,nom}$ είναι 500MPa.

2.4 Μορφές χαλύβων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παράγονται από τις βιομηχανίες με τις εξής μορφές:

- Ευθύγραμμες ράβδοι
- Κουλούρες
- Ευθυγραμμισμένα προϊόντα
- Πλέγματα

2.5 Μηχανικά χαρακτηριστικά

2.5.1 Ιδιότητες σε εφελκυσμό

Τα υποχρεωτικά όρια των μηχανικών χαρακτηριστικών σε εφελκυσμό των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος δίνονται στον Πίνακα 2.1.

Για το όριο διαρροής f_y , οι αναφερόμενες στον Πίνακα 2.1 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 95%. Για τη συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , για τον λόγο $\frac{f_t}{f_y}$ και για τον λόγο $f_{y,act}/$

$f_{y,nom}$ οι αναφερόμενες στον Πίνακα 2.1 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 90%.



Σχήμα 2.10 Μηχανή μέτρησης ορίου διαρροής και αντοχής σε εφελκυσμό

Οι τιμές των f_y και f_t υπολογίζονται με βάση την ονομαστική διατομή.

Όταν δεν υπάρχει διακριτό όριο διαρροής, θα προσδιορίζεται το $f_{0,2}$.

Στο Σχήμα 2.8(a) δίνεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σε εφελκυσμό, για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος με διακριτό όριο διαρροής. Τέτοιο διάγραμμα παρουσιάζουν συνήθως οι χάλυβες κατηγορίας B500C. Στο Σχήμα 2.8(b) παρουσιάζεται ένα τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων σε εφελκυσμό, για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος χωρίς διακριτό όριο διαρροής.

Η ανυπαρξία διακριτού ορίου διαρροής (Σχ. 2.8(b)) μπορεί να οφείλεται συνήθως:

- στην κατεργασία (π.χ. ψυχρή διαμόρφωση, προβλήματα κατά τη θερμική κατεργασία).
- σε ιδιαιτερότητες της χημικής σύστασης κ.α.

Υπόμνημα

$\epsilon_{u,pl}$	πλαστική παραμένουσα παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο (Σχ. 2.8)
ϵ_{uk}	συνολική παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο (Σχ. 2.8)
$\epsilon_{u,el}$	ελαστική παραμόρφωση αντιστοιχούσα στο μέγιστο φορτίο (Σχ. 2.8)

:Πίνακας 2.1 Όρια μηχανικών ιδιοτήτων χαλύβων σε εφελκυσμό κατά ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 (Χαρακτηριστικές τιμές, X_k)

Ιδιότητα	Τεχνική κατηγορία ποιότητας	
	B500A	B500C
Όριο διαρροής, f_y (MPa)	≥ 500	≥ 500
Λόγος της πραγματικής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	-	≤ 1.25
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, f_t/f_y	≥ 1.05 (≥ 1.03 για $d < 6\text{mm}$)	≥ 1.15 ≤ 1.35
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο ϵ_{uk} (%)	≥ 2.5 (≥ 2 για $d < 6\text{mm}$)	≥ 7.5

2.5.2 Αντοχή σε διάτμηση

Για τα δομικά πλέγματα, το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 ορίζει ότι η αντοχή σε διάτμηση των σημείων συγκόλλησης των διασταυρούμενων ράβδων θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$F_s \geq 0.25f_{y,nom} A$$

όπου

$f_{y,nom}$ η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής του χάλυβα οπλισμού (500MPa)

A η ονομαστική διατομή της ράβδου με τη μεγαλύτερη ονομαστική διάμετρο

Ωστόσο, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1992-1-1/2005 ο συντελεστής διάτμησης για τα δομικά πλέγματα ορίζεται τουλάχιστον 0.30.

2.5.3 Ικανότητα αναδίπλωσης

Με τον όρο αναδίπλωση εννοείται η κάμψη κατά 180°. Κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, η δοκιμή αναδίπλωσης πραγματοποιείται σε κυλινδρικά στελέχη ελάχιστης διαμέτρου 3d για χάλυβες με ονομαστική διάμετρο έως και 16mm, και 6d για χάλυβες με ονομαστική διάμετρο πάνω από 16mm όταν υποβάλλονται σε δοκιμή αναδίπλωσης.

2.5.4 Συμπεριφορά σε κόπωση

Γενικώς, σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080 και ΕΛΟΤ 1421-3, οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος θα πρέπει να αντέχουν σε ένα καθορισμένο πλήθος κύκλων επαναλαμβανόμενης αξονικής εφελκυστικής καταπόνησης με τάσεις κυμαινόμενες από σ_{min} έως σ_{max} , ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενες, με εύρος διακύμανσης:

$$2\sigma_A = \sigma_{max} - \sigma_{min}$$

Ο έλεγχος κόπωσης εφαρμόζεται μόνον στους χάλυβες κατηγορίας B500C.

Οι ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος κατηγορίας B500C πρέπει να αντέχουν, σε δοκιμή κόπωσης, 2×10^6 κύκλους φόρτισης με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη τάση $\sigma_{max} = 300\text{MPa}$
- Εύρος διακύμανσης τάσεων $2\sigma_A = 150\text{MPa}$
- Η συχνότητα μεταβολής του φορτίου θα είναι μικρότερη ή ίση με 200 Hz.

Οι ηλεκτροσυγκολλημένες ράβδοι και τα πλέγματα κατηγορίας B500C πρέπει να αντέχουν σε δοκιμή κόπωσης 2×10^6 κύκλους φόρτισης με τα εξής χαρακτηριστικά:

- Μέγιστη τάση $\sigma_{\max} = 300 \text{ MPa}$
- Εύρος διακύμανσης τάσεων $2\sigma_A = 100 \text{ MPa}$
- Η συχνότητα μεταβολής του φορτίου θα είναι μικρότερη ή ίση από 200 Hz.
- Το δοκίμιο θα φέρει υποχρεωτικά και τμήμα εγκάρσιας ηλεκτροσυγκολλημένης ράβδου, ελάχιστου μήκους $5d_{\text{trans}}$ εκατέρωθεν της συγκόλλησης, όπου d_{trans} η ονομαστική διάμετρος της εγκάρσιας συγκολλημένης ράβδου.

2.5.5 Φυσικά χαρακτηριστικά

Οι φυσικές ιδιότητες των ελαφρά κραματωμένων ή μη κραματωμένων χαλύβων χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, όπως είναι οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, είναι παραπλήσιες εκείνων του καθαρού σιδήρου. Οι τιμές που δίνονται κατωτέρω αφορούν τον καθαρό σίδηρο, εκτός από τις περιπτώσεις που αναφέρονται ρητά στους χάλυβες, και δύνανται να χρησιμοποιηθούν για τους υπολογισμούς που αφορούν στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

2.5.5.1 Μέτρο ελαστικότητας, E

Σε θερμοκρασία 20°C η τιμή που λαμβάνεται υπόψη είναι 200 GPa.

Έχουν μετρηθεί τιμές έως 210 GPa.

Το μέτρο ελαστικότητας, E, επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, απομειούμενο σημαντικά για υψηλές θερμοκρασίες. Ενδεικτικές τιμές δίνονται στον Πίνακα 2.2.

Πίνακας 2.2 Προσεγγιστικές τιμές του μέτρου ελαστικότητας του σιδήρου, E , συναρτήσει της θερμοκρασίας T .

T σε °C	20	200	425	550	650
E σε GPa	200	185	155	135	125

2.5.5.2 Μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση, G , και μέτρο διόγκωσης, K

Το μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση λαμβάνεται 80GPa και το μέτρο διόγκωσης 165GPa.

2.5.5.3 Λόγος Poisson, ν

Για πρακτικές εφαρμογές μπορεί να χρησιμοποιείται η τιμή 0,30.

2.5.6 Συγκολλησιμότητα

Συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλάται υπό προδιαγεγραμμένες συνθήκες, έτσι ώστε η προκύπτουσα σύνδεση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Οι χάλυβες διακρίνονται ως προς τη συγκολλησιμότητά τους στις εξής κατηγορίες σύμφωνα με τον KTX - 2000:

- Συγκολλησίμους, των οποίων η συγκολλησιμότητα εξασφαλίζεται από τη χημική σύσταση.
- Συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις, των οποίων η συγκολλησιμότητα μπορεί να εξασφαλιστεί με κατάλληλο σχεδιασμό και ελέγχεται με ειδικές δοκιμές.

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος B500A και B500C, που ορίζονται από τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 αντιστοίχως είναι συγκολλησιμοι.

Στις υφιστάμενες κατασκευές, ενδέχεται να υπάρχουν, επίσης:

- Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος S500s και S400s, οι οποίοι είναι συγκολλησιμοι.
- Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος S500, S400 και S220, καθώς και οι StI και StIIa οι οποίοι είναι συγκολλησιμοι υπό προϋποθέσεις.
- Ελικοχάλυβας, ο οποίος πρακτικά δεν πρέπει να συγκολλάται, εκτός εάν υπάρχει κατάλληλος ειδικός σχεδιασμός.

2.5.7 Χημική σύσταση συγκολλησιμων χαλύβων

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησιμοι όταν οι περιεκτικότητες σε άνθρακα (C), θείο (S), φωσφόρο (P), άζωτο (N), χαλκό (Cu), καθώς και η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, C_{eq} , δεν υπερβαίνουν τις αντίστοιχες τιμές που δίνονται στον Πίνακα 2.3.

Πίνακας 2.3 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για τη χημική σύσταση (περιεκτικότητα % κ.β.) κατά ΕΛΟΤ EN 10080

	Άνθρακας	θείο	Φώσφορος	Άζωτο	Χαλκός	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα
	C⁽²⁾	S	P	N⁽¹⁾	Cu	C_{eq}⁽²⁾
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	0.22	0.050	0.050	0.012	0.80	0.50
Ανάλυση τελικού προϊόντος	0.24	0.055	0.055	0.014	0.85	0.52

⁽¹⁾ Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν

⁽²⁾ Επιτρέπεται η υπέρβαση των μεγίστων τιμών για τον άνθρακα κατά 0,03% κ.β.. με την προϋπόθεση ότι μειώνονται αντίστοιχα οι ισοδύναμες τιμές σε άνθρακα κατά 0,02% κ.β.

2.5.8 Συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες

Για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, ως ακραίες μπορούν να θεωρηθούν θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C και μεγαλύτερες των 200°C περίπου. Στις περιοχές των ακραίων θερμοκρασιών, ενδέχεται να υπάρξουν μεταβολές των μηχανικών χαρακτηριστικών των χάλυβων, αλλά και του σκυροδέματος και της συνάφειάς του με τον οπλισμό. Μετά την επάνοδο των χάλυβων στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, ορισμένες από τις μεταβολές είτε παραμένουν είτε αίρονται μερικώς ή ολικώς.

Οι ιδιότητες που επηρεάζονται με τη μεταβολή της θερμοκρασίας είναι κυρίως το όριο διαρροής, η εφελκυστική αντοχή και η παραμόρφωση.

Η συμπεριφορά των χάλυβων σε ακραίες θερμοκρασίες επηρεάζεται από:

- Τη θερμοκρασία έκθεσης
- Τον χρόνο έκθεσης
- Τη χημική σύσταση και τη μέθοδο παραγωγής

2.5.9 Έκθεση χάλυβων σε χαμηλές θερμοκρασίες

Κατά την έκθεση χάλυβων σε χαμηλές θερμοκρασίες μειώνεται η παραμόρφωση θραύσης (ψαθυροποίηση του υλικού) ενώ δεν παρατηρούνται σημαντικές μεταβολές του ορίου διαρροής και της εφελκυστικής αντοχής.

Γενικώς για τους χάλυβες, η μετάπτωση από όλκιμη σε ψαθυρή θραύση παρατηρείται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C. Ειδικότερα για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατηγορίας B500A και B500C η θερμοκρασία μετάπτωσης (T27J) είναι μικρότερη από -30°C.

Η παραπάνω μεταβολή είναι ανεξάρτητη του χρόνου έκθεσης.

Οι μεταβολές που αναφέρονται ανωτέρω αίρονται μετά την επάνοδο των χάλυβων σε συνήθεις θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

2.5.10 Έκθεση χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες

Οι αντοχές και το μέτρο ελαστικότητας των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος μειώνονται όσο αυξάνεται η θερμοκρασία έκθεσης. Οι μειώσεις είναι σχετικά μικρές για εκθέσεις σε θερμοκρασίες μέχρι περίπου 200°C και γίνονται μεγαλύτερες για υψηλότερες θερμοκρασίες, φθάνοντας σε μείωση έως και 60% των αρχικών τιμών για θερμοκρασία 600°C. Σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες η γραμμική παρεμβολή δίδει ικανοποιητική προσέγγιση.

Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 600°C ο ρυθμός μείωσης της αντοχής αυξάνεται, ενώ λόγω και των υπόλοιπων μεταβολών που θα συμβούν στον χάλυβα και στο σκυρόδεμα (μείωση συνάφειας με το σκυρόδεμα, μεταβολές μικρογραφικής μορφής κ.λπ.), είναι ενδεχόμενο να προκληθούν σοβαρές βλάβες σε στοιχεία της κατασκευής.

Για πολύ μεγάλους χρόνους έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν και άλλα φαινόμενα (π.χ. ερπυσμός). Για τους χάλυβες που είναι αντικείμενο του KTX – 2000 η έκθεση σε θερμοκρασίες μέχρι 200°C δεν δημιουργεί πρακτικώς φαινόμενα ερπυσμού. Όσο όμως οι θερμοκρασίες και οι επιβαλλόμενες τάσεις αυξάνονται, το φαινόμενο του ερπυσμού γίνεται εντονότερο.

Στις περιπτώσεις ειδικών κατασκευών που εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλές θερμοκρασίες όπως σε ατμοηλεκτρικές μονάδες και θερμαινόμενα δάπεδα αντιδραστήρων θα πρέπει, κατά τον σχεδιασμό τους, να λαμβάνονται υπόψη ιδιαίτερα κριτήρια και μέτρα. Επίσης, στις περιπτώσεις της παρατεταμένης έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι αυξάνεται και ο ρυθμός διάβρωσης του χάλυβα (αλλά και προσβολής του σκυροδέματος).

Ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία είχαν εκτεθεί οι χάλυβες, μετά την επάνοδο τους στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- i. Για θερμοκρασίες έκθεσης μέχρι 500°C (περίπου), γενικώς δεν παρατηρούνται ουσιαστικές μεταβολές μηχανικών χαρακτηριστικών για τους χάλυβες ΘΕ-Θ και ΘΕ- Χ. Οι χάλυβες ΨΚ-0 και ΨΚ-Σ, ανάλογα με

τον βαθμό κατεργασίας δύνανται να παρουσιάζουν σημαντική μείωση της παραμόρφωσης θραύσης στη θερμοκρασιακή περιοχή 0°C έως 300°C.

- ii. Για θερμοκρασίες έκθεσης από 500°C έως 600 ή 650°C οι επιπτώσεις εξαρτώνται και από τη μέθοδο παραγωγής.

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Οι χάλυβες ΘΕ-Θ παρουσιάζουν κατά κανόνα σημαντικές μεταβολές μηχανικών ιδιοτήτων με κύριο χαρακτηριστικό τη μείωση αντοχής. Η μείωση της αντοχής είναι πρακτικά μηδενική στους 500°C, και γίνεται μεγαλύτερη για υψηλότερες θερμοκρασίες φθάνοντας, κατά περίπτωση, σε μείωση έως και 30% των αρχικών τιμών στους 600°C και μέχρι 50% των αρχικών τιμών στους 650°C. Για ενδιάμεσες θερμοκρασίες η γραμμική παρεμβολή δίνει ικανοποιητική προσέγγιση.
- Οι χάλυβες ΘΕ-Χ παρουσιάζουν μικρές μεταβολές έπειτα από έκθεση στην περιοχή αυτών των θερμοκρασιών.
- Για χάλυβες ΨΚ-Ο και ΨΚ-Σ, η παράμετρος που καθορίζει τη συμπεριφορά των υλικών μετά από έκθεση σε θερμοκρασίες πρακτικά μεγαλύτερες των 500°C είναι το ποσοστό της ψυχρής παραμόρφωσης που προκαλείται κατά την κατεργασία παραγωγής (ή κατά τη μετέπειτα διαμόρφωση) και ορίζεται από τη σχέση:

$$n = \frac{A_1 - A_2}{A_1} \quad (2.2)$$

όπου A_1 η αρχική διατομή και A_2 η τελική διατομή (μετά τη διαμόρφωση).

Για τιμές $n < 2\%$ δεν δημιουργείται ειδικό πρόβλημα μεταβολής αντοχής, επειδή δεν συμβαίνει ανακρυστάλλωση.

Για τιμές $2 < n < 15\%$, λόγω ανακρυστάλλωσης το υλικό που θα προκύψει χαρακτηρίζεται (ανάλογα με τη θερμοκρασία και τη διάρκεια έκθεσής του) από μειωμένες μηχανικές ιδιότητες, με κύριο χαρακτηριστικό τη μείωση της αντοχής και της δυσθραυστότητας σε τιμές ακόμη και μικρότερες από εκείνες που είχε πριν υποστεί την ψυχρή κατεργασία. Οι μεταβολές κατά κανόνα υπερβαίνουν το 25% και μπορεί να φθάσουν το 60%.

Για τιμές $n > 15\%$ το υλικό που θα προκύψει μετά από θέρμανση και επάνοδο στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, χάνει την αυξημένη αντοχή που του είχε προσδώσει η ψυχρή κατεργασία, λόγω της

αναक्रυστάλλωσης, και επανέρχεται στις αρχικές τιμές αντοχής που είχε πριν υποστεί την ψυχρή κατεργασία.

- iii. Για θερμοκρασίες έκθεσης πάνω από 650°C οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τη μέθοδο παραγωγής.

Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Οι χάλυβες ΘΕ-Χ δεν παρουσιάζουν μεγάλες μεταβολές για θέρμανση μέχρι τους 723°C.
- Οι χάλυβες ΘΕ-Θ, ΨΚ-0 και ΨΚ-Σ παρουσιάζουν περαιτέρω μειώσεις των αντοχών τους. Οι τελικές τιμές μπορούν να μειωθούν ακόμη και κάτω από το 50% των αρχικών.

Σε όλες τις περιπτώσεις έκθεσης σε θερμοκρασίες που είναι πιθανόν να δημιουργήσουν τις συνθήκες που περιγράφονται στις αντίστοιχες παραπάνω παραγράφους (όπως περιπτώσεις πυρκαγιών και συγκολλήσεων), ανεξάρτητα από τη μέθοδο παραγωγής, θα πρέπει να συνεκτιμώνται προσεκτικά όλες οι παράμετροι και να εξετάζονται εργαστηριακά δείγματα από τους οπλισμούς οι οποίοι πιθανολογείται ότι έχουν επηρεασθεί καθώς και από "υγιείς" οπλισμούς.

2.5.11 Δειγματοληπτικοί έλεγχοι παρτίδας

2.5.11.1 Γενικά - Εφαρμογή

Ο χρήστης ή η αρμόδια Δημόσια Αρχή δικαιούνται να προβαίνουν σε δειγματοληπτικούς ελέγχους για την επιβεβαίωση των χαρακτηριστικών των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Οι χάλυβες οι οποίοι ελέγχονται δύνανται να προέρχονται από προϊόντα τα οποία διατίθενται σε ράβδους, κουλούρες, ευθυγραμμισμένα προϊόντα, φύλλα πλεγμάτων και δικτυώματα.

Ελέγχονται επίσης τα προϊόντα τα οποία προέρχονται από διαμόρφωση και κατεργασία των ανωτέρω. Τέτοια προϊόντα που προέρχονται από διαμόρφωση είναι οι "μανδύες", οι σπειροειδείς συνδετήρες ή οι μεμονωμένοι. Συνδετήρες οι οποίοι συγκρατούνται συγκολλημένοι σε βοηθητικούς ράβδους. Επισημαίνεται ότι τα επι μέρους στοιχεία που απαρτίζουν τα προϊόντα αυτά πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της κατηγορίας ποιότητάς τους.

Ανάλογα με τη μορφή των προϊόντων, τα διάφορα δείγματα που απαιτούνται για τους ελέγχους θα λαμβάνονται ως εξής:

- Για ράβδους θα λαμβάνονται, από διαφορετικές ράβδους του ίδιου ή διαφορετικού δέματος
- Για κουλούρες θα λαμβάνονται, κατά προτίμηση από διαφορετικές κουλούρες. Αν αυτό δεν είναι εφικτό, τότε από την ίδια κουλούρα από θέσεις απέχουσες περισσότερο από 14m
- Για πλέγματα θα λαμβάνονται, από διαφορετικά φύλλα του δέματος ή των δεμάτων. Ανάλογα με το είδος του πλέγματος από κάθε φύλλο θα λαμβάνεται:
 - Ένα δείγμα ανά κατεύθυνση, για τα δομικά πλέγματα, τυποποιημένα και μη
 - Ένα δείγμα κατά την κύρια διεύθυνση, για τα πλέγματα ειδικού τύπου.

Οι έλεγχοι οι οποίοι πραγματοποιούνται βάσει του ΚΤΧ – 2000 είναι οι κατωτέρω:

- Έλεγχος ανηγμένης μάζας και διατομής μιας παρτίδας.
- Έλεγχος γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας και των νευρώσεων.
- Έλεγχος ιδιοτήτων σε εφελκυσμό.
- Έλεγχος σε αναδίπλωση.
- Έλεγχος χημικής σύστασης.
- Έλεγχος αντοχής σε διάτμηση σταυρωτών συγκολλησίμων πλεγμάτων.
- Έλεγχος αντοχής σε κόπωση.
- Οπτική εξέταση και έλεγχος διάβρωσης.

2.6. Τοποθέτηση οπλισμού

Η διαμόρφωση και συναρμολόγηση του οπλισμού δύναται να πραγματοποιείται:

- Σε μονάδες διαμόρφωσης οπλισμού.
- Σε ειδικό χώρο του εργοταξίου.
- Επί του ξυλοτύπου.

Ο συναρμολογημένος οπλισμός πρέπει να παρουσιάζει επαρκή αντοχή, δυσκαμψία και σταθερότητα, ώστε να εξασφαλίζεται ότι οι ράβδοι δεν θα μετατοπισθούν από την προκαθορισμένη θέση τους, κατά τη μεταφορά, τοποθέτηση, σκυροδέτηση και συμπύκνωση.

2.7 Επικαλύψεις

Ανάλογα με τον τύπο της κατασκευής, προβλέπεται μία ορισμένη ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού για λόγους ανθεκτικότητας, συνάφειας και πυρασφάλειας.

Η ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη για λόγους ανθεκτικότητας και συνάφειας δίνεται από τον Ευρωκώδικα 2, συναρτήσει των συνθηκών περιβάλλοντος, του είδους του δομικού στοιχείου, της ποιότητας και του μέγιστου κόκκου των αδρανών του σκυροδέματος και της χρήσης του έργου.

2.8 Απαιτήσεις για τους αποστατήρες

Πρέπει να προβλέπεται ικανός αριθμός κατάλληλων αποστατήρων και στηριγμάτων/υποθεμάτων για τη συγκράτηση του οπλισμού στη θέση του.

Οι αποστατήρες δεν πρέπει να αλλοιώνουν την τελική επιφάνεια του σκυροδέματος.

Οι εσωτερικοί αποστατήρες μεταξύ στρώσεων οπλισμού, για την εξασφάλιση της απαιτούμενης απόστασης μεταξύ των παράλληλων στρώσεων, μπορεί να είναι και χαλύβδινοι. Στην περίπτωση αυτή πρέπει να είναι από την ίδια κατηγορία χάλυβα με αυτή του οπλισμού.

2.9 Προστασία αναμονών

Οι κάθε είδους αναμονές ράβδων οπλισμού πρέπει να παραμένουν ευθύγραμμες και να προστατεύονται από διάβρωση και μηχανικές βλάβες και πληγές.