

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΔΗΜΟΚΡΑΤΙΑ
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ ΚΑΙ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΓΕΝΙΚΗ ΓΡΑΜΜΑΤΕΙΑ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ
ΚΕΝΤΡΙΚΟ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΔΗΜΟΣΙΩΝ ΕΡΓΩΝ

ΚΑΝΟΝΙΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ
ΚΤΧ 2007

(Σχέδιο, για δημόσια κρίση)

ΑΘΗΝΑ 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφάλαιο 1: ΓΕΝΙΚΑ	1
1.1 Εισαγωγή	1
1.2 Πεδίο εφαρμογής	1
1.3 Αντικείμενο	2
1.4 Σύμβολα	3
1.5 Μονάδες	4
1.6 Ορισμοί	4
Κεφάλαιο 2: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ	8
2.1 Διάκριση χαλύβων	8
2.2 Τεχνικές κατηγορίες ποιότητας χαλύβων	9
2.3 Μορφές χαλύβων	9
2.4 Σήμανση για την αναγνώριση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος	10
2.4.1 Σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας ποιότητας	10
2.4.2 Σήμανση για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής	11
2.4.3 Σήμανση για την αναγνώριση προϊόντων από κουλούρες	12
2.5 Ιχνηλασιμότητα	12
Κεφάλαιο 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΑΛΥΒΩΝ	13
3.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά	13
3.1.1 Ονομαστικά μεγέθη	13
3.1.2 Γεωμετρία επιφάνειας - Απαιτήσεις συνάφειας	14
3.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά	16
3.2.1 Ιδιότητες σε εφελκυσμό	16
3.2.2 Αντοχή σε διάτμηση	18
3.2.3 Ικανότητα σε κάμψη	18
3.2.4 Συμπεριφορά σε κόπωση	18
3.3 Φυσικά χαρακτηριστικά	19
3.4 Μακροσκοπική εξέταση χάλυβα	20
3.5 Χημικά Χαρακτηριστικά	21
3.5.1 Γενικά	21
3.5.2 Συγκολλησιμότητα	22
3.5.3 Χημική σύσταση συγκολλησίμων χαλύβων	22
3.6 Συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες	23
3.6.1 Έκθεση χαλύβων σε χαμηλές θερμοκρασίες	24
3.6.2 Έκθεση χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες	25
3.7 Ραδιενέργεια	27
Κεφάλαιο 4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ	29
4.1 Εισαγωγή	29
4.2 Έλεγχος και κριτήρια συμμόρφωσης για τους εγχωρίως παραγόμενους χάλυβες	30
4.3 Έλεγχος και κριτήρια συμμόρφωσης για χάλυβες παραγόμενους στις λοιπές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης	30
4.4 Έλεγχος και κριτήρια συμμόρφωσης για χάλυβες παραγόμενους σε τρίτες χώρες	30
4.5 Δειγματοληπτικοί έλεγχοι παρτίδας	30
4.5.1 Γενικά - Εφαρμογή	30
4.5.2 Έλεγχος διατομής και ανηγμένης μάζας μιας παρτίδας	31
4.5.3 Έλεγχος γεωμετρίας της επιφάνειας και των νευρώσεων	32
4.5.4 Έλεγχος ιδιοτήτων σε εφελκυσμό	32
4.5.5 Έλεγχος σε αναδίπλωση	33
4.5.6 Έλεγχος χημικής σύστασης	33
4.5.7 Έλεγχος αντοχής σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων πλεγμάτων	33
4.5.8 Έλεγχος αντοχής σε κόπωση	34
4.5.9 Οπτική επιθεώρηση και έλεγχος διάβρωσης	34
Κεφάλαιο 5: ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ	35
5.1 Γενικά	35
5.2 Στελέχωση μονάδων διακίνησης	35

5.3	Αποθήκευση	35
5.4	Μεταφορά	36
5.5	Παραγγελία	37
5.6	Συνοδευτικά έγγραφα	37
Κεφάλαιο 6: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ		39
6.1	Γενικές απαιτήσεις	39
6.2	Μονάδες διαμόρφωσης οπλισμού	39
6.2.1	Στελέχωση μονάδων διαμόρφωσης	39
6.2.2	Βασικές απαιτήσεις λειτουργίας	39
6.3	Ευθυγράμμιση οπλισμού	40
6.4	Κοπή οπλισμού	40
6.5	Κάμψη οπλισμού	40
6.6	Συγκόλληση	41
6.7	Έλεγχος και παραλαβή οπλισμού στο έργο	41
6.8	Διαμόρφωση οπλισμού στο εργοτάξιο	42
6.9	Ανοχές διαμόρφωσης και τοποθέτησης οπλισμού	42
6.10	Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων	42
Κεφάλαιο 7: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ		43
7.1	Διάταξη – Συγκράτηση - Στήριξη	43
7.2	Επικαλύψεις -Αποστατήρες -Προστασία αναμονών - Επιδερμικός οπλισμός	44
7.2.1	Επικαλύψεις	44
7.2.2	Απαιτήσεις για τους αποστατήρες	44
7.2.3	Προστασία αναμονών	44
7.2.4	Επιδερμικός οπλισμός	45
7.3	Ενώσεις	45
7.3.1	Ενώσεις με υπερκάλυψη - παράθεση	45
7.3.2	Ενώσεις με μηχανικά μέσα - κοχλιωτές	45
7.3.3	Ενώσεις με συγκόλληση	45
7.4	Αγκυρώσεις	45
7.5	Έλεγχος και παραλαβή τοποθετημένου οπλισμού	45
7.6	Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων	45
Κεφάλαιο 8: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ		46
8.1	Γενικά	46
8.2	Τύποι συνδέσεων	46
8.4.1	Γενικές επισημάνσεις	48
8.4.2	Μετωπική σύνδεση (άκρο με άκρο) με τεχνικές τόξου	50
8.4.3	Σύνδεση κατά παράθεση	52
8.4.4	Σύνδεση με λωρίδες με τεχνικές τόξου	53
8.4.5	Σταυρωτή σύνδεση	54
8.4.6	Συνδέσεις με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	56
8.5	Έλεγχος ποιότητας συγκολλήσεων	58
8.5.1	Γενικά	58
8.5.2	Έλεγχοι και πλήθος δοκιμών	58
8.5.3	Εκτέλεση δοκιμών - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων	59
8.6	Συγκόλληση νέου οπλισμού σε παλαιό	64
8.6.1	Γενικά	64
8.6.2	Συγκόλληση χαλύβων συγκολλησίμων υπό προϋποθέσεις	65
8.6.3	Δοκιμές ελέγχου ποιότητας συγκολλήσεων	66
8.7	Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων	66
Κεφάλαιο 9: ΠΛΕΓΜΑΤΑ		67
9.1	Γενικά	67
9.2	Συγκολλήσεις για την παραγωγή πλεγμάτων	67
9.3	Κάμψεις πλεγμάτων	68
9.4	Χαρακτηριστικά πλεγμάτων	68
9.4.1	Τυποποιημένα δομικά πλέγματα	69
9.4.2	Μη τυποποιημένα δομικά πλέγματα	69
9.4.3	Πλέγματα ειδικού τύπου	69

9.5	Ανοχές διαστάσεων	70
9.6	Διακίνηση, διαμόρφωση, τοποθέτηση	70
9.7	Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων	71

Κεφάλαιο 10: ΔΙΑΒΡΩΣΗ 72

10.1	Γενικά	72
10.2	Έλεγχος διάβρωσης	73
10.3	Προστασία αναμονών	74

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα 1: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	76
Παράρτημα 2: ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ.....	83
Παράρτημα 3: ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ	85
Παράρτημα 4: ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	91
Παράρτημα 5: ΑΠΟΣΤΑΤΗΡΕΣ.....	96
Παράρτημα 6: ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ	100
Παράρτημα 7: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ	102
Παράρτημα 8: ΧΑΛΥΒΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ.....	113
Παράρτημα 9: ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ	121
Παράρτημα 10: ΚΟΠΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ.....	120

Κεφάλαιο 1: ΓΕΝΙΚΑ

Στον παρόντα Κανονισμό, η αρίθμηση των Πινάκων και Σχημάτων ακολουθεί την αρίθμηση των αντίστοιχων Κεφαλαίων. Ειδικά για τους Πίνακες και τα Σχήματα των Σχολίων, προηγείται της αρίθμησης το γράμμα "Σ".

Τα χονδροειδή σφάλματα αποτελούν σημαντική αιτία αστοχιών στις κατασκευές. Ακριβώς δε για την εξασφάλιση έναντι τέτοιων σφαλμάτων προϋποτίθεται ότι ο Κανονισμός θα εφαρμόζεται από εκπαιδευμένα, έμπειρα και ικανά πρόσωπα.

Στον παρόντα Κανονισμό γίνονται παραπομπές στα παρακάτω Πρότυπα και κανονιστικά κείμενα:

- ΕΛΟΤ EN 10080 (2005): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος - Συγκολλησιμοί χάλυβες - Γενικές απαιτήσεις
- ΕΛΟΤ 1421-2 (2005): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος- Συγκολλησιμοί χάλυβες - Μέρος 2: Τεχνική κατηγορία B500A
- ΕΛΟΤ 1421-3 (2005): Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος- Συγκολλησιμοί χάλυβες - Μέρος 3: Τεχνική κατηγορία B500C
- ΕΛΟΤ 656 (1981): Συμβολισμοί για χρήση στις μελέτες τεχνικών έργων
- ΕΛΟΤ EN 10020 (2000): Ορισμός και ταξινόμηση κατηγοριών χάλυβα
- ΕΛΟΤ EN 10025 (2005): Προϊόντα θερμής έλασης για χάλυβες κατασκευών - Μέρος 2: Τεχνικοί όροι παράδοσης για μη κεκραμένους χάλυβες κατασκευών
- ΕΛΟΤ EN ISO 15630-1 (2003): Χάλυβες για την όπλιση και την προένταση σκυροδέματος - Μέθοδοι δοκιμών - Μέρος 1: Ράβδοι και σύρματα οπλισμού
- ΕΛΟΤ EN ISO 15630-2 (2003): Χάλυβες για την όπλιση και την προένταση σκυροδέματος - Μέθοδοι δοκιμών - Μέρος 2: Ηλεκτροσυγκολλημένα πλέγματα
- EN ISO 17660-1 (2006): Welding - Welding of reinforcing steel, Part 1: Load-bearing welded joints
- EN ISO 17660-2 (2006): Welding - Welding of

1.1 Εισαγωγή

Ο Κανονισμός αυτός περιλαμβάνει το κυρίως Κείμενο (δεξιά στήλη), τα Σχόλια (αριστερή στήλη), καθώς και τα Παραρτήματα τα οποία είναι πληροφοριακά.

Αντικείμενο των Σχολίων και των Παραρτημάτων είναι:

- Η βασική ερμηνεία ή και αιτιολόγηση των κανόνων γενικού χαρακτήρα και των διατάξεων ή η παράθεση στοιχείων που συμβάλλουν στην κατανόησή τους.
- Η παράθεση πρακτικών εφαρμογών ή και απλοποιημένων κανόνων που δεν έχουν ίσως γενική εφαρμογή αλλά ισχύουν για τις συνήθεις περιπτώσεις της πράξης.
- Η συσχέτιση του εκάστοτε άρθρου με άλλα άρθρα του Κανονισμού αυτού και άλλων Κανονισμών, Προτύπων, Αποφάσεων, Εγκυκλίων κ.λπ., όπου απαιτείται.

Ο Κανονισμός αυτός δεν εξασφαλίζει από χονδροειδή σφάλματα. Η χρήση του Κανονισμού αυτού προϋποθέτει την εφαρμογή του από πρόσωπα που διαθέτουν τις απαραίτητες τεχνικές γνώσεις και εμπειρία.

1.2 Πεδίο εφαρμογής

Ο Κανονισμός αυτός προδιαγράφει τις ελάχιστες γενικές και ειδικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Ο Κύριος του Έργου, ιδίως αν πρόκειται για ειδικό έργο, μπορεί να προδιαγράψει αυστηρότερες ή και πρόσθετες ειδικές απαιτήσεις.

Αυτός ο Κανονισμός ενσωματώνει και διατάξεις άλλων σχετικών κανονιστικών κειμένων μέσω παραπομπών σε χρονολογημένες ή μη χρονολογημένες εκδόσεις τους που βρίσκονται στις κατάλληλες θέσεις μέσα στο κείμενο. Για τις παραπομπές σε χρονολογημένες εκδόσεις, οι μεταγενέστερες τροποποιήσεις ή αναθεωρήσεις αυτών θα έχουν εφαρμογή μόνον εφόσον ενσωματωθούν στον παρόντα Κανονισμό μέσω τροποποίησης ή αναθεώρησής του. Για παραπομπές σε μη χρονολογημένες εκδόσεις, θα ισχύει πάντοτε η τελευταία έκδοση της αναφερόμενης δημοσίευσης (συμπεριλαμβανομένων και των τροποποιήσεων).

reinforcing steel, Part 2: Non load-bearing welded joints

- ΕΛΟΤ EN ISO 13916 (1997): Συγκολλήσεις - Καθοδήγηση για τη μέτρηση της θερμοκρασίας προθέρμανσης, της θερμοκρασίας μεταξύ στρώσεων και της θερμοκρασίας διατήρησης της προθέρμανσης
- EN 1990: Βάσεις σχεδιασμού (Ευρωκώδικας 0)
- EN 1992-1-1 (2005): Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Μέρος 1-1: Γενικοί Κανόνες και Κανόνες για κτίρια (Ευρωκώδικας 2)
- EN 1992-1-2 (2005): Σχεδιασμός φορέων από σκυρόδεμα - Μέρος 1-2: Γενικοί Κανόνες: Δομοστατικός σχεδιασμός έναντι πυρκαγιάς (Ευρωκώδικας 2)
- EN 1993-1-10 (2005): Σχεδιασμός κατασκευών από χάλυβα - Μέρος 1-10: Αντοχή σε ψαθυρή θραύση και ιδιότητες κατά την έννοια του πάχους (Ευρωκώδικας 3)
- EN 1998-1 (2005): Αντισεισμικός Σχεδιασμός - Μέρος 1: Γενικοί κανόνες, σεισμικές δράσεις και κανόνες για κτίρια (Ευρωκώδικας 8)
- Ελληνικός Κανονισμός Ωπλισμένου Σκυροδέματος (ΕΚΩΣ)
- Κανονισμός Τεχνολογίας Σκυροδέματος (ΚΤΣ)
- Ελληνικός Αντισεισμικός Κανονισμός (ΕΑΚ)
- ISO 3898 (1997): Βάσεις υπολογισμού κατασκευών- Συμβολισμοί - Γενικά Σύμβολα
- ISO 1000 (1992): Μονάδες SI
- DIN 488 (09/1984): Reinforcing steel
- DIN 50905 - Part3 (1987): Corrosion of metals; corrosion testing; corrosion characteristics under non-uniform and localized corrosion attack without mechanical stress

Για τους λοιπούς τύπους οπλισμού, οι διατάξεις του παρόντος Κανονισμού θα προσαρμοσθούν και θα συμπληρωθούν στο μέλλον με αντίστοιχους επιμέρους Κανονισμούς.

Οι οδηγίες αυτού του Κανονισμού μπορούν να χρησιμεύσουν και ως βάση για το σχεδιασμό και την κατασκευή έργων υπό ειδικές συνθήκες (π.χ. πολύ υψηλές ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, έντονα διαβρωτικό περιβάλλον κ.λπ.) ή με ειδικούς χάλυβες (π.χ. ανοξείδωτοι χάλυβες, χάλυβες με ειδική επιφανειακή προστασία), με την προϋπόθεση ότι οι οδηγίες θα τροποποιηθούν ή θα συμπληρωθούν κατάλληλα ώστε να ληφθούν υπόψη πρόσθετες ειδικές θεωρήσεις και απαιτήσεις.

Με το σχεδιασμό των έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα σχετίζονται οι απαιτήσεις που αφορούν την ποιότητα, την αντοχή και τα άλλα χαρακτηριστικά των χαλύβων, καθώς και την ανθεκτικότητα και την πυρασφάλεια των κατασκευών.

Με την κατασκευή έργων από οπλισμένο σκυρόδεμα σχετίζονται οι απαιτήσεις που αφορούν την παραγωγή των χαλύβων, τις μηχανικές και άλλες ιδιότητές τους, τη διακίνηση, τη διαμόρφωση, την τοποθέτηση, καθώς και τον έλεγχο και την παραλαβή των οπλισμών.

Δεν αποτελούν αντικείμενο αυτού του Κανονισμού ενδεικτικά οι ακόλουθοι τύποι οπλισμού:

- Ράβδοι ή τένοντες προέντασης για προεντεταμένα στοιχεία (βλ. Παράρτημα Π8)
- Δομικοί χάλυβες που χρησιμοποιούνται στα σύμμικτα στοιχεία.

1.3 Αντικείμενο

Αντικείμενο αυτού του Κανονισμού είναι ο καθορισμός των απαιτήσεων, που αφορούν το σχεδιασμό και την κατασκευή τεχνικών έργων από σκυρόδεμα, τις οποίες πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

Στα Παραρτήματα, κυρίως, γίνεται αναφορά και σε χάλυβες που δεν εμπίπτουν στο αντικείμενο του παρόντος Κανονισμού, όπως οι χάλυβες παλαιότερων τυποποιήσεων (StI, StII, S220, S400, S500, S400s, S500s κ.λπ.) καθώς και ειδικοί χάλυβες (π.χ. ανοξείδωτοι κ.λπ.) για λόγους πληρότητας.

Στον Πιν. Σ1-1 δίνεται η αντιστοιχία των συμβόλων που χρησιμοποιούνται σε αυτόν τον Κανονισμό με τα σύμβολα που χρησιμοποιούνται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 τα οποία, σημειωτέον, δεν ακολουθούν τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 656 και ISO 3898.

Πίνακας Σ1-1 Αντιστοιχία συμβόλων του παρόντος Κανονισμού με εκείνα του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 10080

Περιγραφή	Παρών Κανονισμός	ΕΛΟΤ EN 10080
Όριο διαρροής χάλυβα	f_y	R_e
Συμβατικό όριο διαρροής για παραμένονσα παραμόρφωση 0,2%	$f_{0,2}$	$R_{p0,2}$
Εφελκυστική αντοχή χάλυβα	f_t	R_m
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο	ε_u	A_{gt}

Ο παρών Κανονισμός αναφέρεται σε χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος συγκολλησίμους, τεχνικής κατηγορίας ποιότητας B500A και B500C σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

1.4 Σύμβολα

Τα σύμβολα του παρόντος Κανονισμού ακολουθούν τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 656 και ISO 3898. Τα πλέον χρησιμοποιούμενα σύμβολα παρατίθενται στον Πιν. 1-1.

Πίνακας 1-1 Σύμβολα

Σύμβολο	Σημασία
A	Ονομαστική διατομή
A_{act}	Πραγματική διατομή
α	Γωνία κλίσης πλευράς πλάγιας νευρώσεως
α_R	Ανηγμένη επιφάνεια προβολής νευρώσεων
β	Γωνίες κλίσεων πλάγιων νευρώσεων ως προς τον διαμήκη άξονα
b	Πλάτος πλάγιας νευρώσεως
c	Απόσταση μεταξύ πλάγιων νευρώσεων
C_{eq}	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα
X_k	Χαρακτηριστική τιμή του μεγέθους X
d (ή Φ)	Ονομαστική διάμετρος
ε_u	Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο
ε_5	Ανηγμένη παραμόρφωση μετά τη θραύση, μετρούμενη σε μήκος 5d στην περιοχή του λαιμού (κατά τα παλαιά Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971)
E	Μέτρο ελαστικότητας
h	Ύψος πλάγιων νευρώσεων στην κορυφή
f_t	Εφελκυστική αντοχή χάλυβα
f_y	Όριο διαρροής χάλυβα
$f_{0,2}$	Συμβατικό όριο διαρροής για παραμένονσα παραμόρφωση ($\varepsilon_{res}=0,2\%$)
$f_{y,act}$	Πραγματικό όριο διαρροής χάλυβα
$f_{y,nom}$	Ονομαστικό όριο διαρροής χάλυβα
F_s	Διατμητική δύναμη
S_f	Συντελεστής διάτμησης
T	Θερμοκρασία

Στον παρόντα Κανονισμό, χρησιμοποιούνται οι εξής μονάδες:

- kN, kN/m και kN/m^2 για δυνάμεις και φορτία
- MPa ($= \text{MN/m}^2 = \text{N/mm}^2$) για τάσεις και αντοχές
- kg/m^3 για πυκνότητες
- kN/m^3 για ειδικά ή φαινόμενα βάρη.

Βλέπε το σχετικό Εγχειρίδιο του ΕΛΟΤ: "SI: Το Διεθνές Σύστημα Μονάδων" /1999.

1.5 Μονάδες

Οι μονάδες που χρησιμοποιούνται βασίζονται στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων SI, και συμφωνούν με το Π.Δ.515/83 και τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 656 και ISO 1000.

1.6 Ορισμοί

Σίδηρος (καθαρός): Ως καθαρός σίδηρος χαρακτηρίζεται συνήθως κράμα με περιεκτικότητα σε άνθρακα και λοιπά κραματικά στοιχεία μικρότερη από 0,05%.

Χάλυβας: Κράμα σιδήρου-άνθρακα (Fe-C) με περιεκτικότητα σε άνθρακα έως 2% και προσθήκη άλλων στοιχείων.

Χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας με κυκλική ή πρακτικά κυκλική διατομή, για τον οπλισμό του σκυροδέματος.

Χάλυβας οπλισμού με νευρώσεις: Χάλυβας οπλισμού με δύο τουλάχιστον σειρές πλάγιων ανάγλυφων νευρώσεων ομοιόμορφα κατανεμημένων κατά μήκος.

Λείος χάλυβας οπλισμού: Χάλυβας οπλισμού με πρακτικά λεία επιφάνεια.

Χάλυβας οπλισμού με έγγλυφες αυλακώσεις: Χάλυβας οπλισμού με καθορισμένες αυλακώσεις, ομοιόμορφα κατανεμημένες κατά μήκος.

Μορφοσίδηρος (δομικός χάλυβας - structural steel): Χάλυβας κατασκευών σε διάφορες μορφές διατομής.

Ολκή (drawing): Ψυχρή κατεργασία μιας ράβδου ή ενός σύρματος από χάλυβα τα οποία ελκόμενα διέρχονται μέσα από κατάλληλη μήτρα με αποτέλεσμα τη μείωση της διατομής με συνακόλουθη αύξηση της αντοχής.

Έλαση (rolling): Διαδικασία διαμόρφωσης εν θερμώ ή εν ψυχρώ ενός μεταλλικού αντικειμένου με τη χρήση αντίρροπα περιστρεφόμενων κυλίνδρων.

Παρτίδα ελέγχου: Ποσότητα χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος της ίδιας διατομής, προερχόμενη από την ίδια χύτευση, σε ευθύγραμμες ράβδους ή κουλούρες, που έχει παραχθεί από την ίδια μονάδα παραγωγής και προσφέρεται για εξέταση οποιαδήποτε στιγμή.

Ονομαστικές διάμετροι: Τυποποιημένες διάμετροι χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που δέχεται ο παρών Κανονισμός.

Ονομαστική διατομή: Το εμβαδόν πλήρους κυκλικής διατομής, διαμέτρου ίσης με την ονομαστική.

Πραγματική διατομή: Το εμβαδόν της επιφάνειας υποθετικής κυκλικής διατομής ίσου μήκους και ίσου βάρους με το δεδομένο δοκίμιο.

Ονομαστική μάζα: Η μάζα ανά μέτρο μήκους, η οποία υπολογίζεται από την ονομαστική διατομή και την πυκνότητα του χάλυβα (η οποία λαμβάνεται ίση με

Ο σχεδιασμός των κατασκευών βασίζεται στην ονομαστική διάμετρο και στην ονομαστική διατομή.

Η πραγματική διατομή χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συμμόρφωσης των ανοχών της ονομαστικής διατομής. Οι λοιποί έλεγχοι συμμόρφωσης βασίζονται στην ονομαστική διατομή. Η πραγματική διατομή υπολογίζεται από τμήμα ράβδου μήκους l και μάζας m , και από την πυκνότητα, d , του χάλυβα σύμφωνα με τη σχέση:

$$A_{act}=127,4m/l$$

όπου:

A_{act} η πραγματική διατομή σε mm^2
 m η μάζα σε g
 l το μήκος σε mm.

Η πραγματική διάμετρος υπολογίζεται από την πραγματική διατομή. Στην περίπτωση χαλύβων με νευρώσεις, η άμεση μέτρηση με παχύμετρο δεν είναι ακριβής.

Για τα μεγέθη αντίστασης ως χαρακτηριστική τιμή λαμβάνεται συνήθως το ποσοστημόριο $p=95\%$ (ή 90%), ενώ για τα μεγέθη δράσης συνήθως το ποσοστημόριο $p=5\%$ (ή 10%). Με την πιθανότητα "α" ορίζεται το κάτω άκρο του μονόπλευρου διαστήματος εμπιστοσύνης. Η τιμή της πιθανότητας "α" λαμβάνεται στον παρόντα Κανονισμό ίση προς 90% .

Η ελάχιστη τιμή βρίσκει εφαρμογή στα κριτήρια συμμόρφωσης για τα μεγέθη που περιγράφονται με χαρακτηριστική τιμή.

Η μέγιστη τιμή βρίσκει εφαρμογή στα κριτήρια συμμόρφωσης για τα μεγέθη που περιγράφονται με χαρακτηριστική τιμή.

Η ολκιμότητα είναι ιδιότητα του υλικού, ενώ η πλαστιμότητα είναι ιδιότητα ενός φορέα από οπλισμένο σκυρόδεμα. Η ολκιμότητα του χάλυβα είναι μια από τις προϋποθέσεις για να αποκτήσει πλαστιμότητα ένα στοιχείο από οπλισμένο σκυρόδεμα.

Στην αγγλική γλώσσα η ολκιμότητα και η πλαστιμότητα αποδίδονται με την ίδια λέξη: ductility. Πολλές φορές, για τους χάλυβες οπλισμού, αντί του όρου ολκιμότητα χρησιμοποιείται καταχρηστικώς και ο όρος πλαστιμότητα.

Η θερμοκρασία μετάπτωσης προσ-διορίζεται σε διάφορα κανονιστικά κείμενα ως:

- Το σημείο καμψής στην καμπύλη έργου θραύσης - θερμοκρασίας
- Η θερμοκρασία στην οποία η μορφή της επιφάνειας θραύσης εμφανίζεται ως ψαθυρή, σε συγκεκριμένο ποσοστό της (συνήθως 50%)
- Η θερμοκρασία στην οποία το έργο θραύσης έχει συγκεκριμένη τιμή (π.χ. $27J$).

$7850kg/m^3$).

Ανηγγεμένη επιφάνεια προβολής των νευρώσεων ράβδου οπλισμού: Ο λόγος του αθροίσματος των επιφανειών των προβολών όλων των νευρώσεων σε επίπεδο κάθετο στον διαμήκη άξονα της ράβδου προς το μήκος της ράβδου επί την ονομαστική περίμετρο, που καθορίζεται από την ονομαστική διάμετρο (βλ. Σχ. 3-4).

Χαρακτηριστική τιμή μεγέθους: Η τιμή του μεγέθους πάνω ή κάτω από την οποία αναμένεται να βρεθεί ποσοστό p όλων των τιμών σε έναν υποθετικό έλεγχο με άπειρα δοκίμια. Στο πλαίσιο του παρόντος Κανονισμού, ως χαρακτηριστική τιμή ορίζεται η τιμή πάνω από την οποία υπάρχει πιθανότητα "α" να βρεθεί ποσοστό p των τιμών.

Ελάχιστη τιμή: Η τιμή κάτω από την οποία δεν πρέπει να βρεθεί καμία τιμή δοκιμής.

Μέγιστη τιμή: Η τιμή πάνω από την οποία δεν πρέπει να βρεθεί καμία τιμή δοκιμής.

Συμβατικό όριο διαρροής: Η τάση που αντιστοιχεί σε παραμένονσα παραμόρφωση, μετά την αποφόρτιση, ίση με $\epsilon_{res}=0,2\%$.

Εφελκυστική αντοχή: Η τάση που αντιστοιχεί στο μέγιστο φορτίο

Ολκιμότητα: Στο πλαίσιο του παρόντος Κανονισμού, ο όρος χρησιμοποιείται για να εκφράσει τη σχέση της περιοχής των πλαστικών παραμορφώσεων ως προς την περιοχή των ελαστικών παραμορφώσεων μιας ράβδου οπλισμού που δοκιμάζεται σε εφελκυσμό. Συνήθως μετρίεται με το λόγο της ανηγμένης παραμόρφωσης στο μέγιστο φορτίο προς την ανηγμένη παραμόρφωση διαρροής.

Πλαστιμότητα: Η ικανότητα ενός φορέα ή μιας διατομής ή μιας περιοχής στοιχείου από οπλισμένο σκυρόδεμα να αποκρίνεται με μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας.

Θερμοκρασία μετάπτωσης (transition temperature): Η θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται σημαντική μεταβολή στα χαρακτηριστικά θραύσης ενός υλικού, με κυριότερη μεταβολή τη μετατροπή του τρόπου θραύσης από όλκιμο σε ψαθυρό.

Χημική αλλοίωση (deterioration): Τροποποίηση της χημικής σύστασης τμήματος του υλικού.

Διάβρωση (corrosion) : Κάθε αυθόρμητη, κατ' επέκταση εκβιασμένη, ηλεκτροχημικής φύσεως, κατ' επέκταση χημικής, κατ' επέκταση μηχανικής, αλλοίωση της επιφάνειας

μετάλλων ή κραμάτων, η οποία οδηγεί σε απώλεια υλικού και άλλες συνέπειες.

Ομοιόμορφη διάβρωση: Η διάβρωση κατά την οποία πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου ή κράματος δημιουργείται ένα ομοιόμορφο (περίπου ισόπαχο) στρώμα προϊόντος διάβρωσης ή μία περίπου ομοιόμορφη διάλυση της επιφάνειας.

Διάβρωση με βελονισμούς (pitting): Η διάβρωση κατά την οποία πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου ή κράματος σχηματίζεται εκλεκτικά, τοπικά, προϊόν διάβρωσης ή διαλύεται εκλεκτικά, τοπικά το μέταλλο ή το κράμα.

pH: Ο αρνητικός δεκαδικός λογάριθμος της συγκέντρωσης των υδρογονοϊόντων (H^+).

Ηλεκτροσυγκολλημένο πλέγμα ή απλώς πλέγμα: Επίπεδο φύλλο αποτελούμενο από διασταυρούμενες, υπό ορθή γωνία, διαμήκεις και εγκάρσιες ράβδους, ίδιας ή διαφορετικής τεχνικής κατηγορίας, ίδιας ή διαφορετικής διαμέτρου, ίδιου ή διαφορετικού μήκους και οι οποίες έχουν ηλεκτροσυγκολληθεί σε όλα τα σημεία διασταύρωσής τους στο εργοστάσιο με αυτόματες μηχανές. Γενικά τα πλέγματα παράγονται σε ορθογωνικά φύλλα, διαφόρων διαστάσεων. Διακρίνονται σε δομικά (τυποποιημένα και μη τυποποιημένα) και σε πλέγματα ειδικού τύπου.

Δομικό πλέγμα: Πλέγμα δύο διευθύνσεων αντοχής του οποίου οι διαμήκεις και εγκάρσιες ράβδοι είναι της ίδιας τεχνικής κατηγορίας με καθορισμένη σχέση διαμέτρων και καθορισμένες αποστάσεις ράβδων και κατά τις δύο διευθύνσεις.

Τυποποιημένο δομικό πλέγμα: Δομικό πλέγμα το οποίο κατασκευάζεται σύμφωνα με καθορισμένα μορφολογικά χαρακτηριστικά και είναι διαθέσιμο σε απόθεμα.

Μη τυποποιημένο δομικό πλέγμα: Δομικό πλέγμα το οποίο είναι κατασκευασμένο με ειδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά τα οποία έχουν συμφωνηθεί μεταξύ παραγωγού και χρήστη.

Πλέγμα ειδικού τύπου: Πλέγμα το οποίο κατασκευάζεται σύμφωνα με ιδιότητες που έχουν ζητηθεί από τον χρήστη. Είναι συνήθως πλέγμα μιας διεύθυνσης αντοχής που φέρει ράβδους κατηγορίας B500C κατά την κύρια διεύθυνση, και ράβδους από συγκολλησιμο χάλυβα κατά την δευτερεύουσα διεύθυνση οι οποίες χρησιμεύουν μόνο για τη συγκράτηση των ράβδων της κύριας διεύθυνσης.

Δικτύωμα: Δισδιάστατο ή τρισδιάστατο μεταλλικό μόρφωμα που περιλαμβάνει ένα άνω πέλμα, ένα ή περισσότερα κάτω πέλματα και συνεχόμενες ή μη συνεχόμενες διαγώνιες ράβδους που είναι ηλεκτροσυγκολλημένες με τα πέλματα. Οι διαγώνιες μπορούν να συνδέονται με τα κάτω πέλματα και με μηχανικές συνδέσεις.

Τυποποιημένο δικτύωμα: Δικτύωμα το οποίο είναι κατασκευασμένο σύμφωνα με καθορισμένους τεχνικούς όρους παράδοσης και είναι διαθέσιμο σε απόθεμα.

Μη τυποποιημένο δικτύωμα: Δικτύωμα κατασκευασμένο με μορφολογικά χαρακτηριστικά και ιδιότητες που έχουν καθορισθεί από τον χρήστη.

Συντελεστής διάτμησης (σταυρωτής συγκόλλησης): Ο λόγος της δύναμης που προκαλεί θραύση από διάτμηση της συγκόλλησης προς τη δύναμη που αντιστοιχεί στο ονομα-

Τα πλέγματα που αναφέρονται στον παρόντα Κανονισμό είναι ηλεκτροσυγκολλημένα. Για λόγους συντομίας στη συνέχεια θα χρησιμοποιείται ο όρος "πλέγμα" αντί του πλήρους "ηλεκτροσυγκολλημένο πλέγμα".

Τα πλέγματα αυτά χρησιμοποιούνται είτε ως έχουν είτε (συνηθέστερα) μετά από κάμψη και διαμόρφωση ως οπλισμός διάτμησης ή/και περίσφιγξης. Στη δεύτερη περίπτωση είναι γνωστά και ως "μανδύες" ή πλέγματα δοκών ή πλέγματα υποστυλωμάτων.

στικό όριο διαρροής της ράβδου που φορτίζεται ($f_{y,nom} \times A$).

Φυσική γήρανση (aging): Οι μεταβολές στα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που συμβαίνουν αργά μεν σε θερμοκρασίες περιβάλλοντος, γρηγορότερα δε σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Οι αλλαγές αυτές οδηγούν σε αυξημένες τιμές του ορίου διαρροής και, σε μικρότερο βαθμό, της εφελκυστικής αντοχής, καθώς και σε μείωση της παραμόρφωσης θραύσης. Ευαίσθητοι σε γήρανση είναι οι χάλυβες ψυχρής κατεργασίας.

Τεχνητή γήρανση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος: Διαδικασία προσομοίωσης των επιπτώσεων της φυσικής γήρανσης η οποία γίνεται με θέρμανση (συνήθως στους 100°C για 60min).

Φάση: Διακεκριμένη δομικά περιοχή σε ένα σύστημα υλικών. Στο εσωτερικό και μέχρι τα όρια της περιοχής αυτής, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του υλικού δεν διαφοροποιούνται υπό κανονικές συνθήκες.

Κατά το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, για ορισμένους χάλυβες (π.χ. ψυχρής κατεργασίας, κουλούρες κ.λπ.), η τεχνητή γήρανση προηγείται της εκτέλεσης των ελέγχων των μηχανικών ιδιοτήτων.

Κεφάλαιο 2: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ

2.1 Διάκριση χαλύβων

Οι χάλυβες σπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ως εξής:

2.1.1 Σύμφωνα με τη μέθοδο παραγωγής, σε:

- 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)
- Ψυχρής κατεργασίας, με ολκή ή έλαση του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Ο) ή με στρέψη του αρχικού προϊόντος που προέρχεται από θερμή έλαση (χάλυβες ΨΚ-Σ) ή με συνδυασμό των παραπάνω.

Από τα μέσα της δεκαετίας του '90 κυκλοφορούν σχεδόν αποκλειστικά οι χάλυβες ΘΕ-Θ που είναι γνωστοί και ως χάλυβες Tempcore ή Thermex κ.λπ.

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

- Διαφοροποιημένη συμπεριφορά σε ακραίες θερμοκρασίες (βλ. Παραγρ. 3.6)
- Διαγράμματα τάσεων παραμορφώσεων διαφορετικής μορφής (βλ. Σχ. Σ3-1α και Σ3-1β της Παραγρ. 3.2.1)
- Διαφορετικό όριο διαρροής σε θλίψη από ότι σε εφελκυσμό
- Διαφορετική ολκιμότητα.

Η ψυχρή κατεργασία εφαρμόζεται για την αύξηση της αντοχής του χάλυβα (λόγω της προκαλούμενης ενδοτράχυνσης). Οι χάλυβες ψυχρής κατεργασίας ενδέχεται όμως να παρουσιάζουν σημαντική μείωση της ολκιμότητάς τους (και λόγω φαινομένων γήρανσης), καθώς και μείωση της αντοχής τους, μετά από έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες, όπως για παράδειγμα μετά από πυρκαγιά ή συγκόλληση (βλ. και Παραγρ. 3.6). 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).

Οι λείοι χάλυβες δεν καλύπτονται από τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 και δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος Κανονισμού.

Οι χάλυβες με κοιλότητες (indented) δεν αποτελούν αντικείμενο του Κανονισμού αυτού και η χρήση τους δεν επιτρέπεται από τον ΕΚΩΣ.

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 μέγρι διάμετρο Φ8.

Τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3, καθώς και η Απόφαση του Υπ.Αν. 9529/645 (ΦΕΚ 649/Β/24-5-06), δεν

2.1.2 Σύμφωνα με τη μορφή της επιφάνειας, σε:

- Λείους χάλυβες κυκλικής διατομής
- Χάλυβες με ανάγλυφες νευρώσεις, υψηλής συνάφειας
- Ράβδους με κοιλότητες (έγγλυφες αυλακώσεις).

2.1.3 Σύμφωνα με την ολκιμότητα, σε:

- Χάλυβες χαμηλής ολκιμότητας
- Χάλυβες κανονικής ολκιμότητας.

ορίζουν χάλυβες κανονικής 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.

Βλ. και Παραγρ 3.5.

Η χρήση των συγκολλησιμων υπό προϋποθέσεις χαλύβων δεν επιτρέπεται. Ωστόσο, στην Παραγρ. 8.6 και στο Παράρτημα Π7 γίνεται αναφορά στους χάλυβες αυτούς επειδή χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν αποκλειστικά στις κατασκευές μέχρι και τα μέσα της δεκαετίας του 1990 και συναντώνται κατά την αποτίμηση και τις επεμβάσεις σε υφιστάμενες κατασκευές. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται και ως "μη συγκολλήσιμοι" (non weldable). Επειδή όμως οι "μη συγκολλήσιμοι" χάλυβες (ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, όπως αναφέρεται και στην Παραγρ. 8.6), υπό ορισμένες συνθήκες, δύνανται να συγκολληθούν, αντί του όρου "μη συγκολλήσιμοι" έχει υιοθετηθεί ο όρος "συγκολλήσιμοι υπό προϋποθέσεις".

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες δεν αποτελούν αντικείμενο αυτού του Κανονισμού. Ωστόσο, στην περίπτωση ειδικών έργων ή έργων σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, ενδέχεται να κριθεί αναγκαία η χρήση τους. Στο Παράρτημα Π3 γίνεται αναφορά σε ειδικές κατηγορίες ανοξείδωτων χαλύβων οι οποίοι θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν με τις αναφερόμενες εκεί προϋποθέσεις.

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

Στην ελληνική αγορά κυκλοφορούν:

- Δομικά πλέγματα (δύο διευθύνσεων αντοχής) που ικανοποιούν ως προς τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Ως προς τα μορφολογικά χαρακτηριστικά τους (π.χ. γεωμετρία, διαστάσεις των φύλλων κ.λπ.) διακρίνονται σε τυποποιημένα και μη τυποποιημένα.

- Χάλυβες υψηλής ολκιμότητας.

2.1.4 Σύμφωνα με τη συγκολλησιμότητα, σε:

- Χάλυβες συγκολλήσιμους
- Χάλυβες μη συγκολλήσιμους ή συγκολλήσιμους υπό προϋποθέσεις.

2.1.5 Σύμφωνα με την αντοχή τους σε διάβρωση, σε:

- Κοινούς χάλυβες, που είναι κράματα σιδήρου-άνθρακα (Fe-C) και άλλων κραματικών στοιχείων σε μικρές περιεκτικότητες
- Ανοξείδωτους 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 αν περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία όπως νικέλιο (Ni), μολυβδένιο (Mo), τιτάνιο (Ti) κ.λπ.

2.2 Τεχνικές κατηγορίες ποιότητας χαλύβων

Οι χάλυβες που αποτελούν αντικείμενο αυτού του Κανονισμού είναι συγκολλήσιμοι και διακρίνονται στις εξής τεχνικές κατηγορίες:

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

2.3 Μορφές χαλύβων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παραδίδονται υπό τις παρακάτω μορφές:

- Ευθύγραμμες ράβδοι
- Κουλούρες
- Ευθυγραμμισμένα προϊόντα
- Πλέγματα (βλ. και Κεφ.9)

- Ειδικού τύπου πλέγματα (μιας διεύθυνσης αντοχής) που προορίζονται κυρίως για αναδίπλωση ή καμπύλωση (μανδύες, κλωβοί κ.λπ.). Οι ράβδοι της κύριας διεύθυνσης αυτών των πλεγμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080 και ΕΛΟΤ 1421-3, και του παρόντος Κανονισμού.

Ειδικές προβλέψεις και συστάσεις για τα πλέγματα δίνονται στο Κεφ. 9.

Τα δικτυώματα δεν κυκλοφορούν ευρέως στην Ελληνική αγορά. Οι απαιτήσεις τους προδιαγράφονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

- Δικτυώματα.

2.4 Σήμανση για την αναγνώριση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

2.4.1 Σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας ποιότητας

Η σήμανση για την αναγνώριση της κατηγορίας ποιότητας των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος γίνεται με το διαφορετικό τρόπο διάταξης των πλάγιων νευρώσεων στην επιφάνεια της ράβδου.

Οι χάλυβες κατηγορίας B500A φέρουν στην επιφάνειά τους τουλάχιστον δύο σειρές πλάγιων διαδοχικών νευρώσεων της ίδιας φοράς, και παράλληλες μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο Σχ. 2-1.

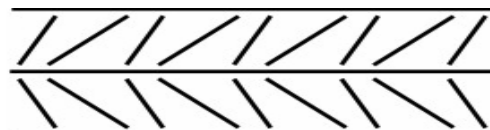


Σχήμα 2-1 Διάταξη νευρώσεων χάλυβα κατηγορίας B500A

Κατά ΕΛΟΤ 1421-2.

Κατά ΕΛΟΤ 1421-3.

Οι χάλυβες κατηγορίας B500C φέρουν στην επιφάνειά τους δύο σειρές πλάγιων διαδοχικών νευρώσεων αντίθετης φοράς. Σε κάθε σειρά, οι διαδοχικές νευρώσεις έχουν εναλλασσόμενες γωνίες κλίσης ως προς το διαμήκη άξονα της ράβδου, όπως φαίνεται στο Σχ. 2-2.



Σχήμα 2-2 Διάταξη νευρώσεων χάλυβα κατηγορίας B500C

Στο Παράρτημα Π7 του παρόντος Κανονισμού αναφέρονται οι συνηθέστερες σημάνσεις για τις διάφορες κατηγορίες ποιότητας οι οποίες χρησιμοποιούνταν στην Ελλάδα μέχρι το Φεβρουάριο του 2007.

Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 δίνονται και άλλες μορφές αυτού του αριθμητικού συστήματος σήμανσης.

Οι ελληνικές βιομηχανίες πέραν του υποχρεωτικού συστήματος σήμανσης που περιγράφεται, χρησιμοποιούν και πρόσθετο αναγνωριστικό σύμβολο της εταιρίας παραγωγής.

Βλ. και Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080.

Για χώρες με τον ίδιο κωδικό αριθμό (πεδίο Β), οι μονάδες παραγωγής πρέπει να έχουν διαφορετικό κωδικό αριθμό (πεδίο Γ).

Στο Παράρτημα Π7 του παρόντος Κανονισμού αναφέρονται κωδικοί αριθμοί των ελληνικών βιομηχανιών καθώς και μονάδων παραγωγής του εξωτερικού, των οποίων προϊόντα έχουν, κατά καιρούς, εισαχθεί στην Ελλάδα.

2.4.2 Σήμανση για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής

Η αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος γίνεται, συνήθως, μέσω ενός αριθμητικού συστήματος κανονικών πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις που παρουσιάζονται επαναλαμβανόμενες (ανά 1,0m έως 1,5m περίπου) στη μία σειρά των πλάγιων νευρώσεων της ράβδου.

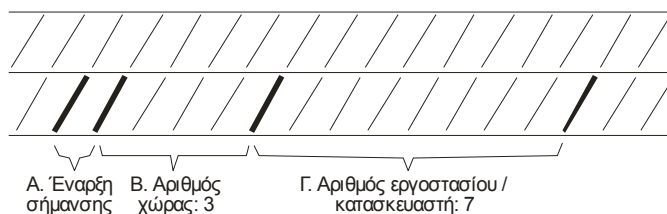
Το σύμβολο για την έναρξη της σήμανσης, καθώς και για την κατεύθυνση της ανάγνωσης (πεδίο Α, βλ. Σχ. 2-3), υποδηλώνεται με δύο διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις.

Μετά την έναρξη ακολουθεί η σήμανση της χώρας παραγωγής (πεδίο Β, βλ. Σχ. 2-3). Το πλήθος των νευρώσεων που συμβολίζει τη χώρα παραγωγής (κωδικός αριθμός χώρας) δίνεται στον Πιν. 2-1.

Μετά ακολουθεί η σήμανση της μονάδας παραγωγής του χάλυβα (πεδίο Γ, βλ. Σχ. 2-3) που γίνεται με κανονικές πλάγιες νευρώσεις ανάμεσα σε ενισχυμένες. Εάν ο αριθμός που δηλώνει τη μονάδα παραγωγής είναι διψήφιος (το 10 και τα πολλαπλάσια του απαγορεύονται) τότε συμβολίζεται με δύο ομάδες πλάγιων νευρώσεων ανάμεσα σε ενισχυμένες, εκ των οποίων η πρώτη ομάδα δίνει το πρώτο ψηφίο και η δεύτερη ομάδα το δεύτερο ψηφίο του κωδικού του εργοστασίου, όπως φαίνεται και στα Σχ. 2-3 και 2-4.

Πίνακας 2-1 Συμβολισμός της χώρας παραγωγής (πεδίο Β) κατά ΕΛΟΤ EN 10080

Χώρα	Κωδικός αριθμός χώρας
Αυστρία, Γερμανία, Πολωνία, Σλοβακία, Τσεχία	1
Βέλγιο, Ελβετία, Λουξεμβούργο, Ολλανδία,	2
Γαλλία, Ουγγαρία	3
Ιταλία, Μάλτα, Σλοβενία	4
Ηνωμ. Βασίλειο, Ιρλανδία, Ισλανδία	5
Δανία, Εσθονία, Λευκορωσία, Λιθουανία, Νορβηγία, Σουηδία, Φινλανδία	6
Πορτογαλία, Ισπανία	7
Ελλάδα, Κύπρος	8
Άλλες χώρες	9



Σχήμα 2-3 Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500A

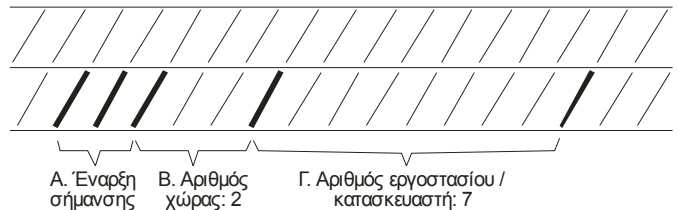


Σχήμα 2-4 Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση της χώρας και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορίας B500C

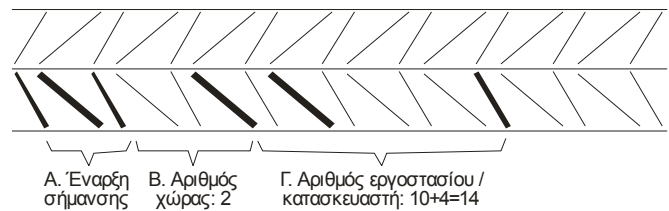
2.4.3 Σήμανση για την αναγνώριση προϊόντων από κουλούρες

Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 δίνονται και άλλες μορφές σήμανσης για την αναγνώριση προϊόντων από κουλούρες.

Στην περίπτωση που οι χάλυβες οπλισμού παράγονται σε μορφή κουλούρας, ακολουθείται η ίδια σήμανση όπως περιγράφεται παραπάνω με προσθήκη ενός επιπλέον συμβόλου για την αναγνώριση της αρχικής μορφής του προϊόντος. Το σύμβολο αυτό είναι μια επιπλέον, ενισχυμένη πλάγια νεύρωση στην έναρξη της σήμανσης (πεδίο Α των Σχ. 2-5 και 2.6).



Σχήμα 2-5 Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση χάλυβα B500A που προέρχεται από κουλούρα



Σχήμα 2-6 Παράδειγμα σήμανσης για την αναγνώριση χάλυβα B500C που προέρχεται από κουλούρα

Η περίπτωση αφορά ευθυγραμμισμένες ράβδους, πλέγματα κάθε είδους, δικτυώματα καθώς και άλλα διαμορφωμένα προϊόντα (π.χ. μανδύες, κλωβούς συνδετήρων κ.λπ.).

Για τις κουλούρες που προορίζονται για περαιτέρω επεξεργασία (κατασκευή δομικών πλεγμάτων κ.λπ.), η σήμανση του εργοστασίου αναφέρεται στον κατασκευαστή που προσδίδει τις τελικές μηχανικές ιδιότητες στο προϊόν.

Προϊόντα που προέρχονται από διαμόρφωση θα πρέπει να φέρουν πινακίδα, σταθερά συνδεδεμένη, για την αναγνώριση της μονάδας που τους προσέδωσε την τελική μορφή.

2.5 Ιχνηλασιμότητα

Η χώρα παραγωγής, το εργοστάσιο παραγωγής ή/και διαμόρφωσης, η κατηγορία ποιότητας, η μορφή του προϊόντος και ο αριθμός χύτευσης πρέπει να είναι αναγνωρίσιμα και ανιχνεύσιμα για όλες τις παραδιδόμενες και διακινούμενες παρτίδες χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος.

Ο παραγωγός πρέπει να τηρεί έναν τρόπο για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης για τα προϊόντα που διαθέτει.

Βλ. και Παραγρ. 5.6

Κεφάλαιο 3: ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΧΑΛΥΒΩΝ

3.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

3.1.1 Ονομαστικά μεγέθη

Κατά τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

Οι ονομαστικές διάμετροι δίνονται στον Πιν. 3-1. Στον ίδιο πίνακα, για κάθε ονομαστική διάμετρο, δίνονται επίσης το πεδίο εφαρμογής καθώς και η ονομαστική διατομή, η ονομαστική μάζα και οι ανοχές ως προς την ονομαστική μάζα.

Πίνακας 3-1 Ονομαστικές διάμετροι, ονομαστικές διατομές, ονομαστική μάζα και ανοχές ως προς την ονομαστική μάζα - Πεδίο εφαρμογής

Οι κουλούρες κατηγορίας B500A προορίζονται αποκλειστικά για την κατάσκευή πλεγμάτων και δικτυωμάτων.

Ονομ. διά- μετρος (mm)	Πεδίο εφαρμογής					Ονομ. διατομή (mm ²)	Ονομ. μάζα/ μέτρο (kg/m)	Ανοχές μάζας/ μέτρο (%)
	Ράβδοι	Κουλούρες και ευθυγραμμισμένα προϊόντα		Ηλεκτρο- συγκολλημένα πλέγματα και δικτυώματα				
	B500C	B500A	B500C	B500A	B500C			
5,0		X		X		19,6	0,154	±6
5,5		X		X		23,8	0,187	±6
6,0	X	X	X	X	X	28,3	0,222	±6
6,5		X		X		33,2	0,260	±6
7,0		X		X		38,5	0,302	±6
7,5		X		X		44,2	0,347	±6
8,0	X	X	X	X	X	50,3	0,395	±6
10,0	X		X		X	78,5	0,617	±4,5
12,0	X		X		X	113	0,888	±4,5
14,0	X		X		X	154	1,21	±4,5
16,0	X		X		X	201	1,58	±4,5
18,0	X					254	2,00	±4,5
20,0	X					314	2,47	±4,5
22,0	X					380	2,98	±4,5
25,0	X					491	3,85	±4,5
28,0	X					616	4,83	±4,5
32,0	X					804	6,31	±4,5
40,0	X					1257	9,86	±4,5

Το μήκος των ράβδων, το βάρος των κουλουρών και οι αντίστοιχες ανοχές, θα συμφωνούνται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή, όπως προβλέπεται στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 Παραγρ. 7.3.3 και 7.3.4.

Για τα μη τυποποιημένα δομικά πλέγματα, καθώς και για τα πλέγματα ειδικού τύπου, οι απαιτήσεις και οι αντίστοιχες ανοχές, θα συμφωνούνται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή (βλ. και Κεφ. 9).

Ομοίως για τα μη τυποποιημένα δικτυώματα οι απαιτήσεις και οι αντίστοιχες ανοχές, θα συμφωνούνται μεταξύ αγοραστή και προμηθευτή

Οι απαιτήσεις και οι ανοχές για τις διαστάσεις των τυποποιημένων δομικών πλεγμάτων καθορίζονται στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 Παραγρ. 7.3.5. και στο Κεφ. 9 του παρόντος Κανονισμού.

Για τα τυποποιημένα δικτυώματα οι απαιτήσεις και οι ανοχές των διαστάσεων πρέπει να συμφωνούν με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 Παραγρ. 7.3.6.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά των νευρώσεων ορίζονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Η μέτρηση αυτών των χαρακτηριστικών και ο υπολογισμός της ανηγμένης επιφάνειας προβολής, a_R , των νευρώσεων γίνεται σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN ISO 15630-1.

3.1.2 Γεωμετρία επιφάνειας - Απαιτήσεις συνάφειας

Οι χάλυβες με νευρώσεις χαρακτηρίζονται από τη γεωμετρία της επιφάνειάς τους από την οποία εξαρτάται η συνάφειά τους με το σκυρόδεμα.

Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγράφου 3.1.2.1.

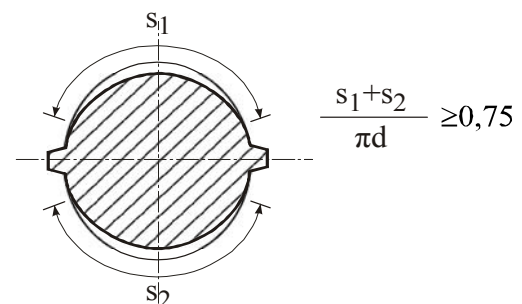
Εάν, ειδικότερα, ένα από τα χαρακτηριστικά: απόσταση των νευρώσεων, c , γωνία κλίσης των νευρώσεων, β , και ύψος των νευρώσεων, h , δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, τότε θα υπολογίζεται η ανηγμένη επιφάνεια προβολής των νευρώσεων, a_R , η οποία θα πρέπει να ικανοποιεί τις τιμές του Πιν. 3-2 (βλ. Παραγρ. 3.1.2.2).

3.1.2.1 Επιμέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά των νευρώσεων

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος με νευρώσεις έχουν τουλάχιστον δύο σειρές παράλληλων πλάγιων νευρώσεων ομοιόμορφα κατανεμημένων στην παράπλευρη επιφάνεια του προϊόντος και σε ίσες αποστάσεις καθ' όλο το μήκος κάθε σειράς. Μπορούν να υπάρχουν και διαμήκεις νευρώσεις, χωρίς όμως να είναι υποχρεωτικό.

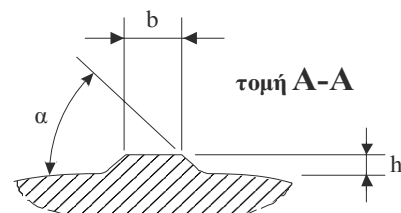
Οι πλάγιες νευρώσεις θα έχουν σχήμα μηνίσκου και θα καταλήγουν ομαλά στον κορμό της ράβδου.

Η προβολή των πλάγιων νευρώσεων, σε επίπεδο κάθετο στον διαμήκη άξονα της ράβδου, πρέπει να καταλαμβάνει τουλάχιστον το 75% της περιφέρειας της ράβδου που θα υπολογίζεται από την ονομαστική διάμετρό της, d , (βλ. Σχ. 3-1).



Σχήμα 3-1 Εγκάρσια τομή ράβδου

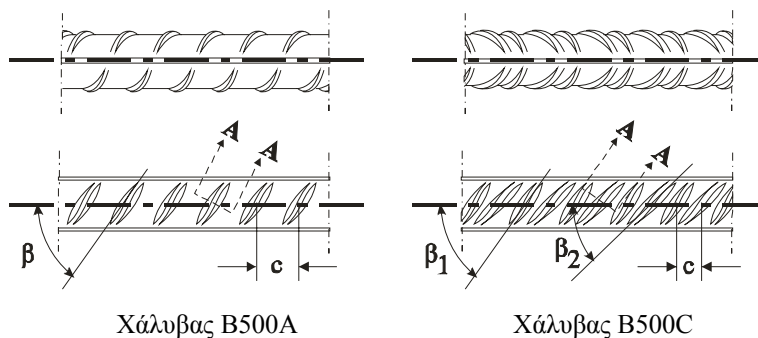
Η γωνία κλίσης, α , της πλευράς των πλάγιων νευρώσεων θα είναι μεγαλύτερη ή ίση από 45° . Πρέπει να προβλέπεται καμπύλη συναρμογής μεταξύ της πλευράς των πλάγιων νευρώσεων και του κορμού της ράβδου (βλ. Σχ. 3-2).



Σχήμα 3-2 Γωνία κλίσης, α , ύψος, h , και πλάτος, b , πλάγιας νεύρωσης

Οι γωνίες κλίσης, β , των πλάγιων νευρώσεων ως προς τον

άξονα της ράβδου θα είναι από 35° έως 75° (βλ. Σχ. 3-3).



Σχήμα 3-3 Γωνίες κλίσης, β, και απόσταση, c, πλάγιων νευρώσεων (Για την τομή A-A βλ. Σχ. 3-2)

Το πλάτος, b, των πλάγιων νευρώσεων θα είναι περίπου 0,1d (βλ. Σχ. 3-2).

Το ύψος, h, των πλάγιων νευρώσεων στην κορυφή θα είναι από 0,03d έως 0,15d και η μεταξύ τους απόσταση, c, θα είναι από 0,4d έως 1,2d (βλ. Σχ. 3-2 και 3-3).

Εφόσον υπάρχουν διαμήκεις νευρώσεις, το ύψος τους δεν θα υπερβαίνει το 0,15d.

3.1.2.2 Ανηγμένη επιφάνεια προβολής

Όταν απαιτηθεί ο υπολογισμός της ανηγμένης επιφάνειας προβολής των νευρώσεων, α_R , (βλ. Παραγρ. 3.1.2), τότε η τιμή της θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την τιμή που δίνεται στον Πιν. 3-2.

Πίνακας 3-2 Ελάχιστη τιμή της ανηγμένης επιφάνειας προβολής, α_R , των νευρώσεων

Ονομαστική διάμετρος (mm)	5 - 6	6,5 - 8	10	≥12
$\alpha_{R,min}$	0,039	0,045	0,052	0,056

Ο υπολογισμός της ανηγμένης επιφάνειας προβολής των νευρώσεων θα γίνεται με την παρακάτω σχέση (βλ και Σχ. 3-4):

$$\alpha_R = \frac{1}{\pi d} \sum_{n=1}^k \frac{\frac{1}{m} \sum_{j=1}^m A_{R.n.j} \sin \beta_{nj}}{c_n}$$

όπου:

$$A_R = \sum_{i=1}^p h_{s,i} \Delta l \quad \text{είναι η επιφάνεια διαμήκους τομής της}$$

νεύρωσης

h_s είναι το μέσο ύψος κάθε τμήματος μήκους Δl μιας πλάγιας νεύρωσης που έχει διαχωριστεί σε p μέρη ($l_R = p \Delta l$)

β είναι η γωνία κλίσης των νευρώσεων ως προς τον άξονα της ράβδου

d είναι η ονομαστική διάμετρος της ράβδου

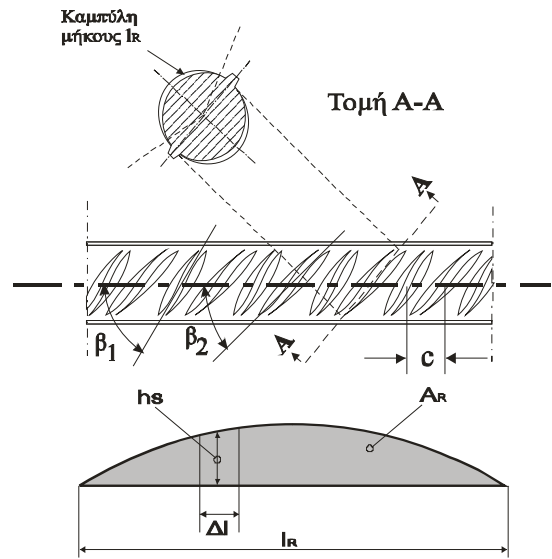
c είναι η απόσταση των νευρώσεων

k είναι ο αριθμός των σειρών των πλάγιων

νευρώσεων

m είναι ο αριθμός των κλίσεων των νευρώσεων σε μια σειρά

n, j, i είναι μεταβλητές άθροισης.



Σχήμα 3-4 Προσδιορισμός της ανηγμένης επιφάνειας προβολής, A_R , των νευρώσεων

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος ορίζονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3, ενώ ο προσδιορισμός τους γίνεται με βάση τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN ISO 15630-1 και ΕΛΟΤ EN ISO 15630-2.

Στο Σχ. Σ3-1α δίνεται τυπικό διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων υπό εφελκυσμό, για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατηγορίας B500C.

Η ανυπαρξία διακριτού ορίου διαρροής (βλ. και Σχ. Σ3-1β) μπορεί να οφείλεται συνήθως σε:

- ψυχρή διαμόρφωση
- ιδιαιτερότητες της χημικής σύστασης κ.α.

3.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

3.2.1 Ιδιότητες σε εφελκυσμό

Τα όρια που πρέπει να ικανοποιούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε εφελκυσμό δίνονται στον Πιν. 3-3.

Για το όριο διαρροής f_y , οι αναφερόμενες στον Πιν. 3-3 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 95%. Για τη συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , για το λόγο f_t/f_y και για το λόγο $f_{y,act}/f_{y,nom}$ οι αναφερόμενες στον Πιν. 3-3 τιμές είναι χαρακτηριστικές, ποσοστημορίου 90%.

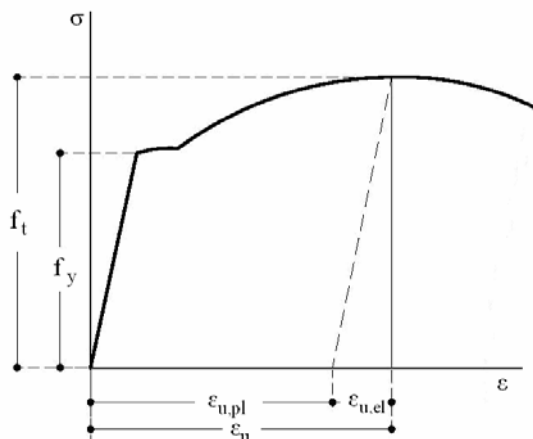
Οι τιμές των f_y και f_t υπολογίζονται με βάση την ονομαστική διατομή.

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

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

Ιδιότητα	Τεχνική κατηγορία ποιότητας	
	B500A	B500C
Όριο διαρροής, f_y (MPa)	≥ 500	≥ 500
Λόγος της πραγματικής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής, $f_{y,act}/f_{y,nom}$	–	$\leq 1,25$
Λόγος της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, f_t/f_y	$\geq 1,05$ ($\geq 1,03$ για $d < 6\text{mm}$)	$\geq 1,15$ $\leq 1,35$
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση (επιμήκυνση) στο μέγιστο φορτίο ϵ_u (%)	$\geq 2,5$ (≥ 2 για $d < 6\text{mm}$)	$\geq 7,5$

Η συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , και η ανηγμένη παραμόρφωση μετά τη θραύση, ϵ_s , (κατά τα καταργηθέντα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971), μετριοούνται σε διαφορετικές θέσεις του δοκιμίου και δεν είναι συγκρίσιμα μεγέθη.



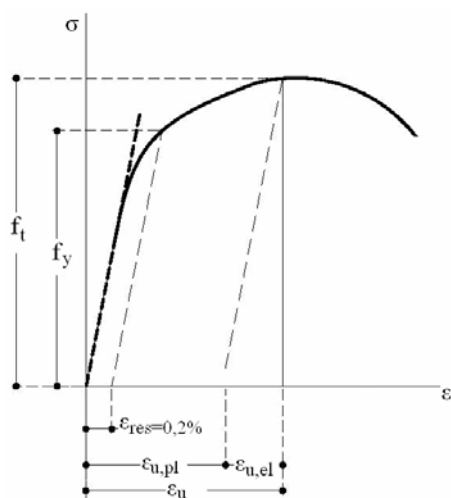
Υπόμνημα

$\epsilon_{u,pl}$: πλαστική παραμένουσα παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

ϵ_u : συνολική παραμόρφωση υπό το μέγιστο φορτίο

$\epsilon_{u,el}$: ελαστική παραμόρφωση αντιστοιχούσα στο μέγιστο φορτίο

Σχήμα Σ3-1α Τυπικό διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα. Περίπτωση διακριτού ορίου διαρροής.



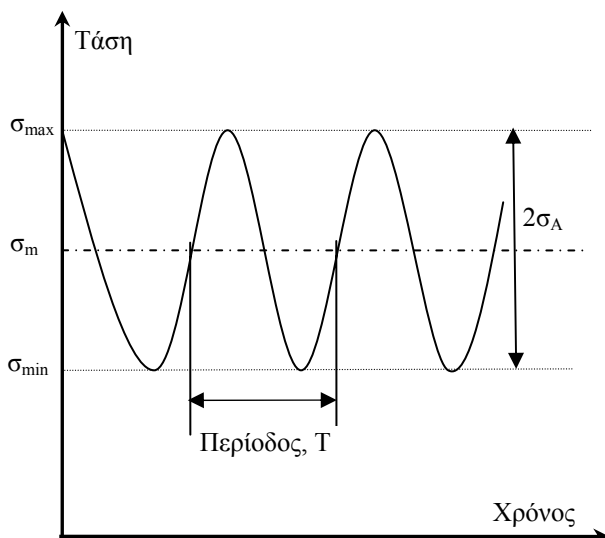
Σχήμα Σ3-1β Προσδιορισμός ορίου διαρροής για χάλυβα. Περίπτωση μη διακριτού ορίου διαρροής

Ωστόσο, σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1992-1-1/2005 ο συντελεστής διάτμησης για τα δομικά πλέγματα ορίζεται τουλάχιστον 0,30. Επίσης, και κατά τον ΕΚΩΣ (Παραγρ. 3.1.5) προκειμένου μια εγκάρσια συγκολλημένη ράβδος να λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης, ο συντελεστής διάτμησης θα πρέπει να είναι τουλάχιστον 0,30 (βλ. Παραγρ. 9.4).

Περισσότερα στοιχεία για το φαινόμενο της κόπωσης δίνονται στο Παράρτημα Π10.

Έλεγχος σε κόπωση δεν γίνεται στους χάλυβες κατηγορίας B500A.

Στον Ευρωκώδικα EN 1992-1-1 ορίζεται ποσοστημόριο 90%.



Σχήμα Σ3-2 Μεταβολή της τάσης συναρτήσει του χρόνου για τον έλεγχο κόπωσης

3.2.2 Αντοχή σε διάτμηση

Για τα δομικά πλέγματα, το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 ορίζει ότι τα σημεία συγκόλλησης των διασταυρούμενων ράβδων θα αντέχουν δύναμη που αντιστοιχεί σε συντελεστή διάτμησης τουλάχιστον 0,25. Για τα υπόλοιπα είδη πλεγμάτων ειδικότερες απαιτήσεις δίνονται στο Κεφ. 9.

Για τα δικτυώματα εφαρμόζεται η Παραγρ. 7.2.4.2 του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 10080.

3.2.3 Ικανότητα σε κάμψη

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγρ. 7.2.6.2 του Προτύπου ΕΛΟΤ EN 10080 όταν υποβάλλονται σε δοκιμή αναδίπλωσης.

3.2.4 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 $\sigma_{\min}$ έως $\sigma_{\max}$, ημιτονοειδώς μεταβαλλόμενες, με εύρος διακύμανσης:

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

Ο έλεγχος κόπωσης εφαρμόζεται 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 από 200 Hz
- Το ελάχιστο ελεύθερο μήκος δοκιμίου θα είναι 14d και πάντως όχι μικρότερο από 140mm.

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 ελάχιστο ελεύθερο μήκος δοκιμίου θα είναι $14d_{\text{long}}$ και πάντως όχι μικρότερο από 140mm, όπου d_{long} η ονομαστική διάμετρος της δοκιμαζόμενης ράβδου.
- 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.

3.3 Φυσικά χαρακτηριστικά

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

α) 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 Πιν. Σ3-1 (από το G.E. Dieter, «Mechanical Metallurgy», McGrawHill, London, 1988).

Πίνακας Σ3-1 Επίδραση της θερμοκρασίας, ενδεικτικά, στο μέτρο ελαστικότητας

Θερμοκρασία °C	20	204	427	537	649
E, (GPa)	200	186	155	134	124

Οι τιμές για το μέτρο διάτμησης κυμαίνονται από 76 έως 82GPa, και για το μέτρο διόγκωσης (bulk modulus), από 160 έως 169GPa. Το μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση αναφέρεται στη βιβλιογραφία και ως μέτρο διάτμησης ή μέτρο ολίσθησης.

Τιμές από 0,27 έως 0,33 έχουν αναφερθεί για το λόγο Poisson, με το μέσο όρο 0,30 ως την πλέον αποδεκτή τιμή για πρακτικές εφαρμογές.

R.E. Reed-Hill, "Physical Metallurgy Principles", 2nd Ed., D.Van Nostrand, New York, 1973, σελ. 454.

Για τις φάσεις του χάλυβα βλ. Παράρτημα Π1.

Το ΣΤ κυμαίνεται από 1536-1539°C και το ΣΒ από 2740-2860°C.

β) Μέτρο ελαστικότητας σε διάτμηση, G, και μέτρο διόγκωσης, K

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

γ) Λόγος Poisson, ν

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

δ) Φάσεις σιδήρου και θερμοκρασία Curie

Οι φάσεις του καθαρού σιδήρου συναρτήσει της θερμοκρασίας δίνονται στον Πιν. 3-4.

Η θερμοκρασία Curie, δηλ. η θερμοκρασία πέραν της οποίας χάνεται η μαγνητική συμπεριφορά του σιδήρου, κυμαίνεται από 755°C έως 791°C και είναι περισσότερο χαρακτηριστική στην περιοχή των 769°C.

Πίνακας 3-4 Φάσεις καθαρού σιδήρου

Περιοχή θερμοκρασιών	Κατάσταση	Φάση	Σύμβολο
πάνω από το ΣΒ	αέριο	αέριο	g
ΣΤ - ΣΒ	υγρό	υγρό	l
1400°C- ΣΤ	στερεό	κυβικό χωρο-κεντρωμένο	δ
910°C -1400°C	στερεό	κυβικό εδρο-κεντρωμένο	γ
κάτω από 910°C	στερεό	κυβικό χωρο-κεντρωμένο	α

Στην πραγματικότητα, η τιμή της πυκνότητας του χάλυβα μεταβάλλεται ελαφρά ανάλογα με τη χημική σύσταση και την επεξεργασία.

Στον Πιν. Σ3-2 δίνονται τιμές της ειδικής θερμότητας σε διάφορες θερμοκρασίες.

Στον Πιν. Σ3-2 δίνονται ακριβέστερες τιμές του συντελεστή γραμμικής διαστολής για διάφορες θερμοκρασίες.

Η θερμική αγωγιμότητα του καθαρού σιδήρου, στη θερμοκρασιακή περιοχή 0-100°C έχει μέση τιμή $78,2 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$. Όσον αφορά όμως τον χάλυβα, οι τιμές της θερμικής αγωγιμότητας στις διάφορες θερμοκρασίες είναι χαμηλότερες (Πιν. Σ3-2), λόγω δομής.

Στον Πιν. Σ3-2 δίνονται τιμές της ειδικής αντίστασης του χάλυβα σε διάφορες θερμοκρασίες.

ε) Λοιπές ιδιότητες

Η πυκνότητα του χάλυβα θα λαμβάνεται στους υπολογισμούς ίση με 7850 kg/m^3 .

Η μέση τιμή της ειδικής θερμότητας στο διάστημα από 0°C έως 100°C είναι $456 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του χάλυβα στο διάστημα από 0°C έως 100°C μπορεί να ληφθεί στους υπολογισμούς ίσος με $10 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$.

Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα στους 20°C μπορεί να ληφθεί στους υπολογισμούς ίση με $51,9 \text{ W/mK}$.

Η ειδική αντίσταση του χάλυβα στους 20°C κυμαίνεται από $15,9 \mu\Omega\text{cm}$ έως $16,3 \mu\Omega\text{cm}$.

Πίνακας Σ3-2 Φυσικές ιδιότητες χάλυβα συναρτήσει της θερμοκρασίας

Θερμοκρασία °C	Πυκνότητα g/cm^3	Ειδική θερμότητα $\text{J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	Συντελεστής γραμμικής διαστολής $\times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$	Θερμική αγωγιμότητα $\text{W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$	Ειδική αντίσταση $\mu\Omega\text{cm}$
20	7,84-7,86	435-444	12,18	51,9	15,9-16,3
100		477-494	12,18	51,1	21,9-22,6
200		520-528	12,66	49,0	29,2-29,6
400		599-611	13,47	42,7	48,2-48,7
600		699-754	14,41	35,6	74,2-75,8
800		791-950	12,64	26,0	109,4-110,0
1000		657	13,37	27,2	116,7-119,4

Στον Πιν. Σ3-3 δίνονται ο συντελεστής ικανότητας εκπομπής φαιού σώματος, ϵ , και η ανακλαστικότητα του υλικού, R , συναρτήσει του μήκους κύματος, λ , για μη οξειδωμένους χάλυβες. Σημειώνεται ότι οι χάλυβες οπλισμού, από τον τρόπο παραγωγής τους, είναι ελαφρά οξειδωμένοι (ελαφρό στρώμα καλαμίνας Fe_3O_4) και έτσι οι οπτικές ιδιότητες διαφέρουν από αυτές του Πιν. Σ3-3.

Πίνακας Σ3-3 Οπτικές ιδιότητες των μη οξειδωμένων χαλύβων

λ (μm)	ϵ	R (%)
1,0	0,41	-
0,6	0,48	58
0,5	0,49	-

Υπάρχουν αρκετά παρασκευάσματα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη χημική προσβολή. Από τα πλέον όμως απλά και γνωστά είναι το Nitral, το οποίο προκύπτει από τη διάλυση 1,5-5ml νιτρικού οξέος 1,4mol/l σε 100ml αιθυλικής αλκοόλης.

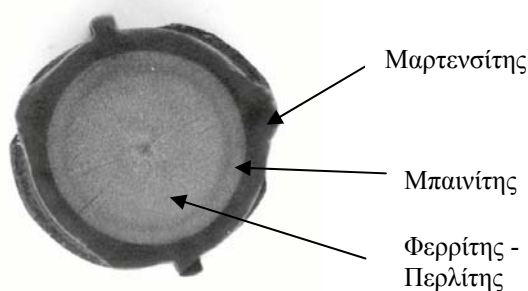
στ) Οπτικές ιδιότητες χάλυβα

Λόγω της μέτριας ανακλαστικότητας σε όλα τα μήκη κύματος, ο μη οξειδωμένος χάλυβας παρουσιάζει ασθενή μεταλλική φαιά απόχρωση.

3.4 Μακροσκοπική εξέταση χάλυβα

Ο χάλυβας μπορεί να εξεταστεί μακροσκοπικά με λείανση και χημική προσβολή σε μια κάθετη τομή στο διαμήκη άξονα μιας ράβδου και να προσδιοριστεί εάν έχει υποστεί θερμική κατεργασία (χάλυβας ΘΕ-Θ).

Μετά από λείανση σε μια κάθετη τομή στο διαμήκη άξονα μιας ράβδου, αυτή εμβάπτιζεται στο Nital για περίπου 5-30sec, ανάλογα με το είδος του χάλυβα. Η διάκριση του μαρτενσίτη και των προϊόντων μετασχηματισμού του (βλ. και Παράρτημα Π1) από την υπόλοιπη μεταλλική μήτρα που έχει πρακτικά μείνει χωρίς βαφή κατά τη διαδικασία θερμικής κατεργασίας (π.χ. βαφή κατά Tempcore, Thermex κ.λπ.), μπορεί να γίνει σε ελάχιστο χρόνο και χωρίς ιδιαίτερα μέσα (βλ. Σχ. Σ3-3). Με τον τρόπο αυτό και μπορούν να εξηγηθούν ιδιαιτερότητες στις μηχανικές και φυσικές ιδιότητες του χάλυβα, καθώς επίσης και στη συμπεριφορά του ως προς τη διάβρωση.



Σχήμα Σ3-3 Τομή ράβδου χάλυβα (ΘΕ-Θ) μετά από εμβάπτιση σε Nital

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10020.

Γενικά, για τους μη κραματωμένους χάλυβες δεν υπάρχουν ειδικές απαιτήσεις συμπεριφοράς σε θερμική κατεργασία ή για καθαρότητα, όσον αφορά τα μη μεταλλικά εγκλείσματα. Ως μη μεταλλικά εγκλείσματα θεωρούνται συνήθως τα οξείδια CaO , MgO , SiO_2 , Al_2O_3 , MnO , FeO , P_2O_5 , οι ενώσεις FeS , MnS κ.λπ. που συνιστούν πρακτικά ακαθαρσίες για τον χάλυβα.

Με τον όρο αποξείδωση εννοείται η μείωση του διαλυμένου/ενεργού οξυγόνου στο ρευστό χάλυβα.

Η ανθεκτικότητα του χάλυβα στο χρόνο επηρεάζεται, εκτός από την χημική σύσταση, και από άλλους παράγοντες όπως οι περιβαλλοντικές δράσεις και η παρουσία παραμενουσών τάσεων που οφείλονται στη μέθοδο παραγωγής (ψηχή έλαση, υπερσκληρυνση λόγω μεγάλου βάθους βαφής). Γενικά μπορεί να λεχθεί ότι:

- Οι χάλυβες θερμής έλασης είναι ανθεκτικότεροι και από τους χάλυβες θερμικής κατεργασίας και από τους χάλυβες ψυχρής έλασης.
- Όσο μικρότερες οι περιεκτικότητες σε ακαθαρσίες όπως το θείο (S), το άζωτο (N) και ο φωσφόρος (P), τόσο ανθεκτικότερος είναι ο χάλυβας (βλ. και Παράρτημα Π1).
- Όσο μικρότερη είναι η τραχύτητα της επιφάνειας τόσο ανθεκτικότερος είναι ο χάλυβας.

3.5 Χημικά Χαρακτηριστικά

3.5.1 Γενικά

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος ανήκουν στην ομάδα των ελαφρά ή μη κραματωμένων χαλύβων.

Η διαδικασία παραγωγής (μεταλλουργική μέθοδος) και ο τύπος της αποξείδωσης του χάλυβα επαφίενται στην κρίση του παραγωγού.

Οι περιορισμοί της Παραγρ. 3.5.3 για τη χημική σύσταση εξασφαλίζουν τη συγκολλησιμότητα και την ανθεκτικότητα στο χρόνο των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Η συγκολλησιμότητα είναι σύνθετη ιδιότητα η οποία αναφέρεται στη δυνατότητα συγκόλλησης με την υπάρχουσα τεχνολογία, και επηρεάζεται από παράγοντες όπως:

- Η μεταλλουργία του μετάλλου βάσης και του μετάλλου προσθήκης
- Οι μέθοδοι και τεχνικές της συγκόλλησης
- Ο σχεδιασμός της σύνδεσης
- Οι ενδεχόμενες θερμικές κατεργασίες πριν και μετά τη συγκόλληση
- Ενδεχομένως, άλλοι πιο εξειδικευμένοι παράγοντες.

Οι επιτρεπόμενες μέθοδοι συγκόλλησης και οι αντίστοιχοι τύποι σύνδεσης για τους συγκολλησίμους χάλυβες αναφέρονται στο Κεφ. 8.

Στις υφιστάμενες κατασκευές, ενδέχεται να υπάρχουν, επίσης:

- Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος S500s και S400s, που είναι συγκολλησίμοι
- Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος S500, S400 και S220, που είναι συγκολλησίμοι υπό προϋποθέσεις
- Ελικοχάλυβας, χάλυβας StI και StIII.

Από τις αρχές της δεκαετίας του '70 μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '90 χρησιμοποιήθηκαν σχεδόν αποκλειστικά οι χάλυβες S400 (βλ. Παράρτημα Π7). Στην Παραγρ. 8.6 γίνεται ιδιαίτερη αναφορά στις προϋποθέσεις και στους τρόπους συγκόλλησης των παλαιών με τους νέους χάλυβες.

Ο ρόλος και η σημασία των επιμέρους χημικών στοιχείων στη συμπεριφορά των χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος περιγράφεται στο Παράρτημα Π1.

Mn: Μαγγάνιο	V: Βανάδιο
Cr: Χρώμιο	Ni: Νικέλιο
Mo: Μολυβδαίνιο	Cu: Χαλκός

3.5.2 Συγκολλησιμότητα

Συγκολλησιμότητα είναι η ικανότητα ενός μετάλλου να συγκολλείται στις συνθήκες του έργου, έτσι ώστε η προκύπτουσα σύνδεση να ικανοποιεί τις απαιτήσεις σχεδιασμού.

Οι χάλυβες διακρίνονται ως προς τη συγκολλησιμότητά τους σε:

- Συγκολλησίμους, των οποίων η συγκολλησιμότητα εξασφαλίζεται από τη χημική σύσταση (βλ. Παραγρ. 3.5.3)
- Συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις, των οποίων η συγκολλησιμότητα μπορεί να εξασφαλιστεί με κατάλληλο σχεδιασμό και ελέγχεται με ειδικές δοκιμές (βλ. Παραγρ. 8.6).

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

3.5.3 Χημική σύσταση συγκολλησίμων χάλυβων

Σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080, οι χάλυβες θεωρούνται συγκολλησίμοι, 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 Πιν. 3-5.

Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, C_{eq} , υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$C_{eq} = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15,$$

όπου τα σύμβολα των χημικών στοιχείων δείχνουν την επί τοις εκατό περιεκτικότητα κατά βάρος (% κ.β.) όπως προσδιορίζεται από τη χημική ανάλυση.

Πίνακας 3-5 Μέγιστες επιτρεπόμενες τιμές για τη χημική σύσταση (περιεκτικότητα % κ.β.) κατά ΕΛΟΤ EN 10080

	Άνθρακας C ⁽²⁾	Θείο S	Φωσφόρος P	Άζωτο N ⁽¹⁾	Χαλκός Cu	Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα 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

Διεθνώς υπάρχει ασάφεια σχετικά με τα στοιχεία που δεσμεύουν το άζωτο καθώς και με τις απαιτούμενες ποσότητες για τη δέσμευση αυτή. Ενδεικτικώς αναφέρονται τα στοιχεία: Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, B, Al και W. Στο Παράρτημα Π1 αναφέρονται σχέσεις για την ποσοτικοποίηση της δέσμευσης, για τις οποίες ωστόσο δεν υπάρχει διεθνώς συμφωνία. Στο Πρότυπο EN 10025 αναφέρεται ότι η περιεκτικότητα σε άζωτο μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή (0,013%) και ότι δεν απαιτείται μέτρησή της αν η περιεκτικότητα σε Al είναι μεγαλύτερη από 0,02%.

(1) Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν (βλ. Παράρτημα Π1)

(2) Επιτρέπεται η υπέρβαση των μέγιστων 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.

Εκθέσεις σε θερμοκρασίες μέχρι 500°C είναι πιθανόν να υπάρξουν κατά το χρόνο ζωής μιας κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα (π.χ. υπό πυρκαγιά). Εκθέσεις σε θερμοκρασίες από 500°-700°C είναι σπανιότερο να υπάρξουν και μετά από μια τέτοια θέρμανση θα πρέπει να συνεκτιμηθούν, εκτός από την θερμοκρασία, και άλλες παράμετροι (χρόνος έκθεσης, χημική σύσταση, κατεργασία του χάλυβα κ.λπ.). Θερμοκρασίες άνω των 700°C (μέχρι 1.200°C) δεν έχουν πρακτικό ενδιαφέρον για κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα επειδή σ' αυτές τις θερμοκρασίες συμβαίνει πλήρης αποδόμηση του σκυροδέματος.

Επίσης είναι δυνατόν να εμφανισθούν και άλλα φαινόμενα όπως π.χ. ερπυσμός, χαλάρωση, μεταβολή της μικροδομής, των φάσεων και των συστατικών του υλικού.

Ως χρόνος έκθεσης θεωρείται ο πραγματικός χρόνος παραμονής στην εξεταζόμενη θερμοκρασία.

Βλ. Παραγρ. 3.6.2

3.6 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 χαλύβων, αλλά και του σκυροδέματος και της συνάφειάς του με τον οπλισμό. Μετά την επάνοδο των χαλύβων 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 χαλύβων σε ακραίες θερμοκρασίες επηρεάζεται από:

- Τη θερμοκρασία έκθεσης
- Το χρόνο έκθεσης
- Τη σύσταση ή τη μέθοδο παραγωγής.

Παρακάτω εξετάζονται οι μεταβολές που συμβαίνουν:

- Λόγω έκθεσης των χαλύβων σε χαμηλές θερμοκρασίες (Παραγρ. 3.6.1) και
- Λόγω έκθεσης των χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες (Παραγρ. 3.6.2).

Οι συνδυασμοί δράσεων (κατά ΕΚΩΣ Κεφ.6) που θα πρέπει να εξετάζονται κατά τη διάρκεια της έκθεσης των χαλύβων σε ακραίες θερμοκρασίες είναι:

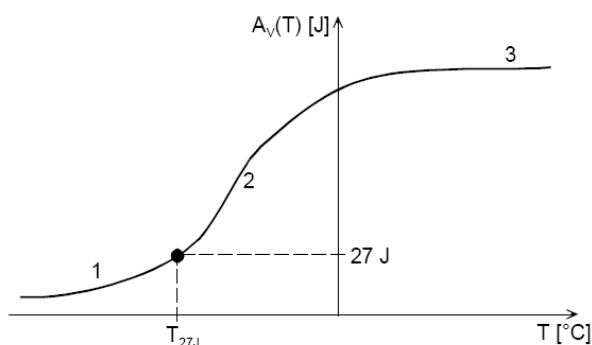
- Οι βασικοί συνδυασμοί δράσεων, όπως π.χ οι περιπτώσεις ειδικών κατασκευών που εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα είτε σε υψηλές θερμοκρασίες (ατμοηλεκτρικές μονάδες, θερμαινόμενα δάπεδα αντιδραστήρων κ.λπ.) είτε σε χαμηλές θερμοκρασίες (δεξαμενές υγροποιημένου αερίου, ψυκτικοί θάλαμοι, περιοχές με παρατεταμένες περιόδους παγετών)
- Οι τυχηματικοί συνδυασμοί δράσεων, όπως π.χ. η περίπτωση πυρκαγιάς.

Η συμπεριφορά των χαλύβων κατά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες επηρεάζει την πυρασφάλεια των κατασκευών και ειδικότερα τη δυνατότητα διαφυγής των χρηστών καθώς και την ασφάλεια της ζωής των πυροσβεστών.

Η συμπεριφορά των χαλύβων μετά την έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες θα λαμβάνεται υπόψη κατά την αποτίμηση και την επισκευή ή ενίσχυση των κατασκευών μετά από μια πυρκαγιά.

Γενικώς, δεν υπάρχουν αξιόπιστα ποσοτικά στοιχεία για τη μείωση της παραμόρφωσης θραύσης, ως μέτρου αποτίμησης της ευθραυστότητας ή δυσθραυστότητας, συναρτήσει της θερμοκρασίας. Έμμεσα η μείωση αυτή συσχετίζεται με τη θερμοκρασία μετάπτωσης, η οποία ορίζεται ως η θερμοκρασία στην οποία παρατηρείται σημαντική μεταβολή στα χαρακτηριστικά θραύσης ενός χάλυβα, με κυριότερη τη μεταβολή της θραύσης από όλκιμη σε ψαθυρή.

Στον Ευρωκώδικα EN1993-1-10, ο χαρακτηρισμός μιας θραύσης ως όλκιμης ή ψαθυρής γίνεται με βάση την απορροφούμενη ενέργεια θραύσης σε δοκιμή κρούσης κατά Charpy ενός προτύπου δοκιμίου με εγκοπή V (δοκιμή δυσθραυστότητας). Η απορροφούμενη ενέργεια θραύσης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του χάλυβα (βλ. Σχ. Σ3-4). Ως θερμοκρασία μετάπτωσης (T_{27J}) ορίζεται εκείνη η θερμοκρασία για την οποία η απορροφούμενη ενέργεια θραύσης, $A_v(T)$, γίνεται μικρότερη από 27J.



Σχήμα Σ3-4 Σχέση μεταξύ απορροφούμενης ενέργειας κρούσης και θερμοκρασίας (1: χαμηλή περιοχή, 2: μεταβατική περιοχή, 3: υψηλή περιοχή)

Για τους χάλυβες παλαιότερων τυποποιήσεων διακρίνονται

Και στις δύο περιπτώσεις εξετάζεται η συμπεριφορά των χαλύβων κατά τη διάρκεια της έκθεσης στις ακραίες θερμοκρασίες καθώς και η συμπεριφορά τους μετά την επαναφορά στη θερμοκρασία περιβάλλοντος.

3.6.1 Έκθεση χαλύβων σε χαμηλές θερμοκρασίες

3.6.1.1 Συμπεριφορά των χαλύβων κατά τη διάρκεια της έκθεσής τους σε χαμηλές θερμοκρασίες

Κατά την έκθεση χαλύβων 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

οι εξής περιπτώσεις:

- Για χάλυβες με περιεκτικότητες σε άνθρακα $<0,22\%$ (π.χ. St I - S220) η θερμοκρασία μετάπτωσης είναι κατά κανόνα μικρότερη των -25°C . Ειδικότερα για τους χάλυβες S500s ισχύει ότι και για τους χάλυβες B500A
- Για χάλυβες με περιεκτικότητες σε άνθρακα της τάξης του $0,40\%$ (π.χ. St III - S400 και St IV - S500) η θερμοκρασία μετάπτωσης είναι λίγο κάτω από τους 0°C .

Για τους ανοξείδωτους χάλυβες η θερμοκρασία μετάπτωσης είναι μικρότερη από -100°C (βλ. Παράρτημα Π3).

Αυτό συμβαίνει επειδή, κατά την έκθεση σε χαμηλές θερμοκρασίες, δεν παρατηρούνται μεταβολές στη μικροδομή του υλικού (κρύσταλλοι, φάσεις, συστατικά).

Για χάλυβες ψυχρής κατεργασίας η επίδραση της θερμοκρασίας αρχίζει από θερμοκρασίες της τάξης των 150°C (βλ. και Σχόλιο Παραγρ. 3.6.2.2.)

Για την αντοχή και την παραμόρφωση θραύσης του χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες γίνεται ειδική αναφορά στην Παραγρ. 3.2.3 του Ευρωκώδικα EN 1992-1-2 και ειδικότερα στους Πιν. 3.2.α και 3.2.β. Στις τιμές που δίνονται στους Πίνακες αυτούς δεν γίνεται διάκριση για χάλυβες που αποκτούν την τελική αντοχή τους έπειτα από μαρτενσιτική βαφή και επαναφορά (ΘΕ-Θ).

Ως ερπυσμός ορίζεται η αύξηση των παραμορφώσεων συναρτήσει του χρόνου υπό σταθερή τάση και σταθερή θερμοκρασία. Η αύξηση της θερμοκρασίας ή της επιβαλλόμενης τάσης, συνεπάγεται επιτάχυνση και αύξηση της τελικής ερπυστικής παραμόρφωσης. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο σε θερμοκρασίες άνω των 500°C και τάσεις άνω των 250MPa .

ψαθυρή θραύση παρατηρείται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 0°C . Ειδικότερα για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατηγορίας B500A και B500C η θερμοκρασία μετάπτωσης (T_{27}) είναι μικρότερη από -30°C .

Η παραπάνω μεταβολή είναι ανεξάρτητη του χρόνου έκθεσης.

3.6.1.2 Συμπεριφορά των χάλυβων μετά την έκθεσή τους σε χαμηλές θερμοκρασίες

Οι μεταβολές που αναφέρονται στην Παραγρ. 3.6.1.1 αίρονται μετά την επαναφορά των χάλυβων σε συνθήκες θερμοκρασίες περιβάλλοντος.

3.6.2 Έκθεση χάλυβων σε υψηλές θερμοκρασίες

3.6.2.1 Συμπεριφορά των χάλυβων κατά τη διάρκεια της έκθεσής τους σε υψηλές θερμοκρασίες

Οι αντοχές και το μέτρο ελαστικότητας των χάλυβων 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 50% των αρχικών τιμών στους 500°C . Σε ενδιάμεσες θερμοκρασίες η γραμμική παρεμβολή δίνει ικανοποιητική προσέγγιση.

Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 500°C ο ρυθμός μείωσης της αντοχής συναρτίζεται της αύξησης της θερμοκρασίας, είναι πολύ μεγαλύτερος. Στους 600°C η απομένουσα αντοχή μπορεί να φτάσει περίπου στο 35% της αρχικής.

Για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 600°C , λόγω και των υπόλοιπων μεταβολών που είναι πολύ πιθανόν να παρουσιασθούν στο χάλυβα και στο σκυρόδεμα (μείωση συνάφειας με το σκυρόδεμα, αύξηση ταχύτητας διάβρωσης, μεταβολές μικρογραφικής μορφής κ.λπ.) είναι ενδεχόμενο να προκληθούν σοβαρές βλάβες σε στοιχεία της κατασκευής.

Για μεγάλους χρόνους έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες, είναι δυνατόν να παρατηρηθούν και άλλα φαινόμενα (π.χ. ερπυσμός). Για τους χάλυβες που είναι αντικείμενο αυτού του Κανονισμού, εκθέσεις σε θερμοκρασίες μέχρι 200°C πρακτικά δεν δημιουργούν φαινόμενα ερπυσμού. Όσο όμως οι θερμοκρασίες και οι επιβαλλόμενες τάσεις αυξάνονται το φαινόμενο του ερπυσμού γίνεται εντονότερο.

Όταν οι θερμοκρασίες και οι δημιουργούμενες τάσεις κατά το χρόνο ζωής της κατασκευής μπορεί να προκαλέσουν ερπυσμό στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, αντί για τους κοινούς χάλυβες οπλισμού (B500A, B500C) μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα κραματωμένοι χάλυβες, οι οποίοι διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες και σε μεγαλύτερες συγκριτικά θερμοκρασίες, για μεγαλύτερους χρόνους έκθεσης και μεγαλύτερες φορτίσεις. Οι χάλυβες αυτοί (ειδικοί χάλυβες), δεν περιλαμβάνονται στις κατηγορίες των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που εξετάζονται στον παρόντα Κανονισμό. Αν κατά τον χρόνο έκθεσης στις υψηλές θερμοκρασίες υπάρξει και μεταβολή της μικροδομής (των φάσεων και των συστατικών ενός υλικού), αυτή θα έχει μικρή (περαιτέρω) επίπτωση στις μετρούμενες εν θερμώ μηχανικές ιδιότητες.

Για τους χάλυβες ψυχρής κατεργασίας, η μεταβολή αυτή οφείλεται στο φαινόμενο της εργογήρανσης του υλικού (strain aging) και έχει ως συνέπεια τη μικρή αύξηση της εφελκυστικής αντοχής, τη μεγαλύτερη σχετικά αύξηση του ορίου διαρροής και τη μείωση της ολκιμότητάς του εκφραζόμενη ως μείωση του λόγου κράτυνσης (f_t/f_y) και ως μείωση της παραμόρφωσης. Έχουν μετρηθεί διαφοροποιημένες τιμές των παραπάνω μεγεθών σε ποσοστά μέχρι 15%. Η διαφοροποίηση αυτή είναι συνάρτηση και άλλων παραμέτρων όπως η χημική σύσταση κ.λπ. και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των κατασκευών ιδίως αν προβλέπονται ανάλογες εκθέσεις κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους.

Οι μεταβολές αυτές είναι αποτέλεσμα της μετατροπής σε φάσεις ισορροπίας (δηλαδή Fe-α και Fe₃C) των εκτός ισορροπίας φάσεων, που με την παρουσία τους αυξάνουν την αντοχή στα επίπεδα των απαιτήσεων αντοχών των χαλύβων των Προτύπων ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

Η θερμοκρασία των 500°C είναι η κατώτερη στην οποία είναι θεωρητικά πιθανόν να προκύψει ανακρυστάλλωση, η οποία και προκαλεί τις μεταβολές σε χάλυβες ψυχρής κατεργασίας. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης εξαρτάται από παράγοντες όπως η καθαρότητα του μετάλλου, ο βαθμός παραμόρφωσης κ.λπ. Για τους χάλυβες των Προτύπων ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 είναι κοντά στους 650°C. Η ανακρυστάλλωση συνεπάγεται αλλαγή των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού με εξαφάνιση των χαρακτηριστικών (αύξηση αντοχής κ.λπ.) που αποκτήθηκαν με την ψυχρή

Σε περιπτώσεις ειδικών κατασκευών που εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υψηλές θερμοκρασίες (ατμο-ηλεκτρικές μονάδες, θερμαινόμενα δάπεδα αντιδραστήρων κ.λπ.) θα πρέπει, κατά το 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.

3.6.2.2 Συμπεριφορά των χαλύβων μετά την έκθεσή τους σε υψηλές θερμοκρασίες

Ανάλογα με τη θερμοκρασία στην οποία είχαν εκτεθεί οι χάλυβες, μετά την επαναφορά τους στη θερμοκρασία περιβάλλοντος διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

α) Για θερμοκρασίες έκθεσης μέχρι 500°C γενικώς δεν παρατηρούνται ουσιαστικές μεταβολές μηχανικών χαρακτηριστικών για τους χάλυβες ΘΕ-Θ και ΘΕ-Χ. Οι χάλυβες ΨΚ-Ο και ΨΚ-Σ, ανάλογα με το βαθμό παραμόρφωσης, μπορούν να παρουσιάζουν μεγάλη μείωση της παραμόρφωσης μετά τη θραύση στη θερμοκρασιακή περιοχή 0°C έως 300°C.

β) Για θερμοκρασίες έκθεσης από 500°C έως 650°C οι επιπτώσεις εξαρτώνται και από τη μέθοδο παραγωγής (βλ. Παραγρ. 2.1.1). Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Οι χάλυβες ΘΕ-Θ παρουσιάζουν κατά κανόνα εμφανείς μεταβολές μηχανικών ιδιοτήτων με κύριο χαρακτηριστικό τη μείωση αντοχής. Η μείωση της αντοχής είναι σχετικά μικρή 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 ασημαντες 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:

$$n = \frac{A_1 - A_2}{A_1}$$

όπου A_1 η αρχική διατομή και A_2 η τελική διατομή

κατεργασία.

Τα ποσοστά 2% και 15% της ψυχρής παραμόρφωσης, n , είναι ενδεικτικά και ενδέχεται να διαφοροποιούνται εξαιτίας των κραματικών στοιχείων.

Πρέπει να αποφεύγεται η ανεξέλεγκτη διαμόρφωση ράβδων με ή χωρίς θέρμανση και οι συγκολλήσεις χαλύβων ψυχρής κατεργασίας, επειδή είναι πιθανόν κατά την παραγωγική διαδικασία να έχουν πραγματοποιηθεί τιμές του " n " σε αυτά τα ποσοστά (2-15%), οπότε τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων έχουν απομειωθεί δραστικά.

Σε χάλυβες με ποσοστό άνθρακα $>0,25\%$ είναι πιθανή η δημιουργία μαρτενσίτη αν συντρέχουν οι κατάλληλες προϋποθέσεις που πρακτικά μπορεί εύκολα να υπάρξουν, όπως θερμοκρασία πάνω από 725°C , απότομη ψύξη (π.χ. ψεκασμός με νερό έπειτα από συγκόλληση) και ύπαρξη κραματικών στοιχείων όπως Mn και Cr σε αυξημένα ποσοστά αλλά εντός των ορίων των προδιαγραφών. Με τη δημιουργία μαρτενσίτη το υλικό γίνεται τοπικά ιδιαίτερα εύθραυστο (βλ. και Παράρτημα Π1).

Τα παραπάνω αφορούν όλες τις περιπτώσεις θέρμανσης στις περιοχές θερμοκρασιών που προαναφέρθηκαν (ακόμη και στις τοπικές αυξήσεις θερμοκρασίας που φυσιολογικά δημιουργούνται σε περιπτώσεις συγκολλήσεων) και πρέπει να λαμβάνονται υπόψη ιδιαιτέρως στην περίπτωση επισκευών, ενισχύσεων κ.λπ.

Με αυτήν την Υπουργική Απόφαση καθίσταται υποχρεωτική η εγκατάσταση ειδικών μετρητικών διατάξεων στις βιομηχανίες και στα τελωνεία για την ανίχνευση των ραδιενεργών υλικών. Οι Προδιαγραφές της Ελληνικής Επιτροπής Ατομικής Ενέργειας (ΕΕΑΕ) που θα καθορίζουν τις διαδικασίες ελέγχου δεν έχουν ακόμη εκδοθεί.

Ως επίπεδο αποδέσμευσης ορίζεται η ανώτατη τιμή της συνολικής ραδιενέργειας ή της συγκέντρωσης ραδιενέργειας που μπορεί να έχει ένα υλικό προκειμένου να

(μετά τη διαμόρφωση).

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

Για τιμές $2 < n < 15\%$ 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 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 λόγω της αναक्रυστάλλωσης, χάνει την αυξημένη αντοχή που του είχε προσδώσει η ψυχρή κατεργασία και επανέρχεται στις αρχικές τιμές αντοχής που είχε πριν υποστεί την ψυχρή κατεργασία.

γ) Για θερμοκρασίες έκθεσης πάνω από 650°C οι επιπτώσεις εξαρτώνται από τη μέθοδο παραγωγής (βλ. Παραγρ. 2.1.1). Διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις:

- Οι χάλυβες ΘΕ-Θ, ΨΚ-Ο και ΨΚ-Σ παρουσιάζουν περαιτέρω μειώσεις των αντοχών τους. Οι τελικές τιμές μπορούν να μειωθούν ακόμη και κάτω από το 50% των αρχικών.
- Οι χάλυβες ΘΕ-Χ δεν παρουσιάζουν ουσιαστικές μεταβολές για θέρμανση μέχρι τους 720°C .

Σε όλες τις περιπτώσεις τυχαίας έκθεσης σε θερμοκρασίες που είναι πιθανόν να δημιουργήσουν τις συνθήκες που περιγράφονται στις αντίστοιχες παραπάνω παραγράφους (π.χ. περιπτώσεις πυρκαγιών, συγκολλήσεων κ.λπ.), ανεξάρτητα από τη μέθοδο παραγωγής, θα πρέπει να συνεκτιμώνται προσεκτικά όλες οι παράμετροι και να εξετάζονται εργαστηριακά δείγματα από τις κατασκευές που πιθανολογείται ότι έχουν επηρεασθεί.

3.7 Ραδιενέργεια

Πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα για την αποφυγή της επιβάρυνσης του χάλυβα με ραδιενέργεια.

Ο έλεγχος αφορούν την πρώτη ύλη που προέρχεται από ανακύκλωση (παλαιοσίδηρο) καθώς και το τελικό προϊόν.

Ο έλεγχος για την ύπαρξη ραδιενεργών υλικών στην πρώτη ύλη γίνεται σύμφωνα με την Υπουργική Απόφαση 11592 (ΦΟΡ) 1125/ΦΕΚ1633/18-9-99.

Ο έλεγχος της ραδιενέργειας στο τελικό προϊόν θα γίνεται με εγκυκλίους που θα εκδώσει η ΕΕΑΕ στις οποίες θα καθορίζονται και τα ανώτατα επιτρεπτά επίπεδα αποδέσμευ-

εξαιρεθεί από τις διατάξεις των Κανονισμών Ακτινοπροστασίας.

Είναι γενικά παραδεκτό ότι οι ανώτατες επιτρεπτές τιμές ενεργότητας θα πρέπει να είναι της τάξης του 0,1-0,5Bq/g, ανάλογα με το ραδιενεργό ισότοπο. Η Διεθνής Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας (I.A.E.A.) προτείνει στο κανονιστικό έγγραφο-οδηγό IAEA-TECDOC-855 του Ιανουαρίου 1996, με τίτλο "Clearance levels for radio nuclides in solid materials", ως ανώτατα επιτρεπτά όρια, για τα κυριότερα ραδιενεργά ισότοπα στα στερεά υλικά, την τιμή 0,1Bq/g. Όσον αφορά τα επιτρεπτά επίπεδα αποδέσμευσης στο χάλυβα, σημειώνεται ότι βρίσκονται ακόμη υπό μελέτη και διερεύνηση στις περισσότερες χώρες. Ως μέγιστο επιτρεπτό επίπεδο αποδέσμευσης στο χάλυβα (τελικό προϊόν) θα μπορούσε να επιλεγεί η τιμή 0,1Bq/g.

σης.

Σε περίπτωση ανίχνευσης ραδιενεργού υλικού, το υλικό πρέπει να απομονώνεται και να ενημερώνεται αμέσως η ΕΕΑΕ.

Κεφάλαιο 4: ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΣΥΜΜΟΡΦΩΣΗΣ

Η διάκριση αυτή γίνεται σύμφωνα με την απόφαση του ΥΠΑΝ οικ.9529/645 (ΦΕΚ 649/Β/24-5-06) όπως αυτή τροποποιήθηκε με την απόφαση του ΥΠΑΝ οικ.13092/843 (ΦΕΚ 938/Β/18-7-06).

Η γεωμετρία επιφάνειας και νευρώσεων σχετίζεται κυρίως με τα χαρακτηριστικά συνάφειας.

Η ικανότητα για κάμψη και η επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο καθορίζουν την ολκιμότητα των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Με βάση τη χημική σύσταση ελέγχονται μεταξύ άλλων η συγκολλησιμότητα και η αντοχή σε διάβρωση.

Για τον έλεγχο συγκεκριμένης ποσότητας, ο χρήστης έχει επίσης τη δυνατότητα να διενεργήσει δειγματοληπτικούς

4.1 Εισαγωγή

Οι χάλυβες που διακινούνται στον Ελληνικό χώρο διακρίνονται, ανάλογα με τη χώρα παραγωγής τους:

- Στους εγχωρίως παραγόμενους
- Στους παραγόμενους σε χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης
- Στους παραγόμενους σε τρίτες χώρες.

Για κάθε μία από τις παραπάνω περιπτώσεις εφαρμόζονται από τους αρμόδιους φορείς διαφορετικές διαδικασίες ελέγχου και κριτήρια συμμόρφωσης (Παραγρ. 4.2, 4.3 και 4.4 αντίστοιχα). Παράλληλα προβλέπονται και δειγματοληπτικοί έλεγχοι σε όλα τα στάδια διακίνησης των χαλύβων, ανεξάρτητα από τη χώρα παραγωγής τους (Παραγρ. 4.5).

Ελέγχονται, κατά περίπτωση, οι εξής ιδιότητες κατά ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3:

- Διαστάσεις και ανηγμένη μάζα
- Γεωμετρία επιφάνειας και νευρώσεων
- Όριο διαρροής, εφελκυστική αντοχή, συνολική ανηγμένη επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο, λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής και λόγος πραγματικής τιμής ορίου διαρροής προς την ονομαστική τιμή ορίου διαρροής
- Ικανότητα για κάμψη
- Χημική σύσταση
- Διατμητική αντοχή σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων πλεγμάτων
- Αντοχή σε κόπωση.

Οι διενεργούμενες δοκιμές είναι κατά περίπτωση:

- Μέτρηση διαστάσεων και ανηγμένης μάζας
- Προσδιορισμός γεωμετρικών χαρακτηριστικών
- Δοκιμή εφελκυσμού
- Δοκιμή αναδίπλωσης
- Χημική ανάλυση
- Δοκιμή διάτμησης
- Δοκιμή κόπωσης.

Οι δοκιμές θα γίνονται σύμφωνα με τα ΕΛΟΤ EN ISO 15630-1 και ΕΛΟΤ EN ISO 15630-2.

Των δοκιμών θα προηγείται οπτική επιθεώρηση των χαλύβων, οι οποίοι δεν πρέπει να εμφανίζουν αλλοιώσεις, απολεπίσεις, παραμορφώσεις, πληγές κ.λπ. Ιδιαίτερα θα εξετάζεται η ύπαρξη προϊόντων διάβρωσης. Επίσης θα εξετάζεται εάν οι χάλυβες διαθέτουν σύστημα σήμανσης που θα δηλώνει την προέλευσή τους και την κατηγορία ποιότητάς τους (βλ. και Παραγρ. 2.4).

Κάθε ενδιαφερόμενος μπορεί, με βάση τον αριθμό χύτευσης, να ζητήσει σχετική βεβαίωση του εργοστασίου παρα-

ελέγχους σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.

Κάθε ενδιαφερόμενος μπορεί να ζητήσει αναλυτικότερες πληροφορίες σχετικά με το προϊόν.

Το Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας) δηλώνει ότι παρέχονται επαρκή εγγύα για τη συμμόρφωση ενός επαρκώς τυποποιημένου προϊόντος, μιας διαδικασίας ή υπηρεσίας ως προς συγκεκριμένα Πρότυπα ή άλλα κανονιστικά έγγραφα. Το Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας) δεν αποτελεί “Πιστοποιητικό Ελέγχου” για συγκεκριμένη παρτίδα (βλ. και Σχόλιο Παραγρ. 4.4).

Το Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας) δηλώνει ότι παρέχονται επαρκή εγγύα για τη συμμόρφωση ενός επαρκώς τυποποιημένου προϊόντος, μιας διαδικασίας ή υπηρεσίας ως προς συγκεκριμένα Πρότυπα ή άλλα κανονιστικά έγγραφα. Το Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας) δεν αποτελεί “Πιστοποιητικό Ελέγχου” για συγκεκριμένη παρτίδα (βλ. και Σχόλιο Παραγρ. 4.4).

Το Πιστοποιητικό Ελέγχου αναφέρεται στη συγκεκριμένη ποσότητα που συνοδεύει και μόνο σ’ αυτήν.

Η έννοια της παρτίδας προϋποθέτει ότι τα προϊόντα είναι του ίδιου εργοστασίου, της ίδιας κατηγορίας ποιότητας, της ίδιας διαμέτρου και προέρχονται από την ίδια χύτευση. Ωστόσο, στους δειγματοληπτικούς ελέγχους δεν αποκλείεται τα προϊόντα να προέρχονται από διαφορετικές χυτεύσεις.

Το ΥΠΑΝ και το ΥΠΧΩΔΕ έχουν θεσπίσει συγκεκριμένες διαδικασίες για δειγματοληπτικούς ελέγχους.

Για ράβδους, κουλούρες και ευθυγραμμισμένα προϊόντα θεωρείται επαρκές ένα συνολικό μήκος δείγματος 1,5m για την εκτέλεση του συνόλου των ελέγχων. Για τα πλέγματα θεωρείται επαρκές τεμάχιο διαστάσεων 1,0x1,0m. Για τα δικτυώματα δεν προτείνεται εδώ συγκεκριμένη μεθοδολογία δειγματοληπτικών ελέγχων. Σημειώνεται πάντως ότι στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 προβλέπονται διαδικασίες ελέγχου παραγωγής για τα τυποποιημένα δικτυώματα.

γωγής, στην οποία να αναφέρονται τα αποτελέσματα των παραπάνω δοκιμών που πραγματοποιεί με βάση μετρήσεις που έγιναν με τη συχνότητα που προβλέπεται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 και αφορούν την υπόψη χύτευση.

4.2 Έλεγχοι και κριτήρια συμμόρφωσης για τους εγχωρίως παραγόμενους χάλυβες

Οι εγχώριες μονάδες παραγωγής πρέπει να διαθέτουν για τους χάλυβες που παράγουν Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας), το οποίο εκδίδεται από τον ΕΛΟΤ, σύμφωνα με τις διατάξεις της απόφασης του ΥΠΑΝ οικ. 9529/645 (ΦΕΚ 649/Β/24-5-06), όπως αυτή τροποποιήθηκε με την απόφαση του ΥΠΑΝ οικ.13092/843 (ΦΕΚ 938/Β/18-7-06).

4.3 Έλεγχοι και κριτήρια συμμόρφωσης για χάλυβες παραγόμενους στις λοιπές χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης

Οι παραγόμενοι στις χώρες της Ε.Ε. χάλυβες πρέπει να συνοδεύονται από Πιστοποιητικό Συμμόρφωσης (Ποιότητας), εκδιδόμενο από Φορέα Πιστοποίησης διαπιστευμένο από Φορέα Διαπίστευσης ενός Κράτους Μέλους, από το οποίο θα προκύπτει ότι οι χάλυβες αυτοί είναι σύμφωνοι με τις κατηγορίες που αναφέρονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

4.4 Έλεγχοι και κριτήρια συμμόρφωσης για χάλυβες παραγόμενους σε τρίτες χώρες

Οι παραγόμενοι σε τρίτες χώρες χάλυβες πρέπει να συνοδεύονται από Πιστοποιητικό Ελέγχου το οποίο εκδίδεται από τον ΕΛΟΤ με βάση τις διατάξεις της απόφασης του ΥΠΑΝ οικ. 9529/645 (ΦΕΚ 649/Β/24-5-06) όπως αυτή τροποποιήθηκε με την απόφαση του ΥΠΑΝ οικ. 13092/843 (ΦΕΚ 938/Β/18-7-06).

4.5 Δειγματοληπτικοί έλεγχοι παρτίδας

4.5.1 Γενικά - Εφαρμογή

Ο χρήστης ή αρμόδια Δημόσια Αρχή δικαιούνται να προβαίνουν σε δειγματοληπτικούς ελέγχους για την επιβεβαίωση των χαρακτηριστικών των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που αποτελούν αντικείμενο του παρόντος Κανονισμού.

Οι χάλυβες που ελέγχονται διατίθενται σε ράβδους, κουλούρες, ευθυγραμμισμένα προϊόντα, φύλλα πλεγμάτων και δικτυώματα.

Τέτοια προϊόντα από διαμόρφωση είναι οι μανδύες, οι σπειροειδείς ή οι μεμονωμένοι συνδετήρες που συγκρατούνται συγκολλούμενοι σε βοηθητικές ράβδους κ.λπ.

Από την κουλούρα θα εξαιρούνται της δειγματοληψίας τα πρώτα και τα τελευταία 10m.

Ελέγχονται επίσης τα προϊόντα που προέρχονται από διαμόρφωση και κατεργασία των παραπάνω. Επισημαίνεται ότι τα επιμέρους στοιχεία που απαρτίζουν τα προϊόντα αυτά πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της κατηγορίας ποιότητάς τους. Ειδικά για τις περιπτώσεις συγκολλημένων προϊόντων ο έλεγχος θα γίνεται σύμφωνα και με την Παραγρ. 8.5 του παρόντος Κανονισμού.

Τα διαφορετικά δείγματα που απαιτούνται για τους ελέγχους θα λαμβάνονται ανάλογα με τη μορφή των προϊόντων ως εξής:

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

Οι έλεγχοι γίνονται ως εξής:

- Για τις διαστάσεις και την ανηγμένη μάζα σύμφωνα με την Παραγρ.4.5.2.
- Για τη γεωμετρία της επιφάνειας και των νευρώσεων (γεωμετρικά χαρακτηριστικά) σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.3.
- Για το όριο διαρροής, την εφελκυστική αντοχή, την επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο, το λόγο της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής και το λόγο της πραγματικής προς την ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής (δοκιμή εφελκυσμού) σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.4.
- Για την ικανότητα σε κάμψη (δοκιμή αναδίπλωσης) σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.5.
- Για τη χημική σύσταση σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.6.
- Για την αντοχή σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων (δοκιμή διάτμησης) σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.7.
- Για την αντοχή σε κόπωση σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.8
- Για τη διάβρωση σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.9.

4.5.2 Έλεγχος διατομής και ανηγμένης μάζας μιας παρτίδας

Ελέγχονται τρία δοκίμια, μήκους τουλάχιστον 0,50m τα οποία λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Τα δοκίμια πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγρ. 3.1.1.

Αν όλα τα δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επιπλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα. Η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού αν όλα τα επιπλέον δο-

κίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

4.5.3 Έλεγχος γεωμετρίας της επιφάνειας και των νευρώσεων

Ελέγχονται τρία δοκίμια, μήκους τουλάχιστον 0,50m, τα οποία λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Σε κάθε ένα δοκίμιο, για κάθε μια σειρά νευρώσεων και για κάθε είδους νευρώση θα υπολογίζεται ο μέσος όρος δύο μετρήσεων των επιμέρους γεωμετρικών χαρακτηριστικών με εξαίρεση την απόσταση, c , και το ύψος, h .

Η απόσταση των νευρώσεων, c , θα υπολογίζεται με την μέτρηση ενός διαστήματος μεταξύ 11 διαδοχικών νευρώσεων (ανεξαρτήτως κλίσης) το οποίο θα διαιρείται με 10.

Το ύψος, για κάθε είδος νευρώση, θα μετριέται σε πέντε τουλάχιστον διαδοχικές νευρώσεις της ίδιας γωνίας κλίσης. Ως ύψος της νευρώσης θα λαμβάνεται ο μέσος όρος των μετρήσεων.

Τα δοκίμια πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγρ. 3.1.2.

Αν όλα τα δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επιπλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα. Η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού αν όλα τα επιπλέον δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

4.5.4 Έλεγχος ιδιοτήτων σε εφελκυσμό

Ελέγχονται τρία δοκίμια, μήκους περίπου 0,70m, τα οποία λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Τα δοκίμια πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγρ. 3.2.1.

Αν και τα τρία αποτελέσματα των δοκιμών ικανοποιούν τις τιμές του Πιν. 3-3 τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επιπλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα της ίδιας παρτίδας, για τα οποία θα πρέπει να ικανοποιούνται ταυτόχρονα οι απαιτήσεις των παρακάτω εδαφίων I για τη μέση τιμή και II για κάθε μεμονωμένη τιμή. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

I) Για την μέση τιμή, m , των δέκα δοκιμών:

α) Όταν η ιδιότητα έχει κατώτερο όριο, θα πρέπει να ισχύει:

$$m \geq x_k + a$$

όπου x_k η χαρακτηριστική τιμή (βλ. Πιν. 3-3) και $a=10$ MPa για το f_y , και 0 για τα f_t/f_y και ε_u

β) Όταν η ιδιότητα έχει ανώτερο όριο, θα πρέπει να ισχύει:

$$m \leq x_k - a$$

όπου x_k η χαρακτηριστική τιμή (βλ. Πιν. 3-3) και $a=0,02$ για το λόγο $f_{y,act}/f_{y,nom}$ και 0 για το f_t/f_y

Οι μετρήσεις του ύψους των νευρώσεων εμφανίζουν μεγάλα σφάλματα σε σύγκριση με τα άλλα επιμέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά. Εξαιρούνται των μετρήσεων οι εντονότερες νευρώσεις, οι δηλωτικές της σήμανσης.

Στην περίπτωση που κάποιο αποτέλεσμα δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Πιν. 3-3, τότε εξετάζεται το δοκίμιο και ο τρόπος διεξαγωγής της δοκιμής. Εάν διαπιστωθεί τοπικό ελάττωμα του δοκιμίου που διέφυγε της οπτικής επιθεώρησης ή σφάλμα κατά τη δοκιμή, τότε το αποτέλεσμα αγνοείται και η δοκιμή επαναλαμβάνεται με άλλο δοκίμιο.

II) Κάθε μεμονωμένη τιμή θα πρέπει να βρίσκεται μέσα στα όρια που καθορίζονται στους Πιν. 4-1 και 4-2.

Πίνακας 4-1 Ελάχιστες τιμές εφελκυστικών ιδιοτήτων για την κατηγορία χαλύβων B500A κατά ΕΛΟΤ 1421-2

Ιδιότητα	Απόλυτο ελάχιστο
f_y (MPa)	485
f_t/f_y	1,03 ^a
ϵ_u (%)	2 ^b
^a $f_t/f_y \geq 1,02$ για $d < 6\text{mm}$ ^b $\epsilon_u \geq 1,5 \%$ για $d < 6\text{mm}$	

Πίνακας 4-2 Ελάχιστες και μέγιστες τιμές εφελκυστικών ιδιοτήτων για την κατηγορία χαλύβων B500C κατά ΕΛΟΤ 1421-3

Ιδιότητα	Απόλυτο ελάχιστο	Απόλυτο μέγιστο
f_y (MPa)	485	-
$f_{y,act}/f_{y,nom}$	-	1,27
f_t/f_y	1,13	1,37
ϵ_u (%)	7	-

4.5.5 Έλεγχος σε αναδίπλωση

Ελέγχονται τρία δοκίμια, μήκους περίπου 0,70m, τα οποία λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Η δοκιμή αναδίπλωσης πραγματοποιείται με κυλινδρικά στελέχη ελάχιστης διαμέτρου 3d για χάλυβες με ονομαστική διάμετρο έως και 16mm, και 6d για χάλυβες με ονομαστική διάμετρο πάνω από 16mm (Παραγρ. 7.2.6.2 ΕΛΟΤ EN 10080).

Επιτυχής θεωρείται ο έλεγχος όταν δεν προκληθεί θραύση ή όταν δεν εμφανισθούν ρωγμές στο δοκίμιο. Αν όλα τα δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο, τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επιπλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα. Η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού αν όλα τα επιπλέον δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

4.5.6 Έλεγχος χημικής σύστασης

Υποβάλλονται σε χημική ανάλυση δύο δοκίμια, μήκους περίπου 0,10m, τα οποία λαμβάνονται από δύο διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Η χημική σύσταση θα πρέπει να ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Πιν. 3-5. Αν και τα δύο δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, η παρτίδα απορρίπτεται.

4.5.7 Έλεγχος αντοχής σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων πλεγμάτων

Η αντοχή των σταυρωτών σημειακών συγκολλήσεων ελέγχεται με τη δοκιμή διάτμησης. Για το σκοπό αυτό λαμβάνονται τρία δοκίμια, τα οποία πρέπει να περιλαμβάνουν μία

Ειδικότερες απαιτήσεις για τα διάφορα είδη πλεγμάτων παρουσιάζονται κατά περίπτωση στο Κεφ. 9.

σύνδεση. Τα αποτελέσματα και των τριών δοκιμών θα πρέπει να ικανοποιούν την απαίτηση της Παραγρ.3.2.2.

Αν όλα τα δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο, τότε η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του Κανονισμού αυτού. Αν έστω και ένα δοκίμιο δεν ικανοποιεί τις απαιτήσεις, λαμβάνονται δέκα επιπλέον δοκίμια από διαφορετικά δείγματα. Η παρτίδα θεωρείται ότι ικανοποιεί τις απαιτήσεις του παρόντος Κανονισμού αν όλα τα επιπλέον δοκίμια περάσουν επιτυχώς τον έλεγχο. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

4.5.8 Έλεγχος αντοχής σε κόπωση

Στις περιπτώσεις που απαιτείται έλεγχος της αντοχής σε κόπωση (βλ. και Παράρτημα Π10), η δοκιμή γίνεται σύμφωνα με την Παραγρ. 3.2.4 και ανάλογα με τους πρόσθετους όρους που θα έχουν συμφωνηθεί μεταξύ παραγωγού και χρήστη.

4.5.9 Οπτική επιθεώρηση και έλεγχος διάβρωσης

Εάν η επιφάνεια των χαλύβων παρουσιάζει σημαντική αλλοίωση λόγω διάβρωσης, γενικευμένη ή εντοπισμένη, εξετάζεται η περίπτωση είτε της μερικής ή ολικής απόρριψης της παρτίδας είτε της διεξαγωγής ειδικού εργαστηριακού ελέγχου για τον προσδιορισμό της ποσότητας των προϊόντων διάβρωσης.

Για το σκοπό αυτό θα λαμβάνονται έξι δείγματα, αντιπροσωπευτικά της υπό εξέταση παρτίδας, ελάχιστου μήκους 0,25m.

Σε κάθε δείγμα υπολογίζεται η μάζα των οξειδίων με τη διαδικασία που περιγράφεται στην Παραγρ. 10.2. Αν η μέση τιμή των μετρήσεων είναι μικρότερη από 300gr/m² τότε η παρτίδα γίνεται αποδεκτή. Πάντως, σε κάθε περίπτωση, οι απαιτήσεις για τη γεωμετρία των νευρώσεων πρέπει να ικανοποιούνται (βλ. Παραγρ. 4.5.3). Εάν η μέση τιμή της μάζας των οξειδίων είναι μεγαλύτερη από 300gr/m², γίνεται περαιτέρω έλεγχος για τη διαπίστωση βελονισμών. Σε κάθε δείγμα γίνεται μέτρηση του βάθους βελονισμών σε τρεις θέσεις στα πλέον οξειδωμένα σημεία. Εάν το βάθος των βελονισμών σε όλες τις θέσεις είναι μικρότερο από το κρίσιμο βάθος που ορίζεται στην Παραγρ. 10.2, τότε ο χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί, αφού προηγουμένως καθαριστεί. Αν το βάθος των βελονισμών είναι μεγαλύτερο από το κρίσιμο βάθος, έστω και σε μία θέση, τότε η παρτίδα απορρίπτεται.

Στους συνήθεις δειγματοληπτικούς ελέγχους δεν περιλαμβάνεται ο έλεγχος αντοχής σε κόπωση.

Ειδικά για τους ελέγχους διάβρωσης και δεδομένου ότι πρόκειται για ελέγχους απόρριψης ή λήψης ειδικών μέτρων, τα δείγματα θα λαμβάνονται από τις περισσότερες διαβρωμένες περιοχές των ράβδων.

Κεφάλαιο 5: ΔΙΑΚΙΝΗΣΗ

Οι μονάδες διακίνησης ή/και διαμόρφωσης χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος είναι γνωστές και ως "μάντρες".

Συνιστάται όπως ο τεχνικός είναι απόφοιτος ανώτατης πανεπιστημιακής ή τεχνολογικής εκπαίδευσης με σχετική ειδικότητα.

Η ταξινόμηση κατά διάμετρο, μήκος (για ευθύγραμμες ράβδους) ή άλλα χαρακτηριστικά διαστάσεων και βάρους (για κουλούρες), που συνήθως γίνεται για πρακτικούς λόγους στις μονάδες διακίνησης και διαμόρφωσης, πρέπει να γίνεται με τρόπο που να μην προκαλεί σύγχυση ή δυσκολία σχετικά με τη δυνατότητα αναγνώρισης της κατηγορίας ποιότητας και της προέλευσης των υλικών.

Συνιστάται κατά την αποθήκευση να λαμβάνεται υπόψη η ημερομηνία παραλαβής, έτσι ώστε οι χάλυβες να παραμένουν αποθηκευμένοι το ελάχιστο δυνατό χρονικό διάστημα.

Τα προστατευτικά μέτρα εφαρμόζονται:

- Στα εργοστάσια και τις αποθήκες των παραγωγών
- Στις μονάδες διακίνησης ή/και διαμόρφωσης οπλισμού
- Στο εργοτάξιο όπου θα χρησιμοποιηθούν οι χάλυβες, αν πρόκειται να παραμείνουν σε αυτό για μεγάλο χρονικό διάστημα κατά το οποίο κινδυνεύουν να υποστούν αλλοιώσεις.

5.1 Γενικά

Οι παρακάτω διατάξεις αναφέρονται στη διακίνηση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, μετά την παραγωγή τους. Αφορούν δηλαδή τη διάθεσή τους από τους παραγωγούς, τους εισαγωγείς, τους κάθε είδους προμηθευτές και τις τοπικές μονάδες διακίνησης.

Κάθε μονάδα διακίνησης χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιεί τις βασικές απαιτήσεις σχετικά με την οργάνωση, τον εξοπλισμό και την τεχνική στελέχωση. Ειδικότερα τα ζυγιστικά όργανα, αυτά θα είναι διακριβωμένα, το δε Πιστοποιητικό διακρίβωσης θα είναι το πολύ ενός έτους.

Η μονάδα υποχρεούται να παρακολουθεί τις ενδεχόμενες τροποποιήσεις των κατασκευαστικών απαιτήσεων των Κανονισμών, να επιμορφώνει κατάλληλα το προσωπικό και να προσαρμόζει τον εξοπλισμό της, αν ταυτόχρονα λειτουργεί και ως μονάδα διαμόρφωσης (βλ. Κεφ. 6).

5.2 Στελέχωση μονάδων διακίνησης

Κάθε μονάδα θα απασχολεί έναν τουλάχιστον τεχνικό, ο οποίος πρέπει να είναι σε θέση να αναγνωρίζει τις διαφορετικές κατηγορίες των διακινούμενων χαλύβων και να τηρεί το αντίστοιχο αρχείο Πιστοποιητικών των προμηθευτών.

5.3 Αποθήκευση

Κατά την αποθήκευσή τους οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος θα ταξινομούνται ανάλογα με την κατηγορία ποιότητας και την προέλευση (προμηθευτής, χώρα). Σε κάθε περίπτωση, πρέπει να είναι δυνατή η ευχερής επιτόπου επαλήθευση της ταυτότητας των προϊόντων.

Κατά την αποθήκευσή τους οι χάλυβες πρέπει να προστατεύονται από διάβρωση, μηχανική φθορά, βλάβη ή πηλγές και από οτιδήποτε θα μπορούσε να επηρεάσει τη συνάφειά τους με το σκυρόδεμα και γενικότερα να αλλοιώσει τα χαρακτηριστικά τους.

Για την αποφυγή διάβρωσης κατά την αποθήκευση των χαλύβων, θα λαμβάνονται τα εξής προστατευτικά μέτρα:

- Τοποθέτηση πάνω σε κατάλληλα υποστηρίγματα ή υποθέματα
- Εξασφάλιση αποστράγγισης του χώρου
- Αποφυγή επαφής με νερό και χώμα
- Κατάλληλος προγραμματισμός προμήθειας, διάθεσης, διαμόρφωσης και τοποθέτησης του χάλυβα, έτσι ώστε, να παραμένει, τόσο στον αποθηκευτικό χώρο όσο και στο εργοτάξιο, το ελάχιστο δυνατό χρονικό διάστημα.

Ειδικά για συνθήκες περιβάλλοντος κατηγορίας 3 και 4 κατά ΕΚΩΣ, η αποθήκευση επιβάλλεται να γίνεται σε στεγασμένους και επαρκώς προστατευμένους χώρους.

Οι χάλυβες πρέπει να είναι απαλλαγμένοι από ακαθαρσίες (λάδια, γράσα, λάσπες, χώματα) ή προϊόντα διάβρωσης. Σε

περίπτωση που υπάρχουν ακαθαρσίες, θα προηγείται της χρήσης καθαρισμός με κατάλληλα και ασφαλή για την υγεία μέσα καθαρισμού.

Όταν διαπιστώνεται διάβρωση θα εφαρμόζονται τα αναφερόμενα στο Κεφ. 10.

Κάθε φορά που οι χάλυβες μετακινούνται από το χώρο αποθήκευσης, πρέπει να ελέγχονται για να διαπιστωθεί αν υπάρχει μεταβολή της κατάστασής τους. Στις συνήθεις περιπτώσεις είναι αρκετός ο οπτικός έλεγχος. Αν η χρονική περίοδος της αποθήκευσης είναι μεγαλύτερη από τρεις μήνες, τότε ο έλεγχος θα γίνεται κάθε τρεις μήνες. Αν οι γενικότερες συνθήκες είναι δυσμενείς (π.χ. συνθήκες περιβάλλοντος κατηγορίας 3 και 4 κατά ΕΚΩΣ), ο έλεγχος θα γίνεται ανά δίμηνο.

Η χρήση χαλύβων που είναι εκτεθειμένοι στο ύπαιθρο χωρίς προστασία για διάστημα μεγαλύτερο από έξι μήνες επιτρέπεται μόνο μετά από τη διεξαγωγή ελέγχων (στην κατάσταση που βρίσκονται) για τη διαπίστωση της καταλληλότητας και της συμμόρφωσης προς τις απαιτήσεις που προβλέπονται στο Κεφ. 3. Σε περίπτωση που διαπιστωθεί σημαντική αλλοίωση λόγω διάβρωσης θα γίνεται έλεγχος σύμφωνα με τις Παραγρ. 4.5.9 και 10.2.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται σε ότι αφορά την προστασία από διάβρωση για τα διαμορφωμένα προϊόντα τα οποία εμφανίζουν μεγαλύτερο κίνδυνο διάβρωσης σε σχέση με τα μη διαμορφωμένα. Για το λόγο αυτό ο χρόνος που μεσολαβεί από τη διαμόρφωσή τους μέχρι τη σκυροδέτηση δεν πρέπει να υπερβαίνει τους δύο μήνες. Αν χρειάζεται μεγαλύτερος χρόνος παραμονής, ακόμη και αν οι συνθήκες περιβάλλοντος δεν είναι κατηγορίας 3 και 4 κατά ΕΚΩΣ, τότε θα πρέπει να τοποθετούνται σε στεγασμένο και επαρκώς προστατευόμενο χώρο.

5.4 Μεταφορά

Πρέπει να λαμβάνεται πρόνοια ώστε κατά τη μεταφορά οι χάλυβες να μην υφίστανται κακώσεις ή φθορές (μηχανικές φθορές ή διάβρωση). Ειδικότερα δεν επιτρέπεται:

- Η δημιουργία πληγών και εγχοπών ή άλλων μηχανικών βλαβών
- Η επαφή με ουσίες που πιθανώς προκαλούν μείωση της συνάφειας ή προβλήματα διάβρωσης
- Η πρόκληση μόνιμων παραμορφώσεων που αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά των χαλύβων, όπως έχουν παραχθεί και περιγράφονται στην παραγγελία (βλ. Παραγρ.5.5) ή όπως έχουν διαμορφωθεί και περιγράφονται στο Τεχνικό Δελτίο Παράδοσης για εφαρμογή σε συγκεκριμένο έργο (βλ. Παραγρ.5.6)
- Η καταστροφή ή αλλοίωση στοιχείων των πινακίδων ταυτότητας.

Όταν ο χάλυβας μεταφέρεται με πλοία, τόσο κατά τη μεταφορά όσο και κατά την παραμονή του στις αποβάθρες, απαιτούνται ειδικά μέτρα προστασίας για την αποφυγή διαβροχής με θαλασσινό νερό. Στην περίπτωση διαβροχής ακολουθούνται τα περί επιθεώρησης και ελέγχων κατά την Παραγρ. 4.5.9, ενώ σε κάθε περίπτωση γίνεται συστηματικός καθαρισμός (κατά προτίμηση με αμμοβολή) και η κατά το δυνατόν ταχύτερη ενσωμάτωσή του στο σκυρόδεμα.

Η εκφόρτωση διαμορφωμένου οπλισμού με ανατροπή απαγορεύεται αυστηρά. Η εκφόρτωση μη διαμορφωμένου (ευθύγραμμου ή σε κουλούρες) οπλισμού συνιστάται να μη γίνεται με ανατροπή, αν όμως αυτό δεν είναι εφικτό, απαγορεύεται η χρήση γράσου ή παρεμφερούς υλικού για τη διευκόλυνση της ολίσθησής του.

Τα δέματα ράβδων και πλεγμάτων καθώς και οι κουλούρες απαγορεύεται να αναρτώνται από τα δεσίματα συσκευασίας-συγκράτησης, για λόγους ασφαλείας (βλ. και Παράρτημα Π9).

Σωστή αποστολή και παράδοση προϋποθέτει σωστή παραγγελία. Τυποποιημένα Τεχνικά Δελτία Παραγγελίας, βοηθούν σε αυτήν την κατεύθυνση. Η διατήρηση τους, σε σχετικό αρχείο, είναι χρήσιμη, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις αμφισβητήσεων.

Στα στάδια διακίνησης εντάσσεται και η μεταφορά από τη μονάδα διάθεσης στο εργοτάξιο.

Οι πληροφορίες του Τεχνικού Δελτίου Παράδοσης μπορούν να περιέχονται στο Δελτίο Αποστολής ή/και στο Πιστοποιητικό ελέγχου παραγωγής.

Αφορά τα εργοστάσια ή τις μονάδες διαμόρφωσης.

5.5 Παραγγελία

Η παραγγελία των χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος, πρέπει να περιλαμβάνει κατ' ελάχιστον τις εξής πληροφορίες:

- Την προέλευση τους
- Την περιγραφή τους (μορφή, διαστάσεις, ονομαστική διάμετρος κ.λπ.)
- Τις ποσότητες ανά κατηγορία.

5.6 Συνοδευτικά έγγραφα

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος που παράγονται σύμφωνα με τις απαιτήσεις αυτού του Κανονισμού, πρέπει σε όλα τα στάδια της διακίνησής τους να συνοδεύονται από:

α) Το Δελτίο Αποστολής

β) Το Τεχνικό Δελτίο Παράδοσης, το οποίο πρέπει να περιέχει τις παρακάτω πληροφορίες:

- Τον αριθμό του σχετικού Δελτίου Αποστολής
- Τη χώρα και το εργοστάσιο παραγωγής
- Την κατηγορία του χάλυβα
- Τη σήμανση του προϊόντος
- Τις ποσότητες ανά κατηγορία και ανά διάμετρο
- Τον αριθμό του Πιστοποιητικού Συμμόρφωσης ή του Πιστοποιητικού Ελέγχου
- Τις όποιες εργασίες διαμόρφωσης έγιναν από τη μονάδα διαμόρφωσης (βλ. Κεφ. 6).

Τα αναγραφόμενα στο Τεχνικό Δελτίο Παράδοσης επέχουν θέση Υπεύθυνης Δήλωσης.

γ) Αντίγραφο των Πιστοποιητικών ελέγχου παραγωγής, όπως εκδίδονται από τον παραγωγό (mill test certificates).

δ) Αντίγραφο Πιστοποιητικού Συμμόρφωσης από ανεξάρτητο Φορέα ή, στην περίπτωση που δεν έχει ακόμη θεσπισθεί νομοθετικά, υπεύθυνη δήλωση του εργοστασίου ή της μονάδας διαμόρφωσης απ' όπου θα προκύπτει ότι οι εργασίες διαμόρφωσης ή/και συγκόλλησης έγιναν σύμφωνα με τις απαιτήσεις του παρόντος Κανονισμού και ότι το τελικό προϊόν παραμένει στην ίδια κατηγορία ποιότητας μετά από αυτές τις εργασίες.

Πέραν του Τεχνικού Δελτίου Παράδοσης, κάθε ακέραιο δέμα ράβδων και κάθε κουλούρα πρέπει να φέρουν πινακίδα, σταθερά συνδεδεμένη, στην οποία να περιέχεται κατ' ελάχιστο οι εξής πληροφορίες:

- Η χώρα και το εργοστάσιο παραγωγής
- Η κατηγορία των χαλύβων
- Ο μήνας και το έτος παραγωγής
- Ο αριθμός χύτευσης
- Ο αριθμός του Πιστοποιητικού Συμμόρφωσης ή Ελέγχου
- Η ονομαστική διάμετρος
- Η σήμανση.

Κεφάλαιο 6: ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ - ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

6.1 Γενικές απαιτήσεις

Η διαμόρφωση γίνεται είτε στο εργοτάξιο είτε σε μονάδες διαμόρφωσης οι οποίες πληρούν τις απαιτήσεις οργάνωσης, εξοπλισμού και τεχνικής στελέχωσης που καθορίζονται στη συνέχεια.

Η κοπή, η κάμψη και η εν γένει διαμόρφωση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος θα γίνεται σύμφωνα με τα κατάσκευαστικά σχέδια και τις απαιτήσεις του ΕΚΩΣ.

6.2 Μονάδες διαμόρφωσης οπλισμού

6.2.1 Στελέχωση μονάδων διαμόρφωσης

Κάθε μονάδα διαμόρφωσης χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος θα απασχολεί έναν τουλάχιστον τεχνικό, απόφοιτο ανώτατης πανεπιστημιακής ή τεχνολογικής εκπαίδευσης με σχετική ειδικότητα, ο οποίος θα είναι υπεύθυνος για την ορθή εφαρμογή των κατασκευαστικών σχεδίων και της μελέτης. Επίσης, θα πρέπει να είναι σε θέση:

- Να αναγνωρίζει τις διαφορετικές κατηγορίες των διακινούμενων χαλύβων και να τηρεί το αντίστοιχο αρχείο των συνοδευτικών εγγράφων που χορηγούν οι προμηθευτές
- Να κατανοεί τα κατασκευαστικά σχέδια και τα σχέδια των ξυλοτύπων και γενικότερα τις απαιτήσεις του Μελετητή ή του Επιβλέποντος Μηχανικού σχετικά με τη διαμόρφωση των χαλύβων, σε συνδυασμό με το Δελτίο Παραγγελίας
- Να γνωρίζει τις βασικές κατασκευαστικές διατάξεις των Κανονισμών, για την κοπή και για την κάμψη των ράβδων οπλισμού
- Να επιβλέπει την κοπή, την κάμψη, τη διαμόρφωση των οπλισμών γενικά, καθώς και τις συγκολλήσεις που γίνονται στη μονάδα διαμόρφωσης.

6.2.2 Βασικές απαιτήσεις λειτουργίας

Οι μονάδες διαμόρφωσης χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, πέραν των απαιτήσεων λειτουργίας που ισχύουν για κάθε επιχείρηση (π.χ. άδεια λειτουργίας), υποχρεούνται να παρακολουθούν και να γνωρίζουν τις ενδεχόμενες τροποποιήσεις των σχετικών διατάξεων των Κανονισμών. Υποχρεούνται επίσης να δρομολογούν και να υποστηρίζουν την επιμόρφωση του προσωπικού τους, καθώς και να προσαρμόζουν κατάλληλα ή/και να ανανεώνουν έγκαιρα τον εξοπλισμό διαμόρφωσης.

Για τις μονάδες διαμόρφωσης έχουν εφαρμογή οι διατάξεις του Κεφ. 5.

Ενδεικτικά αναφέρονται αναδιπλωμένα πλέγματα, εσχάρες, κλωβοί, σπειροειδείς συνδετήρες, μεμονωμένοι συνδετήρες που συγκρατούνται με συγκολλημένες βοηθητικές ράβδους.

Αν η μονάδα διαμόρφωσης παραλαμβάνει από παραγωγό ή από άλλον προμηθευτή οποιασδήποτε μορφής πλήρως ή μερικώς προδιαμορφωμένους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, διατηρεί την ευθύνη τήρησης των συνολικών απαιτήσεων της μελέτης και των Κανονισμών σχετικά με την ποιότητα των χαλύβων και την τελική διαμόρφωσή τους.

6.3 Ευθυγράμμιση οπλισμού

Αν η μονάδα διαμόρφωσης ευθυγραμμίζει κουλούρες, με χρήση κατάλληλων διατάξεων, πρέπει να εφαρμόζει μία τεκμηριωμένη διαδικασία, η οποία θα διασφαλίζει ότι τα ευθυγραμμισμένα προϊόντα συνεχίζουν, και μετά την ευθυγράμμιση, να ικανοποιούν τις καθορισμένες απαιτήσεις για τους χάλυβες οπλισμού, όπως ορίζονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

6.4 Κοπή οπλισμού

Η κοπή με φλόγα συνιστάται να αποφεύγεται επειδή κατά τη διαδικασία κοπής ενδέχεται να επηρεασθούν τμήματα της ίδιας της ράβδου ή/και άλλων γειτονικών της.

Η κοπή των ράβδων οπλισμού θα γίνεται με μηχανικά μέσα (ψαλίδι, δίσκο κ.λπ.) και θα λαμβάνεται πρόνοια ώστε να μην προκαλούνται μηχανικές ή άλλες βλάβες.

6.5 Κάμψη οπλισμού

Η ελάχιστη διάμετρος D του κυλινδρικού στελέχους καθορίζεται από την ανηγμένη παραμόρφωση θραύσης του χάλυβα υπό καμπτικές συνθήκες.

Η κάμψη πρέπει να γίνεται με μία διάμετρο, D , του κυλινδρικού στελέχους (τυμπάνου), έτσι ώστε να αποφεύγεται εξάντληση της παραμόρφωσης θραύσης του χάλυβα και να εξασφαλίζεται η ακεραιότητα του σκυροδέματος από τις αναπτυσσόμενες τοπικά, στην περιοχή της καμπύλωσης, ισχυρές πιέσεις άντυνας.

Οι μονάδες διαμόρφωσης και τα εργοτάξια υποχρεούνται να διαθέτουν τον κατάλληλο εξοπλισμό για την κάμψη των χαλύβων σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Κανονισμών. Απαραίτητως πρέπει να υπάρχουν κυλινδρικά στελέχη με όλες τις απαιτούμενες διαμέτρους που χρησιμοποιούνται για την κάμψη.

Οι ελάχιστες διαμέτρους καμπύλωσης για τους χάλυβες κατηγορίας B500C λαμβάνονται από τον Πιν. 17.1 (στήλη S500) του ΕΚΩΣ. Στην περίπτωση κάμψης χαλύβων κατηγορίας B500A οι διαμέτρους καμπύλωσης του Πιν. 17.1, τριπλασιάζονται.

Η κάμψη των ράβδων πρέπει να γίνεται αποκλειστικά με μηχανικά μέσα, με χρήση κυλινδρικών στελεχών κάμψης, έτσι ώστε το καμπύλο τμήμα της ράβδου να έχει σταθερή ακτίνα καμπυλότητας. Η κάμψη θα γίνεται με σταθερή ταχύτητα χωρίς κραδασμούς.

Η κάμψη οπλισμών που έχουν προηγουμένως συγκολληθεί (ανεξαρτήτως του τύπου της σύνδεσης), επιτρέπεται υπό τις προϋποθέσεις των σχετικών διατάξεων της Παραγρ. 17.2.3.2 του ΕΚΩΣ που αφορούν τις ελάχιστες διαμέτρους των κυλινδρικών στελεχών κάμψης, καθώς και τις ελάχιστες αποστάσεις της συγκόλλησης από την αρχή καμπύλωσης των ράβδων. Για τις συγκολλήσεις επί κεκαμμένων ράβδων ισχύουν τα προβλεπόμενα στην Παραγρ. 8.4.1

Σε ορισμένες περιπτώσεις ενδέχεται να είναι αναγκαία η κάμψη με φλόγα ή η επανευθυγράμμιση καμφθείσας ράβδου. Εάν, κατά την κρίση του Επιβλέποντα Μηχανικού, οι αντίστοιχες επιπτώσεις δεν είναι απαγορευτικές για την κατασκευή, η κάμψη με φλόγα ή η επανευθυγράμμιση μπορούν να πραγματοποιούνται με την προϋπόθεση ότι θα λαμβάνονται υπόψη τα ακόλουθα:

- Στην περίπτωση χαλύβων ΘΕ-Θ (συνήθης μέθοδος παραγωγής των χαλύβων B500C) ή ΨΚ-Ο, η χρήση φλόγας οδηγεί σε μείωση της αντοχής (βλ και Παραγρ. 3.6.2). Εάν αυτή η μείωση της αντοχής δεν είναι αποδεκτή, η χρήση φλόγας απαγορεύεται
- Στην περίπτωση χαλύβων ΘΕ-Χ, η θέρμανση για κάμψη ή επανευθυγράμμιση, κατ' αρχήν επιτρέπεται
- Ανεξαρτήτως της μεθόδου παραγωγής του χάλυβα, η επανευθυγράμμιση ράβδου, χωρίς θέρμανση, ενδέχεται να εξαντλήσει την ικανότητα παραμόρφωσης και γι' αυτό πρέπει να αποφεύγεται

Στην περίπτωση επανευθυγράμμισης με χρήση φλόγας θα πρέπει:

- Η θερμοκρασία να είναι μεγαλύτερη των 750°C χωρίς όμως να υπερβεί τους 1000°C
- Η θέρμανση να είναι ομοιόμορφη σε όλη την περιοχή της κάμψης (τουλάχιστον 5cm εκατέρωθεν) και να αποφεύγεται οποιασδήποτε μορφής απότομη ψύξη
- Η επαναφορά να γίνεται αργά και με σταθερή δύναμη έως ότου η ράβδος επανέλθει στην αρχική ευθυγράμμια και σε καμία περίπτωση να μην την υπερβεί

Το εργοστάσιο ή η μονάδα διαμόρφωσης θα πρέπει μεταξύ των άλλων να:

- Εφαρμόζει τυποποιημένες και επαναλήψιμες διαδικασίες συγκόλλησης με βάση γραπτές οδηγίες σύμφωνα με τις ισχύουσες προδιαγραφές
- Είναι πιστοποιημένη ως προς την ικανότητα εφαρμογής συγκεκριμένων μεθόδων συγκόλλησης και τύπων σύνδεσης από αρμόδιο εγκεκριμένο Φορέα (βλ. Κεφ. 8)
- Απασχολεί τεχνίτες συγκολλητές πιστοποιημένους για αυτές τις διαδικασίες.

Γενικώς, απαγορεύεται η κάμψη των ράβδων με φλόγα, διότι ενδέχεται να οδηγήσει σε σημαντική υποβάθμιση της εφελκυστικής αντοχής και της παραμόρφωσης θραύσης (βλ. και Παραγρ. 3.6.2).

Γενικώς, απαγορεύεται η επανευθυγράμμιση καμφθείσας ράβδου, διότι οδηγεί σε ακόμη μεγαλύτερη υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών, που είχε προκληθεί με την προηγηθείσα κάμψη.

6.6 Συγκόλληση

Οι συνδέσεις ράβδων οπλισμού με συγκόλληση επιτρέπεται να γίνονται στις μονάδες διαμόρφωσης, στο εργοστάσιο και στο εργοτάξιο. Οι επιτρεπόμενες μέθοδοι συγκόλλησης και τύποι σύνδεσης περιγράφονται στο Κεφ. 8 του παρόντος Κανονισμού.

6.7 Έλεγχος και παραλαβή οπλισμού στο έργο

Κατά την παράδοση των χαλύβων οπλισμού στο έργο, ο Επιβλέπων Μηχανικός θα ελέγχει, με βάση το Τεχνικό Δελτίο Παραγγελίας και το Τεχνικό Δελτίο Παράδοσης της μονάδας διάθεσης ή διαμόρφωσης, αν οι παραλαμβανόμενοι οπλισμοί καλύπτουν τις βασικές απαιτήσεις ως προς:

- Την ποιότητα των υλικών
- Τη συμμόρφωση των εργασιών διαμόρφωσης με τις απαιτήσεις των Κανονισμών ή/και των ειδικών απαιτήσεων του έργου και
- Την προέλευση των υλικών, όπως αυτή έχει ζητηθεί από το Τεχνικό Δελτίο Παραγγελίας.

Σε περίπτωση διαπίστωσης μη συμμόρφωσης, απαγορεύεται η ενσωμάτωσή των χαλύβων στο έργο, εκτός αν γίνουν πρόσθετοι κατάλληλοι έλεγχοι (βλ. και Παραγρ. 4.5).

6.8 Διαμόρφωση οπλισμού στο εργοτάξιο

Οι απαιτήσεις για τη διαμόρφωση του οπλισμού στο εργοτάξιο δεν διαφοροποιούνται εκείνων που ισχύουν για τις μονάδες διαμόρφωσης. Υπεύθυνος για την επάρκεια και την καταλληλότητα του εξοπλισμού διαμόρφωσης είναι ο αρμόδιος εργολάβος ή υπεργολάβος.

6.9 Ανοχές διαμόρφωσης και τοποθέτησης οπλισμού

Οι διαμορφωμένες ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος πρέπει να ικανοποιούν τις παρακάτω απαιτήσεις ανοχών (οι οποίες αντιστοιχούν σε πιθανή απόκλιση ΔL μιας διάστασης L ως προς την ονομαστική της τιμή):

- Ανοχές μήκους κοπής ενός ευθύγραμμου τμήματος μήκους L :

$L \leq 6m$	$\Delta L = \pm 20mm$
$L > 6m$	$\Delta L = \pm 30mm$
- Ανοχές μήκους κεκαμμένου τμήματος μήκους L :

$L \leq 0,5m$	$\Delta L = \pm 10mm$
$0,5m < L \leq 1,5m$	$\Delta L = \pm 15mm$
$1,5m < L \leq 6m$	$\Delta L = \pm 20mm$
$L > 6m$	$\Delta L = \pm 30mm$
- Ανοχές απόστασης μεταξύ διαδοχικών παράλληλων ράβδων, για απόσταση L μεταξύ των ράβδων:

$L \leq 0,05m$	$\Delta L = \pm 5mm$
$0,05m < L \leq 0,20m$	$\Delta L = \pm 10mm$
$0,20m < L$	$\Delta L = \pm 20mm$
- Ανοχές επικάλυψης του οπλισμού:
Ισχύουν οι απαιτήσεις του Κεφ.5 του ΕΚΩΣ.

6.10 Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων

Κατά τη διάρκεια εργασιών διαμόρφωσης και κατεργασίας χαλύβων οπλισμού, θα τηρούνται οι ισχύουσες διατάξεις για την Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων (βλ. Παράρτημα Π9).

Ανάλογα με την κατασκευή μπορεί να επιτραπεί μικρότερη ή να απαιτηθεί μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτό πρέπει να δηλώνεται στα σχέδια, επειδή έχει σημαντική επίπτωση στο κόστος. Οι υπερβολικά μικρές ανοχές αυξάνουν κατά πολύ το κόστος τοποθέτησης του οπλισμού, ενώ ενδέχεται να μην προσφέρουν κάτι ουσιαστικό στη συμπεριφορά των δομικών στοιχείων ή/και να μη μπορούν να τηρηθούν. Οι τιμές που δίνονται εδώ είναι από το CEB Bul. N°164 και αντιστοιχούν σε "καλής ποιότητας" εργασία τοποθέτησης και διάταξης του οπλισμού.

Κεφάλαιο 7: ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

Θα λαμβάνεται πρόνοια για:

- Συμμόρφωση προς το χρονικό προγραμματισμό του έργου
- Συμμόρφωση προς τις απαιτούμενες ανοχές, γενικώς, π.χ. κατά τον ΕΚΩΣ (Παραγρ. 5.2) ή κατά τον παρόντα Κανονισμό (Παραγρ. 6.9)
- Ικανοποίηση των απαιτήσεων σχετικά με τις αποστάσεις και τις ενώσεις των ράβδων, με το μήκος παράθεσης ή αγκύρωσης των ράβδων, καθώς και με τις επικαλύψεις του οπλισμού
- Αμεταθετότητα των ράβδων και σταθερότητα του κλωβού ή της διάταξης του οπλισμού
- Δυνατότητα εντυπώσεως, διάστρωσης και δόνησης/συμπύκνωσης του σκυροδέματος.

Όταν οι συνδετήρες των τοιχωμάτων/υποστρωμάτων (ή δοκών) δεν είναι καλά στερεωμένοι στις διαμήκεις ράβδους, είναι δυνατόν κατά τη σκυροδέτηση να μετατοπισθούν ή παρασυρθούν στη βάση του στοιχείου (χωρίς μάλιστα αυτό να γίνει αντιληπτό) ή, ακόμη, οι διαμήκεις ράβδοι να μετακινηθούν από την προβλεπόμενη θέση.

Για την εξασφάλιση της σταθερότητας, όταν ο οπλισμός δεν συναρμολογείται επιτόπου, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν δευτερεύουσες (βοηθητικές) ράβδοι οπλισμού ή χονδροσύρματα που γενικά θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν στην ανάλυση της έντασης. Πάντως, η διάταξη και η τοποθέτηση αυτών των πρόσθετων ράβδων οπλισμού πρέπει επίσης να ικανοποιούν τις βασικές απαιτήσεις των Κανονισμών (π.χ. να τοποθετούνται στο εσωτερικό των δομικών στοιχείων).

Η σύνδεση/συγκράτηση των ράβδων μεταξύ τους μπορεί να γίνει με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Με σύρμα διαμέτρου 1 έως 2mm (συνηθέστερα), απλό ή διπλό
- Με ειδικά εξαρτήματα (σπανιότερα)
- Με μη φέρουσα συγκόλληση (στην περίπτωση αυτή οι συγκολλήσεις πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Κεφ. 8).

Η ακρίβεια της τοποθέτησης αφορά τις αποστάσεις και τις ενώσεις των ράβδων μεταξύ τους καθώς και τις αποστάσεις από τον ξυλότυπο ή την ελεύθερη επιφάνεια.

Για τις απαιτήσεις σχετικά με τους αποστατήρες βλ. Παραγρ. 7.2.2. καθώς και το Παράρτημα Π.5.

Η απαίτηση αυτή κανονικά θα πρέπει να έχει ικανοποιηθεί ήδη από το στάδιο της μελέτης και της σύνταξης των λεπτομερειών όπλισης (αποφυγή συμφόρησης οπλισμού).

Το λάδωμα του ξυλότυπου θα προηγείται της τοποθέτησης του οπλισμού. Τα χρησιμοποιούμενα για το σκοπό αυτό λάδια θα είναι ειδικά, υδατοδιαλυτά και εγκεκριμένα. Ο καθαρισμός του οπλισμού από οργανικές ή λιπαρές ουσίες θα γίνεται με κατάλληλους οργανικούς διαλύτες ή κοινά

7.1 Διάταξη – Συγκράτηση - Στήριξη

Η διαμόρφωση και συναρμολόγηση του οπλισμού μπορεί να γίνεται:

- Σε μονάδες διαμόρφωσης οπλισμού
- Σε ειδικό χώρο του εργοταξίου
- Κοντά στο προς όπλιση δομικό στοιχείο, επί του ξυλότυπου.

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 και σκυροδέτηση/συμπύκνωση.

Ο οπλισμός πρέπει να εξασφαλίζεται έναντι μετατοπίσεων και η ακρίβεια της τοποθέτησης πρέπει να ελέγχεται πριν από τη σκυροδέτηση.

Η ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού πρέπει να εξασφαλίζεται με κατάλληλα στηρίγματα, υποθέματα και αποστατήρες.

Σε περιοχές με έντονη πύκνωση του οπλισμού πρέπει να εξασφαλίζεται η δυνατότητα διέλευσης δονητή, κατά επαρκείς αποστάσεις, ανάλογα με τη ρευστότητα του σκυροδέματος ή άλλους παράγοντες.

Σε κάθε περίπτωση, οι ράβδοι οπλισμού θα προστατεύονται από οτιδήποτε θα μπορούσε να επηρεάσει τη συνάφειά τους με το σκυρόδεμα. Οι ράβδοι οπλισμού πρέπει να είναι απαλλαγμένες από λάδια, γράσα, λάσπες,

Βλ. Παραγρ. 7.2.2, καθώς και το Παράρτημα Π.5.

Σε ειδικές περιπτώσεις, όπως π.χ. για την προστασία από διάβρωση (βλ. Παραγρ. 10.1 του παρόντος Κανονισμού), ενδέχεται να απαιτείται αυξημένη ελάχιστη επικάλυψη του οπλισμού.

Η απαιτούμενη απόσταση των αποστατήρων εξαρτάται από τη διάμετρο των στηριζόμενων οπλισμών, τη δυσκαμψία του στηριζόμενου πλέγματος οπλισμού, το βάρος που απαιτείται να αναληφθεί κατά την κατασκευή και σκυροδέτηση καθώς και από την αντοχή και δυσκαμψία των ίδιων των αποστατήρων (βλ. και Παράρτημα Π5).

Χαλύβδινοι ή άλλοι μεταλλικοί αποστατήρες κάθε είδους, σε επαφή με την επιφάνεια του σκυροδέματος, δεν επιτρέπονται επειδή κινδυνεύουν οι ίδιοι από διάβρωση, ενδέχεται μάλιστα να προκαλέσουν γαλβανικά στοιχεία με τον κύριο οπλισμό.

Για την προστασία των αναμονών από διάβρωση, και αφού προηγηθεί καθαρισμός (π.χ. με συρματόβουρτσα), μπορεί να γίνει επικάλυψη (π.χ. με ασφαλτόμιγμα) ή/και εγκιβωτισμός των ράβδων σε σκυρόδεμα, το οποίο μελλοντικά θα καθαριστεί.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται όχι μόνον για τα ενδεχόμενα γυμνά μήκη ράβδων αλλά, κυρίως, και για τις θέσεις απ' όπου αναδύονται οι αναμονές.

7.2 Επικαλύψεις -Αποστατήρες -Προστασία αναμονών - Επιδερμικός οπλισμός

7.2.1 Επικαλύψεις

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

Η ελάχιστη απαιτούμενη επικάλυψη για λόγους ανθεκτικότητας δίνεται από τον ΕΚΩΣ (Παραγρ.5.1 και Πιν. 5.1), συναρτήσει των συνθηκών περιβάλλοντος, του είδους του δομικού στοιχείου, της ποιότητας και του μέγιστου κόκκου των αδρανών του σκυροδέματος και της χρήσης του έργου.

Η ελάχιστη επικάλυψη που απαιτείται για λόγους συνάφειας δίνεται επίσης από τον ΕΚΩΣ (Παραγρ. 17.4, 17.5 και 5.1).

Η ελάχιστη επικάλυψη που απαιτείται για λόγους πυρασφάλειας, δίνεται από τον Κανονισμό Πυροπροστασίας των Κτιρίων, ανάλογα με τον απαιτούμενο δείκτη πυραντίστασης.

7.2.2 Απαιτήσεις για τους αποστατήρες

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

Τα τμήματα των αποστατήρων που έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του σκυροδέματος πρέπει να έχουν ανθεκτικότητα, σταθερότητα όγκου και να μη συμβάλλουν στη διάβρωση ή στην προσβολή του οπλισμού.

Οι αποστατήρες από κονία ή κονίαμα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά και εμφάνιση ανάλογα με εκείνα του περιβάλλοντος σκυροδέματος.

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.

7.2.3 Προστασία αναμονών

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

Για την κάμψη και επανευθυγράμμιση αναμονών ράβδων οπλισμού ισχύουν τα προβλεπόμενα στην Παραγρ. 6.5.

Εάν απαιτηθεί, του εγκιβωτισμού των αναμονών θα προηγείται καθαρισμός των ράβδων από σκουριές ή επιχρίσεις κάθε είδους, με συρματόβουρτσα ή άλλα μέσα (π.χ. αμμοβολή, υδροβολή).

Σημειώνεται ότι ο επιδερμικός οπλισμός δεν έχει την απαιτούμενη επικάλυψη και άρα είναι πιο ευάλωτος έναντι διάβρωσης, ή και πυρκαγιάς, με αποτέλεσμα μειωμένη διάρκεια ζωής ("θυσιαζόμενος οπλισμός"). Για το λόγο αυτό, συνιστάται να εξετάζονται και λύσεις που δεν απαιτούν χρήση επιδερμικού οπλισμού ή λύσεις με χρήση επιδερμικού οπλισμού ανθεκτικού σε διάβρωση, υπό την προϋπόθεση ότι σε κάθε περίπτωση δεν θα υπάρχει ασυμβατότητα με τον κυρίως οπλισμό.

Όταν τα διαθέσιμα μήκη ράβδων είναι ανεπαρκή, μπορούν να εφαρμόζονται άλλου τύπου ενώσεις όπως π.χ. συγκόλληση του νέου οπλισμού στον παλιό (βλ. και Παραγρ. 8.6), σύνδεση με μηχανικά μέσα (μούφες) κ.λπ., κατά την κρίση του Μηχανικού.

Στις κρίσιμες περιοχές δομικών στοιχείων με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας (βλ. Παραγρ. 18.3, 18.4.5 και 18.5.2 του ΕΚΩΣ) συνιστάται εν γένει να αποφεύγονται οι ενώσεις με συγκόλληση.

Στο Παράρτημα Π6 δίνεται ένα βοήθημα ελέγχου για τον Επιβλέποντα Μηχανικό.

7.2.4 Επιδερμικός οπλισμός

Όταν είναι απαραίτητη η τοποθέτηση ειδικού λεπτού επιδερμικού οπλισμού θα εφαρμόζονται οι διατάξεις του ΕΚΩΣ, Παραγρ. 5.1 και 15.6.

7.3 Ενώσεις

7.3.1 Ενώσεις με υπερκάλυψη - παράθεση

Η διάταξη των ενώσεων και το απαιτούμενο μήκος παράθεσης ορίζονται στην Παραγρ. 17.7.2 του ΕΚΩΣ.

7.3.2 Ενώσεις με μηχανικά μέσα - κοχλιωτές

Τα μέσα σύνδεσης και οι αντίστοιχες απαιτήσεις ορίζονται στην Παραγρ. 17.7.3 του ΕΚΩΣ.

7.3.3 Ενώσεις με συγκόλληση

Η διάταξη των ενώσεων με συγκόλληση ορίζεται στην Παραγρ. 17.7.4 του ΕΚΩΣ. Για τις συγκολλήσεις χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος βλ. Κεφ. 8 του παρόντος Κανονισμού.

7.4 Αγκυρώσεις

Οι τύποι και οι απαιτήσεις των αγκυρώσεων αναφέρονται στην Παραγρ. 17.6 του ΕΚΩΣ.

7.5 Έλεγχος και παραλαβή τοποθετημένου οπλισμού

Ο Επιβλέπων Μηχανικός υποχρεούται να ελέγχει πριν από τη σκυροδέτηση την ακριβή τήρηση των διατάξεων του παρόντος Κανονισμού.

7.6 Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων

Κατά τη διάρκεια εργασιών όπλισης θα τηρούνται οι ισχύουσες διατάξεις για την Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων (βλ. Παράρτημα Π9).

Κεφάλαιο 8: ΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΜΕ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Υπό προϋποθέσεις, και με βάση όσα σχετικώς αναφέρονται στο Παράρτημα Π3, οι προβλέψεις και διατάξεις του παρόντος Κεφαλαίου μπορούν να εφαρμοσθούν και για τους ανοξείδωτους χάλυβες.

Για τις φέρουσες και μη φέρουσες συνδέσεις με συγκόλληση, ορίζονται διαφορετικές (όπου απαιτείται) διατάξεις κατά τις επόμενες Παραγράφους.

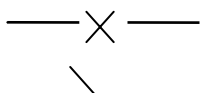
Για τις φέρουσες συνδέσεις ράβδων οπλισμού σε κρίσιμες, κατά τις διατάξεις του ΕΚΩΣ, διατομές στοιχείων, με αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, οι απαιτήσεις διαφοροποιούνται. Εάν όμως δεν μπορεί να αποφευχθεί η συγκόλληση εντός των κρίσιμων διατομών, τότε πέραν των απαιτήσεων για αντοχή της σύνδεσης, υπάρχουν και απαιτήσεις διασφάλισης ικανοποιητικής ολκιμότητας της σύνδεσης.

Οι συγκολλήσεις σε μη φέρουσες συνδέσεις δεν πρέπει να επηρεάζουν τη φέρουσα ικανότητα μεταφοράς φορτίου και την ολκιμότητα των συγκρατούμενων ράβδων, ενώ η συγκόλληση δεν πρέπει να προκαλεί ψαθυροποίηση του υλικού.

Συμβολισμοί τύπων συνδέσεων:

- Φέρουσες συνδέσεις

ο Μετωπική



8.1 Γενικά

Οι συνδέσεις με συγκόλληση που περιγράφονται στο παρόν Κεφάλαιο αφορούν αποκλειστικά συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατά τον παρόντα Κανονισμό, οι οποίοι ικανοποιούν το κριτήριο της συγκολλησιμότητας με βάση τη χημική σύσταση (βλ. Παραγρ. 3.5.3).

Οι ράβδοι οπλισμού μπορούν να συγκολληθούν είτε μεταξύ τους είτε με άλλα χαλύβδινα στοιχεία από συγκολλησιμο χάλυβα όπως: δομικός χάλυβας, αγκύρια, μηχανικοί σύνδεσμοι, προκατασκευασμένα στοιχεία κ.λπ.

Για την εκτέλεση των κάθε είδους συγκολλήσεων ισχύουν οι γενικές επισημάνσεις της Παραγρ. 8.4.1. Οι τύποι των συνδέσεων και οι μέθοδοι συγκόλλησης περιγράφονται στις Παραγρ. 8.2 και 8.3 αντίστοιχα.

Οι συνδέσεις με συγκόλληση διακρίνονται σε φέρουσες και μη φέρουσες, κατά περίπτωση.

Φέρουσες είναι οι συνδέσεις οι οποίες μπορούν να μεταφέρουν δύναμη που αντιστοιχεί στην πλήρη αντοχή της ράβδου, πλην των σταυρωτών συνδέσεων, για τις οποίες ορίζεται συντελεστής διάτμησης μικρότερος της μονάδος (βλ. Παραγρ. 8.4.5).

Μη φέρουσες είναι οι συνδέσεις των οποίων η ικανότητα σύνδεσης (αντοχή) δεν λαμβάνεται υπόψη κατά τον σχεδιασμό (ή συγκολλήσεις για τις οποίες οι απαιτήσεις είναι μειωμένες), και αποσκοπούν:

- Στη συγκράτηση συνδετήρων ή συνδέσμων
- Στην εξασφάλιση συγκεκριμένης διάταξης οπλισμού (π.χ. κλωβοί, εσχάρες, στεφάνες κ.λπ.)
- Στην προσωρινή στερέωση οπλισμού.

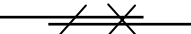
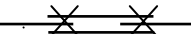
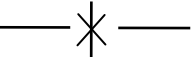
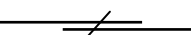
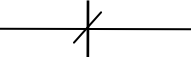
Σε κάθε περίπτωση, τα μηχανικά χαρακτηριστικά των συγκρατούμενων ράβδων θα πρέπει, και μετά τη συγκόλληση, να εξακολουθούν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις της Παραγρ. 8.5.3.2.

Σε περιπτώσεις επεμβάσεων, προσθηκών κ.λπ. σε παλαιότερες κατασκευές, ενδέχεται να απαιτηθούν συγκολλήσεις ράβδων οπλισμού B500A ή B500C με ράβδους οπλισμού παλαιότερων τυποποιήσεων που δύνανται να είναι συγκολλησίμες υπό προϋποθέσεις (π.χ. S220, S400, S500). Στις περιπτώσεις αυτές εφαρμόζονται όσα σχετικώς αναφέρονται στην Παραγρ. 8.6 του παρόντος Κεφαλαίου.

8.2 Τύποι συνδέσεων

Για τους συγκολλησίμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος εφαρμόζονται οι εξής τύποι σύνδεσης:

- Μετωπική (άκρο με άκρο)
- Κατά παράθεση

- ο Κατά παράθεση 
- ο Με λωρίδες 
- ο Σταυρωτή 
- Μη φέρουσες συνδέσεις
 - ο Κατά παράθεση 
 - ο Σταυρωτή 

- Με λωρίδες
- Σταυρωτή
- Με άλλα στοιχεία από συγκολλησιμο χάλυβα.

Λεπτομέρειες για τις συνήθεις μεθόδους συγκόλλησης που αναφέρονται στον Πιν. 8.1, δίνονται στο Παράρτημα Π4.

Όπου:

- SMAW: Shielded Metal Arc Welding
- GMAW: Gas Metal Arc Welding
- MAG: Metal Active Gas
- FCAW: Flux Cored Arc Welding

8.3 Μέθοδοι συγκόλλησης

Οι συνδέσεις μπορούν, κατά περίπτωση, να εκτελεσθούν με τις εξής μεθόδους ή τεχνικές (βλ. και EN ISO 17660-1 και EN ISO 17660-2):

- Συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου οι οποίες διακρίνονται σε:
 - ο Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (SMAW)
 - ο Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα (GMAW, MAG με μείγμα Ar-CO₂)
 - ο Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα Ar-CO₂ με σωληνωτά ηλεκτρόδια (FCAW)
 - ο Ημιαυτόματη αυτοπροστατευόμενη συγκόλληση τόξου με σωληνωτά ηλεκτρόδια (FCAW).
- Συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση
 - ο Σημειακή (spot resistance welding)
 - ο Μετωπική (resistance butt welding)
- Συγκόλληση με προεξοχή (projection welding)
- Αυτογενή συγκόλληση με συμπίεση και θέρμανση με αέριο (oxy-fuel gas pressure welding)
- Αυτογενή συγκόλληση με σπινθηρισμούς (flash welding)
- Συγκόλληση με τριβή (friction welding).

Εκτός από τις μεθόδους συγκόλλησης με τεχνικές τόξου οι οποίες μπορούν να εκτελεστούν και στο εργοτάξιο, οι υπόλοιπες μέθοδοι, επειδή απαιτούν σταθερό εξοπλισμό, εκτελούνται μόνο στο εργοστάσιο ή σε άλλο κατάλληλο για το σκοπό αυτό χώρο (π.χ. μονάδες διαμόρφωσης).

Επιτρέπεται η χρήση και άλλων μεθόδων συγκόλλησης με την προϋπόθεση αποδεδειγμένης εμπειρίας, εξειδικευμένου προσωπικού και κατάλληλου εξοπλισμού. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται ειδική συμφωνία μεταξύ κατασκευαστή και του κυρίου του έργου. Ο σχεδιασμός θα γίνεται με δοκιμές (Design by Testing) από τις οποίες θα προκύπτει ότι οι συνδέσεις αυτές ικανοποιούν τις απαιτήσεις ελέγχου ποιότητας της Παραγρ. 8.5.

Απαγορεύεται η χρήση οξυγονοκόλλησης.

Λόγω της μεγάλης θερμικής παροχής και της αργής απόψυξης προκύπτουν χονδρομερείς μεταλλουργικές δομές, που οδηγούν σε υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων της ζώνης τήξης.

Στον Πιν. 8-1 αναφέρονται οι συνήθεις μέθοδοι συγκόλλησης, οι αντίστοιχοι συμβατοί τύποι σύνδεσης και το πεδίο εφαρμογής.

Πίνακας 8-1 Πεδίο εφαρμογής μεθόδων συγκόλλησης για συγκολλησίμους χάλυβες

Μέθοδος συγκόλλησης	Τύπος σύνδεσης	Περιοχή ονομαστικών διαμέτρων σε mm	
		Φέρουσες συνδέσεις	Μη φέρουσες συνδέσεις
Συγκολλήσεις τόξου	Μετωπική χωρίς υποστήριξη της ρίζας	≥16	-
	Μετωπική με μόνιμη υποστήριξη της ρίζας	≥12	-
	Κατά παράθεση	6-32	6- 32
	Με λωρίδες	6-40	-
	Σταυρωτή	6-40	6-40
	Με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	6-40	-
Συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση	Κατά παράθεση	-	6-32
	Σταυρωτή	5-20	6-40
	Μετωπική	6-25	-
Συγκόλληση με προεξοχή (projection welding)	Κατά παράθεση	-	6-32
	Σταυρωτή	5-20	6-40
Αυτογενής συγκόλληση με συμπίεση και θέρμανση με αέριο	Μετωπική	6-40	-
Αυτογενής συγκόλληση με σπινθηρισμούς	Μετωπική	6-40	-
Συγκόλληση με τριβή	Μετωπική	6-40	-
	Με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	6-40	-
Παρατηρήσεις: 1. Οι τιμές των ονομαστικών διαμέτρων είναι αυτές που δίνονται στον Πιν. 3-1 του παρόντος Κανονισμού. 2. Οι μέθοδοι συγκόλλησης και οι τύποι σύνδεσης ακολουθούν τα Πρότυπα EN ISO 17660-1 και EN ISO 17660-2.			

Όταν υπάρχουν διαφοροποιήσεις μεταξύ των προτεινόμενων στον Πιν. 8-1 και του Ευρωκώδικα EN 1992-1-1, τότε, είτε θα λαμβάνεται η αυστηρότερη εκδοχή είτε θα προηγούνται δοκιμές σχεδιασμού.

8.4 Εκτέλεση συγκολλήσεων

8.4.1 Γενικές επισημάνσεις

Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της συγκόλλησης είναι:

- Η μέθοδος συγκόλλησης (σχεδίαση και εκτέλεση)
- Η ικανότητα του συγκολλητή
- Η τεχνική της συγκόλλησης (εξοπλισμός)
- Το μέταλλο γόμωσης (προσθήκης)
- Η προστατευτική ατμόσφαιρα της συγκόλλησης
- Το συλλίπασμα (η επένδυση του ηλεκτροδίου)
- Η θερμοκρασία της συγκόλλησης (προθέρμανση, θερμοκρασία μεταξύ πάσων, μεταθέρμανση).

Συνιστάται να αποφεύγεται η συγκόλληση όταν η θερμοκρασία περιβάλλοντος είναι ιδιαίτερα χαμηλή (κάτω από 0°C) γιατί αυξάνεται η ταχύτητα απόψυξης.

Από τη διάσπαση των υδρατμών στις υψηλές θερμοκρασίες του τόξου παράγεται υδρογόνο το οποίο απορροφάται

Οι συγκολλήσεις χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος, πρέπει να εκτελούνται έτσι ώστε, τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συγκολλημένων ράβδων να μην υπολείπονται των απαιτήσεων που ορίζονται στον παρόντα Κανονισμό ή στις ειδικές προδιαγραφές του έργου.

Κατά την εκτέλεση μιας συγκόλλησης θα λαμβάνονται υπόψη και τα παρακάτω:

- **Αντίξοες καιρικές συνθήκες**

Η συγκόλληση δεν θα γίνεται όταν βρέχει ή χιονίζει ή όταν φυσάει ισχυρός άνεμος, εκτός αν λαμβάνονται ειδικές προφυλάξεις (σκεπάσματα ή πετάσματα).

Οι επιφάνειες που πρόκειται να συγκολληθούν πρέπει να είναι καθαρές και στεγνές. Όταν παρατηρείται

στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη προκαλώντας ρηγματώσεις και ψαθυροποίηση.

Σε κάθε συγκόλληση, δημιουργείται ένας "θερμικός κύκλος", γύρω από την περιοχή της συγκόλλησης. Το μέταλλο θερμαίνεται με ορισμένο ρυθμό, παραμένει σε κάποια μέγιστη θερμοκρασία για ορισμένο χρόνο και μετά αποψύχεται μέχρι τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος με κάποιον άλλο ρυθμό. Στη διάρκεια του θερμικού κύκλου μπορεί να αναπτυχθούν τάσεις και να εκδηλωθούν παραμορφώσεις. Επίσης μπορεί να λάβουν χώρα μεταλλουργικές και χημικές αλλαγές που οδηγούν σε μεταβολή των φυσικών και μηχανικών ιδιοτήτων στη ζώνη τήξης και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη. Γενικώς, η υπερβολική θέρμανση στη διάρκεια της συγκόλλησης μπορεί να επηρεάσει δυσμενώς τις μηχανικές ιδιότητες ή να προκαλέσει άλλες συνέπειες.

Για την παρακολούθηση της θερμοκρασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν (βλ. και ΕΛΟΤ EN ISO 13916):

- Φορητά θερμοστοιχεία επαφής,
- Φορητά θερμόμετρα υπερύθρων,
- Θερμοευαίσθητοι χρωματοδείκτες (μορφής κιμωλίας) οι οποίοι αλλάζουν χρώμα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (π.χ. 200°C, 250°C, 300°C). Η επιφάνεια του μετάλλου βάφεται με την κιμωλία πριν ξεκινήσει η συγκόλληση. Η αλλαγή του χρώματος υποδηλώνει ότι η βαμμένη περιοχή απέκτησε τη συγκεκριμένη θερμοκρασία του δείκτη.

Η προθέρμανση των ράβδων πριν από τη συγκόλληση (που όμως δεν θα υπερβαίνει τους 350°C), δεν είναι απαραίτητη για τους συγκολλησίμους χάλυβες (όπως είναι για τους συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις χάλυβες κατά την Παραγρ. 8.6). Ωστόσο θεωρείται χρήσιμη καθ' όσον επιβραδύνει την απόψυξη και έτσι αποφεύγεται η ψαθυροποίηση του υλικού.

Στοιχεία για τα συνήθη ηλεκτρόδια δίνονται στο Παράρτημα Π4.

Για τη διάμετρο των ηλεκτροδίων, αναλόγως της διαμέτρου των ράβδων σπλισμού βλ. Πίν. Σ8-1.

Πίνακας Σ8-1 Συνιστώμενες μέγιστες ονομαστικές διαμέτρους ηλεκτροδίων συναρτήσει της ονομαστικής διαμέτρου της λεπτότερης ράβδου

Ονομ. διάμετρος ράβδου (mm)	Μέγιστη ονομ. διάμετρος ηλεκτροδίων (mm)
5-10	2,0
12-14	2,5
16-20	3,25
>20	4,0-5,0

Όταν απαιτούνται περισσότερα του ενός κορδόνια ή πάσα

συμπύκνωση υδρατμών στην επιφάνειά τους, πρέπει να προηγείται ελαφρά θέρμανση με θερμό αέρα για την απομάκρυνση της υγρασίας.

- **Ανύψωση θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης**

Η συγκόλληση θα εκτελείται αργά, ώστε να παρέχεται επαρκής θερμική παροχή, χωρίς όμως η θερμοκρασία της ράβδου να ξεπεράσει τους 350°C σε απόσταση 25mm από το πέρας της συγκόλλησης σε οποιαδήποτε διεύθυνση.

- **Ρυθμός απόψυξης της συγκόλλησης**

Οι συγκολλούμενες ράβδοι θα αφήνονται να ψυχθούν ήρεμα και αργά στον αέρα. Απαγορεύεται αυστηρά η επιτάχυνση της απόψυξης με χρήση νερού ή άλλων μέσων.

- **Τυχαία τόξα**

Τυχαία τόξα, που δημιουργούνται κατά ανεξέλεγκτο τρόπο σε άλλα σημεία, εκτός της συγκόλλησης, πρέπει να αποφεύγονται κατά το δυνατόν. Τοπικές κηλίδες, ρωγμές ή άλλα ελαττώματα που προκύπτουν από τυχαία τόξα πρέπει να απομακρύνονται με μηχανικώς (τρόχισμα, κοπίδι).

- **Αναλώσιμα (Ηλεκτρόδια - Προστατευτικά Αέρια)**

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται κατά τη χειρωνακτική ηλεκτροσυγκόλληση τόξου, ανεξάρτητα από τον τύπο σύνδεσης, πρέπει να είναι με βασική επένδυση ή με επένδυση ρουτιλίου, και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά πρέπει να είναι ανάλογα με εκείνα των ράβδων.

Τα ηλεκτρόδια πρέπει να έχουν σε κάθε περίπτωση όριο διαρροής μεγαλύτερο από 355MPa. Ειδικότερα στην περίπτωση μεταπικών συγκολλήσεων το όριο διαρροής του μετάλλου των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το όριο διαρροής των προς συγκόλληση ράβδων.

(περίπτωση ράβδων μεγάλης διαμέτρου), το πρώτο κορδόνι ή πάσο (της ρίζας) θα γίνεται με ηλεκτρόδιο μικρότερης διαμέτρου από τη μέγιστη του Πιν. Σ8-1.

Για τη χειρωνακτική ηλεκτροσυγκόλληση τόξου συνιστάται η χρήση ηλεκτροδίων ρουτιλίου, ιδιαίτερα όταν η συγκόλληση γίνεται στο εργοτάξιο και γενικότερα σε ανοιχτούς χώρους. Στην περίπτωση αυτή η συγκόλληση μπορεί να γίνει χωρίς ιδιαίτερες προφυλάξεις, ακόμη και με σχετικά υγρό καιρό. Γενικώς για την αποφυγή ύγρανσης των ηλεκτροδίων, η επιφάνειά τους θα είναι λεία (απουσία πληγών στην επικάλυψη) και η συσκευασία τους επιμελημένη.

Η περίπτωση αφορά συγκολλήσεις με:

- Κοινά ηλεκτρόδια (π.χ. ρουτιλίου, βασικά) με τη μέθοδο SMAW
- Σωληνωτά ηλεκτρόδια με τη μέθοδο FCAW.

Παρότι το Πρότυπο EN ISO 17660-1 (που αφορά μη δυναμικές καταπονήσεις) επιτρέπει τη συγκόλληση στην περιοχή καμπύλωσης ράβδων που έχουν καμφθεί πριν από τη συγκόλληση, αυτού του τύπου οι συγκολλήσεις συνιστάται να αποφεύγονται.

Ο τύπος της λοξοτομής επιλέγεται αναλόγως:

- Της διαμέτρου της ράβδου
- Της δυνατότητας πρόσβασης από τη μία ή και από

Επειδή τα βασικά ηλεκτρόδια είναι εξόχως υγροσκοπικά, θα πρέπει αμέσως πριν από τη χρήση τους να ξηραίνονται σε ειδικά φορητά ξηραντήρια στις θερμοκρασίες που συνιστά ο κατασκευαστής των ηλεκτροδίων. Η συγκόλληση θα εκτελείται από συγκολλητές εξειδικευμένους στη χρήση τέτοιων ηλεκτροδίων.

Κατά την ημιαυτόματη συγκόλληση με προστατευτικό αέριο (π.χ. μίγμα Ar-CO₂), το ηλεκτρόδιο-σύρμα πρέπει να είναι σύμφωνο με τα ισχύοντα Πρότυπα γι' αυτό το είδος συγκολλήσεων (βλ. Παράρτημα Π4).

• Απομάκρυνση της σκουριάς

Σε μεθόδους συγκόλλησης, όπου από τα χρησιμοποιούμενα ηλεκτρόδια παράγεται σκουριά για την προστασία του συγκολλούμενου μετάλλου, αυτή η σκουριά πρέπει να απομακρύνεται από κάθε κορδόνι πριν εφαρμοσθεί το επόμενο, καθώς και από το τελευταίο κορδόνι, με ιδιαίτερη προσοχή στα άκρα.

• Διαστάσεις ραφής συγκόλλησης

Η υπέρβαση των διαστάσεων της ραφής συγκόλλησης, πέραν των οριζόμενων στις επόμενες παραγράφους, έχει αρνητικές επιπτώσεις στην ποιότητα της σύνδεσης επειδή αυξάνονται οι εσωτερικές τάσεις κατ' αναλογία με τον όγκο του εναποτιθέμενου μετάλλου.

• Ελαττωματικές συνδέσεις

Όταν οι συνδέσεις δεν ανταποκρίνονται στις απαιτήσεις του Κανονισμού (βλ. Παραγρ. 8.5), το εναποτεθέν υλικό θα απομακρύνεται με μηχανικά μέσα και θα γίνεται νέα υγιής συγκόλληση.

• Κάμψεις και συγκολλήσεις

Γενικά οι κάμψεις πρέπει να γίνονται πριν την εκτέλεση των συγκολλήσεων. Η απόσταση της συγκόλλησης από την αρχή της καμπύλωσης θα είναι τουλάχιστον 2d για τις μετωπικές, τις κατά παράθεση και τις συνδέσεις με λωρίδες και 4d για τις σταυρωτές (βλ. και Παραγρ. 6.5).

Γενικά οι συγκολλήσεις τόξου εκτελούνται με διαδοχικά περάσματα του ηλεκτροδίου. Σε κάθε πέραςμα το ηλεκτρόδιο αφήνει ένα κορδόνι (bead). Ένα ή περισσότερα κορδόνια που βρίσκονται στο ίδιο επίπεδο (στρώση) αποτελούν ένα πάσο (pass). Η ραφή της συγκόλλησης (weld) μπορεί να αποτελείται από ένα πάσο ή και περισσότερα.

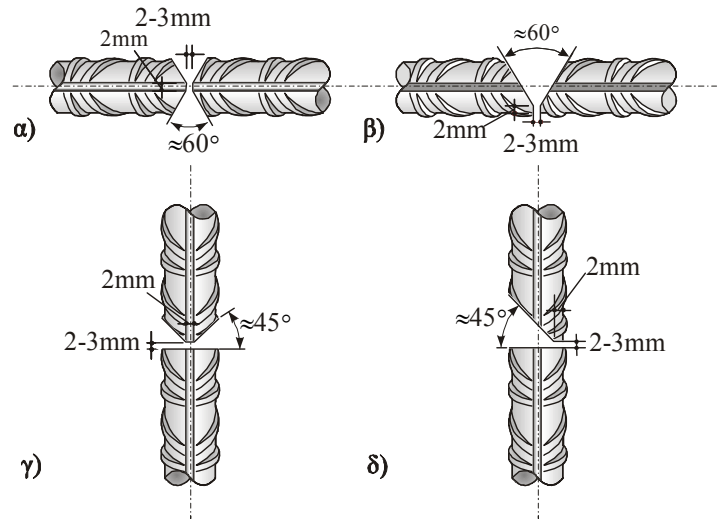
Στις παραγράφους που ακολουθούν, περιγράφεται ο τρόπος εκτέλεσης συνδέσεων με τεχνικές τόξου καθώς και η σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση.

8.4.2 Μετωπική σύνδεση (άκρο με άκρο) με τεχνικές τόξου

Οι μετωπικές συνδέσεις εκτελούνται πάντοτε μετά από διαμόρφωση των άκρων με λοξοτομές, όπως φαίνεται στο Σχ. 8-1. Οι λοξοτομές θα διαμορφώνονται με τρόχισμα.

τις δύο πλευρές των ράβδων

- Της θέσης συγκόλλησης των ράβδων (οριζόντια ή κατακόρυφη)
- Της χρησιμοποιούμενης μεθόδου συγκόλλησης.



- (α) λοξοτομή διπλού-V στις δύο ράβδους σε οριζόντια θέση για πρόσβαση και από τις δύο πλευρές
(β) λοξοτομή μονού-V στις δύο ράβδους σε οριζόντια θέση για πρόσβαση από τη μία πλευρά
(γ) διπλή λοξοτομή στην άνω ράβδο σε κατακόρυφη θέση για πρόσβαση και από τις δύο πλευρές
(δ) μονή λοξοτομή στην άνω ράβδο σε κατακόρυφη θέση για πρόσβαση από τη μία πλευρά.

Σχήμα 8-1 Τύποι λοξοτομών για μετωπικές συνδέσεις

Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην καλή επαφή και σύντηξη μεταξύ του μετάλλου συγκόλλησης και των παρειών της λοξοτομής των προς συγκόλληση ράβδων.

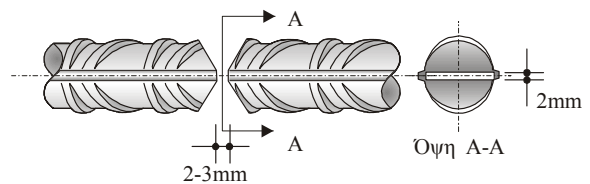
Οι μετωπικές συνδέσεις διακρίνονται σε συνδέσεις χωρίς υποστήριξη της ρίζας και σε συνδέσεις με μόνιμη υποστήριξη της ρίζας.

Το υποστήριγμα της ρίζας της συγκόλλησης (backing material) χρησιμοποιείται για να παρεμποδίσει το κάψιμο της ρίζας της συγκόλλησης (το στενότερο δηλ. σημείο της λοξοτομής στο οποίο γίνεται η έναρξη της συγκόλλησης) και την εκροή του τήγματος.

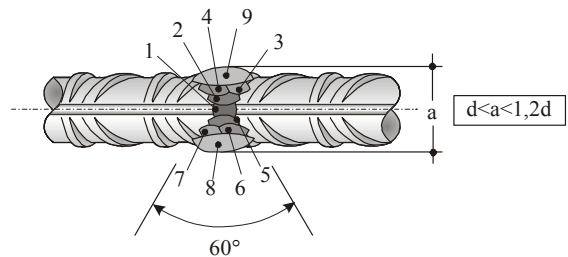
Το Πρότυπο EN 17660-1 επιτρέπει τη μετωπική σύνδεση για διαμέτρους μεγαλύτερες από 12mm ή 16mm κατά περίπτωση. Ο Ευρωκώδικας EN 1992-1-1 επιβάλλει διαμέτρους μεγαλύτερες από 20mm, γεγονός που θα έπρεπε να ερμηνευθεί ότι για διαμέτρους μικρότερες από 20mm θα προηγούνται δοκιμές σχεδιασμού.

Μετωπική σύνδεση χωρίς υποστήριξη της ρίζας εφαρμόζεται σε ράβδους διαμέτρου 16mm και άνω (κατά προτίμηση άνω των 20mm). Η μετωπική σύνδεση με μόνιμη υποστήριξη εφαρμόζεται σε ράβδους διαμέτρου 12mm και άνω.

Στο Σχ. 8-2 σημειώνεται η σειρά με την οποία εκτελούνται τα κορδόνια και τα πάσα της ραφής στην περίπτωση λοξοτομής διπλού V στις δύο ράβδους. Για άλλους τύπους λοξοτομών η εκτέλεση της ραφής είναι ανάλογη.



α) προετοιμασία επιφανειών μετώπου



β) διαδοχική εκτέλεση κορδονιών και πάσων

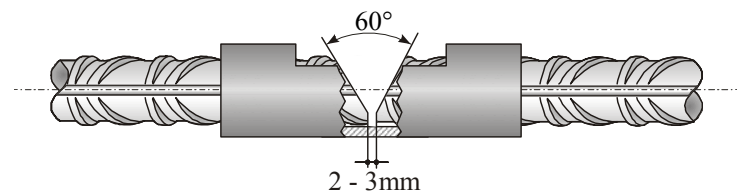
Η συγκόλληση του Σχ. 8-2.β εκτελέστηκε με 9 κορδόνια (1 έως 9) τα οποία σχηματίζουν 7 πάσα (1,2, 3-4, 5, 6-7, 8 και 9). Τα κορδόνια 1, 2 και 5 αποτελούν τη ρίζα της συγκόλλησης και συνιστάται να γίνονται με λεπτότερο ηλεκτρόδιο (βλ. Σχόλιο Πιν. Σ8-1)

Σχήμα 8-2 Μετωπική σύνδεση με συγκόλληση τόξου (λοξοτομή διπλού-V στις δύο ράβδους σε οριζόντια θέση)

Οι συνδεόμενες ράβδοι επιτρέπεται να είναι διαφορετικής διαμέτρου. Η εκκεντρότητα μετά την συγκόλληση δεν πρέπει να υπερβαίνει το $0,1d_{\min}$.

Στην περιοχή της σύνδεσης, λόγω της ραφής, η διάμετρος μπορεί να αυξηθεί μέχρι $1,2d_{\min}$ όπου $d_{\min}$ είναι η ονομαστική διάμετρος της λεπτότερης ράβδου.

Όταν χρησιμοποιείται υποστήριγμα της ρίζας της συγκόλλησης (βλ. και Σχ. 8-3) το οποίο ενδέχεται να τηχθεί, τότε θα πρέπει και αυτό να είναι από συγκολλησιμο χάλυβα.



Σχήμα 8-3 Μετωπική σύνδεση με υποστήριγμα της ρίζας της συγκόλλησης

8.4.3 Σύνδεση κατά παράθεση

8.4.3.1 Σύνδεση κατά παράθεση με τεχνικές τόξου

Η σύνδεση κατά παράθεση με τεχνικές τόξου εφαρμόζεται για όλες τις επιτρεπόμενες διαμέτρους (βλ Πιν. 8-1). Οι συνδεόμενες ράβδοι μπορεί να είναι διαφορετικών διαμέτρων.

Κατά την εκτέλεση οι ράβδοι φέρονται σε επαφή όσο επιτρέπουν οι νευρώσεις. Η συγκόλληση γίνεται από τη μία πλευρά.

Στην περίπτωση φερουσών συνδέσεων η συγκόλληση θα αποτελείται από δύο ραφές μήκους $4d$ έκαστη (όπου d η ονομαστική διάμετρος της λεπτότερης ράβδου), όπως φαίνεται στο Σχ. 8-4. Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν 10mm από το άκρο της κάθε μιας ράβδου (σημεία -1- του σχήματος) και προχωρούν προς τα μέσα (σημεία -2- του σχήματος). Το κενό μεταξύ των απολήξεων των δύο ραφών (σημεία -3- του σχήματος) πρέπει να έχει μήκος ίσο με $2d$ ή

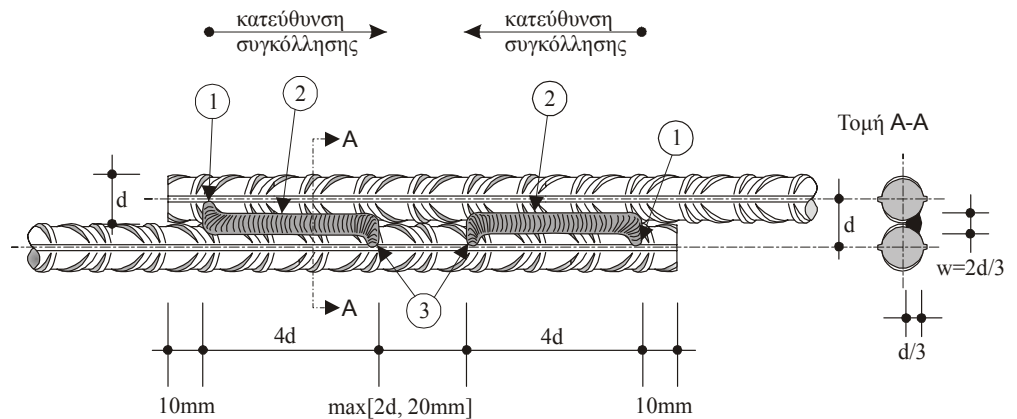
Εναλλακτικά, κατά το Πρότυπο EN ISO 17660-1, μπορούν να γίνουν ραφές και από τις δύο πλευρές οι οποίες όμως θα έχουν μήκος $2,5d$ η κάθε μία, ενώ το πάχος της ραφής θα είναι περίπου $d/3$. Ο τρόπος αυτός θα εφαρμόζεται μόνο όταν το διατιθέμενο μήκος είναι μικρότερο από το απαιτούμενο για συγκόλληση από τη μία πλευρά (βλ. Σχ. 8-4).

Οι απολήξεις των ραφών (σημεία -3- Σχ. 8-4) προτιμάται να καταλήγουν στην ίδια ράβδο.

Προσεγγιστικά και συντηρητικά, το πάχος της ραφής θα μπορούσε κατά τον οπτικό έλεγχο της συγκόλλησης, να θεωρηθεί ίσο προς το μισό του πλάτους, w , της ραφής.

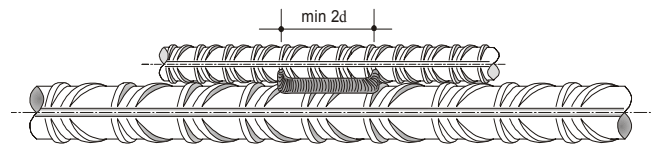
20mm, όποιο είναι μεγαλύτερο. Στην περίπτωση κατακόρυφων ράβδων και οι δύο ραφές θα γίνονται από κάτω προς τα πάνω.

Το πάχος της ραφής πρέπει να είναι περίπου ίσο με $d_{\min}/3$. Η ραφή γίνεται χωρίς διακοπή και μπορεί να γίνει σε ένα πέρασμα. Στην περίπτωση συγκόλλησης ράβδων μεγάλης διαμέτρου ($d > 16\text{mm}$) η συγκόλληση θα γίνεται σε περισσότερα του ενός πιάσα.



Σχήμα 8-4 Σύνδεση κατά παράθεση με τεχνικές τόξου

Στην περίπτωση μη-φερουσών συνδέσεων, η σύνδεση μπορεί να γίνει με μία ραφή, όπως φαίνεται στο Σχ. 8-5, ελάχιστου μήκους $2d$. Ως διάμετρος d λαμβάνεται η διάμετρος της λεπτότερης ράβδου.



Σχήμα 8-5 Μη φέρουσα σύνδεση κατά παράθεση με τεχνικές τόξου

Η τεχνική αυτή δεν συνιστάται για το εργοτάξιο.

8.4.3.2 Σύνδεση κατά παράθεση με την τεχνική της σημειακής συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση ή με προεξοχή

Αυτός ο τύπος σύνδεσης επιτρέπεται μόνο για μη φέρουσες συνδέσεις. Η σύνδεση κατά παράθεση με σημειακές συγκολλήσεις (όχι ραφές) γίνεται είτε με την τεχνική της ηλεκτρικής αντίστασης είτε με τη μέθοδο της προεξοχής.

Η αντοχή των συγκολλήσεων αυτών πρέπει να προδιαγράφεται κατά τη σχεδίαση. Σε κάθε περίπτωση θα πρέπει να έχουν πάχος όχι μικρότερο των 4mm και μήκος όχι μικρότερο των 25mm.

8.4.4 Σύνδεση με λωρίδες με τεχνικές τόξου

Οι συνδέσεις αυτού του τύπου είναι φέρουσες.

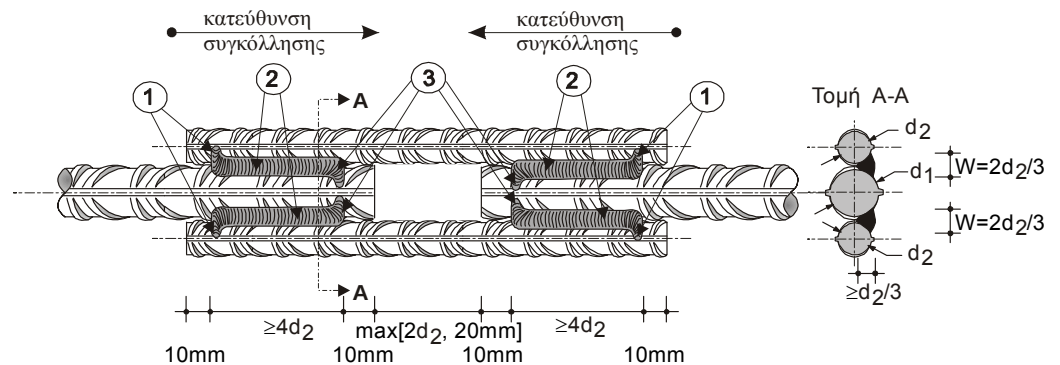
Εναλλακτικά, κατά το Πρότυπο EN ISO 17660-1, μπορούν να γίνουν ραφές και από τις δύο πλευρές οι οποίες όμως θα έχουν μήκος $2,5d$ η κάθε μία, ενώ το πάχος της ραφής θα είναι περίπου $d/3$. Ο τρόπος αυτός θα εφαρμόζεται μόνο όταν το διατιθέμενο μήκος είναι μικρότερο από το απαι-

Οι λωρίδες σύνδεσης πρέπει να είναι από συγκολλησίμη ράβδο χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος ή από άλλο συγκολλησίμη χάλυβα. Οι ράβδοι τίθενται σε επαφή μεταξύ τους και η συγκόλληση γίνεται μόνον από τη μία πλευρά όπως φαίνεται στο Σχ. 8-6. Η ραφή εκτελείται χωρίς

τούμενο για συγκόλληση από τη μία πλευρά (βλ. Σχ. 8-6).

διακοπή και μπορεί να γίνει σε ένα πέρασμα.

Όταν οι ράβδοι και οι λωρίδες είναι από υλικό με τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες, η συνολική διατομή των δύο λωρίδων πρέπει να είναι τουλάχιστον ίση με τη διατομή των ράβδων που συνδέονται (αλλά όχι πολύ μεγαλύτερη).



Η σημειούμενη κατεύθυνση συγκόλλησης αφορά οριζόντιες ράβδους. Αν οι ράβδοι είναι κατακόρυφες, η συγκόλληση γίνεται από κάτω προς τα πάνω.

Σχήμα 8-6 Σύνδεση με λωρίδες

Για μεγαλύτερες τιμές του λόγου d_{min}/d_{max} , μειώνεται ο κίνδυνος δυσμενούς μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων των συγκολλούμενων ράβδων. Ειδικώς για τα δομικά πλέγματα, ο λόγος είναι τουλάχιστον 0,6 (βλ. Κεφ. 9).

Για την τιμή του S_f των πλεγμάτων βλ. Κεφ. 9.

8.4.5 Σταυρωτή σύνδεση

Οι συνδέσεις αυτές μπορεί να είναι είτε φέρουσες είτε μη φέρουσες.

Ο λόγος των ονομαστικών διαμέτρων των δύο ράβδων πρέπει να ικανοποιεί την ακόλουθη σχέση:

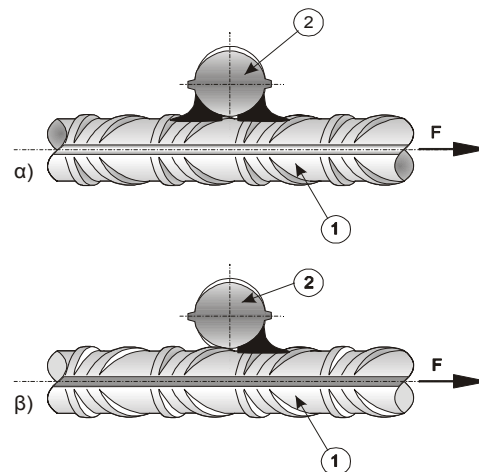
$$d_{min} \geq 0,50d_{max}$$

Η απαιτούμενη τιμή του συντελεστή διάτμησης S_f της σταυρωτής σύνδεσης πρέπει να προδιαγράφεται στη μελέτη και να υποδηλώνεται επί των σχεδίων. Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ισχύει $S_f \geq 0,30$ για φέρουσες συνδέσεις.

Η σταυρωτή σύνδεση μπορεί να γίνει είτε με συγκόλληση τόξου, είτε με σημειακή συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση. Εκτελείται χωρίς καμία προετοιμασία των ράβδων.

8.4.5.1 Σταυρωτή σύνδεση με τεχνικές τόξου

Οι σταυρωτές συνδέσεις θα εκτελούνται σύμφωνα με το Σχ. 8-7. Η συγκόλληση, εφόσον υπάρχει πρόσβαση, θα γίνεται σε δύο πλευρές με ίσες ραφές (βλ Σχ. 8-7α). Αν δεν είναι δυνατόν να γίνει συγκόλληση και από τις δύο πλευρές, η συγκόλληση θα γίνεται από τη μία πλευρά όπως στο Σχ. 8-7β.



1 : διαμήκης ράβδος
2 : εγκάρσια ράβδος
F : η δύναμη προς αγκύρωση

Σχήμα 8-7 Σταυρωτή σημειακή συγκόλληση με τεχνικές τόξου

Για τον τύπο αυτό της σύνδεσης δεν μπορούν να προδιαγραφούν πιο συγκεκριμένες απαιτήσεις για τα γεωμετρικά στοιχεία. Σε κάθε περίπτωση ο σχεδιασμός και η τελική επιβεβαίωση θα γίνεται με τις δοκιμές που προβλέπονται στην Παραγρ. 8-5.

Όταν συγκολλούνται περισσότερες από μία εγκάρσιες ράβδοι σε μία διαμήκη ράβδο, τότε η μεταξύ τους απόσταση πρέπει να είναι τουλάχιστον $3d_{transmax}$, όπου $d_{transmax}$ είναι η ονομαστική διάμετρος της μεγαλύτερης από τις εγκάρσιες ράβδους.

Για να αποφευχθούν ρηγματώσεις στη συγκόλληση, πρέπει:

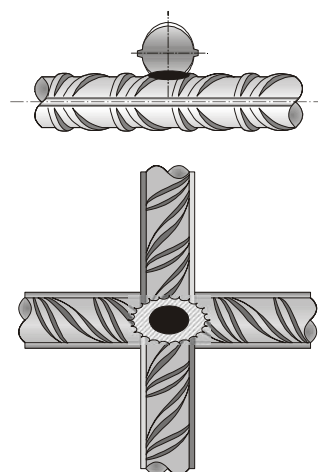
- Το πάχος της ραφής να είναι $\geq 0,3d_{min}$ ή 4mm (όποιο είναι μεγαλύτερο)
- Το ελάχιστο μήκος της ραφής συγκόλλησης να είναι $\geq 0,5d_{min}$ ή 6mm (όποιο είναι μεγαλύτερο).

Οι μη φέρουσες σταυρωτές συγκολλήσεις πρέπει να περιορίζονται στις απολύτως αναγκαίες.

8.4.5.2 Σταυρωτή σύνδεση με ηλεκτρική αντίσταση ή με προεξοχή

Η σύνδεση αυτή εφαρμόζεται ευρέως στην παραγωγή πλεγμάτων. Δεν εκτελείται στο εργοτάξιο.

Σταυρωτή σημειακή σύνδεση με ηλεκτρική αντίσταση ή με προεξοχή, παρουσιάζεται στο Σχ. 8-8.



Σχήμα 8-8 Σχηματική παράσταση σταυρωτής σύνδεσης με ηλεκτρική αντίσταση ή προεξοχή

8.4.6 Συνδέσεις με άλλα χαλύβδινα στοιχεία

Οι συνδέσεις ράβδων χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος με άλλα χαλύβδινα στοιχεία γίνονται με δύο τρόπους:

- Με πλευρική συγκόλληση κατά παράθεση (με ραφές από τη μία ή/και από τις δύο πλευρές) της ράβδου επί του χαλύβδινου στοιχείου. Οι άξονες της ράβδου και του χαλύβδινου στοιχείου θα είναι παράλληλοι.
- Με συγκόλληση επί εγκάρσιου χαλύβδινου στοιχείου. Ο άξονας της ράβδου θα είναι κάθετος στον άξονα του χαλύβδινου στοιχείου.

8.4.6.1 Συνδέσεις με πλευρική συγκόλληση της ράβδου επί χαλύβδινου στοιχείου

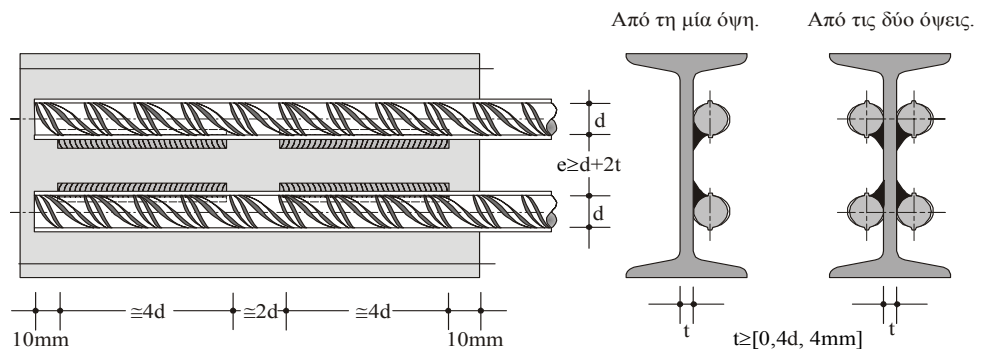
Τυπικές μορφές σύνδεσης δίνονται στο Σχ. 8-9 με ραφή από τη μία μόνο πλευρά της ράβδου και στο Σχ. 8-10 με ραφή και από τις δύο πλευρές.

Το ελάχιστο πάχος, t , του στοιχείου που ορίζεται εδώ προκύπτει από απαιτήσεις συγκόλλησης. Μεγαλύτερα πάχη μπορεί να απαιτηθούν από τη στατική ανάλυση. Στην περίπτωση αυτή συνιστάται να γίνονται δοκιμές σχεδιασμού.

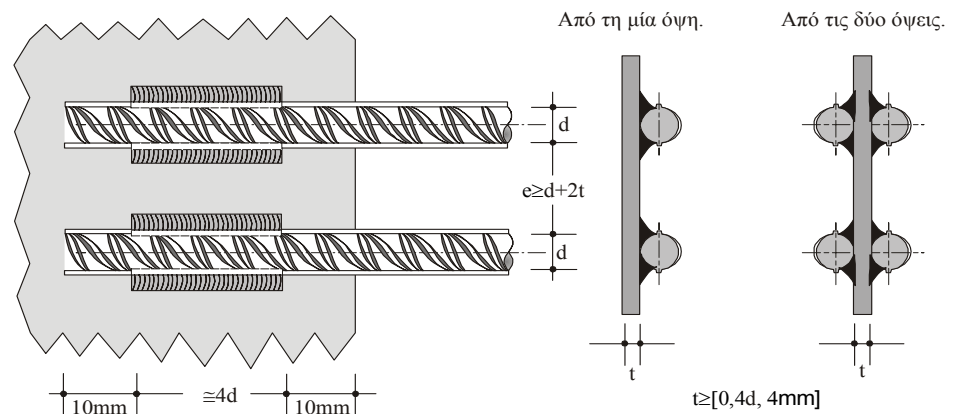
Το πάχος του χαλύβδινου στοιχείου, t , και στις δύο περιπτώσεις, πρέπει να είναι μεγαλύτερο ή ίσο με $0,4d$ και οπωσδήποτε μεγαλύτερο από 4mm (βλ. Σχ. 8-9 και Σχ. 8-10).

Το πάχος της ραφής συγκόλλησης, a , πρέπει να είναι περίπου ίσο με $0,3d$ και οπωσδήποτε μεγαλύτερο από 3mm (βλ. Σχ. 8-11).

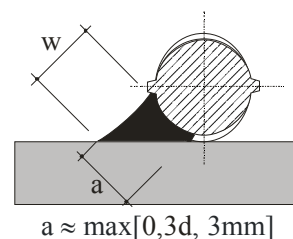
Η καθαρή απόσταση, e , μεταξύ των ράβδων πρέπει να είναι τουλάχιστον $d+2t$ (βλ. Σχ. 8-9 και Σχ. 8-10) ώστε κατά την εκτέλεση της συγκόλλησης να είναι δυνατή η πρόσβαση στη ρίζα της.



Σχήμα 8-9 Συνδέσεις με πλευρική συγκόλληση ράβδων, από τη μια ή και από τις δύο όψεις του στοιχείου, με ραφή μόνον από τη μια πλευρά των ράβδων



Σχήμα 8-10 Συνδέσεις με πλευρική συγκόλληση ράβδων, από τη μια ή και από τις δύο όψεις του στοιχείου, με ραφή και από τις δύο πλευρές κάθε ράβδου



Σ' αυτόν τον τύπο της σύνδεσης, το πάχος, a , της ραφής μπορεί να θεωρηθεί κατ' εκτίμηση ως ίσο προς το 70% του πλάτους, w , ($a \approx 0,70w$).

Σχήμα 8-11 Πάχος ραφής συγκόλλησης για τις συνδέσεις των Σχ. 8-9 και Σχ. 8-10

Το ελάχιστο πάχος, t , του χαλύβδινου στοιχείου που ορίζεται εδώ προκύπτει από απαιτήσεις συγκόλλησης. Μεγαλύτερα πάχη μπορεί να απαιτηθούν από τη μελέτη.

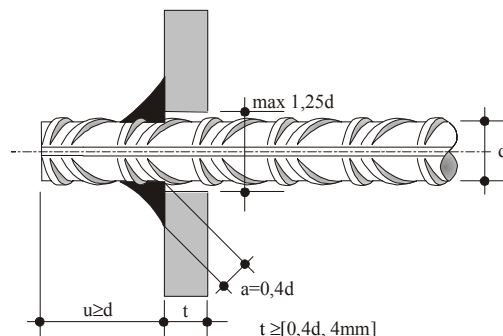
Τέτοιου είδους συγκολλήσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόσθετη αγκύρωση των ράβδων οπλισμού. Στις περιπτώσεις αγκυρώσεων με πρόσθετα στοιχεία ο ΕΚΩΣ (Παραγρ. 17.6.5) απαιτεί δοκιμές και “εγκριτικές αποφάσεις”.

Η διάμετρος των οπών δεν θα ξεπερνά το $1,25d$.

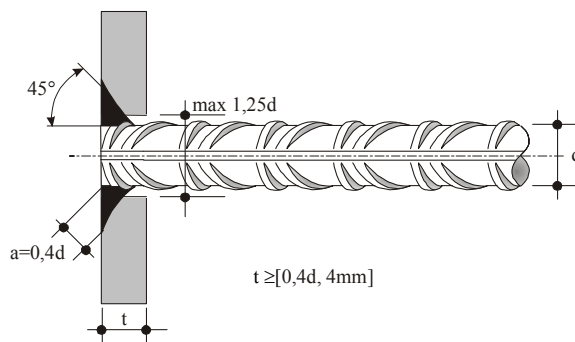
8.4.6.2 Συνδέσεις με συγκόλληση επί εγκαρσίου χαλύβδινου στοιχείου

Τυπικές μορφές και οι ελάχιστες απαιτούμενες διαστάσεις δίνονται στα Σχ. 8-12, 8-13 και 8-14. Οι διαστάσεις αναφέρονται σε σχέση με το πάχος, t , του χαλύβδινου στοιχείου και τη διάμετρο, d , της ράβδου. Επιτρέπεται δύο ή περισσότερες ράβδοι να συγκολληθούν επί του ίδιου στοιχείου. Στην περίπτωση αυτή, η καθαρή απόστασή τους θα πρέπει να είναι τουλάχιστον $3d$, ώστε κατά την εκτέλεση της συγκόλλησης να είναι δυνατή η πρόσβαση στη ρίζα της.

Στην περίπτωση των συνδέσεων των Σχ. 8-12 και 8-13, οι οπές πρέπει να έχουν επαρκή διάμετρο ώστε να επιτρέπουν την είσοδο της ράβδου, χωρίς όμως να αφήνουν μεγάλο διάκενο μεταξύ χαλύβδινου στοιχείου και ράβδου.



Σχήμα 8-12 Ράβδος διερχόμενη από χαλύβδινο στοιχείο

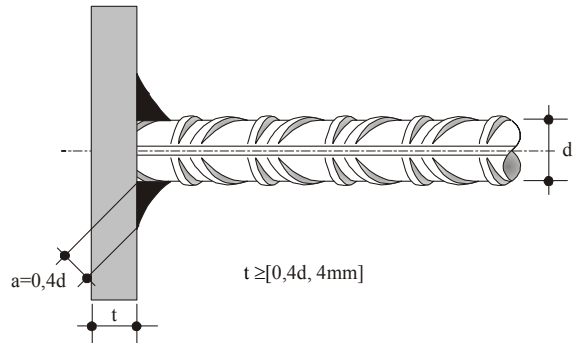


Σχήμα 8-13 Ράβδος αγκυρούμενη εντός του πάχους του χαλύβδινου στοιχείου

Όταν δεν επιτυγχάνεται κοπή με ακρίβεια, αυξάνεται το πάχος της συγκόλλησης κατά το προκύπτον διάκενο.

Όταν η ράβδος συγκολλείται μεταπικά επί του χαλύβδινου στοιχείου (βλ. Σχ. 8-14), το άκρο της ράβδου πρέπει να κοπεί με ακρίβεια κάθετα στον άξονά της. Κατά τη συγκόλ-

λψη πρέπει να εξασφαλίζεται ότι η διατομή της ράβδου εφάπτεται στην πλάκα (χωρίς διάκενο).



Σχήμα 8-14 Μετωπική συγκόλληση ράβδου επί χαλύβδινου στοιχείου

8.5 Έλεγχος ποιότητας συγκολλήσεων

8.5.1 Γενικά

Η συγκόλληση θεωρείται εξειδικευμένη εργασία, και γι' αυτό και απαιτείται να εκτελείται με συγκεκριμένες διαδικασίες και από ικανούς συγκολλητές.

Οι συγκολλήσεις που γίνονται χειρωνακτικά ή με ημιαυτόματες διαδικασίες θα εκτελούνται από διπλωματούχους συγκολλητές Α' τάξης, οι οποίοι επιπλέον θα είναι πιστοποιημένοι για συγκολλήσεις χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος από διαπιστευμένο Φορέα.

Σε κάθε περίπτωση και πριν την εκτέλεση μιας συγκόλλησης στην πράξη, θα γίνεται έλεγχος για να διαπιστωθεί η ικανότητα του ηλεκτροσυγκολλητή. Για το σκοπό αυτό ο συγκολλητής θα πρέπει να κατασκευάσει επιτυχώς δοκίμια του συγκεκριμένου τύπου σύνδεσης, εφαρμόζοντας τη συγκεκριμένη μέθοδο συγκόλλησης. Ο έλεγχος των δοκιμών αυτών θα γίνεται από ειδικευμένο εργαστήριο, σύμφωνα με τα οριζόμενα στις επόμενες παραγράφους, του παρόντος Κεφαλαίου.

Οι συγκολλήσεις που εκτελούνται με αυτοματοποιημένες διαδικασίες σε εργοστάσιο ή σε μονάδα διαμόρφωσης θα ελέγχονται ως τελικό προϊόν σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3, καθώς και με τις διατάξεις των Παραγρ. 3.1 και 3.2 του παρόντος Κανονισμού.

Οι δοκιμές ελέγχου που αναπτύσσονται στην συνέχεια, αφορούν φέρουσες και μη φέρουσες συνδέσεις.

8.5.2 Έλεγχοι και πλήθος δοκιμών

Ανεξαρτήτως της μεθόδου συγκόλλησης, οι έλεγχοι και το πλήθος των δοκιμών που απαιτούνται ανάλογα με τον τύπο της σύνδεσης φαίνονται στον Πιν. 8-2.

Η κατάταξη των διπλωμάτων των συγκολλητών (π.χ. Α' τάξης) γίνεται σύμφωνα με την εγκύκλιο 371/1984 «Για τη χορήγηση επαγγελματικών αδειών από τις Περιφερειακές Υπηρεσίες Βιομηχανίας του Υπουργείου Εθνικής Οικονομίας», όπως αυτή εκάστοτε ισχύει. Ο αρμόδιος Φορέας Πιστοποίησης θα είναι διαπιστευμένος από το ΕΣΥΔ (Εθνικό Συμβούλιο Διαπίστευσης) για την ικανότητά του να πιστοποιεί ηλεκτροσυγκολλητές για τους συγκεκριμένους τύπους σύνδεσης και τις συγκεκριμένες μεθόδους συγκόλλησης που αφορούν τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Οι διαδικασίες διαπίστευσης τέτοιου Φορέα είναι σε αρχικά στάδια στη χώρα μας. Έως ότου ολοκληρωθούν οι διαδικασίες αυτές, επιτρέπεται σε ένα ηλεκτροσυγκολλητή με δίπλωμα Α' τάξης να πραγματοποιεί συγκολλήσεις σε χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος εφόσον κατασκευάσει επιτυχώς δοκίμια με συγκεκριμένη μέθοδο συγκόλλησης και για συγκεκριμένο τύπο σύνδεσης. Ο έλεγχος των δοκιμών αυτών θα γίνεται από ειδικό εργαστήριο, σύμφωνα με τα οριζόμενα στις Παραγρ. 8.5.2 και 8.5.3.

Για συγκολλημένα προϊόντα που προκύπτουν από αυτόματοποιημένες διαδικασίες, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να προβαίνει σε ελέγχους σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.

Στις μη φέρουσες συνδέσεις γίνεται μόνο δοκιμή εφελκυσμού, εκτός από τα πλέγματα ειδικού τύπου στα οποία γίνεται και δοκιμή διάτμησης.

Πίνακας 8-2 Πεδίο εφαρμογής και πλήθος δοκιμών έλεγχου ποιότητας συγκόλλησης

Τύπος σύνδεσης	Πλήθος δοκιμών		
	Δοκιμή εφελκυσμού	Δοκιμή κάμψης	Δοκιμή διάτμησης
Μετωπική	3	3	-
Κατά παράθεση/ με λωρίδες	3	-	-
Σταυρωτή	3 ¹	3 ²	3 ²
Με άλλα χαλύβδινα στοιχεία	3	-	-
¹ Τρία δοκίμια ανά διάμετρο. Στις περιπτώσεις συγκολλήσεων συγκράτησης (π.χ. συνδετήρες) η δοκιμή γίνεται στις συγκρατούμενες ράβδους.			
² Δοκιμή στις ράβδους που ενδιαφέρουν.			

Αν αστοχήσει έστω και ένα δοκίμιο, τότε κατασκευάζονται και ελέγχονται δύο πρόσθετα δοκίμια. Αν έστω και ένα από τα πρόσθετα δοκίμια αστοχήσει, το αποτέλεσμα του ελέγχου θεωρείται αρνητικό και η συγκόλληση μη αποδεκτή.

8.5.3 Εκτέλεση δοκιμών - Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

8.5.3.1 Οπτικός έλεγχος

Τα δοκίμια που θα υποβληθούν σε ελέγχους μηχανικών ιδιοτήτων δεν θα πρέπει να εμφανίζουν, σε μακροσκοπικό έλεγχο, ατέλειες που θεωρούνται επικίνδυνα ελαττώματα συγκολλήσεων (ρωγμές, ατελής διείσδυση κ.α.).

Επίσης, μετά το πέρας της δοκιμής, ελέγχεται οπτικά και η επιφάνεια θραύσης για τυχόν ανωμαλίες ή ατέλειες.

8.5.3.2 Δοκιμή εφελκυσμού

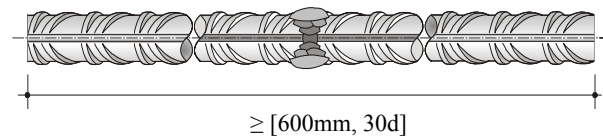
α) Μορφή δοκιμών

Η δοκιμή εφελκυσμού θα γίνεται σε δοκίμιο στο οποίο η θέση της συγκόλλησης, θα είναι περίπου στο μέσον του.

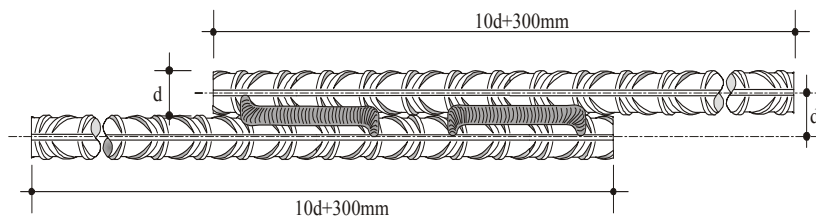
Για τα δοκίμια για τα οποία είναι πρακτικά δυνατόν να εκτελεσθεί τυποποιημένη δοκιμή εφελκυσμού, οι σχετικές διαστάσεις και η μορφή των δοκιμών, ανάλογα και με το τύπο της σύνδεσης, φαίνονται στα Σχ. 8-15 έως 8-22.

Όταν δεν είναι πρακτικά δυνατόν να εκτελεσθεί μία τυποποιημένη δοκιμή εφελκυσμού, το εργαστήριο δοκιμών, σε συνεννόηση με τον ενδιαφερόμενο, μπορεί να προσαρμόζει τις διαστάσεις του δοκιμίου, ανάλογα με τις εκάστοτε ανάγκες.

Στην περίπτωση συγκόλλησης ράβδου οπλισμού σε χαλύβδινο στοιχείο, υπάρχει πρακτική δυσκολία στη διαμόρφωση κατάλληλου δοκιμίου για την εκτέλεση της δοκιμής. Σε κάθε περίπτωση, η διαμόρφωση του δοκιμίου θα πρέπει να είναι τέτοια ώστε η αστοχία κατά την δοκιμή να επέρχεται στην ράβδο και όχι στο χαλύβδινο στοιχείο.

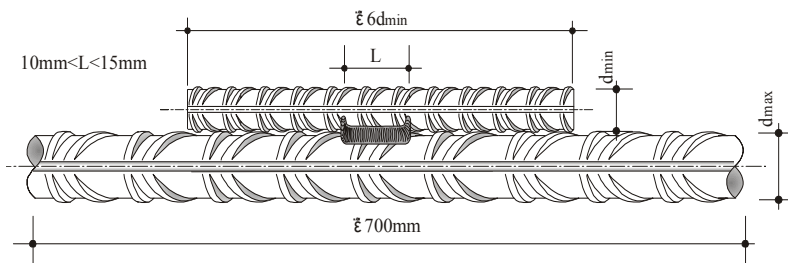


Σχήμα 8-15 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού και κάμψης στην περίπτωση μετωπικής σύνδεσης

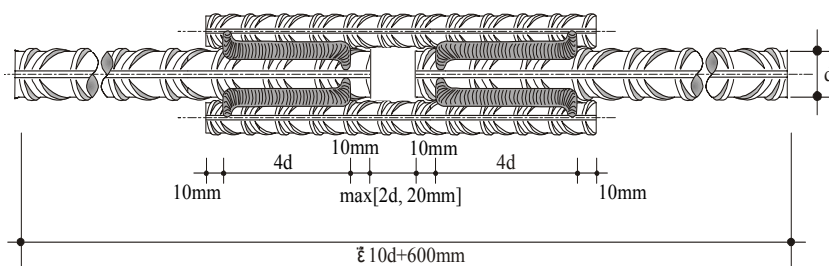


Σχήμα 8-16 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση φέρουσας σύνδεσης κατά παράθεση

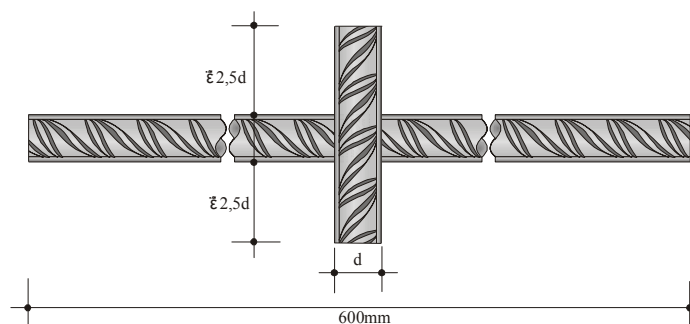
Με το δοκίμιο του παραπλεύρως σχήματος δεν ελέγχεται η φέρουσα ικανότητα της σύνδεσης, παρά μόνον εάν έχουν επηρεασθεί δυσμενώς τα μηχανικά χαρακτηριστικά της δοκιμαζομένης ράβδου.



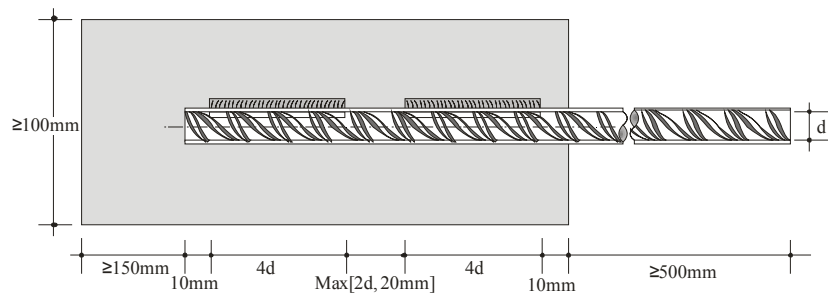
Σχήμα 8-17 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση μη φέρουσας σύνδεσης κατά παράθεση



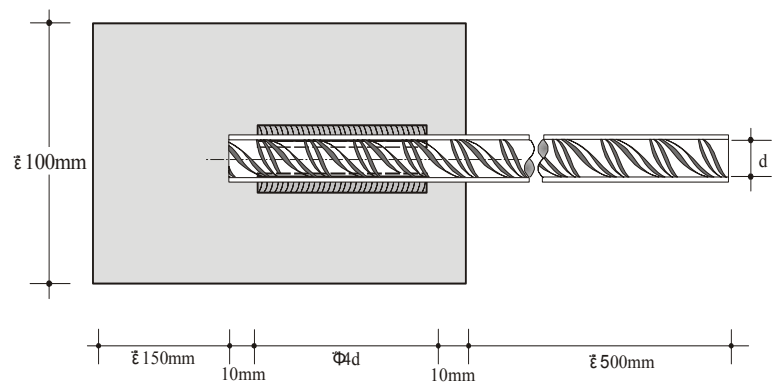
Σχήμα 8-18 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση σύνδεσης με λωρίδες



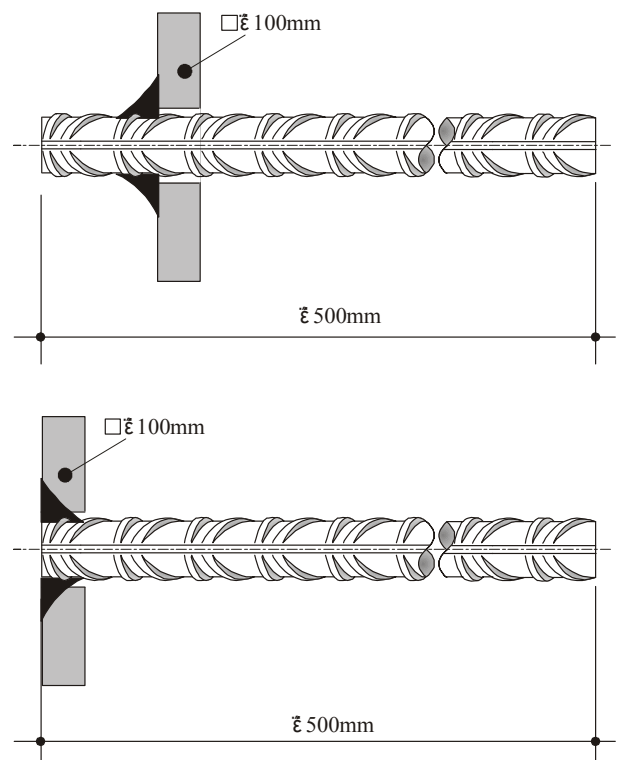
Σχήμα 8-19 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού και κάμψης για όλες τις σταυρωτές συνδέσεις

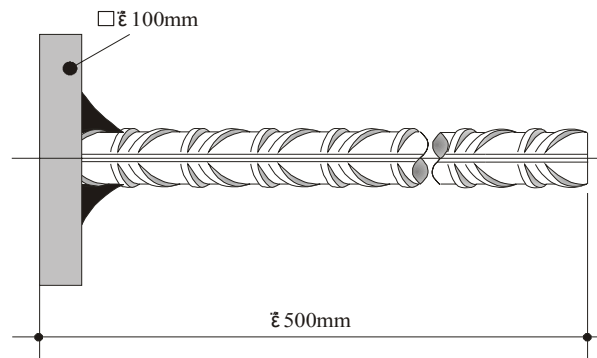


Σχήμα 8-20 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση σύνδεσης με χαλύβδινο στοιχείο κατά παράθεση



Σχήμα 8-21 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση σύνδεσης με χαλύβδινο στοιχείο κατά παράθεση (ραφή και από τις δύο πλευρές)





Σχήμα 8-22 Μορφή δοκιμίου για δοκιμή εφελκυσμού στην περίπτωση σύνδεσης επί εγκαρσίου χαλύβδινου στοιχείου

β) Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

I. Μέγιστο φορτίο

Το μέγιστο φορτίο, F_m , στη δοκιμή εφελκυσμού θα πρέπει να ικανοποιεί τη σχέση:

$$F_m \geq A f_{y,nom} (f_t/f_y)$$

Όπου:

A Η ονομαστική διατομή της ράβδου

$f_{y,nom}$ Η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής που δίνεται στον Πιν. 3-3

f_t/f_y Η ελάχιστη τιμή του λόγου της εφελκυστικής αντοχής προς το όριο διαρροής, που δίνεται στον Πιν. 3-3.

II. Άλλες ιδιότητες σε εφελκυσμό

Μετρήσεις του ορίου διαρροής, f_y , της συνολικής ανηγμένης παραμόρφωσης στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , του λόγου f_t/f_y και λοιπών ιδιοτήτων θα γίνονται όταν απαιτείται. Για τις ιδιότητες αυτές θα πρέπει να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις του Πιν. 3-3 του Κεφ.3.

Για τις φέρουσες συνδέσεις η συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , θα μετριέται σε τμήμα της ράβδου που θα είναι μακριά από τη συγκόλληση (βλ. EN ISO17660-1).

Για τις μη φέρουσες συνδέσεις η συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, ϵ_u , θα μετριέται σε τμήμα της ράβδου που θα περιλαμβάνει την συγκόλληση (βλ. EN ISO17660-2). Πάντως αν η θραύση προκληθεί στην περιοχή της συγκόλλησης, τότε αναγκαστικά η μέτρηση θα γίνει μακριά από την περιοχή του λαιμού και ως εκ τούτου δεν θα περιλαμβάνει την συγκόλληση (βλ. ΕΛΟΤ EN ISO 15630-2).

γ) Αναφορά αποτελεσμάτων

Στην αναφορά αξιολόγησης αποτελεσμάτων της δοκιμής, θα πρέπει να αναφέρονται αναλυτικά τα ακόλουθα:

- Η διαδικασία συγκόλλησης
- Ο τύπος του δοκιμίου και οι διαστάσεις του

Για χάλυβες B500C: $f_{y,nom} = 500\text{MPa}$ και $f_t/f_y = 1,15$

Ειδικώς για την περίπτωση συγκόλλησης με παράθεση ή με λωρίδες, ο λόγος για τον οποίο δεν πρέπει να περιλαμβάνεται η συγκόλληση μέσα στο μήκος στο οποίο μετριέται η ανηγμένη παραμόρφωση, ϵ_u , είναι ότι, στην περιοχή της συγκόλλησης των ράβδων, η διατομή είναι τουλάχιστον διπλάσια σε σχέση με τη μονή ράβδο. Αποτέλεσμα τούτου είναι ότι κατά τη φόρτιση, η περιοχή αυτή παραμορφώνεται ελαστικά και εμφανίζει μετά την αποφόρτιση πλαστικές παραμορφώσεις.

Θραύση στην περιοχή της συγκόλλησης πιθανόν να υποδηλώνει απαγορευτική υποβάθμιση των μηχανικών χαρακτηριστικών της ράβδου λόγω της συγκόλλησης.

- Το μέγιστο φορτίο
- Τα αποτελέσματα των άλλων ιδιοτήτων που ενδεχομένως μετρήθηκαν
- Το σημείο στο οποίο έγινε η θραύση
- Η μορφή και η θέση τυχόν ανωμαλιών στην επιφάνεια θραύσης.

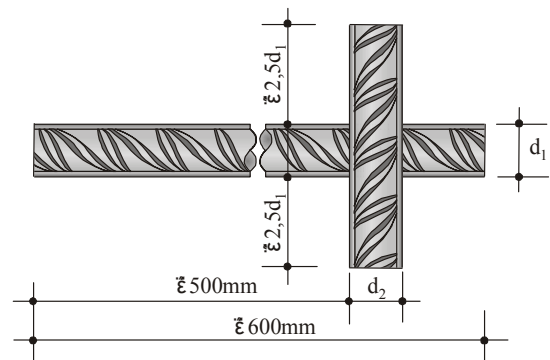
Στην αναφορά πρέπει σαφώς να δηλώνεται αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαιτήσεις του παρόντος Κανονισμού, για τη δοκιμή.

8.5.3.3 Δοκιμή διάτμησης

α) Μορφή δοκιμών

Η δοκιμή αφορά σταυρωτές συνδέσεις και θα γίνεται σύμφωνα με το prEN ISO 15630-2.

Οι σχετικές διαστάσεις και η μορφή των δοκιμών, φαίνονται στο Σχ. 8-23.



Σχήμα 8-23 Μορφή και διαστάσεις δοκιμίου για δοκιμή διάτμησης

β) Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Η διατμητική δύναμη, F_s , που προκαλεί αποκόλληση, θα πρέπει κατ' ελάχιστον να ικανοποιεί την απαίτηση:

$$F_s \geq S_f \cdot A \cdot f_y$$

Όπου:

S_f : Ο συντελεστής διάτμησης που απαιτείται ανάλογα με το είδος της σύνδεσης, βλ Παραγρ. 8.4.5

A : Η ονομαστική διατομή της ράβδου που εφελκύεται

$f_{y,nom}$: Η χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής της ράβδου που εφελκύεται κατά τον Πιν. 3-3 (500MPa).

γ) Αναφορά αποτελεσμάτων

Στην αναφορά αξιολόγησης αποτελεσμάτων της δοκιμής, θα πρέπει αναλυτικά, να αναφέρονται:

- Η διαδικασία συγκόλλησης
- Ο τύπος του δοκιμίου και οι διαστάσεις του
- Το φορτίο αποκόλλησης
- Το σημείο στο οποίο έγινε η θραύση, αν παρατηρηθεί θραύση πριν από την αποκόλληση
- Η μορφή και η θέση τυχόν ανωμαλιών στην επιφάνεια θραύσης.

Στην περίπτωση που υπάρχει απαίτηση για μεγαλύτερη τιμή του συντελεστή διάτμησης, γίνεται σχετική παρατήρηση στην αναφορά των αποτελεσμάτων.

Στην αναφορά πρέπει σαφώς να δηλώνεται αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαιτήσεις αυτού του Κανονισμού, για τη δοκιμή.

8.5.3.4 Δοκιμή κάμψης

α) Μορφή δοκιμίων

Η δοκιμή θα γίνεται σύμφωνα με το prEN ISO 15630-2.

Οι σχετικές διαστάσεις και η μορφή των δοκιμίων, ανάλογα και με τον τύπο της σύνδεσης, φαίνονται στα Σχ. 8-15 και 8-19. Θα πρέπει να επιδιώκεται η θέση της συγκόλλησης, να είναι περίπου στο μέσον του δοκιμίου και στην εξωτερική (εφελκυσόμενη) πλευρά του.

Η γωνία κάμψης θα είναι τουλάχιστον 60° σύμφωνα με το Πρότυπο EN ISO 17660-2. Οι διάμετροι των κυλινδρικών στελεχών γύρω από τα οποία γίνεται η κάμψη δίνονται στον Πιν. 8-3.

Πίνακας 8-3 Διάμετροι κυλινδρικών στελεχών για δοκιμή κάμψης

Ονομ. διάμετρος ράβδου (mm)	Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους (mm)
$d \leq 8$	5d
$8 < d \leq 12$	6d
$12 < d \leq 20$	8d
$20 < d \leq 32$	10d
$32 < d$	12d

β) Αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Το δοκίμιο θα ελέγχεται οπτικά μετά την κάμψη. Δεν πρέπει να υπάρχουν ρωγμές ορατές με γυμνό μάτι στην επιφάνεια της ράβδου. Τυχόν αποκόλληση της συγκόλλησης στο εξωράχιο της εξεταζόμενης ράβδου, δεν θεωρείται αστοχία.

γ) Αναφορά αποτελεσμάτων

Στην αναφορά αξιολόγησης αποτελεσμάτων της δοκιμής, θα πρέπει αναλυτικά, να αναφέρονται:

- Η διαδικασία συγκόλλησης
- Ο τύπος του δοκιμίου και οι διαστάσεις του
- Οι θέσεις ενδεχόμενων ρωγμών ή θραύσης

Στην αναφορά πρέπει σαφώς να δηλώνεται αν ικανοποιούνται ή όχι οι απαιτήσεις αυτού του Κανονισμού, για τη δοκιμή.

8.6 Συγκόλληση νέου οπλισμού σε παλαιό

8.6.1 Γενικά

Όταν παρίσταται ανάγκη συγκόλλησης παλαιού οπλισμού ή οπλισμού άγνωστης προέλευσης με νέο είναι απαραίτητο να γίνεται αρχικά αναγνώριση του υλικού.

Η χημική ανάλυση μπορεί να γίνει σε συμπαγές δοκίμιο

Για την αναγνώριση του υλικού του παλαιού οπλισμού

μικρών διαστάσεων, κατά προτίμηση με φασματοσκοπική μέθοδο.

Αν η λήψη συμπαγούς δοκιμίου δεν είναι δυνατή συνιστάται να γίνεται απόληψη δείγματος σε μορφή ρινισμάτων με δράπανο και να ακολουθήσει χημική ανάλυση με κατάλληλη μέθοδο. Κατά την απόληψη του δείγματος το δράπανο θα λειτουργεί σε χαμηλές στροφές, για την αποφυγή απανθράκωσης του υλικού. Σε κάθε περίπτωση θα εξασφαλίζεται η αντιπροσωπευτικότητα του δείγματος και η μη αλλοίωση του από τη διαδικασία της κοπής.

Επιβεβαίωση της ποιότητας του χάλυβα μπορεί να γίνει με μέτρηση της σκληρότητας και μεταλλογραφική παρατήρηση στο ίδιο δοκίμιο. Αν μπορεί να ληφθεί δοκίμιο καταλλήλων διαστάσεων συνιστάται να γίνεται και δοκιμή εφελκυσμού. Περισσότερα στοιχεία δίνονται στο Παράρτημα Π7.

Για συγκολλήσεις με λωρίδες ή με άλλα χαλύβδινα στοιχεία δεν υπάρχουν επαρκή βιβλιογραφικά και πειραματικά δεδομένα. Σε αυτές τις περιπτώσεις ο σχεδιασμός θα γίνεται βάσει δοκιμών (design by testing) από τις οποίες θα προκύπτει ότι οι συνδέσεις ικανοποιούν τις απαιτήσεις ελέγχου ποιότητας της Παραγρ.8.5.

Ο καθαρισμός της σκουριάς μπορεί να γίνει με συρματόβουρτσα, με σμυριδόχαρτο ή σμυριδόπανο. Ο καθαρισμός από οργανικές και λιπαρές ουσίες γίνεται με κατάλληλους οργανικούς διαλύτες ή κοινά απορρυπαντικά.

Η προθέρμανση γίνεται με χρήση ήπιας φλόγας προπανίου/βουτανίου. Για τη μέτρηση της θερμοκρασίας (βλ. και Παραγρ. 8.4.1) χρησιμοποιείται κατά προτίμηση φορητό θερμοστοιχείο επαφής. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν θερμοευαίσθητοι χρωμοδείκτες οι οποίοι αλλάζουν χρώμα σε συγκεκριμένη θερμοκρασία (π.χ. 200°, 250°, 300°C). Η αλλαγή του χρώματος υποδηλώνει ότι η βαμμένη περιοχή απέκτησε τη συγκεκριμένη θερμοκρασία του δείκτη. Το μέταλλο χρωματίζεται με τα μολύβια σε απόσταση 100-150mm από τη συγκόλληση και η προθέρμανση εκτελείται χωρίς η φλόγα να έρθει σε επαφή με τη βαμμένη περιοχή. Η προθέρμανση σταματάει όταν παρατηρηθεί αλλαγή του χρώματος.

Για τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο ρουτίλιου E6013 κατά AWS, κατάλληλο για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις (τυπική αντοχή $f_y=340-380\text{MPa}$, $f_t=430-460\text{MPa}$, $\epsilon_s=17-22\%$). Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιηθεί ηλεκτρόδιο χαμηλού υδρογόνου E9018 κατά AWS, κατάλληλο για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις (τυπική αντοχή $f_y=530-600\text{MPa}$, $f_t=620\text{MPa}$, $\epsilon_s=14-24\%$).

Για τη συγκόλληση GMAW χρησιμοποιείται ηλεκτρόδιο-σύρμα ER-70S6 ($f_y = 420\text{MPa}$, $f_t = 540\text{MPa}$, $\epsilon_s= 25\%$) ή

επιβάλλεται να γίνεται χημική ανάλυση. Ανάλογα με την περιεκτικότητα (% κ.β.) σε άνθρακα και την ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα, διακρίνονται οι εξής περιπτώσεις :

- α) Αν προκύψει $C<0,24$ και $C_{eq}<0,52$, ο χάλυβας είναι συγκολλησίμος, κατά τους ορισμούς του παρόντος Κανονισμού, και συγκολλείται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στις Παραγρ. 8.1 έως 8.4.
- β) Αν προκύψει $0,25<C<0,45$ και $C_{eq}<0,70$ ο χάλυβας θεωρείται συγκολλησίμος υπό προϋποθέσεις. Η συγκόλληση εκτελείται, αφού προηγηθεί προθέρμανση, με εφαρμογή των αναφερομένων στην Παραγρ. 8.6.2.
- γ) Αν προκύψει $C>0,45$ ή/και $C_{eq}>0,70$ ο χάλυβας θεωρείται μη συγκολλησίμος και δεν επιτρέπεται να συγκολληθεί. Σε περιπτώσεις εξαιρετικής ανάγκης εξετάζεται το ενδεχόμενο της συγκόλλησης μετά από ειδική προς τούτο έρευνα. Εάν από την έρευνα προκύψει η δυνατότητα συγκόλλησης, η εργασία θα εκτελείται με βάση συγκεκριμένη τεχνική προδιαγραφή, που θα συνταχθεί στο πλαίσιο της έρευνας και υπό την παρακολούθηση εξειδικευμένου εργαστηρίου.

8.6.2 Συγκόλληση χαλύβων συγκολλησίμων υπό προϋποθέσεις

Αν συντρέχουν οι προϋποθέσεις της περίπτωσης της Παραγρ. 8.6.1-(β), η συγκόλληση εκτελείται με τεχνικές συγκόλλησης τόξου, όπως περιγράφεται παρακάτω, με όλους τους τύπους σύνδεσης πλην της σταυρωτής (βλ. Πιν. 8.1).

Πριν από τη συγκόλληση, θα καθαρίζεται προσεκτικά ο παλαιός οπλισμός από προϊόντα διάβρωσης (σκουριά), καθώς και από τυχόν υπάρχουσες οργανικές και λιπαρές ουσίες.

Στη συνέχεια θα γίνεται προθέρμανση σε όλο το μήκος της σύνδεσης και τουλάχιστον 50mm εκατέρωθεν αυτής έτσι ώστε η θερμοκρασία σε απόσταση 100-150mm να είναι 200°-250°C.

Ακολουθεί η συγκόλληση η οποία εκτελείται, σύμφωνα με τα οριζόμενα στις σχετικές παραγράφους του παρόντος Κεφαλαίου.

Για συγκόλληση κατά παράθεση, η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι είτε η χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (SMAW), είτε η ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα Ar-CO₂ (GMAW). Όταν υπάρχει δυνατότητα επιλογής μεταξύ των δύο συνιστάται η δεύτερη. Εφόσον οι ράβδοι βρίσκονται σε κατακόρυφη θέση οι συγκολλήσεις γίνονται πάντα με φορά από κάτω προς τα πάνω (ανεβατές).

και ηλεκτρόδιο υψηλότερης αντοχής ER-80S-G.

Για τη συγκόλληση GMAW χρησιμοποιούμε ηλεκτρόδιο-σύρμα ER-70S6 ($f_y=420\text{MPa}$, $f_t=540\text{MPa}$, $\varepsilon_s=25\%$) αν ο παλαιός οπλισμός είναι S400 και ER80S-G ($f_y=460\text{MPa}$, $f_t=570\text{MPa}$, $\varepsilon_s=22\%$) αν ο οπλισμός είναι S500. Η συγκόλληση GMAW δεν απαιτεί ιδιαίτερα υψηλή επιδεξιότητα από τον συγκολλητή, γι' αυτό και οι απαιτούμενες αντοχές επιτυγχάνονται εύκολα. Οι συγκολλήσεις αυτές, εφόσον δεν περιέχουν ελαττώματα, είναι εξαιρετικής ποιότητας και παρουσιάζουν άρτια μηχανικά χαρακτηριστικά.

Η χειρωνακτική συγκόλληση τόξου (SMAW), θα μπορούσε να εφαρμοσθεί μόνον από πεπειραμένους συγκολλητές, και για το λόγο αυτό είναι σκόπιμο να αποφεύγεται. Ο σοβαρότερος κίνδυνος είναι η δημιουργία μη μεταλλικών εγκλεισμάτων που οδηγούν σε μείωση της αντοχής.

Σε περίπτωση αμφιβολίας για την ποιότητα της συγκόλλησης, μπορεί να γίνει έλεγχος με μέτρηση της σκληρότητας επάνω στη συγκόλληση και στη θερμικά επηρεασμένη ζώνη, δηλ. μέσα σε μία απόσταση από τη συγκόλληση ίση με το ήμισυ της διαμέτρου της ράβδου. Η μέτρηση μπορεί να γίνει με φορητό σκληρόμετρο και οι ενδείξεις δεν πρέπει να υπερβαίνουν τα 350HV, είναι δε προτιμότερο να είναι κάτω από 300HV.

Για μετωπική συγκόλληση, η μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα Ar-CO_2 (GMAW). Σε οριζόντιες θέσεις, διαμορφώνεται λοξοτομή μονού-V στις δύο ράβδους, Σχήμα 8-1(β). Σε κατακόρυφες θέσεις, συνιστάται διπλή λοξοτομή στην άνω ράβδο, εκτός αν η πρόσβαση και από τις δύο πλευρές δεν είναι δυνατή, οπότε μπορεί να γίνεται μονή λοξοτομή στην άνω ράβδο.

Γενικά η συγκόλληση θα εκτελείται αργά, ώστε να παρέχεται επαρκής θερμική παροχή, χωρίς όμως να πυρακτώνεται ολόκληρη η ράβδος. Μεταξύ των διαδοχικών πάσων θα γίνεται προσεκτική αφαίρεση της σκουριάς και θα παρακολουθείται η θερμοκρασία του μετάλλου στην περιοχή της συγκόλλησης ώστε να παραμένει μεταξύ των 200°C - 250°C .

Η συγκόλληση θα γίνεται, κατά προτίμηση, όταν ο καιρός είναι καλός και ξηρός. Θα αναβάλλεται σε περίπτωση βροχής, υψηλής υγρασίας, υπομηδενικών θερμοκρασιών και δυνατού ανέμου, εκτός αν ληφθούν ειδικά μέτρα προστασίας (π.χ. πετάσματα προστασίας της περιοχής συγκόλλησης).

Μετά την εκτέλεση της συγκόλλησης οι ράβδοι αφήνονται να ψυχθούν ήρεμα στον αέρα. Απαγορεύεται αυστηρά η επιτάχυνση της απόψυξης με χρήση νερού ή άλλων μέσων.

8.6.3 Δοκιμές ελέγχου ποιότητας συγκολλήσεων

Οι δοκιμές ελέγχου ποιότητας των παραπάνω συγκολλήσεων θα εκτελούνται σύμφωνα με τα αναφερόμενα στην Παράγρ. 8.5. Οι ελεγχόμενες ιδιότητες θα πρέπει να ικανοποιούν τις αντίστοιχες απαιτήσεις, ενώ ενδέχεται ο προσδιορισμός της συνολικής ανηγμένης παραμόρφωσης, ε_u , και του λόγου, f_t/f_y , να είναι δυσχερές.

8.7 Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων

Κατά τη διάρκεια εργασιών συγκόλλησης θα τηρούνται οι ισχύουσες διατάξεις για την Ασφάλεια και την Υγεία των εργαζομένων (βλ. Παράρτημα Π9).

Κεφάλαιο 9: ΠΛΕΓΜΑΤΑ

Ο Κανονισμός αυτός δεν καλύπτει, προς το παρόν, τα ασυνήθη στην Ελληνική αγορά πλέγματα με δίδυμες ράβδους κατά τη μία (κύρια) διεύθυνση, δηλαδή με ράβδους της ίδιας τεχνικής κατηγορίας χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος και της ίδιας διαμέτρου τοποθετημένες συνήθως σε επαφή, σχηματίζοντας ζεύγος.

Τα πλέγματα αυτά συνήθως προορίζονται για αναδίπλωση ή κάμψη ("μανδύες", για κλωβούς οπλισμού, σωλήνες πασσάλους κ.λπ.) ή για όπλιση πλακών ή τοιχείων (ως "λωρίδες" ή "σταυροί").

Για την παραγωγή πλεγμάτων ειδικού τύπου (π.χ. "μανδύες"), μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά τη δευτερεύουσα διεύθυνση (προς συγκράτηση και στερέωση) και ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος τεχνικής κατηγορίας εκτός ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 (π.χ. χονδροσύρματα κατηγορίας St 37-2 κατά DIN 17100 ή S235 JR κατά EN 10025, διαμέτρου συνήθως 5,5 έως 6,5mm). Οι ράβδοι αυτές μπορεί να είναι λείες, αλλά όχι με κοιλότητες (έγγλυφες αυλακώσεις).

Εάν παρατηρηθούν τέτοιες αποσυνδέσεις, η αποδοχή ή η απόρριψη, ή η ενδεχόμενη επιτόπου αποκατάστασή τους, με ηλεκτροσυγκόλληση ή μηχανικές συνδέσεις, εξαρτάται από τον τύπο ή/και τη χρήση του πλέγματος, κατά την κρίση του Επιβλέποντος Μηχανικού. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι θα μπορούσαν να γίνουν αποδεκτές και αποσυνδέσεις ράβδων σε ποσοστό μέχρι και 20% του συνόλου των σημείων σύνδεσης ή μέχρι και 50% κατά μήκος οποιασδήποτε ράβδου αν αυτό δεν επηρεάζει τη συμπεριφορά του δομικού στοιχείου.

9.1 Γενικά

Τα πλέγματα διακρίνονται γενικώς σε δύο βασικές κατηγορίες:

- Τα συνήθη ή απλά επίπεδα φύλλα (δομικά πλέγματα, δύο διευθύνσεων), τυποποιημένα ή μη, και
- Τα ειδικού τύπου πλέγματα.

Η παραγωγή των κάθε είδους πλεγμάτων θα γίνεται αποκλειστικά σε εργοστάσιο με αυτόματες μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, με ηλεκτρική αντίσταση. Οι ράβδοι χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των πλεγμάτων θα είναι ευθύγραμμες ή ευθυγραμμισμένες από κουλούρα. Οι ράβδοι αυτές θα είναι τεχνικής κατηγορίας B500A και B500C (αναλόγως της χρήσης των πλεγμάτων), σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ1421-2 και ΕΛΟΤ1421-3.

Το πεδίο εφαρμογής, ανάλογα με την τεχνική κατηγορία και τη διάμετρο, δίνεται στον Πιν. 3-1 του παρόντος Κανονισμού, ενώ για τα διάφορα χαρακτηριστικά των ράβδων (π.χ. γεωμετρικά, μηχανικά κ.λπ.) έχουν εφαρμογή τα οριζόμενα στο Κεφ. 3.

9.2 Συγκολλήσεις για την παραγωγή πλεγμάτων

Γενικώς, έχουν εφαρμογή οι διατάξεις του Κεφ. 8 του παρόντος Κανονισμού.

Ειδικώς για τα πλέγματα, οι ηλεκτροσυγκολλήσεις των διασταυρούμενων ράβδων θα γίνονται μόνον σε ευθύγραμμες (ή ευθυγραμμισμένες από κουλούρες) ράβδους.

Η ελάχιστη αντοχή σε διάτμηση (δύναμη, F_s) των σημείων σύνδεσης των διασταυρούμενων ράβδων του πλέγματος, εξαρτάται από τον τύπο ή/και τη χρήση του, όπως προβλέπεται σε επόμενες Παραγράφους του παρόντος Κεφαλαίου.

Γενικώς οι αποσυνδέσεις των ράβδων στα σημεία συγκόλλησης δεν γίνονται αποδεκτές. Ειδικότερα, όταν οι εγκάρσιες ηλεκτροσυγκολλημένες ράβδοι λαμβάνονται υπόψη για την απομείωση του μήκους αγκύρωσης των διαμήκων (κύριων) ράβδων, κανένα από τα σχετικά σημεία σύνδεσης δεν πρέπει να παρουσιάζει θραύσεις ή άλλες αστοχίες.

Γενικώς, για λόγους αποφυγής θραύσεων των σημείων σύνδεσης, συνιστάται να αποφεύγονται οι κάμψεις σε θέσεις ηλεκτροσυγκολλήσεων, ακόμη και με μεγάλες διαμέτρους κάμψης ($D > 20d$).

Ειδικώς για πλέγματα ειδικού τύπου (π.χ. “μανδύες”), που προορίζονται για δημιουργία κλωβών οπλισμού και χρησιμοποιούνται ως οπλισμός διάτμησης ή/και περίσφιγξης, οι κάμψεις πρέπει να γίνονται σε αποστάσεις τουλάχιστον $4d$ από τα σημεία σύνδεσης (για την αποφυγή αποκολλήσεων ή πρόσθετων καταπονήσεων στην περιοχή σύνδεσης των ράβδων). Οι ελάχιστες διαμέτροι των τύμπανων κάμψης είναι:

- $12d$ και $4d$ για τους χάλυβες οπλισμού B500A και B500C αντίστοιχα (βλ. και Παραγρ. 6.5.), και
- $2,5d$ για τα σύρματα συγκράτησης.

Σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ (Παραγρ. 17.6.1), για να θεωρηθεί μια αγκύρωση ως Τύπου 3, με συντελεστή “αποδοτικότητα” $\alpha=0,7$, τόσο σε εφελκυσμό όσο και σε θλίψη, πρέπει στο μήκος αγκύρωσης και σε απόσταση το πολύ $5d$ από τη θέση έναρξής του, να υπάρχει τουλάχιστον μία ηλεκτροσυγκολλημένη εγκάρσια ράβδος με διάμετρο ίση τουλάχιστον με $0,6d$, όπου d η ονομαστική διάμετρος της κύριας (προς αγκύρωση) ράβδου. Οι απαιτήσεις αυτές για την εγκάρσια ράβδο, ισχύουν ανεξάρτητα από την τεχνική κατηγορία του χάλυβα και την μορφή της επιφάνειας της ράβδου (υψηλής συνάφειας ή λείας).

9.3 Κάμψεις πλεγμάτων

Για τα πλέγματα που αναδιπλώνονται ή κάμπτονται, ισχύουν οι διατάξεις του ΕΚΩΣ (Παραγρ. 17.2.3.2) για τις ελάχιστες διαμέτρους D των κυλινδρικών στελεχών κάμψης (καμπύλωσης) και για τα σημεία σύνδεσης εντός ή εκτός της περιοχής κάμψης (του καμπύλου τμήματος).

Πλέγμα που έχει καμφθεί απαγορεύεται να επανευθυγραμμισθεί (βλ. και Παραγρ. 6.5).

9.4 Χαρακτηριστικά πλεγμάτων

Τα πλέγματα γενικώς παράγονται ως επίπεδα φύλλα, αποτελούμενα από διασταυρούμενες, υπό ορθή γωνία, διαμήκεις και εγκάρσιες ράβδους χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος ίδιας ή διαφορετικής τεχνικής κατηγορίας, ίδιας ή διαφορετικής διαμέτρου και ίδιου ή διαφορετικού μήκους, οι οποίες έχουν ηλεκτροσυγκολληθεί σε όλους τους “κόμβους” (σημεία διασταύρωσης των ράβδων) σε εργοστάσιο με αυτόματες μηχανές. Γενικώς, τα φύλλα διατίθενται σε ορθογωνική μορφή, διαφόρων διαστάσεων, και διακρίνονται σε δομικά (τυποποιημένα και μη τυποποιημένα) και σε ειδικού τύπου.

Ειδικά για τα δομικά πλέγματα οι διαμέτροι των ράβδων των δύο διευθύνσεων, πρέπει να ικανοποιούν τη σχέση:

$$d_{\min} \geq 0,6d_{\max}.$$

Για την αντοχή (δύναμη) σε διάτμηση των σημείων σύνδεσης αυτών των πλεγμάτων, θα ισχύει η απαίτηση:

$$F_s \geq 0,25f_{y,\text{nom}}A,$$

όπου: $f_{y,\text{nom}}$ η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής του χάλυβα οπλισμού (500MPa) και

A η ονομαστική διατομή της ράβδου με τη μεγαλύτερη ονομαστική διάμετρο.

Όταν η παρουσία εγκάρσιων ηλεκτροσυγκολλημένων ράβδων λαμβάνεται υπόψη στον υπολογισμό του μήκους αγκύρωσης των διαμήκων ράβδων, τότε σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ (Παραγρ. 3.1.5), κάθε ηλεκτροσυγκόλληση πρέπει να μπορεί να αναλάβει τέμνουσα δύναμη τουλάχιστον ίση με $0,30f_{y,\text{nom}} \cdot A$.

Στην Ελληνική αγορά τα βιομηχανοποιημένα αυτά πλέγματα, διατίθενται ως τετραγωνικά (Τ) ή ορθογωνικά (Ο), δίκην "εσχαρών" οπλισμού, ανάλογα με το αν οι βροχίδες είναι τετραγωνικές ή ορθογωνικές. Ο χαρακτηρισμός τους γίνεται με το γράμμα Τ ή Ο, ακολουθούμενο από τριψήφιο αριθμό, που αντιστοιχεί στην ανά μέτρο πλάτους του πλέγματος συνολική ονομαστική διατομή σε mm² των διαμήκων (κύριων) ράβδων. Στα πλέγματα Τ, η διατομή των εγκάρσιων ράβδων είναι ίδια με αυτή των διαμήκων, ενώ στα πλέγματα Ο, η διατομή των εγκάρσιων ράβδων είναι μικρότερη κατά τουλάχιστον 20% αυτής των διαμήκων. Για παράδειγμα, τα πλέγματα Τ131 έχουν διατομή 131mm²/m και ράβδους διατομής 5mm με βήμα 150mm, ενώ τα πλέγματα Τ188 έχουν διατομή 188mm²/m και ράβδους διατομής 6mm με βήμα 150mm.

Τα προεξέχοντα ("ελεύθερα") άκρα των ράβδων των τυποποιημένων δομικών πλεγμάτων είναι συνήθως της τάξης των 25mm.

Γενικώς, τα δομικά πλέγματα χρησιμοποιούνται σε πλάκες, τοίχους, τοιχεία, θεμέλια κ.λπ. Οι συνηθέστερες διαστάσεις πλάτους/μήκους των φύλλων, είναι τα 2,15/5,00m. Λόγω περιορισμών στη διακίνηση και διαχείριση των επίπεδων φύλλων, συνήθως μια από τις διαστάσεις τους είναι μικρότερη των 2,6m, ενώ το βάρος των φύλλων είναι μικρότερο από 50kg. Λόγω ειδικότερων απαιτήσεων και ανάλογα με την χρήση, τα φύλλα μπορούν να έχουν πλάτη από 0,8 έως και άνω των 3,2m, και μήκη από 1,2m έως και 12,0m ή και 14,0m.

Οι συνηθείς βροχίδες για μεν τα πλέγματα τύπου Τ είναι 100x100mm έως και 200x200mm, για δε τα πλέγματα τύπου Ο είναι 100x200mm έως και 150x250mm. Δηλαδή το βήμα των πλεγμάτων είναι από 100mm έως και 250mm (ή και 300 mm), μεταβαλλόμενο κατά 50mm.

Μορφολογικά χαρακτηριστικά που μπορεί να συμφωνηθούν είναι π.χ. οι διαστάσεις των φύλλων, οι διάμετροι και τα βήματα των ράβδων, τα μήκη των ελεύθερων άκρων, το ενδεχόμενο πύκνωσης ή αραιώσης (για λόγους οικονομίας υλικού) κ.λπ.

Τα βαρύτερα τετραγωνικά δομικά πλέγματα, με ράβδους διαμέτρου π.χ. 8mm έως και 12mm, σε βήματα π.χ. 200mm έως και 100mm, είναι γνωστά στην αγορά και ως "εσχάρες" οπλισμών. Για παράδειγμα, μια τυπική εσχάρα πέδιλου είναι τετραγωνική, με ράβδους ελάχιστης διαμέτρου 12mm και μέγιστου βήματος 150mm (με διατομή οπλισμού περίπου 750mm²/m), ενώ μια τυπική εσχάρα τοιχείου είναι τετραγωνική, με ράβδους διατομής 8 ή 10mm σε βήμα 150 ή 200mm (έως και 300mm).

Κατά τον ΕΚΩΣ, Παραγρ. 17.2.2, η ταυτόχρονη χρησιμοποίηση διαφόρων ειδών και τύπων χαλύβων οπλισμού επιτρέπεται μόνον αν αυτό λαμβάνεται υπόψη κατά τη διαστασιολόγηση και εφόσον αποκλείεται κάθε σύγχυση κατά την κατασκευή.

9.4.1 Τυποποιημένα δομικά πλέγματα

Τυποποιημένα δομικά πλέγματα ονομάζονται τα πλέγματα που είναι κατασκευασμένα με καθορισμένα τεχνικά και μορφολογικά χαρακτηριστικά, με βάση τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

Τα τυποποιημένα δομικά πλέγματα διατίθενται ως ετοιμοπαράδοτα προϊόντα και χρησιμοποιούνται ως επίπεδα φύλλα, δύο διευθύνσεων οπλισμού.

9.4.2 Μη τυποποιημένα δομικά πλέγματα

Ως μη τυποποιημένα, ονομάζονται τα πλέγματα που είναι κατασκευασμένα με ειδικά μορφολογικά χαρακτηριστικά που συμφωνούνται (σαφώς και εγγράφως) μεταξύ παραγωγού και χρήστη (πλέγματα κατά παραγγελία). Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των πλεγμάτων αυτού του τύπου πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.

9.4.3 Πλέγματα ειδικού τύπου

Πρόκειται για ειδικά επίπεδα φύλλα πλεγμάτων, της ίδιας γενικά μορφής με τα συνήθη δομικά πλέγματα, αλλά με ράβδους χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος ίδιας ή και διαφορετικής τεχνικής κατηγορίας κατά τις δύο διευθύνσεις (κύρια και δευτερεύουσα), προοριζόμενα για ειδικές χρήσεις. Κατά τη μία διεύθυνση (κύρια, διαμήκη) χρησιμοποι-

Σχετικώς, βλ. και την Παραγρ. 9.1.

Τα ιδιαίτερα μορφολογικά χαρακτηριστικά που μπορούν να συμφωνηθούν μεταξύ παραγωγού και χρήστη, είναι ευρύτερα αυτών που αναφέρονται στα μη τυποποιημένα δομικά πλέγματα (δύο διευθύνσεων). Για παράδειγμα, στα χαρακτηριστικά περιλαμβάνονται οι ακριβείς θέσεις των χονδροσυρμάτων συγκράτησης και στερέωσης, η πυκνή ή αραιή διάταξη χονδροσυρμάτων κ.λπ..

Για "μανδύες" συνδετήρων που προορίζονται για ειδική χρήση (π.χ. για πλάκες ή πλακοδοκούς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας), επιτρέπονται διατάξεις αγκύρωσης σύμφωνα με τον ΕΚΩΣ, Παραγρ. 17.9.1, Σχ. 17.3) όταν η επικάλυψη στην περιοχή αγκύρωσης είναι τουλάχιστον 50mm. Οι διατάξεις αυτές ισχύουν για εγκάρσιες ράβδους που περιλαμβάνονται στο μήκος αγκύρωσης, ανεξάρτητα από την τεχνική κατηγορία του χάλυβα και τη μορφή της επιφάνειας των εγκάρσιων ράβδων (υψηλής συνάφειας ή λείας) (βλ. και Παραγρ. 9.4).

Τα ειδικού τύπου πλέγματα (γενικώς ορθογωνικά και μιας διεύθυνσης), χρησιμοποιούνται είτε ως έχουν, επίπεδα, ως λωρίδες ή διασταυρούμενα, είτε μετά από καμπύλωση (π.χ. οπλισμός σωλήνων ή κλωβός πασσάλων) ή κάμψη, (π.χ. ως "μανδύες" για δοκούς, υποστυλώματα, τοιχώματα κ.λπ.).

Για τις ανοχές για άλλα μεγέθη ή χαρακτηριστικά των πλεγμάτων, όπως π.χ. η διατομή mm^2/m , το βάρος φύλλου ή δέματος, η δύναμη F_s κ.λπ., ή για ειδικού τύπου πλέγματα, μπορεί επίσης να γίνει ιδιαίτερη συμφωνία μεταξύ παραγωγού και χρήστη.

Βλέπε σχετικώς και τα Κεφ. 5 έως και 7 του παρόντος Κανονισμού.

ούνται ράβδοι κατηγορίας B500C σύμφωνα με τις απαιτήσεις των Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080 και ΕΛΟΤ 1421-3, ενώ κατά την άλλη (δευτερεύουσα, εγκάρσια) χρησιμοποιούνται ράβδοι (συνήθως λείες) από συγκολλησιμο χάλυβα, οι οποίες χρησιμεύουν μόνο για την στερέωση και συγκράτηση των ράβδων της κύριας διεύθυνσης.

Τα μορφολογικά χαρακτηριστικά των πλεγμάτων αυτών πρέπει να συμφωνούνται σαφώς και εγγράφως μεταξύ παραγωγού και χρήστη.

Για τα σημεία σύνδεσης των ράβδων αυτών των πλεγμάτων ισχύει η παρακάτω απαίτηση για αντοχή σε διάτμηση:

$$F_s \geq 0,15 f_{y, \text{nom}} A$$

όπου $f_{y, \text{nom}}$ η ονομαστική τιμή του ορίου διαρροής των ράβδων της κύριας διεύθυνσης του χάλυβα οπλισμού (500MPa) και

A η ονομαστική διατομή της ράβδου αυτής της διεύθυνσης.

Κατά τις κάμψεις και αναδιπλώσεις των ειδικού τύπου πλεγμάτων, τα χονδροσύρματα συγκράτησης και στερέωσης πρέπει τελικά να βρίσκονται διατεταγμένα προς το εσωτερικό (προς τον πυρήνα) των δομικών στοιχείων.

Για τις ηλεκτροσυγκολλήσεις και κάθε είδους κάμψεις, ισχύουν οι απαιτήσεις των Παραγρ. 9.2 και 9.3 του παρόντος Κανονισμού.

9.5 Ανοχές διαστάσεων

Για τα κάθε είδους πλέγματα ισχύουν οι ακόλουθες ανοχές διαστάσεων:

- **Πλάτος και μήκος**
 $\pm 25\text{mm}$ ή $\pm 0,5\%$ (όποιο είναι μεγαλύτερο)
- **Βήμα (με ελάχιστη τιμή 50mm)**
 $\pm 15\text{mm}$ ή $\pm 7,5\%$ (όποιο είναι μεγαλύτερο)
- **Προεξοχές (με ελάχιστη τιμή 25mm)**
Δεν προδιαγράφεται ανοχή (παρά μόνον κατόπιν συμφωνίας).

9.6 Διακίνηση, διαμόρφωση, τοποθέτηση

Τα έτοιμα ή ημι-έτοιμα προϊόντα των κάθε είδους πλεγμάτων παρουσιάζουν μεγαλύτερη ευαισθησία (π.χ. σε σύγκριση με τις ευθύγραμμες ράβδους), από πολλές απόψεις (π.χ. κατά τη διαχείριση τους, έναντι διάβρωσης κ.λπ.) και συνεπώς απαιτείται μεγαλύτερη προσοχή και λήψη πρόσθετων μέτρων, κατά περίπτωση.

Τα πλέγματα πρέπει να διακινούνται, να τοποθετούνται κ.λπ., όπως θα χρησιμοποιηθούν τελικώς, δηλαδή ως επίπεδα φύλλα ή λωρίδες, ως κλωβοί κ.λπ., με σταθερή γεωμετρία και σε σταθερή διάταξη, χωρίς παραμορφώσεις και αστοχίες των ηλεκτροσυγκολλήσεων, ενώ οι κάθε είδους πρόσθετες παραμορφώσεις ή αναδιπλώσεις (π.χ. για λόγους αποθήκευσης ή μεταφοράς ή ανύψωσης κ.λπ.),

Τα Τεχνικά Δελτία Παραγγελίας και Παράδοσης, καθώς και οι αναγνωριστικές Πινακίδες, πρέπει να περιέχουν σαφείς και ρητές αναφορές, και στοιχεία για τον τύπο του πλέγματος και τις ιδιότητες του (χαρακτηριστικά και όροι), τυποποιημένες ή κατά παραγγελία, σύμφωνα με τον παρόντα Κανονισμό.

Βλέπε σχετικώς, και τις Παραγρ. 9.2, 9.3 και 9.4.3 για τη διάταξη των χονδροσυρμάτων.

Λόγω της μορφής, της γεωμετρίας και των λοιπών χαρακτηριστικών των πλεγμάτων, τα μικρο-ατυχήματα κατά τη διακίνηση, τη διαμόρφωση ή την τοποθέτηση (όπλιση) είναι συχνά και συνεπώς πρέπει να λαμβάνονται αποτελεσματικά μέτρα αποφυγής τους.

απαγορεύονται.

Κατά τη διακίνηση των πλεγμάτων εφαρμόζονται όλες οι σχετικές απαιτήσεις των Παραγρ. 5.5 και 5.6 σχετικά με τα απαιτούμενα συνοδευτικά έγγραφα. Επίσης, είναι υποχρεωτική η πρόσδεση ειδικών αναγνωριστικών πινακίδων ανά δέμα ομοειδών πλεγμάτων.

Όσον αφορά την περαιτέρω κατεργασία και διαμόρφωση των κάθε είδους πλεγμάτων, ισχύουν οι απαιτήσεις του Κεφ. 6.

Όσον αφορά την τοποθέτηση και διάταξη των κάθε είδους πλεγμάτων (όπλιση), ισχύουν και οι Παραγρ. 7.1 και 7.2, με πρόσθετη απαίτηση την κατά περίπτωση λήψη πρόσθετων μέτρων προς αποφυγή των παραμορφώσεων των φύλλων ή κλωβών, των αστοχιών ή θραύσεων των συγκολλήσεων κ.λπ.

9.7 Ασφάλεια και Υγεία των εργαζομένων

Τα μέτρα ασφάλειας και υγείας των εργαζομένων σε περιπτώσεις χρήσης πλεγμάτων πρέπει να είναι συστηματικά και σύμφωνα με τις διατάξεις και προβλέψεις της Παραγρ. 7.6 και του Παραρτήματος Π9 του παρόντος Κανονισμού.

Κεφάλαιο 10: ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Η ταχύτητα διάβρωσης του χάλυβα αυξάνεται, τόσο εντός όσο και εκτός σκυροδέματος, με:

- Την αύξηση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας
- Την μείωση του pH
- Την αύξηση της παρουσίας αλάτων (π.χ. θαλάσσιο περιβάλλον)
- Την επαφή του χάλυβα με το έδαφος, το νερό κ.λπ.
- Την επαφή του χάλυβα με διαφορετικά υλικά ή περιβάλλοντα όπως π.χ. ένα τμήμα ράβδου σε σκυρόδεμα και ένα τμήμα ράβδου σε ασβεστούχο κονίαμα.

Οι συχνές μεταβολές των πιο πάνω παραγόντων επηρεάζουν περαιτέρω την ταχύτητα της διάβρωσης.

Άλλοι παράγοντες αύξησης της ταχύτητας διάβρωσης είναι:

- Η ύπαρξη ενεργών “κέντρων” στην επιφάνεια του χάλυβα (όπως π.χ. οξείες αιχμές ή πληγές, κάμψεις με μικρή ακτίνα καμπυλότητας κ.λπ.)
- Η ύπαρξη επιφανειακής αλλοίωσης λόγω προϋπάρχουσας διάβρωσης
- Η επαφή χαλύβων διαφορετικού είδους και διαφορετικού ηλεκτροχημικού δυναμικού
- Η επαφή χαλύβων διαφορετικού βαθμού διάβρωσης
- Η ψυχρή κατεργασία (ολκή, έλαση κ.λπ.)
- Το αυξημένο πορώδες του σκυροδέματος.

Βλ. και σχετικές διατάξεις του ΚΤΣ.

Τα μέτρα αυτά έχουν διαφορετικό κόστος και εξασφαλίζουν διαφορετική διάρκεια προστασίας από τη διάβρωση και το καθένα τους ενδείκνυται κατά περίπτωση. Ενδέχεται όμως να έχουν και δυσμενείς συνέπειες, που πρέπει να μελετώνται εξαρχής, όπως:

- Δημιουργία γαλβανικών στοιχείων
- Ενδεχόμενη τοπική αποκόλληση κάθε είδους επίστρωσης
- Ειδικά για τους επιψευδαργυρωμένους, η αντίδραση του ψευδαργύρου με το $\text{Ca}(\text{OH})_2$ σκυροδέματος, κατά την οποία παράγεται υδρογόνο υπό μορφή φυσαλίδων στην περιοχή του οπλισμού, μειώνει την συνάφεια (ιδιαίτερα των λείων χαλύβων). Για την αποφυγή αυτού του φαινομένου συνιστάται είτε η χρήση χρωμικών αλάτων (είτε στο σκυρόδεμα είτε στον γαλβανισμένο χάλυβα), είτε η αντικατάσταση του καθαρού ψευδαργύρου από κράμα ψευδαργύρου με σίδηρο ή αλουμίνιο
- Τέτοιες ουσίες είναι οι ακρυλικές διασπορές, τα εποξικά χρώματα, ασφαλτομίγματα (οργανικές), τα χρώματα υδρύαλου (ανόργανες) κ.λπ.

10.1 Γενικά

Ο χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος πρέπει να προστατεύεται από την διάβρωση, τόσο πριν από την ενσωμάτωσή του στο σκυρόδεμα όσο και μετά από αυτήν.

Ειδικότερα όσον αφορά τη διάβρωση του χάλυβα πριν από την ενσωμάτωσή του στο σκυρόδεμα, έχουν εφαρμογή οι Παραγρ. 5.3, 5.4 και 10.2.

Κατά την τοποθέτηση στην τελική θέση, ο χάλυβας πρέπει να είναι απαλλαγμένος από εμφανείς απολεπίσεις, αλλοιώσεις ή αθέλητες παραμορφώσεις και πληγές, οι οποίες εκτός των άλλων επιταχύνουν το φαινόμενο της διάβρωσης.

Όσον αφορά την προστασία του χάλυβα από τη διάβρωση μετά την ενσωμάτωσή του στο σκυρόδεμα, αυτή γενικώς καλύπτεται από την παθητική προστασία που του προσδίδει το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος (όσο το pH είναι μεγαλύτερο από 9,5) και από την επικάλυψη στεγανότητας του σκυροδέματος.

Σε ειδικές περιπτώσεις, για τις οποίες απαιτείται μεγαλύτερη προστασία του οπλισμού από την διάβρωση μέσα στο σκυρόδεμα είτε επειδή υπάρχει έντονα διαβρωτικό περιβάλλον, είτε διότι απαιτείται μεγαλύτερη από τη συνήθη διάρκεια ζωής του έργου, μπορεί να λαμβάνονται κατά περίπτωση, πρόσθετα μέτρα όπως:

- Αύξηση της περιεκτικότητας του σκυροδέματος σε τσιμέντο ή χρήση ειδικών τσιμέντων
- Αύξηση του πάχους της επικάλυψης των οπλισμών με σκυρόδεμα
- Χρήση χαλύβων ανθεκτικότερων στη διάβρωση όπως οι επιψευδαργυρωμένοι (γαλβανισμένοι), οι καλυμμένοι με εποξικό επίστρωμα, οι καλυμμένοι με επίστρωμα ανοξειδωτου χαρακτήρα και οι ανοξειδωτοι χάλυβες
- Επίστρωση/επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με λεπτό προστατευτικό στρώμα από κατάλληλες οργανικές ή ανόργανες ουσίες
- Χρήση αναστολέων διάβρωσης
- Καθοδική προστασία.

Η ύπαρξη οξειδίων του σιδήρου στην επιφάνεια του χάλυβα, σε μικρές μεν ποσότητες βελτιώνει τη συνάφεια μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος, αλλά από μια ποσότητα και επάνω τη μειώνει. Θεωρείται βλαπτική εκείνη η ποσότητα οξειδίων του σιδήρου η οποία δεν μπορεί να αφομοιωθεί από το νωπό σκυρόδεμα μέσω της μετατροπής των οξειδίων σε φερριτική φάση (C_4AF). Η ποσότητα αυτή εξαρτάται από την σύσταση του τσιμέντου, και ιδίως από την περιεκτικότητα σε C_3A , καθώς και από το πορώδες του σκυροδέματος.

Με βάση θεωρητικούς υπολογισμούς, η ποσότητα οξειδίων του σιδήρου που μπορούν να αντιδρούν με αμιγές τσιμέντο πόρτλαντ, κατά την παραπάνω διαδικασία, ανέρχονται σε 350g/m^2 (ή πάχος οξειδίων σιδήρου της τάξης των $150\mu\text{m}$). Για τα συνήθη τσιμέντα (CEM II) οι τιμές είναι μικρότερες, της τάξης των 300g/m^2 .

Τα δείγματα θα λαμβάνονται από τις πιο οξειδωμένες περιοχές του χάλυβα. Η κοπή και η μεταφορά των δειγμάτων θα γίνεται έτσι ώστε να μην υπάρχουν απώλειες προϊόντων διάβρωσης. Βλ. και Παραγρ. 4.5.9 του παρόντος Κανονισμού.

Λόγω έντονων βελονισμών υπάρχει κίνδυνος να εκδηλωθεί διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση που οδηγεί σε ψαθυρή θραύση.

Το κρίσιμο βάθος βελονισμών, h_{crit} , είναι το βάθος πάνω από το οποίο συμβαίνει σημαντική μείωση της ολκιμότητας με κίνδυνο ψαθυρής θραύσης.

Προς το παρόν, και μέχρι να καθιερωθούν πιο αξιόπιστες και ασφαλείς τιμές, για τον προσδιορισμό του κρίσιμου βάθους βελονισμών, h_{crit} , προτείνεται η εφαρμογή της παρακάτω ημι-εμπειρικής σχέσης:

$$h_{\text{crit}} = 0,125(\sqrt{d} - 1)$$

όπου d η ονομαστική διάμετρος της ράβδου σε mm και h_{crit} το κρίσιμο βάθος βελονισμών σε mm.

10.2 Έλεγχος διάβρωσης

Η ύπαρξη προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια του οπλισμού επηρεάζει την ταχύτητα της περαιτέρω διάβρωσης και τη συνάφεια μεταξύ του οπλισμού και του σκυροδέματος.

Εάν η επιφάνεια του χάλυβα παρουσιάζει αλλοιώσεις λόγω διάβρωσης θα πρέπει να εξεταστεί εάν το ποσόν των προϊόντων διάβρωσης υπερβαίνει τα 300g/m^2 . Προκειμένου να προσδιοριστεί η ποσότητα των προϊόντων διάβρωσης ανά τετραγωνικό μέτρο της επιφάνειας του χάλυβα θα πραγματοποιείται η δοκιμή που περιγράφεται στη συνέχεια, σε δείγματα λαμβανόμενα σύμφωνα με την Παραγρ. 4.5.9.

Το κάθε δοκίμιο ζυγίζεται με ακρίβεια τουλάχιστον $0,01\text{g}$. Στη συνέχεια εμβαπτίζεται σε διάλυμα υδροχλωρικού οξέως 12% W/V (υδατικό διάλυμα 12g HCl σε 100ml διαλύματος) και εξαμεθυλενοτετραμίνη 0,35% W/V. Το δοκίμιο ζυγίζεται κάθε 30min μέχρι σταθερού βάρους.

Υπολογίζεται η διαφορά βάρους:

$$\Delta b = \text{αρχικό βάρος} - \text{τελικό βάρος}$$

Υπολογίζεται το εμβαδόν της επιφάνειας του δοκιμίου και η διαφορά βάρους ανάγεται σε g/m^2 .

Εάν η υπολογιζόμενη τιμή είναι μικρότερη από 300g/m^2 τότε ο χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Εάν η υπολογιζόμενη τιμή υπερβαίνει τα 300g/m^2 , τότε θα πρέπει να διερευνηθεί η ύπαρξη βελονισμών.

Ο έλεγχος των βελονισμών γίνεται με τη μέθοδο της μικροσκοπίας σύμφωνα με το DIN 50905-Part 3/87.

Ελλείψει κανονιστικών διατάξεων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εμπειρικές προσεγγίσεις του κρίσιμου βάθους βελονισμών. Εάν προσδιορισθεί βάθος βελονισμού μεγαλύτερο από το κρίσιμο βάθος, ο χάλυβας απορρίπτεται. Εάν προσδιορισθεί βάθος βελονισμού μικρότερο από το κρίσιμο, ο χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί υπό τις εξής προϋποθέσεις:

- Μηχανικός καθαρισμός των προϊόντων διάβρωσης ώστε η ποσότητα τους να γίνει μικρότερη από 300g/m^2
- Αυξημένα μέτρα προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση, σύμφωνα με αυτά που αναφέρονται στην Παραγρ. 10.1, επειδή ακόμη και εάν μειωθούν τα προϊόντα της διάβρωσης σε τιμές μικρότερες από 300g/m^2 , οι χάλυβες αυτοί παρουσιάζουν πλέον μεγαλύτερους ρυθμούς διάβρωσης από εκείνους που δεν είχαν υποστεί διάβρωση.

Οι δοκιμές για τον έλεγχο της διάβρωσης θα εκτελούνται αποκλειστικά σε εργαστήριο.

Πριν από την εφαρμογή μέτρων προστασίας, οι αναμονές θα καθαρίζονται π.χ. με συρματόβουρτσα ή αμμοβολή.

Για τις οργανικές επικαλύψεις (π.χ. με ασφαλτόμιγμα ή ειδικά αστάρια με αναστολείς διάβρωσης, που μπορούν να εφαρμοσθούν και με ψεκασμό), ενδέχεται να απαιτούνται περιοδικές επιθεωρήσεις και επανεπιχρίσεις, αναλόγως των συνθηκών.

Υπό κανονικές συνθήκες, για κατηγορίες περιβάλλοντος 1 και 2 κατά ΕΚΩΣ, κατάλληλα διαστήματα μεταξύ επανεπιχρίσεων είναι οι δεκαοκτώ μήνες, ενώ για κατηγορίες περιβάλλοντος 3 και 4 κατά ΕΚΩΣ, τα αντίστοιχα διαστήματα είναι της τάξης των δώδεκα μηνών, ή και λιγότερο.

Η κάλυψη των αναμονών με σκυρόδεμα προσφέρει διαρκέστερη προστασία, με μειωμένες απαιτήσεις επιθεώρησης και συντήρησης.

10.3 Προστασία αναμονών

Όπως αναφέρθηκε και στην Παραγρ. 7.2.3, οι κάθε είδους αναμονές ράβδων οπλισμού πρέπει να προστατεύονται από διάβρωση, αναλόγως του χρονικού διαστήματος κατά το οποίο θα παραμείνουν εκτεθειμένες, καθώς και των συνθηκών περιβάλλοντος, λειτουργίας και χρήσης.

Η προστασία των αναμονών γίνεται είτε:

- Με επικάλυψή τους, συνήθως με οργανικά υλικά
- Με εγκιβωτισμό τους και πλήρη κάλυψή τους με σκυρόδεμα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Παράρτημα Π1: ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

(Πληροφοριακό)

Π1.1 Γενικά

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος (Χ.Ο.Σ.), που παράγονται σήμερα τόσο στην Ελλάδα όσο και διεθνώς, προέρχονται στο μεγαλύτερο μέρος τους από τήξη παλαιοσιδήρου (scrap) σε ηλεκτρικές καμίνους (Electric Arc Furnace-EAF). Η περαιτέρω επεξεργασία τους, που περιλαμβάνει τη δευτερογενή μεταλλουργία, τη χύτευση και τη θερμομηχανική κατεργασία, επιλέγεται έτσι, ώστε να εξασφαλίζονται τα επιθυμητά χαρακτηριστικά στο τελικό προϊόν.

Η ποιότητα των χάλυβων που παράγονται εξαρτάται καταρχάς από την καθαρότητα της πρώτης ύλης που, 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. Πέραν των στοιχείων που προέρχονται από την πρώτη ύλη, υπάρχουν και άλλα στοιχεία που προέρχονται από τη μεταλλουργική τους επεξεργασία, όπως για παράδειγμα ασβέστιο (Ca), μαγνήσιο (Mg), πυρίτιο (Si) και αλουμίνιο (Al) (επαφή τήγματος με τα πυρίμαχα υλικά).

Οι πιθανές επιδράσεις από την παρουσία των υπολειμματικών στοιχείων (πάνω από ορισμένες περιεκτικότητες) στην ποιότητα των τελικών προϊόντων μπορούν να συνοψιστούν σε:

- Θερμή ρηγματώση που οφείλεται κυρίως στην παρουσία S, Cu και επιδεινώνεται με την παρουσία As, Sn και Sb.
- Ρωγμές και ψαθυρότητα που οφείλονται στην παρουσία S, P και H.
- Μεγάλη διασπορά στις τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων ειδικά στην περίπτωση χάλυβων θερμής έλασης λόγω W, Mo, Cr, Ni, P και N.
- Χαμηλή εν ψυχρώ διαμορφωσιμότητα λόγω N, P και S.
- Ψαθυροποίηση στη Θερμικά Επηρεασμένη Ζώνη των συγκολλήσεων λόγω S, N, P και H.

Σε αντιδιαστολή με τα παραπάνω στοιχεία (προσμίξεις, ακαθαρσίες, υπολειμματικά στοιχεία), τα οποία δεν μπορούν να ελεγχθούν ή ελέγχονται μέχρι ενός ορισμένου βαθμού κατά την παραγωγική διαδικασία, στην τελική σύσταση των Χ.Ο.Σ., υπάρχουν και κραματικά στοιχεία τα οποία προστίθενται σκόπιμα προκειμένου να καθορισθούν οι ιδιότητες των τελικών προϊόντων. Τα διάφορα κραματικά στοιχεία, ανάλογα και με την περιεκτικότητά τους, επηρεάζουν σε διαφορετικό βαθμό και τρόπο τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Η επίδραση των επί μέρους κραματικών στοιχείων-προσμίξεων στην συγκολλησιμότητα των Χ.Ο.Σ. ποσοτικοποιείται στην έκφραση του ισοδυνάμου του άνθρακα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται συνοπτικά:

- α) Ο ρόλος των κυριότερων κραματικών στοιχείων που συναντώνται στους Χ.Ο.Σ. είτε ως σκόπιμες προσθήκες (για τη δημιουργία κατάλληλων συνθέσεων), είτε ως προσμίξεις (υπολειμματικά στοιχεία) που είναι κατάλοιπα της μεταλλουργικής επεξεργασίας παραγωγής (μικροακαθαρσίες, στοιχεία από την πρώτη ύλη κ.λπ.)
- β) Η επίδραση της μεταλλοτεχνικής και θερμικής επεξεργασίας στα χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων.

Π1.2 Χημικά στοιχεία κραματικά των Χ.Ο.Σ.

Άνθρακας (C)

Στους Χ.Ο.Σ, ο άνθρακας είναι από τα βασικότερα κραματικά στοιχεία καθώς επηρεάζει σημαντικά την αντοχή και τη συγκολλησιμότητα τους. Αύξηση της περιεκτικότητας σε C οδηγεί σε αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής αλλά παράλληλα σε αναπόφευκτη μείωση της ολκιμότητας και της συγκολλησιμότητας. Αντίθετα, αύξηση της περιεκτικότητας σε C αυξάνει την εμβαπτότητα (hardenability) του χάλυβα που σχετίζεται με το βάθος βαφής των χάλυβων. Η τελευταία ιδιότητα είναι ιδιαίτερα σημαντική στους Χ.Ο.Σ. αφού είναι συνυφασμένη με συγκεκριμένη θερμομηχανική μεταλλοτεχνική επεξεργασία (θερμή έλαση με άμεση θερμική κατεργασία), η οποία ακολουθείται κατά την παραγωγή της πλειονότητας των Χ.Ο.Σ. σήμερα στην Ευρώπη (Tempcore, Thermex κ.λπ.). Στην πράξη, περιεκτικότητα σε C μεταξύ 0,18-0,24% στο τελικό προϊόν αποτελεί έναν συμβιβασμό μεταξύ των παραπάνω, σε ορισμένες περιπτώσεις, αντικρουόμενων ιδιοτήτων και εξασφαλίζει υψηλή αντοχή, ικανοποιητική επιμήκυνση και καλή συγκολλησιμότητα.

Μαγγάνιο (Mn)

Η κραμάτωση των χάλυβων με άνθρακα έχει ορισμένους περιορισμούς, επειδή με την αύξηση του ποσοστού του μειώνεται η συγκολλησιμότητα. Η επίδραση του μαγγανίου στη συγκολλησιμότητα είναι περίπου 5 με 6 φορές μικρότερη σε σχέση με τον άνθρακα (σύμφωνα και με τον υπολογισμό της τιμής του ισοδυνάμου άνθρακα). Κατά συνέπεια η προσθήκη Mn αποτελεί έναν ιδιαίτερα ευέλικτο τρόπο ελέγχου της αντοχής των Χ.Ο.Σ. (αύξηση της περιεκτικότητας από 0,1-1% μπορεί να έχει θετική επίδραση στις μηχανικές ιδιότητες μέχρι 15%). Επίσης το Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμο διότι δεσμεύει το

ελεύθερο θείο (MnS) μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο δημιουργίας θείουχου σιδήρου (FeS) ο οποίος προκαλεί ψαθυροποίηση του χάλυβα κατά τη θέρμανση περί τους 900°C.

Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο, όπως και το μαγγάνιο, υπάρχουν σχεδόν σε όλους τους χάλυβες επειδή περιέχονται στα μεταλλεύματα από τα οποία εξάγεται ο σίδηρος. Επιπλέον, το πυρίτιο προέρχεται τόσο από τη διαδικασία κάθαρσης (αποξείδωσης) του τήγματος όσο και από τις πυρίμαχες επενδύσεις που χρησιμοποιούνται στους κλιβάνους τήξης, στους οποίους εισάγεται στο τήγμα κατά τη διαδικασία παραγωγής του χάλυβα. Κραμάτωση με πυρίτιο οδηγεί σε σκλήρυνση του χάλυβα δίχως να επηρεάζεται σημαντικά η εμβαιότητα και κατά συνέπεια και η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Αύξηση της περιεκτικότητας κατά ποσοστό 1% συνεπάγεται αύξηση της αντοχής κατά περίπου 100MPa, ενώ αντίστοιχη αύξηση του ορίου διαρροής.

Φωσφόρος (P)

Ο φωσφόρος όπως και το θείο αποτελούν κατά κανόνα επιβλαβείς ακαθαρσίες για τους χάλυβες. Ο P συνδέεται με ψαθυροποίηση και μικροδιαφορισμό κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα. Ως εκ τούτου, καταβάλλεται προσπάθεια κατά τη μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής, τα επίπεδα περιεκτικότητας για χάλυβες κατασκευών να διατηρούνται σε ποσοστά χαμηλότερα του 0,03%-0,05%. Για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, περιεκτικότητες μέχρι 0,055% είναι αποδεκτές.

Θείο (S)

Η παρουσία θείου είναι ιδιαίτερα επιβλαβής στους χάλυβες επειδή αυξάνει την ευθραυστότητα. Προέρχεται κυρίως από τις πρώτες ύλες (scrap κ.λπ.) και ελέγχεται κατά την παραγωγική διαδικασία. Περιεκτικότητες 0,025%-0,030% είναι αποδεκτές για τους ειδικούς χάλυβες, ενώ για τους Χ.Ο.Σ. αποδεκτά ποσοστά είναι μέχρι 0,055%. Η παρουσία Mn είναι ιδιαίτερα ωφέλιμη διότι δεσμεύει το ελεύθερο θείο (MnS), μειώνοντας έτσι τον κίνδυνο ψαθυροποίησης των χαλύβων.

Άζωτο (N)

Ο ρόλος του αζώτου είναι ιδιαίτερα σημαντικός. Παρ' ότι συναντιέται σε χαμηλές περιεκτικότητες στους Χ.Ο.Σ., θεωρείται γενικά ως ανεπιθύμητη πρόσμιξη. Η παρουσία αζώτου πέραν ενός ορίου είναι βλαπτική επειδή μειώνει την ολκιμότητα και ευνοεί την ευθραυστότητα επαναφοράς (ευθραυστότητα στο κυανούν). Επιπροσθέτως, είναι ενδεχόμενο να προκαλέσει πέραν της ευθραυστότητας και φαινόμενα γήρανσης στους χάλυβες που έχουν υποστεί εν ψυχρώ κατεργασία/καταπόνηση.

Για τους Χ.Ο.Σ. σε παλαιότερες τυποποιήσεις (π.χ. DIN 488), είχε καθορισθεί ανώτερο όριο περιεκτικότητας 0,010% (ανάλυση χυτηρίου) και σε περίπτωση που η περιεκτικότητα σε φωσφόρο (P) ήταν χαμηλότερη του 0,05% επιτρεπόταν η περιεκτικότητα σε άζωτο να φτάσει μέχρι το 0,012%.

Στο Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 ορίζονται αντίστοιχα μέγιστες περιεκτικότητες 0,012% (ανάλυση χυτηρίου) και 0,014% (ανάλυση προϊόντος) και αναφέρεται σε υποσημείωση ότι είναι επιτρεπτές και μεγαλύτερες περιεκτικότητες εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που δεσμεύουν το άζωτο, χωρίς όμως να γίνεται περαιτέρω διευκρίνιση για τις “ποσότητες” και το “είδος” αυτών των κραματικών στοιχείων. Εκτενέστερη αναφορά σχετικά με τη “δέσμευσή” του αζώτου από άλλα κραματικά στοιχεία στους χάλυβες γίνεται στη “Σημείωση” στο τέλος αυτής της παραγράφου.

Χαλκός (Cu)

Στους Χ.Ο.Σ. ο χαλκός προέρχεται κατά κανόνα από την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται. Παρά το γεγονός ότι, ακόμη και σε ελάχιστα ποσοστά, ο Cu, αυξάνει την αντοχή του χάλυβα σε οξείδωση κατά την έκθεσή του στις ατμοσφαιρικές συνθήκες και δεν επηρεάζει σημαντικά τη συγκολλησιμότητα, σχετίζεται άμεσα με τη θερμή ρηγμάτωση των κοινών χαλύβων.

Ο χαλκός, ως ευγενέστερο του σιδήρου μέταλλο, δεν μπορεί να απομακρυνθεί από το τήγμα με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευσή του και αύξηση της περιεκτικότητάς του στους χάλυβες που παράγονται από τήξη παλαιοσιδήρου (scrap). Αυτό δεν παρατηρείται κατά την παραγωγή του χάλυβα μέσω χυτοσιδήρου, στην οποία χρησιμοποιούνται σιδηρομεταλλεύματα. Ο μόνος τρόπος ελέγχου της περιεκτικότητας του Cu στους Χ.Ο.Σ. (οι οποίοι ως επί το πλείστον παράγονται μέσω ηλεκτρικών καμίνων) είναι με κατάλληλη επιλογή της πρώτης ύλης, δηλ. της ποιότητας του παλαιοσιδήρου ή με αντικατάσταση ποσοστού του παλαιοσιδήρου με DRI (Direct Reduced Iron δηλ. υψηλής καθαρότητας σίδηρος).

Βανάδιο (V)

Το βανάδιο έχει χρησιμοποιηθεί στην παραγωγή Χ.Ο.Σ., αφού και σε μικρές αναλογίες στο προϊόν (μικροκραμάτωση) επιτρέπει την απόκτηση των μηχανικών χαρακτηριστικών που προδιαγράφονται για την κατηγορία B500C δίχως να απαιτείται περαιτέρω θερμική κατεργασία.

Το V είναι ισχυρό καρβιδιογόνο στοιχείο (ενώνεται με τον άνθρακα τον οποίο δεσμεύει για σχηματισμό καρβιδίων). Ακόμη και σε μικρές περιεκτικότητες αυξάνει την αντοχή σε εφελκυσμό και το όριο διαρροής στη θερμοκρασία περιβάλλοντος αλλά και σε υψηλότερες, εμποδίζοντας την αύξηση του μεγέθους του κόκκου στη μικρογραφική μορφή του χάλυβα σε καθορισμένες συνθήκες έλασης του.

Σε συνδυασμό με προσθήκες Cr και W, χρησιμοποιείται στην παραγωγή ειδικών χαλύβων θερμών κατεργασιών και ταχυχαλύβων (εργαλείων).

Νιόβιο(Nb /Cb), Ταντάλιο (Ta)

Όπως το βανάδιο, έτσι το νιόβιο και το ταντάλιο μπορεί να χρησιμοποιηθούν ως κραματικά στοιχεία αύξησης της αντοχής των Χ.Ο.Σ. διατηρώντας την ολκιμότητα σε σχετικά υψηλά επίπεδα. Τα στοιχεία αυτά συναντιούνται συνήθως ως προσθήκες σταθεροποίησης στους ανοξείδωτους χάλυβες.

Νικέλιο(Ni), Χρώμιο(Cr), Μολυβδαίνιο (Mo)

Τα στοιχεία αυτά είναι κατ' εξοχήν κραματικά για ειδικούς χάλυβες (χρωμονικελιούχοι, μολυβδαινιούχοι κ.λπ.). Οι περιεκτικότητες 18% Cr, 8% Ni είναι τυπικές αναλογίες των πλέον διαδεδομένων ποιοτήτων ανοξείδωτων χάλυβων (18/8).

Στους Χ.Ο.Σ. συναντώνται συνήθως ως προσμίξεις από την πρώτη ύλη (scrap). Σε αναλογίες άνω του 0,5% (ιδίως για τα Cr και Mo) σε συνδυασμό με την περιεκτικότητα σε άνθρακα, είναι ενδεχόμενο να επηρεάσουν σημαντικά τα χαρακτηριστικά τους (υπεραντοχή, ευθραυστότητα κατά τη διαδικασία παραγωγής κ.λπ.). Τα στοιχεία αυτά, λόγω και του κόστους τους, δεν εμφανίζονται σε μεγάλες αναλογίες στις συνθέσεις των Χ.Ο.Σ. και δεν δημιουργούν πρόβλημα στο τελικό προϊόν. Ενδεχόμενη παρουσία τους σε αυξημένα ποσοστά γίνεται αμέσως αντιληπτή κατά την παραγωγική διαδικασία (έλαση) και το πρόβλημα αντιμετωπίζεται πριν παραχθούν τελικά προϊόντα.

Σημείωση: Ο ρόλος ορισμένων κραματικών στοιχείων στη δέσμευση του αζώτου

Η έρευνα έχει δείξει ότι τα στοιχεία που δεσμεύουν το άζωτο, τόσο κατά τη χύτευση όσο και κατά τη θερμή έλαση του χάλυβα, είναι τα στοιχεία των ομάδων IVA (Ti, Zr, Hf), VA (V, Nb, Ta), και IIIB (B, Al) του Περιοδικού Συστήματος, καθώς επίσης και το W. Είναι επίσης γνωστό ότι το επίπεδο διαλυτότητας του N στον υγρό χάλυβα αυξάνει, όσο αυξάνει η συγκέντρωση των εν λόγω στοιχείων. Το ποσοστό του δεσμευμένου N από τα στοιχεία αυτά σε μορφή νιτρίδιων διαφέρει ανάλογα με το στοιχείο. Νιτρίδια μπορούν να σχηματισθούν τόσο κατά τη διαδικασία της χύτευσης του χάλυβα, όσο και κατά τη φάση επαναθέρμανσης των μπιγερτών (ωστενιτοποίηση - ανακρυστάλλωση) και της μετέπειτα θερμής έλασης. Τα νιτρίδια γίνονται πολύ σταθερές ενώσεις με την πτώση της θερμοκρασίας και βρίσκονται στα τελικά προϊόντα σαν μη μεταλλικά εγκλείσματα. Το ποσοστό του N που απομένει σε διάλυση εντός των κρυστάλλων του τελικού προϊόντος πρέπει να είναι χαμηλό, γιατί διαφορετικά θα υπάρξουν προβλήματα και από πλευράς ανωμαλιών στην επιφάνεια του τελικού προϊόντος, αλλά και λόγω του φαινομένου της γήρανσης από παραμόρφωση (strain aging), κατά το οποίο ο χάλυβας υφίσταται σκλήρυνση και ψαθυροποίηση σαν αποτέλεσμα γήρανσης λόγω πλαστικής παραμόρφωσης. Σύμφωνα με το ΕΛΟΤ EN10080 το μέγιστο τελικό ποσοστό του N χωρίς την ύπαρξη στοιχείων που το δεσμεύουν είναι 0,014% ή 140ppm. Προφανώς το μέγιστο αυτό ποσοστό N μπορεί να βρίσκεται σε διάλυση στους κόκκους του χάλυβα χωρίς περαιτέρω προβλήματα στις μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος.

Παρακάτω υπολογίζονται οι μέγιστες περιεκτικότητες του N στον χάλυβα, δεσμευμένου και μη, για τα πλέον σημαντικά στοιχεία όπως αργίλιο ή αλουμίνιο (Al), βόριο (B), βανάδιο (V), νιόβιο (Nb) και τιτάνιο (Ti). Το ζirkόνιο (Zr) αντιδρά σημαντικά με το N αλλά αποφεύγεται επειδή παρουσιάζει ιδιαίτερα προβλήματα στη χύτευση του χάλυβα. Οι υπολογισμοί γίνονται για τη φάση της επαναθέρμανσης των μπιγερτών, δηλαδή την ωστενιτοποίηση-ανακρυστάλλωση και θερμή έλαση.

Στις θερμοκρασίες αυτές (1127°C ή 1400 K περίπου) τα γινόμενα διαλυτότητας στον ωστενίτη (Fe γ) είναι:

$$[\%Al] [\%N] = 1,0 \cdot 10^{-4} \quad (1)$$

με προϊόν το AlN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,040% Al η ισορροπία δίνει περίπου 25ppm N.

$$[\%B] [\%N] = 1,8 \cdot 10^{-5} \quad (2)$$

με προϊόν το BN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 20 ppm B η ισορροπία δίνει 90 ppm N.

$$[\%V] [\%N] = 2,3 \cdot 10^{-3} \quad (3)$$

με προϊόν το VN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,10 % V η ισορροπία δίνει περίπου 230ppm N.

$$[\%Ti] [\%N] = 1,3 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

με προϊόν το TiN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,03 % Ti η ισορροπία δίνει περίπου 0,5ppm N.

$$[\%Nb] [\%N] = 3,5 \cdot 10^{-4} \quad (5)$$

με προϊόν το NbN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,05 % Nb η ισορροπία δίνει περίπου 70ppm N.

$$[\%Nb] [\%C]^{0,7} [\%N]^{0,2} = 2,3 \cdot 10^{-3} \quad (6)$$

με προϊόν το Nb(C,N) με ατομική σύσταση NbC_{0,7}N_{0,2}, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,05% Nb η ισορροπία δίνει περίπου 0,6ppm N.

Ειδικότερα:

- Από τη στοιχειομετρία της αντίδρασης κατακρήμνισης του AlN φαίνεται ότι για κάθε 0,01% Al στον Fe γ κατακρημνίζονται περίπου 0,0052% ή 52ppm N, και μέχρι του ορίου των 0,04% Al δεσμεύονται περίπου 208ppm N, προσθέτοντας δε και τα 140ppm N που επιτρέπεται να υπάρχουν αδέσμευτα στον χάλυβα, χωρίς πρόβλημα στις μηχανικές ιδιότητες, συμπεραίνεται ότι το N μπορεί να φθάσει τα επίπεδα του 0,0348% ή 348ppm N max στο τελικό προϊόν για 0,04% Al max.
- Ομοίως, κάθε ppm B δεσμεύει περίπου 1,3ppm N, οπότε για μέχρι 20ppm B max το N μπορεί να φθάσει τα επίπεδα των 0,0165% ή 165ppm (25+140ppm N).
- Το Ti κατακρημνίζει περίπου 29ppm N για κάθε 0,01% Ti. Στην πράξη η δέσμευση του N από το Ti έχει ήδη ξεκινήσει από τη στιγμή της χύτευσης του χάλυβα με αποτέλεσμα το Al να παίζει περισσότερο το ρόλο του αποξειδωτικού παρά της δέσμευσης του N. Για ένα ποσοστό 0,03% Ti η συγκέντρωση του N στο τελικό προϊόν μπορεί να φθάσει τα 0,023% ή 230ppm N.
- Το V κατακρημνίζει 27,5ppm N για κάθε 0,01%V, και μέχρι του επιπέδου των 0,1%V μπορούν να δεσμευτούν μέχρι και 275ppm N. Η ισορροπία όμως, σύμφωνα με την εξίσωση (3) δείχνει ότι η κατακρήμνιση VN είναι πρακτικά αδύνατη στον Fe γ. Πράγματι, η δημιουργία VN γίνεται ουσιαστικά σε χαμηλότερες θερμοκρασίες, δηλαδή στον φερρίτη (Fe α). Στους 700°C (973°K), μια νέα συνθήκη ισορροπίας ισχύει σύμφωνα με τον τύπο:
$$[\%V] [\%N] = 8,1 \cdot 10^{-7} \quad (7)$$
- Ετσι, για τα επίπεδα μέχρι του 0,1%V ελάχιστα ppm N μπορούν να υπάρξουν διαλυμένα. Κατ' αυτόν τον τρόπο, για περιεκτικότητες V στην περιοχή των 0,1% V η περιεκτικότητα σε N μπορεί να είναι μέχρι και 0,042% ή 420ppm N.

- Για το Nb, η κατακρήμνιση νιτρίδιων του είναι ακόμη πιο πολύπλοκη καθώς επηρεάζεται και από την κατακρήμνιση σύνθετων μορφών καρβοννιτρίδιων Nb(C,N). Η κατακρήμνιση γίνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες στον ωστενίτη. Γενικά όμως φαίνεται ότι για περιεκτικότητες 0,05%Nb περίπου, το N μπορεί να βρίσκεται στα επίπεδα των 0,022% ή 220ppm N.

Οι ανωτέρω θερμοδυναμικές προσεγγίσεις επιβεβαιώνονται και από πλευράς κινητικής. Για τα στοιχεία, εκτός του V, ο σχηματισμός νιτρίδιων συμβαίνει στον ωστενίτη σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Η ταχύτητα διάχυσης των στοιχείων αυτών και του N στον Fe γ είναι ο μηχανισμός που ελέγχει την αντίδραση. Ο συντελεστής διάχυσης του N στον Fe γ στους 1050°C (1323 K) είναι: $D = 2,12 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{sec}$. Ακόμη και για μεγάλους κόκκους ωστενίτη, της τάξης των 300μm, ο απαιτούμενος χρόνος για τη διάχυση του N από το κέντρο ενός κόκκου στα όρια του δίνεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$\tau = d^2/(16D) \quad (8)$$

και ισούται προς 4,5min, χρόνος επαρκής για να συμβεί το φαινόμενο στο φούρνο αναπυρακτώσεως.

Για το V, η κατακρήμνιση γίνεται στον Fe α τη στιγμή της θερμής έλασης κάτω από τους 700°C (973°K), όταν φυσικά έχει ήδη λάβει χώρα η εκλέπτυνση κόκκων, λόγω της μηχανικής καταπόνησης του υλικού, από τη μεγάλη μείωση της διατομής του προϊόντος. Στις θερμοκρασίες αυτές ο συντελεστής διάχυσης του N στον Fe α είναι περίπου $D = 2,5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2/\text{s}$. Ακόμη και για μεγάλους κόκκους φερρίτη, της τάξης των 50μm (για μικροκραματωμένους χάλυβες), ο απαιτούμενος χρόνος για τη διάχυση του N από το κέντρο ενός κόκκου στα όρια του που δίνεται από την προσεγγιστική σχέση (8) ισούται προς 6,5s, χρόνος ικανός για να συμβεί το φαινόμενο κατά τη διάρκεια της θερμής έλασης.

Στο τέλος του Παραρτήματος δίνεται η σχετική βιβλιογραφία.

Π1.3 Θερμομηχανικές κατεργασίες παραγωγής

Με τον όρο θερμομηχανικές κατεργασίες περιγράφονται κατεργασίες του χάλυβα που έχει μορφοποιηθεί, μετά τη στερεοποίηση του, σε κατάλληλες διατομές (μπιγιέτες κ.λπ.), προκειμένου να αποκτηθεί η απαιτούμενη γεωμετρία και για ορισμένους χάλυβες (π.χ. Tempcore) τα προδιαγραφόμενα μηχανικά χαρακτηριστικά. Οι κατεργασίες αυτές περιλαμβάνουν διαμόρφωση με έλαση, σφυρηλάτηση, ολκή κ.λπ. που γίνονται είτε σε μεγάλες θερμοκρασίες (εν θερμώ), είτε (σπανιότερα) στη θερμοκρασία περιβάλλοντος εν ψυχρώ και ακολουθούνται από ψύξη με ελεγχόμενο ή μη ρυθμό. Ο συνδυασμός μηχανικής και θερμικής κατεργασίας έχει πλήρη εφαρμογή στην παραγωγή χαλύβων ΘΕ-Θ (π.χ. Tempcore).

Οι χάλυβες ΘΕ-X παράγονται με θερμή έλαση χωρίς επακόλουθη θερμική κατεργασία, ενώ οι χάλυβες ΨΚ-Σ και ΨΚ-Ο αποκτούν την τελική διατομή με κατεργασίες διαμόρφωσης στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, επίσης χωρίς θερμική κατεργασία.

Η επιλογή της παραγωγής με τον ένα ή τον άλλο τρόπο (με ή χωρίς θερμική κατεργασία) δεν αποκλείει τις μεταβολές που θα συμβούν στη μικροδομή του μετάλλου στις συνθήκες κατεργασίας επειδή τέτοιου είδους μεταβολές ακολουθούν θερμοδυναμικούς νόμους. Η μικροδομή (ή και μικρογραφική μορφή) του μετάλλου σε ορισμένη θερμοκρασία, αποδίδει την κατάσταση που έχει δημιουργηθεί σ' αυτό όσον αφορά τη διάταξη των επί μέρους δομικών στοιχείων του και έχει σημαντική επίδραση στα μηχανικά του χαρακτηριστικά. Η διάταξη των επί μέρους δομικών αυτών στοιχείων (φάσεων, συστατικών), ακολουθώντας θερμοδυναμικούς κανόνες, μπορεί να είναι διαφορετική ανάλογα με το "ιστορικό" κατεργασιών (μηχανικών και θερμικών) του χάλυβα.

Για την καλύτερη κατανόηση των μεταβολών που συμβαίνουν ως αποτέλεσμα τέτοιων κατεργασιών, παρατίθενται στη συνέχεια, με σύντομη επεξήγηση ορισμένες από τις έννοιες που περιγράφουν αντίστοιχες καταστάσεις, καθώς και τις συνηθέστερες θερμομηχανικές και θερμικές κατεργασίες.

Π1.3.1 Φάσεις - Συστατικά που συναντώνται στους Χ.Ο.Σ.

Φάσεις είναι οι διακεκριμένες δομικά περιοχές σε ένα σύστημα υλικών. Στο εσωτερικό και μέχρι τα όρια των περιοχών αυτών, τα χαρακτηριστικά και οι ιδιότητες του υλικού δεν διαφοροποιούνται υπό κανονικές συνθήκες.

Φάσεις ισορροπίας είναι αυτές που εμφανίζονται ως σταθερές σε ένα διάγραμμα ισορροπίας (διάγραμμα φάσεων) με συγκεκριμένες περιεκτικότητες των κραματικών στοιχείων και σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες (Fe α, Fe γ, Fe₃C). Φάσεις που δεν προβλέπονται στα διαγράμματα ισορροπίας χαρακτηρίζονται και ως "εκτός ισορροπίας" και κατά κανόνα τείνουν να μετατραπούν σε φάσεις ισορροπίας αν υπάρξουν οι κατάλληλες συνθήκες (π.χ. υψηλή θερμοκρασία, χρόνος κ.λπ.).

Οι κυριότερες φάσεις και τα συστατικά που συναντώνται στους Χ.Ο.Σ. είναι :

- **Φερρίτης (Fe α)**

Στερεό διάλυμα σιδήρου με ένα ή περισσότερα στοιχεία που κρυσταλλώνεται στο χωροκεντρωμένο κυβικό σύστημα. (b.c.c.). Διαλυόμενο στοιχείο είναι ο άνθρακας με περιεκτικότητα 0,008% στη θερμοκρασία περιβάλλοντος και ανώτερη 0,025%₀₀ στους 723°C. Σε ορισμένα διαγράμματα ισορροπίας σιδήρου άνθρακα παρουσιάζονται δύο περιοχές φερρίτη (Fe α, Fe δ) διαχωριζόμενες από την περιοχή ωστενίτη. Η κατώτερη περιοχή είναι η περιοχή φερρίτη α και η ανώτερη περιοχή φερρίτη δ (πρόκειται για ίδιας δομής φάση με διαφορετική ακμή κύβου στοιχειώδους κυττάρου). Ο φερρίτης παρουσιάζει αντοχές σε εφελκυσμό της τάξης των 300MPa.

Σημείωση: Σε εφαρμογές μαγνητικών υλικών συναντάται επίσης η ονομασία φερρίτης, αλλά αφορά ενώσεις του τύπου: $M^{+++}O$ $M_2^{+++}O_3$, όπου το τρισθενές μέταλλο είναι συνήθως ο σίδηρος.

• Ωστενίτης (Fe γ)

Στερεό διάλυμα σιδήρου με ένα ή περισσότερα στοιχεία που κρυσταλλώνεται στο εδροκεντρωμένο κυβικό σύστημα. (f.c.c.). Εφ' όσον δεν προσδιορίζεται ειδικά (π.χ. ωστενίτης νικελίου) το διαλυόμενο στοιχείο θεωρείται ότι είναι ο άνθρακας. Ο ωστενίτης, που συμβολίζεται ως Fe γ, εμφανίζεται σε θερμοκρασίες άνω των 723°C από τη μετατροπή του Fe α σε Fe γ η οποία για τους χάλυβες Χ.Ο.Σ. είναι πλήρης σε θερμοκρασίες άνω των 780°C περίπου. Η θερμοκρασία πλήρους μετασχηματισμού εξαρτάται και από τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία. Ο ωστενίτης έχει μεγαλύτερη διαλυτότητα σε άνθρακα (μέχρι 2%) από το φερρίτη και λόγω του συστήματος κρυστάλλωσης (f.c.c.) πολύ καλή διαμορφωσιμότητα.

Χάλυβες που περιέχουν ωστενίτη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος (ωστενιτικοί χάλυβες) είναι οι χρωμονικελιούχοι ανοξείδωτοι χάλυβες.

• Σεμεντίτης

Χημική ένωση σιδήρου με άνθρακα (καρβίδιο του σιδήρου) που αντιστοιχεί στον στοιχειομετρικό τύπο Fe₃C. Στους χάλυβες η χημική του σύσταση μπορεί να διαφοροποιηθεί παρουσία Mn και άλλων καρβιδιογόνων στοιχείων. Έχει δομή κρυσταλλική ορθορομβική. Εμφανίζει μεγάλη σκληρότητα (≈700HV) και αντίστοιχα υψηλή ευθραυστότητα.

• Μαρτενσίτης

Είναι υπέρκορο στερεό διάλυμα άνθρακα στον σίδηρο με κρυσταλλικό πλέγμα τετραγωνικό. Στους χάλυβες είναι μετασταθής φάση που προκύπτει από το μετασχηματισμό του ωστενίτη σε θερμοκρασίες κάτω της M_s (θερμοκρασία αρχής μετασχηματισμού). Στη μικροδομή εμφανίζεται βελονοειδής. Παράγεται εφ' όσον πληρούνται οι προϋποθέσεις μετασχηματισμού σε ωστενίτη (θερμοκρασίες >723°C), ταχεία ψύξη, με ταχύτητες ψύξης μεγαλύτερες μιας κρίσιμης για κάθε κράμα, (εξαρτώμενες από την περιεκτικότητα C και άλλων κραματικών στοιχείων), σε θερμοκρασία κάτω της M_s (χαρακτηριστική επίσης για κάθε κράμα και που για τους Χ.Ο.Σ. είναι της τάξης των 400°C).

• Περλίτης

Ιδιόμορφος σχηματισμός (εναλλαγή φάσεων φερρίτη-σεμεντίτη) που συναντάται στους χάλυβες και τους χυτοσιδήρους. Μικρογραφικά εμφανίζεται με μορφή εναλλασσόμενων πλακιδίων φερρίτη-σεμεντίτη (φυλλοειδής περλίτης) ή σε σφαίρες σεμεντίτη σε περιβάλλον κρυστάλλων φερρίτη (σφαιροποιημένος περλίτης).

• Μπαϊνίτης

Προϊόν μετασχηματισμού του ωστενίτη αποτελούμενο από μίγμα φερρίτη και καρβιδίων. Γενικά σχηματίζεται σε θερμοκρασίες χαμηλότερες εκείνων που σχηματίζεται ο πολύ λεπτόκοκκος περλίτης και μεγαλύτερες εκείνων που αρχίζει ο μετασχηματισμός σε μαρτενσίτη κατά την ψύξη (300°-500°C για τους Χ.Ο.Σ.). Η μορφή του μοιάζει με φτερά στην ανώτερη περιοχή (ανώτερος μπαϊνίτης) και με βελόνες εφ' όσον σχηματίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (κατώτερος μπαϊνίτης). Παρουσιάζει αντοχές σχεδόν παραπλήσιες του μαρτενσίτη αλλά πολύ καλύτερη διαμορφωσιμότητα.

Π1.3.2 Μεταλλοτεχνικές κατεργασίες των Χ.Ο.Σ.

Έλαση

Διαδικασία διαμόρφωσης εν θερμώ ή εν ψυχρώ (ενδοτράχυνση) ενός μεταλλικού υλικού με τη χρήση αντίρροπα περιστεφόμενων κυλίνδρων.

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).

Με τον όρο ενδοτράχυνση (work hardening, strain hardening), περιγράφεται η κατάσταση που δημιουργείται στον χάλυβα έπειτα από κατεργασία πλαστικής παραμόρφωσης σε συνήθεις θερμοκρασίες. Για τους Χ.Ο.Σ. πλαστική παραμόρφωση σε θερμοκρασίες μέχρι και 500°C δημιουργεί ενδοτράχυνση. Κύριο χαρακτηριστικό της κατάστασης που δημιουργείται με την ενδοτράχυνση είναι η αύξηση της αντοχής του μετάλλου με αντίστοιχη μείωση της ολκιμότητας.

Π1.3.3 Θερμικές κατεργασίες

Μαρτενσιτική βαφή

Στους χάλυβες μετατροπή του ωστενίτη σε μαρτενσίτη με αποτέλεσμα πολύ μεγάλη αύξηση της αντοχής (σκληρότητας), αλλά και ταυτόχρονη μείωση της ολκιμότητας. Η μετατροπή αυτή γίνεται με (ταχύτατη) ψύξη του ωστενίτη εφ' όσον τηρούνται ορισμένες αναγκαίες και ικανές συνθήκες, όπως π.χ. ταχύτητα ψύξης μεγαλύτερη από μια κρίσιμη (V_c) για το συγκεκριμένο υλικό ή ψύξη σε θερμοκρασία χαμηλότερη από μια χαρακτηριστική επίσης θερμοκρασία για το ίδιο υλικό (M_s).

Η κρίσιμη ταχύτητα ψύξης (V_c) μειώνεται όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα και σε μαγγάνιο (αλλά και σε άλλα από τα στοιχεία που συναντώνται ως προσμίξεις στους Χ.Ο.Σ.). Για χάλυβες π.χ. με περιεκτικότητα σε C ≈ 0,40% και σε Mn > 0,60% ταχύτητες ψύξης μεγαλύτερες από την κρίσιμη μπορούν να δημιουργηθούν κατά τη ψύξη μιας ράβδου με απλή εμβάπτιση σε νερό ή κατά την ψύξη στη διάρκεια της συγκόλλησης.

Η θερμοκρασία αρχής του μετασχηματισμού σε μαρτενσίτη (M_s) για τους Χ.Ο.Σ. είναι μεγαλύτερη των 300°C. Η ψύξη από θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 723°C σε θερμοκρασία κάτω από 300°C, με ταχύτητες μεγαλύτερες από την κρίσιμη, συνεπάγεται πάντοτε δημιουργία μαρτενσίτη, με συνέπεια ψαθυροποίηση του χάλυβα.

Για τους χάλυβες της κατηγορίας B500C (συγκολλησίμους) δεν είναι εύκολο να γίνει μαρτενσιτική βαφή επειδή (λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα η κρίσιμη ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη και δεν μπορεί να επιτευχθεί με τα συνήθη μέσα (όπως π.χ. με εμβάπτιση σε νερό ή με απλό κατάβρεγμα).

Οι χαλβουργίες που εκμεταλλεύονται τη μαρτενσιτική βαφή για την αύξηση της αντοχής των Χ.Ο.Σ. (Tempcore κ.λπ.) χρησιμοποιούν ειδικές διατάξεις προκειμένου να εξασφαλίσουν τις εξαιρετικά μεγάλες ταχύτητες ψύξης που απαιτούνται (μεγαλύτερες από την αντίστοιχη κρίσιμη ταχύτητα V_c). Οι υψηλές αντοχές οι οποίες δημιουργούνται στο υλικό με τη μαρτενσιτική βαφή, δεν μπορούν να αξιοποιηθούν αυτοτελώς λόγω της μείωσης της ολκιμότητας που συνεπάγονται. Γι' αυτό η μαρτενσιτική βαφή στους Χ.Ο.Σ. ακολουθείται πάντοτε από αναθέρμανση του μαρτενσίτη (επαναφορά).

Επαναφορά

Θέρμανση του μαρτενσίτη σε θερμοκρασίες μικρότερες των 723°C για τους Χ.Ο.Σ. Η θέρμανση του χάλυβα που περιέχει μαρτενσίτη έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία καταστάσεων στη δομή του μετάλλου που τείνουν να αποκαταστήσουν την “ισορροπία” και επακόλουθο την μείωση της σκληρότητας (που προέρχεται από το μαρτενσίτη) και ταυτόχρονη σημαντική αύξηση της ολκιμότητας του υλικού. Με επιλογή κατάλληλων θερμοκρασιών επαναφοράς είναι δυνατόν να δημιουργηθούν, από συγκεκριμένης χημικής σύστασης υλικό, προϊόντα με ενδιάμεσες τιμές μηχανικών ιδιοτήτων (συνδυάζοντας την μείωση αντοχής με αύξηση ολκιμότητας).

Στην τεχνολογία παραγωγής των Χ.Ο.Σ. η επαναφορά γίνεται “αυτόματα” δηλαδή ο μαρτενσίτης που δημιουργείται με την κατάλληλη ψύξη στην επιφάνεια π.χ. μιας ράβδου, “επαναφέρεται” με την έκθεσή του στη θερμοκρασία που δημιουργείται με τη ροή της θερμότητας από το εσωτερικό της ράβδου προς την περιφέρεια.

Ο χρόνος και η θερμοκρασία επαναφοράς είναι παράμετροι που καθορίζουν τη συμπεριφορά του υλικού, σε ενδεχόμενες μεταγενέστερες αναθερμάνσεις. Μετά την επαναφορά σε ορισμένη θερμοκρασία (π.χ. κατά τη διαδικασία παραγωγής) κάθε επόμενη θέρμανση στην ίδια ή χαμηλότερη θερμοκρασία δεν θα έχει ουσιαστική επίπτωση στις ιδιότητες του υλικού.

Ο χρόνος που απαιτείται για την ολοκλήρωση των μεταβολών (ή και αντιδράσεων) κατά τη διάρκεια της επαναφοράς σε ορισμένη θερμοκρασία, είναι συνάρτηση πολλών παραμέτρων (π.χ. κραματικά στοιχεία κ.ά.). Για τις θερμοκρασίες όμως των 550°C περίπου που συνήθως -ανάλογα και με την τεχνολογία του εκάστοτε παραγωγού- “επαναφέρεται” ο μαρτενσίτης στους Χ.Ο.Σ., ο απαιτούμενος χρόνος για ολοκλήρωση των αντιδράσεων είναι της τάξης δευτερολέπτων.

Αποτακτική Ανόπτηση

Με τον όρο αυτό περιγράφεται η θέρμανση του υλικού σε θερμοκρασίες πρακτικά μεγαλύτερες των 80-100°C και αναφέρεται σε ορισμένες περιπτώσεις (χωρίς επιτυχία) και ως “γήρανση” του υλικού. Η κατεργασία αυτή διευκολύνει την εξομάλυνση των τάσεων που δημιουργούνται στο εσωτερικό του μετάλλου έπειτα από “ψυχρή κατεργασία” και συνεπάγεται μικρές διαφοροποιήσεις αντοχής (αύξηση ή μείωση του ορίου διαρροής κ.λπ.) αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις και για ορισμένες θερμοκρασίες αξιοσημείωτη αύξηση της ολκιμότητάς του.

Ανακρυστάλλωση (ή και ανόπτηση για 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 που έχουν αναπτυχθεί σ' αυτούς έπειτα από “ψυχρή” κατεργασία. Ο χρόνος ανακρυστάλλωσης είναι της τάξης δευτερολέπτων. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης δεν είναι συγκεκριμένη για κάθε υλικό και επηρεάζεται από την καθαρότητα (όσο πιο καθαρό τόσο χαμηλότερη) και το βαθμό της “εν ψυχρώ” παραμόρφωσης (όσο μεγαλύτερος τόσο χαμηλότερη) που έχει προηγηθεί.

Προϋποθέσεις για την έναρξη και την ολοκλήρωση της ανακρυστάλλωσης είναι:

- Ο προϋπάρχων βαθμός πλαστικής παραμόρφωσης
- Η θέρμανση πάνω από ορισμένη θερμοκρασία (θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης).

Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης οριοθετεί και την “ψυχρή” από τη “θερμή” κατεργασία. Αν δηλαδή η κατεργασία διαμόρφωσης γίνεται σε θερμοκρασία κάτω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης πρόκειται για “ψυχρή” κατεργασία. Αν η κατεργασία διαμόρφωσης γίνεται σε μεγαλύτερη θερμοκρασία από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης πρόκειται για “θερμή” (“εν θερμώ”) κατεργασία.

Π1.3.4 Εφαρμογή των διαφόρων μεθόδων κατεργασίας για την απόκτηση των απαιτούμενων χαρακτηριστικών

Προκειμένου να εξασφαλισθούν οι απαιτούμενες ιδιότητες μπορούν να σχεδιασθούν συνδυασμοί κατεργασιών, όπως:

- Έλαση ακολουθούμενη από θερμική κατεργασία μαρτενσιτικής βαφής-επαναφοράς (π.χ. χάλυβες Tempcore)
- Έλαση/ολκή έπειτα από θερμική κατεργασία βαφής/επαναφοράς (χάλυβες προέντασης) κ.λπ.

Οι παραγωγοί των Χ.Ο.Σ. έχουν την ευχέρεια να επιλέξουν, αξιοποιώντας πρόσφορες τεχνικές και μεθόδους, βασιζόμενοι στη γνώση για τη συμπεριφορά των υλικών και την υπάρχουσα τεχνολογία, εκείνη τη διαδικασία που θα τους εξασφαλίσει τα ζητούμενα για τα προϊόντα τους χαρακτηριστικά.

Στο παρελθόν οι τεχνικές παραγωγής βασίστηκαν στην κραμάτωση των χαλύβων και κυρίως στην αύξηση της περιεκτικότητας του άνθρακα, ο οποίος ως φθινό κραματικό στοιχείο εξασφάλιζε τις αυξημένες αντοχές που προδιαγράφονταν για την κατηγορία St III κατά DIN 488. Αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα (και μαγγάνιο) οδηγεί σε αύξηση της αντοχής αλλά παράλληλα σε αναπόφευκτη μείωση της συγκολλησιμότητας.

Η ζήτηση για χρήση Χ.Ο.Σ. υψηλής αντοχής αλλά παράλληλα και συγκολλησιμων αντιμετωπίστηκε αρχικά με ειδική κραμάτωση, δηλαδή διατήρηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα και μαγγάνιο σε χαμηλά επίπεδα και προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων ισχυρά καρβιδιογόνων στοιχείων όπως το βανάδιο, το νιόβιο και το τιτάνιο. Η κραμάτωση με μικρές ποσότητες με τα παραπάνω στοιχεία, είναι παραγωγική μέθοδος που μπορεί να εξασφαλίσει τα απαιτούμενα από τις προδιαγραφές μηχανικά κ.λπ. χαρακτηριστικά των Χ.Ο.Σ. Η υιοθέτησή της ή όχι συναρτάται μεταξύ άλλων και με το (υψηλό) κόστος των κραματικών στοιχείων.

Η αύξηση της αντοχής που μπορεί θεωρητικά να επιτευχθεί με συγκεκριμένη θερμική κατεργασία (κατεργασία μαρτενσιτικής βαφής και επαναφοράς -π.χ. Tempcore, Thermex -), έγινε προσιτή με την τεχνολογική πρόοδο στον τομέα ελέγχου της ταχύτητας ψύξης και έδωσε τη δυνατότητα να αποκτηθούν μηχανικά χαρακτηριστικά των Χ.Ο.Σ., στα επίπεδα που ορίζονται από τον παρόντα Κανονισμό χωρίς να απαιτείται αύξηση της περιεκτικότητας των κραματικών στοιχείων (π.χ. άνθρακα, βαναδίου κ.λπ.) και δίχως να υποβαθμίζεται η συγκολλησιμότητά τους.

Αύξηση της αντοχής των Χ.Ο.Σ. μπορεί να επιτευχθεί και με κατεργασία «ψυχρής» διαμόρφωσης. Σε αυτή τη κατηγορία, η αύξηση της αντοχής (λόγω ενδοτράχυνσης) επιτυγχάνεται με πλαστική παραμόρφωση με ολκή, τάνυση (stretching) ή έλαση εν ψυχρώ. Υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί στο πεδίο εφαρμογής, λόγω αφ' ενός της ύπαρξης νευρώσεων και αφ' ετέρου των μηχανικών χαρακτηριστικών που προκύπτουν (μειωμένη ολκιμότητα κ.λπ.).

Σε όλες πάντως τις περιπτώσεις, η παραγωγή με μία από τις παραπάνω μεθόδους ή και με συνδυασμούς τους, θα πρέπει να εξασφαλίζει τελικά προϊόντα με χαρακτηριστικά όπως αυτά που περιγράφονται ειδικότερα στις αντίστοιχες παραγράφους του Κανονισμού.

Βιβλιογραφία Σημείωσης Παραγρ 2 του παρόντος Παραρτήματος

1. D.B.Evans-R.D.Pehlke, Trans. TMS-AIME, 1964, vol. 230, σελ. 1651-1662, και 1965, vol. 233, σελ. 1620-1624.
2. Z.Morita-T.Tanaka-T.Yanai, 'Equilibria of Nitride Forming Reactions in Liquid Iron Alloys', Met. Trans. B, vol. 18B, 1987, σελ. 195-202.
3. P.D.Deeley, K.J.A. Kundig, H.R. Spendelow.Jr., 'Ferroalloys & Alloying Additives Handbook', ShieldAlloy-Metallurg Alloy Corp., New York, 1981.
4. J.F.Elliott, 'Physical Chemistry of Liquid Steel', in Electric Furnace Steelmaking, Ed. C.R. Taylor, ISS-AIME, 1985, σελ. 315.
5. M.Vergauwens, 'Nitrogen in Steel', Heraeus Electro-Nite, 1996.
6. Reed-Hill, 'Physical Metallurgy Principles', 2nd Ed., D.Van Nostrand, σελ. 346.
7. E.T.Turkdogan, 'Causes and Effects of Nitride and Carbonitride precipitation in HSLA steels in relation to continuous casting', Steelmaking Conf. Proceedings, ISS, 1987, vol. 70, σελ. 399-416.
8. M.F.Ashby - D.R.H.Jones, 'Engineering Materials', 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, vol. 1, 1996, σελ. 184.
9. Smithells Metals Reference Book, 6th Ed., Butterworths, 1983, σελ. 12-14 έως 12-16.
10. Guy-Hren, 'Elements of Physical Metallurgy', Addison Wesley, 3rd Ed., 1974, σελ. 454.
11. M.Gunziger-P.Wille, 'The Production of High Quality Reinforcing Bar Steels at Ferrowohlen AG/Switzerland', Union Carbide Deutschland GmbH, Dusseldorf, Germany.
12. IISI. "EAF Technology: State of the Art & Future Trends" 2000, σελ.8-9, 44-57.

Παράρτημα Π2 : ΡΑΔΙΕΝΕΡΓΕΙΑ

(Πληροφοριακό)

Π2.1 Ιστορικό

Όπως είναι γνωστό η ραδιενέργεια έχει πολλές εφαρμογές (ερευνητικές, διαγνωστικές, θεραπευτικές, τεχνολογικές, στρατιωτικές). Η χρησιμοποίηση τεχνητών ραδιενεργών υλικών καλύπτει πολλούς τομείς της ανθρώπινης δραστηριότητας όπως παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας (πυρηνικοί σταθμοί), η διάγνωση και η θεραπεία ασθενειών (πυρηνική ιατρική), εφαρμογές στην έρευνα και βιομηχανία (μέθοδοι ανάλυσης και χαρακτηρισμού υλικών, υψηλής ακρίβειας συστήματα μέτρησης) έως και πρακτικές εφαρμογές της καθημερινής ζωής (ανιχνευτές καπνού).

Οι δυνητικοί κίνδυνοι από την προβλεπόμενη χρήση των πηγών είναι συνήθως επαρκώς γνωστοί.

Στην Ευρωπαϊκή Ένωση, η χρήση ραδιενεργών πηγών υπόκειται στις απαιτήσεις της νομοθεσίας για την προστασία από ιοντίζουσες ακτινοβολίες που προβλέπεται στο Κεφάλαιο ΙΙΙ για την υγεία και ασφάλεια της Συνθήκης EURATOM.

Οι κίνδυνοι από τις πηγές ραδιενέργειας ποικίλουν, ανάλογα με τη δραστηριότητα, τα περιεχόμενα ραδιονουκλεΐδια, την κατασκευή κ.λπ.

Μια “κλειστή” πηγή ραδιενέργειας είναι μια «πηγή με κατασκευή τέτοια ώστε να εμποδίζεται υπό κανονικές συνθήκες χρήσης, οποιαδήποτε διαρροή ραδιενεργών ουσιών στο περιβάλλον».

Οι κλειστές πηγές ραδιενέργειας χρησιμοποιούνται ευρέως στη βιομηχανία, την ιατρική και την έρευνα. Μέχρι την δεκαετία του '50, μόνο ραδιονουκλεΐδια φυσικής προέλευσης, ιδιαίτερα το ράδιο –226 χρησιμοποιούνταν για την παραγωγή κλειστών πηγών. Από τότε, έχουν γίνει ευρέως διαθέσιμα ραδιονουκλεΐδια παραγόμενα τεχνητά σε πυρηνικά εργοστάσια και σταθμούς παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας. Ανάλογα με τον τύπο ακτινοβολίας, διακρίνονται οι εξής τέσσερις κύριες κατηγορίες κλειστών πηγών:

- Πηγές γάμμα: χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία, την εξωτερική ακτινοθεραπεία, τη βραχυθεραπεία και την αποστείρωση.
- Πηγές βήτα: χρησιμοποιούνται κυρίως στη βιομηχανία, π.χ. στα παχύμετρα, στην κλινική ακτινοθεραπεία καθώς και στην εκπαίδευση και την κατάρτιση.
- Πηγές άλφα: χρησιμοποιούνται κυρίως στους ανιχνευτές καπνού, στις πηγές θερμότητας, στα αναλυτικά εργαστήρια καθώς και στην εκπαίδευση και την κατάρτιση.
- Πηγές νετρονίων: χρησιμοποιούνται κυρίως στα αναλυτικά εργαστήρια, στη βιομηχανία, στις τεχνικές βαθμονόμησης καθώς και στην εκπαίδευση και κατάρτιση.

Τα κυριότερα φυσικώς ραδιενεργά στοιχεία είναι τα ουράνιο (U), ράδιο (Ra), θόριο (Th) και κάλιο (K), ενώ στα βασικότερα τεχνητώς ραδιενεργά στοιχεία συγκαταλέγονται τα καίσιο (Cs), κοβάλτιο (Co), αμερίκιο (Am), ιρίδιο (Ir) και στρόντιο (Sr).

Παρά τα λαμβανόμενα μέτρα από τους εθνικούς φορείς ελέγχου των ραδιενεργών πηγών, έχει διαπιστωθεί η αδυναμία πλήρους ελέγχου της αγοράς, διακίνησης, χρήσης και απόρριψής τους. Η κατάσταση επιδεινώθηκε τα τελευταία χρόνια λόγω των κοινωνικοπολιτικών αλλαγών στις χώρες της ανατολικής Ευρώπης, ενώ η πρόσφατη διεθνής εμπειρία απέδειξε ότι δεν είναι ιδιαίτερα ενθαρρυντική ούτε στις θεωρούμενες χώρες υψηλού επιπέδου ελέγχου (Η.Π.Α., Βρετανία, Γαλλία, Γερμανία κ.λπ.). Υπολογίζεται ότι περισσότερες από 2.000.000 ραδιενεργές πηγές χρησιμοποιούνται σήμερα νόμιμα σε όλο τον κόσμο. Σύμφωνα με μετριοπαθείς εκτιμήσεις τουλάχιστον 40-50 πηγές χάνονται κάθε χρόνο.

Οι “έκθετες” πηγές (“orphan” radioactive sources) υπάρχει πιθανότητα να ανακτηθούν από άτομα, είτε εργαζόμενους είτε κοινό, που δεν έχουν επίγνωση των πιθανών κινδύνων. Έχουν σημειωθεί σοβαροί τραυματισμοί από ακτινοβολία και, σε ορισμένες περιπτώσεις, θάνατοι. Οι κλειστές πηγές ενέχουν ιδιαίτερους δυνητικούς κινδύνους λόγω του μικρού τους μεγέθους καθώς συχνά έχουν το μέγεθος ενός στυλογράφου ή είναι ακόμη μικρότερες, λόγω της χρήσης τους σε κινητά εξαρτήματα κ.λπ.

Επειδή οι ραδιενεργές ουσίες περιέχονται σε μεταλλική κάψουλα, αυξάνεται η πιθανότητα να συλλεχθούν από το κοινό ή από χειριστές παλαιοσιδηρικών.

Η ανεύρεση πηγών ραδιενέργειας σε χώρους απόρριψης παλαιοσιδηρικών και σε εγκαταστάσεις παραγωγής μετάλλων, είναι συνήθη συμβάντα σε όλα τα μέρη του κόσμου.

Το ζήτημα της ραδιενεργού μόλυνσης των παλαιοσιδηρικών και των μεταλλικών προϊόντων αντιμετωπίζεται προς το παρόν από ομάδα ειδικών την οποία έχει συγκαλέσει η Οικονομική Επιτροπή για την Ευρώπη των Ηνωμένων Εθνών (UNECE – United Nations Economic Commission for Europe) και στην οποία συμμετέχουν εμπειρογνώμονες από την Ευρωπαϊκή Επιτροπή και από τον Διεθνή Οργανισμό Ατομικής Ενέργειας μαζί με εμπειρογνώμονες από βιομηχανικές ενώσεις και από τα κράτη μέλη της UNECE.

Π2.2 Η ραδιενέργεια στη βιομηχανία χάλυβα

Η ανεξέλεγκτη απόρριψη ραδιενεργών πηγών ή/και αποβλήτων δημιούργησε κατά τα τελευταία χρόνια πρόβλημα στις βιομηχανίες χάλυβα και ιδιαίτερα στις χαλυβουργίες ανακύκλωσης παλαιοσιδήρου (χαλυβουργίες που χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κλιβάνους τήξης). Το πρόβλημα εντοπίζεται στην πιθανότητα, έστω και πάρα πολύ μικρή, ύπαρξης ραδιενεργών υλικών στον παλαιοσίδηρο, με ενδεχόμενα επακόλουθα την έκθεση των εργαζομένων σε κίνδυνο, καθώς και την παρουσία ραδιενέργειας στα προϊόντα ή/και στα παραπροϊόντα της βιομηχανίας.

Τα πρώτα περιστατικά ανίχνευσης ραδιενέργειας σε παλαιοσίδηρο εμφανίστηκαν στο τέλος της δεκαετίας του '80 σε χαλυβουργίες των Ηνωμένων Πολιτειών και της Σουηδίας και αφορούσαν ραδιενεργά απόβλητα από την πρώην Σοβιετική Ένωση. Όπως ήταν φυσικό τα μέτρα πρόληψης στράφηκαν προς τον έλεγχο των αποβλήτων πυρηνικών εργοστασίων, ιδιαίτερα για τον παλαιοσίδηρο προέλευσης ανατολικής Ευρώπης. Σύντομα όμως έγινε κατανοητό, με τη χρήση και των σύγχρονων μέσων ανίχνευσης, ότι εν δυνάμει πηγή κινδύνου, ίσως και μεγαλύτερης σπουδαιότητας, αποτελεί ο παλαιοσίδηρος οποιασδήποτε προέλευσης, λόγω της ανεξέλεγκτης απόρριψης ραδιενεργών πηγών.

Τα συχνότερα εμφανιζόμενα στον παλαιοσίδηρο ραδιενεργά ισότοπα είναι τα Co-60, Cs-137, Ra-226, Th-232, U-238, Am-241 και Ir-192. Προέρχονται κυρίως από πηγές που χρησιμοποιούνται στην Ιατρική (όργανα διάγνωσης, θεραπείας, ραδιογραφικές κάμερες κ.α.) και στη βιομηχανία (όργανα μέτρησης διαστάσεων), καθώς και από προστατευτικά περιβλήματα των παραπάνω πηγών. Εκτός από τα παραπάνω τεχνητώς ραδιενεργά υλικά, εμφανίζονται και τα φυσικώς ραδιενεργά υλικά - NORM (Naturally Occurring Radioactive Materials), τα οποία αποτελούν, συνήθως, συγκεντρώσεις ραδιενεργού υλικού πάνω σε μεταλλικές επιφάνειες, όπως π.χ. σε αγωγούς πετρελαίου, αντλίες υγρών και εναλλάκτες θερμότητας.

Από το 1983 έως σήμερα υπήρξαν σε όλον τον κόσμο, περισσότερες από 60 καταγεγραμμένες περιπτώσεις επιβάρυνσης εγκαταστάσεων παραγωγής χάλυβα με ραδιενέργεια. Τα συνολικά έξοδα καθαρισμού των εγκαταστάσεων, απώλειες παραγωγικού χρόνου και διάθεσης των ραδιενεργών αποβλήτων, που προέκυψαν για τη βιομηχανία χάλυβα υπολογίζονται σε περισσότερα από 25 εκατομμύρια δολάρια.

Π2.3 Μέτρα ελέγχου

Τα τελευταία χρόνια έχουν αναπτυχθεί ιδιαίτερα ευαίσθητα και αποτελεσματικά όργανα ανίχνευσης, εντοπισμού και μέτρησης της ραδιενέργειας στον παλαιοσίδηρο και στον χάλυβα. Η βιομηχανία χάλυβα με τη χρησιμοποίησή τους αποβλέπει σε πρώτη φάση στην ανίχνευση ραδιενεργών υλικών στον παλαιοσίδηρο και στην απομόνωσή τους πριν εισέλθουν στην παραγωγική διαδικασία, και σε περίπτωση που αυτό δεν είναι δυνατό (περίπτωση πηγής με ισχυρή προστατευτική επένδυση) στον εντοπισμό και απομόνωσή τους κατά τη διάρκεια της παραγωγής.

Με τη χρήση των παραπάνω οργάνων η βιομηχανία χάλυβα αποσκοπεί:

- Στην προστασία του προσωπικού
- Στην αποφυγή επιβάρυνσης με ραδιενέργεια των παραγόμενων χαλύβων
- Στην προστασία του περιβάλλοντος (αποφυγή επιβάρυνσης με ραδιενέργεια των παραπροϊόντων).

Τα μέτρα πρόληψης και ελέγχου που λαμβάνονται στις χώρες της Δυτικής Ευρώπης και τις Ηνωμένες Πολιτείες περιλαμβάνουν σε πρώτη φάση τον έλεγχο του παλαιοσιδήρου (πιστοποιητικά απαλλαγής από ραδιενέργεια για τον εισαγόμενο, έλεγχός του στην είσοδο του εργοστασίου κυρίως με υπερευαίσθητους σταθερούς ανιχνευτές) και σε δεύτερη φάση τον έλεγχο κατά τη διάρκεια παραγωγής του χάλυβα (έλεγχ.Ο.Σ. και προσδιορισμός ραδιενεργού ενεργότητας ανά παρτίδα με εργαστηριακό μετρητή ραδιενέργειας).

Από τα παραπάνω μέτρα ελέγχου ιδιαίτερα σημαντική αποδεικνύεται στην πράξη η χρήση των σταθερών ανιχνευτών για την ανίχνευση ραδιενέργειας στον παλαιοσίδηρο, κατά την είσοδό του στο εργοστάσιο. Η αύξηση του εντοπισμού ραδιενεργών υλικών στον παλαιοσίδηρο είναι θεαματική και συνδέεται άμεσα με τη χρησιμοποίηση, από το 1988, των σταθερών ανιχνευτών. Με τη σωστή λειτουργία των συστημάτων ανίχνευσης και ελέγχου εξασφαλίζεται ότι ο παραγόμενος χάλυβας θα είναι απαλλαγμένος από ανεπιθύμητες συγκεντρώσεις ραδιενεργών στοιχείων.

Παράρτημα Π3: ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

(Πληροφοριακό)

Π3.1 Γενικά

Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες το περιβάλλον της κατασκευής από οπλισμένο σκυρόδεμα είναι εντόνως διαβρωτικό μπορεί να εξετασθεί η λήψη ειδικών προστατευτικών μέτρων. Ειδικά για τις ράβδους οπλισμού σκυροδέματος, οι μέθοδοι προστασίας αποσκοπούν, κατά κανόνα, στην αποτροπή δημιουργίας ηλεκτροχημικού δυναμικού διάβρωσης στην επιφάνειά του μετάλλου. Η προστασία αυτή μπορεί:

- Είτε να είναι εξωτερικώς εφαρμοζόμενη (π.χ. επικάλυψη με ρητίνες, καθοδική προστασία με εξωτερικώς επιβαλλόμενη τάση κ.λπ.)
- Είτε να προσφέρεται από τα ίδια τα χαρακτηριστικά του χρησιμοποιούμενου υλικού (π.χ. ανοξείδωτοι χάλυβες).

Η προστασία που προσδίδεται από τα εξωτερικώς εφαρμοζόμενα προστατευτικά μέτρα παύει να υφίσταται, είτε περιορίζεται σημαντικά, εάν διακοπεί για οποιονδήποτε λόγο ο τρόπος που αυτή επιβάλλεται. (π.χ. απομάκρυνση ή αποκόλληση της επικάλυψης, διαφοροποίηση της επιβαλλόμενης τάσης καθοδικής προστασίας κ.λπ.). Αντιθέτως, με τη χρήση ανοξείδωτων χαλύβων καλύπτονται, χωρίς ειδικές προϋποθέσεις συνεχούς συντήρησης και παρακολούθησης των κατασκευών, οι απαιτήσεις προστασίας των οπλισμών από τη διάβρωση ακόμα και σε περιβάλλοντα που χαρακτηρίζονται εξόχως διαβρωτικά (π.χ. παραθαλάσσιες περιοχές, λιμενικά έργα, κατασκευές σε χημικές βιομηχανίες και βιομηχανίες τροφίμων κ.λπ.).

Η ανθεκτικότητα σε διάβρωση των χαλύβων επιτυγχάνεται με την παθητικοποίηση της επιφάνειάς τους λόγω του σχηματιζόμενου λεπτού επιφανειακού στρώματος οξειδίου του χρωμίου το οποίο εμποδίζει την περαιτέρω διάβρωση (προσθήκη χρωμίου σε ποσοστά συνήθως από 16% έως 20%). Εκτός από την προσθήκη χρωμίου, και η προσθήκη νικελίου (σε ποσοστά συνήθως από 8% έως 10%) έχει ως συνέπεια το σχηματισμό ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων. Για την περαιτέρω αύξηση της ανθεκτικότητας, ιδίως παρουσία χλωριόντων, προστίθεται μολυβδένιο (Mo) σε ποσοστά συνήθως από 2% έως 3,5%.

Τέλος, η ανθεκτικότητα σε διάβρωση αυξάνεται όσο μειώνονται οι φάσεις στη μάζα του υλικού. Ειδικότερα, στους μονοφασικούς χάλυβες (όπως είναι οι ωστενιτικοί) εξασφαλίζεται η μή δημιουργία ημιστοιχείων δυναμικού διάβρωσης (γεγονός το οποίο συμβαίνει στην περίπτωση περισσοτέρων της μιας φάσεων) και έτσι αποτρέπεται η έναρξη της διάβρωσης.

Γενικώς, οι ανοξείδωτοι χάλυβες διακρίνονται σε ωστενιτικούς, φερριτικούς, μαρτενσιτικούς και duplex (συνδυασμός ωστενιτικών και φερριτικών). Οι πλέον διαδεδομένες κατηγορίες ανοξείδωτων χαλύβων που χρησιμοποιούνται ως χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος είναι οι χρωμονικελιούχοι ωστενιτικοί και ειδικότερα οι κατηγορίες AISI 304 (304L) και AISI 316 (316L) κατά την Αμερικανική τυποποίηση, οι οποίες αντιστοιχούν στις κατηγορίες EN 1.4301 (1.4306) και EN 1.4401 (1.4404) κατά την Ευρωπαϊκή τυποποίηση. Στον Πιν. Π3-4 δίνονται οι χημικές συνθέσεις διαφόρων τύπων χαλύβων σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN10088 και την Αμερικανική τυποποίηση AISI/UNS.

Στον Πιν. Π3-4 δίνονται κριτήρια επιλογής ανοξείδωτων χαλύβων συναρτήσει των συνθηκών περιβάλλοντος και της χρήσης της κατασκευής. Οι εφαρμογές που περιγράφονται στον πίνακα αυτόν, όπως διευκρινίζεται στο υπό επεξεργασία Ευρωπαϊκό Πρότυπο [XPA A35-OK(E)], απ' όπου έχει ληφθεί, δεν περιορίζονται αυστηρά στους οπλισμούς που ενσωματώνονται στο σκυρόδεμα αλλά και σε άλλες συναφείς χρήσεις.

Η επιλογή της κατάλληλης σύνθεσης υπαγορεύεται από τις απαιτήσεις και τα ειδικά χαρακτηριστικά της κατασκευής, λαμβάνοντας υπόψη το κόστος (το οποίο αυξάνεται όσο αυξάνονται οι αναλογίες των κραματικών στοιχείων) αλλά και της δυνατότητας παραγωγής στις απαιτούμενες διαστάσεις και διατομές.

Πίνακας Π3-1: Χημική σύνθεση ανοξείδωτων χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος κατά το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EN10088 και αντιστοιχία με την Αμερικανική τυποποίηση AISI/UNS.

Κατηγορία χάλυβα κατά:			Περιεκτικότητα % κατά βάρος										
EN		AISI/ UNS	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	άλλα
Ονομασία	Αριθμός												
1.4301	X5CrNi18-10	304	≤0,07	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	≤0,11	17,0-19,5	-	-	8,0-10,5	-
1.4306	X5CrNi18-10	304L	≤0,030	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	≤0,11	18,0-20,0	-	-	8,0-12,0	-
1.4311	X2CrNi18-10	304LN	≤0,030	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	0,12-0,22	17,0-19,5	-	-	8,0-11,5	-
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316	≤0,07	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	≤0,11	16,5-18,5	-	2,00-2,50	10,0-13,0	-
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L	≤0,03	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	≤0,11	16,5-18,5	-	2,00-2,50	10,0-13,0	-
1.4429	X2CrNiMoN17-13-3	316LN	≤0,030	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,015	0,12-0,22	16,5-18,5	-	2,50-3,00	11,0-14,0 ^(d)	-
1.4436	X3CrNiMo17-13-3	(316)	≤0,05	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	≤0,11	16,5-18,5	-	2,50-3,00	10,5-13,0 ^(d)	-
1.4462 ^b	X2CrNiMoN22-5-3	31803	≤0,030	≤1,00	≤2,00	≤0,035	≤0,015	0,10-0,22	21,0-23,0	-	2,50-3,50	4,5-6,5	-
1.4501 ^c		32570	≤0,03	≤1,0	≤1,0	≤0,035	≤0,015	0,20-0,30	24,0-26,0	-	3,0-4,0	6,0-8,0	
1.4529 ^c		NO 8367	≤0,02	≤0,5	≤1,0	≤0,030	≤0,010	0,15-0,25	19,0-21,0	-	6,0-7,0	24,0-26,0	
1.4511 ^a	X3CrNb17	(430Nb)	≤0,05	≤1,00	≤1,00	≤0,040	≤0,015	-	16,0-18,0	-	-	-	Nb:12xC - 1.00
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti	≤0,08	≤1,00	≤2,00	≤0,045	≤0,030	-	16,5-18,5	-	2,00-2,50	10,5-13,5 ^(d)	Ti: 5xC-0,70
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5		≤0,020	≤0,70	≤2,00	≤0,030	≤0,010	≤0,15	19,0-21,0	1,20-2,00	4,0-5,0	24,0-26,0	-
1.4597	X8CrMnCaB17-8-3		≤0,10	≤2,00	6,5-8,5	≤0,040	≤0,030	0,15-0,30	16,0-18,0	2,00-3,50	≤1,00	≤2,00	B: 0,0005-0,0015
^a Ανήκει στους φερριτικούς χάλυβες ^b Ανήκει στους ωστενοφερριτικούς χάλυβες (DUPLEX) ^c Αυτές οι κατηγορίες παράγονται κατά παραγγελία για ειδικές εφαρμογές ^d Όταν για ειδικούς σκοπούς π.χ. χαμηλή μαγνητική διαπερατότητα, απαιτείται να ελαχιστοποιηθεί η φάση δ, η μέγιστη περιεκτικότητα σε νικέλιο μπορεί να αυξηθεί κατά 0,50% για το 1.4571, και κατά 1,00% για τα 1.4429, 1.4436.													

Σημειώσεις:

- Γενικώς οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι συγκολλησιμοι. Στις εφαρμογές όπου προβλέπεται να γίνουν ποιοτικές συγκολλήσεις υπάρχει πρόσθετη απαίτηση για χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα ώστε να επιτυγχάνονται οι οριζόμενες προδιαγραφές. Έτσι, διακρίνονται αντίστοιχες παραγόμενες κατηγορίες που αναγνωρίζονται με την προσθήκη του γράμματος L στον κωδικό αριθμό της ποιότητας σύμφωνα με την τυποποίηση AISI (π.χ. 304L, 316L). Το ανώτερο ποσοστό περιεκτικότητας σε άνθρακα αυτών των ποιοτήτων χαλύβων είναι 0,03%. (Η διατήρηση της περιεκτικότητας άνθρακα σε όσο το δυνατόν χαμηλότερα επίπεδα διασφαλίζει ευκολότερα τον μονοφασικό χαρακτήρα του κράματος). Τα υπόλοιπα κραματικά στοιχεία στους χάλυβες με την επισήμανση L παραμένουν πρακτικώς εντός των ιδίων ορίων περιεκτικότητας (όπως για τις αντίστοιχες ποιότητες που δεν φέρουν την επισήμανση L). Εναλλακτικώς, για την βελτίωση της συγκολλησιμότητας των ανοξείδωτων χαλύβων, γίνεται δέσμευση του άνθρακα με την προσθήκη στοιχείων που έχουν μεγαλύτερη τάση σχηματισμού καρβιδίων από το χρώμιο. Ως τέτοια στοιχεία χρησιμοποιούνται συνήθως το τιτάνιο (Ti) και το νιόβιο (Nb). Τα στοιχεία αυτά προστιθέμενα, σε ποσοστό πενταπλάσιο της περιεκτικότητας σε άνθρακα για το Ti και δεκαπλάσιο- δωδεκαπλάσιο για το Nb, εξασφαλίζουν σταθεροποίηση των χαρακτηριστικών του ανοξείδωτου χάλυβα και διατήρηση της αντοχής στη διάβρωση ακόμη και σε υψηλές θερμοκρασίες όπως είναι οι περιοχές της συγκόλλησης.
- Ως ανοξείδωτοι χάλυβες χαρακτηρίζονται και άλλες συνθέσεις χαλύβων που έχουν σχετικά αυξημένη ανθεκτικότητα σε διάβρωση αλλά δεν χρησιμοποιούνται γενικώς ως χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Τέτοιοι χάλυβες είναι π.χ. οι:
 - Φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες (ποιότητα EN 1.4511/AISI 430): Πρόκειται για κράματα σιδήρου με κύριο κραματικό στοιχείο το χρώμιο 11,5-27% και περιεκτικότητες σε άνθρακα 0,10-1,5% που είναι δυνατόν να αποκτήσουν αντοχές της τάξης των 650 MPa με ψυχρή διαμόρφωση. Υστερούν σε δυσθραυστότητα και έχουν μικρότερη ανθεκτικότητα σε διάβρωση, σε σχέση με τους

χρωμονικελιούχους ωστενιτικούς, ιδίως σε περιβάλλον χλωριόντων (παραθαλάσσιες περιοχές κ.λπ.). Εμφανίζουν σημαντική ευθραυστότητα μετά από έκθεση σε ακραίες (υψηλές) θερμοκρασίες και είναι πάντοτε μαγνητίσιμοι.

- Μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες (ποιότητες κατά EN10088: π.χ. 1.4006, 14021, 1.4057 κ.ά. ή κατά την Αμερικανική τυποποίηση AISI 410, AISI 420, AISI 431). Οι χάλυβες αυτοί έχουν εκτός των περιεκτικότητων σε χρώμιο και νικέλιο και περιεκτικότητα σε άνθρακα 0,15-1,0%, και με κατάλληλη θερμική κατεργασία μπορούν να σκληρυνθούν (μαρτενσιτική βαφή). Η ιδιότητά τους να αποκτούν μεγάλη σκληρότητα με μαρτενσιτική βαφή περιγράφει και την περιοχή εφαρμογών τους (όπου π.χ. η αυξημένη αντοχή στη διάβρωση «θυσιάζεται» με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα, προκειμένου να είναι εφικτή η επίτευξη μεγάλης σκληρότητας). Η αντοχή σε εφελκυσμό και η σκληρότητα των χάλυβων αυτών είναι κατά κανόνα μεγαλύτερη των ωστενιτικών και φερριτικών, δεν ισχύει όμως το ίδιο για την ολκιμότητα και τη δυσθραυστότητα (πολύ χαμηλότερες τιμές). Πολύ χαμηλότερη αντοχή στη διάβρωση σε σχέση με τους ωστενιτικούς χάλυβες παρουσιάζουν σε περιβάλλον χλωριόντων (παραθαλάσσιες περιοχές κ.λπ.). Δεν χρησιμοποιούνται σε καμία περίπτωση ως Χ.Ο.Σ.
- Κατηγορία ειδικών κραμάτων (χάλυβες DUPLEX, Inco Alloys, νέοι τύποι φερριτικών, μαρτενσιτικών, ωστενιτικών χάλυβων κ.λπ.). Αποτελούν κατηγορίες κραμάτων των οποίων η εφαρμογή εξετάζεται μόνο σε εξειδικευμένες περιπτώσεις απαιτήσεων για τις κατασκευές. Πρόκειται για υλικά στα οποία με έλεγχο των επί μέρους περιεκτικότητων των προσθηκών και των κατεργασιών κατά την παραγωγή, τροποποιούνται οι ιδιότητες ώστε να εξυπηρετούνται οι ειδικές απαιτήσεις εφαρμογών. Οι χάλυβες DUPLEX (φερριτικοί – ωστενιτικοί), π.χ. Αμερικανικοί AISI 329 και οι Ευρωπαϊκοί 1.4462 έχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε χρώμιο (> 20%) και παρουσιάζουν χαρακτηριστική ψαθυροποίηση στους 475°C. Έτσι, δεν συνιστώνται σε ακραίες θερμοκρασίες (υψηλές ή χαμηλές), έχουν όμως καλή συμπεριφορά έναντι διάβρωσης υπό τάση (stress corrosion cracking). Αναφέρονται ως Χ.Ο.Σ. μόνο σε εξειδικευμένες περιπτώσεις.

3. Σε περιπτώσεις κατασκευών όπου αναπτύσσονται πολύ μεγάλες θερμοκρασίες (π.χ. κλίβανοι με θερμοκρασίες >800°C) έχουν εφαρμογή ανοξείδωτοι χάλυβες και κράματα με πολύ μεγαλύτερες περιεκτικότητες σε Cr και Ni (π.χ. πυρίμαχοι χάλυβες). (π.χ. κατηγορίες EN 1.4841 και AISI 310).

Π3.2 Χαρακτηριστικά ανοξείδωτων χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος

Π3.2.1 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά

α) Ονομαστικά μεγέθη

Οι απαιτήσεις για τις ονομαστικές διαμέτρους, τις ονομαστικές διατομές, την ονομαστική μάζα και τις ανοχές της, θα πρέπει να εξετάζονται σύμφωνα με τα αντίστοιχα προδιαγραφόμενα μεγέθη για τους κοινούς χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος (βλ. Πιν. 3-1 της Παραγρ. 3.1.1 του παρόντος Κανονισμού).

β) Γεωμετρία νευρώσεων

Οι απαιτήσεις για την γεωμετρία των νευρώσεων είναι ίδιες με εκείνες των κοινών χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος (βλ. Παραγρ. 3.1.2 του παρόντος Κανονισμού). Οι ανοξείδωτοι χάλυβες διατίθενται και χωρίς νευρώσεις (λείοι).

Π3.2.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

α) Ιδιότητες σε εφελκυσμό

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, χωρίς ψυχρή κατεργασία, έχουν χαμηλό όριο διαρροής, (ενδεικτικά της τάξης των 230MPa), αλλά σχετικά μεγάλη εφελκυστική αντοχή. Η αύξηση του ορίου διαρροής επιτυγχάνεται με ψυχρή κατεργασία. Αναλόγως του βαθμού ψυχρής κατεργασίας, το όριο διαρροής μπορεί να φθάσει και μέχρι τα 800MPa. Οι συνήθεις κατηγορίες αντοχών που κυκλοφορούν στο εμπόριο είναι InE235, InE500, InE650, InE800 όπου ο αριθμός υποδηλώνει την χαρακτηριστική τιμή του ορίου διαρροής (βλ. Πίν. Π3-2).

Σύμφωνα με υπό επεξεργασία ευρωπαϊκό Πρότυπο [XP A 35-014(E)], οι ανοξείδωτοι χάλυβες κατατάσσονται, ως προς τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους, σε τέσσερις κατηγορίες, ανεξαρτήτως της χημικής τους σύνθεσης. Οι ιδιότητες σε εφελκυσμό των χάλυβων αυτών δίνονται στον Πιν. Π3-2.

Πίνακας Π3-2: Ιδιότητες σε εφελκυσμό ανοξείδωτων χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος

Κατηγορία αντοχής	f _{0,2} (MPa)		f _t /f _{0,2}		ε _u (%)	
	Χαρακτηριστική τιμή	Ελάχιστη τιμή	Χαρακτηριστική τιμή	Ελάχιστη τιμή	Χαρακτηριστική τιμή	Ελάχιστη τιμή
InE235	235	220	1,15	1,12	8	7
InE500	500	475	1,10	1,08	5	4
InE650	650	625	1,10	1,08	5	4
InE800	800	775	1,10	1,08	5	4

Οι μηχανικές ιδιότητες των χάλυβων των παραπάνω κατηγοριών είναι παραπλήσιες εκείνων των κοινών χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος της κατηγορίας B500A αλλά όχι της κατηγορίας B500C (βλ. Παραγρ.3.2.1 του παρόντος

Κανονισμού). Οι αυξημένες αντοχές που παρουσιάζουν αποκτώνται με ψυχρή κατεργασία, και κατά κανόνα δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις όσον αφορά τον λόγο f_t/f_y και την ανηγμένη παραμόρφωση ϵ_u (για τους χάλυβες κατηγορίας B500C ισχύει $1,15 \leq f_t/f_y \leq 1,35$ και $\epsilon_u \geq 7.5\%$). Υπάρχει πάντως η τεχνική δυνατότητα παραγωγής χρωμονικελιούχων ανοξείδωτων χαλύβων με τα μηχανικά χαρακτηριστικά της κατηγορίας B500C.

Γενικώς, τα μέτρα ελαστικότητας (E και G) παρουσιάζουν μειωμένες τιμές (έως και κατά 20%), ενώ ο συντελεστής Poisson (ν) και ο συντελεστής θερμικής διαστολής (α_T) έχουν περίπου τις ίδιες τιμές με εκείνες των κοινών ανθρακούχων χαλύβων.

β) Καταλληλότητα σε κόπωση

Ισχύουν όσα προδιαγράφονται στα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-3 και τον παρόντα Κανονισμό.

γ) Καταλληλότητα σε κάμψη

Ισχύουν τα της δοκιμής αναδίπλωσης σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ EN 10080 και σύμφωνα με τον παρόντα Κανονισμό.

δ) Πρόσθετες δοκιμές για ανοξείδωτους χάλυβες

Στα διάφορα Διεθνή Πρότυπα προδιαγράφονται επιπροσθέτως για τους ανοξείδωτους χάλυβες:

- Φυσικές ιδιότητες (σύμφωνα με το EN 10088-1/2002).
- Αντίσταση στην περικρυσταλλική διάβρωση (σύμφωνα με το BSEN ISO 3651-2, ένα δείγμα ανά χύτευση).
- Δοκιμή δυσθραυστότητας κατά Charpy (δοκιμή κατά BS EN 10045-1, σε δοκίμια με εγκοπή V).

Αποδεκτές τιμές των μηχανικών αυτών ιδιοτήτων περιγράφονται στο EN 10088 (για διαμέτρους άνω των 16mm).

Π.3.2.3 Λοιπά χαρακτηριστικά

α) Συμπεριφορά σε ακραίες (υψηλές και χαμηλές) θερμοκρασίες

Οι χρωμονικελιούχοι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες εμφανίζουν:

- Εξαιρετική συμπεριφορά σε υπομηδενικές θερμοκρασίες (φαινόμενα μετάπτωσης κ.λπ. εμφανίζονται σε θερμοκρασίες μικρότερες των -100°C). Οι χάλυβες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιούνται και σε κρυογενικές εφαρμογές.
- Υψηλή αντοχή στη διάβρωση ακόμη και σε θερμοκρασίες που για τους κοινούς χάλυβες θεωρούνται καταστροφικές ($>650^\circ\text{C}$).
- Μεγαλύτερη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης (σε χάλυβες με ψυχρή κατεργασία) και μικρότερο ποσοστό μείωσης της εν θερμώ αντοχής για θερμοκρασίες μέχρι 550°C (σε σύγκριση με τους χάλυβες που είναι αντικείμενο του παρόντος Κανονισμού). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ενώ η μείωση αντοχής των κοινών Χ.Ο.Σ. σε θερμοκρασία 550° μπορεί να φθάσει το 50% της αντίστοιχης αντοχής στην θερμοκρασία περιβάλλοντος, για τους ανοξείδωτους η μείωση της αντοχής μπορεί μεν να φθάσει το 30-40% της αρχικής, αλλά παραμένει σχεδόν διπλάσια της αντοχής των κοινών χαλύβων. Οι θερμοκρασίες ανακρυστάλλωσης είναι σημαντικά μεγαλύτερες ($\approx 850^\circ\text{C}$) με αποτέλεσμα η αντοχή που αποκτάται με την ψυχρή κατεργασία να διατηρείται σε πολύ μεγαλύτερες θερμοκρασίες απ' ότι στους αντίστοιχους κοινούς Χ.Ο.Σ. (650°C).

β) Συγκολλησιμότητα

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες μπορούν μεν να συγκολληθούν με τις ίδιες τεχνικές και με τον ίδιο σχεδιασμό της συγκόλλησης όπως και οι ανθρακούχοι αλλά όμως με την θέρμανση, στην περιοχή της συγκόλλησης, αναιρείται, μερικώς ή ολικώς, η αυξημένη αντοχή που αποκτάται με την ψυχρή κατεργασία με αποτέλεσμα οι παραγόμενες συγκολλήσεις να έχουν την αντοχή που είχε το υλικό πριν από την ψυχρή κατεργασία (δηλαδή πρακτικά InE235).

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες που είναι εύκολα συγκολλησιμοι είναι οι ωστενιτικοί και οι duplex. Οι φερριτικοί έχουν μειωμένη συγκολλησιμότητα και θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τον οπλισμό σκυροδέματος εφόσον δεν υπάρχει απαίτηση για ιδιαίτερα υψηλή ανθεκτικότητα σε διάβρωση και με την προϋπόθεση ότι δεν πρόκειται να συγκολληθούν. Οι μαρτενσιτικοί συγκολλούνται δύσκολα και σε κάθε περίπτωση δεν παρουσιάζουν ενδιαφέρον ως χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος. Τέλος οι duplex, αν και είναι συγκολλησιμοι, είναι πολύ ακριβοί, δεν αντέχουν σε πυρκαγιά και γι' αυτό δεν φαίνεται να έχουν ενδιαφέρον για τον οπλισμό σκυροδέματος.

Οι συνήθεις ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες (βλ. Πιν. Π3-1) συγκολλούνται τις περισσότερες φορές με ηλεκτρόδια της ίδιας χημικής σύνθεσης (βλ. Πιν. Π3-3).

Πίνακας Π3-3: Τύποι ηλεκτροδίων συναρτήσει της ποιότητας του ανοξείδωτου χάλυβα

Ποιότητα χάλυβα κατά		Τύπος ηλεκτροδίου κατά	
EN	AISI	EN	AISI
1.4301	304	1.4303	308
1.4306	304L	---	308L
1.4303	308	1.4303	308
1.4401	316	1.4401	316
1.4404	316L	1.4404	316L
1.4571	316Ti	1.4583	318
1.4580	316Cb (Nb)	1.4583	318
1.4541	321	1.4541	321
1.4550	347	1.4550	347

Από τους παραπάνω χάλυβες οι 304, 308, 316 εμφανίζουν κατά τη συγκόλληση το πρόβλημα της θερμικής ευαισθητοποίησης (thermal sensitization), δηλαδή της μείωσης της ανθεκτικότητάς τους σε διάβρωση, στην περιοχή της συγκόλλησης. Αυτός ο τύπος της διάβρωσης είναι γνωστός ως περικρυσταλλική διάβρωση και αποσυνθέτει το μέταλλο στην περιοχή της θερμικά επηρεασμένης ζώνης (γύρω από τη συγκόλληση). Το πρόβλημα δεν το παρουσιάζουν οι 304L και 316L λόγω της πολύ χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Εναλλακτική λύση αποτελούν οι 316Ti, 316Cb ή Nb, 321 & 347 λόγω της σταθεροποίησής τους με ισχυρά καρβιδιογόνα στοιχεία Ti, Nb, Ta (δέσμευση του άνθρακα από τα καρβιδιογόνα στοιχεία των προσθηκών).

Κατά τις συγκολλήσεις ανοξείδωτων χαλύβων εφαρμόζονται η χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια και, περισσότερο, η ημιαυτόματη MAG, λόγω της υψηλής ποιότητας και επαναληψιμότητας (με την προϋπόθεση ότι η εκτέλεσή της γίνεται απουσία ρευμάτων αέρα). Στην περίπτωση της MAG θα πρέπει να χρησιμοποιηθεί ως προστατευτικό αέριο αργόν με λίγο οξυγόνο, περί το 2% (μίγμα Ar- O₂ που περιέχει έως και 5% O₂). Το οξυγόνο είναι απαραίτητο για να βελτιώσει τη διείσδυση, να σταθεροποιήσει το τόξο και να βελτιώσει τη ρευστότητα.

Ένα πρόβλημα στη συγκόλληση ανοξείδωτων χαλύβων είναι η θερμή ρηγμάτωση (hot shortness, hot cracking) που οφείλεται στη μικρή αντοχή του ημιστερεοποιημένου μετάλλου στη ραφή. Η θερμή ρηγμάτωση εκδηλώνεται ως μία εξωτερική (συνήθως ορατή) ρωγμή κατά μήκος του κορδονιού συγκόλλησης. Αντιμετωπίζεται με χρήση ηλεκτροδίου που δίνει μικρή ποσότητα φερρίτη μαζί με τον ωστενίτη. Αυτό μειώνει σε κάποιο (μικρό) βαθμό την αντοχή σε διάβρωση της συγκόλλησης.

γ) Ειδικά χαρακτηριστικά

Η επαφή ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων με άλλους χάλυβες και γενικά με προϊόντα σιδήρου είναι δυνατόν να προκαλέσει σημαντική γαλβανικού τύπου διάβρωση. Ως εκ τούτου θα πρέπει να αποφεύγονται τέτοιου είδους προσεγγίσεις και τοποθέτηση σε επαφή διαφόρων τύπων χαλύβων. Ευνοϊκές συνθήκες για την έναρξη και την επιτάχυνση της διάβρωσης, δημιουργούνται σε περιπτώσεις συγκόλλησης ανοξείδωτων με κοινούς χάλυβες και γι' αυτό τον λόγο θα πρέπει οπωσδήποτε να αποφεύγονται τέτοιου είδους συνδέσεις.

Σε όποια εφαρμογή δημιουργούνται προϋποθέσεις “επαφής” μεταξύ ανοξείδωτου και μη ανοξείδωτου (κοινού) χάλυβα, θα πρέπει να λαμβάνεται μέριμνα ώστε να εξασφαλίζεται “ηλεκτρική μόνωση” μεταξύ των υλικών. Τέτοιου είδους “μόνωση” μπορεί να εξασφαλισθεί ως ένα βαθμό και από το ίδιο το σκυρόδεμα παρεμβαλλόμενο μεταξύ των δύο ειδών οπλισμού (ανοξείδωτου και κοινού χάλυβα). Όσο μεγαλύτερο το πάχος του παρεμβαλλόμενου σκυροδέματος, τόσο καλύτερη η επιτυγχανόμενη ηλεκτρική “μόνωση” μεταξύ των δύο κατηγοριών υλικών. Ως μονωτικά χρησιμοποιούνται επίσης διάφορες ρητίνες ή ειδικά πλαστικά παρεμβλήματα.

Θα πρέπει να επισημανθεί επίσης ότι η αυξημένη ανθεκτικότητα στην διάβρωση των ανοξείδωτων χαλύβων δεν επιτρέπει μείωση του απαιτούμενου πάχους επικάλυψης των οπλισμών από το σκυρόδεμα.

δ) Μη μαγνήτιση ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων

Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες δεν μαγνητίζονται. Η συμπεριφορά αυτή αποκτάται όταν με κατάλληλη θερμική κατεργασία το κράμα γίνεται μονοφασικό ωστενιτικό. Η θερμική κατεργασία για την πλήρη ωστενιτοποίηση περιλαμβάνει θέρμανση σε θερμοκρασίες ομογενοποίησης (πρακτικά της τάξης των 1.100°C) η οποία ακολουθείται από απότομη ψύξη (συνήθως σε νερό). Με την απότομη ψύξη εμποδίζεται ο σχηματισμός καρβιδίων και άλλων φάσεων που έχουν μαγνητικές ιδιότητες. Αν ακολουθήσει ψυχρή κατεργασία είναι δυνατόν να παρουσιαστεί μαγνήτιση και στους ωστενιτικούς χάλυβες.

Η μη μαγνητική συμπεριφορά των χαλύβων χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις ως κριτήριο διαχωρισμού των ωστενιτικών από τους υπόλοιπους ανοξείδωτους (φερριτικούς, μαρτενσιτικούς) και από τους κοινούς χάλυβες (κατά ΕΛΟΤ EN 10080 κ.λπ.) που μαγνητίζονται. Το κριτήριο αυτό δεν είναι απόλυτα ασφαλές για την αναγνώριση των ωστενιτικών ανοξείδωτων χαλύβων των κατηγοριών AISI 304 και AISI 316 αφού και άλλοι χάλυβες με διαφορετικά κραματικά στοιχεία (π.χ. μαγγανιούχοι ωστενιτικοί), μπορεί να μη μαγνητίζονται, ενώ διαφέρουν ως προς τις λοιπές ιδιότητες. (π.χ. έχουν ανθεκτικότητα σε διάβρωση πολύ κατώτερη των χρωμονικελιούχων AISI 304 και AISI 316). Αλλά

και οι ίδιοι οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι με ψυχρή κατεργασία έχουν μαγνητική συμπεριφορά. Η συσχέτιση της μεταβολής του βρόχου υστέρησης με το ποσοστό της παραμόρφωσης με ψυχρή κατεργασία αποτελεί αντικείμενο ερευνητικών εργασιών.

Πίνακας Π3-4: Πεδίο εφαρμογής των ανοξείδωτων χαλύβων συναρτήσει των συνθηκών περιβάλλοντος.

(Από το υπό επεξεργασία Πρότυπο XP A 35-014 Πίνακας A4)

Ποιότητα ανοξείδωτου χάλυβα	Κατασκευές σε αγροτικές ή αστικές περιοχές χωρίς πιθανότητα παρουσίας χλωριόντων	Κατασκευές σε αγροτικό ή αστικό περιβάλλον με πιθανή εποχική προσβολή χλωριόντων (π.χ. αλάτι για αντιπαγετική προστασία)	Κατασκευές παραθαλάσ- σιες. Κατασκευές μόνιμα εμβαπτισμένες σε γλυκό νερό (πισίνες κ.λπ.)	Λιμενικές εγκαταστάσεις Κατασκευές εμβαπτιζό- μενες σε θαλασσινό νερό
• 1.4511	(1) Οποιοσδήποτε κατασκευές. Ενδεδειγμένος, εάν οι εποχικές θερμοκρασιακές διαφορές είναι σημαντικές.	(3) Μπάρες ασφαλείας κατά μήκος αυτοκινητοδρόμων.	(4)	(4)
• 1.4301 • 1.4311 • 1.4597a	(1) Αερογέφυρες, σήραγγες εντός πόλεων, δημόσια κτίρια.	(1) Κατασκευές όπου ενδέχε- ται να προκληθεί στο χρόνο ζωής της κατασκευής μείωση της επικάλυψης από σκυρόδεμα	(4)	(4)
• 1.4401 • 1.4429 • 1.4436 • 1.4571	(1) Εμφανή τμήματα κατασκευών – Απαιτήσεις αισθητικής εμφάνισης.	(1) Έργα Πολ. Μηχανικού. Βιομηχανικές εγκαταστάσεις σε περιοχές παρουσίας H ₂ S, SO ₂ , υγρασίας.	(3) Λιμενικές εγκαταστάσεις σε ποτάμια. Δεξαμενές επεξεργασίας αποβλήτων.	(4)
• 1.4539	(2)	(2)	(1) Στάσιμα μέσα με χλωριόντα (δεξαμενές επεξεργασίας ύδατος, αλατούχων διαλυμάτων).	(1) Μόνιμα εμβαπτισμέ- νες ναυπηγικές κατασκευές. Κατασκευές χωρίς κίνηση.
• 1.4462	(2)	(2)	(1) Κολυμβητήρια. Αυξημένη αντοχή στην διάβρωση υπό τάση (stress corrosion). Γέφυρες.	(1) Βάσεις στήριξης πλατφορμών (off shore). Γέφυρες, Λιμενικές εγκαταστάσεις.
(1) Σωστή επιλογή, καλή σχέση ποιότητας / τιμής. (2) Αδικοιολόγητη πολυτέλεια σε σχέση με το περιβάλλον εφαρμογής. (3) Δυνατή επιλογή, απόφαση του κατασκευαστή / παραγωγού (4) Όχι – Μη ικανοποιητική αντοχή στην διάβρωση. α: Χάλυβες που προστατεύονται από ευρεσιτεχνίες αναφέρονται ως prEN 10088-3:2002.				

Παράρτημα Π4 : ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

(Πληροφοριακό)

Π4.1 Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding, SMAW)

Η χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal Arc Welding, SMAW) είναι η πιο κοινή τεχνική συγκόλλησης τόξου, χωρίς καμία αυτοματοποίηση. Η έναυση του ηλεκτρικού τόξου πραγματοποιείται και διατηρείται μεταξύ του άκρου ενός αναλίσκόμενου ηλεκτροδίου και των δύο τεμαχίων του μετάλλου που πρόκειται να συγκολληθεί που βρίσκονται το ένα πλησίον του άλλου στην περιοχή της συγκόλλησης. Το τόξο προκαλεί τήξη του μετάλλου βάσης και του άκρου του ηλεκτροδίου του οποίου το τήγμα μεταφέρεται υπό μορφή σταγονιδίων προς την συγκόλληση. Τα δύο τήγματα αναμειγνύονται και δημιουργούν το λουτρό της συγκόλλησης, το οποίο στερεοποιούμενο εξασφαλίζει τη σύνδεση. Το ηλεκτρόδιο είναι πεπερασμένου μήκους και αποτελείται από ένα μεταλλικό πυρήνα που φέρει εξωτερικά επένδυση συλλιπιάσματος (flux). Η επένδυση στη θερμοκρασία του τόξου δημιουργεί αέρια που προστατεύουν το μεταφερόμενο μέταλλο από τον περιβάλλοντα αέρα και παράλληλα σταθεροποιούν το τόξο, καθώς και μία τηγμένη σκουριά που λόγω μικρού ειδικού βάρους επιπλέει και καλύπτει το λουτρό, προστατεύοντάς το από την οξείδωση.

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στις συγκολλήσεις οπλισμού σκυροδέματος είναι συνήθως:

- Τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου και
- Τα βασικά ηλεκτρόδια, τα οποία είναι γνωστά και ως ηλεκτρόδια χαμηλού υδρογόνου.

Τα ηλεκτρόδια ρουτιλίου δημιουργούν μία ρευστή σκουριά που διευκολύνει την εργασία του συγκολλητή. Δίνουν καλής ποιότητας συγκολλήσεις υπό την προϋπόθεση ότι ο προς συγκόλληση χάλυβας είναι χαμηλού άνθρακα, και καθαρός, και η συγκόλληση γίνεται σε ξηρό περιβάλλον. Επιπλέον έχουν το πλεονέκτημα ότι μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε με συνεχές είτε με εναλλασσόμενο ρεύμα.

Τα βασικά ηλεκτρόδια δίνουν δύστηκτη σκουριά χαμηλής ρευστότητας, που δυσχεραίνει τη συγκόλληση και δημιουργεί κίνδυνο παρουσίας μη μεταλλικών εγκλεισμάτων (σκουριάς) μεταξύ των πάσων, αν ο συγκολλητής δεν είναι εξειδικευμένος στη χρήση τους. Απαιτούν συνεχές ρεύμα αντίστροφης πολικότητας (ο θετικός πόλος στο ηλεκτρόδιο). Επιπλέον, από τη στιγμή που θα βγουν από τη στεγανή συσκευασία τους, απαιτούν παραμονή σε ξηραντήριο μέχρι τη στιγμή που θα χρησιμοποιηθούν. Έχουν, όμως, ως εξαιρετικό πλεονέκτημα την εξασφάλιση συγκολλήσεων άριστης ποιότητας και αντοχής, που οφείλεται κυρίως:

- Στην καθαριστική τους δράση, όταν τα μέταλλα που συγκολλούνται περιέχουν ακαθαρσίες (κυρίως S και P) και
- Στην αποτροπή απορρόφησης υδρογόνου από τη συγκόλληση. Η απορρόφηση υδρογόνου είναι καταστρεπτική όταν ο χάλυβας είναι μικρής συγκολλησιμότητας, δηλ. έχει υψηλή τιμή ισοδυνάμου άνθρακα και δίνει εύκολα σκληρά και εύθραυστα συστατικά (κυρίως μαρτενσίτη και μπαινίτη).

Μεγάλης σημασίας είναι η θερμική παροχή του τόξου Q (Joule/cm), που εκφράζει την ενέργεια που παράγεται από το τόξο (και κατά ένα μεγάλο μέρος μεταφέρεται στη περιοχή της συγκόλλησης) ανά μονάδα μήκους της συγκόλλησης και η οποία υπολογίζεται από τη σχέση:

$$Q=I \cdot V/v,$$

όπου: I η ένταση του ρεύματος σε A

V η τάση του ρεύματος σε V

v η ταχύτητα προχώρησης του τόξου σε cm/s.

Οι συγκολλήσεις πρέπει να γίνονται σχετικά αργά, για να εξασφαλίζεται επαρκής θερμική παροχή. Αυτή είναι απαραίτητη αφενός για να έχουμε συγκόλληση χωρίς ελαττώματα ατελούς τήξης και εγκλεισμάτων σκουριάς και αφετέρου για να μειώνεται ο ρυθμός απόψυξης του λουτρού, αποτρέποντας το σχηματισμό εύθραυστων συστατικών (τυπικά μαρτενσίτη) όταν η συγκολλησιμότητα είναι μικρή.

Η ταχύτητα προχώρησης συναρτάται σε μεγάλο βαθμό με τον ρυθμό απόθεσης του μετάλλου, που με τη σειρά του σχετίζεται με τον τύπο του ηλεκτροδίου, την διάμετρό του και την αντίστοιχη ένταση του ρεύματος. Ενδεικτικοί ρυθμοί απόθεσης σε συνεχή λειτουργία είναι 1,3kg/h για 100A και 5,5kg/h για 400A.

Π4.2 Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου (Gas Metal Arc Welding, GMAW)

Η τεχνική αυτή χρησιμοποιεί για τη θέρμανση και τήξη των προς συγκόλληση μετάλλων ένα ηλεκτρικό τόξο που διατηρείται μεταξύ του μετάλλου βάσης και του ηλεκτροδίου, όπως και στη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου. Χαρακτηρίζεται, όμως, ως ημιαυτόματη τεχνική, διότι ενώ η οδήγηση της τσιμπίδας γίνεται χειρωνακτικά από τον συγκολλητή, το αναλίσκόμενο ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται συνεχώς προς τη συγκόλληση από την ίδια τη μηχανή της συγκόλλησης. Το ηλεκτρόδιο είναι ένα γυμνό σύρμα μικρής διαμέτρου τυλιγμένο σε κουλούρα και προωθείται με σταθερή ταχύτητα μέσω τροφοδοτικού μηχανισμού. Η ταχύτητα προώθησης είναι συνάρτηση της διαμέτρου του σύρματος και ρυθμίζεται αυτομάτως από τη μηχανή σε συνάρτηση με την ένταση του ρεύματος. Η προστασία του τόξου και του λουτρού της

συγκόλλησης γίνεται από ένα προστατευτικό αέριο που μπορεί να είναι τελείως αδρανές (στην Αμερικανική Ήπειρο κυρίως ήλιον και στην Ευρώπη κυρίως αργόν) ή να αντιδρά εν μέρει με το λουτρό, οπότε χαρακτηρίζεται ως δραστικό (διμερή μίγματα Ar-CO₂ ή Ar-O₂ ή και τριμερή μίγματα Ar-CO₂-O₂). Για τις δύο αυτές υποκατηγορίες της τεχνικής GMAW χρησιμοποιούνται αντιστοίχως στην Ευρώπη και οι όροι MIG=Metal-Inert Gas και MAG=Metal-Active Gas.

Η τεχνική αυτή μπορεί να λειτουργήσει με τρεις διαφορετικούς τρόπους, που σχετίζονται με τη μεταφορά μετάλλου από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό, και καθορίζονται άμεσα από την εφαρμοζόμενη τάση και τη σύνθεση του προστατευτικού αερίου. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται πηγή συνεχούς ρεύματος σταθερής τάσης και με τον θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο (αντίστροφη πολικότητα). Οι τρόποι αυτοί είναι:

α) Αξονική μεταφορά με καταιονισμό (axial spray transfer)

Το μέταλλο μεταφέρεται ορμητικά από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό σε μορφή πολύ λεπτών σταγόνων (spray). Η τεχνική αυτή εξασφαλίζει άριστες συγκολλήσεις και υψηλή παραγωγικότητα, αλλά δεν συνιστάται για λεπτές συγκολλήσεις, διότι χαρακτηρίζεται από πολύ υψηλή θερμική παροχή και δημιουργεί ογκώδες λουτρό τήγματος. Λειτουργεί σε ατμόσφαιρα αργού με 1 έως 5% O₂, και για εντάσεις ρεύματος πάνω από μία κρίσιμη τιμή (τυπικά 200 A).

β) Μεταφορά με σταγόνες (globular transfer)

Η μεταφορά του μετάλλου γίνεται με μορφή χονδρών σταγόνων μετάλλου που κινούνται χωρίς κανονικό ρυθμό και μπορούν να προκαλέσουν εκτινάξεις. Λειτουργεί για εντάσεις κάτω της κρίσιμης και με ατμόσφαιρα CO₂.

γ) Μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο (short circuit transfer ή dip transfer)

Στην περίπτωση αυτή το άκρο του ηλεκτροδίου προσεγγίζει πολύ κοντά στο μέταλλο βάσης, οπότε το τόξο γίνεται εξαιρετικά βραχύ και η τάση πέφτει σε χαμηλά επίπεδα (τυπικά 14-20V). Οι σταγόνες που σχηματίζονται στο άκρο του ηλεκτροδίου αγγίζουν το μέταλλο βάσης πριν προλάβουν να μεγαλώσουν και μεταφέρονται στο λουτρό δημιουργώντας στιγμιαία βραχυκύκλωση. Το φαινόμενο επαναλαμβάνεται με ταχύ ρυθμό (μέχρι 200 βραχυκυκλώσεις το δευτερόλεπτο), χωρίς εκτινάξεις, και δίνει πολύ καλές συγκολλήσεις. Είναι τεχνική μικρής θερμικής παροχής που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λεπτές συγκολλήσεις σε όλες τις θέσεις. Ως αέριο προστασίας χρησιμοποιείται CO₂ ή μίγματα Ar-CO₂, τυπικά Ar 80%-CO₂ 20% ή Ar 75%-CO₂ 25%.

Τα κύρια πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλή παραγωγικότητα και η παραγωγή συγκολλήσεων υψηλής ποιότητας, επειδή η προστασία από το αέριο είναι πολύ αποτελεσματική, ενώ η απουσία σκουριάς περιορίζει στο ελάχιστο τον κίνδυνο παρουσίας μη μεταλλικών εγκλεισμάτων στη συγκόλληση. Για τους λόγους αυτούς δεν απαιτεί εξαιρετικά επιδέξιους συγκολλητές, όπως απαιτεί η χειρωνακτική συγκόλληση τόξου. Το κυριότερο μειονέκτημα της μεθόδου είναι ότι δεν επιτρέπεται να εκτελείται παρουσία ρευμάτων αέρα, διότι το προστατευτικό αέριο διασκορπίζεται και δεν προστατεύει επαρκώς το τόξο. Επίσης, επειδή στερείται σκουριάς, δεν μπορεί να δράσει καθαριστικά στο μέταλλο που συγκολλείται, αν αυτό περιέχει ακαθαρσίες όπως το θείο. Η απουσία σκουριάς οδηγεί, επίσης, σε ταχύτερο ρυθμό απόψυξης, που είναι δυσμενής στην περίπτωση χαλύβων περιορισμένης συγκολλησιμότητας. Ωστόσο αυτά τα μειονεκτήματα θεωρούνται δευτερεύουσας σημασίας και δεν αποτελούν ανασταλτικά κριτήρια για την εφαρμογή της μεθόδου, η οποία κερδίζει συνεχώς έδαφος έναντι της χειρωνακτικής συγκόλλησης με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια.

Π4.3 Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου με σωληνωτά ηλεκτρόδια (Flux Cored Arc Welding, FCAW)

Η μέθοδος αυτή είναι όμοια με την μέθοδο GMAW, με τη διαφορά ότι το ηλεκτρόδιο-σύρμα δεν είναι συμπαγές, αλλά κοίλο και στο εσωτερικό του φέρει συλλίπασμα και ενδεχομένως κραματικές προσμίξεις και αποξειδωτικά σιδηροκράματα. Το συλλίπασμα σχηματίζει ένα στρώμα σκουριάς στο λουτρό και το προστατεύει από την απορρόφηση οξυγόνου και αζώτου από τον αέρα. Η προστασία του τόξου και του λουτρού συμπληρώνεται με αέριο, όπως και στη μέθοδο GMAW. Οι τεχνικές με σωληνωτά ηλεκτρόδια παρέχουν όλα τα πλεονεκτήματα υψηλής ποιότητας και παραγωγικότητας, όπως η ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα Ar-CO₂ (MAG ή GMAW).

Η μέθοδος χρησιμοποιείται κυρίως για τη συγκόλληση τεμαχίων χάλυβα μέσου και μεγάλου πάχους σε όλες τις θέσεις. Ο εξοπλισμός της είναι όμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται στη μέθοδο GMAW. Ως ελαφρά πλεονεκτήματα έναντι της προηγούμενης μεθόδου θεωρούνται η μικρότερη ευαισθησία έναντι της παρουσίας οξείδωσης και ακαθαρσιών στα μέταλλα που συγκολλούνται και ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία ρευμάτων αέρα.

Π4.4 Ημιαυτόματη αυτοπροστατευόμενη συγκόλληση τόξου με σωληνωτά ηλεκτρόδια (Flux Cored Arc Welding, FCAW)

Η τεχνική αυτή είναι όμοια με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι τα σωληνωτά ηλεκτρόδια περιέχουν μεγαλύτερη ποσότητα συλλίπασματος, ώστε η σκουριά να επαρκεί για την προστασία της συγκόλλησης, χωρίς να χρειάζεται επιπλέον προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου. Βασικό πλεονέκτημα έναντι της μεθόδου GMAW είναι ότι δεν επηρεάζεται από την παρουσία ρευμάτων αέρα.

Π4.5 Συγκόλληση με σπινθηρισμούς (Flash welding)

Πριν τη συγκόλληση με σπινθηρισμούς οι δύο ράβδοι, που πρόκειται να συγκολληθούν, συσφίγγονται η κάθε μία χωριστά σε μία διάταξη με σιαγόνες, η οποία ευθυγραμμίζει τα προς συγκόλληση άκρα και τα φέρνει σε επαφή, χωρίς όμως να ασκεί πίεση. Η διάταξη συνδέεται με το δευτερεύον κύκλωμα μετασχηματιστή.

Η συγκόλληση γίνεται σε δύο διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο στάδιο (στάδιο θέρμανσης) εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση και οι ράβδοι συμπίεζονται προοδευτικά με τη βοήθεια κινούμενης διάταξης, ώστε το ηλεκτρικό κύκλωμα να αποκαθίσταται μέσω λίγων σημείων της επιφάνειας συγκόλλησης τα οποία προεξέχουν και όπου η πυκνότητα του ρεύματος είναι μεγάλη. Δημιουργούνται τότε τοπικοί σπινθηρισμοί (flashes) που προκαλούν τήξη και εκτινάξεις πυρακτωμένου μετάλλου. Όταν το τήγμα αρχίζει να ξεχειλίζει από την περιφέρεια της διατομής και η επιφάνεια έχει φθάσει στη θερμοκρασία συγκόλλησης, τότε, σ' ένα δεύτερο στάδιο (στάδιο σφυρηλάτησης, forging stage) διακόπτεται η εφαρμογή της ηλεκτρικής τάσης, και με μία ταχεία κίνηση εφαρμόζεται ισχυρή συμπίεση, οπότε επέρχεται αυτογενής συγκόλληση.

Αυτή η τεχνική λέγεται “ψυχρή συγκόλληση με σπινθηρισμούς” επειδή δεν προηγείται προθέρμανση των άκρων. Το μειονέκτημά της είναι ότι απαιτεί πολύ μεγάλη ισχύ.

Υπάρχει και η παραλλαγή της “θερμής συγκόλλησης με σπινθηρισμούς” όπου τα άκρα προθερμαίνονται από εξωτερική πηγή ή από ηλεκτρικούς παλμούς. Η τεχνική αυτή δεν μπορεί να εφαρμοσθεί όταν η περιεκτικότητα του χάλυβα σε πυρίτιο υπερβαίνει το 0,8% (κατ' άλλους το 1,2%). Ο φωσφόρος δεν πρέπει να υπερβαίνει το 0,06% και το θείο το 0,05%. Επίσης, δεν επιτρέπεται να εφαρμοσθεί σε χάλυβες που έχουν διαμορφωθεί εν ψυχρώ.

Τα άκρα που θα συγκολληθούν, καθώς και οι περιοχές σύσφιγξης με τις σιαγόνες, απ' όπου διέρχεται το ρεύμα, πρέπει να καθαρισθούν καλά. Οι σιαγόνες πρέπει να βρίσκονται σε απόσταση από τη συγκόλληση ίση με 1,6 έως 2 φορές το πολύ τη διάμετρο των ράβδων.

Οι σπινθηρισμοί στη διάρκεια του σταδίου θέρμανσης καταναλώνουν ένα μήκος ίσο με το 0,5 της διαμέτρου της ράβδου, όταν δεν υπάρχει προθέρμανση, και ίσο με το 1,5 της διαμέτρου της ράβδου, όταν υπάρχει προθέρμανση. Η απόσταση μεταξύ των δύο διατομών που συγκολλούνται είναι 5-7mm. Η απαιτούμενη ισχύς είναι της τάξης του 0,025kW/mm² της διατομής και η πίεση σφυρηλάτησης περίπου 60 N/mm². Η μηχανή φέρει ρυθμιζόμενο μετασχηματιστή και η επιλογή της έντασης και της τάσης γίνεται μέσω διαγραμμάτων συναρτήσεως της διαμέτρου των ράβδων. Προτιμώνται οι αυτόματες μηχανές.

Π4.6 Συγκόλληση με συμπίεση (σύνθλιψη) και αέριο (Pressure-gas welding)

Η συγκόλληση με συμπίεση και αέριο είναι παραπλήσια με την προηγούμενη, με τη διαφορά ότι η θέρμανση των προς συγκόλληση επιφανειών γίνεται με τη βοήθεια οξυακετυλενικής φλόγας.

Οι ράβδοι που θα συγκολληθούν κόβονται με ψαλίδι, πριόνι ή τροχό έτσι ώστε τα άκρα τους να μην παρουσιάζουν την παραμικρή κάμψη. Οι δύο ράβδοι συσφίγγονται η κάθε μία χωριστά σε μία διάταξη με σιαγόνες, η οποία ευθυγραμμίζει τα προς συγκόλληση άκρα συγκρατώντας τα σε κάποια απόσταση. Η απόσταση μεταξύ των απέναντι σιαγόνων πρέπει να είναι περίπου 4 φορές τη διάμετρο της ράβδου. Η απόσταση μεταξύ των άκρων πρέπει να είναι περίπου το 1/10 της διαμέτρου της ράβδου μέχρι διάμετρο 30mm και 3mm για μεγαλύτερες διαμέτρους.

Η συγκόλληση γίνεται σε δύο διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο (στάδιο θέρμανσης) εφαρμόζεται θέρμανση στο διάκενο με τη βοήθεια καυστήρων οξυγόνου-ασετιλίνης σε κυκλική διάταξη γύρω από τις ράβδους μέχρι να επέλθει τήξη των ράβδων. Τότε, σ' ένα δεύτερο στάδιο (σφυρηλάτησης) με μία ταχεία κίνηση εφαρμόζεται ισχυρή συμπίεση, οπότε επέρχεται αυτογενής συγκόλληση. Τότε μόνον διακόπτεται η λειτουργία των καυστήρων, η οποία πλην της θέρμανσης εξασφαλίζει και την προστασία του μετάλλου από την περιβάλλουσα οξειδωτική ατμόσφαιρα.

Το πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η χαμηλή επένδυση σε σχέση με την προηγούμενη τεχνική, ενώ το κόστος λειτουργίας είναι παραπλήσιο. Η παραγωγικότητα είναι περίπου 10 συγκολλήσεις την ώρα, ανάλογη προς την προηγούμενη τεχνική. Είναι ιδιαίτερα αποδοτική για διαμέτρους άνω των 12mm.

Πρέπει η θέρμανση να επιτυγχάνεται γρήγορα, διότι η παρατεταμένη θέρμανση οδηγεί σε ύψωση της θερμοκρασίας σε μεγάλη απόσταση από τη συγκόλληση. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μείωση της αντοχής, ιδιαίτερα για ράβδους που έχουν διαμορφωθεί εν ψυχρώ.

Π4.7 Σημειακή συγκόλληση με αντίσταση (Resistance Spot Welding)

Η σημειακή συγκόλληση με αντίσταση είναι μία τεχνική κατά την οποία η θέρμανση παράγεται από την αντίσταση στη ροή ηλεκτρικού ρεύματος μεταξύ των προς συγκόλληση επιφανειών, οι οποίες έρχονται σε επαφή σε μία μικρή επιφάνεια γύρω από ένα σημείο (φαινόμενο Joule).

Συνήθως χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση ελασμάτων και φύλλων, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη συγκόλληση ράβδων ή τεμαχίων άλλου σχήματος. Στην περίπτωση ράβδων, αυτές τοποθετούνται σε επαφή μεταξύ τους και συγκρατούνται κατά παράθεση μεταξύ δύο ηλεκτροδίων από κράμα χαλκού με μικρή ηλεκτρική αντίσταση. Τα ηλεκτρόδια φέρουν κωνικά άκρα τα οποία εφαρμόζονται το ένα απέναντι στο άλλο εκατέρωθεν των προς συγκόλληση ράβδων, οι οποίες συμπίεζονται. Διοχετεύεται τότε ένας παλμός ρεύματος διάρκειας από 0,25 έως 0,5sec. Στη διεπιφάνεια των δύο ράβδων, στην περιοχή της συμπίεσης, η αντίσταση είναι μεγάλη, έτσι η διέλευση του ρεύματος προκαλεί τοπική

θέρμανση και τήξη του μετάλλου και των δύο ράβδων στο σημείο που εφάπτονται. Η συμπίεση διατηρείται για μικρό χρόνο διάστημα, μετά τη λήξη του παλμού, για να συγκρατηθεί το τήγμα στη θέση του μέχρι να στερεοποιηθεί, σχηματίζοντας έτσι μία φακοειδή συγκόλληση (nugget).

Η μέθοδος αυτή, αν και δεν απαγορεύεται η χρήση της στο εργοτάξιο, λόγω του απαιτούμενου σταθερού εξοπλισμού προορίζεται ουσιαστικά για χρήση στο εργοστάσιο ή στις επιχειρήσεις διαμόρφωσης οπλισμού.

Για την επίτευξη αναπαραγωγισιμότητας των αποτελεσμάτων της συγκόλλησης πρέπει να ελέγχονται και να προκαθορίζονται το ρεύμα συγκόλλησης, ο χρόνος συγκόλλησης και η δύναμη του ηλεκτροδίου. Γι' αυτό πρέπει να χρησιμοποιούνται μόνο μηχανές με αυτόματο έλεγχο. Το σύστημα θα πρέπει να έχει δυνατότητα μεταθέρμανσης της συγκόλλησης.

Π4.8 Συγκόλληση με τριβή (Friction welding)

Κατά τη συγκόλληση με τριβή, η θέρμανση παράγεται από την τριβή μεταξύ των δύο επιφανειών που πρόκειται να συγκολληθούν. Χρησιμοποιείται για μετωπικές συγκολλήσεις ράβδων κυκλικής διατομής ή για τη συγκόλληση σφυρήλατων αντικειμένων σε μορφή ράβδων ή αξόνων. Η μία εκ των δύο ράβδων τίθεται σε περιστροφική κίνηση περί τον άξονά της και όταν αποκτήσει την κατάλληλη ταχύτητα φέρεται σε επαφή με την άλλη ράβδο μετωπικά και συμπιέζεται με αξονική δύναμη. Από την τριβή που αναπτύσσεται μεταξύ της περιστρεφόμενης και της ακίνητης ράβδου παράγεται θερμότητα, η οποία πλαστικοποιεί τις επιφάνειες που βρίσκονται σε επαφή. Τότε η περιστροφή διακόπτεται απότομα και οι ράβδοι συμπίεζονται μεταξύ τους με μεγαλύτερη δύναμη. Η διαδικασία αυτή δεν χρησιμοποιεί εξωτερική πηγή θερμότητας.

Η συγκόλληση που παράγεται είναι πολύ υψηλής ποιότητας και χρησιμοποιείται για σιδηρούχα και μη σιδηρούχα μέταλλα, καθώς και για ανόμοια μέταλλα και κράματα, τα οποία δεν είναι δυνατόν να συγκολληθούν με άλλη μέθοδο. Για παράδειγμα μπορεί να συγκολληθούν κράματα αλουμινίου με χαλκό ή με χάλυβα, κράματα τιτανίου με ανοξείδωτο χάλυβα.

Η διαδικασία συγκόλλησης παράγει σπινθηρισμούς και γι' αυτό το λόγο χρειάζεται προστασία του συγκολλητή με ολόσωμη φόρμα, γάντια και μάσκα.

Π4.9 Συγκόλληση με προεξοχή (Projection welding)

Είναι μία εξειδικευμένη τεχνική συγκόλλησης με ηλεκτρική αντίσταση. Ενώ στην κλασσική σημειακή τεχνική συγκόλλησης με αντίσταση (spot welding) η ένταση του ρεύματος συγκεντρώνεται σε ένα σημείο με την άσκηση πίεσης μέσω δύο κυλινδρικών ηλεκτροδίων, στη συγκόλληση με προεξοχή (projection welding) το ρεύμα συγκεντρώνεται σε προεξοχές που έχουν διαμορφωθεί εκ των προτέρων στην επιφάνεια των μερών που πρόκειται να συγκολληθούν. Στην περίπτωση ράβδων οπλισμού σκυροδέματος, οι προεξοχές αυτές είναι οι ίδιες οι νευρώσεις. Η πίεση ασκείται με πλατεία επίπεδα ηλεκτρόδια από τα δύο μέρη της περιοχής όπου πρόκειται να γίνει η σύνδεση.

Πλεονέκτημα της μεθόδου έναντι της σημειακής συγκόλλησης με αντίσταση είναι ότι στη σημειακή συγκόλληση με αντίσταση, εφόσον χρειάζονται περισσότερες της μιας σημειακές συγκολλήσεις, αυτές γίνονται η μία κατόπιν της άλλης, ενώ στη συγκόλληση με προεξοχή μπορούν να συγκολληθούν ταυτόχρονα περισσότερα του ενός σημεία, δηλαδή η συγκόλληση να γίνει μονομιάς με μία και μόνη διέλευση του ρεύματος. Άλλο πλεονέκτημα είναι η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής των ηλεκτροδίων, επειδή οι επιφάνειες επαφής είναι μεγαλύτερες.

Π4.10 Στοιχεία για τα ηλεκτρόδια συγκολλήσεων των τεχνικών SMAW και GMAW

Στη συνέχεια παρέχονται στοιχειώδεις πληροφορίες που αφορούν τα συνήθη ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται στις τεχνικές συγκόλλησης SMAW και GMAW. Στην Ελλάδα έχει επικρατήσει για τους χάλυβες να χρησιμοποιείται η ονοματολογία των ηλεκτροδίων σύμφωνα με την American Welding Society (AWS).

α. Επενδεδυμένα Ηλεκτρόδια τόξου

Συμβολίζονται **EXXXX**, π.χ. **E6013**

Το E σημαίνει Arc Welding Electrode. Τα δύο πρώτα αριθμητικά ψηφία δηλώνουν την ελάχιστη αντοχή θραύσης σε εφελκυσμό. Αυτή εκφράζεται σε psi (pounds per square inch) αφού προηγουμένως πολλαπλασιασθεί x1000. Έτσι το ηλεκτρόδιο E6013 έχει ελάχιστη αντοχή θραύσης 60,000psi. Το τρίτο αριθμητικό ψηφίο υποδηλώνει τη θέση συγκόλλησης και το τέταρτο το είδος του ρεύματος συγκόλλησης. Στο παρόν παράδειγμα το ηλεκτρόδιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις (επίπεδη, οριζόντια, κατακόρυφη και ουρανού) και το ρεύμα πρέπει να είναι είτε εναλλασσόμενο είτε συνεχές.

Περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στον Κανονισμό AWS A5.1 και στους καταλόγους των κατασκευαστών ηλεκτροδίων.

β. Ηλεκτρόδια για την μέθοδο GMAW

Συμβολίζονται **ERXXS-X** π.χ. **ER70S-6**

Το ER σημαίνει Electrode Rod, δηλ. κυλινδρικό ηλεκτρόδιο. Τα δύο πρώτα αριθμητικά ψηφία αναφέρονται, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, στην αντοχή σε εφελκυσμό, στο παρόν παράδειγμα 70,000psi. Το γράμμα S υποδηλώνει solid

wire, δηλ. συμπαγές σύρμα. Τέλος, το τελευταίο ψηφίο μετά την παύλα σχετίζεται με την προστασία του τόξου, τη σύνθεση του μετάλλου γόμωσης και με τις μηχανικές ιδιότητες της συγκόλλησης.

Περισσότερες πληροφορίες παρέχονται στον Κανονισμό AWS A5.28 και στους καταλόγους των κατασκευαστών ηλεκτροδίων.

γ. Τυπικά παραδείγματα που αναφέρονται και στον παρόντα Κανονισμό

- **E6013. Ηλεκτρόδιο ρουτίλιου.**

Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα οποιασδήποτε πολικότητας (ο αρνητικός πόλος είτε στο ηλεκτρόδιο, είτε στο μέταλλο που θα συγκολληθεί). Η επένδυσή του είναι πλούσια σε ρουτίλιο και περιέχει κάλιο για τη σταθεροποίηση του τόξου. Δίνει παχύ στρώμα σκουριάς που απομακρύνεται εύκολα μετά τη συγκόλληση. Έχει μέτρια διείσδυση και γι' αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη συγκόλληση λεπτών ελασμάτων. Χρησιμοποιείται για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις και βρίσκει πολλαπλές χρήσεις στον κατασκευαστικό τομέα και τη βιομηχανία.

- **E9018. Βασικό ηλεκτρόδιο χαμηλού υδρογόνου.**

Η επένδυσή του περιέχει ανθρακικό ασβέστιο και φθορίτη. Δίνει μέταλλο συγκόλλησης με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες, ιδιαίτερα με υψηλή ολκιμότητα. Σκόνη σιδήρου σε αναλογία 35-40% προστίθεται στην επένδυση. Συσκευασμένο, αποθηκεύεται σε ξηρό χώρο στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Μετά το άνοιγμα της συσκευασίας αποθηκεύεται σε φούρνο θερμοκρασίας 120-230°C. Πριν από τη χρήση του παραμένει σε θερμοκρασία 100-120°C.

- **ER70S-6. Ηλεκτρόδιο-σύρμα**

Ηλεκτρόδιο-σύρμα καλής ποιότητας για γενική χρήση στις συγκολλήσεις χαλύβων. Χρησιμοποιείται για συγκόλληση σε όλες τις θέσεις. Έχει υψηλή περιεκτικότητα σε Mn και Si, για αποξειδωτική δράση. Έτσι μπορεί να συγκολλήσει και ελαφρά οξειδωμένες επιφάνειες με ελαφρά μείωση των μηχανικών ιδιοτήτων της συγκόλλησης, όχι όμως εκτός επιτρεπτών ορίων. Παράγει ομαλές συγκολλήσεις σε λεπτά ελάσματα ή παχύτερα τεμάχια. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί με CO₂, Ar-CO₂ και Ar-O₂, ως προστατευτικά αέρια. Χρησιμοποιείται με συνεχές ρεύμα αντίστροφης πολικότητας (ο θετικός πόλος στο ηλεκτρόδιο).

- **ER80S-G. Ηλεκτρόδιο-σύρμα**

Ηλεκτρόδιο-σύρμα πολύ καλής ποιότητας και υψηλής αντοχής για συγκολλήσεις χαλύβων. Παρουσιάζει παρόμοια χαρακτηριστικά με το ER70S-6 στην χρήση αλλά χαρακτηρίζεται από υψηλότερη αντοχή. Αυτό επιτυγχάνεται με την προσθήκη (πέραν του Mn και Si) κραματικών στοιχείων όπως το Mo (μολυβδαίνιο ≈0,5%) και Cr (χρώμιο ≈1,0%).

Παράρτημα Π5: ΑΠΟΣΤΑΤΗΡΕΣ

(Πληροφοριακό)

Π5.1 Γενικά

Αποστατήρες (spacers) είναι τα στοιχεία που διατηρούν τον οπλισμό στην επιθυμητή απόσταση από τους ξυλοτύπους ή την ιδεατή ελεύθερη, τελική επιφάνεια του σκυροδέματος, λειτουργώντας ως στηρίγματα, υποθέματα, παρεμβλήματα κ.λπ., τα οποία διαθέτοντας το κατάλληλο μέγεθος (ύψος) εξασφαλίζουν το επιβαλλόμενο και καθοριζόμενο, από τους Κανονισμούς και τη μελέτη, πάχος επικάλυψης.

Οι αποστατήρες θα συντίθενται από υλικό με επαρκή μηχανική αντοχή, με καλή πρόσφυση προς το σκυρόδεμα, μη οξειδούμενο, μη υδατοαπορροφητικό και σταθερού όγκου. Κατ' αρχήν, με βάση τις απαιτήσεις της Παραγρ. 7.2.2 του παρόντος Κανονισμού, επιτρέπεται η χρήση αποστατήρων κατασκευασμένων με :

- Πλαστικά υλικά, εξαιρουμένου του PVC
- Τσιμεντοκονιάματα, ενδεχομένως με ενσωματωμένα σύρματα για τη στερέωση.

Τα χρησιμοποιούμενα συστήματα αποστατήρων πρέπει να διαθέτουν διαβάθμιση ύψους 5mm.

Δεν επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται ως αποστατήρες παρεμβλήματα αποτελούμενα από :

- Ράβδους οπλισμού
- Λωρίδες μονωτικών υλικών
- Τεμάχια πλαστικών (ή άλλου τύπου) σωλήνων
- Τεμάχια μαρμάρου, κεραμικά, τούβλα, ξύλα κ.λπ.

Οι αποστατήρες διακρίνονται αναλόγως της λειτουργίας τους σε:

- Σημειακούς και
- Γραμμικούς (ή και επιφανειακούς).

Π5.2 Πρόσθετες απαιτήσεις

Σε συνάρτηση με τα περί συναρμολόγησης και τοποθέτησης (διάταξης) του οπλισμού που προβλέπονται στον ΕΚΩΣ, Παραγρ. 20.4.6, οι αποστατήρες πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες απαιτήσεις:

- Να μπορούν να περιβληθούν ικανοποιητικώς από σκυρόδεμα
- Να μην αντιδρούν χημικώς με το σκυρόδεμα και τον οπλισμό
- Να συμπεριφέρονται ικανοποιητικώς όσον αφορά τις θερμοκρασιακές επιρροές
- Να μην δημιουργούν έντονα ίχνη ή σημαντικές ασυνέχειες στην επιφάνεια των δομικών στοιχείων
- Να μην παρεμποδίζουν την διάστρωση και δόνηση/συμπύκνωση του σκυροδέματος
- Να μην δημιουργούν προβλήματα στην ενδεχόμενη επεξεργασία των επιφανειών των δομικών στοιχείων (επιφανειακά τελειώματα).

Π5.3 Διάταξη αποστατήρων

Ο τύπος των αποστατήρων, η διάταξή τους και η πυκνότητα τοποθέτησης θα είναι τέτοια ώστε να εξασφαλίζεται η επιθυμητή επικάλυψη των οπλισμών και στις ενδιάμεσες (μεταξύ υποθεμάτων) θέσεις. Ο Επιβλέπων Μηχανικός δικαιούται να διατάξει πυκνωση των αποστατήρων, αν διαπιστώσει ανεπαρκή εξασφάλιση του ελάχιστου πάχους επικάλυψης σε όλες τις θέσεις. Η επιλογή του τύπου τους και η γενική τους διάταξη, εξαρτώνται από:

- Το βάρος του οπλισμού
- Την διάμετρο των ράβδων
- Το είδος του δομικού στοιχείου στο οποίο ενσωματώνονται.

Γενικώς οι αποστατήρες διατάσσονται:

- Στις πλάκες: στις κάτω ράβδους
- Στις δοκούς: στους συνδετήρες
- Στα υποστρώματα (και πασσάλους): στους συνδετήρες
- Στα τοιχώματα: στις εξωτερικές ράβδους.

Εάν επιλεγεί ο τύπος των σημειακών αποστατήρων και εφ' όσον δεν προβλέπεται διαφορετικά από τη μελέτη, συνιστάται ενδεικτικά η ακόλουθη διάταξη και πυκνότητα:

- Πλάκες
Για $\varnothing \leq 12\text{mm}$ ανά $\approx 50\text{ cm}$, ώστε τελικά να υπάρχουν 4 αποστατήρες ανά m^2
Για $\varnothing \geq 14\text{mm}$ ανά $\approx 70\text{cm}$, ώστε τελικά να υπάρχουν 2 αποστατήρες ανά m^2

- Τοιχεία

Για $\varnothing \leq 12\text{mm}$ ανά $\approx 70\text{cm}$, ώστε τελικά να υπάρχουν 2 αποστατήρες ανά m^2 κάθε όψης

Για $\varnothing \geq 14\text{mm}$ ανά $\approx 100\text{cm}$, και έτσι ώστε τελικά να υπάρξει 1 αποστατήρας ανά m^2 κάθε όψης.

Στα τοιχεία πρέπει να τοποθετούνται και κατάλληλοι σύνδεσμοι, σε πυκνότητα τουλάχιστον 2 ανά m^2 , που θα διατηρούν σταθερή την επιθυμητή απόσταση των δύο πλεγμάτων και θα εξασφαλίζουν την συνεργασία τους.

- Δοκοί

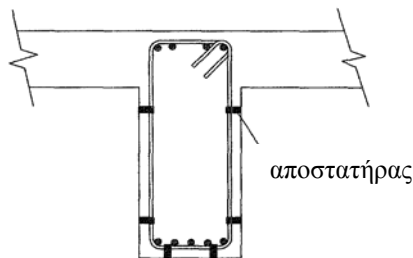
Η ποικιλία διαστάσεων τόσο για το πλάτος όσο και για το ύψος μιας δοκού είναι μεγάλη. Συνιστάται να υπάρχουν δύο τουλάχιστον αποστατήρες στον πυθμένα της διατομής της δοκού και μέχρι του πλάτους των 35cm. Η απόσταση μεταξύ των αποστατήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50cm και η απόσταση από τη γωνία του συνδετήρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15cm.

Για τον κορμό της διατομής, συνιστώνται δύο τουλάχιστον αποστατήρες σε κάθε πλευρά, και η απόσταση μεταξύ αποστατήρων παρειάς, είναι σκόπιμο να μην υπερβαίνει τα 50cm. Κατά τη διεύθυνση του μήκους της δοκού, η απόσταση μεταξύ αποστατήρων συνιστάται όπως είναι μικρότερη του 1,0m.

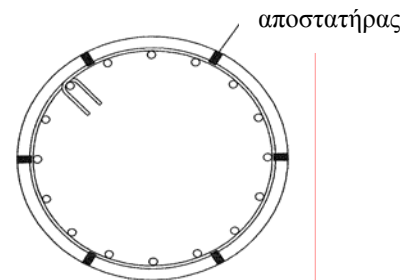
- Υποστυλώματα και Πάσσαλοι

Συνιστάται όπως οι αποστατήρες είναι τουλάχιστον 8 για ορθογωνικά και τουλάχιστον 6 για κυκλικά στοιχεία, ανά διατομή. Η απόσταση μεταξύ των αποστατήρων δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 50cm και η απόσταση από τη γωνία του συνδετήρα δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 25cm. Κατά τη διεύθυνση του ύψους του στοιχείου, η απόσταση μεταξύ των αποστατήρων συνιστάται όπως είναι μικρότερη από 1,0m.

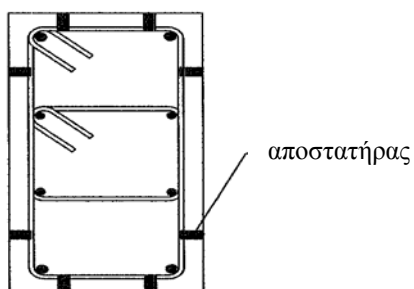
Στο Σχ. Π5-1 δίνονται ενδεικτικές διατάξεις αποστατήρων.



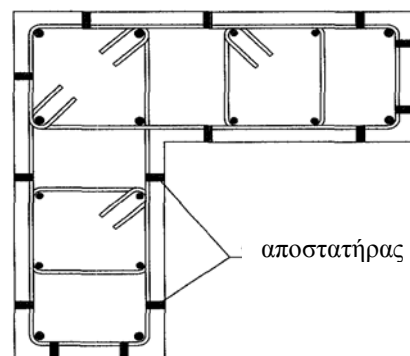
Ένδειξη θέσεων αποστατήρων σε δοκό



Αποστατήρες σε κυκλικά υποστυλώματα/πάσσάλους



Αποστατήρες σε ορθογωνικά υποστυλώματα.



Αποστατήρες σε υποστυλώματα σύμπλοκα ή σύνθετα

Σχήμα Π5-1: Ενδεικτικές διατάξεις αποστατήρων

Γενικώς, οι αποστατήρες πρέπει να τοποθετούνται σε πυκνότερη διάταξη όταν οι πάνω οπλισμοί σε πλάκες και δοκούς στηρίζονται στους κάτω μέσω χαλύβδινων υποστηριγμάτων. Σε περιπτώσεις αυξημένου κινδύνου πυρκαγιάς συνιστάται η χρήση αποστατήρων από κονιάματα.

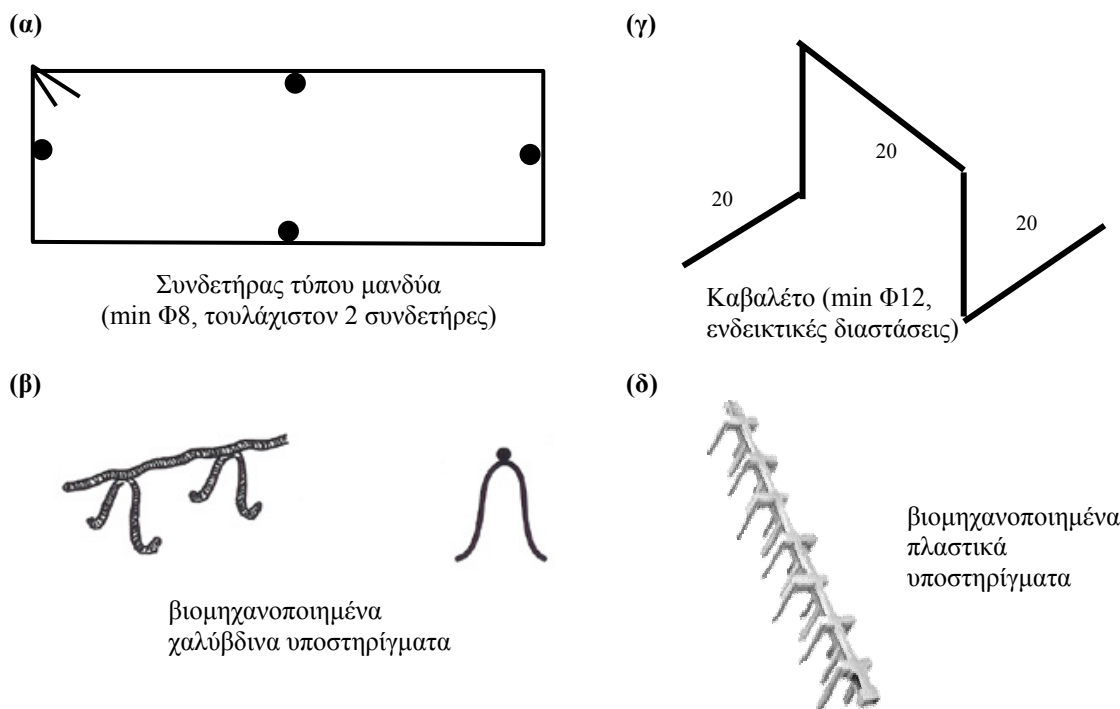
Π5.4 Ειδικές περιπτώσεις

- α) Στις πλάκες με διπλό οπλισμό (γενικές κοιτοστρώσεις, εδαφόπλακες κ.λπ.) και στις υψίκορμες δοκούς και πεδιλοδοκούς, επιβάλλεται η διάταξη υποστηριγμάτων για την συγκράτηση, κατά την σκυροδέτηση, των άνω οπλισμών στην προβλεπόμενη από την μελέτη θέση (βλ. και Σχ. Π5-2).

Τα υποστηρίγματα αυτά, μορφής κλωβού συνδετήρων ή καβαλέτων (βλ. και Σχ. Π5-2α, β), διαμορφώνονται από χάλυβα οπλισμού κατάλληλης διαμέτρου, εδράζονται στην εσχάρα των κάτω οπλισμών, χωρίς να έρχονται σε επαφή με τα υποκείμενα καλούπια και προσδένονται ισχυρώς με τους πάνω και κάτω οπλισμούς.

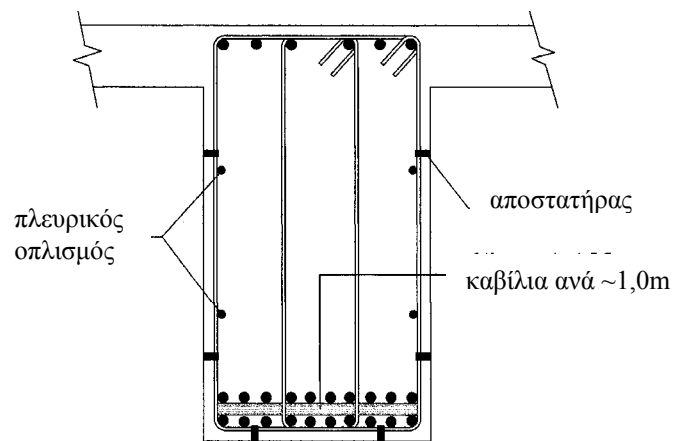
Για λεπτές πλάκες, εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν και βιομηχανοποιημένα πλαστικά ή χαλύβδινα υποστηρίγματα (γενικώς μικρού ύψους) (βλ. και Σχ. Π5-2γ, δ).

Ο αριθμός και η διάταξη των υποστηριγμάτων εξαρτάται από το πάχος του δομικού στοιχείου και το βάρος του πάνω οπλισμού. Γενικώς συνιστάται πυκνότητα τουλάχιστον τριών υποστηριγμάτων ανά τετραγωνικό μέτρο για πλάκες, και ενός υποστηρίγματος ανά μέτρο μήκους για δοκούς



Σχήμα Π5-2: Τρισδιάστατα υποστηρίγματα (supports) οπλισμού

- β) Στις περιπτώσεις μεγάλου βάρους των πάνω οπλισμών, στις οποίες είναι ενδεχόμενη η παραμόρφωση - λυγισμός των κατακορύφων σκελών των συνδετήρων, πρέπει να λαμβάνονται κατάλληλα μέτρα, είτε με αύξηση της διαμέτρου των συνδετήρων, είτε με τοποθέτηση εσωτερικών εγκαρσίων συνδέσμων, είτε με ανακούφιση της σύνθλιψης των συνδετήρων, με την τοποθέτηση καβαλέτων στο εσωτερικό της δοκού.
- γ) Στους προκατασκευασμένους κλωβούς οπλισμών κυκλικών υποστυλωμάτων, πασσάλων κ.λπ. δομικών στοιχείων, για λόγους διασφάλισης της μορφής και του σχήματος κατά την ανύψωση, μεταφορά και τοποθέτηση εντός των ξυλοτύπων ή της οπής του εδάφους, συνιστάται η διάταξη συνδέσμων από χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος, min Ø12 μορφής κλειστών στεφανών ή συνδετήρων, διαγώνιων ή δισδιαγώνιων ράβδων κ.λπ. ανά κατάλληλες αποστάσεις στο εσωτερικό του κλωβού (μέσα από τις διαμήκεις ράβδους, π.χ. κάθε ένα μέτρο), προσδεδεμένων ή ηλεκτροσυγκολλημένων σ' αυτόν (με μη φέρουσες συγκολλήσεις).
- δ) Σε περιπτώσεις που ο κάτω οπλισμός δοκών τοποθετείται σε περισσότερες της μιας στρώσεις, μπορεί να γίνει χρήση παρεμβλημάτων από ράβδους χάλυβα οπλισμού (καβίλιες) όπως, ενδεικτικά, φαίνεται στο Σχ. Π5-3.



Σχήμα Π5-3: Ενδεικτική διάταξη αποστατήρων (καβίλιας) στην περίπτωση δοκού με δύο στρώσεις κάτω οπλισμού.

Παράρτημα Π6: ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΤΟΠΟΘΕΤΗΜΕΝΟΥ ΟΠΛΙΣΜΟΥ

(Πληροφοριακό)

Π6.1 Γενικότητες

- α) Η παραλαβή του τοποθετημένου οπλισμού είναι ο τελευταίος κρίκος μιας μακράς και υπεύθυνης αλυσίδας, μελέτης, επίβλεψης και κατασκευής του έργου. Για την αποτελεσματικότητα του έργου όλοι οι κρίκοι είναι ισοδύναμοι. Καμιά σοφή μελέτη δεν μπορεί να αντισταθμίσει τις ενδεχόμενες συνέπειες μιας εσφαλμένης ή ελλιπούς τοποθέτησης οπλισμού, λόγω έλλειψης λεπτομερειών εφαρμογής, κακοτεχνιών, αδυναμίας σωστής διάταξης οπλισμού κ.λπ.
- β) Επομένως, η παραλαβή του τοποθετημένου οπλισμού είναι μια πολύ κρίσιμη τεχνική φάση, η οποία απαιτεί:
- Έγκαιρη παρακολούθηση των διαδικασιών παραγγελίας και παραλαβής του, κατά τις απαιτήσεις των Κανονισμών και της μελέτης
 - Έγκαιρο έλεγχο όλων των προβλεπόμενων Πιστοποιητικών, τόσο για τα ίδια τα υλικά όσο και για τα έτοιμα (προδιαμορφωμένα) τελικά προϊόντα
 - Έγκαιρη παρακολούθηση των εργασιών διαμόρφωσής του, κατά τις απαιτήσεις των Κανονισμών και της μελέτης
 - Ευμέθοδη εργασία ελέγχου, υπομονή και επιμονή στην αναζήτηση των λεπτομερειών, καθώς και επάρκεια διαθέσιμου χρόνου
 - Βοηθητικό προσωπικό για την εκτέλεση των μετρήσεων και την εντόπιση τυχόν κακοτεχνιών ή ελλείψεων
 - Όργανα μέτρησης (άκαμπτες και εύκαμπτες μετροταινίες, παχύμετρα για την προσεγγιστική μέτρηση διαμέτρων, ενδεχομένως φωτογραφική μηχανή).

Κατά την τελική παραλαβή του τοποθετημένου οπλισμού είναι σκόπιμο να επανελέγχεται η τήρηση των απαιτήσεων ως προς την προδιαγραφόμενη από τη μελέτη κατηγορία χαλύβων και τις λοιπές τους ιδιότητες, από τα απαιτούμενα Πιστοποιητικά προέλευσης, διαμόρφωσης ή δοκιμών.

Θα ελέγχεται επίσης η καθαρότητα των οπλισμών από τυχόν προϊόντα διάβρωσης, λάδια, λάσπες ή άλλες ακαθαρσίες.

- γ) Σε περίπτωση απαιτούμενων διορθώσεων ή συμπληρώσεων της όπλισης (ή και πλήρους απόρριψης τμήματος ή συνόλου), οι αντίστοιχες παρατηρήσεις και απαιτήσεις θα εγγράφονται στο Ημερολόγιο του Έργου ή θα δίνονται σχετικές έγγραφες οδηγίες. Αν οι παρατηρήσεις είναι δυνατόν να ικανοποιηθούν αμέσως, θα παρακολουθείται επιτόπου η συμμόρφωση ή θα χορηγούνται οι κατάλληλες οδηγίες στο βοηθητικό προσωπικό της Επίβλεψης και τον Εκπρόσωπο του Ανάδοχου του έργου.
- δ) Με το πέρας της παραλαβής τοποθετημένου οπλισμού ή επαναπαραλαβής διορθωθέντος ή συμπληρωθέντος, θα δίνεται εντολή συνέχισης των εργασιών (διάστρωσης σκυροδέματος) ή, όπου απαιτείται, θα συντάσσεται Πρωτόκολλο Παραλαβής Αφανών Εργασιών με βάση τους Πίνακες Αναπτυγμάτων Οπλισμών στο οποίο, ενδεικτικώς, σημειώνονται και τα ακόλουθα:
- Στοιχεία του συνολικού έργου και του ελεγχθέντος τμήματος
 - Ονόματα των Εκπροσώπων του Ανάδοχου του έργου και του Επιβλέποντα Μηχανικού που παρέστησαν και συνυπογράφουν το Πρωτόκολλο
 - Τυχόν υπάρχουσες παρατηρήσεις.
- ε) Προσοχή θα δίνεται σε θέματα τοποθέτησης και παραλαβής ειδικών οπλισμών όπως π.χ.:
- Οπλισμοί περιοχών ενώσεων, αγκυρώσεων, αναμονών κ.λπ.
 - Οπλισμοί έναντι στρέψης, διάτρησης, ανάρτησης κ.λπ.
 - Οπλισμοί συρραφής σε αρμούς ή πέλματα κ.λπ.
 - Οπλισμοί οπών ή άλλων “ανοιγμάτων”, ελεύθερων άκρων, ακμών κ.λπ.
 - Οπλισμοί ρηγμάτωσης
 - Οπλισμοί περίσφιγξης κ.λπ.

Π6.2 Ευστάθεια και ακεραιότητα τοποθετημένου οπλισμού

- α) Θα ελέγχεται η ικανότητα των ράβδων να μη μετακινηθούν και των κλωβών να μην παραμορφωθούν, ως σύνολο ή ως μέρη, απ’ τις θέσεις όπου έχουν τοποθετηθεί, λόγω:
- Του βάρους του προσωπικού και του εξοπλισμού
 - Τυχαίων προσκρούσεων από εργαλεία ή μηχανές
 - Του βάρους και της ροής του σκυροδέματος καθώς εκχύνεται
 - Της χρήσης των δονητών κατά τη συμπίκνωση του σκυροδέματος.
- β) Προς τούτο θα ελέγχονται:
- Τα δεσίματα των ράβδων σε επαρκώς αντιπροσωπευτικό δείγμα ανά περιοχή

- Η επάρκεια και η ακεραιότητα των συγκολλήσεων (αν υπάρχουν)
- Η στήριξη των κλωβών ή των ράβδων στον πυθμένα ή στα πλαϊνά του ξυλοτύπου ή η ανάρτησή τους όπου είναι αναγκαίο
- Η επάρκεια των διαδρόμων εργασίας (περάσματα, προσωρινές γεφυρώσεις) που απαιτούνται πάνω απ' τους κλωβούς για την ευόδωση της σκυροδέτησης και συμπύκνωσης χωρίς να κινδυνεύει η ευστάθεια και η ακεραιότητα του οπλισμού
- Η επάρκεια διόδων των δονητών συμπύκνωσης του σκυροδέματος χωρίς να χρειασθεί η ανεξέλεγκτη διάνοιξη τέτοιων διόδων κατά τη διάρκεια της σκυροδέτησης.

Π6.3 Γεωμετρία ράβδων οπλισμού

Προς τούτο θα ελέγχονται τα ακόλουθα:

- α) Διάμετροι και αριθμός ράβδων, καθώς και τα μήκη τους
- β) Αποστάσεις ράβδων οριζοντίως και κατακορύφως
- γ) Τοποθέτηση τυχόν ομάδων ή σειρών ράβδων, ή ράβδων με ειδική διαμόρφωση (π.χ. “μπουκάλες”)
- δ) Ευθυγραμμία ράβδων (αποφυγή αθέλητων καμπυλοτήτων ή τσακισμάτων εκτός των προδιαγεγραμμένων)
- ε) Ανεμπόδιστο πέρασμα ράβδων σε θέσεις διασταυρώσεων και κόμβων, χωρίς τοπικά τσακίσματα)
- στ) Ορθότητα ματισμάτων και αναμονών, ορθότητα αγκυρώσεων, καμπυλών κ.λπ.
- ζ) Ορθότητα κλεισίματος και αγκυρώσεων συνδετήρων και συνδέσμων (π.χ. με διπλό γάντζο 135°) και πλήρους επαφής τους με τους διαμήκεις οπλισμούς, στους οποίους δένονται ισχυρώς.

Π6.4 Επάρκεια επικαλύψεων οπλισμού

- α) Θα ελέγχεται η δυνατότητα έντεχνης και ορθής σκυροδέτησης, καθώς και το πάχος του προστιθέμενου σκυροδέματος πάνω, κάτω ή δίπλα στους ακραίους οπλισμούς, ώστε να προστατεύονται επαρκώς από τη διείσδυση βλαπτικών ουσιών, και να διαθέτουν την αναγκαία συνάφεια, κατά τις απαιτήσεις των Κανονισμών και της μελέτης.
- β) Προς τούτο θα ελέγχονται:
 - Οι αποστάσεις των “ακραίων” οπλισμών (διαμήκων ή συνδετήρων ή συνδέσμων ή των αγκυρώσεων τους) από το καλούπι ή από την ιδεατή τελική πάνω επιφάνεια του σκυροδέματος
 - Η επάρκεια των αντίστοιχων αποστατήρων (ή άλλων στοιχείων), σε αριθμό, αντοχή και δυσκαμψία, καθώς και η καταλληλότητα του υλικού τους.

Οι έλεγχοι αυτοί θα διεξάγονται σε επαρκώς μεγάλο πλήθος ράβδων και θέσεων μέσα σε κάθε δομικό στοιχείο, ώστε να θεωρείται εξασφαλισμένη και αδιαμφισβήτητη η αντιπροσωπευτικότητα αυτών των ελέγχων. Το πλήθος αυτό είναι πολλές φορές αντιστρόφως ανάλογο της εμπειρίας και της ικανότητας του ελέγχοντος, αναλόγως και των ιδιοτεροτήτων του ίδιου του έργου.

Π6.5 Γενική παρατήρηση

Ο παραλαμβάνων Επιβλέπων Μηχανικός έχει επίσης το δικαίωμα, χρησιμοποιώντας τη γνώση και την εμπειρία του, να υποδείξει τυχόν εμφανή ανεπάρκεια ή σφάλματα όπλισης, και να εισηγηθεί εγγράφως ή/και προφορικά ή και να επιβάλει αμέσως επιτόπου, τις σχετικές συμπληρώσεις ή διορθώσεις - ιδίως σε κρίσιμες περιοχές και σε ειδικούς ή τοπικούς οπλισμούς (όπως άοπλες μεγάλων διαστάσεων γωνίες και ακμές στοιχείων, βοηθητικοί οπλισμοί, κ.ά.)- ανεξάρτητα και πέρα από τις αναγραφές των σχεδίων ξυλοτύπων ή λεπτομερειών της μελέτης.

Παράρτημα Π7: ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

(Πληροφοριακό)

Μέρος Α . Έλεγχοι χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε υφιστάμενες κατασκευές

Π7.1 Εισαγωγή

Στο Παράρτημα αυτό παρουσιάζονται, ενδεικτικά, ορισμένοι από τους ελέγχους σε υφιστάμενες κατασκευές, οι οποίοι είναι δυνατόν να απαιτηθούν σε περιπτώσεις, όπως:

- Ενίσχυσης υφισταμένης κατασκευής προκειμένου να μπορεί να αναλάβει μεγαλύτερα ωφέλιμα φορτία ή/και να αναβαθμισθούν τα αντισεισμικά της χαρακτηριστικά.
- Επισκευής υφισταμένης κατασκευής η οποία υπέστη βλάβες ή φθορές από:
 - σεισμό
 - πυρκαγιά
 - περιβαλλοντικές δράσεις (διάβρωση οπλισμών, προσβολή των υλικών από CO₂, χλωριόντα κ.λπ.)
- Αμφισβήτησεων ή αμφιβολιών ως προς τη φέρουσα ικανότητα της κατασκευής ή επιμέρους στοιχείων αυτής, καθώς και ως προς την ποιότητα, την ποσότητα και τη θέση του οπλισμού.

Οι έλεγχοι αυτοί αποσκοπούν μεταξύ των άλλων:

- Στον προσδιορισμό των μηχανικών χαρακτηριστικών του χάλυβα: όριο διαρροής, εφελκυστική αντοχή και παραμόρφωση θραύσης (τα οποία χαρακτηρίζουν την ολκιμότητά του)
- Στον προσδιορισμό της συγκολλησιμότητας των υφισταμένων ράβδων χάλυβα με νέες ράβδους (προσδιορισμός της χημικής σύστασης)
- Στον προσδιορισμό της κατάστασης του χάλυβα από πλευράς διάβρωσης (επιφανειακή κατάσταση ράβδων, πάχος οξειδίων, ηλεκτρικό δυναμικό του χάλυβα και αντίσταση του σκυροδέματος, βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος, βάθος προσβολής του σκυροδέματος από χλωριόντα και ποσότητά τους κ.λπ.).
- Στην αποτύπωση της θέσης, της διάταξης και άλλων λεπτομερειών των οπλισμών.

Επισημάνση: Οι έλεγχοι σε υφιστάμενες κατασκευές έχουν αυξημένη αβεβαιότητα και δεν μπορούν να υποκαταστήσουν τους συμβατικούς ελέγχους συμμόρφωσης για της νέες κατασκευές. Γι' αυτό και συνιστάται η τήρηση πλήρους αρχείου, κατά τη φάση της ανέγερσης (σχέδια “όπως κατασκευάστηκε”, αρχείο ποιοτικών ελέγχων κ.λπ.), ώστε να είναι διαθέσιμα επαρκή στοιχεία σε περίπτωση μελλοντικών επεμβάσεων για οποιονδήποτε λόγο.

Π7.2 Αυτοψία

Κατά κανόνα, οι έλεγχοι των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος εντάσσονται στο πλαίσιο ενός γενικότερου ελέγχου της υφιστάμενης κατασκευής (βλ. Κανονισμό Επεμβάσεων – ΚΑΝΕΠΕ). Ο έλεγχος πρέπει να ξεκινήσει από αυτοψία (ή αυτοψίες) της κατασκευής. Η αυτοψία είναι απαραίτητη για τον καθορισμό του είδους και της έκτασης των ελέγχων, που θα πρέπει να διενεργηθούν για να εκτιμηθεί η κατάσταση της υπάρχουσας κατασκευής και, εν συνεχεία, για να προσδιορισθεί το είδος και ο βαθμός επέμβασης για την αποκατάσταση ή την απόκτηση της επιθυμητής φέρουσας ικανότητας. Γι' αυτό πρέπει να εκτελείται με μεγάλη επιμέλεια και προσοχή, από Μηχανικό με την αναγκαία (για την εκάστοτε εξεταζόμενη περίπτωση) γνώση και πείρα. Συνιστάται η αποτύπωση των πορισμάτων της αυτοψίας σε Τεχνική Έκθεση ή/και σε σχέδια, τα οποία θα συμπληρωθούν με τα στοιχεία που θα προκύψουν από τους ελέγχους που θα ακολουθήσουν.

Προ της αυτοψίας, επιβάλλεται να αναζητηθούν τυχόν υπάρχοντα στοιχεία της κατασκευής, όπως (ενδεικτικά):

- Σχέδια και υπολογισμοί που συνοδεύουν την Οικοδομική Άδεια
- Κατασκευαστικά σχέδια εφαρμογής, επιμετρητικά σχέδια, σχέδια “όπως κατασκευάστηκε”, επιμετρήσεις, πρωτόκολλα παραλαβής κ.λπ.
- Ιστορικό εκτέλεσης του έργου, περίοδος κατασκευής
- Πληροφορίες για τυχόν φθορές ή βλάβες στο παρελθόν από οποιαδήποτε αιτία (σεισμό, πυρκαγιά, περιβάλλον, κακή χρήση και άλλες τυχαίες δράσεις), για τις ενδεχόμενες επεμβάσεις (επισκευές ή ενισχύσεις).
- Πληροφορίες και παρατηρήσεις από τους χρήστες του έργου (ρωγμές, παραμορφώσεις και βέλη, διάβρωση, αποκολλησεις κ.λπ., στοιχεία για τη χρονική τους εξέλιξη κ.λπ.)
- Πληροφορίες για την τυχόν κατασκευή σημαντικών έργων στην περιοχή και τρόπος εκτέλεσης αυτών (βαθιές εκσκαφές, υποσκαφές, δονήσεις, εκρήξεις, σημαντικά φορτία σε άμεση γειτνίαση, κ.λπ.).

Κατά την αυτοψία απαιτείται συνήθως, η εκτέλεση ορισμένων επί τόπου μετρήσεων διαστάσεων, διατομών, διαμέτρων ράβδων οπλισμού, εύρους ρωγμών, υποχωρήσεων, αποκλίσεων από την κατακόρυφο κ.λπ., που σημαίνει ότι πρέπει να διατίθεται ο κατάλληλος στοιχειώδης εξοπλισμός. Χρήσιμη για την αποτύπωση είναι η χρήση φωτογραφικής μηχανής και κάμερας.

Με βάση τα συμπεράσματα από την αυτοψία και όσες από τις ως άνω πληροφορίες καταστεί δυνατόν να συγκεντρωθούν, θα γίνει, η επισημάνση ενδεχομένων προβλημάτων και μια αρχική αξιολόγηση της κατάστασης του έργου, με βάση την οποία θα εκτιμηθεί η αναγκαιότητα, το είδος και ο αριθμός των περαιτέρω ελέγχων. Στα επόμενα παρατίθενται οι έλεγχοι που αφορούν τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

Π7.3 Έλεγχοι

Οι έλεγχοι διακρίνονται σε:

- Αυτοψίες - επιθεωρήσεις (έλεγχοι χωρίς όργανα, μακροσκοπικοί)
- Ενόργανους ελέγχους επί τόπου του έργου και
- Ενόργανους ελέγχους στο εργαστήριο.

Στον Πιν. Π7-1 παρουσιάζονται οι πλέον διαδεδομένοι έλεγχοι και οι αντίστοιχες προσδιοριζόμενες ιδιότητες. Το είδος, η έκταση και η εξειδίκευση των δοκιμών και μετρήσεων που θα απαιτηθούν εξαρτώνται από το μέγεθος, την αξία και την σπουδαιότητα του κτιρίου, από τη διαπίστωση ακραίων περιπτώσεων τρωτότητας ή έντονων και εκτεταμένων φθορών/βλαβών, καθώς και από το είδος και την έκταση των ενδεχόμενων αλλαγών ή τροποποιήσεων, επισκευών ή ενισχύσεων κ.λπ.

Π7.4 Λήψη δοκιμών

Η δειγματοληψία πρέπει να είναι αντιπροσωπευτική, καθώς ενδέχεται τα διάφορα τμήματα της κατασκευής να έχουν κατασκευασθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ή/και με τη χρήση διαφορετικών υλικών ή να έχουν υποστεί την επίδραση διαφορετικών δράσεων.

Η λήψη δοκιμών από υφιστάμενη κατασκευή πρέπει να γίνεται με τέτοιο τρόπο και από τέτοιες θέσεις, ώστε να προκαλείται η μικρότερη δυνατή βλάβη στην κατασκευή. Ως καταλληλότερες θέσεις αναφέρονται οι αναμονές των υποστρωμάτων και τοιχωμάτων, οι περιοχές στις οποίες η ένταση είναι μικρή και τέλος οι περιοχές οι οποίες προβλέπεται, έτσι κι' αλλιώς, να ενισχυθούν ή να επισκευασθούν.

Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται η πλήρης αποκατάσταση των κάθε είδους τομών, οπών κ.λπ. που θα προκληθούν κατά τις αποτυπώσεις και τις λήψεις των δοκιμών, σε όλα τα στοιχεία (φέροντα και μη), με δόκιμα υλικά και τεχνικές. Οι αποκαταστάσεις πρέπει να γίνονται αμέσως μετά την ολοκλήρωση των αποτυπώσεων και διερευνήσεων, και να μην αναβάλλεται η εκτέλεσή τους για τη φάση των μετέπειτα ενδεχόμενων δομητικών επεμβάσεων (επισκευών - ενισχύσεων).

Πίνακας Π7-1: Έλεγχοι χάλυβων οπλισμού σκυροδέματος και αντίστοιχες προσδιοριζόμενες ιδιότητες

α/α	Έλεγχος	Προσδιοριζόμενες ιδιότητες
1	Οπτικός έλεγχος (μετά και από χανδρώματα)	• Γεωμετρία νευρώσεων (κατηγορία, εργοστάσιο και χώρα παραγωγής) • Κατάσταση διάβρωσης (επιφανειακή οξείδωση, βελονισμοί) • Λεπτομέρειες όπλισης, διάταξη ράβδων, άγκιστρα κ.λπ. • Βαθμονόμηση οργάνων επιτόπου ελέγχων
2	Μαγνητική σάρωση	• Προσδιορισμός θέσης οπλισμού • Εκτίμηση διαμέτρου ράβδων • Εκτίμηση επικάλυψης οπλισμού
3	Μέτρηση βάθους ενανθράκωσης του σκυροδέματος	• Παθητική προστασία χάλυβα έναντι διάβρωσης
4	Μέτρηση χλωριόντων (βάθος και συγκέντρωση)	• Πιθανότητα διάβρωσης
5	Μέτρηση δυναμικού χάλυβα ή/και ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης σκυροδέματος	• Εκτίμηση πιθανότητας διάβρωσης
6	Ραδιογραφία	• Προσδιορισμός θέσης και διαμέτρου οπλισμού
7	Σκληρομέτρηση	• Εφελκυστική αντοχή, όριο διαρροής
8	Χημική ανάλυση	• Συγκολλησιμότητα
9	Δοκιμή εφελκυσμού	• Όριο διαρροής • Εφελκυστική αντοχή • Παραμόρφωση θραύσης
10	Έλεγχος μικρογραφικής μορφής	• Εφελκυστική αντοχή και παραμόρφωση θραύσης

Σε κάθε περίπτωση, όλοι οι πιο πάνω έλεγχοι δεν είναι αναγκαίοι. Ο Μελετητής θα προσδιορίσει ποιοι έλεγχοι είναι απαραίτητοι και σε ποια έκταση, ανάλογα με τη σημασία του έργου, το είδος και την έκταση της σκοπούμενης επέμβασης, τις συνθήκες περιβάλλοντος, τον εμφανιζόμενο ή εκτιμώμενο βαθμό προσβολής, την αιτία της φθοράς ή βλάβης και τις απαιτήσεις της μελέτης. Ο Μελετητής θα αποφασίσει επίσης και θα προτείνει τον αριθμό των δοκιμών κάθε ελέγχου, τις θέσεις λήψης κ.λπ. και τέλος θα αξιολογήσει τα αποτελέσματα των ελέγχων, μετά από κατάλληλη βαθμονόμησης και συνεκτίμηση των ενδείξεων.

Π7.5 Διαδικασία ελέγχων

Π7.5.1 Προσδιορισμός των μηχανικών χαρακτηριστικών

Τα μηχανικά χαρακτηριστικά μπορεί να προσδιορισθούν με τους εξής ελέγχους:

- **Οπτικός έλεγχος.** Με τον οπτικό έλεγχο δεν μπορούν γενικώς να εκτιμηθούν τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χάλυβων, μπορεί όμως να γίνει μια κατ' αρχήν εκτίμηση της τεχνικής κατηγορίας του χάλυβα, με κριτήριο την ύπαρξη ή μη νευρώσεων και με τη γεωμετρία των νευρώσεων. Για το σκοπό αυτό είναι χρήσιμες οι πληροφορίες που δίνονται στο εδάφιο Β του παρόντος Παραρτήματος για τη σήμανση και τα χαρακτηριστικά των χάλυβων παλαιότερων τυποποιήσεων. Επίσης, χωρίς αποκοπή δείγματος, με λείανση του άκρου της αναμονής και στην συνέχεια προσβολή με Nitral, μπορεί να διαπιστωθεί εάν ο χάλυβας είναι ΘΕ-Θ (βλ. και Παραγρ. 3.4 του Κεφ. 4).
- **Δοκιμή εφελκυσμού.** Είναι η πλέον άμεση μέθοδος για την διαπίστωση των μηχανικών χαρακτηριστικών του χάλυβα, προϋποθέτει όμως την αποκοπή τμήματος ράβδου μήκους περίπου 40cm (ή 20 έως 30d) και την αποστολή του σε εργαστήριο. Όταν δεν υπάρχει δυνατότητα αποκοπής τεμαχίου με μήκος επαρκές για την συμβατική δοκιμή εφελκυσμού, μπορεί να γίνει έλεγχος και σε δοκίμιο μικρότερου μήκους, κατόπιν συνεννοήσεως με το εργαστήριο δοκιμών. Στην περίπτωση αυτή το όριο διαρροής και η εφελκυστική αντοχή μπορούν να υπολογισθούν με ακρίβεια, αλλά η παραμόρφωση θραύσης ενδέχεται να μην εκτιμηθεί σωστά.
- **Σκληρομέτρηση.** Μπορεί να διεξαχθεί είτε στο εργαστήριο, με αποκοπή ενός μικρού τεμαχίου χάλυβα (π.χ. μήκους 3cm), είτε επιτόπου του έργου με την χρήση φορητών σκληρομέτρων (μικρότερης ακρίβειας σε σχέση με τα όργανα εργαστηρίου).

Η σκληρομέτρηση είναι έμμεση μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται σχετικά καλή εκτίμηση της εφελκυστικής αντοχής (με ακρίβεια άνω του 90%) και του ορίου διαρροής. Δεν παρέχεται η δυνατότητα άμεσης εκτίμησης της παραμόρφωσης θραύσης.

Για χάλυβες των κατηγοριών ΘΕ-Χ, ΨΚ-Ο και ΨΚ-Σ (με θερμή εξέλαση, χωρίς θερμική κατεργασία και ψυχρής κατεργασίας) ισχύουν με ικανοποιητική προσέγγιση (μεγαλύτερη του 90%) οι σχέσεις:

$$f_t \text{ (MPa)} \approx 3,40 \text{ έως } 3,46 \text{ HV (σκληρότητα Vickers)}$$

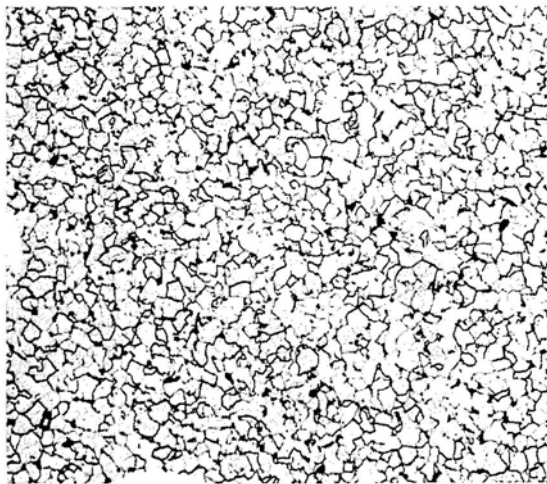
$$f_y \text{ (MPa)} \approx 3,27 \text{ HV}$$

Παρότι για τους χάλυβες ΘΕ-Θ (π.χ. Tempcore) οι παραπάνω σχέσεις είναι λιγότερο ακριβείς, ωστόσο, και για την κατηγορία αυτή, η σκληρομέτρηση παρέχει σημαντική πληροφόρηση για τις ιδιότητες του υλικού και αποτελεί πάντα μια χρήσιμη μέθοδο.

Σημειώνεται ότι, με τη μέτρηση της σκληρότητας σε τομή ράβδου, μπορεί να υπολογισθεί το βάθος της μαρτενσιτικής βαφής και οι ζώνες αντοχής που δημιουργούνται με τη θερμική κατεργασία.

- **Έλεγχος μικρογραφικής μορφής (δομής).** Είναι επίσης έμμεση μέθοδος μεγαλύτερης ακρίβειας αλλά και μεγαλύτερης δυσκολίας από τη σκληρομέτρηση και γι' αυτό θα πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο μεταλλογραφικό εργαστήριο. Επιτρέπει να προσδιορισθεί, με μεγάλη ακρίβεια, τόσο η εφελκυστική αντοχή, όσο και η παραμόρφωση θραύσης. Απαιτείται η λήψη δοκιμίου μικρού μήκους (περίπου 2cm), αντιπροσωπευτικού της ράβδου.

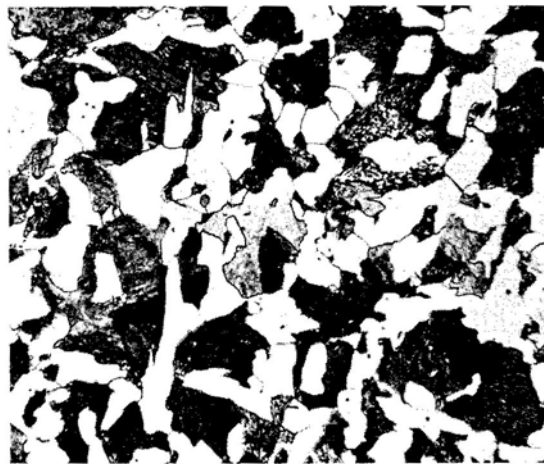
Η μικρογραφική μορφή εξετάζεται σε μεταλλογραφικό μικροσκόπιο στο εργαστήριο ή, σε εξαιρετικές περιπτώσεις, με τη βοήθεια μεγεθυντικής διάταξης επί τόπου, έπειτα από κατάλληλη προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου (λείανση, χημική ή ηλεκτρολυτική προσβολή). Με την εξέταση αυτή επιδιώκεται η αναγνώριση των μικρογραφικών συστατικών (φάσεων, κρυστάλλων κ.λπ.) του μετάλλου και η σύγκριση των μορφών με εκείνες που αντιστοιχούν σε συγκεκριμένους τύπους χάλυβων. Η αναγνώριση της μικρογραφικής μορφής μπορεί να δώσει πληροφορίες που επιτρέπουν με σχεδόν 100% ακρίβεια την εκτίμηση των μηχανικών ιδιοτήτων. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι σε χάλυβες της κατηγορίας ΘΕ-Χ αναμένεται να παρατηρηθούν, ως κύρια μικρογραφικά χαρακτηριστικά, φερρίτης και περλίτης. Για τους χάλυβες ΘΕ-Θ η μικρογραφική μορφή είναι πλέον σύνθετη και παρουσιάζεται στο Σχ. Π7-1(δ).



Nital

100x

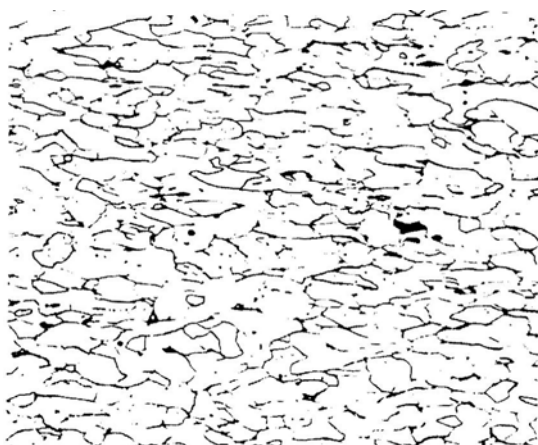
(α) Χάλυβας κατηγορίας StI (φερριτική δομή)



2% Nital

500x

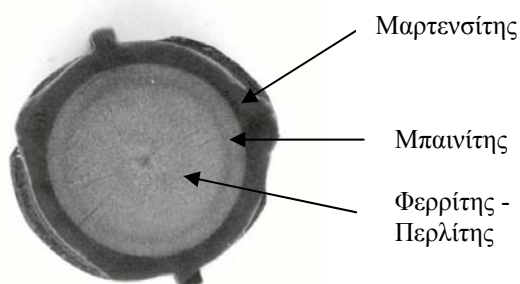
(β) Χάλυβας κατηγορίας StIII (όπου ανοιχτό χρώμα: φερρίτης, όπου σκούρο χρώμα: περλίτης)



4% Nital

250x

(γ) Χάλυβας κατηγορίας StI ψυχρής διαμόρφωσης (Επιμήκυνση των κρυστάλλων φερρίτη κατά τη διεύθυνση της παραμόρφωσης.)



(δ) Χάλυβας Tempcore, τομή κάθετη στον διαμήκη άξονα της ράβδου μετά από εμβάπτιση σε Nital.

(Διακρίνεται ο μαρτενσίτης - το πάχος του οποίου είναι της τάξης του 10% της διάμετρου της ράβδου - και ο μπαινίτης σε σχέση με την υπόλοιπη μεταλλική μήτρα η οποία έχει μείνει ουσιαστικά χωρίς βαφή.)

Σχήμα Π7-1: Χαρακτηριστικές μικρογραφικές μορφές τυπικών κατηγοριών χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Ανεξάρτητα από τη χρησιμοποιηθείσα μέθοδο, κατά την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων, πρέπει να συνεκτιμάται εάν το τμήμα της κατασκευής από το οποίο ελήφθη το δείγμα της ράβδου, είχε υποστεί έντονες καταπονήσεις από σεισμούς ή άλλες δράσεις (επίδραση στο όριο διαρροής και στην παραμόρφωση θραύσης), πυρκαγιά (μείωση της αντοχής, αναλόγως της μεθόδου παραγωγής του χάλυβα) καθώς και ο βαθμός διάβρωσης του χάλυβα (επίδραση στην ολκιμότητα).

Π7.5.2 Έλεγχος της συγκολλησιμότητας

Για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας, κατ' αρχάς γίνεται οπτικός έλεγχος. Αν από τον οπτικό έλεγχο προκύψει με βεβαιότητα ότι ο χάλυβας ανήκει σε τεχνική κατηγορία συγκολλησιμου χάλυβα (π.χ. λείοι χάλυβες κατηγορίας StI ή S220 ή νευροχάλυβας κατηγορίας S400s, S500s ή B500C) τότε περιττεύει περαιτέρω έλεγχος. Σε περίπτωση αμφιβολίας γίνεται προσδιορισμός της χημικής σύστασης με φασματοσκοπική ανάλυση σε μικρό τμήμα ράβδου (αρκεί μήκος περίπου 2cm) το οποίο αποστέλλεται σε ειδικευμένο εργαστήριο (η μέθοδος είναι απλή, φθηνή και ακριβής). Ανάλογα με τα αποτελέσματα, ακολουθούνται οι διαδικασίες που περιγράφονται στην Παραγρ. 8.6 του παρόντος Κανονισμού.

Π7.5.3 Έλεγχος της κατάστασης του χάλυβα από πλευράς διάβρωσης και ανθεκτικότητας

Η κατάσταση του χάλυβα από πλευράς διάβρωσης εκτιμάται κατ' αρχάς με τον οπτικό έλεγχο. Αν η διαδικασία σχηματισμού οξειδίων του σιδήρου έχει ήδη προχωρήσει, τότε το πιθανότερο είναι τα αποτελέσματα της οξείδωσης να είναι ορατά στην επιφάνεια του σκυροδέματος (ακόμη και αν ο χάλυβας βρίσκεται στο εσωτερικό του σκυροδέματος) από

τις κηλίδες σκουριάς, από τη διόγκωση (τα οξείδια του σιδήρου έχουν μεγαλύτερο όγκο από την αντίστοιχη ποσότητα μετάλλου από το οποίο προήλθαν) και από τις χαρακτηριστικές ρωγμές (παράλληλα προς τον οπλισμό).

Σ' αυτή την περίπτωση, πρέπει να ερευνηθεί η έκταση του φαινομένου και η ανάγκη λήψης μέτρων. Για το σκοπό αυτό:

- Θα αποκαλυφθεί τοπικά η ράβδος ή οι ράβδοι του οπλισμού, με τρόπο που να καθίσταται εφικτή η διαπίστωση της βλάβης
- Θα εκτιμηθεί ο βαθμός προσβολής, κατ' αρχάς οπτικά ή και με μέτρηση της απώλειας διατομής της ράβδου (βλ. Σημείωση παρακάτω).

Αν εκτιμηθεί ότι από την προσβολή έχει μειωθεί ουσιαστικά η διατομή ή η συνάφεια ή η γεωμετρία των νευρώσεων, θα πρέπει να γίνει επέμβαση αποκατάστασης. Ενδεικτικά σημειώνεται ότι η μείωση της διατομής κατά 5% ή της διαμέτρου κατά 0,5mm, θα μπορούσε να οδηγήσει σε σκέψεις επέμβασης. Η ενδεχόμενη αλλοίωση της γεωμετρίας των νευρώσεων θα εκτιμηθεί οπτικά ή με κάθε άλλον πρόσφορο τρόπο (βλ. Bulletin CEB162).

Οι υποδείξεις ισχύουν μόνο για την περίπτωση τοπικής βλάβης και μόνο σε αδυναμία εκτέλεσης ακριβέστερων εργαστηριακών ελέγχων. Το πλήθος αυτών των θέσεων και το είδος των δομικών στοιχείων στα οποία εμφανίζονται, θα ληφθούν υπ' όψη στην λήψη της τελικής απόφασης, για το βαθμό και την έκταση της επέμβασης.

Σημείωση

α) Σε περιπτώσεις οπλισμού χωρίς νευρώσεις, μετρείται η μικρότερη διάμετρος της ράβδου στη θέση διάβρωσης και σε θέση υγιούς ράβδου, για να διαπιστωθεί και να προσδιορισθεί η ενδεχόμενη μείωση της διατομής. Λαμβάνεται υπ' όψη η ανοχή απόκλισης από την ονομαστική διάμετρο.

β) Σε περιπτώσεις οπλισμού με νευρώσεις, η εκτίμηση γίνεται στην περιοχή με την εντονότερη διάβρωση:

- Αν είναι εφικτό και άνευ κινδύνου, γίνεται απότμηση τμήματος της διαβρωμένης ράβδου και ενεργείται εργαστηριακός έλεγχος.
- Αν δεν είναι δυνατόν να ληφθεί δείγμα οξειδωμένου οπλισμού με νευρώσεις, γίνεται μέτρηση της απομένουσας διατομής, χωρίς να αγνοηθεί ότι η διάμετρος του "κορμού" της ράβδου (χωρίς τις νευρώσεις) είναι μικρότερη από την ονομαστική διάμετρο της ράβδου.

Στην πράξη, ενδιαφέρον παρουσιάζουν και οι περιπτώσεις κατά τις οποίες ο χάλυβας δεν έχει μεν αρχίσει να διαβρώνεται επιφανειακά, αλλά έχουν επιδεινωθεί τόσο οι συνθήκες περιβάλλοντος, ώστε να τίθεται σε αμφιβολία η ανθεκτικότητά του. Τέτοιες είναι οι περιπτώσεις κατά τις οποίες το βάθος ενανθράκωσης του σκυροδέματος πλησιάζει τη θέση των οπλισμών ή τα χλωριόντα έχουν εισχωρήσει στο σκυρόδεμα μετά τη σκλήρυνσή του. Όταν το σκυρόδεμα γύρω από τον χάλυβα ενανθρακωθεί, τότε χάνεται η παθητική προστασία έναντι διαβρώσεως που προσφέρει στον χάλυβα το αλκαλικό περιβάλλον του σκυροδέματος, και πλέον η (ομοιομορφή) διάβρωση του χάλυβα είναι σχεδόν βέβαιη. Επίσης, τα χλωριόντα είναι υπεύθυνα για την διάβρωση με βελονισμούς (φαινόμενο πιο επικίνδυνο). Για την εκτίμηση του κινδύνου ή/και του βαθμού εξέλιξης της διάβρωσης του χάλυβα μπορούν να γίνουν οι εξής έλεγχοι:

- **Μέτρηση βάθους ενανθράκωσης του σκυροδέματος.** Σε επιφάνεια σκυροδέματος (στεγνή κατά το δυνατόν), η οποία δημιουργήθηκε πρόσφατα με αφαίρεση της επιφανειακής στοιβάδας (συνήθως μέχρι τον οπλισμό) ψεκάζεται διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης (άχρωμο). Ο βαθμός ενανθράκωσης προσδιορίζεται από την αλλαγή του χρώματος της φαινολοφθαλεΐνης. Το υγιές σκυρόδεμα, με pH>9, προσδίδει χρώμα κόκκινο, ενώ το ενανθρακωμένο δεν επιφέρει χρωματισμό. Μπορεί έτσι να μετρηθεί το πάχος του επιφανειακού σκυροδέματος που έχει υποστεί ενανθράκωση.

Η μέτρηση μπορεί να γίνει, επίσης, με ψεκάσμο διαλύματος στην παράπλευρη επιφάνεια πυρήνα σκυροδέματος, ο οποίος μόλις έχει αποκοπεί από την υπό εξέταση περιοχή.

Τέλος, για έναν σημειακό προσδιορισμό του βάθους ενανθράκωσης, μπορεί να εφαρμοσθεί και η ακόλουθη τεχνική: Διανοίγεται μικρή οπή (π.χ. Φ8mm) στο στοιχείο με ηλεκτρικό δράπανο, συλλέγεται η σκόνη η οποία ψεκάζεται με το διάλυμα φαινολοφθαλεΐνης. Αν η σκόνη δεν αλλάξει χρώμα σημαίνει ότι η ενανθράκωση έχει προχωρήσει μέχρι το διατρηθέν βάθος. Συνεχίζεται η διάτρηση στην ίδια οπή μέχρις ότου προκύψει ερυθρή απόχρωση το οποίο σημαίνει ότι το σκυρόδεμα στην συγκεκριμένη θέση είναι υγιές. Είναι μέθοδος απλή, γρήγορη, ακριβής και φθηνή.

- **Μέτρηση περιεκτικότητας χλωριόντων.** Για τον σκοπό αυτό αποκόπτονται τεμάχια σκυροδέματος, από την περιοχή της επικάλυψης των οπλισμών, και αποστέλλονται σε ειδικευμένο εργαστήριο, όπου συνήθως μετρείται η συνολική ποσότητα χλωριόντων (ελεύθερων και δεσμευμένων) κατά βάρος σκυροδέματος.

Σημείωση: Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθούν τα εξής:

- ο Δεν υπάρχουν σαφή όρια, για την κατά βάρος τιμέντου περιεκτικότητα ελεύθερων χλωριόντων, η υπέρβαση των οποίων οδηγεί σε διάβρωση των οπλισμών. Τα μόνα όρια, και αυτά όχι διεθνώς αποδεκτά, αφορούν την παρουσία των χλωριόντων στην αρχική σύνθεση του σκυροδέματος τα οποία οφείλονται στα συστατικά στοιχεία του σκυροδέματος (αδρανή, νερό κ.λπ.). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι, κατά το BS 8110: Part 1:1985 και το EN 206, το όριο αυτό ορίζεται σε 0,4% κ.β. τσιμέντου. Όσον όμως αφορά τα χλωριόντα που έχουν εισχωρήσει στο σκυρόδεμα μετά την σκλήρυνσή του, είναι ακόμη δυσκολότερο να καθορισθεί όριο κάτω του οποίου δεν υπάρχει διάβρωση του οπλισμού, διότι το όριο αυτό εξαρτάται από ένα πλήθος παραγόντων, οι οποίοι δεν είναι ακόμη πλήρως κατανοητοί. Ενδεικτικά, το ACI 222R-85 προτείνει ως μέγιστη συγκέντρωση χλωριόντων διαλυτών στο νερό σε ήδη σκληρυμένο σκυρόδεμα ηλικίας 28 ημερών και για σκυρόδεμα το οποίο θα προστατεύεται από την υγρασία: 1,0% κ.β. τσιμέντου (Τάσιος: 1993 «Ανθεκτικότητα οπλισμένου σκυροδέματος»).
- ο Δεν είναι τα συνολικά χλωριόντα (δεσμευμένα και ελεύθερα) τα οποία είναι υπεύθυνα για τη διάβρωση του οπλισμού (Neville: 1995 «Properties of concrete»). Από τα συνολικά χλωριόντα που υπάρχουν στο σκληρυμένο σκυρόδεμα, ένα μέρος

είναι χημικώς δεσμευμένο από τα προϊόντα της ενυδάτωσης του τσιμέντου, ένα άλλο μέρος είναι φυσικώς δεσμευμένο στην επιφάνεια των πόρων του τσιμεντοπολτού και είναι το τρίτο μέρος, που είναι ελεύθερο, το οποίο είναι το υπεύθυνο για την διάβρωση του οπλισμού. Το ποσοστό των ελεύθερων χλωριόντων ως προς τα συνολικά μπορεί να κυμαίνεται από 20% έως 50% των συνολικών χλωριόντων (Neville: 1995 «Properties of concrete»). Στις χημικές αναλύσεις όμως εκείνο το οποίο συνήθως μετριέται είναι το συνολικό ποσοστό χλωριόντων.

- ο Τέλος, αν τα ποσοστά των χλωριόντων αναφέρονται κατά βάρος σκυροδέματος, τότε θα πρέπει να γίνει αναγωγή σε βάρος τσιμέντου γνωρίζοντας την περιεκτικότητα σε τσιμέντο του σκυροδέματος (π.χ. 300kg/m^3) καθώς και το ειδικό βάρος του άοπλου σκυροδέματος (π.χ. 2200 έως 2300 kg/m^3).
- ο Η ενανθράκωση και η διείσδυση χλωριόντων δεν είναι ανεξάρτητες διαδικασίες, καθότι η πρώτη επιταχύνει σημαντικά τη δεύτερη. Το Ca(OH)_2 του στερεού ιστού του σκληρυμένου τσιμεντοπολτού αντιδρά με τα χλωριόντα και τα δεσμεύει, περιορίζοντας την ποσότητα αυτών που διαχέονται προς τον οπλισμό κάτω από την οριακή συγκέντρωση του 0,4% έως 0,6% που απαιτείται για τη διάτρηση του προστατευτικού οξειδίου. Όταν όμως το υδροξείδιο του ασβεστίου μετατραπεί με την ενανθράκωση σε CaCO_3 , τα χλωριόντα που έχει δεσμεύσει ελευθερώνονται και διατίθενται πλέον για την προσβολή του χάλυβα.
- **Εμμεσες ηλεκτροχημικές μέθοδοι** όπως η μέτρηση δυναμικού του χάλυβα, η σύνταξη καμπυλών πόλωσης, η μέτρηση της αντίστασης του σκυροδέματος και η μέτρηση της αντίστασης πόλωσης με τις οποίες εκτιμάται η ταχύτητα διάβρωσης του χάλυβα. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι κατά το ASTM C 876-87, ανάλογα με το μέγεθος της διαφοράς δυναμικού, E , μπορεί να λεχθεί ότι:
 - ο Όταν $E > -200\text{ mV}_{\text{cse}}$, κατά πιθανότητα 90% δεν συμβαίνει διάβρωση
 - ο Όταν $E < -350\text{ mV}_{\text{cse}}$, κατά πιθανότητα 90% συμβαίνει διάβρωση
 - ο Όταν $-200\text{ mV}_{\text{cse}} > E > -350\text{ mV}_{\text{cse}}$, δεν είναι βέβαιο αν συμβαίνει ή όχι διάβρωση.

Το ηλεκτρικό δυναμικό χάλυβα-σκυροδέματος μετριέται με ειδικά ηλεκτρόδια χαλκού - θεικού χαλκού. Η μέθοδος είναι απλή και γρήγορη, όχι ιδιαιτέρως ακριβή, απαιτεί όμως ειδίκευση τόσο στην εφαρμογή, όσο και στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

Π7.5.4 Γεωμετρική αποτύπωση των οπλισμών (θέση, διάμετρος, διάταξη)

Η γεωμετρική αποτύπωση περιλαμβάνει, μεταξύ των άλλων:

- Τον προσδιορισμό της διαμέτρου, της απόστασης και της επικάλυψης των ράβδων
- Τον έλεγχο της επάρκειας των αγκυρώσεων, των ενώσεων με παράθεση (ιδιαιτέρως στις αναμονές).

Κατά την γεωμετρική αποτύπωση καλό είναι να ελεγχθούν και η ύπαρξη ενδεχόμενων χονδροειδών κακοτεχνιών όπως οι απομίξεις, η ύπαρξη κενών-φωλεών, η ύπαρξη πλημμυλών αρμών σκυροδέτησης κ.λπ. Κατά τη γεωμετρική αποτύπωση εκτιμάται κατά πόσον υπάρχει ο φάκελος του έργου με στοιχεία της μελέτης και κατασκευαστικά σχέδια, και, αναλόγως, εφαρμόζονται οι σχετικές διατάξεις του Κανονισμού Επεμβάσεων (ΚΑΝΕΠΕ).

Η γεωμετρική αποτύπωση διευκολύνεται με την χρήση και των εξής μη καταστροφικών μεθόδων:

- **Μαγνητική σύρωση.** Με τη χρήση μαγνητομέτρων εκτιμάται αρκετά καλά το πλήθος και η θέση των επιφανειακών ράβδων, το πάχος της επικάλυψης ενώ, με μικρότερη ακρίβεια, μπορεί να εκτιμηθεί και η διάμετρος της ράβδου. Η ακρίβεια κατά τον υπολογισμό της επικάλυψης εξαρτάται και από την παρουσία άλλων ράβδων πλησίον της εξεταζόμενης ράβδου. Αν μάλιστα η απόσταση δύο διαδοχικών ράβδων είναι μικρότερη από μια κρίσιμη απόσταση, τότε το όργανο τις αντιλαμβάνεται ως μια ράβδο. Η κρίσιμη αυτή απόσταση εξαρτάται από την επικάλυψη (αυξάνεται αυξανόμενης της επικάλυψης) αλλά και από τα χαρακτηριστικά του οργάνου. Επίσης, στην περίπτωση δύο επάλληλων στρώσεων οπλισμού, η δεύτερη στρώση δεν είναι δυνατόν να διακριθεί επειδή το σήμα από την πρώτη στρώση είναι πολύ ισχυρότερο του σήματος της δεύτερης στρώσης. Πάντως έχουν αναφερθεί ανιχνεύσεις μήκους παράθεσης ράβδων που βρίσκονται σε επαφή. Η μέθοδος είναι απλή, γρήγορη και φθηνή, σχετικής ακριβείας.
- **Ραδιογραφίες.** Η εκτέλεσή τους απαιτεί εξειδικευμένο προσωπικό, κατάλληλο εξοπλισμό και αδειοδότηση από την ΕΕΑΕ. Η τυπική διάταξη αποτελείται από ραδιενεργό πηγή στην μία πλευρά του προς εξέταση αντικειμένου και κατάλληλο ραδιογραφικό φιλμ στην άλλη πλευρά. Η επιλογή της πηγής εξαρτάται από το πάχος του στοιχείου. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι οι ακτίνες X χρησιμοποιούνται για πάχη έως 30cm , το ιρίδιο¹⁹² για πάχη έως 35cm , το κοβάλτιο⁶⁰ για πάχη έως 60cm και οι γραμμικοί επιταχυντές (LINAV) για πάχη έως και $2,00\text{m}$. Με σύγχρονο εξοπλισμό και τεχνικές της στερεοσκοπικής ραδιογραφίας (CR: computed radiographs, φωτοερμηνεία μέσω ηλεκτρονικού υπολογιστή με χρήση ειδικών αλγορίθμων) επιτρέπεται ο προσδιορισμός της θέσης του οπλισμού με ικανοποιητική ακρίβεια και ο βαθμός απομείωσης της διαμέτρου των ράβδων οπλισμού με αρκετή ακρίβεια. Η μέθοδος προσφέρεται ιδιαίτερα για τον έλεγχο τενόντων προέντασης.

Επισήμανση: Σε κάθε περίπτωση επιβάλλεται όπως οι ενόργανες γεωμετρικές αποτυπώσεις συνδυάζονται και επιβεβαιώνονται με πρόσθετες διερευνητικές τομές και χαντρώματα στα στοιχεία που ελέγχονται.

Μέρος Β Ιστορικό, σήμανση και χαρακτηριστικά παλαιότερων κατηγοριών χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Χ.Ο.Σ.)

Π7.6 Σήμανση και χαρακτηριστικά Χ.Ο.Σ.

Μέχρι το 1969 ήταν σε ισχύ στη χώρα μας το Β.Δ. του 1954 "Κανονισμός δια την Μελέτην και Εκτέλεσιν Οικοδομικών Έργων εξ Ωπλισμένου Σκυροδέματος", που δημοσιεύθηκε στο ΦΕΚ 160Α-1954. Στον Πιν. Π7-2 φαίνονται οι κατηγορίες χαλύβων που επιτρεπόταν να παραχθούν και να χρησιμοποιηθούν με βάση αυτές τις κανονιστικές διατάξεις, οι τρόποι παραγωγής τους και τα μηχανικά τους χαρακτηριστικά. Στο Β.Δ. δεν υπήρχε πρόβλεψη για διάκριση των διαφορετικών κατηγοριών Χ.Ο.Σ. με νευρώσεις με βάση τη διάταξη των νευρώσεων.

Πίνακας Π7-2: Κατηγορίες Χ.Ο.Σ. σύμφωνα με διατάξεις του ΦΕΚ 160Α - 1954

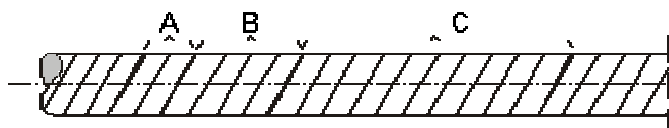
Κατηγορία	Μορφή επιφάνειας	Τρόπος παραγωγής	$\min f_y$ (MPa)	$\min f_t$ (MPa)	ϵ_5 %
I	Λ	Θ.Ε.-Χ.	220	340-500	18
IIIα	Λ ή Ν	Θ.Ε. -Χ.	420 (d ≤18mm) 400 (d >18mm)	500	18
IIIβ	N	Ψ.Κ.	420 (d ≤18mm) 400 (d >18mm)	500	8
IVα	Λ ή Ν	Θ.Ε. -Χ.	500	-	16
IVβ	N	Ψ.Κ.	500	-	8

Σημείωση: Λ = Λείες ράβδοι, Ν = Ράβδοι με νευρώσεις,
Θ.Ε.-Χ. = Θερμή έλαση, Ψ.Κ. (Ψ.Κ.-Ο. ή Ψ.Κ.-Σ.) = Ψυχρή κατεργασία.

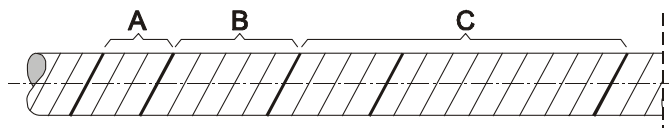
Το 1969 εκδόθηκε το Ευρωπαϊκό Πρότυπο EU 80-69 που αναφερόταν σε χάλυβες μη συγκολλησίμους (ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις) και δεν είχε κανένα περιορισμό στη χημική σύσταση του προϊόντος. Για πρώτη φορά παρουσιάζεται και καθιερώνεται τρόπος σήμανσης για την αναγνώριση των διαφορετικών κατηγοριών Χ.Ο.Σ. και της προέλευσής τους (χώρα και μονάδα παραγωγής) με βάση τη διάταξη των νευρώσεων (βλ. Σχ. Π7-2α και Π7-2β). Με την ύπαρξη ενισχυμένων νευρώσεων σχηματίζονται τρία πεδία Α, Β, C κανονικών νευρώσεων με τα οποία δηλώνεται:

- Πεδίο Α: η έναρξη της σήμανσης και η κατηγορία ποιότητας
- Πεδίο Β: η αναγνώριση της χώρας παραγωγής (βλ. Πιν. Π7-3)
- Πεδίο C: η αναγνώριση της μονάδας παραγωγής.

Παρόμοιο τρόπο σήμανσης της μονάδας και της χώρας παραγωγής καθόριζε και το Πρότυπο DIN 488/72.



Σχήμα Π7-2α: Χάλυβας κατηγορίας FeB40 EU 80-69

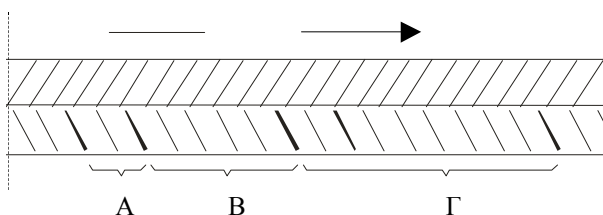


Σχήμα Π7-2β: Χάλυβας κατηγορίας FeB50 EU 80-69

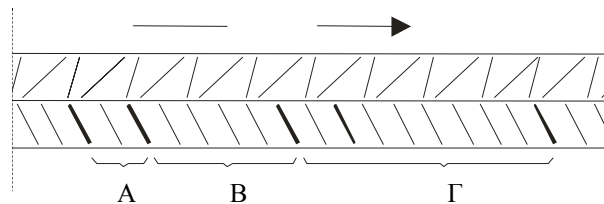
Πίνακας Π7-3: Ταυτοποίηση χώρας παραγωγής σύμφωνα με EU 80-69 και EU 80-85

Χώρα	Σύμβολο χώρας (Πεδίο Α)	
	Πρότυπο EU 80-69	Πρότυπο EU 80-85
Γερμανία	1	1
Βέλγιο, Λουξεμβούργο, Ολλανδία.	2	2
Γαλλία	3	3
Ιταλία	4	4
Η.Β., Ιρλανδία	-	5
Δανία, Φινλανδία, Νορβηγία, Σουηδία	-	6
Πορτογαλία, Ισπανία	-	7
Ελλάδα, (Τουρκία)	-	8

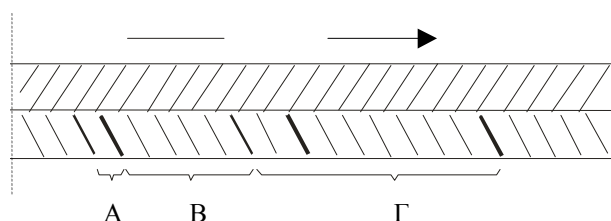
Το 1985 εκδίδεται το Πρότυπο EU 80-85, το οποίο αντικαθιστά το EU 80-69. Το νέο Πρότυπο αναφέρεται μόνο σε συγκολλησίμους χάλυβες, κατηγορίας FeB400 και FeB500 η σήμανση των οποίων φαίνεται στα Σχ. Π7-3α και Π7-3β. Η διάκριση της κατηγορίας γίνεται πλέον από τη διαφορετική διάταξη των νευρώσεων και όχι από το πεδίο Α, το οποίο δηλώνει μόνο την έναρξη της σήμανσης. Στο Πρότυπο αυτό αναφέρεται και ο κωδικός αριθμός χώρας 8 για την Ελλάδα μαζί με την Τουρκία (βλ. Πιν. Π7-3). Λίγους μήνες πριν είχε αναθεωρηθεί και το DIN 488/84 το οποίο επίσης αναφέρεται σε συγκολλησίμους χάλυβες κατηγορίας BSt 420s και BSt 500s με παρόμοιο τρόπο διάκρισης των δύο κατηγοριών (βλ. Σχ. Π7-4α και Π7-4β).



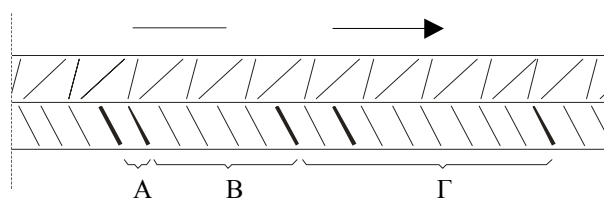
Σχήμα Π7-3α: Χάλυβες κατηγορίας FeB400 κατά EU 80-85



Σχήμα Π7-3β: Χάλυβες κατηγορίας FeB500 κατά EU 80-85



Σχήμα Π7-4α: Χάλυβες BSt 420s κατά DIN 488/84



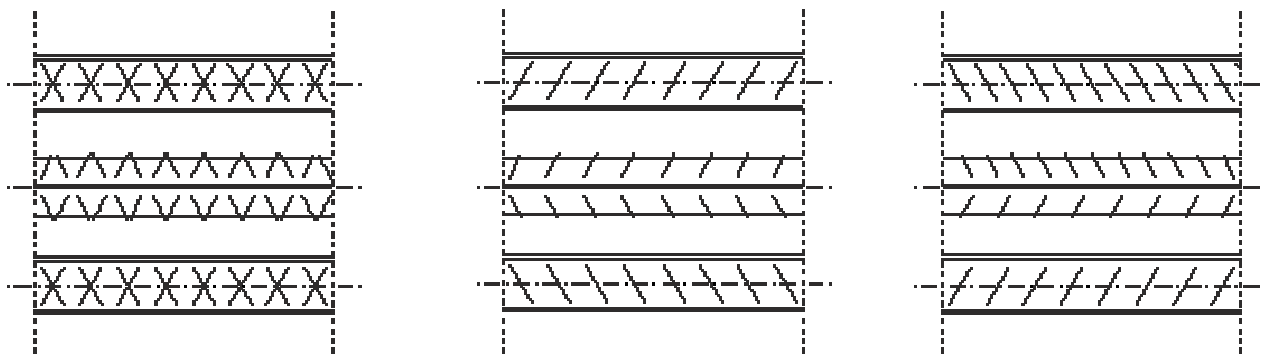
Σχήμα Π7-4β: Χάλυβες BSt 500s κατά DIN 488/84

Το 1987, παρουσιάζονται πλέον και τα δύο ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 εκ των οποίων το μεν πρώτο ταυτίζεται με το EU 80-69 ως προς τις κατηγορίες των χαλύβων (S220, S400, S500) και αναφέρεται σε Χ.Ο.Σ. μη συγκολλησίμους (ή συγκολλησίμους υπό προϋποθέσεις), το δε δεύτερο με το EU 80-85 που αναφέρεται στις κατηγορίες συγκολλησίμων Χ.Ο.Σ. S400s και S500s. Στον Πιν. Π7-4 δίνονται οι απαιτήσεις για τα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλύβων αυτών.

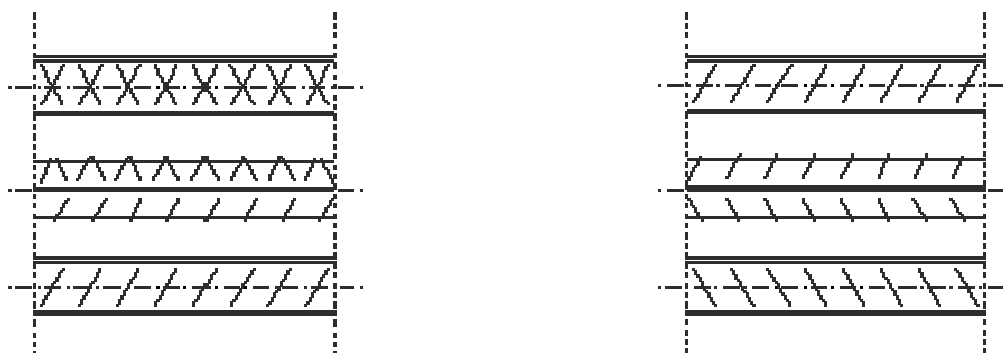
Πίνακας Π7-4: Μηχανικές ιδιότητες Χ.Ο.Σ. κατά ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971.

Ιδιότητα	Κατηγορία Χ.Ο.Σ.				
	ΕΛΟΤ 959			ΕΛΟΤ 971	
	S220	S400	S500	S400s	S500s
Όριο διαρροής, f_y (MPa)	220	400	500	400	500
Εφελκυστική αντοχή, f_t (MPa)	340	500	550	440	550
Ανηγμένη επιμήκυνση μετά την θραύση, ϵ_5 (%)	24	14	12	14	12

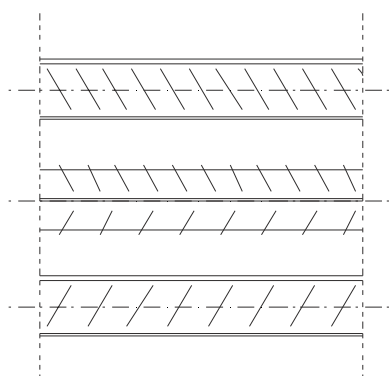
Δυστυχώς, και από τα δύο αυτά Πρότυπα, δεν προκύπτει υποχρέωση για συγκεκριμένο τρόπο σήμανσης των Χ.Ο.Σ. (παρ'όλα αυτά οι Έλληνες παραγωγοί χαλύβων ακολουθούσαν συγκεκριμένο σύστημα σήμανσης της χώρας και της μονάδας παραγωγής). Ως εκ τούτου στη συγκεκριμένη περίοδο η διάκριση των διάφορων κατηγοριών χαλύβων είναι ασαφής. Στα Σχ. Π7-5, Π7-6 και Π7-7(α και β) δίνονται σημάνσεις των διάφορων κατηγοριών. Μια σχετική εξομάλυνση στη διάκριση της κατηγορίας S500s έχουμε στο τέλος της δεκαετίας του '90 με αρχές της δεύτερης χιλιετίας, όπου σχεδόν στο σύνολό τους οι παραγόμενοι και εισαγόμενοι στη χώρα μας Χ.Ο.Σ. ακολουθούν τη σήμανση του Προτύπου DIN 488/84 (βλ. Σχ. Π7-4α και Π7-4β).



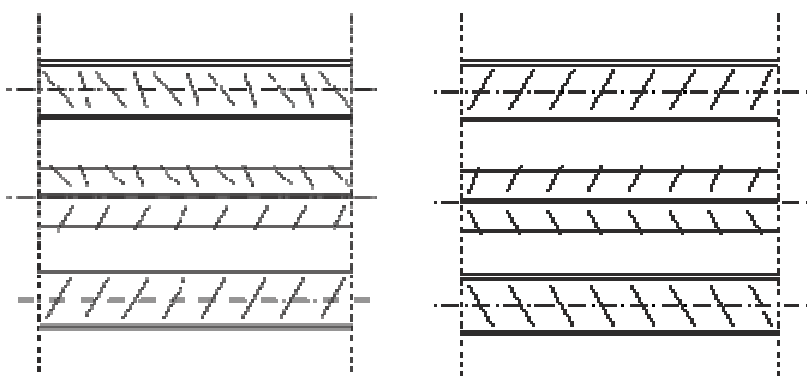
Σχήμα Π7-5: Σημάνσεις χάλυβα κατηγορίας S400 ή StIII



Σχήμα Π7-6: Σημάνσεις χάλυβα S500 ή St IV



Σχήμα Π7-7α: Σήμανση χάλυβα S400s



Σχήμα Π7-7β: Σημάνσεις χάλυβα κατηγορίας S 500s ή St IV

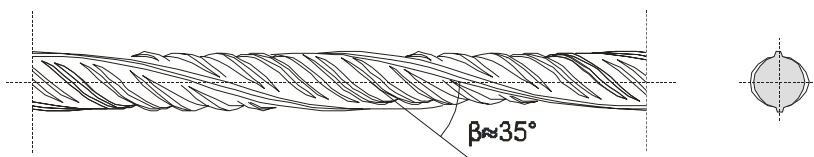
Το έτος 2005 εκδίδεται το Πρότυπο EN 10080 το οποίο αντικαθιστά το EU 80-85 και το πειραματικό Πρότυπο ENV 10080/94 που αναφέρεται αποκλειστικά σε συγκολλησίμους χάλυβες, οι οποίοι πλέον κατατάσσονται σε διαφορετικές κατηγορίες ολκιμότητας (Α χαμηλή, Β μέση και C υψηλή). Στο Πρότυπο EN 10080 καθορίζονται οι γενικές απαιτήσεις για τους συγκολλησίμους Χ.Ο.Σ ανεξαρτήτως κατηγορίας. Λίγο νωρίτερα, το ίδιο έτος, εκδίδονται και τα νέα ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ 1421-1, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3. Τα Πρότυπα αυτά αναφέρονται σε συγκολλησίμους χάλυβες και στο μεν ΕΛΟΤ 1421-1 καθορίζονται οι γενικές απαιτήσεις, ενώ στα ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 οι ειδικές απαιτήσεις και η σήμανση για Χ.Ο.Σ. κατηγορίας B500A και B500C αντίστοιχα. Το 2006, το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-1 αντικαταστάθηκε από το ΕΛΟΤ EN 10080. Στους χάλυβες αυτούς αναφέρεται ο παρών Κανονισμός.

Π7.7 Η χρήση των Χ.Ο.Σ. στη χώρα μας

Μέχρι την αρχή της δεκαετίας του 1960 χρησιμοποιούνταν στη χώρα μας ο “κοινός” χάλυβας (St I κατά DIN 488 ή S220 κατά ΕΛΟΤ 959). Παρόλο που οι απαιτήσεις για τον χάλυβα αυτόν προδιαγράφονταν στο Πρότυπο ΕΛΟΤ 959, που αφορά μη συγκολλησίμους χάλυβες, η χημική του σύσταση τον καθιστά σχεδόν πάντα συγκολλησίμιο. Σημειώνεται ότι, από τα μέσα της δεκαετίας του '50 είχαν εμφανισθεί επίσης και οι κατηγορίες StIIIa και StIVa (ράβδοι λείες ή με νευρώσεις) και St IIIβ και St IVβ (ράβδοι με νευρώσεις).

Από τη δεκαετία του '60 και σταδιακά μέχρι τις αρχές του '90 γενικεύεται η χρήση του χάλυβα StIII, που από το 1987 διατίθεται με την ονομασία S400 (κατά ΕΛΟΤ 959). Πρόκειται για ράβδους με νευρώσεις, από χάλυβα μη συγκολλησίμιο

(ή συγκολλησιμο υπό προϋποθέσεις), που οφείλει την αντοχή του στη χημική του σύνθεση και είναι προϊόν θερμής έλασης. Την ίδια περίοδο, τις δεκαετίες '60 και '70, εμφανίζεται και ο ελικοχάλυβας, που ήταν προϊόν ψυχρής κατεργασίας. Η ψυχρή κατεργασία ήταν η στρέψη του προϊόντος που προερχόταν από θερμή έλαση και είχε τη χημική σύνθεση του χάλυβα St I. Μετά τη στρέψη αποκτούσε την αντοχή του χάλυβα St III. Η μορφή του χάλυβα αυτού φαίνεται στο Σχ. Π7-8.



Σχήμα Π7-8 Ελικοχάλυβας κατηγορίας S 400 ή St III

Με την έκδοση, το 1987, των Προτύπων ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 καθίσταται υποχρεωτική η χρήση χαλύβων που κατατάσσονται είτε στις κατηγορίες S220, S400, S500 (κατά ΕΛΟΤ 959) είτε S400s και S500s (κατά ΕΛΟΤ 971). Η ονοματολογία ορίζεται από την τιμή του ορίου διαρροής, ενώ το διακριτικό s στο τέλος δηλώνει συγκολλησίμους χάλυβες.

Οι χάλυβες S500 και οι S400 (όπως προαναφέρθηκε) είναι προϊόντα θερμής έλασης χωρίς καμία περαιτέρω θερμική ή ψυχρή κατεργασία και οφείλουν την αντοχή τους στη χημική τους σύνθεση. Σε αντίθεση με τους παραπάνω χάλυβες, οι χάλυβες κατηγορίας S400s, S500s είναι προϊόντα θερμής έλασης είτε χωρίς καμία περαιτέρω κατεργασία ή συνθεστέρα (κυρίως για λόγους οικονομικούς) προϊόντα θερμής έλασης που ακολουθείται από μια άμεση εν σειρά διαδικασία θερμικής κατεργασίας. Στη μεν πρώτη περίπτωση η υψηλή αντοχή επιτυγχάνεται με προσθήκη νιοβίου (Nb), βαναδίου (V) ή τιτανίου (Ti), ενώ στη δεύτερη περίπτωση με μια επιφανειακή μαρτενιτική βαφή και επαναφορά του χάλυβα.

Παρά την συνύπαρξη πολλών κατηγοριών, στην πράξη μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του '90 χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά οι χάλυβες S400 και λιγότερο οι S220, ενώ από τα μέσα της δεκαετίας του '90 χρησιμοποιούνταν σχεδόν αποκλειστικά οι χάλυβες S500s και εξακολουθούσε να χρησιμοποιείται (λιγότερο) ο χάλυβας S220. Σημειώνεται ότι σε πολλές περιπτώσεις ενώ οι μελέτες γίνονταν με την παραδοχή χάλυβα S400, στην πράξη χρησιμοποιήθηκε χάλυβας S500s.

Το έτος 2000 εγκρίθηκε ο ελληνικός Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (KTX-2000). Ο KTX-2000 κάλυψε την καθυστέρηση των Προτύπων του ΕΛΟΤ (χωρίς όμως να μπορεί να τα αγνοήσει) και συνέβαλε στην προσέγγιση με τους Ευρωκώδικες EC2 και EC8. Ενδεικτικά, εισήγαγε την ολκιμότητα, όρισε την επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο, τη γεωμετρία των νευρώσεων, επισήμανε τον κίνδυνο της ραδιενέργειας, υπέδειξε όριο για τη διάβρωση, περιέγραψε τη συμπεριφορά των χαλύβων σε υψηλές θερμοκρασίες κ.λπ. Επίσης έβαλε τάξη στις διαδικασίες διάθεσης, διακίνησης, διαχείρισης, ιχνηλασιμότητας κ.λπ. των χαλύβων. Οι ελληνικές βιομηχανίες παραγωγής Χ.Ο.Σ. προσανατολίσθηκαν προς τις νέες αντιλήψεις και, ενώ ο νόμιμος έλεγχος της παραγωγής τους γινόταν με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971, παρήγαγαν χάλυβες με πιο βελτιωμένα χαρακτηριστικά πριν ακόμα τεθούν σε ισχύ τα νέα Πρότυπα. Με την έκδοση των νέων Προτύπων ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3 (που τέθηκαν σε πλήρη ισχύ στις αρχές του 2007) καταργήθηκαν τα Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971 και απαγορεύθηκε η χρήση των κατηγοριών που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Οι τυπικές χημικές συνθέσεις, οι μέθοδοι παραγωγής, αλλά και οι χρονικές περίοδοι που χρησιμοποιήθηκαν οι διάφορες κατηγορίες Χ.Ο.Σ. δίνονται στον Πιν. Π7-4. Επίσης, στον Πιν. Π7-5 δίνονται οι κωδικοί σήμανσης των Ελληνικών βιομηχανιών, καθώς και οι σημάνσεις βιομηχανιών του εξωτερικού που προϊόντα τους έχουν κατά καιρούς εισαχθεί στη χώρα μας.

Πίνακας Π7-4 Τυπικές χημικές συνθέσεις, τρόποι παραγωγής και κύριες περίοδοι χρήσης διάφορων κατηγοριών Χ.Ο.Σ.

Κατηγορία χάλυβα	Τυπική χημική σύνθεση (% κ.β.)						Τρόπος Παραγωγής	Κύρια Περίοδος Χρήσης (δεκαετίες)
	C	Mn	Si	S	P	V		
St I ή S 220	0,08-0,12	≈0,50	≈0,10	0,03-0,06	0,01-0,05	-	Θ.Ε.-Χ.	έως '60
St III ή S 400	0,30-0,40	0,80-1,00	0,20-0,30	0,03-0,06		-	Θ.Ε.-Χ.	'60 έως '90
St III ή S 400s	≈0,15	0,60-1,00	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ.	'90 - '95
St III ελικ/βας	0,10-0,15	≈0,50	≈0,10			-	Ψ.Κ.-Σ	'60 έως '70
St IV ή S 500	0,35-0,40	1,00-1,20	0,20-0,30	0,03-0,06		0,02-0,03	Θ.Ε.-Χ.	'90 - '95
St IV ή S 500	0,40-0,45	≈1,20	0,20-0,30	0,03-0,06		-	Θ.Ε.-Χ.	'90 - '95
St IV ή S 500s	0,18-0,20	1,00-1,20	0,20-0,30	0,03-0,05		0,04-0,09	Θ.Ε.-Χ.	'90 - '95
St IV ή S 500s	0,15-0,20	0,60-1,00	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ.	'92 έως 2007
B500A	0,20-0,22	0,90-1,20	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ. ή Ψ.Κ.-Ο	από 2006
B500C	0,20-0,22	0,90-1,20	0,15-0,30	0,03-0,05		-	Θ.Ε.-Θ.	από 2006

Οπου: Θ.Ε.-Χ. = Θερμή έλαση χωρίς άλλη περαιτέρω κατεργασία, Θ.Ε.-Θ. = Θερμή έλαση με εν σειρά θερμική κατεργασία, Ψ.Κ.-Ο. = Ψυχρή κατεργασία με ολκή ή έλαση, Ψ.Κ.-Σ. = Ψυχρή κατεργασία με στρέψη

Πίνακας Π7-5 Κωδικοί αριθμοί σήμανσης Ελληνικών και ξένων βιομηχανιών

α/α	Κωδικοί αριθμοί	Χώρα παραγωγής	Βιομηχανία	Παρατηρήσεις
1	8 - 13	Ελλάδα	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ	
2	8 - 14	Ελλάδα	ΣΙΔΕΝΟΡ	
3	8 - 15	Ελλάδα	ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ	
4	8 - 18	Ελλάδα	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΑ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	
5	8 - 24	Ελλάδα	ΣΙΔΕΝΟΡ (SOVEL)	
6	8 - 6	Ελλάδα	ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΚΗ ΧΑΛΥΨ	Δεν παράγει πλέον
7	4 - 5	Ιταλία	FERALPI SIDERURGICA	
8	4 - 7	Ιταλία	FERRIERE NORD	
9	4 - 9	Ιταλία	OFFICINE E FON. GALTAROSSA	
10	4 - 15	Ιταλία	LEALI LUIGI	
11	4 – 25/26/27	Ιταλία	ALFA ACCIAI	
12	5 - 4	Ην.Βασίλειο.	ALPHA STEEL	
13	1 - 9	Γερμανία	HES	
14	8-7 και 9-7	Τουρκία	ICDAS	
15	8-9	Τουρκία	COLAKOGLU	CM *
16	-	Τουρκία	ICDAS	ICTR *
17	8-20	Τουρκία	HABAS	H *
18	8 - 17	Τουρκία	EKINCILER DEMIR VE CELIK SANAYI	
19	-	Μολδαβία	-	MOLDOVA *
20	1 – 1**	Ουκρανία	KRIVOROZHSTAL	
21	8 - 12	Ελλάδα	ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ	Από το έτος 2005
22	4-23	Ιταλία	IRO	
23	4-19	Ιταλία	VALSABBIA	
24	4-8	Ιταλία	SCABI	
25	4-3	Ιταλία	SIDERPOTENZA	
26	9-14	Τουρκία	SAYMETAL	
27	-	Τουρκία	KROMAN	KR TR
28	8-13	Τουρκία	IZMIR DEMIR CELIK	
29	1-22	Γερμανία	LECH	
30	1-16 και 1-9	Γερμανία	RIVA	

* Υπάρχουν ανάγλυφα τα στοιχεία αυτά πάνω στη ράβδο.

** Αντί για ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις υπάρχουν κουκίδες πάνω σε κανονικού πάχους νευρώσεις.

Σημείωση: Ο Πίνακας είναι ενδεικτικός. Στους χάλυβες από τρίτες χώρες η σήμανση πολλές φορές εμφανίζεται τροποποιημένη.

Βιβλιογραφία

- Ευρωπαϊκά Πρότυπα EU 80-69, EU 80-85, ENV 10080/94 και EN 10080/05.
- Ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ 959 και ΕΛΟΤ 971
- Ελληνικά Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080, ΕΛΟΤ 1421-2 και ΕΛΟΤ 1421-3.
- Γερμανικά Πρότυπα DIN 488/72 και DIN 488/84
- Αρχείο ΚΕΔΕ - ΥΠΕΧΩΔΕ

Παράρτημα 8 : ΧΑΛΥΒΕΣ ΠΡΟΕΝΤΑΣΗΣ

(Πληροφοριακό)

Π8.1 Γενικά

Παρόλο που οι χάλυβες προέντασης δεν αποτελούν αντικείμενο του παρόντος Κανονισμού, στο Παράρτημα αυτό και μέχρι τη σύνταξη σχετικού κανονιστικού κειμένου, δίνονται συνοπτικές πληροφορίες. Η μέθοδος της προέντασης χρησιμοποιείται είτε σε οικοδομικά είτε σε τεχνικά έργα (π.χ. γέφυρες), “συμβατικώς” - μετά τη σκλήρυνση του σκυροδέματος είτε σε “προεντεταμένη κλίνη” (με προτανυόμενους τένοντες) - πριν την έγχυση του σκυροδέματος.

Οι τένοντες προέντασης έχουν συνήθως τη μορφή ράβδων (λείων ή με νευρώσεις), χονδροσυρμάτων ή συρματόσχοινων, και διατίθενται είτε σε ευθύγραμμη μορφή (δέσμες ράβδων) είτε σε κουλούρες (σε κατάλληλα στροφεία).

Γενικώς, η προένταση χρησιμοποιείται σε φορείς χωρίς αυξημένες απαιτήσεις πλαστιμότητας, και έτσι για τον χάλυβα των τενόντων οι σχετικές απαιτήσεις διαφοροποιούνται σε σχέση με αυτές για τους συνήθεις (“κοινούς”) χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

Η περιεκτικότητα των χαλύβων προέντασης σε άνθρακα είναι αυξημένη, η δε παραγωγή των τενόντων απαιτεί ειδικές θερμικές κατεργασίες και τελικά ψυχρή κατεργασία (για την επαύξηση των τάσεων διαρροής και θραύσης). Έτσι, οι τένοντες προέντασης παρουσιάζουν μικρή κράτυνση και μικρή ολκιμότητα, ενώ είναι περισσότερο ευαίσθητοι σε διάβρωση και ακραίες θερμοκρασίες.

Π8.2 Πιστοποιητικά, Κανονισμοί

Οι κάθε είδους τένοντες προέντασης θα συνοδεύονται από αναλυτικά Πιστοποιητικά του εργοστασίου παραγωγής, πρόσφατα (του τελευταίου εξαμήνου), με πλήρη στοιχεία για το αρχικό και για το τελικό προϊόν, μετά την όποια κατεργασία, διαμόρφωση κ.λπ.

Τα υπόψη Πιστοποιητικά (και Τεύχη Έγκρισης), θα καλύπτουν πλήρως όχι μόνον τους τένοντες καθ’ εαυτούς αλλά και όλα τα συνοδευτικά συστήματα ενώσεων και επεκτάσεων, αγκυρώσεων κ.λπ.

Ειδικώς για τους χάλυβες προέντασης και τους τένοντες ισχύουν τα Ευρωπαϊκά Πρότυπα prN 10138- Μέρη 1 έως 4, ενώ για το προεντεταμένο σκυρόδεμα ισχύουν και οι προβλέψεις/διατάξεις του ΕΚΩΣ (π.χ. Παραγρ. 3.2, 19.4 και 19.5, 20.5 και 20.6, καθώς και 21.2.6 και 21.2.7), που καλύπτουν θέματα:

- Μεταφοράς και αποθήκευσης
- Κάμψης και κοπής
- Ένωσης, σύνδεσης, αγκύρωσης
- Συναρμολόγησης και τοποθέτησης
- Προστασίας, μέσω περιβλημάτων και τσιμεντενέσεων
- Ελέγχων κατά την προένταση κ.λπ.

Π8.3 Ιδιαιτερότητες όσον αφορά τα γεωμετρικά και μηχανικά χαρακτηριστικά

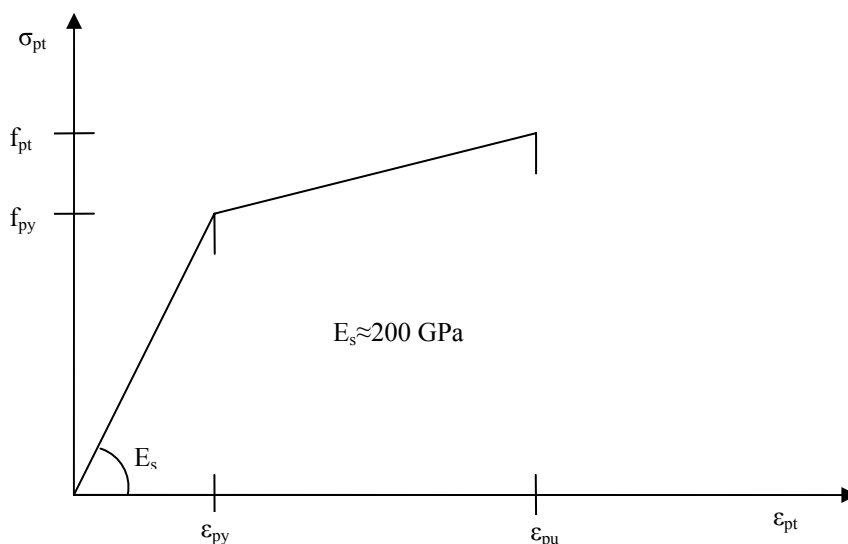
Π8.3.1 Ονομαστική διατομή

Για συρματόσχοινα (“καλώδια”), η ονομαστική διατομή του τένοντα καθορίζεται από το άθροισμα των ονομαστικών διατομών των χονδροσυρμάτων (ή ράβδων) που τα συνθέτουν.

Π8.3.2 Μηχανικά χαρακτηριστικά

Για συρματόσχοινα “καλώδια”, υπό σχετικά χαμηλή ή μέση δύναμη (τάση), το φαινόμενο μέτρο ελαστικότητας του τένοντα είναι μικρότερο του $E_s = 200 \text{ GPa}$.

Κατά τα προβλεπόμενα στον ΕΚΩΣ 2000, το διάγραμμα σ-ε προσδιορίζεται από τα σχετικά Πιστοποιητικά του παραγωγού. Σε περίπτωση έλλειψης ακριβέστερων στοιχείων ή για σκοπούς προμελέτης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το διάγραμμα σ-ε (απλοποιημένο, διγραμμικό) που φαίνεται στο Σχ. Π8-1.



όπου $f_{py} \approx 0,9 f_{pt}$
 ϵ_{py} : Παραμόρφωση διαρροής

Σχήμα Π8-1: Απλοποιημένο διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων χάλυβα προέντασης

Για τη χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής, f_{ptk} , ισχύει η γενική απαίτηση:

$$f_{ptk} \geq \max (1,10 f_{0,2k} , 1,05 f_{0,2obs}) ,$$

όπου ο δείκτης “obs” δηλώνει τη μέση τιμή της αντοχής που προκύπτει από το διάγραμμα της δοκιμής.

Επίσης, οι χάλυβες πρέπει να διαθέτουν επαρκή ολκιμότητα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ανακατανομή έντασης στα προεντεταμένα δομικά στοιχεία. Η ιδιαίτερη αυτή απαίτηση μπορεί να θεωρηθεί πως ικανοποιείται αν:

$$\epsilon_{puk} \geq 0,035 \text{ και } (\epsilon_{puk} - \epsilon_{pyk}) \geq 3 \epsilon_{pyk} .$$

Π8.4 Υψηλές θερμοκρασίες

Σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 200°C επέρχεται έντονη απομείωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των χάλυβων προέντασης έναντι των αντίστοιχων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (20°C).

Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στους 400°C (σε σχέση με τους 20°C):

- Το όριο αναλογίας απομειώνεται κατά περίπου 70%,
- Τα f_{py} και f_{pt} απομειώνονται κατά περίπου 50%.

Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 600°C, η αντοχή των χάλυβων προέντασης ουσιαστικά μηδενίζεται.

Επίσης σημειώνεται ότι η χαλάρωση επηρεάζεται σημαντικά από τη θερμοκρασία. Ενδεικτικά αναφέρεται, πως στους 60°C η χαλάρωση είναι διπλάσια από ό,τι στους 20°C.

Π8.5 Διάβρωση

Οι κάθε είδους τένοντες προέντασης είναι επιρρεπείς σε διάβρωση, και μάλιστα έναντι “διάβρωσης υπό τάση”.

Οι χάλυβες προέντασης μπορεί να αστοχήσουν απότομα (χωρίς προηγούμενες ενδείξεις). Σε αυτό συντελεί η υψηλή εφελκυστική αντοχή και η συνεχής παρουσία υψηλής τάσης στον χάλυβα. Τοπικές ασυνέχειες στα σύρματα ή τις ράβδους βάθους ελάχιστων δέκατων του χιλιοστού, που μπορεί να προέρχονται από αμυχές στην επιφάνεια του χάλυβα ή τοπική διάβρωση (π.χ. βελονισμοί), μπορούν να αποτελέσουν την έναρξη μιας ψαθυρής αστοχίας.

Κατά τον Ευρωκώδικα EC 2 Παραγρ. 3.3.5.3 και το Πρότυπο prEN10138-1 Παραγρ. 5.9, οι τένοντες προέντασης πρέπει να διαθέτουν επαρκές και αποδεκτό κάτω όριο ανθεκτικότητας (και αντοχής) σε “διάβρωσης υπό τάση”, με βάση τα αποτελέσματα δοκιμής με NH_4SCN (θειοκυανιούχο αμμώνιο) όπως αυτή περιγράφεται στο prEN10138-1 Παραγρ. 5.9.

Η ευαισθησία έναντι “διάβρωσης υπό τάση” θεωρείται ικανοποιητικά χαμηλή όταν ο ελάχιστος χρόνος για θραύση κατά τη δοκιμή υπερβαίνει τις τιμές που δίνονται στον Πιν. Π8-1.

Πίνακας Π8-1: Ελάχιστος χρόνος για θραύση κατά τη δοκιμή με NH₄SCN

Προϊόν	Διάμετρος σε mm	Ελάχιστος χρόνος για τη θραύση σε ώρες	
		Μεμονωμένες δοκιμές	Μέση τιμή όλων των δοκιμών
Σύρμα	Όλες	1,5	4
Συρματόσχοινο	Όλες	1,5	4
Ράβδοι	< 12	20	50
	12 ≤ Ø < 25	60	250
	25 ≤ Ø < 40	100	400

Στα Πιστοποιητικά των χαλύβων προέντασης (βλ. και προηγούμενη Παραγρ. 2), θα περιλαμβάνονται και τα αποτελέσματα των δοκιμών “διάβρωση υπό τάση”, κατά την παρούσα Παράγραφο.

Π8.6 Διακίνηση, μεταφορά , αποθήκευση κ.λπ.

Ισχύει ό,τι και για τους “κοινούς” χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, με την επισημάνση πως γενικώς απαγορεύεται η ενσωμάτωση τενόντων προέντασης που παρουσιάζουν πληγές, βλάβες, φθορές, αλλοιώσεις κ.λπ.

Πριν την ενσωμάτωση, θα εξετάζεται εάν απαιτείται η αφαίρεση αντιδιαβρωτικών ουσιών που έχουν χρησιμοποιηθεί (προσωρινά) κατά την αποθήκευση των τενόντων προέντασης.

Οι ηλεκτροσυγκολλήσεις τενόντων προέντασης, τόσο μεταξύ τους όσο και με άλλα χαλύβδινα στοιχεία απαγορεύονται. Επίσης, απαγορεύεται η κάθε είδους θέρμανσή τους.

Οι ενώσεις των τενόντων προέντασης θα γίνονται αποκλειστικά με ειδικούς συνδέσμους (επεκτατήρες, couplers), οι οποίοι θα εφαρμόζονται σύμφωνα με τις οδηγίες του εργοστασίου παραγωγής τους. Σε κάθε περίπτωση οι σύνδεσμοι αυτοί θα συνοδεύονται από τα σχετικά Πιστοποιητικά τους (βλ. και Παραγρ. 2).

Τέλος, απαγορεύεται κάθε κάμψη, παραμόρφωση κ.λπ., ενώ καμφθέντες ή παραμορφωμένοι τένοντες απορρίπτονται.

Παράρτημα 9: ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΚΑΙ ΥΓΕΙΑ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΩΝ

(Πληροφοριακό)

Στο Παράρτημα αυτό γίνεται γενική αναφορά στα θέματα ασφαλείας και υγείας των εργαζομένων κατά τη διακίνηση, διαμόρφωση και τοποθέτηση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Στην Παραγρ. 9.1 αναφέρονται κωδικοποιημένες οι κύριες σχετικές διατάξεις (Νόμοι, Προεδρικά Διατάγματα και Υπουργικές Αποφάσεις), ενώ στις επόμενες παραγράφους γίνεται μια ομαδοποίηση των απαιτήσεων ανά κατηγορία ή/και ανά δραστηριότητα, καθώς και ενδεικτική αναφορά στα σημαντικότερα, από πλευράς επικινδυνότητας, σημεία.

Π9.1 Ισχύουσα σχετική νομοθεσία

1. Π.Δ. 95/1978 «Περί μέτρων υγιεινής και ασφάλειας των απασχολούμενων εις εργασίας συγκολλήσεων».
2. Π.Δ. 778/1980 «Περί μέτρων ασφαλείας κατά την εκτέλεσιν οικοδομικών εργασιών».
3. Π.Δ. 1073/1981 «Περί μέτρων ασφαλείας κατά την εκτέλεσιν εργασιών εις εργοτάξια οικοδομών και πάσης φύσεως έργων αρμοδιότητος Πολιτικού Μηχανικού».
4. Ν. 1396/1983 «Υποχρεώσεις λήψης και τήρησης των μέτρων ασφαλείας στις οικοδομές και λοιπά ιδιωτικά τεχνικά έργα».
5. Ν. 1430/1984 «Κύρωση της 62 Διεθνούς Σύμβασης Εργασίας «που αφορά τις διατάξεις ασφαλείας στην οικοδομική βιομηχανία» και ρύθμιση θεμάτων που έχουν άμεση σχέση μ' αυτή».
6. Υ.Α. 130646/1984 «Ημερολόγιο μέτρων ασφαλείας».
7. Ν. 1568/1985 «Υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων».
8. Π.Δ. 225/1989 «Υγιεινή και ασφάλεια στα υπόγεια έργα».
9. Π.Δ. 70/1990 «Υγιεινή και ασφάλεια των εργαζομένων σε ναυπηγικές εργασίες», Άρθρο 15.5, Θερμές εργασίες
10. Π.Δ. 85/1991 «Προστασία των εργαζομένων από τους κινδύνους που διατρέχουν λόγω της έκθεσής τους στο θόρυβο κατά την εργασία, σε συμμόρφωση προς την οδηγία 86/188/ΕΟΚ».
11. Π.Δ. 377/1993 «Προσαρμογή της Ελληνικής Νομοθεσίας στις Οδηγίες 89/392/ΕΟΚ και 91/368/ΕΟΚ του Συμβουλίου των Ευρωπαϊκών Κοινοτήτων σχετικά με τις μηχανές».
12. Π.Δ. 395/1994 «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας για τη χρησιμοποίηση εξοπλισμού εργασίας από τους εργαζόμενους κατά την εργασία τους σε συμμόρφωση προς την οδηγία του Συμβουλίου 88/642/ΕΟΚ».
13. Π.Δ. 396/1994 «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας για τη χρήση από τους εργαζόμενους εξοπλισμών ατομικής προστασίας κατά την εργασία σε συμμόρφωση προς την οδηγία του Συμβουλίου 88/655/ΕΟΚ».
14. Π.Δ. 397/1994 «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας κατά την χειρωνακτική διακίνηση φορτίων που συνεπάγεται κίνδυνο ιδίως για τη ράχη και την οσφυϊκή χώρα των εργαζομένων σε συμμόρφωση προς την οδηγία του Συμβουλίου 90/269/ΕΟΚ».
15. Π.Δ. 105/1995 «Ελάχιστες προδιαγραφές για την σήμανση ασφαλείας ή/και υγείας στην εργασία σε συμμόρφωση με την Οδηγία 92/58/ΕΟΚ».
16. Π.Δ. 16/1996 «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας στους χώρους εργασίας σε συμμόρφωση με την οδηγία 89/654/ΕΟΚ
17. Π.Δ.17/1996 «Μέτρα για την βελτίωση της ασφάλειας και της υγείας των εργαζομένων κατά την εργασία σε συμμόρφωση με τις οδηγίες 89/391/ΕΟΚ και 91/383/ΕΟΚ».
18. Π.Δ. 18/1996 - Τροποποίηση του π.δ/τος 377/1993 «σχετικά με τις μηχανές σε συμμόρφωση προς τις οδηγίες του Συμβουλίου 93/44/ΕΟΚ και 93/68/ΕΟΚ»
19. Π.Δ. 305/1996 «Ελάχιστες προδιαγραφές ασφάλειας και υγείας που πρέπει να εφαρμόζονται στα προσωρινά ή κινητά εργοτάξια σε συμμόρφωση προς την οδηγία 92/57/ΕΟΚ».
20. Π.Δ. 88/1999 «Ελάχιστες προδιαγραφές για την οργάνωση του χρόνου εργασίας σε συμμόρφωση με την οδηγία 93/104/ΕΚ
21. Π.Δ. 89/1999 «Τροποποίηση του Π.Δ. 395/1994 σε συμμόρφωση με την οδηγία 95/63/ΕΚ του Συμβουλίου»
22. Υ.Α. οικ. 16289/330/1999, Άρθρα 3. 9. 15 «Συμμόρφωση της Ελληνικής Νομοθεσίας με την Οδηγία 97/23/ΕΟΚ του Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και Συμβουλίου σχετικά με τον εξοπλισμό υπό πίεση».
23. Π.Δ. 304/2000 «Τροποποίηση του Π.Δ 395/1994 όπως αυτό τροποποιήθηκε με το Π.Δ 89/1999».
24. Εγκύκλιος του Υπουργείου. Εργασίας αποφ. οικ. 130329/1995 «Αντιμετώπιση της θερμικής καταπόνησης των εργαζομένων κατά το θέρος».
25. Υ.Α. 7568 Φ.700.1, Πυροσβεστική Διάταξη 7/1996 (ΦΕΚ 155/Β'/13.3.96) Άρθρο 2.5) «Λήψη μέτρων πυροπροστασίας κατά την εκτέλεση θερμών εργασιών».
26. Ν. 2696/1999/Α-57 Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας, Άρθρο 32.

Τα ανωτέρω κείμενα διατίθενται:

- Σε έντυπη μορφή από το Υπουργείο Εργασίας, Διεύθυνση Συνθηκών Εργασίας, Επικούρου 29, 105 53 Αθήνα, καθώς και από το Εθνικό Τυπογραφείο (ΦΕΚ)
- Σε ηλεκτρονική μορφή στους δικτυακούς τόπους:
 - του Υπουργείου Εργασίας <http://www.vpakkp.gr>
 - του Ελληνικού Ινστιτούτου Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας (ΕΛΙΝΥΑΕ) <http://www.elinyae.gr> .

Π9.2 Μέσα ατομικής προστασίας

Τα Μέσα Ατομικής Προστασίας (Μ.Α.Π.) καθορίζονται γενικά από το Π.Δ. 396/1984 και τον Ν. 1430/1984 (Άρθρο 16), ενώ στο Π.Δ. 1073/1981 (Άρθρα 102-110) τα μέσα εξειδικεύονται στα έργα Πολιτικού Μηχανικού.

Στα Μ.Α.Π. που προβλέπονται κατά περίπτωση, περιλαμβάνονται: κράνος, ενισχυμένα υποδήματα, γάντια κοινά και ειδικών προδιαγραφών, δερμάτινες ποδιές, ατομικές ζώνες και σχοινιά ασφαλείας, γυαλιά και προσωπίδες με απορροφητικά κρύσταλλα, μάσκες συγκράτησης σκόνης, ωτοασπίδες ή ωτοπώματα κ.λπ.

Επισημαίνεται ότι για κάθε τύπο Μ.Α.Π. ισχύουν Ευρωπαϊκά Πρότυπα (ΕΝ) στα οποία καθορίζονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά, οι αντοχές, τα υλικά κατασκευής κ.λπ. Τα Μ.Α.Π. που χρησιμοποιούνται στο εργοτάξιο πρέπει να συνοδεύονται από πιστοποιητικά από τα οποία να προκύπτει συμμόρφωσή τους προς τα οικεία Πρότυπα.

Κωδικός Προτύπου	Τίτλος	Ημερομηνία Έκδοσης
ΕΛΟΤ EN 13087.02/A1	Κράνη προστασίας - Μέθοδοι δοκιμής - Μέρος 2: Απορρόφηση κτυπήματος	2002-04-15
ΕΛΟΤ CR 13464	Οδηγός για την επιλογή, χρήση και συντήρηση των επαγγελματικών μέσων προστασίας ματιών και προσώπου	1999-05-04
ΕΛΟΤ EN 14404	Μέσα ατομικής προστασίας - Προστατευτικά γονάτου για εργασία σε γονατιστή θέση	2005-05-11
ΕΛΟΤ EN 169 E3	Μέσα ατομικής προστασίας ματιών - Φίλτρα για συγκόλληση και σχετικές εργασίες - Απαιτήσεις απορρόφησης και συνιστώμενη χρήση	2003-05-30
ΕΛΟΤ EN 379 E2	Ατομική προστασία ματιών - Αυτόματα φίλτρα συγκόλλησης	2003-12-04
ΕΛΟΤ EN 470.01/A1	Προστατευτική ενδυμασία για χρήση σε συγκολλήσεις και σχετικές διεργασίες - Μέρος 1: Γενικές απαιτήσεις	1998-09-03
ΕΛΟΤ EN ISO 20347	Μέσα ατομικής προστασίας - Υποδήματα τύπου εργασίας	2004-09-20
ΕΛΟΤ EN 12477	Γάντια προστασίας για συγκολλητές	2001-12-05

Π9.3 Μέτρα συλλογικής προστασίας

Τα μέτρα συλλογικής προστασίας είναι γενικού χαρακτήρα και προβλέπονται από τα Π.Δ. 1073/1981 (Άρθρα 85-87, 91, 101), Ν. 1430/1984 (Άρθρο 18), Π.Δ. 16/1996, Παραρτήματα Ι, ΙΙ και ΙV), Π.Δ. 305/1996 (Παράρτημα ΙV), Π.Δ. 778/1980 (Άρθρο 21), Π.Δ. 85/1991 και Π.Δ. 105/1995.

Στα μέτρα συλλογικής προστασίας περιλαμβάνονται τα ακόλουθα:

- Εξασφάλιση από πτώση (κιγκλιδώματα ασφαλείας, προστατευτικά δίκτυα κ.λπ.)
- Εξασφάλιση από ηλεκτροπληξία
- Σήμανση ασφαλείας
- Περίφραξη εργοταξίου κ.λπ.
- Ύπαρξη υλικού πρώτων βοηθειών σε εμφανή θέση
- Απαγόρευση χρήσης οινοπνευματωδών, απαγόρευση εισόδου σε άτομα που βρίσκονται σε κατάσταση μέθης ή υπό την επήρεια ναρκωτικών ουσιών.

Π9.4 Ανύψωση φορτίων και ανυψωτικά μηχανήματα

Σχετικές διατάξεις περιλαμβάνονται στα Π.Δ. 1073/1981 (Άρθρα 52-71, 85-87), Ν. 1430/1984 (Άρθρα 11-15), Π.Δ. 377/1993 (Παράρτημα Ι, Παράγραφος 4), Π.Δ. 395/1994 (Παραρτήματα Ι και ΙΙ), Π.Δ. 305/1996 (Παράρτημα ΙV).

Επισημαίνονται οι ακόλουθες βασικές απαιτήσεις:

- Η τοποθέτηση και η χρήση των ανυψωτικών μηχανημάτων θα γίνεται έτσι ώστε οι τροχιές τους να μην προσεγγίζουν εναέριους αγωγούς ηλεκτρικού ρεύματος ή τροχιές άλλων ανυψωτικών μηχανημάτων.

- Απαγορεύεται η διέλευση κάτω από ανυψωμένα φορτία.
- Ο χειρισμός των ανυψωτικών μηχανημάτων θα γίνεται από αδειούχους χειριστές.
- Θα υπάρχει πλήρης εποπτεία της διαδρομής του φορτίου από το χειριστή ή όταν αυτό δεν είναι εφικτό να υπάρχει έμπειρος και υπεύθυνος τεχνικός που θα κατευθύνει τους χειρισμούς (κουμανταδόρος).
- Σχοινιά, συρματόσχοινα, αλυσίδες, άγκιστρα, αρτάνες (σαμπάνια) κ.λπ. θα είναι ενιαίας και επαρκούς αντοχής, χωρίς κόμβους και θα επιθεωρούνται καθημερινά, από έμπειρο και ικανό προσωπικό.
- Απαγορεύεται η ανύψωση των δεμάτων ράβδων οπλισμού σκυροδέματος από τα δεσίματα συσκευασίας-συγκράτησής τους.
- Οι αρτάνες (σαμπάνια) θα σημαίνονται κατάλληλα και θα λαμβάνεται πρόνοια ώστε να μην αστοχούν οι ενώσεις τους.

Π9.5 Διακίνηση

Για τα σχετικά με τη διακίνηση φορτίων με αυτοκίνητα, ο Κώδικας Οδικής Κυκλοφορίας (Άρθρο 32) προβλέπει σε γενικές γραμμές τα εξής:

- Πρέπει να επιλέγεται το κατάλληλο όχημα για τη μεταφορά.
- Το φορτίο πρέπει να τοποθετείται πάνω στο όχημα έτσι ώστε να μην υπάρχει οποιοσδήποτε κίνδυνος, να μην περιορίζεται η ορατότητα του οδηγού και να μην καλύπτονται οι φανοί (προειδοποίησης αλλαγής κατεύθυνσης, στάσης κ.λπ.) του οχήματος.
- Να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα μέτρα ασφαλείας. Ιμάντες, εξαρτήματα, εντατήρες, καλώδια, σχοινιά, αλυσίδες, καλύμματα κ.λπ. που χρησιμοποιούνται για εξασφάλιση ή προστασία του φορτίου πρέπει να σφίγγονται και να στερεώνονται καλά.
- Το φορτίο απαγορεύεται να προεξέχει από το πίσω τμήμα του οχήματος περισσότερο από 30% του μήκους του αμαξώματος (άλλως απαιτείται ειδική άδεια).
- Τα προεξέχοντα φορτία πρέπει να σημαίνονται με κατάλληλη πινακίδα.
- Η εκφόρτωση διαμορφωμένου οπλισμού με ανατροπή απαγορεύεται απολύτως. Η εκφόρτωση μη διαμορφωμένου (ευθύγραμμου ή σε κουλούρες) οπλισμού συνιστάται να μην γίνεται με ανατροπή, αν όμως αυτό δεν είναι εφικτό, απαγορεύεται η χρήση γράσου ή άλλου αντίστοιχου υλικού για τη διευκόλυνση της ολίσθησης των οπλισμών.

Π9.6 Διαμόρφωση

Στο Π.Δ. 17/1996 (Άρθρο 7, Παρ. 9) ορίζονται τα της συνυπευθυνότητας στην περίπτωση κατά την οποία πολλά συνεργεία, υπό διαφορετικούς εργοδότες-εργολάβους, μοιράζονται τον ίδιο τόπο εργασίας (μονάδες διαμόρφωσης, εργοτάξια), τον έλεγχο του οποίου έχει άλλο πρόσωπο. Οι εργοδότες, εργολάβοι κ.λπ. οφείλουν να συνεργάζονται για την εφαρμογή των διατάξεων σχετικά με την ασφάλεια, την υγεία και υγιεινή, να συντονίζουν τις δραστηριότητές τους για την προστασία των εργαζομένων και την πρόληψη των επαγγελματικών κινδύνων, να αλληλοενημερώνονται και να ενημερώνει ο καθένας τους υπό αυτόν εργαζομένους και τους εκπροσώπους τους για τους κινδύνους αυτούς και τις υποχρεώσεις τους, όσον αφορά την πιστή εφαρμογή των οδηγιών που τους δίδονται. Την ευθύνη συντονισμού των δραστηριοτήτων αναλαμβάνει υποχρεωτικώς το πρόσωπο που έχει υπό τον έλεγχό του τον τόπο εργασίας.

Γενικώς, τα θέματα που αναφέρονται σε εξοπλισμούς εργασίας και μηχανήματα καλύπτονται από τα Π.Δ. 1073/1981 (Άρθρα 45-51), Ν. 1568/1985 (Άρθρα 22, 23), Π.Δ. 377/1993 (Παράρτημα Ι), Π.Δ. 395/1994 (Παράρτηματα Ι και ΙΙ), Π.Δ. 18/1996 και Π.Δ. 305/1996 (Παράρτημα ΙV). Ειδικότερα, τα μηχανήματα διαμόρφωσης (κουρμαδόροι, ψαλίδια, στράντζες, αυτόματοι διαμορφωτές κ.λπ.) πρέπει να έχουν σήμα CE και να συνοδεύονται από εγχειρίδιο του κατασκευαστή μεταφρασμένο στα ελληνικά, από γραπτές οδηγίες ασφαλούς χρήσης και συντήρησης και να φέρουν όλες τις απαραίτητες για την ασφάλεια των εργαζομένων προειδοποιητικές ενδείξεις και σημάνσεις.

Π9.7 Τοποθέτηση

Γενικώς τα θέματα ασφαλείας που αναφέρονται στα δάπεδα εργασίας, στις κλίμακες, στα ικρίωματα, στα ανοίγματα οριζοντίων και κατακόρυφων επιφανειών καθώς και σε θέματα καιρικών συνθηκών καλύπτονται από την Εγκύκλιο του Υπουργείου Εργασίας Αποφ. οικ. 130329/1995, τα Π.Δ. 778/1980, 225/1989, 395/1994, 16/1996, 305/1996, τον Ν 1430/1984 και την Υ.Α. 16440/Φ.10.4/445/1993.

Οι εργασίες που σχετίζονται με την τοποθέτηση του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος είναι από τις πλέον επικίνδυνες. Τα συχνότερα ατυχήματα συμβαίνουν από πτώσεις από ύψος και ηλεκτροπληξία. Γι' αυτό συνιστάται:

- Η λίπανση του ξυλοτύπου να γίνεται ομοιόμορφα και να μην υπάρχουν περιοχές με πλεόνασμα λιπαντικού.
- Να γίνεται καλή στερέωση του οπλισμού, χωρίς ελλείψεις στα δεσίματα.
- Απαγορεύεται η μεταφορά των ράβδων από όροφο σε όροφο με τη μέθοδο της «πάσας»
- Εάν πλησίον του εργοταξίου διέρχονται αγωγοί ηλεκτρικού ρεύματος, τα μέτρα ασφαλείας τα οποία πρέπει να ληφθούν (π.χ. κατασκευή προστατευτικών σανιδωμάτων, ειδικών ξύλινων πλασίων – περιθωρίων ασφαλείας στα

σημεία διέλευσης) εξετάζονται από κοινού από την ΔΕΗ, τον ανάδοχο του έργου και τον Επιβλέποντα Μηχανικό, σύμφωνα με το Άρθρο 79 του Π.Δ. 1073/1981.

- Με μέριμνα του Τεχνικού Ασφαλείας θα ενημερώνονται οι εργαζόμενοι και θα εφιστάται η προσοχή τους στην εφαρμογή ορθών και ασφαλών πρακτικών εκτέλεσης των δραστηριοτήτων τους.

Π9.8 Συγκολλήσεις

Γενικά τα θέματα ασφαλείας σχετικά με τις συγκολλήσεις καθορίζονται από τα Π.Δ. 95/1978, Π.Δ. 1073/1981 (Άρθρα 96β, 96γ), Π.Δ. 70/1990 (Άρθρο 15.5), Υ.Α. οικ. 16289/330/1999 (Άρθρα 3. 9. 15) και Υ.Α. 7568 Φ.700.1, Πυροσβεστική Διάταξη 7/1996 Άρθρο 2.5).

Συνοπτικά και ενδεικτικά αναφέρονται τα εξής:

- Οι συσκευές ηλεκτροσυγκόλλησης καθώς και τα παρελκόμενά τους πρέπει να διατηρούνται σε άριστη κατάσταση, να ελέγχονται και να συντηρούνται τακτικά και με επιμέλεια από ειδικευμένο προσωπικό. Πρέπει να γειώνονται κατάλληλα η συσκευή ηλεκτροσυγκόλλησης, ο πάγκος εργασίας και οι κάθε είδους οπλισμοί. Το τροφοδοτικό καλώδιο (υψηλής τάσης) να είναι μονωμένο με ενισχυμένη μόνωση, καθώς και όλα τα παρελκόμενα και κινητά μέρη της συσκευής που βρίσκονται υπό ηλεκτρική τάση.
- Τα δάπεδα εργασίας πρέπει να πληρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις από απόψεως αντοχής, αντιολισθηρότητας και πυρασφάλειας, να διατηρούνται καθαρά και να έχουν κατάλληλες διατάξεις και κλίσεις, ώστε να μη λιμνάζουν νερά. Σε υγρά δάπεδα εργασίας πρέπει να τοποθετείται κατάλληλο μονωτικό υλικό.
- Πρέπει να εξασφαλίζεται πλήρης αερισμός των θέσεων εργασίας καθώς και άμεση απαγωγή των παραγομένων από την συγκόλληση αερίων.
- Δεν επιτρέπονται εργασίες συγκόλλησης κοντά σε εύφλεκτα και εκρηκτικά υλικά ή όταν υπάρχει σχετικός κίνδυνος λόγω εργασιών άλλων συνεργείων.
- Στους χώρους συγκολλήσεων πρέπει να υπάρχει επαρκής αριθμός πυροσβεστήρων και άλλων μέσων καταστολής πυρκαγιάς. Οι θέσεις συγκολλήσεων πρέπει να οριοθετούνται με κατάλληλα προστατευτικά πετάσματα, για την προστασία των εργαζομένων και άλλων προσώπων που βρίσκονται παράπλευρα.

Π9.9 Αντιμετώπιση άλλων θεμάτων

Κατά τις εργασίες διακίνησης, διαμόρφωσης, και τοποθέτησης του χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος οι εργαζόμενοι παραμένουν σε επίτονες στάσεις εργασίας για τον κορμό και την οσφυϊκή χώρα, για τα κάτω και άνω άκρα, για τον καρπό και για τον αυχένα, εξαιτίας της χειρωνακτικής διακίνησης των ράβδων, και των βλαπτικών στάσεων εργασίας.

Τα θέματα ασφάλειας και υγείας που σχετίζονται με την χειρωνακτική διακίνηση φορτίων και που συνεπάγονται κίνδυνο ιδίως για τη ράχη και την οσφυϊκή χώρα των εργαζομένων καθορίζονται από το Π.Δ. 397/1994.

Όταν δεν μπορεί να αποφευχθεί η χειρωνακτική διακίνηση φορτίων από τον εργαζόμενο, το Π.Δ. 397/1994 προβλέπει μεταξύ άλλων, ότι ο εργοδότης πρέπει να:

- Αξιολογεί της συνθήκες ασφάλειας και υγείας του συγκεκριμένου τύπου εργασίας,
- Μεριμνά για την αποφυγή ή μείωση του κινδύνου βλάβης της ράχης και της οσφυϊκής χώρας των εργαζομένων,
- Παρέχει γενικές υποδείξεις ή ακριβείς πληροφορίες (όποτε είναι δυνατό),
- Λαμβάνει τα κατάλληλα οργανωτικά μέτρα καθώς και να χρησιμοποιεί και να παρέχει στους εργαζόμενους τα κατάλληλα μέσα,

Σε κάθε περίπτωση θα συνεκτιμώνται τα χαρακτηριστικά του φορτίου (βάρος, κατανομή βάρους, όγκος, σχήμα, χειρισμός κ.α.), η απαιτούμενη σωματική προσπάθεια (κοπώδης, σε ασταθή θέση, απότομες μετακινήσεις, στροφή κορμού κ.α.), τα χαρακτηριστικά του εργασιακού περιβάλλοντος (ελεύθερος χώρος, ανώμαλο ή ασταθές δάπεδο, δάπεδο με ανεπιπεδότητες και ανισοσταθμίες, ελεύθερο ύψος, δυσμενείς καιρικές συνθήκες κ.α.) και τα χαρακτηριστικά της εργασίας (ρυθμός εργασίας, ανεπαρκής χρόνος ανάπαυσης, παρατεταμένες σωματικές προσπάθειες κ.α.).

Παράρτημα 10: ΚΟΠΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

(Πληροφοριακό)

Π10.1 Γενική Θεώρηση

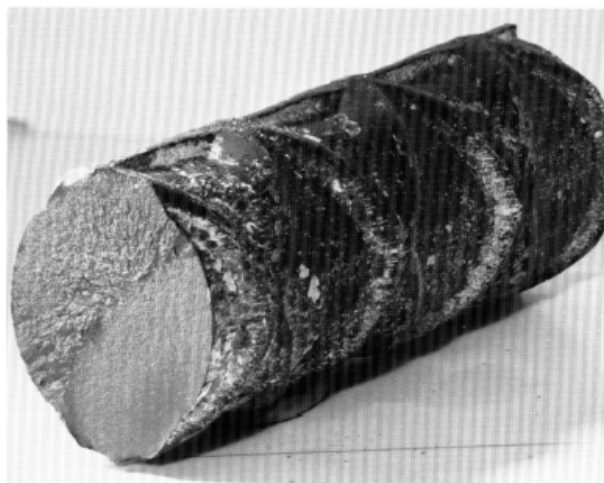
Κόπωση είναι η διαδικασία κατά την οποία πραγματοποιούνται προοδευτικά μόνιμες αλλαγές στην εσωτερική δομή ενός υλικού το οποίο υπόκειται σε κυκλικές μεταβολές τάσεων (επαναλαμβανόμενες ή εναλλασσόμενες, περιοδικές ή μη). Οι αλλαγές αυτές είναι βλαπτικές, προκαλούν προοδευτική αύξηση των ρωγμών και καταλήγουν σε πλήρη θραύση του υλικού εάν το πλήθος των κύκλων φορτίσεων υπερβεί ένα όριο. Η θραύση προκαλείται για τιμές τάσεων μικρότερες της αντοχής του υλικού σε στατική μονότονη φόρτιση. Για τις πρακτικές εφαρμογές έργων πολιτικού μηχανικού, το πλήθος των κύκλων φόρτισης το οποίο απαιτείται να αντέξει ένα υλικό είναι της τάξης των 2×10^6 έως 10×10^6 (βλ. Ευρωκώδικα 1).

Κατά κανόνα, η κόπωση δεν εμφανίζεται συχνά σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και τούτο διότι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την κόπωση είναι το εύρος της διακύμανσης των τάσεων και το πλήθος των κύκλων φόρτισης. Έτσι, στις συνήθεις κτιριακές κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, στις οποίες τα νεκρά φορτία αντιπροσωπεύουν το μεγαλύτερο μέρος της στατικής έντασης, τα ωφέλιμα φορτία αφενός μεν προκαλούν μικρού εύρους διακυμάνσεις τάσεων, αφετέρου δε το πλήθος των διακυμάνσεων, στην συνολική διάρκεια ζωής της κατασκευής, είναι μικρό. Σε ειδικές όμως κατασκευές ή περιπτώσεις (π.χ. γέφυρες, γερανογέφυρες, εδράσεις μηχανών, πλωτές κατασκευές, προκατασκευη κ.λπ.) ενδέχεται τόσο το εύρος διακύμανσης των τάσεων όσο και το πλήθος των κύκλων φόρτισης να είναι σημαντικά, οπότε πρέπει να εξετάζεται το πρόβλημα της κόπωσης. Αστοχία από κόπωση θα προκληθεί εάν τουλάχιστον η μία από τις ακραίες τάσεις κάθε κύκλου είναι εφελκυστική. Σημειώνεται ότι στις περιπτώσεις ολιγοκυκλικής καταπόνησης και μεγάλου εύρους διακύμανσης τάσεων, όπως π.χ. συμβαίνει σε έναν μεγάλο σεισμό, δεν προκαλούνται ουσιαστικά φαινόμενα κόπωσης (βλ. ΕΑΚ και ΕΚΩΣ).

Γενικώς, στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα, προβλήματα κόπωσης είναι δυνατόν να εμφανισθούν είτε στο σκυρόδεμα, είτε στον χάλυβα είτε, τέλος, στη συνάφεια σκυροδέματος και χάλυβα. Στο Παράρτημα αυτό εξετάζεται μόνο η κόπωση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Για την κόπωση του σκυροδέματος και της συνάφειας βλ. EN 1992-1-1 (EC 2).

Π10.2 Μηχανισμός θραύσης από κόπωση

Η θραύση από κόπωση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος συνήθως πραγματοποιείται σε τρία στάδια: Στο πρώτο στάδιο ξεκινάει μια ρωγμή, συνήθως από κάποιο ελάττωμα ή κάποια ασυνέχεια. Στο δεύτερο στάδιο η ρωγμή επεκτείνεται. Στο τρίτο στάδιο επέρχεται η θραύση της ράβδου, λόγω της μείωσης της διατομής που προκαλεί η πρόοδος της ρωγμής (το αρηγμάτωτο τμήμα της διατομής δεν είναι πλέον σε θέση να αναλάβει την επιβαλλόμενη τάση). Η αστοχία από κόπωση μπορεί να αναγνωρισθεί από τη χαρακτηριστική μορφή που παρουσιάζει η επιφάνεια θραύσης της ράβδου (μια τυπική μορφή θραύσης φαίνεται στο Σχ. Π10-1). Η επιφάνεια παρουσιάζει δύο διακεκριμένες περιοχές: η μία περιοχή έχει λεία επιφάνεια (λόγω της λείανσης που προκαλείται από τα διαδοχικά ανοίγματα και κλεισίματα της ρωγμής), ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια έχει τραχεία-κοκκώδη υφή (λόγω της απότομης ψαθυρής θραύσης της ράβδου χωρίς την παρουσία λαιμού).



Σχήμα Π10-1 Θραύση από κόπωση ράβδου οπλισμού σκυροδέματος
(από το ACI 215R-74 «Considerations for Design of Concrete Structures
Subjected to Fatigue Loading»)

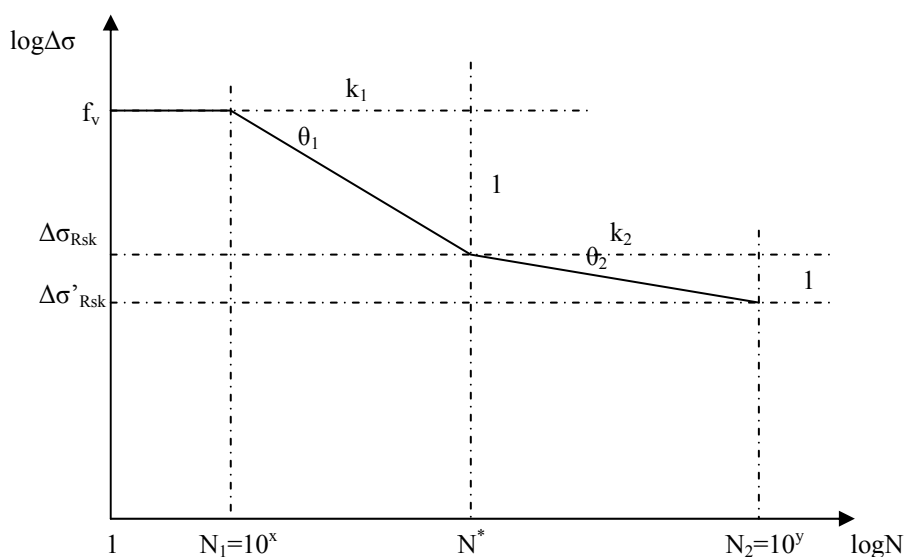
Π10.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη κόπωση

Εκτός από το εύρος διακύμανσης της τάσης ($\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$) και το πλήθος των κύκλων φόρτισης, N , οι οποίοι είναι οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν τη συμπεριφορά των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε κόπωση, άλλοι παράγοντες είναι:

- Η συχνότητα της επαναλαμβανόμενης φόρτισης
- Οι συγκεντρώσεις τάσεων που προκαλούνται από την παρουσία βελονισμών, εγκοπών ή πληγών στην επιφάνεια της ράβδου
- Η ύπαρξη νευρώσεων οι οποίες καταλήγουν απότομα στον κορμό της ράβδου, χωρίς δηλαδή να υπάρχει κατάλληλη καμπύλη συναρμογής (η αντοχή σε κόπωση μειώνεται όσο μειώνεται ο λόγος της ακτίνας καμπυλότητας στην περιοχή συναρμογής προς το ύψος της νευρώσης)
- Η παρουσία συγκολλήσεων και οι ενδεχόμενες κάμψεις και επανευθυγραμμίσεις των ράβδων (η αντοχή σε κόπωση μπορεί να μειωθεί έως και κατά 50%)
- Το περιβάλλον. Όταν ο συνδυασμός υλικού και περιβάλλοντος ευνοεί τη διάβρωση με βελονισμούς, τότε ευνοείται η ανάπτυξη και η διάδοση ρωγμών. Ο συνδυασμός της διαβρωτικής επίδρασης με την κυκλική καταπόνηση στα μέταλλα, είναι γνωστός ως “κόπωση διάβρωσης”
- Το μέγεθος των κόκκων και το πορώδες του πολυκρυσταλλικού υλικού
- Η τραχύτητα της επιφάνειας (επιφανειακές ανωμαλίες)
- Οι κατεργασίες επιφανειακής σκλήρυνσης. Ειδικώς, η θερμική κατεργασία (βαφή και επαναφορά) των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, προκαλεί αύξηση της αντοχής σε κόπωση του μετάλλου δεδομένου ότι οι ρωγμές τείνουν να ξεκινήσουν, ως επί το πλείστον, από την επιφάνεια η οποία είναι σκληρότερη και ανθεκτικότερη
- Η παρουσία και δεύτερης φάσης στο υλικό
- Το είδος του μετάλλου ή του κράματος
- Η θερμοκρασία του υλικού (βλ. και Παραγρ. 3.6 του Κεφ. 3 του παρόντος Κανονισμού).

Ως αντοχή σε κόπωση για έναν δεδομένο πλήθος κύκλων φόρτισης ορίζεται το μέγιστο εύρος διακύμανσης τάσεων το οποίο μπορεί να αντέξει μια ράβδος για αυτό το δεδομένο πλήθος κύκλων φόρτισης. Εάν, όπως συνήθως συμβαίνει, δεν αναφέρεται το πλήθος των κύκλων, τότε υπονοείται άπειρο πλήθος κύκλων, ή έστω πολύ μεγάλο (πάνω από 2×10^6), και το αντίστοιχο εύρος της διακύμανσης των τάσεων ονομάζεται (γενικώς) αντοχή σε κόπωση.

Η σχέση μεταξύ του εύρους διακύμανσης των τάσεων, $\Delta\sigma$, και του πλήθους των κύκλων, N , παρουσιάζεται από την καμπύλη κόπωσης (καμπύλη Wöhler, σε λογαριθμικούς άξονες $\log\Delta\sigma - \log N$). Η καμπύλη αυτή για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος παρουσιάζει τρεις χαρακτηριστικές περιοχές: στην πρώτη περιοχή (μέχρι μερικές χιλιάδες κύκλους) η αντοχή σε κόπωση πρακτικά δεν μειώνεται. Στη δεύτερη περιοχή έχουμε μια γραμμική μείωση. Στην τρίτη περιοχή (για πλήθος κύκλων μεγαλύτερο από $N^* = 1 \times 10^6$ έως 10×10^6) η καμπύλη παρουσιάζει πολύ μικρή κλίση (πρακτικά είναι οριζόντια) και μπορεί να θεωρηθεί ότι για το αντίστοιχο εύρος διακύμανσης τάσεων, $\Delta\sigma_{Rsk}$, η ράβδος έχει άπειρη διάρκεια ζωής σε κόπωση. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1992-1-1 η χαρακτηριστική καμπύλη της αντοχής έχει τη μορφή του Σχ. Π10-2. Οι παράμετροι για τον καθορισμό της καμπύλης δίνονται στον Πιν. Π10-1 για δύο κατηγορίες ράβδων: ευθύγραμμες και συγκολλημένες-πλέγματα.



Σχήμα Π10-2 Παραμετρική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης κόπωσης (καμπύλη Wöhler) χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Ευρωκώδικας EN 1992-1-1). Για τις τιμές των παραμέτρων βλ. Πιν. Π10-1.

Πίνακας Π10-1 Παράμετροι για τον καθορισμό της χαρακτηριστικής καμπύλης κόπωσης (καμπύλη Wöhler) χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (βλ. Σχ. Π10-2)

Είδος ράβδου	N^*	k_1	k_2	$\Delta\sigma_{Rsk}$ (MPa)
Ευθύγραμμοι ράβδοι	10^6	5	9	162,5
Συγκολλημένες ράβδοι και πλέγματα	10^7	3	5	58,5

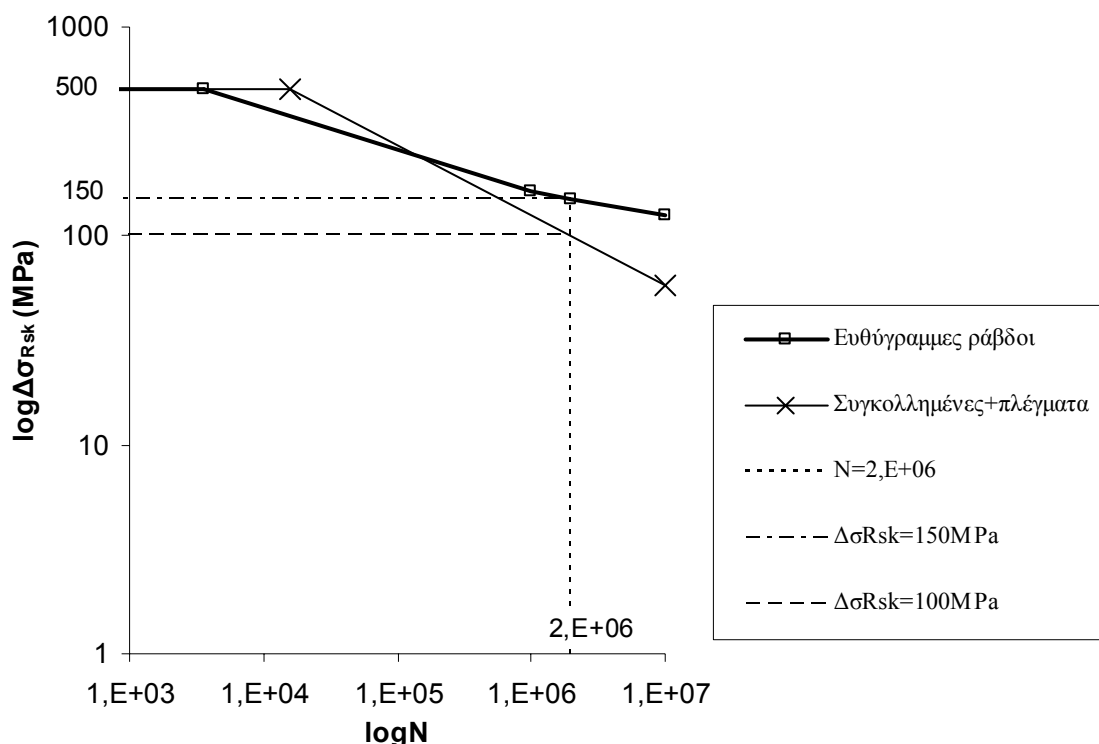
Η αντοχή σε κόπωση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος κατηγορίας B500C, είναι πρακτικώς ανεξάρτητη του πραγματικού ορίου διαρροής και της πραγματικής εφελκυστικής αντοχής της ράβδου.

Τέλος, νεότερα πειράματα έχουν δείξει, και οι σύγχρονοι κανονισμοί έχουν αποδεχθεί, ότι η αντοχή σε κόπωση δεν εξαρτάται από την μέση τάση, ($\sigma_m = 0,5[\sigma_{max} + \sigma_{min}]$) γύρω από την οποία διακυμαίνονται οι τάσεις.

Σύμφωνα με τα Πρότυπα ΕΛΟΤ EN 10080 και ΕΛΟΤ 1421-3 όταν υπάρχουν απαιτήσεις έναντι κόπωσης, τότε πρέπει:

- οι ευθύγραμμες ράβδοι να αντέχουν 150MPa στους 2×10^6 κύκλους και,
- οι συγκολλημένες ράβδοι και πλέγματα να αντέχουν 100MPa στους 2×10^6 κύκλους.

Οι παραπάνω τιμές συμφωνούν με τα δεδομένα του Ευρωκώδικα 2 EN 1992-1-1. Πράγματι, στο Σχ. Π10-3 έχουν σχεδιασθεί οι καμπύλες κόπωσης, με βάση τα στοιχεία του Πιν. Π10-1, για τις δύο περιπτώσεις ράβδων, από όπου προκύπτει ότι η αντοχή κόπωσης για πλήθος κύκλων φόρτισης $N=2 \times 10^6$, είναι αντιστοίχως 150MPa και 100MPa για τις δύο κατηγορίες των ράβδων.



Σχήμα Π10-3 Χαρακτηριστικές καμπύλες κόπωσης (καμπύλες Wöhler) για ευθύγραμμες ράβδους και συγκολλημένες ράβδους και πλέγματα χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Ευρωκώδικας EN 1992-1-1)

Αναλυτικά ο υπολογισμός έχει ως εξής:

- Για την περίπτωση των ευθυγράμμων ράβδων έχουμε:

$$\tan \theta_1 = \frac{\log f_y - \log \Delta\sigma_{Rsk}}{\log N^* - \log N_1} = \frac{1}{k_1} = \frac{1}{5} = 0,2 = \frac{\log(f_y / \Delta\sigma_{Rsk})}{\log(N^* / N_1)} = \frac{\log(500 / 162,5)}{\log(10^6 / 10^x)}$$

οπότε $x = 3,56$ και $N_1 = 10^x = 3630 \approx 3,6 \cdot 10^3$. Ομοίως,

$$\tan \theta_2 = \frac{\log \Delta\sigma_{Rsk} - \log \Delta\sigma'_{Rsk}}{\log N_2 - \log N^*} = \frac{1}{k_2} = \frac{1}{9} = \frac{\log(162,5 / \Delta\sigma'_{Rsk})}{\log(10^9 / 10^6)}$$

οπότε:

$$y = 6 + 9 \log(162,5/\Delta\sigma'_{Rsk}).$$

Συνεπώς, για απαιτούμενη αντοχή $\Delta\sigma'_{Rsk}=150\text{MPa}$ οι κύκλοι στους οποίους θα προκληθεί αστοχία από κόπωση είναι:

$$y = 6 + 9 \log(162,5/150) = 6,31 \text{ ή}$$

$$N_2=10^y = 10^{6,31} = 2055223 \approx 2 \cdot 10^6$$

όπως απαιτείται από το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3.

- Ομοίως, για την περίπτωση των ηλεκτροσυγκολλημένων ράβδων και πλεγμάτων έχουμε:

$$\tan \theta_2 = \frac{\log(\Delta\sigma_{Rsk}/\Delta\sigma'_{Rsk})}{\log(N^2/N^*)} = \frac{1}{3} = \frac{\log(58,5/\Delta\sigma'_{Rsk})}{\log(10^y/10^7)} = 0,3333$$

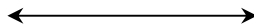
οπότε:

$$\log\Delta\sigma'_{Rsk} = \log 58,5 - 0,3333 \cdot (y-7)$$

και για $y = \log(2 \cdot 10^6) = 6,30$ συνεπάγεται ότι

$$\log\Delta\sigma'_{Rsk} \approx 2,00 \text{ ή}$$

$$\sigma'_{Rsk} = 100\text{MPa}.$$



Η αναμόρφωση του Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος έγινε από Επιτροπή που συγκροτήθηκε με τις Δ14/69796 και Δ14/71325 Αποφάσεις του Υφυπουργού ΠΕ.ΧΩ.ΔΕ. κ. Θεμιστοκλή Ξανθόπουλου. Οι εργασίες της Επιτροπής πραγματοποιήθηκαν στο ΚΕΔΕ.

Μέλη της Επιτροπής ήταν οι :

- | | |
|----------------------------|--|
| 1. Ελένη Μαρούδα | Χημικός Μηχανικός Διευθύντρια στο ΚΕΔΕ, Πρόεδρος της Επιτροπής |
| 2. Γεωργία Αγκαντιάρη | Χημικός Μηχανικός στο Εργαστήριο Μετάλλων του ΚΕΔΕ |
| 3. Σταύρος Αναγνωστόπουλος | Πολιτικός Μηχανικός, Καθ. Παν. Πατρών |
| 4. Γεώργιος Βαρουφάκης | Χημικός, Αν. Καθ. Παν. Αθηνών |
| 5. Θεόδωρος Βουδικλάρης | Πολιτικός Μηχανικός, Μελετητής – Πρόεδρος του Ι.Ο.Κ |
| 6. Στέφανος Δρίτσος | Πολιτικός Μηχανικός, Αν. Καθ. Παν. Πατρών |
| 7. Κωνσταντίνος Μάμαλης | Μηχανολόγος Μηχανικός στη Χαλυβουργία Θεσσαλίας |
| 8. Αβραάμ Μαστοράκης | Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός στη ΣΙΑΕΝΟΡ |
| 9. Παναγιώτης Μαυροειδής | Μεταλλουργός Μηχανικός στη Χαλυβουργική |
| 10. Σαράντος Μουγιάκος | Μεταλλουργός Μηχανικός στο Εργαστήριο Μετάλλων του ΚΕΔΕ |
| 11. Γεώργιος Μπατής | Δρ. Χημικός Μηχανικός, Αν. Καθ. Ε.Μ.Π στον Τομέα Επιστήμης και Τεχνικής των Υλικών |
| 12. Γεώργιος Παπαδημητρίου | Δρ. Μεταλλουργός Μηχανικός, Καθ. ΕΜΠ στον Τομέα Μεταλλουργίας και Τεχν. Υλικών, Εργαστ. Συγκολλήσεων |
| 13. Αλέξανδρος Πλάκας | Πολιτικός Μηχανικός, Επικ. Καθ. ΕΜΠ στον Τομέα Δομοστατικής, Εργαστ. Οπλισμ. Σκυροδέματος |
| 14. Παναγιώτης Σισμάνης | Δρ. Μεταλλουργός στη ΣΙΑΕΝΟΡ |
| 15. Βασίλειος Σκαράκης | Χημικός στη Χαλυβουργική |
| 16. Στυλιανός Σούτης | Μεταλλουργός Μηχανικός, ΕΔΠ ΕΜΠ στον Τομέα Μεταλλουργίας και Τεχν. Υλικών, Εργαστ. Συγκολλήσεων |
| 17. Θεοδόσιος Τάσιος | Πολιτικός Μηχανικός, Ομοτ. Καθ. ΕΜΠ |
| 18. Κωνσταντίνος Τρέζος | Πολιτικός Μηχανικός, Επικ. Καθ. ΕΜΠ στον Τομέα Δομοστατικής, Εργαστ. Οπλισμ. Σκυροδέματος |
| 19. Μιλτιάδης Χρονόπουλος | Πολιτικός Μηχανικός, Επ. Συν. Καθ. ΕΜΠ στον Τομέα Δομοστατικής, Εργαστ. Οπλισμ. Σκυροδέματος |

Αθήνα,
Η Δ/ντρια ΚΕΔΕ

Ελένη Μαρούδα
Χημ. Μηχανικός με Α'β