ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΕΡΓΩΝ ΥΠΟΔΟΜΗΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

Οι Χάλυβες B500A & B500C Σύμφωνα με τον ΕΛΟΤ 1421-2/3, Έλεγχοι ιδιοτήτων ΕΛΟΤ 10080 – ΕΛΟΤ 1421-2/3 Δοκιμές ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 15630 -1/2

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
ΠΑΓΑΝΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΟΣ ΣΥΝΕΡΓΑΤΗΣ
ΖΑΧΑΡΙΑΣ ΧΡΗΣΤΟΥ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:
ΒΡΑΝΙΚΑΣ ΙΩΑΝΝΗΣ
ΜΠΕΡΕΤΟΥΛΗΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ
ΝΙΚΟΛΑΟΥ ΦΩΤΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ ΜΑΡΤΙΟΣ 2010

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.1 Ιστορική αναδρομή.....5
1.2 Παράγωγη χάλυβα.....7
1.3 Ποιότητα χάλυβα.....10
1.4 Ονοματολογία χαλύβων.....11
1.5 Χαλυβουργικά προϊόντα.....12
1.6 Η βιομηχανία του χάλυβα στην Ελλάδα.....15
1.7 Εξαγωνικό εμπόριο ελληνικών χαλυβουργικών προϊόντων.....18
1.8 Μελλοντικές τάσεις.....18
2. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, νέες προδιαγραφές και απαιτήσεις.....21
2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λειτουργικές ιδιότητες χαλύβων οπλισμού.....22
2.2 Συνοπτική παρουσίαση των νέων απαιτήσεων.....25
2.2.1 Μορφές χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.....25
2.2.2 Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και ανοχές.....27
2.2.3 Μηχανικές αντοχές και ολκιμότητα.....29
2.2.3.1 Πλαστιμότητα.....37
2.2.4 Σημείωση σχετικά με τους χρησιμοποιούμενους συμβολισμούς.....43
2.3 Ιχνηλασιμότητα.....44
2.4 Μηχανικές χάλυβα (ΚΤΧ 2008).....45
2.4.1 Εφελκυσμός.....45
2.4.1.1 Έλεγχος ιδιοτήτων σε εφελκυσμό.....54
2.4.2 Αναδίπλωση-Ανάκαμψη.....55
2.4.2.1 Έλεγχος σε αναδίπλωση (ΚΤΧ 2008).....58
2.4.2.2 Έλεγχος σε ανάκαμψη.....58
2.4.3 Έλεγχος σε Διάτμηση.....60
2.4.4 Κόπωση.....60
3 Συνάφεια χαλύβων σκυροδέματος.....62
3.1 Ο ορισμός.....62
3.2 Ιδιότητες συνάφειας χαλύβων.....63
3.3 Συγκολλησιμότητα χαλύβων οπλισμού.....67
3.4 Συγκολλήσιμοι χάλυβες.....68
3.5 Χάλυβες συγκολλήσιμοι υπό προϋποθέσεις.....70
3.5.1 Μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας.....71
3.6 Θερμική κατεργασία.....73
4 Σήμανση.....77

4.1 Σήμανση για την αναγνώριση κατηγορίας χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος.....77
4.2 Σήμανση για την αναγνώριση της χωράς και της μονάδας παράγωγης.....79
4.3 Διάβρωση.....82
4.3.1 Έλεγχος διάβρωσης.....84
4.4 Προστασία αναμονών.....85
5. Ολκιμότητα.....88
5.1 Ολκιμότητα και μηχανικά χαρακτηριστικά χαλύβων κατηγορίας B500c ή S500s.....88

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

Π1 Η επίδραση των μεθόδων παραγωγής και των κραματικών στοιχείων στις ιδιότητες των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.....90
Π 1.2 Χημικά στοιχεία κραματικα των Χ.Ο.Σ.....91
Π 1.3 Θερμομηχανικές κατεργασίες παραγωγής.....98
Π 1.3.1 Φάσεις - Συστατικά που συναντώνται στους Χ.Ο.Σ.....98
Π 1.3.2 Μεταλλοτεχνικές κατεργασίες των Χ.Ο.Σ.....101
Π 1.3.3 Θερμικές κατεργασίες.....101
Π 1.3.4 Εφαρμογή των διαφόρων θερμομηχανικών μμεθόδων κατεργασίας για την απόκτηση των απαιτούμενων χαρακτηριστικών.....104
Π2 Ραδιενέργεια.....105
Π2.1 Ιστορικό.....105
Π2.2 Η ραδιενέργεια στη βιομηχανία χάλυβα.....107
Π2.3 Μέτρα ελέγχου.....108
Π3 Μέθοδοι συγκόλλησης.....109
Π3.1 Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal ArcWelding, SMAW).....109
Π3.2 Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου (Gas Metal Arc Welding,GMAW).....110
Π3.3 Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου με σωληνωτά ηλεκτρόδια.....112
Π3.4 Ημιαυτόματη αυτοπροστατευόμενη συγκόλληση τόξου με σωληνωτά ηλεκτρόδια (Flux Cored Arc Welding, FCAW).....112
Π3.5 Συγκόλληση με σπινθηρισμούς (Flash welding).....113
Π3.6 Συγκόλληση με συμπίεση (σύνθλιψη) και αέριο (Pressure-gas welding).....114
Π3.7 Σημειακή συγκόλληση με αντίσταση (Resistance Spot Welding).....114
Π3.7.1 Σημειακή συγκόλληση με αντίσταση.....116
Π3.8 Συγκόλληση με τριβή (Friction welding).....116

Π3.9 Συγκόλληση με προεξοχή (Projection welding).....117
Π3.10 Στοιχεία για τα ηλεκτρόδια συγκολλήσεων των τεχνικών SMAW και GMAW.....118
Π4 Κόπωση χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.....119
Π4.1 Γενική Θεώρηση.....120
Π4.2 Μηχανισμός θραύσης από κόπωση..... 120
Π4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη κόπωση.....121
Φωτογραφικό υλικό από την επίσκεψη στην Χαλυβουργική.ΑΕ.....143

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ιστορία του χάλυβα ξεκινά γύρω στο 1000 π.Χ., όταν μεταλλουργοί της εποχής εκείνης άρχισαν να παράγουν χάλυβα συστηματικά με ενανθράκωση σπογγώδους σιδήρου. Πάντως οι Χετταίοι γνώριζαν πώς να παράγουν χάλυβα ήδη από το 2300 π.χ. Την εποχή της Ρωμαϊκής Αυτοκρατορίας, πολλοί μεσογειακοί λαοί, αλλά και οι Ινδοί, οι Κινέζοι και οι Ιάπωνες γνώριζαν την τέχνη της παραγωγής σπογγώδους σιδήρου και χάλυβα, καθώς και την τέχνη της σκλήρυνσης του χάλυβα με θέρμανση και απότομη ψύξη («βαφή»). Περίφημα ήταν τα σφυρήλατα χαλύβδινα δαμασκηνά σπαθιά, που κατασκευάζονταν κατά τον Μεσαίωνα στη Συρία, αλλά και σε τόπους πιο μακρινούς όπως στην Ιαπωνία.

Η σύγχρονη ιστορία του χάλυβα αρχίζει στα μέσα του 19ου αι., όταν ο άγγλος εφευρέτης Χένρυ Μπέσσεμερ (αγγλ., Hengy Besemmer), ανακάλυψε πως να μετατρέπει τον τηγμένο χυτοσίδηρο σε χάλυβα με εμφύσηση οξυγόνου σε έναν κάδο («μεταλλάκτη») επενδυμένο με βασικά πυρίμαχα τούβλα. Την ίδια εποχή ανακαλύφθηκε η μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα σε καμίνους ανοικτής εστίας (κάμινος Siemens - Martin). Σήμερα, η ανακάλυψη του Μπέσσεμερ χρησιμοποιείται σχεδόν αποκλειστικά για την απανθράκωση του χυτοσιδήρου. Η κάμινος Siemens-Martin εγκαταλείφθηκε ως πιο ενεργοβόρος και λιγότερο φιλική προς το περιβάλλον.

Την εποχή του χαλκού διαδέχεται η εποχή του σιδήρου, η ενανθράκωση του οποίου και η μετατροπή του σε χάλυβα ήταν από τις σημαντικότερες ανακαλύψεις του ανθρώπου. Κατά την εποχή του σιδήρου αναπτύσσεται ακόμη περισσότερο η χυτηριακή τέχνη με τη χρήση του σιδήρου στα περισσότερα αγαθά, από τα πιο απλά μέχρι τη σημερινή χρήση του στις κατασκευές τόσο σαν δομικό υλικό όσο και σαν οπλισμό ενίσχυσης σκυροδέματος.

Η ευελιξία που προσφέρει ο σίδηρος στον κατασκευαστικό τομέα συνέβαλλε σημαντικά στο ρυθμό ανέλιξης του πολιτισμού διότι πρόκειται για υλικό με σημαντικές μηχανικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες και πολύ «συνεργάσιμο» όταν χρησιμοποιείται με το σκυρόδεμα. Για να χρησιμοποιηθεί όμως στην κατασκευή είναι απαραίτητο να πληροί κάποιες προϋποθέσεις και να έχει κάποια συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ενώ η ποιότητά του να εξασφαλίζεται σε όλα τα στάδια από τον τρόπο παραγωγής μέχρι την τοποθέτησή του στην κατασκευή.

Αναπτύσσονται λοιπόν οι διάφορες διαδικασίες παραγωγής του χάλυβα από τον ακατέργαστο σίδηρο και η τελική διαμόρφωσή του σε ράβδους οπλισμού σκυροδέματος μετά από θερμή κύρτωση. Η ανάγκη της διασφάλισης και πιστοποίησης της ποιότητας σε ότι αφορά τα χαρακτηριστικά του, συνετέλεσαν στη σύνταξη ενός Κανονισμού Τεχνολογίας Χαλύβων (ΚΤΧ) που προδιαγράφει τις ελάχιστες γενικές και ειδικές απαιτήσεις που πρέπει να ικανοποιούν οι χάλυβες ώστε να χρησιμοποιηθούν με ασφάλεια στη κατασκευή. Αναφορά γίνεται στη συμπεριφορά του χάλυβα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα, στην επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας, στον ρόλο των προσμίξεων στη σύστασή του, και στο πως οι προαναφερθέντες παράγοντες διαμορφώνουν και επηρεάζουν τις μηχανικές του ιδιότητες. Σημαντικό είναι και το πρόβλημα της ραδιενέργειας στο χάλυβα και στις επιπτώσεις που έχει στην κατασκευή και κατ' επέκταση στον άνθρωπο καθώς η ανεξέλεγκτη απόρριψη ραδιενεργών πηγών ή αποβλήτων δημιούργησε τα τελευταία χρόνια προβλήματα στις βιομηχανίες χάλυβα και ιδιαίτερα στις χαλυβουργίες ανακύκλωσης παλιοσίδερου.

Ενδιαφέρουσες επίσης είναι οι αναφορές που γίνονται στην ελληνική αγορά χάλυβα οπλισμού, της εγχώριας παραγωγής και εισαγωγής και στην επιτακτική ανάγκη για συμμόρφωση βάσει των προτύπων και προδιαγραφών από τα οποία διέπεται. Ακόμη διενεργούνται έλεγχοι των μηχανικών του χαρακτηριστικών προκειμένου να εξασφαλιστεί η ποιότητα και η ταυτότητα των χαλύβων .

Οι ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος αποτελούν ένα σημαντικό κομμάτι της κατασκευής και η ευθύνη για την ασφάλειά της δεν περιορίζεται μόνο στον άνθρωπο που θα τοποθετήσει στον οπλισμό. Είναι απαραίτητο να εξασφαλίζεται η σωστή διακίνηση και διάθεση των ράβδων οπλισμού από τους παραγωγούς, τους εισαγωγείς και τους κάθε είδους προμηθευτές, πράγμα που επιτυγχάνεται με την ικανοποίηση βασικών απαιτήσεων σχετικά με την οργάνωση, τον εξοπλισμό και την τεχνική στελέχωσή τους.

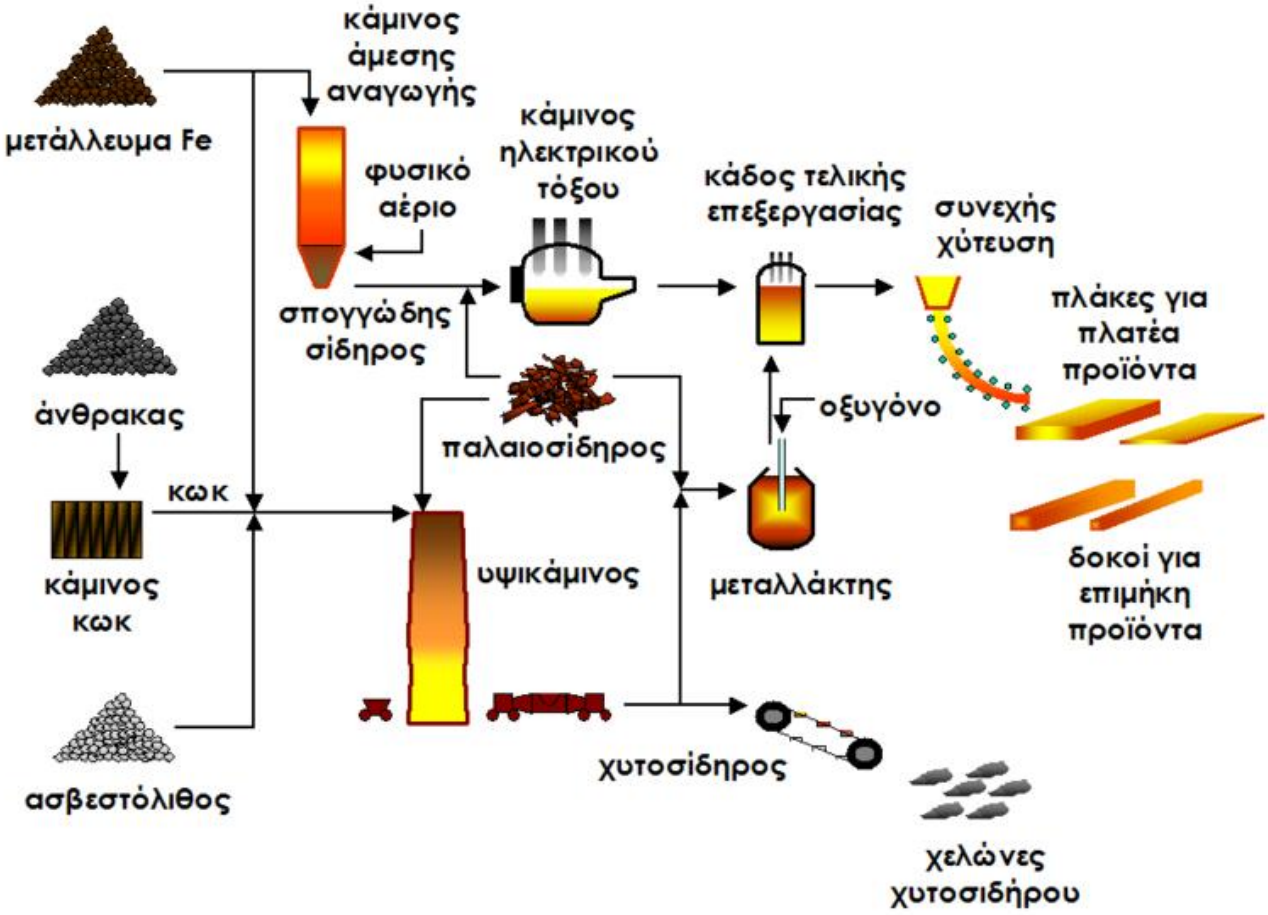
1.2 Παράγωγη χάλυβα

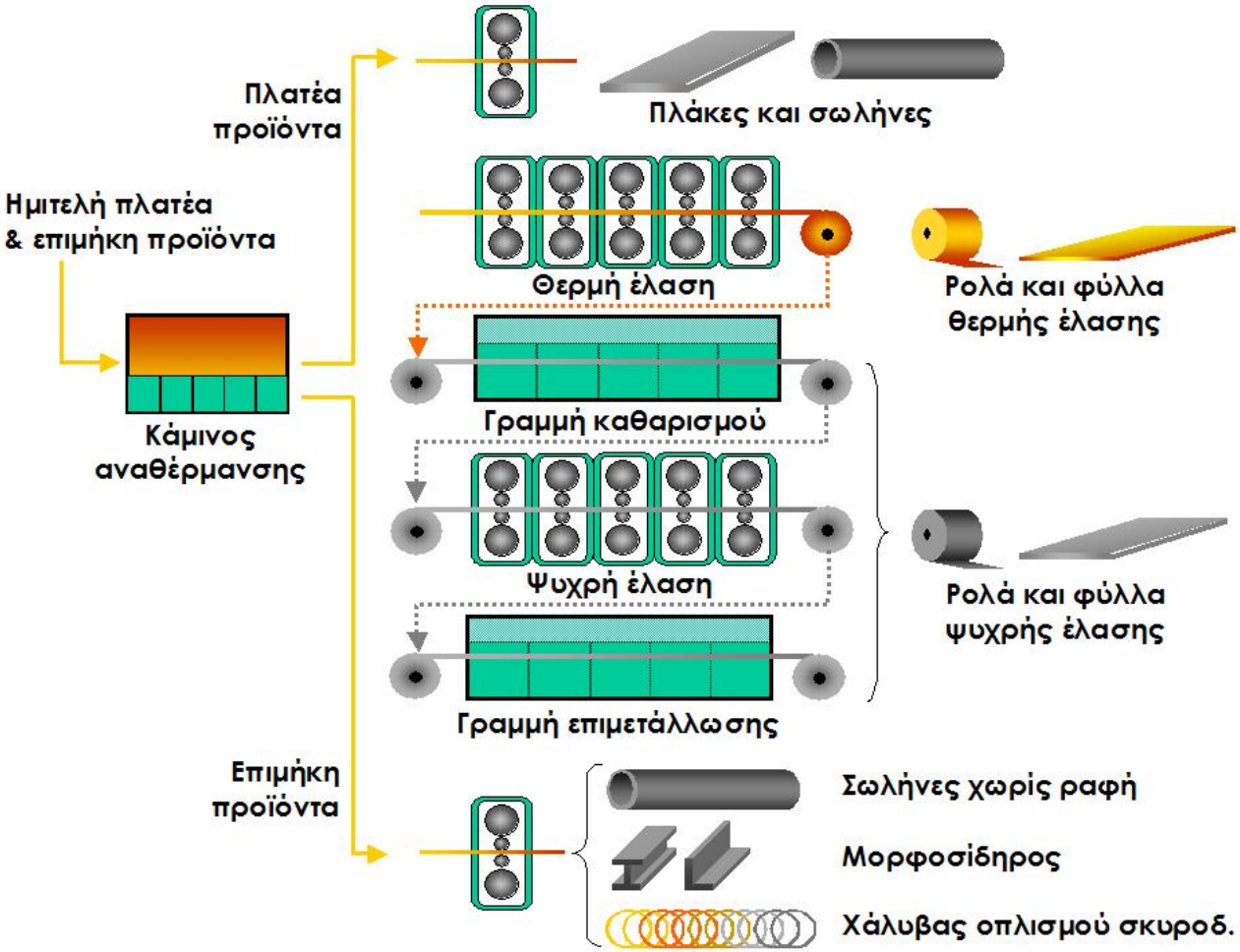
Ο χάλυβας παράγεται με τρεις βασικές μεθόδους:

I. Με αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων σε υψικάμινο για την παραγωγή χυτοσίδηρου, και την μετατροπή του χυτοσιδήρου σε χάλυβα μέσα σε μεταλλάκτη με εμφύσηση οξυγόνου.

II. Με την άμεση αναγωγή σιδηρομεταλλευμάτων (δηλ. αναγωγή σε στερεά κατάσταση) σε φρεατώδη κάμινο για την παραγωγή σπογγώδους σιδηρού (αγγλ. , Direst Reduced Iron ή DRI), και την μετατροπή του σπογγώδους σιδήρου σε χάλυβα μέσα σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου

III. Με την ανάτηξη παλιοσίδερου (scrap Εικόνα 1) σε κάμινο (κλίβανο) ηλεκτρικού τόξου (Electric Arc Furnace - EAF).





Σύμφωνα με στατιστικά στοιχεία του 2005, το 65,4% της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα προέρχεται από τις δύο πρώτες καθετοποιημένες μεθόδους και το 31,7% από την ανάτηξη παλιοσίδερων και σπογγώδους σιδήρου σε κλιβάνους ηλεκτρικού τόξου. Ένα μικρό ποσοστό της παγκόσμιας παραγωγής χάλυβα (2,9% για το 2005) προέρχεται από την μετατροπή χυτοσιδήρου σε κάμινους ανοικτής εστίας ή άλλες μεθόδους.

Στην χώρα μας, όλη η παραγωγή χάλυβα (περίπου 2,5 εκατ. τόνοι ετησίως) προέρχεται από την ανάτηξη παλιοσίδερου (σκραπ) και προορίζεται κυρίως για την παραγωγή μπετόβεργας.

Εικόνα 1 “Scrap”

1.3 Ποιότητα χάλυβα

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων. Αν χτίζονταν σήμερα ο Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειάζονταν το ένα τρίτο της ποσότητας χάλυβα. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ότι χρειάζονταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες (αγγλ. grades) ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

I. Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (αγγλ. carbon steels). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα , οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
    - χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ. mild steels· C < 0,30%),
    - χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ. medium carbon steels· 0,30% < C < 0,60%),
    - χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ. high carbon steels· 0,60% < C < 1,00%), και
    - χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ. ultra-high carbon steels· 1,00% < C < 2,00%)

II. Κραματωμένοι χάλυβες (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι:

- ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ.
- σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες (0,7% < C < 1,4%, Mn < 0,3%), και ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης,
- όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες (Cr > 10,5%), οι ταχυχάλυβες (C ~ 0.7%,Cr ~4,0%, 5,0% < Mo < 10%, 1,5% < W < 18,0%, 0 % < Co < 8,0%), κ.λ.π.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

I. χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
II. χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερρετικούς, περλιτικούς, μαρσενιτικούς, μπενιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

1.4 Ονοματολογία χαλύβων

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας B500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm^2).

Εικόνα 2

1.5 Χαλυβουργικά προϊόντα

Τα χαλυβουργεία παράγουν ημιτελή και τελικά προϊόντα χάλυβα. Τα ημιτελή προϊόντα χάλυβα είναι συνήθως δοκοί τετραγωνικής διατομής («μπιγιέτες») με ακμή περίπου 10 εκ. ή κυκλικής διατομής με διάμετρο περίπου 25 εκ. (κυλινδρικές «μπιγιέτες» ή «κορμοί») και μήκος μερικά μέτρα, ή ακόμα πλατιά πρίσματα (πλάκες ή «σλαμπ») διατομής 10 εκ. x 100 εκ. και με μήκος μερικών μέτρων.

Εικόνα 3

Η παραγωγή των ημιτελών προϊόντων γίνεται με συνεχή χύτευση σε μήτρες από χαλκό, που ψύχονται με νερό και με έλαση σε ειδικά έλαστρα. Τα ημιτελή προϊόντα αναθερμαίνονται και υποβάλλονται σε έλαση, διέλαση, ολκή κ.λπ. για την παραγωγή των τελικών προϊόντων, που μπορεί να είναι πλατέα (sic) ή επιμήκη. Τόσο τα πλατέα προϊόντα όσο και τα επιμήκη παράγονται με ψυχρή ή ψυχρή έλαση. Η θερμή έλαση γίνεται σε θερμοκρασίες που ξεπερνούν τους 925°C, οπότε οι παραμορφωμένοι κόκκοι του μετάλλου αποκρυσταλλώνονται. Η ψυχρή έλαση ωστόσο επιτρέπει την παραγωγή προϊόντων με διαστάσεις πολύ πλησιέστερες στις τελικές διαστάσεις που θέλει ο καταναλωτής.

Εικόνα 4

Τα πλατέα προϊόντα διακρίνονται σε πλάκες ή χονδρές κατασκευαστικές λαμαρίνες (αγγλ., plates), με πάχος 1 έως 20 εκ. για χρήση στην ναυπηγική, την οικοδομή, κ.ά., και σε λεπτές λαμαρίνες σε ρολά ή επίπεδα φύλλα (αγγλ. strips), με πάχος 0,1 έως 1 εκ. για την αυτοκινητοβιομηχανία, την βιομηχανία οικιακών συσκευών, την οικοδομή, κ.ά.

Τα επιμήκη προϊόντα μπορεί να είναι ράβδοι ή χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος (μπετόβεργα αγγλ, reinforcing bars), ελάσματα ή λάμες (τσέρκι αγγλ. narrow strips), μορφοσίδηρος (χάλυβας διαμορφωμένης διατομής, όπως γωνίες, ταυ, κ.λπ.· αγγλ. profiles), κοίλες δοκοί (αγγλ. hollow sections), σωλήνες με ή χωρίς ραφή (αγγλ. welded or seamless tubes), κ.ά. Στα επιμήκη προϊόντα συμπεριλαμβάνεται και το σύρμα (αγγλ. wire).

Εκτός από τα πλατέα και τα επιμήκη προϊόντα, ο χάλυβας διατίθεται ακόμα στην μορφή χυτής χελώνας (χυτοχάλυβας). Πολλές χαλυβουργίες διαθέτουν φύλλα ή ρολούς γαλβανισμένου, επικασσιτερωμένου και επιχρωματισμένου χάλυβα.

1.6 Η βιομηχανία του χάλυβα στην Ελλάδα

Το πρώτη ελληνική βιομηχανία χάλυβα, που έφερε τον τίτλο «Ελληνική Χαλυβουργία», ιδρύθηκε από την οικογένεια Σταύρου Σαλαπάτα στην οδό Πειραιώς στην Αθήνα το 1937, ο οποίος προηγουμένως είχε ιδρύσει την εταιρεία «Ελληνικά Συρματουργεία» (1932). Το 1951, το εργοστάσιο της Ελληνικής Χαλυβουργίας μετακόμισε στον Ασπρόπυργο Αττικής, όπου λειτουργεί ακόμα ως μία από τις δύο μονάδες της «Χαλυβουργίας Ελλάδος» με ετήσια παραγωγική δυναμικότητα 400.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλιοσίδερου.

Η δεύτερη ελληνική χαλυβουργία ήταν η «Χαλυβουργική» της οικογένειας Θεόδωρου Αγγελόπουλου. Η εταιρεία αυτή ξεκίνησε ως βιομηχανία καρφιών το 1932 για να εξελιχθεί σε μικρό χαλυβουργείο επί της οδού Πειραιώς στην Αθήνα το1938. Το 1953 η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία νέες καμίνους ηλεκτρικού τόξου στην Ελευσίνα, που σύντομα μεταβλήθηκαν σε πλήρως καθετοποιημένη σιδηρουργία – χαλυβουργία. Το1985, η «Χαλυβουργική» απέκτησε κάμινο ανοικτής εστίας τύπου Siemens-Martin, και το 1963 έθεσε σε λειτουργία την πρώτη υψικάμινο στον ελλαδικό χώρο, καθώς και μεταλλάκτες τύπου LD. Το1975, η εταιρεία έθεσε σε λειτουργία και δεύτερη υψικάμινο ανεβάζοντας έτσι την παραγωγική της δυναμικότητα σε 2,5 εκατ. τόνους χάλυβα ετησίως. Έκτοτε όμως η εταιρεία άρχισε να φθίνει και το 1981 διέκοψε την λειτουργία των υψικαμίνων. Συνέχισε ωστόσο την παραγωγή πλατέων και επιμηκών προϊόντων με ανάτηξη παλαιοσιδήρων σε καμίνους ηλεκτρικού τόξου. Σήμερα η εταιρεία συνεχίζει να παράγει επιμήκη προϊόντα στην Ελευσίνα, σε σύγχρονες εγκαταστάσεις δυναμικότητας 500.000 τόνων, υπό την διεύθυνση του Κωνσταντίνου Π. Αγγελόπουλου και των γιων του.

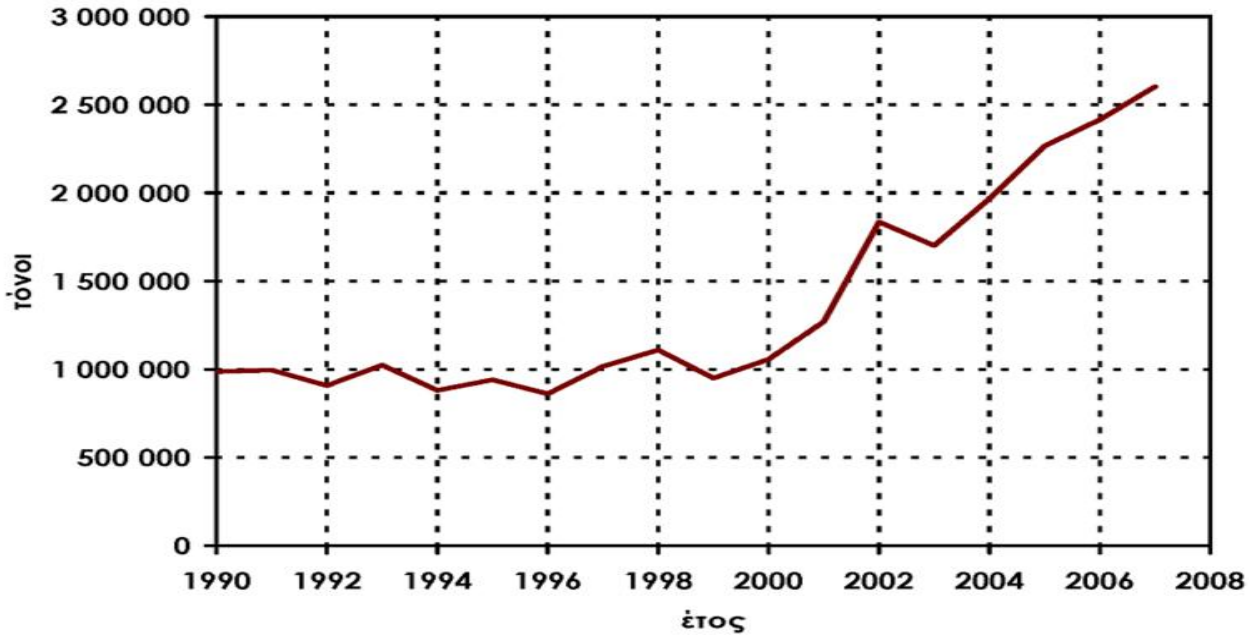
Το1962, η οικογένεια Στασινόπουλου ίδρυσε την εταιρεία «Σιδενόρ» για να παράγει προϊόντα χάλυβα, όπως χαλυβδοσωλήνες, λέβητες, κ.λπ. Το1964, η Σιδενόρ ξεκίνησε την παραγωγή μπετόβεργας και άλλων επιμηκών προϊόντων στην Θεσσαλονίκη. Το εργοστάσιο αυτό εξακολουθεί να βρίσκεται σε λειτουργία με ετήσια δυναμικότητα 600.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου.

Το1963, η οικογένεια Μάνεση ίδρυσε την «Χαλυβουργία Βόλου», η οποία το 1974 μετονομάστηκε σε «Θεσσαλική Χαλυβουργία». Οι εγκαταστάσεις της «Θεσσαλικής Χαλυβουργίας» περιλαμβάνουν χαλυβουργείο στο Βελεστίνο Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας 700.000 τόνων χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσιδήρου και ελασματουργείο στην βιομηχανική ζώνη Βόλου. Το2006 , η «Θεσσαλική Χαλυβουργία» εξαγόρασε την «Ελληνική Χαλυβουργία» και ο νέος όμιλος ονομάσθηκε «Χαλυβουργία Ελλάδος» .

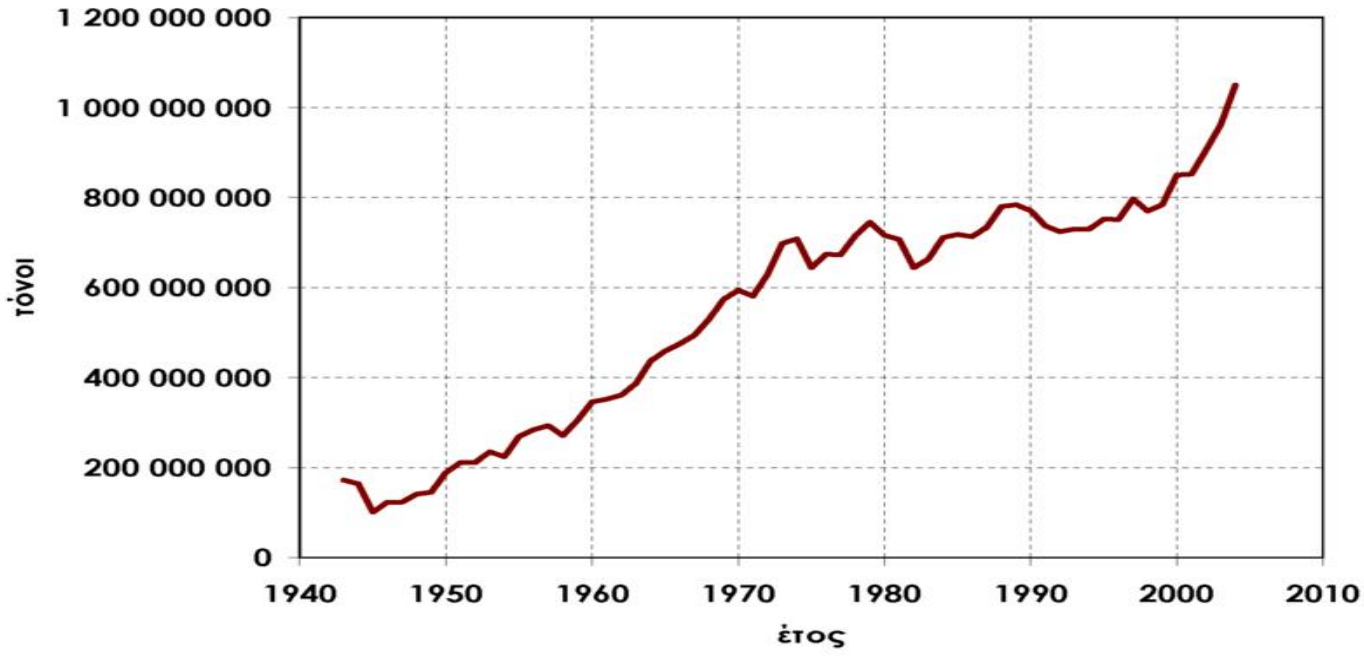
Το1972, η οικογένεια Αναστασόπουλου έθεσε σε λειτουργία την χαλυβουργία «Μεταλλουργική Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας ετήσιας δυναμικότητας περίπου 600.000 τόνων. Η εταιρεία, που παρήγαγε μόνον επιμήκη προϊόντα από ανάτηξη παλαιοσίδερου, βρέθηκε μέσα σε λίγα χρόνια υπερχρεωμένη και το 1991 κήρυξε πτώχευση. Το1996, η «Σιδενόρ» εξαγόρασε τις εγκαταλειμμένες εγκαταστάσεις της «Μεταλλουργικής Χάλυψ» στον Αλμυρό Μαγνησίας και έκτισε εκεί σύγχρονη χαλυβουργία με ετήσια δυναμικότητα 900.000 τόνους χάλυβα από ανάτηξη παλαιοσίδερου. Μέσα στο 2007 ο όμιλος «Σιδενόρ» ανακοίνωσε πως το εργοστάσιο στον Αλμυρό Μαγνησίας, που φέρει την επωνυμία «Σοβέλ» («Sovel»), θα κάνει νέες επενδύσεις για επέκταση της παραγωγικής δυναμικότητας στους 1,2 εκατ. τόνους χάλυβα τον χρόνο.

Μία ακόμα εταιρεία που δραστηριοποιείται στον χώρο του χάλυβα στην χώρα μας είναι η «Ελληνική ΑΕ Χάλυβος» ή «Ανώνυμος Ελληνική Εταιρεία Χάλυβος», πιο γνωστή ως Hellenic Steel. Η εταιρεία αυτή ανήκει κατά ποσοστό 52% στον ιταλικό όμιλο Riva, ενώ μικρότερα ποσοστά κατέχουν άλλες ευρωπαϊκές και ιαπωνικές επιχειρήσεις, καθώς και δικές μας τράπεζες. Από το 1970 περίπου, η Hellenic Steel διαθέτει εργοστάσιο στην Θεσσαλονίκη με παραγωγική δυναμικότητα 800.000 τόνους σε πλατέα προϊόντα ψυχρής έλασης, 95.000 τόνους σε επικασσιτερωμένα πλατέα προϊόντα και 135.000 τόνους σε επιψευδαργυρομένα πλατέα προϊόντα.

Γενικά, η ελληνική βιομηχανία χάλυβα έχει αυξήσει σημαντικά την παραγωγή της τα τελευταία χρόνια και, από 1,0 εκατ. τόνους το 1990, ξεπέρασε τα 2,5 εκατ. τόνους το 2007.



Η ελληνική παραγωγή χάλυβα σημείωσε πολύ σημαντική άνοδο μετά το 2000. Το Εικόνα δίνει την ετήσια παραγωγή χάλυβα στην Ελλάδα από το 1990 έως και το 2007.



Η παγκόσμια παραγωγή χάλυβα από το 1943 έως το 2007.

1.7 Εξαγωνικό εμπόριο ελληνικών χαλυβουργικών προϊόντων

Η αξιόλογη εξαγωγική προσπάθεια των χαλυβουργείων γίνεται συνήθως με τη συνεργασία φερέγγυων διεθνών εμπορικών οίκων. Κύριες ανταγωνιστικές χώρες είναι η Ισπανία, η Ρουμανία, η Βουλγαρία, Τσεχοσλοβακία και η Τουρκία.

1.8 Μελλοντικές τάσεις

Με τις γενναίες επιδοτήσεις της ΕΕ κατά τη διάρκεια του 1993, φαίνεται πως η ευρωπαϊκή χαλυβουργία παίρνει μια ανάσα, Οι επιδοτήσεις όμως συνοδεύονται από αυστηρές δεσμεύσεις των παραγωγών προς την Κοινότητα για μείωση της παραγωγής κατά 30 εκατομμύρια τόνους και απολύσεις 50000 εργαζομένων που ασχολούνται σε μη αποδοτικά εργοστάσια. Οι δεσμεύσεις αφορούν επίσης τεχνολογικές και επιχειρηματικές αναδιαρθρώσεις προκειμένου να αντιμετωπιστούν οι νέες συνθήκες του διεθνούς ανταγωνισμού.

Ενώ αναγνωρίζεται ότι η βασική αιτία της κρίσης είναι η μακροχρόνια ύφεση των οικονομιών, επισημαίνεται επίσης ότι σε καιρούς οικονομικής ύφεσης αναδεικνύονται με τον πιο ανάγλυφο τρόπο τα δομικά προβλήματα του κλάδου. Μ' αυτή την έννοια, θεωρείται ότι οι Ευρωπαίοι πρέπει να αναθεωρήσουν ριζικά τις μεθόδους παράγωγης και τους τρόπους διάθεσης του χάλυβα. Το πρόβλημα της παραγωγής πλεονάζουσας ποσότητας προϊόντων χάλυβα είναι κομβικό και η εξέταση του αποκαλύπτει πολλά προβλήματα: ακριβώς επειδή οι χαλυβουργίες έχουν υψηλά πάγια και ανελαστικά έξοδα έχουν τη σαφή τάση να παράγουν όσο περισσότερο χάλυβα τους επιτρέπουν οι εγκαταστάσεις τους. Συνέπεια όμως αυτής της υπερπαραγωγής είναι, σε καιρούς κρίσης η μείωση των τιμών των προϊόντων για να μη μένει αδιάθετο το πλεόνασμα. Αυτό σημαίνει, ότι σε περιόδους πτώσης της ζήτησης οι χαλυβουργίες αντιδρούν με δραστικές περικοπές των τιμών και όχι με μείωση της παραγωγής.

Στις ΗΠΑ και την Ιαπωνία έχει ήδη επισημανθεί ότι το πρόβλημα της σχεδόν αναγκαστικής τάσης για υπερπαραγωγή συνδέεται με το είδος της οργάνωσης και της τεχνολογικής υποδομής των γιγαντιαίων χαλυβουργείων που αποσκοπούν στο να παράγουν ταυτόχρονα όλους τους τύπους προϊόντων του χάλυβα.

Στον αντίποδα αυτής της παραδοσιακής δομής βρίσκονται τα λεγόμενα Μικρά Χαλυβουργεία τα οποία ανθούν ήδη στην Αμερική και στην Ιαπωνία, και οι επιπτώσεις της διάδοσης τους στην παγκόσμια οικονομία παρομοιάζεται από αρκετούς αισιόδοξους αναλυτές με αυτές της διάδοσης των προσωπικών υπολογιστών. Τα Μικρά Χαλυβουργεία απαιτούν χώρους παραγωγής ίσους με το ένα τέταρτο των χώρων των παραδοσιακών χαλυβουργείων και τα ανελαστικά έξοδα τους είναι μόνο 20 ή 30 % σε σχέση με το υψηλό ποσοστό 70 % των παραδοσιακών. Επιπλέον, έχουν το πλεονέκτημα να απαιτούν για πρώτη ύλη τον πολύ φθηνό παλαιοσίδερο και ότι επίσης είναι πολύ επιδεκτικά σε τεχνολογικές αλλαγές ανά δεκαετία ή δεκαπενταετία.

Τέλος, ακριβώς επειδή αυτού του είδους τα χαλυβουργεία παράγουν μια μικρή γκάμα προϊόντων, δεν επιβαρύνονται με τα έξοδα των επιστημονικών ερευνών που είναι αναγκασμένοι να διεξάγουν οι γιγαντιαίοι ανταγωνιστές του. Αντίθετα, με μικρού κόστους τεχνολογικές επινοήσεις, τα μικρά χαλυβουργεία κατακτούν ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα αγορών.

Όσον αφορά την Ελλάδα, η χαλυβουργεία των πλατεών προϊόντων περνά μια από τις δυσκολότερες στιγμές της ιστορίας της. Συγκεκριμένα, η υψηλής τεχνολογίας Heelenic Steel ήδη υπολειτουργεί λόγω χρηματοοικονομικών προβλημάτων και η σωτηρία της εξαρτάται κατά μεγάλο μέρος από τη βοήθεια του ελληνικού κράτους και της Ε.Ε. Μια πηγή προβλημάτων αποτελεί η αυξανόμενη διείσδυση των Ευρωπαίων ανταγωνιστών της στην Ελληνική αγορά.

Επιπλέον, οι πιστωτικές δυνατότητες των ξένων εταιριών, είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές των ελληνικών, ακριβώς επειδή η Ελλάδα έχει τα υψηλότερα επιτόκια της Ευρώπης και επομένως το "ακριβότερο χρήμα". Μ' αυτή την έννοια, για πρώτη φορά ελληνικές χαλυβουργίες αντιμετωπίζουν τον πειρασμό να εξελιχθούν σε κυρίως εμπορικές - αντί παραγωγικές - μονάδες αξιοποιώντας το δίκτυο των πελατών τους. Βέβαια αυτή η προοπτική δεν φαίνεται να έχει πολλές πιθανότητες - τουλάχιστον βραχυπρόθεσμα - αφού υπάρχουν ελπίδες ότι με την ενίσχυση της Ε.Ε θα πραγματοποιηθούν εκσυγχρονιστικές επενδύσεις. Επιπλέον, από παράγοντες του κλάδου εκτιμάται ότι στην περίπτωση που η ευρωπαϊκή οικονομία ανακάμψει, ο ανταγωνισμός θα χάσει αρκετή από τη σημερινή οξύτητα του.

Στα πλαίσια της σημερινής δύσκολης οικονομικής συγκυρίας φαίνεται πως τα φιλόδοξα σχέδια για ελληνική μονάδα παραγωγής ανοξείδωτου χάλυβα έχουν ατονήσει. Τα

σχέδια αυτά βασίζονταν στη διαρκώς αυξανόμενη ζήτηση του ανοξείδωτου χάλυβα στη διεθνή αγορά, καθώς και στο γεγονός ότι στην Ελλάδα παράγεται από την ΛΑΡΚΟ το σιδερονικέλιο και την ΕΛΣΙ το σιδηροχρώμιο, που είναι από τις βασικές πρώτες ύλες του.

2. Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, νέες προδιαγραφές και απαιτήσεις.

Ο μεγάλος και καταστρεπτικός σεισμός στην Αττική το 1999 και η πρόσφατη σεισμική δραστηριότητα, ενέτειναν την ανησυχία για την ασφάλεια των κατασκευών στην χώρα μας, τόσο μεταξύ των μηχανικών, όσο και των ίδιων των ιδιοκτητών των κτιρίων. Σε μια χώρα με έντονη σεισμική δραστηριότητα, όπως στην περίπτωση της Ελλάδας, το ενδιαφέρον των τεχνικών επιστημόνων και γενικότερα του τεχνικού δυναμικού για την ποιότητα των βασικών δομικών υλικών, είναι έντονο.

Εικόνα 5: Χάλυβες οπλισμού σε κατασκευή οπλισμένου σκυροδέματος

Η αλήθεια είναι ότι, συνήθως, η προσοχή επικεντρώνεται στην ποιότητα του σκυροδέματος. Τα τελευταία ωστόσο χρόνια, κατανοείται όλο και περισσότερο η ξεχωριστή σημασία, που έχουν οι λειτουργικές ιδιότητες και η ποιότητα των χαλύβων οπλισμού

Οι εξελίξεις αυτές αποτυπώνονται και στον διαρκή εκσυγχρονισμό των απαιτήσεων των σχετικών Προτύπων και Κανονισμών.

I. Τα Πρότυπα που αναφέρονται στις ιδιότητες των χαλύβων οπλισμού, τόσο στην Ελλάδα όσο και στις υπόλοιπες χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης, τροποποιούνται εισάγοντας νέες απαιτήσεις. Οι μεταβολές πρέπει να πούμε ότι είναι ριζικές. Κατηγορίες ποιότητας χαλύβων οπλισμού, που ως τώρα προδιαγράφονταν σαν επαρκείς και χαρακτηρίζονταν σύγχρονες, σήμερα θεωρούνται περίπου επικίνδυνες και κατάλληλες μόνο για βοηθητικές κατασκευές.

II. Για πρώτη φορά στην χώρα μας, το 2000, συντάχθηκε και τέθηκε σε εφαρμογή στην χώρα μας Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ), ο οποίος θέτει απαιτήσεις όχι μόνο σε σχέση με την ποιότητα των χαλύβων οπλισμού ως υλικών, πράγμα που αφορά τους παραγωγούς, αλλά και σε σχέση με τα κρίσιμα θέματα της διαμόρφωσης και της τοποθέτησης τους, που αφορά εταιρείες διαμόρφωσης και τοποθέτησης οπλισμού. Ο Κανονισμός αυτός βρίσκεται τώρα σε φάση τροποποίησης.

2.1 Τεχνικά χαρακτηριστικά και λειτουργικές ιδιότητες χαλύβων οπλισμού

Το πιο βασικό τεχνικό χαρακτηριστικό των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, που παραπέμπει και σε αντίστοιχη ταξινόμησή τους, είναι η μηχανική αντοχή τους.

Ωστόσο, οι οριζόμενες από τα διάφορα Πρότυπα κατηγορίες ποιότητας, διαμορφώνονται στην βάση ενός συνόλου τεχνικών χαρακτηριστικών και αντίστοιχων λειτουργικών ιδιοτήτων. Συνοπτικά, η ποιότητα των χαλύβων οπλισμού, σχετίζεται με τις παρακάτω παραμέτρους:

I. Ικανοποίηση των απαιτήσεων των εκάστοτε ισχυόντων Προτύπων σε σχέση με τις μηχανικές αντοχές τους (όριο διαρροής και εφελκυστική αντοχή)

II. Δυνατότητα ανάληψης σημαντικών πλαστικών παραμορφώσεων, που εκφράζεται μέσω συγκεκριμένων απαιτήσεων για την ολκιμότητα και την δυσθραυστότητα.

III. Ικανότητα του συστήματος σκυρόδεμα/οπλισμός μεταφοράς εφελκυστικών δυνάμεων από τον οπλισμό στο σκυρόδεμα. Η αντοχή συνάφειας είναι

συνάρτηση της αλληλεπίδρασης μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και είναι σημαντικός παράγοντας επηρεασμού της ικανότητας ανάληψης παραμορφώσεων από τα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος. Σημαντική προϋπόθεση γι' αυτό είναι η ύπαρξη κατάλληλης τραχύτητας του οπλισμού, που εξασφαλίζεται με την τήρηση ειδικών απαιτήσεων για την γεωμετρία επιφάνειας.

IV. Δυνατότητα συνδέσεων τμημάτων του οπλισμού με συγκόλληση. Η συγκολλησιμότητα των χαλύβων καθορίζεται από τη χημική τους σύσταση και ελέγχεται μέσω της θέσπισης σχετικών απαιτήσεων.

V. Δυνατότητα διατήρησης των βασικών προδιαγραφόμενων ιδιοτήτων, εντός των απαιτήσεων των Προτύπων και των κατασκευαστικών κανονισμών, σε τυπικές συνθήκες διαμόρφωσης των χαλύβων οπλισμού πριν την ενσωμάτωση τους στο έργο. Εδώ θα μπορούσε να εντάξει κανείς, απαιτήσεις που σχετίζονται με την συμπεριφορά σε δοκιμασίες κάμψης και την πρόβλεψη για πιθανή υποβάθμιση των ιδιοτήτων λόγω προβλημάτων φυσικής γήρανσης.

VI. Διατήρηση των βασικών ιδιοτήτων των χαλύβων οπλισμού, σε περιπτώσεις ιδιαίτερα επιβλαβούς περιβάλλοντος. Εδώ υπάγονται θέματα και απαιτήσεις προστασίας από την διάβρωση.

VII. Συμπεριφορά των χαλύβων οπλισμού σε ειδικές συνθήκες, όπως σε πολύ υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες ή περιπτώσεις στις οποίες μπορούν να εμφανιστούν προβλήματα κόπωσης.

VIII. Χρήση των χαλύβων οπλισμού σε κατάσταση, ποσότητα, διάταξη, μορφή και ποιότητα διαμόρφωσης, αντίστοιχων των απαιτήσεων σχεδιασμού στην τελευταία και καθοριστική φάση της ενσωμάτωσης του στο σκυρόδεμα, ή αλλιώς κατά την τοποθέτηση τους.

Η παραπάνω κωδικοποίηση, γίνεται μόνο για μεθοδολογικούς λόγους και φυσικά δεν είναι η μοναδική που μπορεί να κάνει κανείς. Σημειώνεται επίσης, ότι οι παράμετροι αυτοί συνδέονται μεταξύ τους και επηρεάζονται σε σημαντικό βαθμό από τον τρόπο παραγωγής των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΧΑΛΥΒΩΝ (B500A & B500C)

ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ R_e (MPa) p=0,95	ΛΟΓΟΣ R_m / R_e p=0,90	ΛΟΓΟΣ $R_{e,act} / R_{e,nom}$ p=0,90	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ A_{gt} (%) p=0,90
B500A	ΕΛΟΤ 1421-2	≥ 500	≥ 1,05	-	≥ 2,5
B500A (d<6mm)	ΕΛΟΤ 1421-2	≥ 500	≥ 1,03	-	≥ 2,0
B500C	ΕΛΟΤ 1421-3	≥ 500	≥ 1,15 ≤ 1,35	≤ 1,25	≥ 7,5

- R_e (f_y): Όριο Διαρροής. Το Ανώτατο Όριο Διαρροής.
  - $R_{p0,2}$ ($f_{0,2}$): Συμβατικό Όριο Διαρροής, που απορρέει από παραμένουσα παραμόρφωση ε_{res} = 0,2%.
- $R_{e,act}$ ($f_{y,act}$): Πραγματική τιμή Ορίου Διαρροής.
- $R_{e,nom}$ ($f_{y,nom}$): Ονομαστική τιμή Ορίου Διαρροής.
- R_m (f_t): Εφελκυστική Αντοχή (Όριο Θραύσης).
- A_{gt} (ε_u): Συνολική επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο.
  - Εκτίμηση Ολκιμότητας Χάλυβα Οπλισμού.
- R, A_{gt}: Συμβολισμοί κατά ΕΛΟΤ ΕΝ 10080.
- f, ε_u: Συμβολισμοί κατά ΚΤΧ 2008.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΥΠΕΡΑΝΤΟΧΩΝ

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΧΑΛΥΒΩΝ (ΕΛΟΤ 959 & 971)

ΑΝΤΙΚΑΤΑΣΤΑΘΗΚΑΝ 24/10/2006 ΑΠΟ ΕΛΟΤ 1421-2/3

ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΕ ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ

ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΜΟΡΦΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ f_y (MPa) p = 95%	ΟΡΙΟ ΘΡΑΥΣΗΣ f_t (MPa) p = 95%	f_t/f_y	ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗ ΘΡΑΥΣΗ ε_5 (%) p = 95%
S220	ΛΕΙΟΣ	≥ 220	≥ 340	-	≥ 24
S400	ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ	≥ 400	≥ 500	≥ 1,05	≥ 14
S500	ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ / ΛΕΙΟΣ	≥ 500	≥ 550	≥ 1,05	≥ 12
$S400_S$	ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ	≥ 400	≥ 440	≥ 1,05	≥ 14
$S500_S$	ΝΕΥΡΩΣΕΙΣ	≥ 500	≥ 550	≥ 1,05	≥ 12

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

2.2 Συνοπτική παρουσίαση των νέων απαιτήσεων.

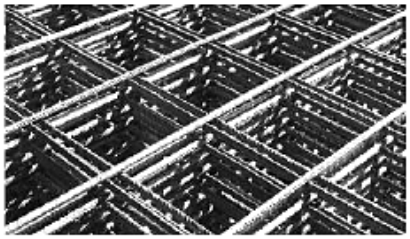
Το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421, αποτελείται από τρία μέρη. Το πρώτο από αυτά, αναφέρεται σε γενικές απαιτήσεις, μεθόδους ελέγχων και τη σήμανση αναγνώρισης των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Ουσιαστικά, στηρίζεται στις απαιτήσεις του Ευρωπαϊκού σχεδίου Προτύπου prEN 10080, οι προβλέψεις του οποίου είναι κοινές για όλες τις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Στο δεύτερο και το τρίτο μέρος, ορίζονται δύο κατηγορίες χαλύβων, με την ίδια απαίτηση για το όριο διαρροής (500MPa), αλλά με διαφορετική απαίτηση ολκιμότητας: Χάλυβες οπλισμού B500A (χαμηλής ολκιμότητας) και B500C (υψηλής ολκιμότητας) . Η χρήση της πρώτης, αφορά μόνο δομικά πλέγματα και ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα χαμηλής ολκιμότητας, όπως επίσης και ρόλλους για την παραγωγή αυτών των μορφών. Στην πράξη στις κατασκευές θα επιβληθεί η κατηγορία χαλύβων B500C.

2.2.1 Μορφές χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος.

Σε αντίθεση με τα προηγούμενα Πρότυπα (ΕΛΟΤ 971 και ΕΛΟΤ 959), θεσπίζονται απαιτήσεις για όλες τις προαναφερθείσες παραμέτρους , ενώ ταυτόχρονα καλύπτονται από αυτές όλες οι δυνατές μορφές χαλύβων οπλισμού και όχι μόνο οι ευθύγραμμες ράβδοι.

Ευθύγραμμοι ράβδοι



Συγκολλημένα πλέγματα

Ρόλλοι

Ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα

Εικόνα 6: Μορφές χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος είναι προϊόντα χάλυβα με κυκλική ή σχεδόν κυκλική διατομή, με ανοχές που ορίζονται από τα διάφορα πρότυπα. Στην επιφάνειά τους, στην τυπική περίπτωση έχουν νευρώσεις. Υπάρχουν και χάλυβες οπλισμού χωρίς νευρώσεις ή με αυλακώσεις αντί για νευρώσεις.

Παράγονται και παραδίδονται από τους παραγωγούς στις παρακάνω μορφές (Εικόνα 6):

I. Ευθύγραμμοι ράβδοι, που παραδίδονται σε δέματα
II. Ρόλλοι (κουλούρες)
III. Ευθυγραμμισμένα προϊόντα
IV. Πλέγματα

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

- Ειδικού τύπου πλέγματα (μιας διευθύνσεως αντοχής) που προορίζονται κυρίως για αναδίπλωση η καμπύλωση (μανδύες . κλωβοί κ.λπ.) . Οι ράβδοι της κύριας διεύθυνσης αυτών των πλεγμάτων θα πρέπει να ικανοποιούν τις απαιτήσεις των προτύπων αλλά και του ΕΛΟΤ ΕΝ 10800 , ΕΛΟΤ 1424-3 αλλά και του νέου κανονισμού τεχνολογίας χαλύβων (ΚΤΧ 2008).

V. Προκατασκευασμένα ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα (lattice girders)
   - Δικτυώματα δεν κυκλοφορούν ευρύς στην ελληνική αγορά. Οι σχετικές απαιτήσεις προδιαγράφονται στα πρότυπα ΕΛΟΤ ΕΝ 10080 , ΕΛΟΤ 1421-2 . ΕΛΟΤ 1421-3.

Οι ράβδοι οπλισμού σκυροδέματος ενσωματώνονται στις κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος, αφού προηγουμένως οι παραπάνω αρχικές μορφές τους, υποβληθούν κατά περίπτωση στις παρακάτω διεργασίες:

I. Διαμόρφωση, που περιλαμβάνει διαδικασίες κοπής, κάμψης, μηχανικές συνδέσεις, συγκολλήσεις, κατασκευή συνδετήρων και άλλες.
II. Ευθυγράμμιση και περαιτέρω διαμόρφωση, αν είχαν παραχθεί σε μορφή ρόλλων.
III. Τοποθέτηση στο καλούπι πριν τη σκυροδέτηση.

2.2.2. Γεωμετρικά χαρακτηριστικά και ανοχές

Οι ονομαστικές διάμετροι, οι ονομαστικές διατομές καθώς και η ονομαστική μάζα δίνονται στον Πίνακα 1. Υπογραμμίζεται εδώ, ότι μέσω του νέου Προτύπου ΕΛΟΤ 1421, αλλάζουν οι απαιτήσεις για επιτρεπτές αποκλίσεις για τις ανοχές μάζας (άρα και διατομής και του βάρους ανά μέτρο), στους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος.

Η επιτρεπτή απόκλιση από την ονομαστική μάζα ανά μέτρο δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το ±4,5% για ονομαστικές διαμέτρους πάνω από 8mm και το ±6% για ονομαστικές διαμέτρους ίσες ή κάτω από 8mm. Μειώνεται έτσι αισθητά η δυνατή απόκλιση ανάμεσα στο θεωρητικό βάρος μίας ποσότητας και στο πραγματικό.

Εικόνα 7: Ράβδοι οπλισμού διαφόρων διαμέτρων από το εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ

Πίνακας1: Ονομαστικές διάμετροι, ονομαστική μάζα και ανοχές για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος με νευρώσεις

Διάμετρος	**A**	**Ανοχές (%)**	**Μάζα**
d (mm)	**(mm^2)**	**ΕΛΟΤ 1421**	**(kg/m)**
8	50,3	□6	0,395
10	78,5	□4,5	0,617
12	113	□4,5	0,888
14	154	□4,5	1,21
16	201	□4,5	1,58
18	254	□4,5	2,00
20	314	□4,5	2,47
22	380	□4,5	2,98
25	491	□4,5	3,85
28	616	□4,5	4,83
32	804	□4,5	6,31
40	1257	□4,5	9,86

2.2.3. Μηχανικές αντοχές και ολκιμότητα.

Το όριο διαρροής (Re), είναι το βασικό μέγεθος σχεδιασμού σε ότι αφορά τις μηχανικές αντοχές των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Καθορίζεται με την πραγματοποίηση δοκιμής εφελκυσμού, όπου ένα δοκίμιο μήκους 40-60 εκατοστών εφελκύεται σε ειδική μηχανή. Με την προοδευτική αύξηση του φορτίου, οι αρπάγες της μηχανής απομακρύνονται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της δοκιμής και το δοκίμιο επιμηκύνεται. Σύμφωνα με όσα γνωρίζουμε για τη δοκιμή εφελκυσμού μεταλλικών υλικών, μέχρις κάποια συγκεκριμένη τιμή φορτίου, η επιμήκυνση είναι ανάλογη με αυτό. Η παραπάνω μεταβολή σχεδόν ταυτίζεται με τον ευθύγραμμο κλάδο του διαγράμματος τάσεων παραμορφώσεων, η κλίση του οποίου μας δίνει το μέτρο ελαστικότητας (E) .

Φόρτιση, πέρα από το σημείο διαρροής, προκαλεί στο δοκίμιο της ράβδου πλαστική παραμόρφωση, δηλαδή οι παραμορφώσεις που προκαλούνται είναι μόνιμες.

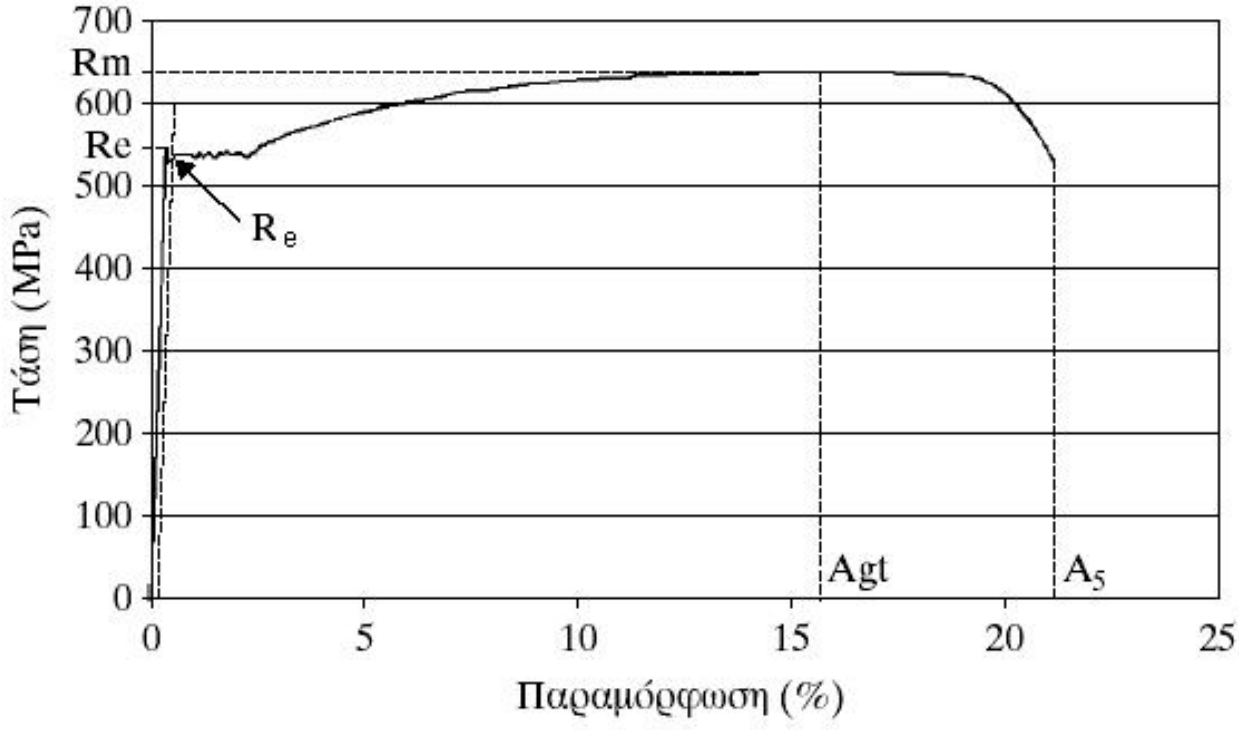
Στα διαγράμματα τάσεων – παραμορφώσεων, οι τάσεις υπολογίζονται με τη διαίρεση του εκάστοτε φορτίου με την αρχική διατομή του δοκιμίου ($\sigma = F/A$), όπου λαμβάνεται είτε η ονομαστική τιμή αυτής είτε η πραγματική. Στον άξονα των παραμορφώσεων, σημειώνονται οι ανηγμένες παραμορφώσεις, που προκύπτουν από το πηλίκο της μεταβολής μήκους, προς το αρχικό επιμετρούμενο μήκος ($\varepsilon = \Delta l/l_0$). Το επιμετρούμενο μήκος δεν είναι ολόκληρο το μήκος του δοκιμίου, αλλά τμήμα αυτού, που καθορίζεται από τα διάφορα Πρότυπα.

Το σημείο διαρροής, σε δοκίμια χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος θερμής έλασης (Tempcore/Thermex ή μικροκραματωμένοι με βανάδιο), είναι σχεδόν πάντα ορατό. Σε αυτήν την περίπτωση, μόλις το σημείο διαρροής προσεγγιστεί, η επιμήκυνση αυξάνει απότομα, με ρυθμό μεγαλύτερο της αύξησης του φορτίου ή και χωρίς αύξηση φορτίου. Παρουσιάζεται στο (Διάγραμμα 1).

Εικόνα 8[α]

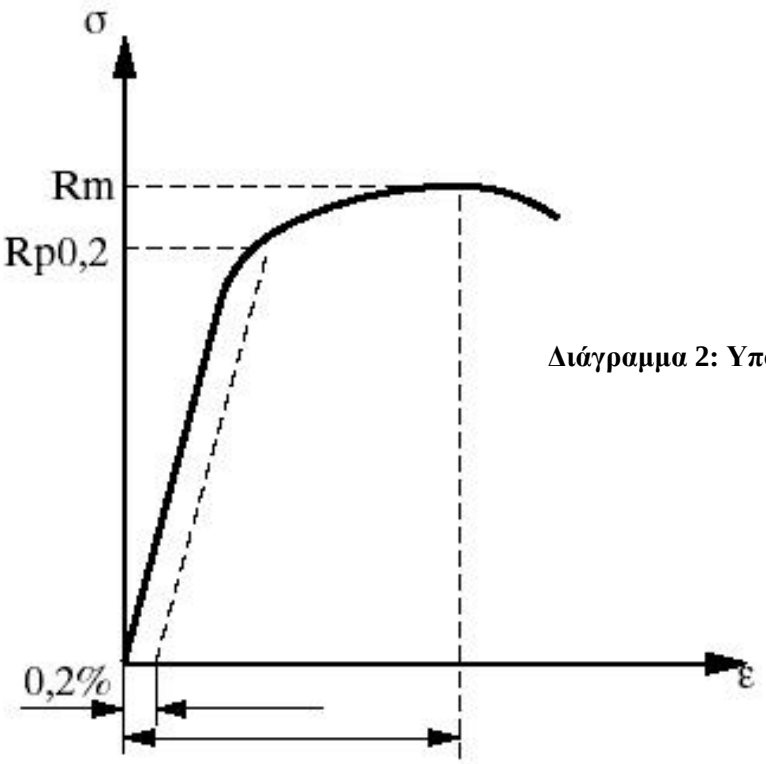
Μηχανή εφελκυσμού

Εικόνα 8β : Μηχανή εφελκυσμού εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ



Διάγραμμα 1.: Τυπικό διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων δοκιμίου χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος θερμής έλασης

Στην περίπτωση που εμφανίζεται ανώτερο και κατώτερο σημείο διαρροής, ως τιμή του ορίου διαρροής, λαμβάνεται πάντοτε το ανώτερο. Στην περίπτωση των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος ψυχρής ολκής ή ψυχρής έλασης, το σημείο διαρροής δεν είναι ορατό. Το ίδιο μπορεί να συμβεί και σε μικροκραματωμένους χάλυβες, ανάλογα με τη συνδυασμένη παρουσία χημικών στοιχείων σε συγκεκριμένες αναλογίες. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, προσδιορίζεται το συμβατικό όριο διαρροής $Rp_{0,2}$, δηλαδή η τάση που αντιστοιχεί σε ανηγμένη παραμόρφωση 0,2% (Διάγραμμα 2).



Διάγραμμα 2: Υπολογισμός συμβατικού Ορίου Διαρροής

Με αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου πέραν της τιμής που αντιστοιχεί στο όριο διαρροής, η αντοχή της ράβδου αυξάνεται, λόγω ενδοτράχυνσης, μέχρις μιας ανώτερης τιμής, που είναι η εφελκυστική αντοχή – Rm . Μετά το σημείο αυτό, η παραμόρφωση του δοκιμίου παύει να είναι ομοιόμορφη, δημιουργείται "λαιμός'', η φέρουσα ικανότητα του δοκιμίου μειώνεται και τελικά αυτό θραύεται. Το φορτίο που αντιστοιχεί στο σημείο της θραύσης ονομάζεται φορτίο θραύσης και η αντίστοιχη τάση, τάση θραύσης.

Συχνά δημιουργείται κάποια σύγχυση με τη χρήση των παραπάνω εννοιών και αυτό διότι στο Πρότυπο ΕΛΟΤ 971 για τους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, η εφελκυστική αντοχή, αναφέρεται ως όριο θραύσης, που ασφαλώς δεν είναι σωστό.

Οι τάσεις συνήθως μετρούνται σε MPa.

$1MPa = 1N/mm^2$ $1MPa = 10Kp/cm^2$

Ανάλογα με τις τιμές που ορίζονται για το όριο διαρροής και την εφελκυστική αντοχή, υπάρχουν χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος διαφόρων αντοχών. Οι προδιαγραφές των προτύπων σε σχέση με τις μηχανικές αντοχές ποικίλλουν από χώρα σε χώρα, ανάλογα με τις τεχνολογικές εξελίξεις, τις ιδιαιτερότητες κάθε περιοχής και τη χρήση που πρόκειται να έχουν οι κατασκευές οπλισμένου σκυροδέματος.

Οι παλιές και νέες απαιτήσεις των ελληνικών Προτύπων και Κανονισμών σε σχέση με τις μηχανικές αντοχές και την ολκιμότητα, παρουσιάζονται συνοπτικά στον Πίνακα 2, όπου έχει γίνει και υπογράμμιση των κατηγοριών που στην πράξη μας ενδιαφέρουν: Στο Διάγραμμα 3 απεικονίζονται παραστατικά οι αλλαγές των απαιτήσεων, σε ότι αφορά τις δύο αυτές κατηγορίες.

Επισημαίνεται ότι, για την κατηγορία B500C, θεσπίζονται, εκτός από τα ελάχιστα και ανώτατα όρια τόσο για το όριο διαρροής (625MPa), όσο και για το λόγο Rm/Re (μέγιστο 1,35). Η πρόβλεψη αυτή γίνεται για την ικανοποίηση των απαιτήσεων ικανοποιητικού ελέγχου και την προστασία έναντι υπεραντοχών.

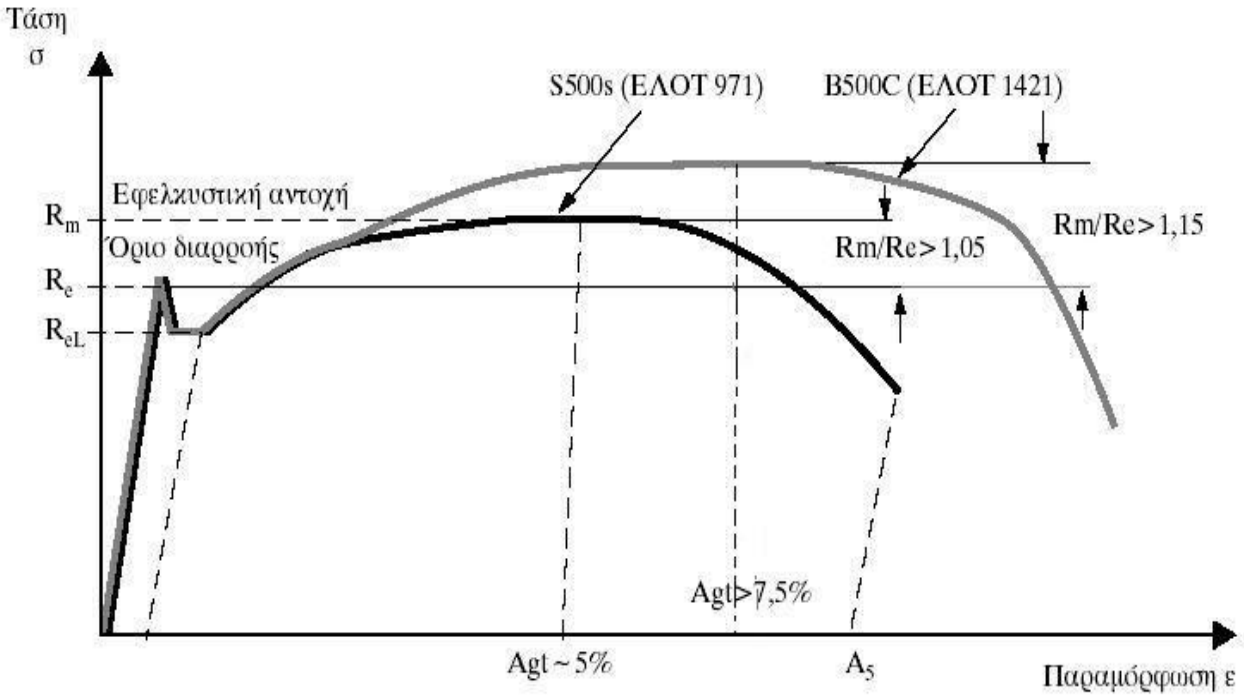
Μέγεθος	**Πρότυπα ΕΛΟΤ 959, ΕΛΟΤ 971 (έχουν καταργηθεί)**					**Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421 (ισχύον κανονισμός)**	
	S220	S400	S500	S400s	S500c	B500C	B500A
Όριο διαρροής, Re (MPa)	220	400	500	400	500	500	500
Εφελκυστική αντοχή, Rm (MPa)	340	500	550	440	550	Δεν ορίζεται. Τίθεται έμμεση απαίτηση μέσω των περιορισμών για τις τιμές του λόγου R_m/R_e	Δεν ορίζεται. Τίθεται έμμεση απαίτηση μέσω των περιορισμών για τις τιμές του λόγου R_m/R_e
Ανηγμένη παραμόρφωση μετά την θραύση, A_5 (%)	24	12	12	14	12	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται

Ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο, A_{gt} (%)	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Agt ≥7,5	Agt ≥ 2,5
Λόγος εφελκυστικής αντοχής προς Όριο διαρροής, Rm/Re	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	1.05	1.05	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,25$	$R_m/R_e \geq 1.05$
Λόγος πραγματικής τιμής Ορίου διαρροής προς ονομαστική τιμή Ορίου διαρροής, $(R_{e,act}/R_{e,nom})$	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	Δεν ορίζεται	$R_{e,act}/R_{e,nom} \leq 1,35$	Δεν ορίζεται

Πίνακας 2: Απαιτήσεις ορίων σύμφωνα με τα Ελληνικά Πρότυπα και Κανονισμούς

Με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421, αλλάζει ο τρόπος υπολογισμού των αντοχών. Το όριο διαρροής και η εφελκυστική αντοχή θα υπολογίζονται χρησιμοποιώντας το εμβαδόν της ονομαστικής διατομής του προϊόντος και όχι της πραγματικής, που χρησιμοποιούταν μέχρις τώρα.

Η αλλαγή αυτή δημιουργεί νέα δεδομένα, φέρνοντας πιο κοντά τις ιδιότητες του υλικού στις απαιτήσεις του σχεδιασμού. Ορισμένα παραδείγματα για τις συνέπειες: α) Η οποιαδήποτε μείωση διατομής στην περίπτωση έντονης διάβρωσης, θα συνεπάγεται μείωση των πειραματικά υπολογιζόμενων αντοχών και συνεπώς θα αυξάνει την πιθανότητα απόρριψης του υλικού λόγω διάβρωσης β) Αυξάνει η πιθανότητα απόρριψης υλικών λόγω μη επαρκούς αντοχής σε σχέση με παρελθόν, καθώς δεν θα είναι πλέον δυνατόν με μείωση της διατομής, να αυξάνεται (τεχνητά) η αντοχή, π.χ. στους χάλυβες ψυχρής ολκής.



Διάγραμμα 3 Απλοποιημένη συγκριτική παρουσίαση των βασικών απαιτήσεων των Προτύπων ΕΛΟΤ 971 και ΕΛΟΤ 1424

2.2.3.1 Πλαστιμότητα

Πλαστιμότητα: Μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητάς τους. Δηλαδή μας ενδιαφέρουν δύο κυρίως ιδιότητες:

- οι πλαστικές παραμορφώσεις (από την διαρροή μέχρι την αστοχία) να είναι σημαντικά μεγαλύτερες από τις ελαστικές παραμορφώσεις (μέχρι την διαρροή), και
- η φέρουσα ικανότητα να μην μειώνεται ουσιωδώς κατά τους διάφορους κύκλους φορτίσεως (δεν ενδιαφέρει τόσο το απόλυτο μέγεθος της φέρουσας ικανότητας, όσο το να μην μειώνεται).

Η πλαστιμότητα μιας κατασκευής εξαρτάται από την πλαστιμότητα των μελών που την απαρτίζουν. Η πλαστιμότητα κάθε μέλους εξαρτάται από την συμπεριφορά των δύο υλικών: σκυροδέματος και χάλυβα. Από τα δύο αυτά υλικά το μεν σκυρόδεμα είναι ψαθυρό, ο δε χάλυβας είναι πλάστιμος (μέσω της ολκιμότητάς του).
Για να πετύχουμε λοιπόν πλάστιμα μέλη από οπλισμένο σκυρόδεμα θα πρέπει το υλικό που πρώτο θα αστοχήσει (διαρρεύσει) να είναι ο χάλυβας. Δηλαδή ο χάλυβας να είναι το πιο «*αδύνατο*» από τα δύο υλικά: άρα πρόβλεψη για:

- κατάλληλη όπλιση και μόρφωση (ΕΚΩΣ: ρ_{max} , A_c , A_{s2})
- μηχανικές ιδιότητες χαλύβων (ΚΤΧ)

$$\mu_r = 1.2\varepsilon_{cu}\left\{\frac{0,6}{\nu + (\rho_1 - \lambda\rho_2)(\frac{f_{sy}}{f_c})} - 1\right\}\frac{E_s}{f_{sy}}$$

Από την παραπάνω προσεγγιστική έκφραση του δείκτη πλαστιμότητας σε όρους καμπυλοτήτων βλέπουμε ότι αυτός εξαρτάται από τα εξής έξι μεγέθη:

- το ποσοστό του θλιβόμενου οπλισμού ρ_2,
- την θλιπτική αντοχή του σκυροδέματος f_c,
- την παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος ε_{cu},
- το ποσοστό του εφελκυόμενου οπλισμού ρ_1,
- το όριο διαρροής του χάλυβα f_{sy}, και
- την δρώσα ανηγμένη αξονική δύναμη ν.

Πρακτικά συμπεράσματα:

- φροντίζουμε να έχουμε «μεγάλες» διατομές
- θέτουμε θλιβόμενο οπλισμό ακόμη και αν δεν απαιτείται
- φροντίζουμε να αυξήσουμε την παραμόρφωση αστοχίας του σκυροδέματος

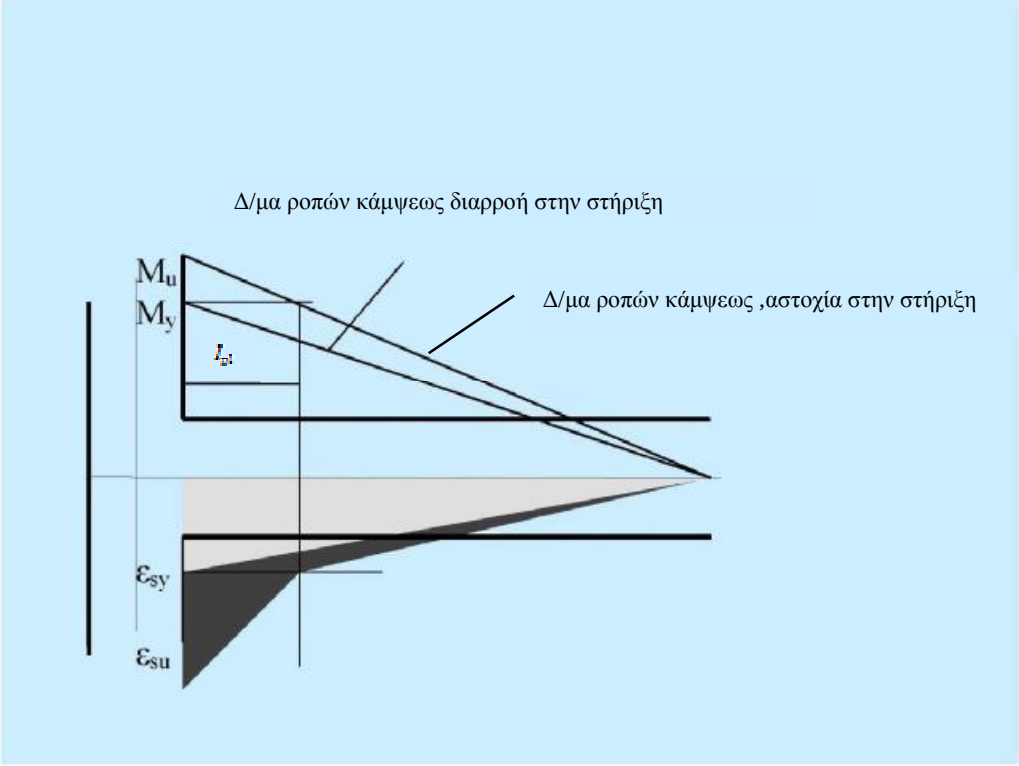
(περίσφιγξη).

- Όριο διαρροής fy (και όχι μόνον!)
- Ολκιμότητα του χάλυβα: παραμόρφωση θραύσεως ε_{su} (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 αναπτύξει πλαστιμότητα ένα στοιχείο από Ω.Σ. Στα αγγλικά η ολκιμότητα και η πλαστιμότητα αποδίδονται με τον ίδιο όρο: ductility)

- Κράτυνση (ft/fy) (ανακατανομή εντάσεως, απορρόφηση ενέργειας)

Όσο μεγαλώνει η κράτυνση ft/fy>1 τόσο μεγαλώνει το μήκος της «πλαστικής αρθρώσεως» (περιοχή εντός της οποίας γίνεται μεγάλη απορρόφηση ενέργειας)



Διάγραμμα 4 Μήκος πλαστικής αρθρώσεως $l_{pl} = l_s(1 - \frac{f_y}{f_t})$

Επίσης η ολκιμότητα χρειάζεται (εκτός από τον σεισμό):

- Για να υπάρχει δυνατότητα κάμψεως χάλυβα
- Για να υπάρχει επαρκής προειδοποίηση
- Για αντοχή έναντι επιβαλλομένων παραμορφώσεων
- Για αντοχή σε κρούσεις και άλλες τυχηματικές δράσεις
- Για να υπάρχει δυνατότητα ανακατανομής της εντάσεως (μιας και η ελαστική δυσκαμψία του αρηγμάτωτου σκυροδέματος διαφέρει από την πραγματική δυσκαμψία του ρηγματωμένου σκυροδέματος).
- Πολλές φορές ο οπλισμός δεν είναι παράλληλος προς τις κύριες εφελκυστικές τάσεις (προσαρμογή από την ελαστική κατανομή σ' αυτή του προσομοιώματος)
- Για ανακατανομή σε περίπτωση πυρκαγιάς

Από την άλλη πλευρά όμως: πολύ μεγάλες τιμές του λόγου ft/fy αλλοιώνουν:

- την μετελαστική συμπεριφορά,
- τους ικανοτικούς ελέγχους δοκών - υποστυλωμάτων σε κάμψη από την ανάπτυξη απρόβλεπτα μεγάλων ροπών αντοχής στις δοκούς
- τους ικανοτικούς ελέγχους τέμνουσας, ομοίως από την ανάπτυξη απρόβλεπτα μεγάλων ροπών αντοχής στις δοκούς.

Οι ιδιότητες του χάλυβα: f_t, f_y , f_t/f_y , και ε_{su} παρουσιάζουν σημαντικές διακυμάνσεις και διασπορές.

Γι' αυτό στην πράξη ορίζονται χαρακτηριστικές τιμές (που συνήθως αντιστοιχούν σε ποσοστιμόριο 5%) ή και ονομαστικές τιμές (κατώτατο εγγυημένο όριο).

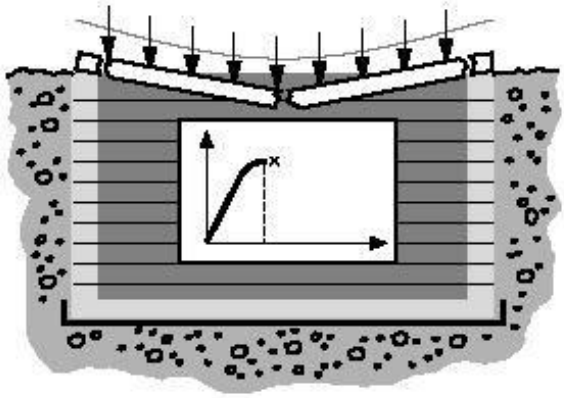
Έτσι, το όριο διαρροής που ο χάλυβας θα επιδείξει επί τόπου του έργου fy,act είναι συνήθως μεγαλύτερο από την ονομαστική τιμή fy,nom, που λήφθηκε υπόψη στον σχεδιασμό.

Άρα ανάγκη για περιορισμό της ανεξέλεγκτης υπεραντοχής του χάλυβα.

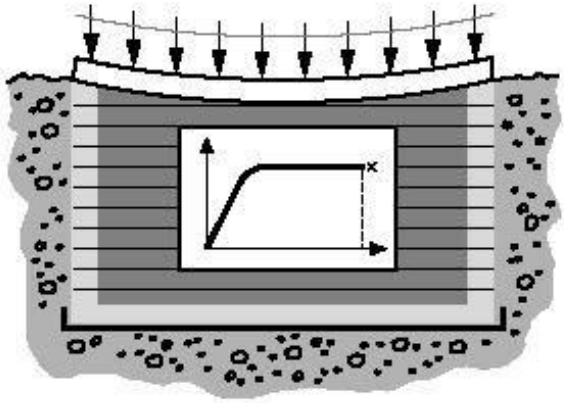
Τέλος, μεγάλη τιμή του λόγου ft/fy αυξάνει τον κίνδυνο για αστοχία της αγκυρώσεως (ολίσθηση χάλυβα, ψαθυρή αστοχία) μιας και το απαιτούμενο μήκος αγκυρώσεως είναι ανάλογο της τάσεως του χάλυβα: L_{bnet}=Φ*$f_{yd}/4f_{bd}$

Συνεπώς: τρία είναι τα χαρακτηριστικά μεγέθη που κυρίως μας ενδιαφέρουν στο διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων του χάλυβα:

- το όριο διαρροής f_y(για τον υπολογισμό των οπλισμών)
- η εφελκυστική αντοχή f_t/f_y, η οποία συνήθως εκφράζεται από την κράτυνση f_t, f_y (για τους ικανοτικούς ελέγχους, και την ανακατανομή της εντάσεως) και
- η παραμόρφωση θραύσεως ε_{st}(για την πλαστιμότητα)



Εικόνα 9: Ψαθυρό υλικό - κίνδυνος αστοχίας



Εικόνα 10: Ολκιμότητα χάλυβα – πλαστιμότητα κατασκευής

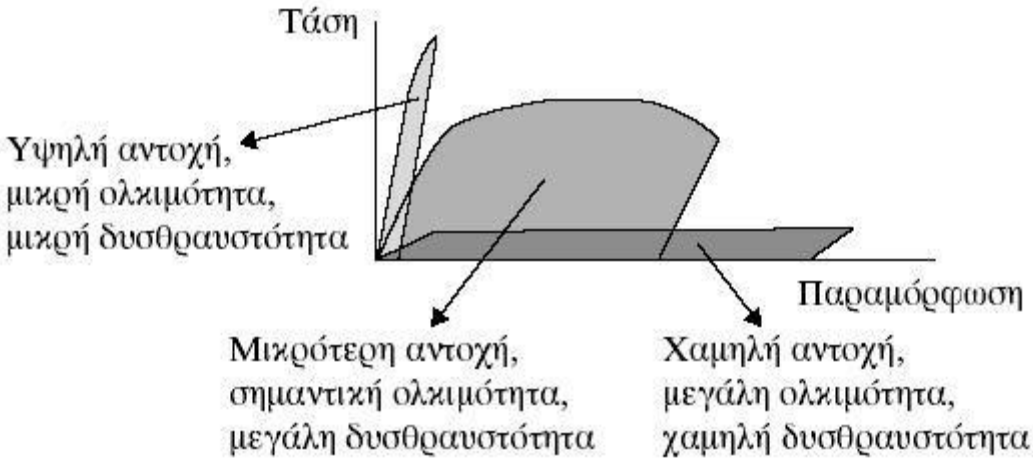
Η σημαντικότερη ωστόσο αλλαγή, αφορά στη θέσπιση απαιτήσεων πολύ μεγαλύτερης ολκιμότητας.

Η ολκιμότητα (ductility) των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, αναφέρεται στην ικανότητα του υλικού και συνεπώς και της κατασκευής, να αναλαμβάνει πλαστικές παραμορφώσεις όταν υπερφορτίζεται. Αν ένα στοιχείο σκελετού οπλισμένου σκυροδέματος, δεν έχει τέτοια ικανότητα λειτουργίας, έχει κίνδυνο ψαθυρής αστοχίας (Εικόνα 9 και 10).

Γενικά, η ολκιμότητα αποδίδεται με το μήκος των παραμορφώσεων στο διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων. Η δυσθραυστότητα (toughness), αντιπροσωπεύει τη συνολική ενέργεια που απαιτείται για την αστοχία του υλικού, άρα αναφέρεται ταυτόχρονα στη δυνατότητα ανάληψης υψηλών φορτίων και μεγάλων παραμορφώσεων. Το μέτρο της αποδίδεται από το εμβαδόν που περικλείεται μεταξύ της καμπύλης του διαγράμματος και του άξονα των παραμορφώσεων.

Στο Εικόνα 11, παρουσιάζεται απλουστευτικά ο συσχετισμός μεταξύ της αντοχής, της ολκιμότητας και της δυσθραυστότητας των υλικών.

Στις κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα μας ενδιαφέρει οι χάλυβες να έχουν όλκιμη συμπεριφορά, ώστε συνολικά η κατασκευή να παρουσιάζει πλάστιμη συμπεριφορά, δηλαδή ικανότητα ανακατανομής των ιδιαίτερα ισχυρών τάσεων (π.χ. στην περίπτωση ενός σεισμού) μεταξύ των δομικών του στοιχείων.



Εικόνα 11: Συσχετισμός αντοχής , ολκιμότητας δυσθραυστότητας

Η απαίτηση για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος, με σημαντική ολκιμότητα και δυσθραυστότητα, εκφράζεται μέσω δύο βασικών παραμέτρων:

I. Ανηγμένη επιμήκυνση Α(%). Αποτελεί μέτρο της ικανότητας του υλικού, να επιμηκύνεται πριν τη θραύση του.

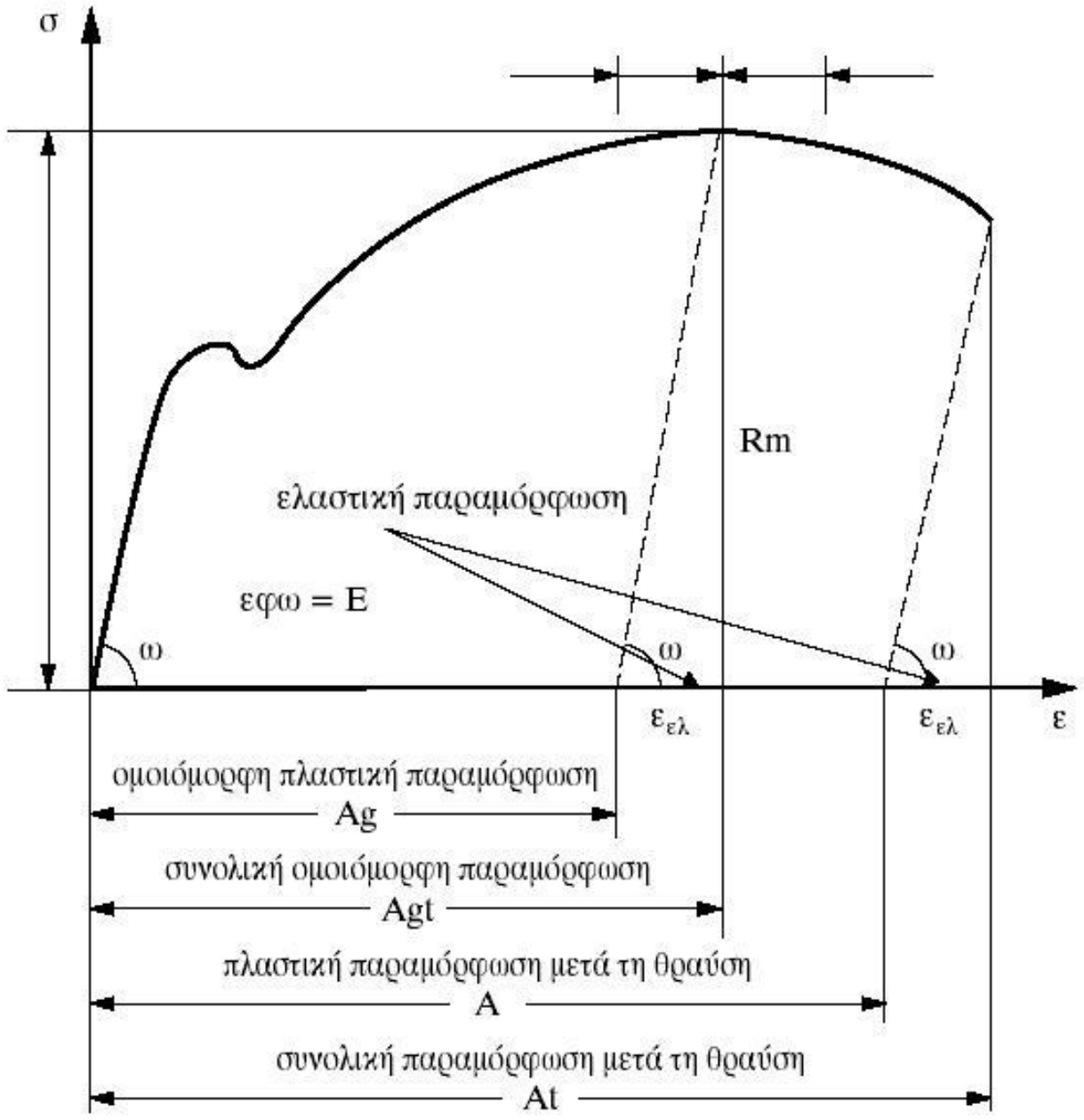
II. Λόγος (Rm/Re) της εφελκυστικής αντοχής (Rm) προς το όριο διαρροής (Re). Αποτελεί μέτρο της ικανότητας του υλικού να αυξάνει την αντοχή του, μετά την προσέγγιση του σημείου διαρροής (ενδοτράχυνση).

Η επιμήκυνση (Α) μετά τη θραύση, αναφέρεται σε τοπική μόνιμη επιμήκυνση γύρω από το λαιμό θραύσης ενός τμήματος του δοκιμίου οπλισμού, μήκους l το οποίο στο προηγούμενο Πρότυπο ΕΛΟΤ 971 οριζόταν l=5d, όπου d είναι η διάμετρος της ράβδου. Αν στη μόνιμη παραμόρφωση (Α) προστεθεί και η ελαστική παραμόρφωση, ορίζεται η συνολική επιμήκυνση μετά τη θραύσης At.

Σύμφωνα με τις σύγχρονες αντιλήψεις, δεν ενδιαφέρει η τοπική παραμόρφωση του υλικού μας γύρω από το λαιμό της θραύσης, αλλά η ομοιόμορφη παραμόρφωση μακριά από το σημείο θραύσης. Για το σκοπό αυτό ορίζονται τα παρακάτω μεγέθη:

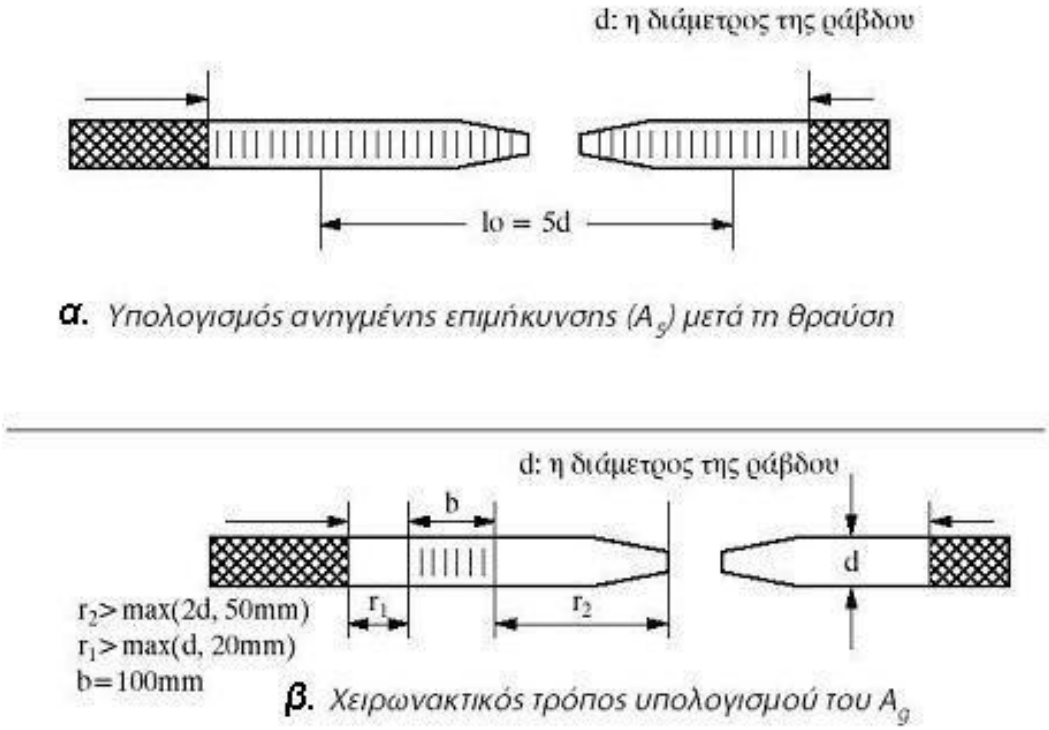
Επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο Ag, που αντιστοιχεί στην επιμήκυνση του επιμετρούμενου μήκους του δοκιμίου του υλικού, στο μέγιστο φορτίο, δηλαδή πριν τη δημιουργία του λαιμού και εκφράζεται ως ποσοστό του αρχικού μήκους. Αν στην επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο, προστεθεί και η ελαστική παραμόρφωση, τότε ορίζεται η συνολική επιμήκυνση στο μέγιστο φορτίο Agt.

Η διάκριση των μεγεθών αυτών, φαίνεται παραστατικά στο Εικόνα 12.



Εικόνα 12: Διάκριση μεγεθών ανηγμένης παραμόρφωσης

Η συνολική ομοιόμορφη παραμόρφωση Agt, θεωρείται πιο αντιπροσωπευτική παράμετρος, για αυτό και καθιερώνεται στο νέο Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421. Η διάκριση των τρόπων υπολογισμού των μεγεθών A_5 και Agt, απεικονίζεται στο Εικόνα13.



Εικόνα 13: Διάκριση ροπών υπολογισμού μεγεθών A_5 και Agt

2.2.4. Σημείωση σχετικά με τους χρησιμοποιούμενους συμβολισμούς.

Είναι υπαρκτός ο κίνδυνος σύγχυσης, λόγω των διαφορετικών συμβολισμών που χρησιμοποιούνται για τα διάφορα μεγέθη. Παραδοσιακά, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συμβολισμοί στο Ευρωπαϊκό και στο Αμερικάνικο σύστημα κωδικοποίησης. Όμως, ακόμη και στο πλαίσιο του ίδιου συστήματος (Ευρωπαϊκό, ISO κ.λπ.), για το ίδιο μέγεθος χρησιμοποιούνται διαφορετικοί συμβολισμοί, ανάλογα με το είδος του εγγράφου (Πρότυπο/Κανονισμός), ή τον ειδικότερο προσδιορισμό που επιδιώκει ο συμβολισμός.

Παράδειγμα: Οι τάσεις στην γενική περίπτωση σε όλους τους Ευρωκώδικες συμβολίζονται με σ. Ωστόσο, για την τάση διαρροής και την εφελκυστική αντοχή των χαλύβων οπλισμού, στον Ευρωκώδικα 2, χρησιμοποιούνται οι ειδικοί συμβολισμοί fy και ft αντίστοιχα, ενώ στο σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 1421, χρησιμοποιούνται αντίστοιχα οι συμβολισμοί Re και Rm.

Στον Πίνακα 6 παρουσιάζεται συνοπτικά η σύγκριση των συμβόλων, για τα διάφορα μεγέθη που συναντούνται στην έκδοση αυτή.

Πίνακας 6: Σύγκριση συμβόλων βασικών μεγεθών

	Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421	**Ευρωκώδικες 2 και 8**
Όριο διαρροής	R_e	f_y
Συμβατικό όριο διαρροής	$R_{p0.2}$	$f_{p0.2}$
Εφελκυστική αντοχή	R_m	f_t
Λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής	R_m/ R_e	f_t/f_y
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση μετά την θραύση		ε_5
Συνολική ανηγμένη παραμόρφωση στο μέγιστο φορτίο	A_{gt}	ε_{uk}
Ονομαστική διάμετρος	d	Φ

Στην έκδοση αυτή, γενικά ακολουθούνται οι ειδικοί συμβολισμοί του σχεδίου Προτύπου ΕΛΟΤ 1421.

2.3 Ιχνηλασιμότητα

Η χώρα παραγωγής, η μονάδα 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 χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος. Ο παραγωγός πρέπει να τηρεί έναν τρόπο για την ικανοποίηση αυτής της απαίτησης για τα προϊόντα που διαθέτει.

2.4 Μηχανικές ιδιότητες (ΚΤΧ 2008)

Αυτές καθορίζονται από τη δοκιμασία των χαλύβων σε Εφελκυσμό, Αναδίπλωση, Κόπωση και Διάτμηση.

Εφελκυσμός.

- Καθορίζονται συγκεκριμένες τιμές για χαρακτηριστικές ιδιότητες.

Αναδίπλωση.

- Εξετάζεται η καταλληλότητα των δοκιμίων στη δοκιμή της Αναδίπλωσης. Ο ΕΛΟΤ ΕΝ 10080 προβλέπει και τη δοκιμασία των χαλύβων σε Ανάκαμψη.

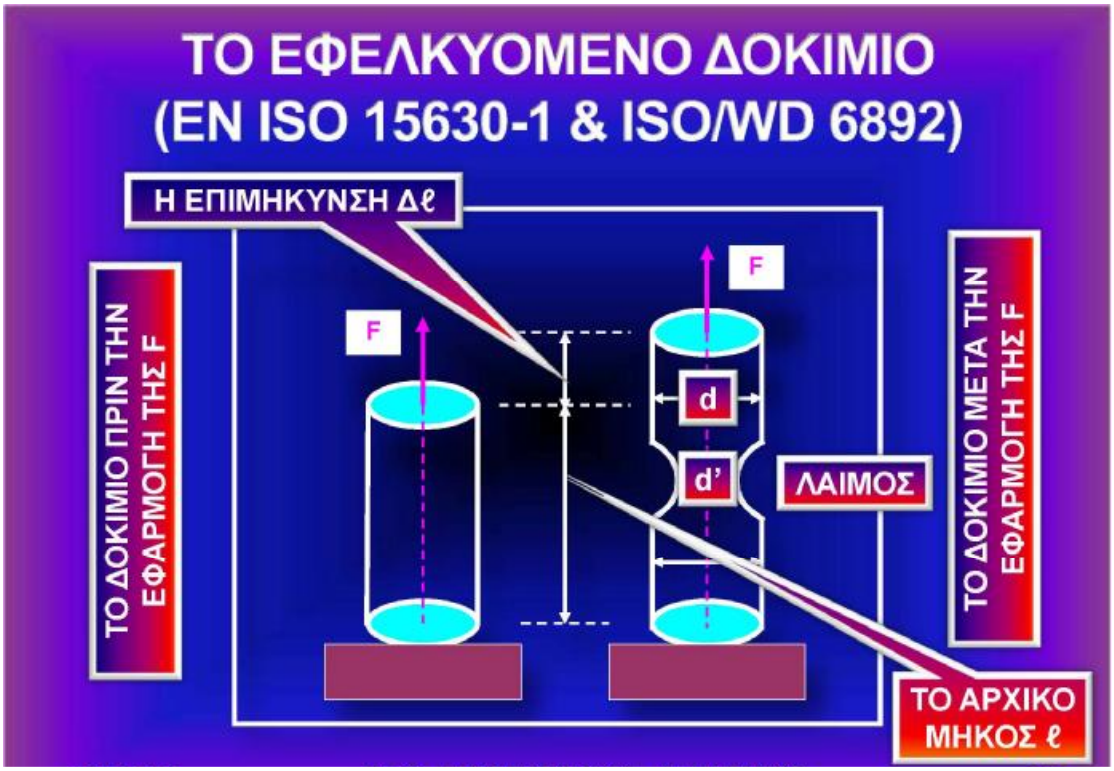
Διάτμηση.

- Αφορά ηλεκτροσυγκολλημένες ή μηχανικές συνδέσεις.

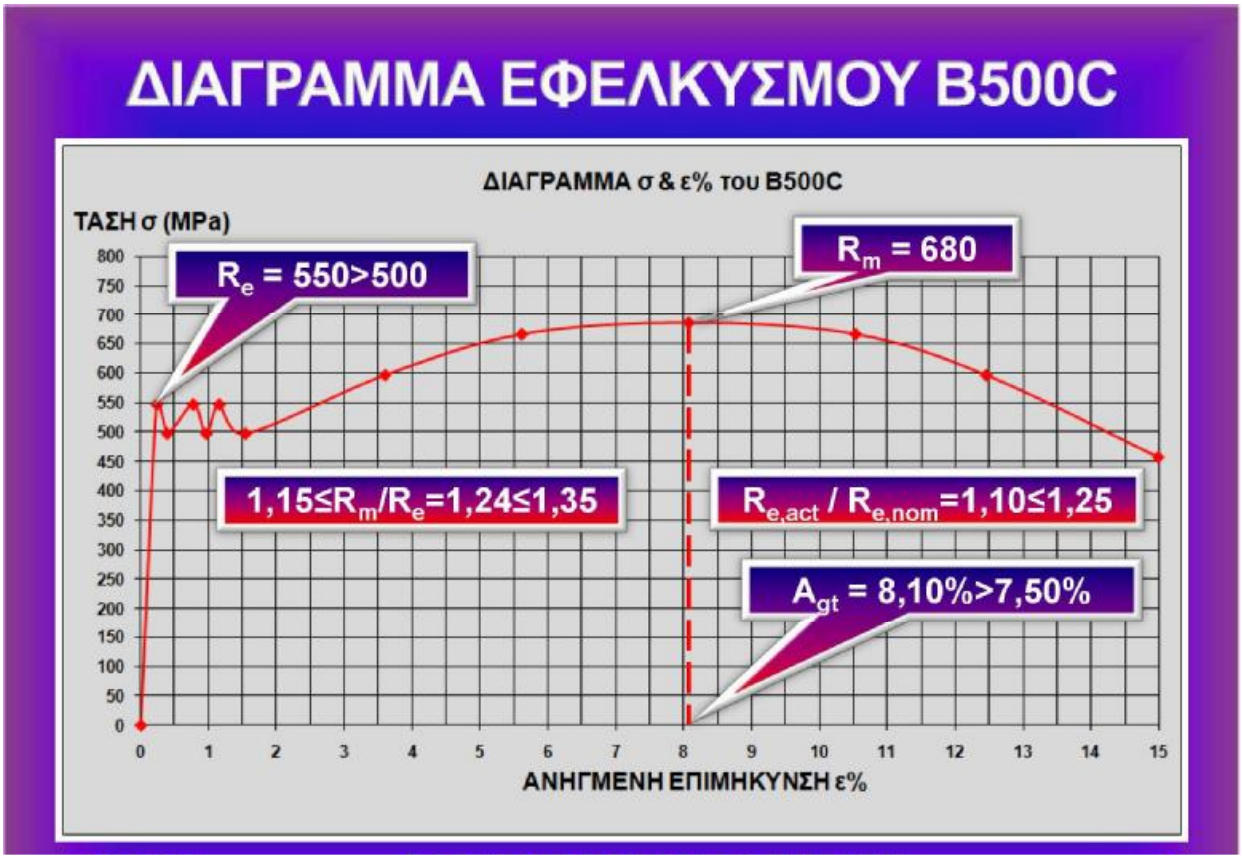
Κόπωση.

- Αφορά τον B500C.

2.4.1 Εφελκυσμός

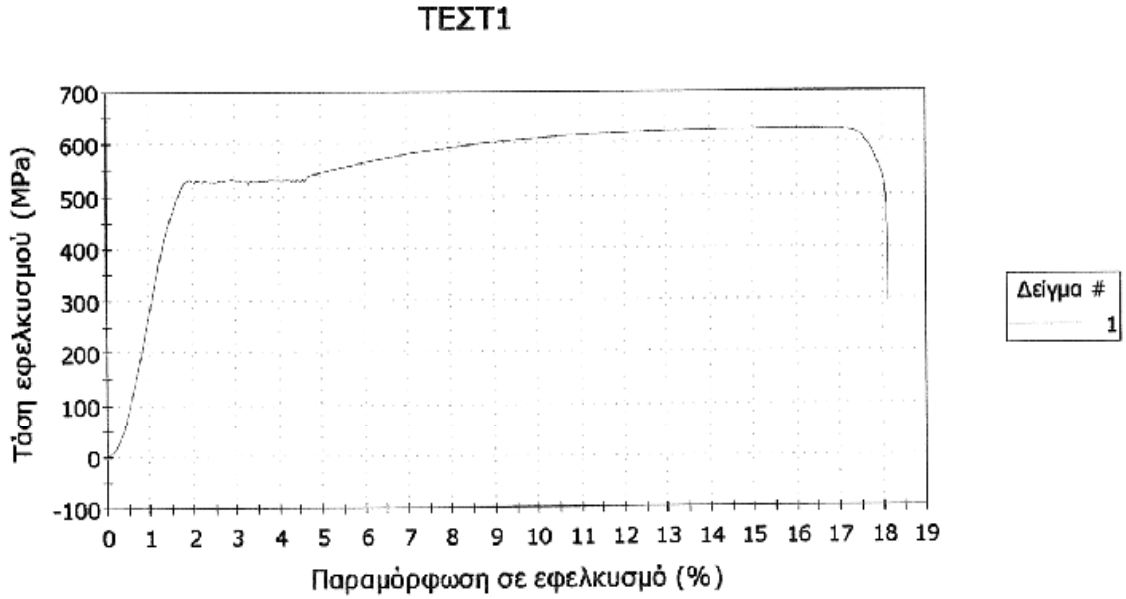


Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ



Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Διαγράμματα εφελκυσμού που πρόεκυψαν από το εργαστήριο οπλισμένου σκυροδέματος του ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΩΝ



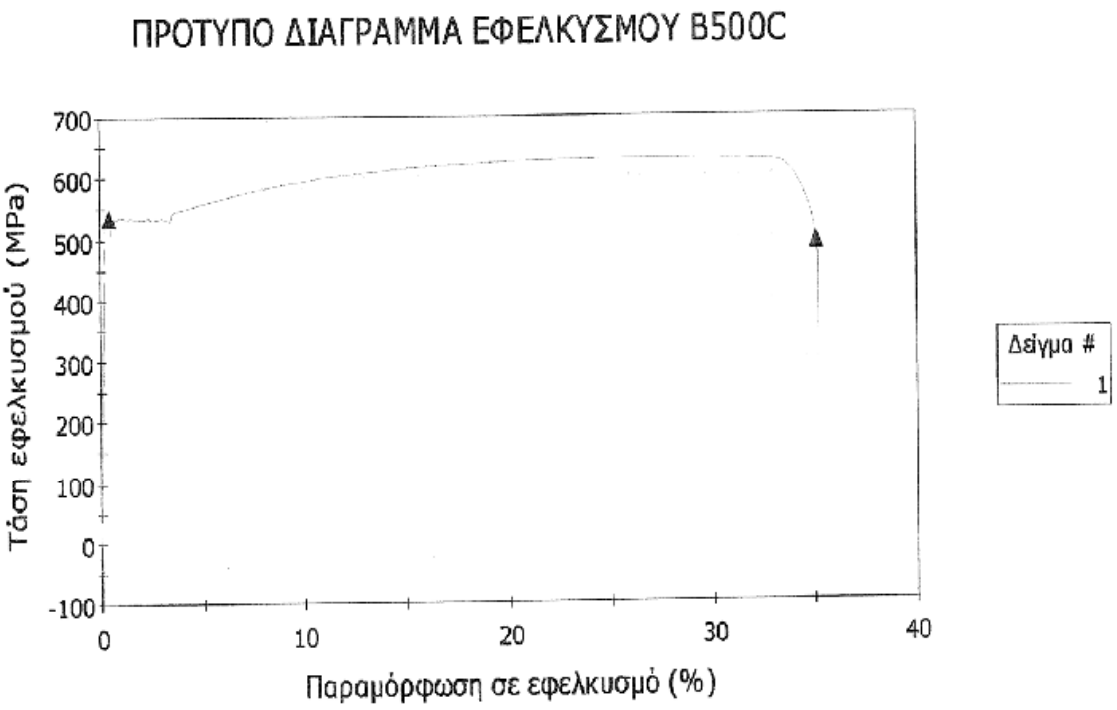
	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεMaximum Load (mm)
1	523,10	49,23	64,47799

	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	626,86	39,24	499,59

	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)
1	14,94	72,21299	18,05

	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (MPa)
1	16,60	40740

Διάγραμμα 5



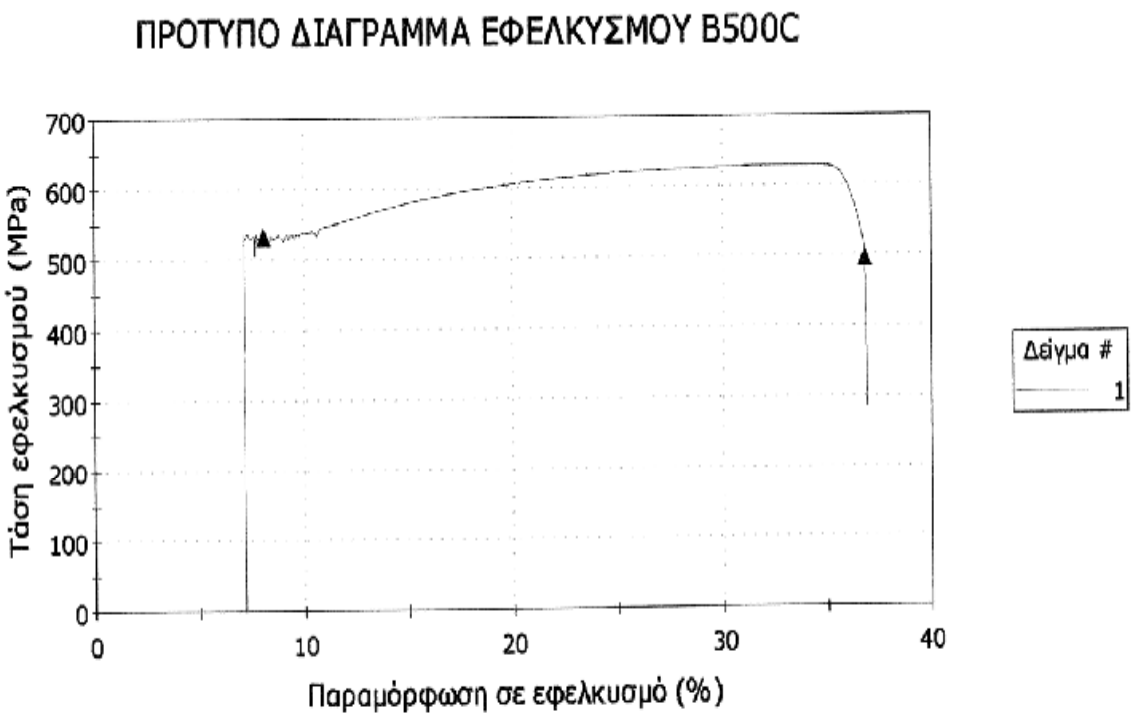
	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	536,03	49,37	628,55

	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	35,04	38,65	492,07

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	70,07619	30,04	26,42

	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (GPa)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1σεΑντοχή εφελκυσμού (mm)	ΕπιμήκυνσησεΑντοχή εφελκυσμού (mm)
1	199	-----	66,30799

Διάγραμμα 6



	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	533,24	49,34	628,17

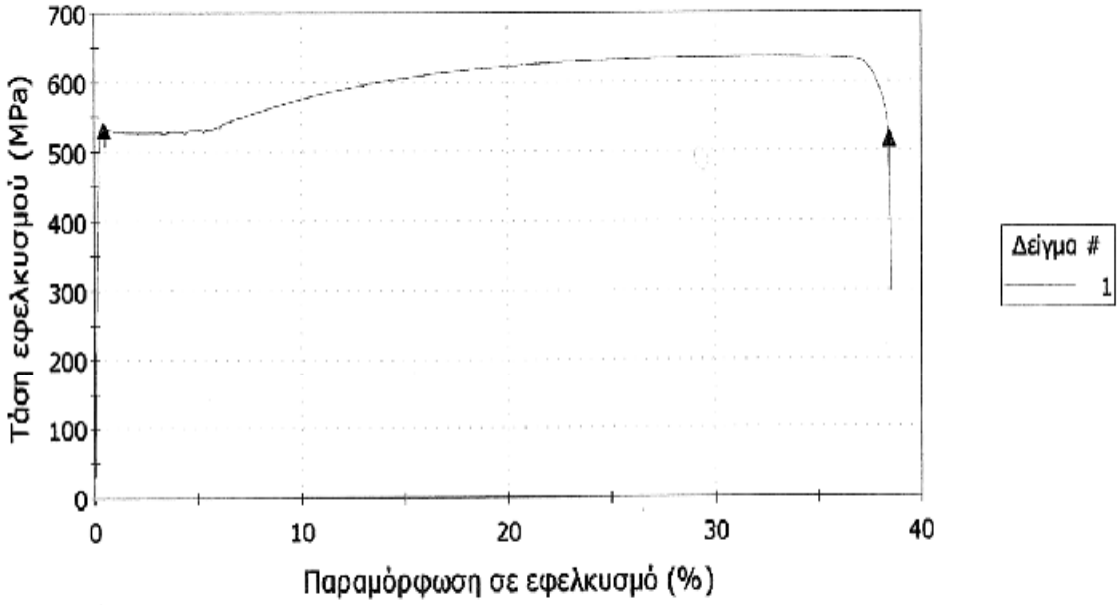
	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	36,79	39,00	496,54

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	73,58982	31,33	28,65

	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (GPa)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1σεΑντοχή εφελκυσμού (mm)	ΕπιμήκυνσησεΑντοχή εφελκυσμού (mm)
1	42	-----	66,46999

Διάγραμμα 7

ΠΡΟΤΥΠΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ B500C



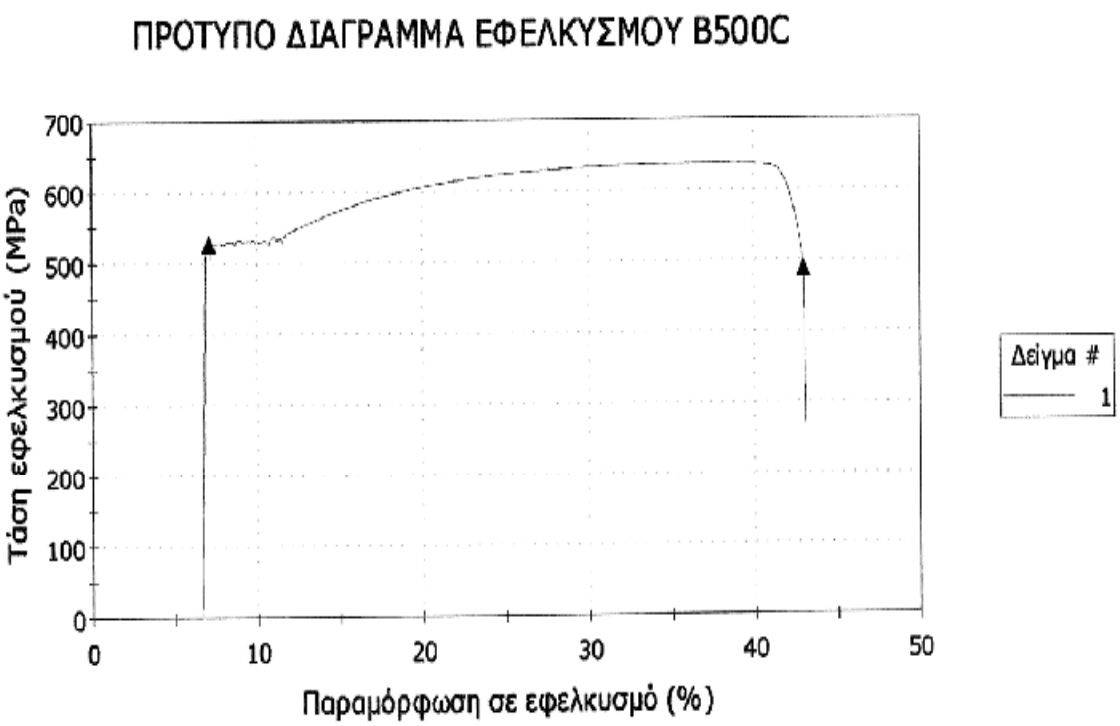
	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	531,77	50,00	636,62

	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	38,40	40,61	517,00

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	76,80012	32,50	27,93

	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (GPa)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1σεΑντοχή εφελκυσμού (mm)	ΕπιμήκυνσησεΑντοχή εφελκυσμού (mm)
1	209	-----	74,71299

Διάγραμμα 8



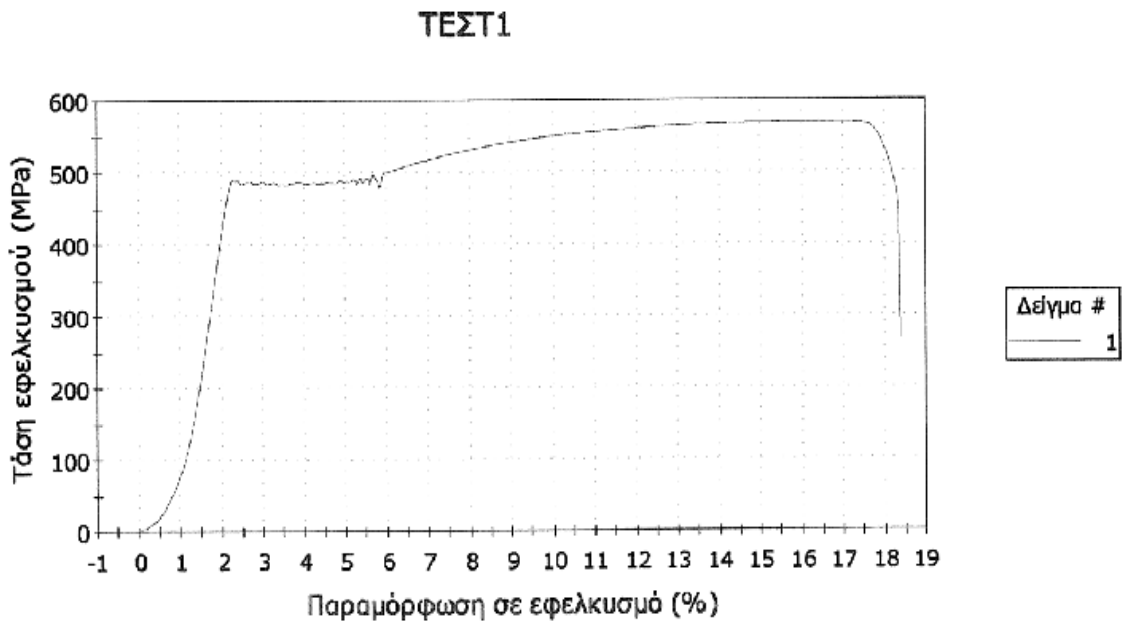
	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	527,98	50,08	637,60

	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	42,91	38,33	488,09

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	85,82920	35,71	31,60

	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (GPa)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1σεΑντοχή εφελκυσμού (mm)	ΕπιμήκυνσησεΑντοχή εφελκυσμού (mm)
1	204	-----	71,50299

Διάγραμμα 9



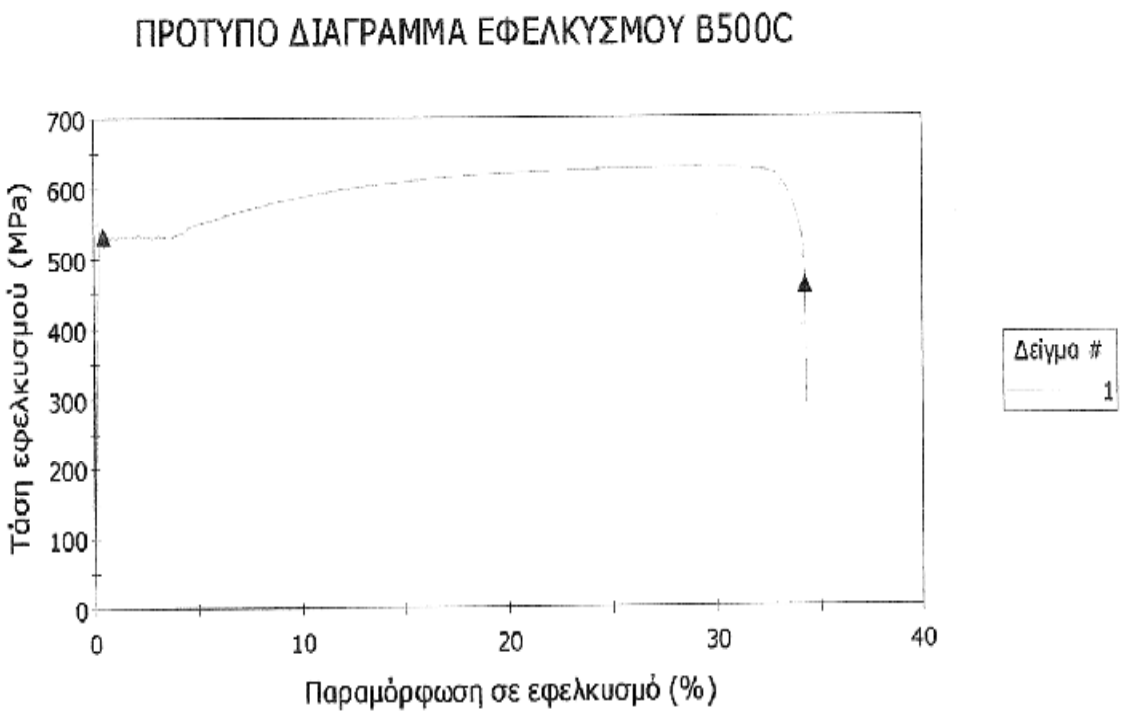
	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (MPa)
1	44,70	18,33	33293,99

	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	483,98	34,85	443,78

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	76,96999	16,83	569,14319

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεMaximum Load (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	68,90199	15,19073

Διάγραμμα 10



	Τάση εφελκυσμούσεYield (Offset 0.2 %) (MPa)	φορτίοσεMaximum Load (kN)	Τάση εφελκυσμούσεMaximum Load (MPa)
1	533,47	49,22	626,73

	Παραμόρφωση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (%)	φορτίοσεBreak (Standard) (kN)	Τάση εφελκυσμούσεBreak (Standard) (MPa)
1	34,26	36,05	459,05

	Επιμήκυνση σε εφελκυσμόσεBreak (Standard) (mm)	Πραγματική παραμόρφωσησεBreak (Standard) (%)	Πραγματική παραμόρφωσησεMaximum Load (%)
1	68,52790	29,46	25,95

	ΜέτροσεModulus (E-modulus) (GPa)	Εγκάρσια επιμήκυνση 1σεΑντοχή εφελκυσμού (mm)	ΕπιμήκυνσησεΑντοχή εφελκυσμού (mm)
1	207	-----	68,55699

Διάγραμμα 11

2.4.1.1 Ελεγχος ιδιοτητων σε εφελκυσμο

Ελέγχονται 3 δοκίμια μήκους 0,70m.Λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας.

Εάν και τα τρία ικανοποιούν τα χαρακτηριστικά της κατηγορίας (B500C ή B500A) του σχετικού πίνακα, η παρτίδα θεωρείται επιτυχής. Σε αντίθετη περίπτωση ελέγχονται 10 επιπλέον δοκίμια. Λαμβάνονται από δέκα διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Για να είναι η παρτίδα επιτυχής θα πρέπει να ισχύει ένα από τα Κριτήρια Α ή Β

ΤΕΧΝΙΚΗ ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ	ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΗ	ΟΡΙΟ ΔΙΑΡΡΟΗΣ R_e (MPa) p=0,95	ΛΟΓΟΣ R_m/R_e p=0,90	ΛΟΓΟΣ $R_{e,act}/R_{e.nom}$ p=0,90	ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΕΠΙΜΗΚΥΝΣΗ ΣΤΟ ΜΕΓΙΣΤΟ ΦΟΡΤΙΟ A_{gt} (%) p=0,90
B500A	ΕΛΟΤ 1421-2	≥ 500	≥ 1,05	-	≥ 2,5
B500A (d<6mm)	ΕΛΟΤ 1421-2	≥ 500	≥ 1,03	-	≥ 2,0
B500C	ΕΛΟΤ 1421-3	≥ 500	≥ 1,15 ≤ 1,35	≤ 1,25	≥ 7,5

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

2.4.2 Αναδίπλωση- Ανάκαμψη

Ο ΚΤΧ 2008 προβλέπει τον έλεγχο των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος σε αναδίπλωση με σκοπό τη διαπίστωση της ικανότητάς των σε κάμψη τη γρήγορη εκτίμηση της ολκιμότητάς των.

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής Αναδίπλωσης, το δοκίμιο θα πρέπει:

- Να μην έχει υποστεί θραύση.
- Να μην παρουσιάσει ρωγμές στην εξωτερική του επιφάνεια.

Η ανωτέρω εξέταση του δοκιμίου γίνεται από άτομο που έχει κανονική ή διορθωμένη όραση.

Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για την δόκιμη αναδίπλωσης	
Ονομαστική διάμετρος ράβδου/σύρματος d(mm)	Μεγίστη διάμετρος κυλινδρικού στελέχους D(mm)
d≤16	3d
d≤16	6d

2.4.2.1 Έλεγχος σε Αναδίπλωση (ΚΤΧ 2008)

Ελέγχονται 3 δοκίμια μήκους 0,70m.Λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Εάν και τα τρία δοκίμια, μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής, δεν έχουν υποστεί θραύση ούτε παρουσιάζουν ρωγμές στην εξωτερική τους επιφάνεια η παρτίδα θεωρείται επιτυχής. Σε αντίθετη περίπτωση ελέγχονται 10 επιπλέον δοκίμια. Λαμβάνονται από δέκα διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας.

Εάν όλα τα δοκίμια ελεγχθούν επιτυχώς σύμφωνα με τα ανωτέρω, η παρτίδα θεωρείται επιτυχής. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

2.4.2.2 Έλεγχος σε ανάκαμψη

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Ανάκαμψη B500A & B500C (EN ISO 15630-1 / ΕΛΟΤ ΕΝ 10080)

Μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής Ανάκαμψης, το δοκίμιο θα πρέπει:

- Να μην έχει υποστεί θραύση.
- Να μην παρουσιάσει ρωγμές στην εξωτερική του επιφάνεια. Η ανωτέρω εξέταση του δοκιμίου γίνεται από άτομο που έχει κανονική ή διορθωμένη όραση.

Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για την δοκιμή ανάκαμψης	
Ονομαστική διάμετρος ράβδου/σύρματος d(mm)	Μεγίστη διάμετρος κυλινδρικού στελέχους D(mm)
$d \leq 16$	5d
$16 < d \leq 25$	8d

d>25	10d

Ο ΚΤΧ 2008 δεν προβλέπει τον έλεγχο σε ανάκαμψη. Σε περίπτωση ελέγχου μπορεί να εφαρμοστεί κατά αναλογία η ίδια μεθοδολογία της Αναδίπλωσης.

Ελέγχονται 3 δοκίμια μήκους 0,70m.Λαμβάνονται από τρία διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Εάν και τα τρία δοκίμια, μετά την ολοκλήρωση της δοκιμής, δεν έχουν υποστεί θραύση ούτε παρουσιάζουν ρωγμές στην εξωτερική τους επιφάνεια η παρτίδα θεωρείται επιτυχής .Σε αντίθετη περίπτωση ελέγχονται 10 επιπλέον δοκίμια. Λαμβάνονται από δέκα διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας.

Εάν όλα τα δοκίμια ελεγχθούν επιτυχώς σύμφωνα με τα ανωτέρω, η παρτίδα θεωρείται επιτυχής. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται

2.4.3 Έλεγχος σε Διάτμηση

Με τη δοκιμή αυτή ελέγχεται η αντοχή των σταυρωτών συγκολλήσεων. Ελέγχονται 3 δοκίμια που να περιλαμβάνουν μία σύνδεση. Εάν και τα τρία ικανοποιούν τις προηγούμενες σχέσεις (διατμητικής αντοχής), η παρτίδα θεωρείται επιτυχής.

Σε αντίθετη περίπτωση ελέγχονται 10 επιπλέον δοκίμια. Λαμβάνονται από δέκα διαφορετικά δείγματα μιας παρτίδας. Εάν όλα τα δοκίμια ικανοποιούν τις προηγούμενες σχέσεις (διατμητικής αντοχής), η παρτίδα θεωρείται επιτυχής. Σε αντίθετη περίπτωση η παρτίδα απορρίπτεται.

2.4.4 Κόπωση

Το δοκίμιο υποβάλλεται σε επαναλαμβανόμενες αξονικές εφελκυστικές φορτίσεις. Οι τάσεις μεταβάλλονται ημιτονοειδώς από σmin έως σ_{max} με εύρος διακύμανσης $2\sigma_{\alpha}= \sigma_{max}-\sigma_{min}$.

Από σημειώσεις Δ. Παγανού για το Εργαστήριο Οπλισμένο Σκυρόδεμα –ΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ

Θα πρέπει να αντέχει σε καθορισμένο αριθμό κύκλων φορτίσεων, ο οποίος εξαρτάται από την προδιαγραφή του προϊόντος. Σε περίπτωση αστοχίας η δοκιμή επαναλαμβάνεται όταν:

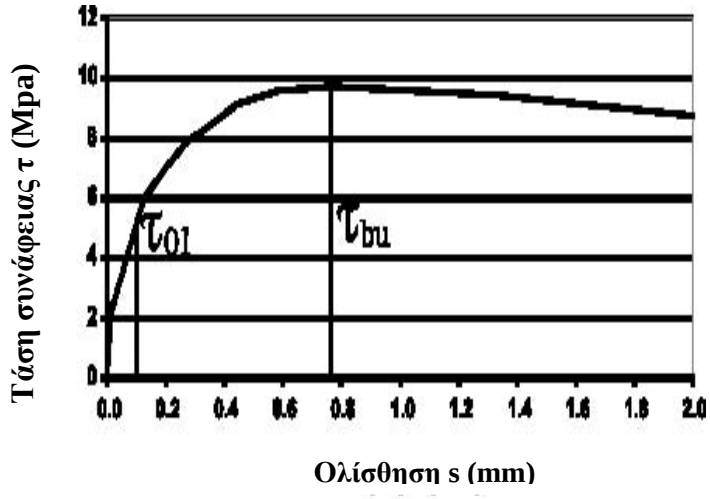
- Η αστοχία οφείλεται σε ελάττωμα του συγκεκριμένου δοκιμίου.
- Η αστοχία εμφανίζεται κοντά στην περιοχή συγκράτησης του δοκιμίου από τις αρπάγες της μηχανής κόπωσης. Όχι αστοχία σε απόσταση ≤2d από τις αρπάγες συγκράτησης.

Σε οποιαδήποτε από τις ανωτέρω περιπτώσεις γίνεται μία επιπλέον δοκιμή..

3 Συνάφεια χαλύβων σκυροδέματος

3.1 Ο ορισμός

Με τον όρο συνάφεια εννοούμε το σύνολο των αιτιών που περιορίζουν αυτή τη σχετική ολίσθηση μεταξύ των δύο υλικών, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η μεταξύ τους συνεργασία(πάντως, θα υπάρχει μια μικρή ολίσθηση της τάξεως των μερικών δεκάτων του χιλιοστού).Το μέγεθος των αναπτυσσόμενων τάσεων συνάφειας, τ, εξαρτάται από τη σχετική ολίσθηση, s (βλ. Εικόνα 14:).



Εικόνα 14: Τυπικό διάγραμμα τάσης συνάφειας τ, συναρτήσει της σχετικής ολίσθησης s (από δοκιμή εξελεύσεως)

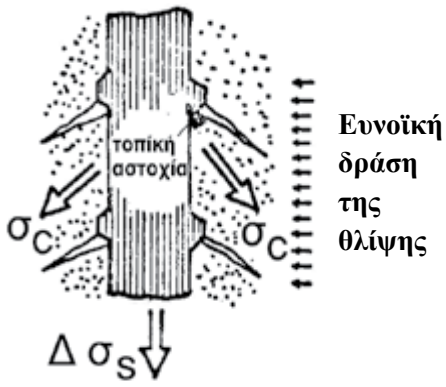
I. Στη χημική και μηχανική πρόσφυση, η οποία είναι σημαντική κυρίως στις λείες ράβδους, αλλά χάνεται πολύ γρήγορα (για μικρές τιμές της σχετικής ολίσθησης). Λόγος για τον οποίο οι νέοι κανονισμοί δεν επιτρέπουν τη χρήση λείων χαλύβων ιδίως στις περιπτώσεις των αντισεισμικών κατασκευών.

II. Στις λοξές (υπό γωνία ~45^{o}) θλιπτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται στο εγκλωβισμένο σκυρόδεμα ανάμεσα στις νευρώσεις (Βλ. Εικόνα 15). Το σκυρόδεμα αστοχεί τοπικά σε θλίψη κοντά στη νεύρωση, αλλά ταυτόχρονα αναπτύσσονται μεγάλες εφελκυστικές τάσεις στο σκυρόδεμα έξω από την περιοχή των νευρώσεων.

Όταν οι τάσεις υπερβούν την εφελκυστική αντοχή του σκυροδέματος, προκαλείται ακτινική ρηγμάτωση. Αν η ράβδος είναι κοντά στην επιφάνεια του σκυροδέματος (ή αν υπάρχουν πολλές ράβδοι κοντά η μία στην άλλη), τότε η ρωγμή φθάνει μέχρι την επιφάνεια και έχουμε αστοχία τύπου διάρρηξης.

Όπως είναι λοιπόν φανερό, η αντοχή σε συνάφεια αυξάνεται:

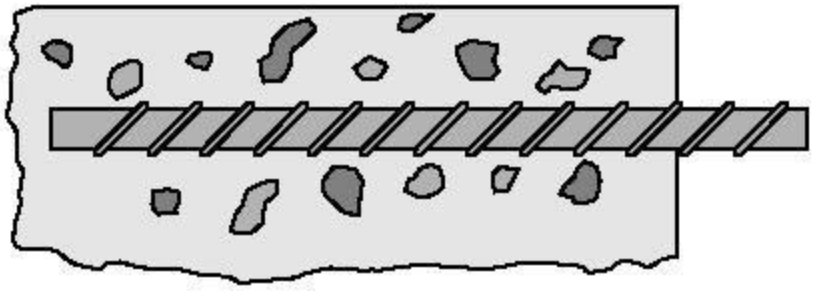
- όσο αυξάνεται το πάχος της επικάλυψης (ελάχιστη επικάλυψη 1Φ)
- όταν υπάρχει εγκάρσιος οπλισμός (π.χ.συνδετήρες)



Εικόνα 15. Θλιπτικές τάσεις που εξασκούνται από τις νευρώσεις στο σκυρόδεμα και αντίστοιχες

3.2 Ιδιότητες συνάφειας χαλύβων

Οι ιδιότητες συνάφειας των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, συσχετίζονται πάντα με το σκυρόδεμα στο οποίο προσφύονται και με το οποίο συνεργάζονται (Εικόνα 16).



Εικόνα 16: Ράβδος οπλισμού μέσα στο σκυρόδεμα

Αναφέρονται στην ικανότητα του συστήματος σκυρόδεμα/οπλισμός να μεταφέρει εφελκυστικές δυνάμεις από τον οπλισμό στο σκυρόδεμα. Η συμπεριφορά συνάφειας είναι συνάρτηση της αλληλεπίδραση μεταξύ οπλισμού και σκυροδέματος και είναι σημαντικός παράγοντας επηρεασμού της ικανότητας ανάληψης παραμορφώσεων από τα δομικά στοιχεία οπλισμένου σκυροδέματος.

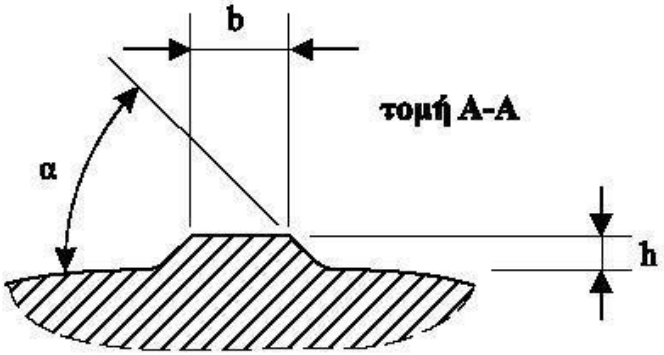
Όταν οι ράβδοι οπλισμού ενσωματώνονται μέσα στο σκυρόδεμα και στη συνέχεια αναλαμβάνουν φορτία, αναπτύσσεται τάση συνάφειας τους με το σκυρόδεμα, σταδιακά (όχι ωστόσο γραμμικά). Η μέγιστη δυνάμενη να αναπτυχθεί τάση συνάφειας που είναι συνάρτηση, τεσσάρων βασικών παραμέτρων:

I. Του επιβαλλόμενου φορτίου
II. Της ποιότητας του σκυροδέματος
III. Των μηχανικών ιδιοτήτων των ράβδων οπλισμού
IV. Των γεωμετρικών χαρακτηριστικών της επιφάνειας των ράβδων οπλισμού
V. Της κατάστασης στην οποία βρίσκεται η επιφάνεια των ράβδων οπλισμού.

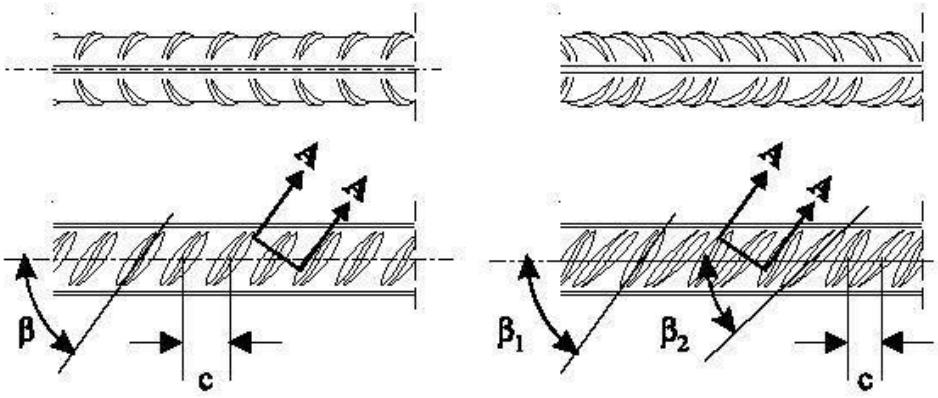
Για την ανάπτυξη της τάσης αυτής, οι ράβδοι πρέπει να έχουν ένα συγκεκριμένο μήκος αγκύρωσης μέσα στο σκυρόδεμα, που σχετίζεται με τις παραπάνω παραμέτρους και φυσικά και με την ποιότητα του σκυροδέματος.

Σχηματικά, η τάση συνάφειας, αρχικά αναπτύσσεται περισσότερο στο άκρο της ράβδου που αναλαμβάνει τη φόρτιση, χωρίς αρχικά να ενεργοποιείται ολόκληρο το μήκος αγκύρωσης στην ανάληψη της. Αν αυξηθεί η φόρτιση περαιτέρω μέχρις μία κρίσιμη τιμή, το ακραίο τμήμα της ράβδου που δέχεται την εντονότερη καταπόνηση, “ολισθαίνει’’

ανεπαίσθητα και η τάση συνάφειας μεταφέρεται και ανακατανέμεται σε επόμενο τμήμα. Αυτός ο κύκλος συνεχίζεται έως ότου ολόκληρος η ράβδος ενεργοποιηθεί στη μεταφορά του φορτίου. στο σκυρόδεμα.



Εικόνα 17: Γωνιά κλίσης α , ύψος h και πλάτος b πλάγιας νεύρωσης



Εικόνα 18: Γωνίες κλίσης β πλαγίων νεκρώσεων και απόσταση c

Η αντοχή συνάφειας (bond strength), σχετίζεται με την ανάπτυξη αντιστάσεων τριβής, πρόσφυσης (που σχετίζονται με την κατάσταση της επιφάνειας των ράβδων οπλισμού) καθώς και αντιστάσεων που σχετίζονται με τη διάρθρωση των ραβδώσεων της ράβδου και βασικά των εγκάρσιων νευρώσεων

Οι απαιτήσεις για αυξημένη αντοχή συνάφειας, οδήγησαν στη χρήση χαλύβων οπλισμού με νευρώσεις και στη θέσπιση ειδικών απαιτήσεων για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας τους.

Το σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 1421, ορίζει συγκεκριμένες απαιτήσεις, για τη διάταξη των νευρώσεων, το ύψος τους, την απόσταση μεταξύ τους και τις γωνίες κλίσης τους.

Οι χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος με νευρώσεις έχουν τουλάχιστον δύο σειρές παράλληλων (ή σχεδόν παράλληλων) πλάγιων νευρώσεων ομοιόμορφα κατανεμημένων

στην περιφέρεια του προϊόντος και σε ίσες αποστάσεις καθ' όλο το μήκος κάθε σειράς. Μπορούν να υπάρχουν και διαμήκεις νευρώσεις, χωρίς όμως να είναι υποχρεωτικό.

Οι απαιτήσεις για τη γωνία κλίσης "α" της πλευράς των πλάγιων νευρώσεων, τις γωνίες κλίσης "β", το πλάτος b, το ύψος h και τη μεταξύ τους απόσταση c (Εικόνα 17 και 18), παρουσιάζονται στον Πίνακα 4.

Πίνακας 4 :Απαιτήσεις για τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά χαλύβων οπλισμού με νευρώσεις.(Παρουσίαση διαφορών και αλλαγών)

Πρότυπο/Κανονισμός αναφοράς	α	h	b	β	c
Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 1421	$\geq 45^o$	0,03d έως 0,15d	0.1d(ΕΛΟΤ ΕΝ 10080)	35^o έως 75^o	0,4d έως 1,2d
ΕΛΟΤ 971 έχει καταργηθεί	Δεν υπάρχει αναφορά				
Κ.Τ.Χ (έκδοση 2000)	$\geq 45^o$	0,05d έως 0,10d	0,01d	35^o έως 75^o	0,03d έως 0,15d

Για την εκτίμηση της αντοχής συνάφειας, εναλλακτικά της προηγούμενης μεθόδου, είτε όταν επιμέρους γεωμετρικά χαρακτηριστικά, δεν καλύπτουν τις σχετικές απαιτήσεις, μπορεί, σύμφωνα με το Πρότυπο ΕΛΟΤ 1421, να υπολογιστεί η ανηγμένη επιφάνειας προβολής των νευρώσεων fR. Αυτή ορίζεται ως ο λόγος των επιφανειών των προβολών όλων των νευρώσεων σε επίπεδο κάθετο στο διαμήκη άξονα της ράβδου, προς το μήκος της ράβδου και την ονομαστική περίμετρο, που καθορίζεται από την ονομαστική διάμετρο. Ο υπολογισμός του f_R, στην πράξη γίνεται με ειδικό σύστημα σάρωσης και η τιμή του πρέπει να είναι μεγαλύτερη από τις τιμές που αναφέρονται στον Πίνακα 5.

Ονομαστική διάμετρος (mm)	**5-6**	**6.8-8**	**10**	**≥12**
f_R	**0.039**	**0.045**	**0.052**	**0.056**

Πίνακας 5 :Ελάχιστη τιμή ανηγμένης επιφάνειας προβολής νευρώσεων f_R

3.3 Συγκολισημότητα χαλύβων οπλισμού

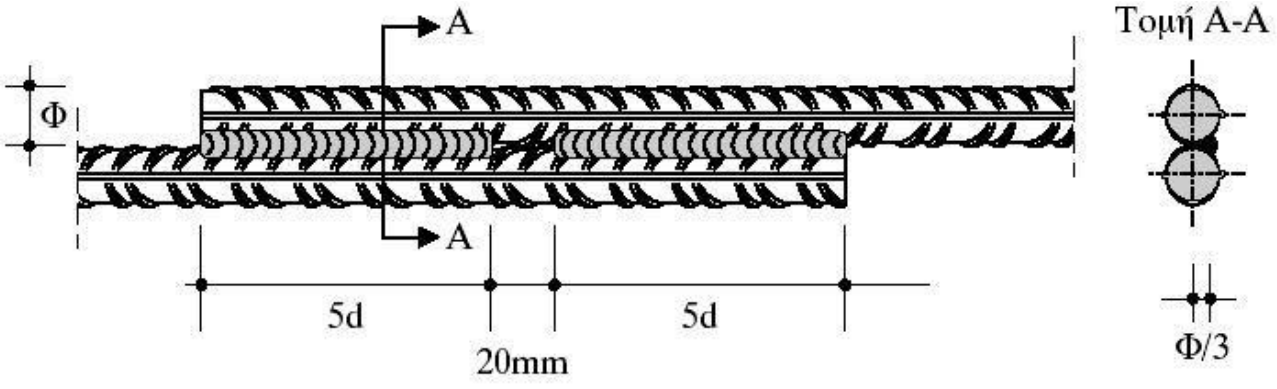
Συγκολλησιμότητα

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

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
- Η τεχνική της συγκόλλησης
- Ο σχεδιασμός της σύνδεσης
- Οι ενδεχόμενες θερμικές κατεργασίες πριν και μετά τη συγκόλληση
- Άλλοι πιο εξειδικευμένοι παράγοντες (ενδεχομένως)
- Οι χάλυβες διακρίνονται ως προς τη συνκολλησιμότητά τους σε:
- Συγκολλήσιμους, η συνκολλησιμότητα των οποίων εξασφαλίζεται με τη χημική σύσταση.
- Συγκολλήσιμους υπό προϋποθέσεις, η συνκολλησιμότητα των οποίων ελέγχεται με ειδικές δοκιμές.

Η συγκολισημότητα (weldability) είναι πολύ σημαντική ιδιότητα των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος, που παρέχει τη δυνατότητα συνδέσεων τμημάτων του οπλισμού με σταθερές και υγιείς συγκολλήσεις (Εικόνα 19). Καθορίζεται από τη χημική τους σύσταση και συμπυκνώνεται στην έννοια της ισοδύναμης τιμής σε άνθρακα (Ceq), που υπολογίζεται από τη σχέση:



Εικόνα 19: Σύνδεση με παράθεση

3.4 Συγκολλήσιμοι χάλυβες

Οι χάλυβες θεωρούνται συνκολλήσιμοι, όταν η μέγιστη περιεκτικότητα σε άνθρακα C, θείο S, φώσφορο P, άζωτο N, καθώς και η μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα Ceq δεν υπερβαίνουν τις τιμές που δίνονται στον Πίνακα 6.

Η ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα Ceq υπολογίζεται σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$Ceq = C+(Mn/6)+(Cr+Mo+V)/5+(Ni+Cu)/15$$

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

Πίνακας 6: Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε άνθρακα, θείο, φώσφορο, άζωτο καθώς και μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα (% κ.β) κατά ΕΛΟΤ 971.

	Ανθρακας C	**Θείο S**	**Φώσφορος P**	**Άζωτο N**	**Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα C**
Ανάλυση ρευστού χάλυβα κατά τη χύτευση	**0,22**	**0,05**	**0,05**	**0,012**	**0,5**
Ανάλυση τελικού προϊόντος	**0,24**	**0,24**	**0,055**	**0,013**	**0,53**

Πίνακας 7: Μέθοδοι συγκόλλησης και τύποι σύνδεσης για τους συγκολλήσιμους χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος κατά ΕΛΟΤ 971.

Μέθοδοι συγκόλλησης

Τύποι σύνδεσης	**Σημειακή με ηλεκτρική αντίσταση**	**Ημιαυτόματη σε Προστατευτική Ατμόσφαιρα CO2/Ar**	**Ηλεκτροσυγκόλληση με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια**	**Αυτογενής συγκόλληση**
Σταυρωτά	+	+	+	
Με παράθεση		+	+	
Άκρη με Άκρη (μετωπικά)		+	+	+

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.

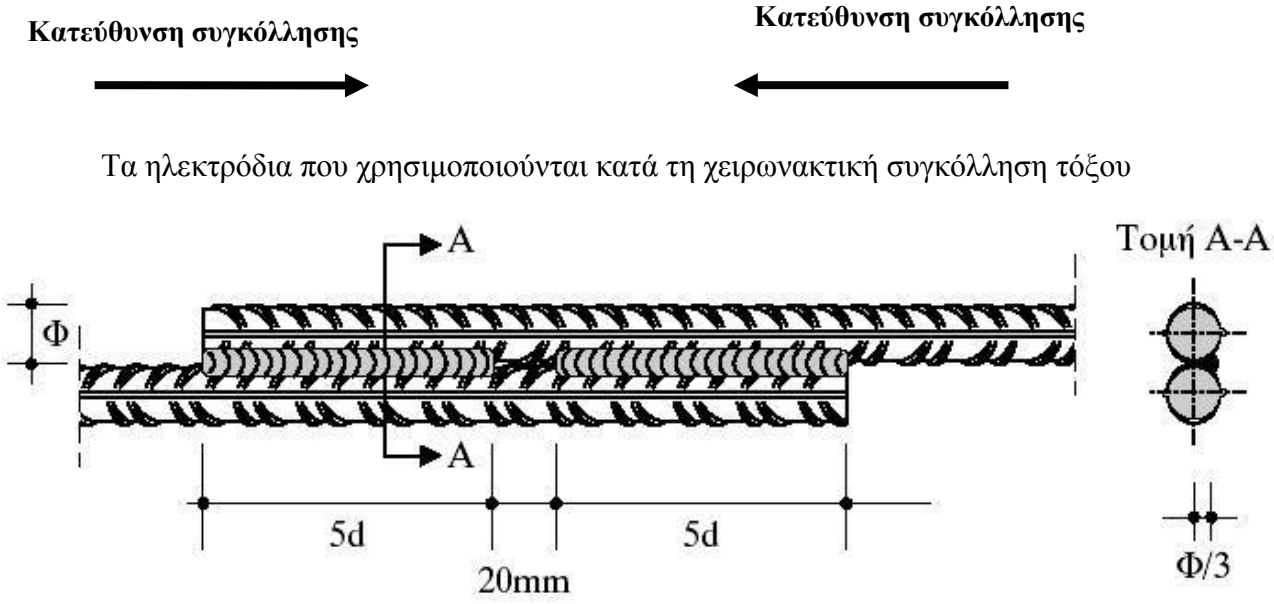
Οι κυριότεροι παράγοντες που επηρεάζουν την ποιότητα της συγκόλλησης είναι:

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

3.5 Χάλυβες συγκολλήσιμοι υπό προϋποθέσεις

Οι χάλυβες που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν ελέγχονται ως προς την συγκολλησιμότητα τους με μηχανικές δοκιμές σε εφελκυσμό και κάμψη και επιτρέπεται να συνδέονται μόνον κατά παράθεση. Για κάθε μια δοκιμή κατασκευάζεται σε θερμοκρασία δωματίου ένα συγκολλημένο δοκίμιο ανά παρτίδα. Δεν επιτρέπεται τα δοκίμια αυτά να υποστούν καμιά θερμική κατεργασία, ούτε πριν, ούτε μετά τη συγκόλλησή τους. Η συγκόλληση γίνεται από τη μία πλευρά των ράβδων με δύο ραφές συγκόλλησης η κάθε μία των οποίων είναι μήκους 5d (όπου d είναι η ονομαστική διάμετρος των ράβδων).

Οι ραφές της συγκόλλησης ξεκινούν από έξω προς τα μέσα κατά τέτοιο τρόπο ώστε να απομένει ανάμεσα τις απολήξεις ένα διάκενο 20 mm περίπου (Εικόνα 20)



Εικόνα 20: Τρόπος συγκόλλησης δοκιμίων για τον έλεγχο της

Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται κατά τη χειρωνακτική συγκόλληση τόξου πρέπει να είναι με βασική επένδυση ή με όξινη επένδυση ρουτιλίου (TiO_2) και τα μηχανικά χαρακτηριστικά τους να είναι ανάλογα με εκείνα του μετάλλου βάσης . Η διάμετρος των ηλεκτροδίων πρέπει να είναι σύμφωνα με τον πίνακα 8.

Πίνακας 8: Διάμετροι ηλεκτροδίων

Ονομαστική διάμετρος ράβδου	Διάμετρος Ηλεκτροδίων
5-10 mm	2 mm
12-14 mm	2,5 mm
16-20 mm	3,25 mm
>20 mm	4-5 mm

3.5.1 Μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας

Οι μηχανικές δοκιμές για τον έλεγχο της συγκολλησιμότητας των χαλύβων που δεν ικανοποιούν τις απαιτήσεις που προαναφέρθηκαν είναι η δοκιμή εφελκυσμού και η δοκιμή κάμψης.

I. Δοκιμή εφελκυσμού

Η δοκιμή σε εφελκυσμό συγκολλημένων δοκιμίων κατά παράθεση γίνεται αναπόφευκτα κατά έκκεντρο τρόπο. Κατά τη δοκιμή εφελκυσμού συγκολλημένου δοκιμίου ελέγχεται μόνον η εφελκυστική του αντοχή, η οποία δεν πρέπει να είναι μικρότερη από το 90 % της αντίστοιχης εφελκυστικής αντοχής που έχει προσδιορισθεί σε ασυγκόλλητο δοκίμιο από το ίδιο δείγμα. Απαραίτητη προϋπόθεση είναι το ασυγκόλλητο δοκίμιο να έχει εφελκυστική αντοχή μεγαλύτερη ή ίση με τη χαρακτηριστική τιμή της εφελκυστικής αντοχής της ποιότητάς του.

II. Δοκιμή κάμψης

Η δοκιμή σε κάμψη συγκολλημένων δοκιμίων θα γίνεται κατά 90 μοίρες και γύρω από τα κυλινδρικά στελέχη, η διάμετρος των οποίων φαίνεται στον παρακάτω πίνακα . Η πλευρά που έχει τις ραφές της συγκόλλησης θα πρέπει να βρίσκεται στη ζώνη εφελκυσμού και το ενδιάμεσο διάκενο στο κέντρο της αναδιπλούμενης ζώνης.

Κατά τη δοκιμή κάμψης συγκολλημένων δοκιμίων δεν πρέπει να παρατηρηθεί με «γυμνό μάτι» καμία ρωγμή στο μέταλλο βάσης.

Αν εμφανισθεί ρωγμή στην επιφάνεια του μετάλλου συγκόλλησης (ραφή) χωρίς να επεκταθεί στο μέταλλο βάσης, τότε το αποτέλεσμα της δοκιμής γίνεται αποδεκτό.

Πίνακας 9: Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για τη δοκιμή κάμψης συγκολλημένων δοκιμίων.

Κατηγορία χάλυβα	**Διάμετρος κυλινδρικού στελέχους για διάμετρο ράβδου d (mm)**			
	D< 12	**12<d<18**	**18<d<25**	**25<d<32**
S220	**2d**	**2d**	**4d**	**4d**
S400	**5d**	**6d**	**8d**	**10d**
S500	**7d**	**8d**	**10d**	**12d**

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

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

Στην ουσία είναι μία σύνθετη παράμετρος, που παρουσιάζει τη συμμετοχή των χημικών στοιχείων στη δημιουργία σκληρών, ψαθυρών δομών κατά τη δημιουργία της συγκόλλησης, που προφανώς θέλουμε να αποφύγουμε.

Ταυτόχρονα, υπάρχουν ειδικότεροι περιορισμοί για ορισμένα χημικά στοιχεία, όπως αναλυτικά φαίνεται στον παρακάτω πινάκα.

Πρότυπο αναφοράς	**Άνθρακας C**	**Θείο S**	**Φωσφόρος P**	**Άζωτο N**	**Χαλκός Cu**	**Ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα**
ΕΛΟΤ 971 (έχει καταργηθεί)	0,24	0,055	0,055	0,013	-	0,53
ΕΛΟΤ 1421(ισχύον κανονισμός)	0,24	0,055	0,005	0,014	0,85	0,52

Πίνακας 10: Μέγιστη επιτρεπόμενη περιεκτικότητα σε άνθρακα, θείο, φωσφόρο, άζωτο καθώς και μέγιστη ισοδύναμη τιμή σε άνθρακα (% κ.β.).

Οι παραπάνω τιμές αναφέρονται στα αποτελέσματα χημικής ανάλυσης που γίνονται στο τελικό προϊόν. Το σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 1421 επιτρέπει τη υπέρβαση των μέγιστων τιμών για τον άνθρακα κατά 0,03% κ.β., με την προϋπόθεση ότι μειώνεται αντίστοιχα η ισοδύναμη τιμή άνθρακα (Ceq) κατά 0,02% κ.β. Υψηλότερες τιμές σε άζωτο επιτρέπονται εάν υπάρχουν επαρκείς ποσότητες στοιχείων που το δεσμεύουν. Μεταξύ των στοιχείων που δεσμεύουν το άζωτο είναι τα Ti, Zr, Hf, V, Nb, Ta, B, Al και W. Χαρακτηριστικό της σημασίας αυτής της παρατήρησης είναι ότι στο Βρετανικό Πρότυπο BS4449/88 αναφέρεται ότι η περιεκτικότητα σε άζωτο δεν ελέγχεται, αν η περιεκτικότητα σε αλουμίνιο είναι μεγαλύτερη από 0,02%.

3.6 Θερμική κατεργασία.

Από την δεκαετία του ΄60 και μετά εμφανίζεται μια παγκόσμια τάση για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος , που συνδυάζουν τα εξής χαρακτηριστικά :

I. Υψηλή τάση διαρροής
II. Καλή συγκρισιμότητα
III. Υψηλή ολκιμότητα

Η αύξηση του ορίου διαρροής των χαλύβων οπλισμού συνεπάγεται μείωση του βάρους για μια δεδομένη κατασκευή και διατήρηση κόστους σε χαμηλά επίπεδα. Η τάση αυτή διαφαίνεται μέσα από τα περισσότερα ευρωπαϊκά πρότυπα. Ήδη στην δεκαετία του 1980 στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες αλλά και στις ΗΠΑ , χάλυβες οπλισμού με όριο διαρροής 400 Mpa αποτελούν τη κύρια αγορά. Επίσης παρατηρείτε η περεταίρω αύξηση της αντοχής των χαλύβων οπλισμού και η τάση για ανάπτυξη χαλύβων με όριο διαρροής 500 Mpa έως και 600 Mpa σε ορισμένες χώρες.

Μετά το 1990 η χρήση χάλυβα οπλισμού με όριο διαρροής 500 Mpa έχει υιοθετηθεί στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες συμπεριλαμβανομένης και της Ελλάδας. Πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει μια σαφής αρνητική συσχέτιση μεταξύ του ορίου διαρροής αι της ολκιμότητας ενός χάλυβα. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι το μεγαλύτερο όριο διαρροής αντιστρατεύεται τις απατήσεις αντισεισμικότητας.

Στο πλαίσιο εξέλιξης χαλύβων οπλισμού σημαντική επίδραση έχει η ανάγκη διαμόρφωσης δυσδιάστατων και τρισδιάστατων προϊόντων (μανδύες , πλέγματα , κλωβοί). Η διαμόρφωση τέτοιων μορφών από τις επιχειρήσεις κατεργασίας χαλύβων οπλισμού (μάντρες) καθώς και η μεταφορά τους στην θέση της κατασκευής μειώνει τον χρόνο

τοποθέτησης , επηρεάζει θετικά το κόστος και εξασφαλίζει ταυτόχρονα ακρίβεια στις διαστάσεις.

Ένας ιδιαίτερος αποτελεσματικός τρόπος συγκράτησης των οπλισμών για τη κατασκευή σύνθετων μορφών πραγματοποιείτε με συγκόλληση κυρίως (ηλεκτρικού τόξου , ή ηλεκτρικής αντίστασης). Η εφαρμογή των συγκολλήσεων οδήγησε στην ανάγκη ανάπτυξης ποιοτήτων χάλυβα που να χαρακτηρίζονται από ικανοποιητική συγκρισιμότητα.

Ο όρος συγκρισιμότητα ενός μετάλλου δεν αντιστοιχεί σε κάποιο συγκεκριμένο φυσικό μέγεθος αλλά εκφράζει την ευκολία με την οποία μπορούμε να πραγματοποιήσουμε ικανοποιητικές συγκολλήσεις.

Εικόνα 21

Στην περίπτωση των χαλύβων οπλισμού η συγκολισημότητα αυτών απαιτεί να βρίσκεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω από 0.25% για συγκολλήσεις ηλεκτρικού τόξου και κάτω από 0.22% για συγκολλήσεις ηλεκτρικής αντίστασης.

Για οικονομικούς και πρακτικούς λόγους η εφαρμογή των συγκολλήσεων πρέπει να είναι όσο το δυνατό απλούστερη. Να μην περιλαμβάνεται θέρμανση η μεταθέρμανση , ενώ ταυτόχρονα να είναι δυνατή η χρήση φθηνών και εύχρηστων ηλεκτρόδιων συγκόλλησης ,

στην περίπτωση της ολκιμότητας έτσι και στην συγκρισιμότητα η αύξηση της αντοχής με κραμάτωση δρα αρνητικά στην συγκρισιμότητα του χάλυβα.

Οι απαιτήσεις ολκιμότητας των χαλύβων βασίζονται στην φιλοσοφία σχεδιασμού των κατασκευών , σύμφωνα με την οποία σε ελαφρές σεισμικές καταπονήσεις τα κατασκευαστικά στοιχεία ανταποκρίνονται ελαστικά , ενώ σε έντονη σεισμική δραστηριότητα πρέπει να αναπτύξουν ικανή παραμόρφωση ώστε να αποφθεχθεί η κατάρρευση της κατασκευής.

Για τον λόγο αυτό , προβλέπονται σε ορισμένα μέρη της κατασκευής πλαστικές αρθρώσεις (περιοχές στις οποίες προβλέπεται να εκδηλωθεί ικανή παραμόρφωση), εφόσον η κατασκευή αρχίσει να παραμορφώνεται πλαστικά ώστε να απορροφηθεί η προσφερόμενη σεισμική ενεργεία.

Μέχρι το 1970 , τα είδη χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος διακρίνονται ανάλογα με την παραγωγική τους διαδικασία σε :

I. Θερμής έλασης χωρίς καμία περεταίρω επεξεργασία
II. Ψυχρής μηχανικής κατεργασίας προϊόντος που προέρχεται από θέρμη έλαση.

Στην πρώτη ομάδα η αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται με κραμάτωσης του χάλυβα με κύρια κραματικά στοιχεία τον άνθρακα και το μαγγάνιο . ενώ στην δεύτερη ομάδα η αύξηση της αντοχής επιτυγχάνεται με ενδοτράνχυση του υλικού αθροιστικά με την κραμάτωση του αρχικού προϊόντος. Και στις δυο περιπτώσεις δρα αρνητικά στην συγκολισημότητα η αύξηση της αντοχής με κραμάτωση.

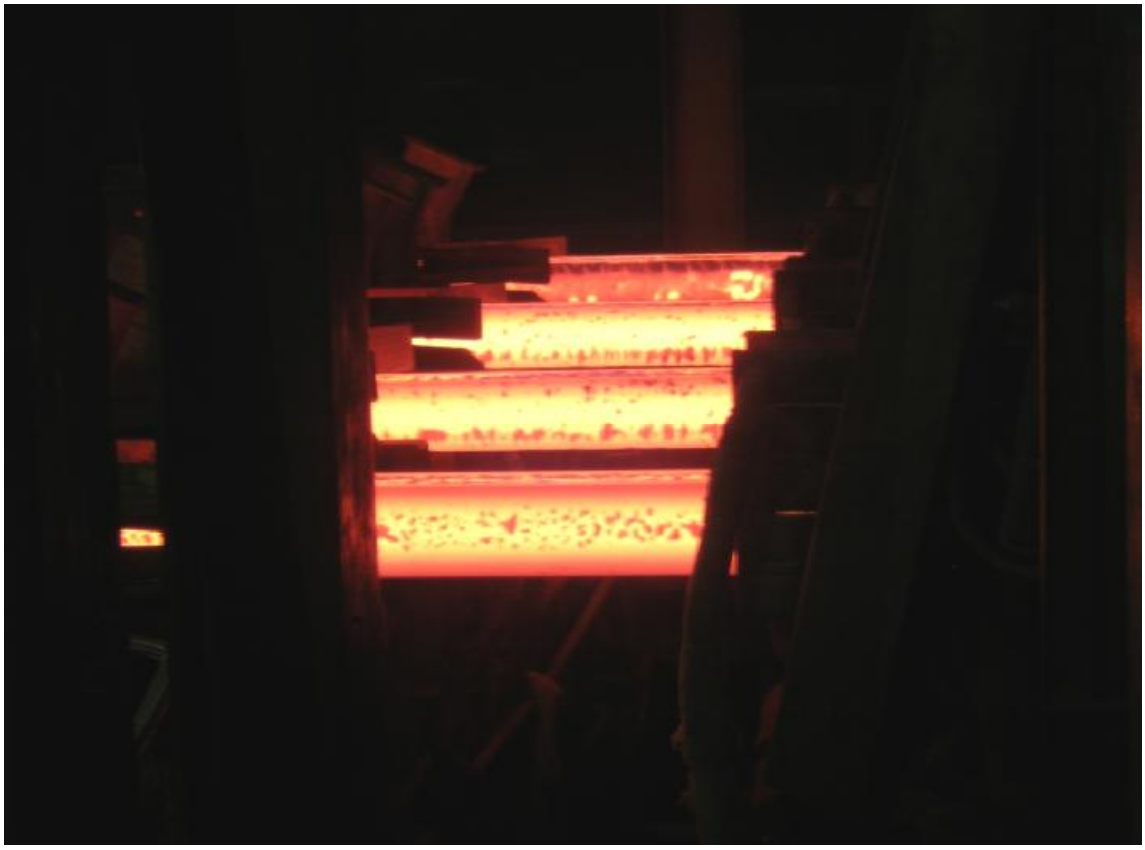
Στις αρχές τις δεκαετίας του ’70 αναπτύσσεται στο Βέλγιο από τους Economopoulos et al (1975) μια διαδικασία παράγωγης χαλύβων οπλισμού με θερμική κατεργασία, η οποία συνδυάζει υψηλή αντοχή , εξαιρετική συγκολισημότητα και υψηλή ολκιμότητα. Την ίδια χρονική περίοδο αναφέρεται από διαφόρους ερευνητές εναλλακτικά η δυνατότητα επίτευξης της υψηλής αντοχής , διατηρώντας σε ικανοποιητικά επίπεδα την συγκολισημότητα με την προσθήκη μικρών ποσοτήτων νιοβίου (Nb) , βαναδίου (V) και τιτανίου (Ti).

Παρόλα αυτά , η ανάπτυξη των χαλύβων θερμικής κατεργασίας που έγιναν γνωστοί με το όνομα “ Tempcore” , είναι ραγδαία: το 1984 υπάρχουν είδη 17 εγκαταστάσεις σε λειτουργία και περίπου 10 σε κατασκευή, σημειώνοντας μια παράγωγη της τάξης των 1,6 εκατομμυρίων τόνων τον χρόνο. Η παραγωγική διαδικασία “ Tempcore” έχει ως αρχή την άμεση θερμική κατεργασία της ράβδου καθώς αυτή εξέρχεται από το τελευταίο έλαστρο .

Η ονομασία των χαλύβων αυτών αντικατοπτρίζει την αρχή της διαδικασίας με την οποία παράγονται: Tempering : επαναφορά της ήδη βαμμένη μαρτενσιτικά εξωτερικής

στοιβάδας από θερμότητα που παρέχεται από το θερμό εσωτερικό (CORE : καρδία) της ράβδου.

Τέλος η μέθοδος θερμικής κατεργασίας αποτελεί την πλέον οικονομική λύση για την παράγωγη υψηλής ποιότητας χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος που συνδυάζουν υψηλή αντοχή , υψηλή ολκιμότητα και υψηλή συγκολισημότητα. Οι χάλυβες αυτοί είναι συνήθως γνωστοί ως χάλυβες “Tempcore” ή “Thermex” από τα ονόματα των βιομηχανικών πατεντών που είχαν κατατεθεί , με κάποιες διαφορές μεταξύ τους. Δεν είναι τυχαία η σχεδόν πλήρης επικράτηση της παραγωγικής
μεθόδου , καθώς η συντριπτική πλειονότητα των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος στην Ελλάδα και στην Ευρώπη παράγονται με μεθόδους θερμικής κατεργασίας που βασίζονται στην μέθοδο Tempcore.



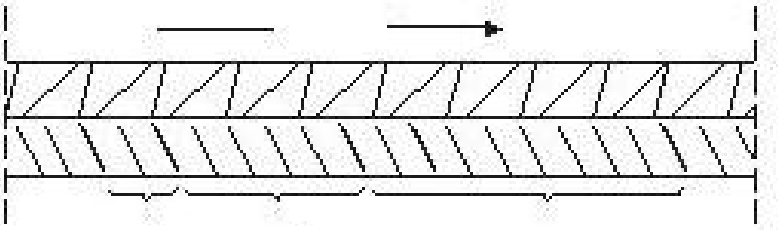
Εικόνα 22

4. Σήμανση

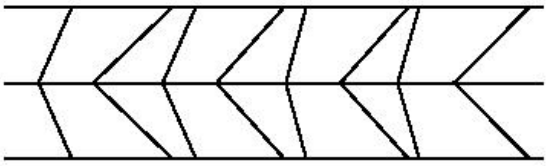
4.1 Σήμανση για την αναγνώριση κατηγορίας χάλυβα οπλισμού σκυροδέματος.

I. Ορίζονται δοκιμές κόπωσης (για την κατηγορία B500C), ενώ στο προηγούμενο Πρότυπο, δεν υπήρχε καμία αναφορά.

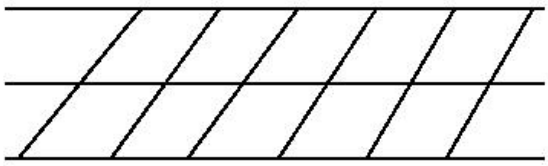
II. Θεσπίζεται συγκεκριμένο σύστημα αναγνώρισης τόσο της χώρας και του εργοστασίου παραγωγής όσο και της τεχνικής κατηγορίας. Στο Πρότυπο



Εικόνα 23: Χάλυβας S500s



Εικόνα 24: Σήμανση χάλυβα κατηγορίας B500C



Εικόνα 25: Σήμανση χάλυβα οπλισμού κατηγορίας B500A

ΕΛΟΤ 971 ήταν υποχρεωτική η ύπαρξη ενός συστήματος αναγνώρισης (σήμανση) της χώρας και του εργοστασίου, χωρίς ωστόσο να προσδιορίζεται κάποια συγκεκριμένη μορφή της σήμανσης. Τώρα, αυτή ορίζεται συγκεκριμένα, ενώ ταυτόχρονα προστίθεται και σύστημα αναγνώρισης της τεχνικής κατηγορίας, το οποίο συνίσταται σε επιπλέον σήμανση. Στις Εικόνες 24και 25 φαίνεται η σήμανση των κατηγοριών ποιότητας B500C και B500A. Για να κατανοηθεί η αλλαγή στις σημάνσεις, στο Εικόνα 23, παρατίθεται η σήμανση για τον χάλυβα οπλισμού S500s, όπως αυτή κατά συνήθως χρησιμοποιείτο έως σήμερα. Επίσης, απαιτείται επιπλέον σήμανση αναγνώρισης των χαλύβων που προέρχονται από την μορφή των ρόλλων. Στην αρχή της σήμανσης για αναγνώριση χώρας/εργοστασίου, θα πρέπει να υπάρχει ένα επιπλέον διακριτικό, που να φανερώνει ότι το προϊόν παράχθηκε σε μορφή ρόλλου. Με τον τρόπο αυτό,

δίνεται πρακτικά η δυνατότητα διάκρισης της χρήσης ράβδων που παράχθηκαν εξ αρχής σε ευθύγραμμη μορφή και ράβδων που προέρχονται από ευθυγράμμιση ρόλλου.

III. Ορίζεται ως διακριτή η έννοια του ευθυγραμμισμένου προϊόντος (που προέρχεται από ευθυγράμμιση ρόλλων). Θεσπίζεται έλεγχος ευθυγραμμισμένων προϊόντων, σε μονάδες επεξεργασίας ρόλων. Απαιτούνται: α) οπτικός έλεγχος για βλάβες στις νευρώσεις β) μέτρηση γεωμετρίας ραβδώσεων γ) δοκιμές εφελκυσμού. Η απαίτηση αυτή επηρεάζει όλες τις επιχειρήσεις διαμόρφωσης χαλύβων οπλισμού σε ρόλλους, καθώς πρέπει στο εξής να διασφαλίζουν με συγκεκριμένες διαδικασίες και ελέγχους ότι οι λειτουργικές ιδιότητες των ράβδων οπλισμού εξακολουθούν να ικανοποιούν τις απαιτήσεις του Προτύπου και μετά την ευθυγράμμιση.

IV. Περιλαμβάνονται διατάξεις και προβλέψεις για Χάλυβες Οπλισμού Σκυροδέματος, όχι μόνο σε ράβδους και ρόλλους, αλλά και για δομικά πλέγματα και ηλεκτροσυγκολλημένα δικτυώματα. Μέχρι τώρα δε υπήρχε κάποια ειδική προδιαγραφή για αυτά τα προϊόντα. Οι βιομηχανίες, εφάρμοζαν εθελοντικά σχετικές προβλέψεις ξένων εθνικών ή Ευρωπαϊκών Προτύπων. Στο εξής τόσο για τα πλέγματα, όσο και για τα δικτυώματα θα γίνονται έλεγχοι για την πιστοποίηση και την παρακολούθηση της ποιότητας.

V. Εισάγεται η έννοια του ημι-έτοιμου προϊόντος. Ορίζεται ως “το προϊόν που χρειάζεται επιπλέον επεξεργασία έτσι ώστε να αποκτήσει τις πρότυπες και ειδικές ιδιότητες που ορίζονται στο Πρότυπο’’. Για την περίπτωση των ρόλλων, θεσπίζεται σύστημα αναγνώρισης του εργοστασίου που προσδίδει τις τελικές μηχανικές ιδιότητες στο προϊόν. Η απαίτηση αυτή είναι σημαντική, διότι υποχρεώνει το φορέα που προσδίδει τις τελικές μηχανικές ιδιότητες στο προϊόν (π.χ. διαδικασία ψυχρής ολκής ή έλασης), να διακινεί αυτό, με σήμανση που να υποδηλώνει αυτόν και όχι το εργοστάσιο που παρήγαγε το ημι-έτοιμο προϊόν.

4.2 Σήμανση για την αναγνώριση της χωράς και της μονάδας παράγωγης.

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, οι οποίες παρουσιάζονται επαναλαμβανόμενες (ανά 0,7m έως 1,5m περίπου) στη μία σειρά των πλάγιων νευρώσεων της ράβδου.

I. Σήμανση για ευθύγραμμες ράβδους:

- Στην περίπτωση ευθύγραμμων ράβδων, το σύμβολο για την έναρξη της σήμανσης, καθώς και για την κατεύθυνση της ανάγνωσης (πεδίο Α, Εικόνα. 26), υποδηλώνεται με δύο διαδοχικές ενισχυμένες πλάγιες νευρώσεις. Μετά την έναρξη, ακολουθεί η σήμανση της χώρας παραγωγής (πεδίο Β, Εικόνα. 26). Το πλήθος των νευρώσεων που συμβολίζει τη χώρα παραγωγής (κωδικός αριθμός χώρας) δίνεται στον Πιν. 11. Μετά, ακολουθεί η σήμανση της μονάδας παραγωγής του χάλυβα (πεδίο Γ, Εικόνα. 26), η οποία 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 μ ε 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 στις Εικόνες 26 και 26-1.

Πίνακας 11 : Συμβολισμός της χώρας παραγωγής (πεδίο Β) κατά ΕΛΟΤ ΕΝ 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

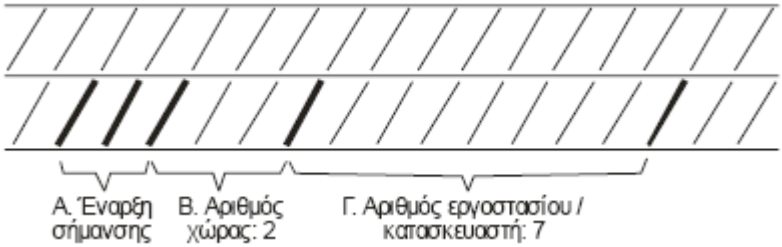
Εικόνα 26: Παράδειγμα σήμανσης της χωράς και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορία B500C

Εικόνα 26-1: Παράδειγμα σήμανσης της χωράς και της μονάδας παραγωγής χάλυβα κατηγορία B500A

II. Σήμανση για κουλούρες και προϊόντα τους.

- Στην περίπτωση που οι χάλυβες οπλισμού παράγονται σε μορφή κουλούρας, ακολουθείται η ίδια σήμανση όπως περιγράφεται παραπάνω για τις ευθύγραμμες ράβδους με

προσθήκη ενός ακόμη συμβόλου για την αναγνώριση της αρχικής μορφής του προϊόντος. Το σύμβολο αυτό είναι μια πρόσθετη, ενισχυμένη πλάγια νεύρωση στην έναρξη της σήμανσης (πεδίο Α των Εικόνων 26-2 και 26-3).



Εικόνα 26-2: Παράδειγμα σήμανσης για αναγνώριση χάλυβα B500A που προέρχεται από κουλούρα.

Εικόνα 26-3: Παράδειγμα σήμανσης για αναγνώριση χάλυβα B500C που προέρχεται από κουλούρα.

Για τις κουλούρες που προορίζονται για περαιτέρω επεξεργασία (κατασκευή δομικών πλεγμάτων κλπ.), 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 η οποία τους προσέδωσε την τελική μορφή.

4.3 Διάβρωση

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. 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 ενσωμάτωση 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 ανοξείδωτου χαρακτήρα και οι ανοξείδωτοι χάλυβες.
- Επίστρωση/επίχριση της επιφάνειας του σκυροδέματος με λεπτό προστατευτικό στρώμα από κατάλληλες οργανικές ή ανόργανες ουσίες.
- Χρήση αναστολέων διάβρωσης
- Καθοδική προστασία.

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 η 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 η 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 (ολική έλαση κ.λπ.)
- Το αυξημένο πορώδες του σκυροδέματος

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 επιψευδαργυρομένους, η αντίδραση του ψευδαργύρου με το $Ca(OH)_2$ 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 υδρυάλου (ανόργανες) κ.λπ.

4.3.1 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, το κάθε δοκίμιο ζυγίζεται με ακρίβεια τουλάχιστον 0,01g.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:

Δβ = αρχικό βάρος - 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 300 g/m^2
- Αυξημένα μέτρα προστασίας του οπλισμού από την διάβρωση, 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.

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/m2 (ή πάχος οξειδίων σιδήρου της τάξης των 150μm).
Για τα συνήθη τσιμέντα (CEM II) οι τιμές είναι μικρότερες, της τάξης των 300g/m2.
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.
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 ημιεμπειρικής σχέσης:

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

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

4.4 Προστασία αναμονών

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.

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.

Εικόνα 27

5. Ολκιμότητα

5.1 Ολκιμότητα και μηχανικά χαρακτηριστικά χαλύβων κατηγορίας B500c ή S500s

Ο όρος ολκιμότητα 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, ενώ πλαστιμότητα είναι η ικανότητα ενός φορέα ή μιας περιοχής από οπλισμένο σκυρόδεμα να αποκρίνεται σε μεγάλες μετελαστικές παραμορφώσεις, χωρίς σημαντική μείωση της φέρουσας ικανότητας.

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

Οι νέες απαιτήσεις για αντισεισμικές κατασκευές, δηλαδή για κατασκευές αυξημένης πλαστιμότητας, που θέτουν οι σύγχρονοι κανονισμοί όπως ο Ευροκώδικας 8 και ΕΚΩΣ 2000, οι οποίοι αναφέρονται στον κανονισμό τεχνολογίας χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.) οδήγησαν τη ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ μέσα από τη μακρόχρονη εμπειρία της, στην παραγωγή χαλύβων κατηγορίας C υψηλής ολκιμότητας δηλαδή χαλύβων με υψηλές τιμές κράτυνσης (λόγος εφελκυστικής αντοχής προς όριο διαρροής ft / fy) και ομοιόμορφης παραμόρφωσης (ε_u,k).Οι χάλυβες αυτοί είναι ο Χάλυβας θερμής έλασης με άμεση εν σειρά θερμική κατεργασία και ο Βαναδιούχος Χάλυβας θερμής έλασης ο οποίος έχει ακόμα μεγαλύτερη ολκιμότητα και επιπλέον πλεονεκτήματα όπως:

- Καλύτερη συμπεριφορά στις συγκολλήσεις
- Μηχανικά χαρακτηριστικά που οφείλονται στη χημική του σύνθεση και δεν επηρεάζονται μετά από πυρκαγιά και
- Είναι ανθεκτικότερος στη διάβρωση σε σχέση με το χάλυβα θερμικής κατεργασίας.

ПАРТНМАТА

Στα παραρτήματα που ακολουθούν αναφέρονται κάποια μέρη του ΚΤΧ 2007

Παράρτημα Π1: Η επίδραση των μεθόδων παραγωγής και των κραματικών στοιχείων στις ιδιότητες των χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος

(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 Furnance -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 χαλύβων που παράγονται, εξαρτάται καταρχάς από την καθαρότητα της πρώτης ύλης η οποία, όπως προαναφέρθηκε, είναι κυρίως παλαιοσίδηρος. Με τον όρο καθαρότητα εννοείται το ποσοστό των υπολειμματικών στοιχείων, όπως χαλκός (C_u), νικέλιο (N_i), κασσίτερος (S_n), κοβάλτιο (C_o), αντιμόνιο (Sb), αρσενικό (A_5), 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 (C_r), το θείο (S), ο φώσφορος (P), το μαγγάνιο (Mn), το άζωτο (N) και το υδρογόνο (H) ελέγχονται μέχρις 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 την ίδια τη μεταλλουργική επεξεργασία, όπως για παράδειγμα ασβέστιο (C_a), μαγνήσιο (M_g) , πυρίτιο (S_i) και αλουμίνιο (AI) (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 ως εξής:

- Θερμή ρηγμάτωση που οφείλεται κυρίως στην παρουσία S, θα και επιδεινώνεται με την παρουσία A_s, S_n και S_b.

- Ρωγμές και ψαθυρότητα που οφείλονται στην παρουσία S, P και H.
- Μεγάλη διασπορά στις τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων, ειδικά στην περίπτωση χαλύβων θερμής έλασης, λόγω W, Mo, C_r, Νί, 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 μέχρις 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.
Σ' αυτά που ακολουθούν παρουσιάζονται συνοπτικά:

- 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.)
- Η επίδραση της μεταλλοτεχνικης και θερμικής επεξεργασίας στα χαρακτηριστικά των παραγόμενων προϊόντων.

Π1.2 Χημικά στοιχεία κραματικα 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 (hardenadility) του χάλυβα που σχετίζεται με το βάθος βαφής των χαλύβων. 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 αντικρουόμενων ιδιοτήτων και εξασφαλίζει υψηλή αντοχή, ικανοποιητική επιμήκυνση και καλή συγκολλησιμότητα.

Μαγγάνιο (Mn)

Η κραμάτωση των χαλύβων 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 ελενχου της αντοχης 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 θειούχου σιδήρου (FeS) ο οποίος προκαλεί ψαθυροποίηση του χάλυβα κατά τη θέρμανση περί τους 900^{o}C.

Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο και το μαγγάνιο υπάρχουν σχεδόν σε όλους τους χάλυβες, επειδή περιέχονται στα μεταλλεύματα από τα οποία εξάγεται ο σίδηρος. Επί πλέον, 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 εμβαπτότητα και κατά συνέπεια και η συγκολλησιμότητα των χαλύβων. Αύξηση της περιεκτικότητας κατά ποσοστό 1% συνεπάγεται αύξηση της αντοχής κατά περίπου 100MPα, ενώ αντίστοιχη είναι και η αύξηση του ορίου διαρροής.

Φωσφόρος (P)

Ο φωσφόρος αποτελεί κατά κανόνα επιβλαβείς ακαθαρσίες για τους χάλυβες. Ο P συνδέεται με ψαθυροποίηση και μικροδιαφορισμό κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα. Ως εκ τούτου, κατά τη μεταλλουργική διαδικασία παραγωγής, καταβάλλεται προσπάθεια, τα επίπεδα περιεκτικοτήτων 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 συναντάται 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 ήταν χαμηλότερη του 0,05% επιτρεπόταν η περιεκτικότητα σε άζωτο να φτάσει μέχρι το 0,012%.

Στο **Πρότυπο ΕΛΟΤ ΕΝ 10080** ορίζονται 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 θα 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 (και παλαιότερα του S500s) 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 έλασής 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 και 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 συναντώνται 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 χαλύβων (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.

<u>Σημείωση:</u> 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 δεσμευομένου N από τα στοιχεία αυτά σε μορφή νιτριδίων διαφέρει ανάλογα με το στοιχείο. Νιτρίδια μπορούν να σχηματισθούν τόσο κατά τη διαδικασία της χύτευσης του χάλυβα, όσο και κατά τη φάση επαναθέρμανσης των μπιγεττών (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 επιφάνειατου 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 ΕΝ10080 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 ζιρκόνιο (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 μπιγεττών, 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 10-4 (1)

με προϊόν το AlN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,040% Al η ισορροπία δίνει περίπου 25ppm N.

[%B] [%N] = 1,8 10-5 (2)

με προϊόν το BN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 20 ppm B η ισορροπία δίνει 90 ppm N.

[%V] [%N] = 2,3 10-3 (3)

με προϊόν το VN, και για ενδεικτική τιμή π.χ. 0,10 % V η ισορροπία δίνει περίπου 230ppm N.

[%Ti] [%N] = 1,3 10-6 (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 10-4 (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 10-3 (6)

με προϊόν το Nb(C,N) με ατομική σύσταση NbC0,7N0,2, 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 (973oK), μια νέα συνθήκη ισορροπίας ισχύει σύμφωνα με τον τύπο:
    - [%V] [%N] = 8,1 10-7 (7)
- Έτσι, 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 νιτριδίων του είναι ακόμη πιο πολύπλοκη καθόσον επηρεάζεται και από την κατακρήμνιση σύνθετων μορφών καρβονιτριδίων Nb (C,N). Η κατακρήμνιση γίνεται σε υψηλότερες θεοκρασίες στον ωστενίτη. Γενικά όπως 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 νιτριδίων 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= 2,12.10-^{11} m^2/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 όριά του δίνεται από την προσεγγιστική σχέση:

$$\tau = d2/(16D) \qquad (8)$$

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 (973oK), 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 = 2,5.10-11 m^2/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 όριά 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

Π1.3 Θερμομηχανικές κατεργασίες παραγωγής

Με τον όρο θερμομηχανικές κατεργασίες περιγράφονται κατεργασίες του χάλυβα που έχει μορφοποιηθεί, μετά τη στερεοποίησή 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-Χ 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 0,0250/00 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 ιδίας 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 M2+++O3, 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 Ms (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 Ms (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).

- **Μπαινίτης**

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 μπαινίτης) και με βελόνες εφ’ όσον σχηματίζεται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες (κατώτερος μπαινίτης). 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 περιστρεφόμενων 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 (Vc) για το συγκεκριμένο υλικό ή ψύξη σε θερμοκρασία χαμηλότερη από μια χαρακτηριστική επίσης θερμοκρασία για το ίδιο υλικό (Ms).

Η κρίσιμη ταχύτητα ψύξης (Vc) 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 (Ms) 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 (συγκολλήσιμους) 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 χαλυβουργίες 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 Vc). 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.

Αποτατική 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 θερμομηχανικών 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 φθηνό 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 συγκολλήσιμων αντιμετωπίστηκε αρχικά με ειδική κραμάτωση, δηλαδή διατήρηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα και μαγγάνιο σε χαμηλά επίπεδα και προσθήκη πολύ μικρών ποσοτήτων ισχυρά καρβδιογόνων 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 συγκολλησιμότητα 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.

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 EYRATOM.

Οι κίνδυνοι από τις πηγές ραδιενέργειας ποικίλουν, ανάλογα με τη δραστικότητα, 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 ραδιονουκλείδια 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 παλιοσιδηρικών 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 βιομηχανίας 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, απώλειας 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 (έλεγχος Χ.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: ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

(Πληροφοριακό)

Π3.1 Χειρωνακτική συγκόλληση τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια (Shielded Metal ArcWelding, 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 αναλισκόμενου 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 συλλιπάσματος (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 συγκολλιούνται 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:

$$Q=I*V/v,$$

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.

Π3.2 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 αναλισκόμενο 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. Σε κάθε περίπτωση απαιτείται πηγή συνεχούς ρεύματος σταθερής τάσης και με τον θετικό πόλο στο ηλεκτρόδιο (αντίστροφη πολικότητα). Οι τρόποι αυτοί είναι:

- Αξονική μεταφορά με καταιονισμό

Το μέταλλο μεταφέρεται ορμητικά από το ηλεκτρόδιο στο λουτρό σε μορφή πολύ λεπτών σταγόνων (φπψ). 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% O_2, και για εντάσεις ρεύματος πάνω από μία κρίσιμη τιμή (τυπικά 200 Α).

- Μεταφορά με σταγόνες

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 $0O_2$.

- Μεταφορά με βραχυκυκλωμένο τόξο

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 14-20ν). Οι σταγόνες που σχηματίζονται στο άκρο του ηλεκτροδίου αγγίζουν το μέταλλο βάσης πριν προλάβουν να μεγαλώσουν, μεταφέρονται δε 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. Σ αέριο προστασίας χρησιμοποιείται $0O_2$ ή μίγματα Αr-$0O_2$ (τυπικά Αr 80%-OO_2 20% ή Αr 75%-$0O_2$ 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 συγκολλάται, 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.

ΠΣ.3 Ημιαυτόματη συγκόλληση τόξου σε προστατευτική ατμόσφαιρα αερίου με σωληνωτά ηλεκτρόδια.

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 συγκολλιούνται και ότι είναι λιγότερο ευαίσθητη στην παρουσία ρευμάτων αέρα.

ΠΣ.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 συλλιπάσματος, 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.

Π3.5 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 συμπιέζονται 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 συγκολλιούνται 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 συναρτήσει της διαμέτρου των ράβδων. Προτιμώνται οι αυτόματες μηχανές.

ΠΙ3.6 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 τηβοήθεια 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.

ΠΙ3.7 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 συμπιέζονται. 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 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 30πιιη και 3ππη για μεγαλύτερες διαμέτρους

Η συγκόλληση γίνεται σε δύο διαδοχικά στάδια. Στο πρώτο (στάδιο θέρμανσης) εφαρμόζεται θέρμανση στο διάκενο, με τη βοήθεια καυστήρων οξυγόνου-ασετυλίνης 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 12πιιη.

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.

Π3.7.1 Σημειακή συγκόλληση με αντίσταση.

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 συμπιέζονται. 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.

Π3.8 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 συμπιέζονται 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.

Π3.9 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 πλατειά 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.

Π.3.10 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 Ε 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 Ε6013 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 ρουτιλίου.**

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 120-2300C. Πριν από τη χρήση του παραμένει σε θερμοκρασία 100-1200C.

• **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 4: ΚΟΠΩΣΗ ΧΑΛΥΒΩΝ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ

(Πληροφοριακό)

Π4.1 Γενική Θεώρηση

Η κόπωση είναι το φαινόμενο της αστοχίας ενός υλικού υπό κυκλική διαδικασία φόρτισης, μεταξύ μιας ελάχιστης και μιας μέγιστης τιμής τάσεως πολύ μικρότερης του ορίου θραύσεως του υλικού, που είναι η κατάληξη της συσσώρευσης βλάβης λόγω αύξησης του μεγέθους κάποιας προϋπάρχουσας ή νεοδημιουργηθείσας ρωγμής κατά την εξέλιξη της φόρτισης.

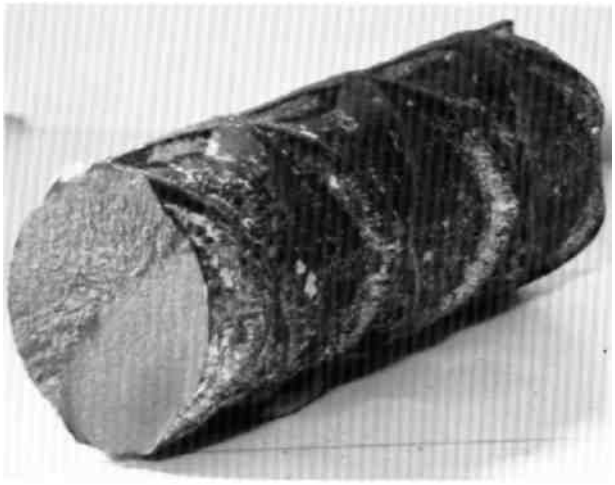
Κατά την κόπωση προκαλείται προοδευτική αύξηση των ρωγμών οι οποίες οδηγούν σε πλήρη θραύση του υλικού εάν το πλήθος των κύκλων φόρτισης υπερβεί ένα όριο. Η θραύση προκαλείται για τιμές τάσεων μικρότερες της αντοχής του υλικού σε στατική μονότονη φόρτιση. Για τις πρακτικές εφαρμογές έργων πολιτικού μηχανικού, το πλήθος των κύκλων φόρτισης το οποίο απαιτείται να αντέξει το υλικό είναι της τάξεως των $2\chi10^6$ έως $10\chi I^6$ (βλ. Ευρωκώδικα 1).

Κατά κανόνα, η κόπωση δεν εμφανίζεται συχνά σε κατασκευές από οπλισμένο σκυρόδεμα και τούτο διότι το εύρος της διακύμανσης των τάσεων στον χάλυβα δεν είναι συνήθως μεγάλο. 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, προκατασκευή 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. Σημειώνεται ότι στις περιπτώσεις ολιγοκυκλικής καταπόνησης και πολύ μεγάλου εύρους διακύμανσης τάσεων, όπως π.χ. συμβαίνει σε έναν μεγάλο σεισμό, η ενδεχόμενη αστοχία επέρχεται συνήθως πριν προλάβει να εκδηλωθεί το φαινόμενο της κόπωσης.

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. ΕΝ 1992-1-1 (Ε02).

Π4.2 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 και του υψηλότατου εντατικού πεδίου που αναπτύσσεται στο χείλος 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 στην Εικόνα 27). Η επιφάνεια παρουσιάζει δύο διακεκριμένες περιοχές: η μία περιοχή έχει λεία επιφάνεια, ενώ η υπόλοιπη επιφάνεια έχει τραχεία-κοκκώδη υφή.



Εικόνα 27.1 Θραύση από κόπωση ράβδου οπλισμού σκυροδέματος (Από το ACI 215R-74 «Considerations for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading»)

Π4.3 Παράγοντες που επηρεάζουν τη κόπωση

Εκτός από το εύρος διακύμανσης της τάσης (Δσ=σmax-σmin) 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 νεύρωσης)

• 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

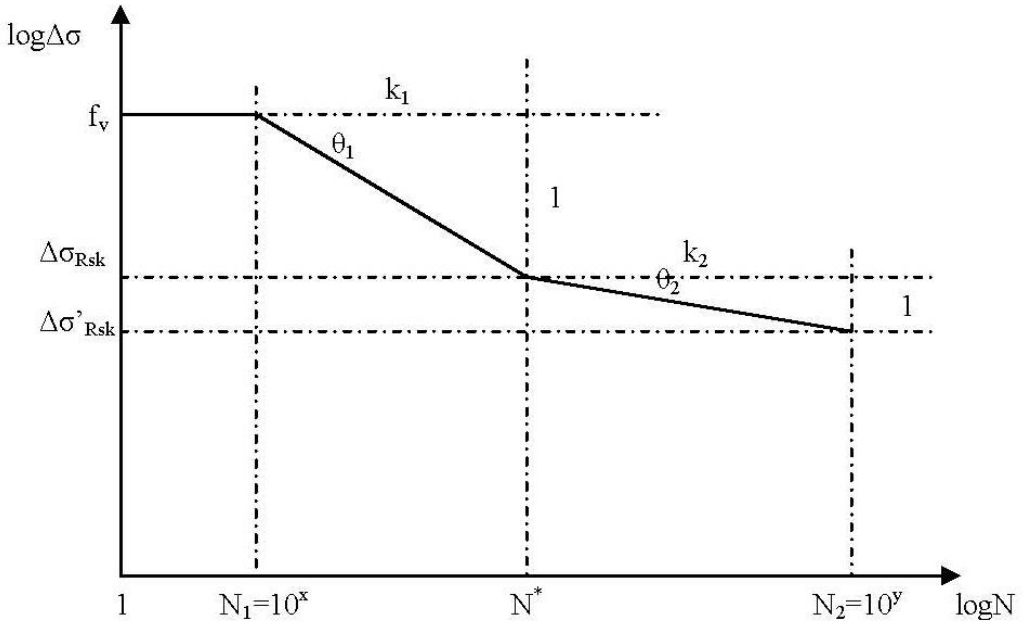
Ως αντοχή σε κόπωση για έναν δεδομένο πλήθος κύκλων φόρτισης ορίζεται το μέγιστο εύρος διακύμανσης τάσεων το οποίο μπορεί να αντέξει μια ράβδος για αυτό το δεδομένο πλήθος κύκλων φόρτισης. Εάν, όπως συνήθως συμβαίνει, δεν αναφέρεται το πλήθος των κύκλων, τότε υπονοείται άπειρο πλήθος κύκλων, ή έστω πολύ μεγάλο (πάνω από 2x106), και το αντίστοιχο εύρος της διακύμανσης των τάσεων ονομάζεται (γενικώς) αντοχή σε κόπωση.

Η σχέση μεταξύ του εύρους διακύμανσης των τάσεων, Δσ, και του πλήθους των κύκλων, N, παρουσιάζεται από την καμπύλη κόπωσης (καμπύλη Wohler, σε λογαριθμικούς άξονες logΔσ-logN). 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*=1x106 έως 10x106) η καμπύλη παρουσιάζει πολύ μικρή κλίση (πρακτικά είναι οριζόντια) και μπορεί να θεωρηθεί ότι για το αντίστοιχο εύρος διακύμανσης τάσεων, ΔσRsk, η ράβδος έχει άπειρη διάρκεια ζωής σε κόπωση. Σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα EN 1992-1-1 η χαρακτηριστική

καμπύλη της αντοχής σε κόπωση έχει τη μορφή της Εικόνα 27.2 . Οι παράμετροι για τον καθορισμό της καμπύλης δίνονται στον Πιν. 12 για δύο κατηγορίες ράβδων: ευθύγραμμες και συγκολλημένες-πλέγματα.

Είδος Ράβδου	N*	k1	k2
Ευθύγραμμοι ράβδοι	10	5	9
Συγκολλημένες ράβδοι και πλέγματα	10	3	5

Πίνακας 12



Εικόνα 27.2 Παραμετρική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης κόπωσης (καμπύλη Wohler) χαλύβων οπλισμού σκυροδέματος (Ευρωκώδικας EN 1992-1-1)

ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΥΛΙΚΟ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΣΚΕΨΗ ΜΑΣ ΣΤΗΝ "ΧΑΛΥΒΟΥΡΓΙΚΗ Α.Ε"

Σύστημα εξαερισμού

Κλίβανος καθαρισμού

Μηχανή χύτευσης υγρού χάλυβα

Ηλεκτρική υψικάμινος

Ηλεκτρόδια υψηλής τάσης

Διαδικασία υγροποίησης χάλυβα

Μεταφορά υγρού χάλυβα θερμοκρασίας 1100^{o} C

Κοπή μπιγεττών

Γραμμή παραγωγής μπιγεττών

Μηχάνημα συγκόλλησης

Συγκόλληση μπιγεττών

Γραμμή παραγωγής συγκόλλησης

Συγκολλημένος χάλυβας - γραμμή παραγωγής

Ψυχρή έλαση

Διαμόρφωση χάλυβα σε κυλινδρική διατομή

Γραμμή παραγωγής ψυχρής έλασης

Μηχάνημα κοπής χάλυβα κυλινδρικής διατομής

Τελικό προϊόν διατομής Φ20

Χύτευση υγρού χάλυβα

Βιβλιογραφία

- D.B.Evans-R.D.Pehlke, Trans. TMS-AIME, 1964, vol. 230, σελ. 1651-1662, και 1965, vol. 233, σελ. 1620-1624.
- Z.Morita-T.Tanaka-T.Yanai, 'Equilibria of Nitride Forming Reactions in Liquid Iron Alloys', Met. Trans. B, vol. 18B, 1987, σελ. 195-202.
- P.D.Deeley, K.J.A. Kundig, H.R. Spendelow.Jr., 'Ferroalloys & Alloying Additives Handbook', ShieldAlloy-Metallurg Alloy Corp., New York, 1981.
- J.F.Elliott, 'Physical Chemistry of Liquid Steel', in Electric Furnace Steelmaking, Ed. C.R. Taylor, ISS-AIME, 1985, σελ. 315.
- M.Vergauwens,'Nitrogen in Steel',Heraeus Electro-Nite, 1996.
- Reed-Hill, 'Physical Metallurgy Principles', 2nd Ed., D.Van Nostrand, σελ. 346.
- 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.
- M.F.Ashby – D.R.H.Jones, 'Engineering Materials', 2nd Ed., Butterworth-Heinemann, vol. 1, 1996, σελ. 184.
- Smithells Metals Reference Book, 6th Ed., Butterworths, 1983, σελ. 12-14 έως 12-16.
- Guy-Hren, 'Elements of Physical Metallurgy', Addison Wesley, 3rd Ed., 1974, σελ. 454.
- M.Gunziger-P.Wille, 'The Production of High Quality Reinforcing Bar Steels at Ferrowohlen AG/Switzerland', Union CarbideDeutchland GmbH, Dusseldorf, Germany.
- IISI. "EAF Technology: State of the Art & Future Trends" 2000, σελ.8-9, 44-57
- ΕΛΟΤ 959: Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος
- ΕΛΟΤ 971: Συγκολλήσιμοι Χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος
- Κανονισμός Τεχνολογίας Χαλύβων Οπλισμού Σκυροδέματος (Κ.Τ.Χ.), ΦΕΚ 381/Β/24.3.2000
- Σχέδιο Προτύπου ΕΛΟΤ 1421 για χάλυβες οπλισμού σκυροδέματος (Ιστοσελίδα ΤΕΕ)
- «ΧΑΛΥΒΕΣ ΟΠΛΙΣΜΟΥ ΣΚΥΡΟΔΕΜΑΤΟΣ, με βάση τις σύγχρονες απαιτήσεις των Κανονισμών'', Π. Μαυροειδής, Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ
- European Standard prEN ISO 17660 (2002): Welding of reinforcing steel
- INTERNATIONAL STANDARD ISO 15630-1, 15630-2

- Aci Commitee 439 “ Steel Reinforcement – Physical Properties and U.S. Availability”, ACI Materials journal , Jan – Feb 1989, 63 – 76.
- Economopoulos M. , Respan Y., Lessel G., Steffes G. , “ Application of Tempcore process to the fabrication of high yield strength concrete bars” , C.R.M. No 45, December 1975, 1 – 17.
- CEB – FIB Bulletin No 242 “ Ductillity of Reinforced Concrete Structures – Synthesis report and individual contributions”, Mai 1998
- Επίσκεψη στην Χαλυβουργική ΑΕ
- Σημειώσεις εργαστηρίου Οπλισμένου Σκυροδέματος ΑΤΕΙ ΠΑΤΡΑΣ (Παγανός Δημήτριος)
- Δικτυακός ισότοπος www.google.gr
- Κανονισμός Τεχνολογίας Χάλυβα (Κ.Τ.Χ 2007)