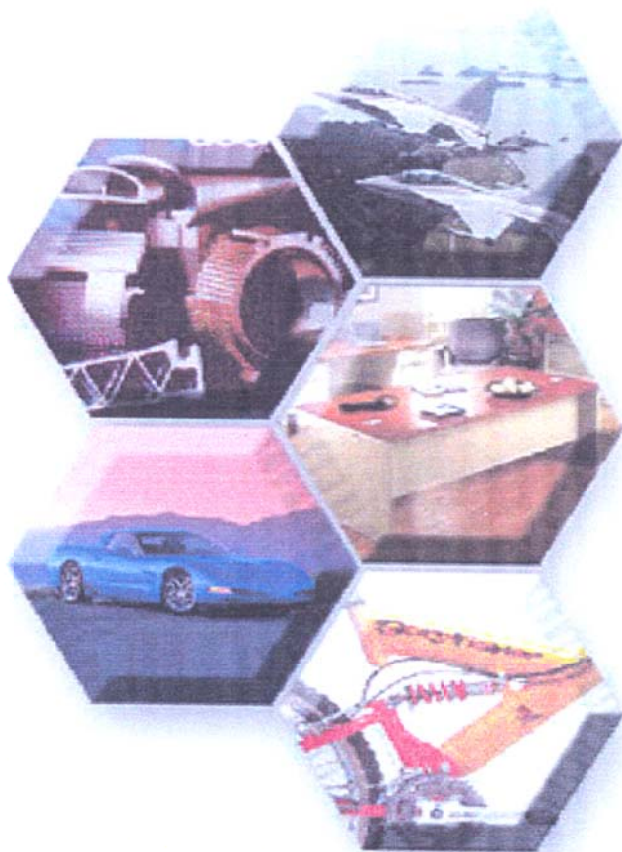




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΔΟΜΟΣΤΑΤΙΚΗΣ



**ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ
ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ ΣΤΑ ΔΟΜΙΚΑ ΕΡΓΑ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΜΗΤΣΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

Γ. ΙΩΑΝΝΙΔΗΣ, ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας πραγματοποιήθηκε μέσω της ουσιαστικής συνδρομής ορισμένων ατόμων.

Ειδικότερα θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τον κ. Γεώργιο Ιωαννίδη, Καθηγητή της Σχολής Πολιτικών Μηχανικών Ε.Μ.Π, για την ανάθεση αυτής της διπλωματικής εργασίας, την καθοδήγησή του, την παροχή πολύτιμων στοιχείων και βιβλιογραφίας, αλλά και για το γενικότερο ενδιαφέρον του.

Επιπλέον, ευχαριστούμε θερμά τους διπλωματούχους Πολιτικούς Μηχανικούς Ελένη Χατζή και Σάββα Τριανταφύλλου για τη συμβολή τους στη συλλογή πληροφοριακού υλικού από το διαδίκτυο και στο μεταφραστικό κομμάτι της εργασίας.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Τα μέταλλα αποτελούν τα δύο τρίτα περίπου όλων των στοιχείων και σχεδόν το 25% της μάζας της γης. Κατά κύριο λόγο συναντώνται σε μορφή κραμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται λόγω των ωφέλιμων χαρακτηριστικών τους όπως η ολκιμότητα, η ανθεκτικότητα, η αντοχή, η αντίσταση σε διάβρωση, η αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, και η θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα. Τα περισσότερα μέταλλα δεν χρησιμοποιούνται σε καθαρή μορφή αλλά με χρήση προσμίκτων τα οποία βελτιώνουν τις ιδιότητές τους. Αντικείμενο της διπλωματικής αυτής εργασίας αποτελεί η μελέτη δύο τέτοιων κραμάτων – του αλουμινίου και του ανοξείδωτου χάλυβα.

Η χρήση των κραμάτων αλουμινίου ως δομικού στοιχείου αποτελεί μία σχετικά νέα τάση στο πεδίο του πολιτικού μηχανικού. Τα κράματα αυτά έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί στην επιστήμη της αεροναυτικής, και μάλιστα με μεγάλη επιτυχία, από την εποχή των αεροσκαφών Zeppelin και Schwartz, μέχρι και σήμερα. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται πλέον και σε άλλους τομείς των μεταφορών, όπως οι βιομηχανίες σιδηροδρόμων, αυτοκινήτων και ναυπηγίας και βέβαια έχουν εφαρμογή ως υλικά κουφωμάτων και δομικά υλικά.

Από την άλλη, ο ανοξείδωτος χάλυβας αποτελεί κράμα του σιδήρου με κύριο πρόσμικτο το χρώμιο, το οποίο τον καθιστά εξαιρετικά ανθεκτικό στη διάβρωση, την οξείδωση και τις υψηλές θερμοκρασίες. Το υλικό αυτό βρίσκει εφαρμογή σε αρκετούς τομείς μεταξύ των οποίων η αεροναυτική, η βιομηχανίες υψηλής τεχνολογίας, οικιακές συσκευές, οι κατασκευές κ.ά.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα παρατεθούν γενικές πληροφορίες για τις εφαρμογές και χρήσεις τόσο του αλουμινίου όσο και του ανοξείδωτου χάλυβα, ενώ ακόμη θα καλυφθεί το υπόβαθρο των Διεθνών Κανονισμών σε ότι αφορά τον έλεγχο των οριακών καταστάσεων αντιστοιχών μελών σε συνθήκες συνήθους και αυξημένης θερμοκρασίας. Παράλληλα, πραγματοποιείται και σύγκριση μεταξύ του αλουμινίου και του συνήθους και ανοξείδωτου χάλυβα. Επιπλέον, παρουσιάζονται και κάποιες εφαρμογές για το σχεδιασμό μελών από αλουμίνιο σε οριακές καταστάσεις. Αναλυτικότερα:

Στο 1^ο Κεφάλαιο δίδονται γενικές πληροφορίες για το υλικό του αλουμινίου, όπως η ιστορία, τα πλεονεκτήματα και οι χρήσεις του.

Στο 2^ο Κεφάλαιο καλύπτονται οι μέθοδοι παρασκευής διάφορων προϊόντων από αλουμίνιο όπως διελασμένες διατομές, σωλήνες και επίπεδα προϊόντα.

Στο 3^ο Κεφάλαιο απαριθμούνται οι τύποι κραμάτων του αλουμινίου και οι αντίστοιχες ιδιότητές τους, όσον αφορά στις φυσικές και μηχανικές ιδιότητες, στην αντοχή, τις σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων κ.ά

Στο 4^ο Κεφάλαιο δίνονται γενικές πληροφορίες για την ιστορία, προέλευση, παρασκευή και χρήση του Ανοξειδωτού Χάλυβα.

Εν συνεχεία, στο 5^ο Κεφάλαιο καλύπτονται οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 9 Μέρος 1-1 για το Αλουμίνιο κυρίως όσον αφορά στο σχεδιασμό σε οριακές καταστάσεις.

Αντίστοιχα, στο 6^ο Κεφάλαιο καλύπτονται οι διατάξεις του οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 3 Μέρος 1 - 4 για τον Ανοξειδωτο Χάλυβα.

Στο 7^ο Κεφάλαιο καλύπτεται ο δομικός σχεδιασμός κατασκευών από αλουμίνιο σε Συνθήκες Φωτιάς (Ευρωκώδικας 9 Μέρος 1-2) και συγκρίνονται οι αντίστοιχες διατάξεις και ιδιότητες με εκείνες που αντιστοιχούν στους συνήθεις και ανοξειδωτους χάλυβες.

Τελός, στο 8^ο Κεφάλαιο παρατίθενται ορισμένες εφαρμογές με κύριο αντικείμενο τη συμπεριφορά του αλουμινίου σε αυξημένες θερμοκρασίες.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	4
ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	14
1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	15
1.1 Γενική περιγραφή	15
1.1.1 Το στοιχείο του αλουμινίου	15
1.1.2 Η ονομασία	15
1.1.3 Το βιομηχανικό μέταλλο.....	15
1.1.4 Κράματα.....	15
1.1.5 Καλούπια	16
1.1.6 Οι κίνδυνοι για την Υγεία.....	16
1.1.7 Ο κίνδυνος πυρκαϊάς.....	17
1.2 Φυσικές Ιδιότητες	18
1.2.1 Βάρος	18
1.2.2 Ελαστικές Σταθερές	19
1.2.3 Θερμική διαστολή.....	20
1.2.4 Σημείο τήξης.....	20
1.2.5 Θερμικές Σταθερές.....	20
1.2.6 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα.....	21
1.3 Σύγκριση με το Χάλυβα.....	22
1.3.1 Πλεονεκτήματα του αλουμινίου	22
1.3.2 Μειονεκτήματα του αλουμινίου	23
1.4 Ιστορική Αναδρομή	25
1.4.1 Το στάδιο του πολύτιμου μετάλλου.....	25
1.4.2 Η μεγάλη εξέλιξη	25
1.4.3 Οι Πρώτες Εφαρμογές	26
1.4.4 Η καθιέρωση των κραμάτων.....	26

1.4.5	Η πρώτη μεγάλη αγορά.....	28
1.5	Το Αλουμίνιο από το 1945	28
1.5.1	Η ανάπτυξη στην παραγωγή.....	28
1.5.2	Νέα Τεχνολογία	29
1.5.3	Το Αλουμίνιο στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού	31
1.5.4	Αρχιτεκτονική.....	32
1.5.5	Επίγειες Μεταφορές.....	34
1.5.6	Χρήση στη ναυσιπλοΐα	35
2	ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	36
2.1	Επίπεδα Προϊόντα.....	36
2.1.1	Ανοχή Σφάλματος Πάχους.....	37
2.2	Διελασμένες Διατομές	38
2.2.1	Θερμική Κατεργασία Διατομών	41
2.2.2	Διόρθωση	42
2.2.3	Όρια Μεγέθους και Πάχους.....	43
2.2.4	Ανοχές.....	44
2.2.5	Δυνατότητες Σχεδιασμού.....	45
2.3	Σωλήνες	47
2.3.1	Διελασμένος Σωλήνας (Extruded Tube).....	47
2.3.2	Ελκούμενος Σωλήνας (Drawn Tube).....	47
2.3.3	Συγκολλημένος Σωλήνας (welded tube).....	48
3	ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ.....	49
3.1	Κατάταξη των κραμάτων.....	51
3.1.1	Αριθμητική Ονοματολογία	51
3.1.2	Αλφαριθμητική Ονοματολογία.....	53
3.1.3	Ονοματολογία Σταδίου Παρασκευής.....	55
3.2	Χαρακτηριστικά των Διαφόρων Τύπων Σφυρήλατων Κραμάτων	57

3.2.1	Μη θερμικά κατεργασμένα κράματα.....	57
3.2.2	Θερμικά Κατεργασμένα Κράματα.....	58
3.3	Φυσικές Ιδιότητες	61
3.4	Μηχανικές Ιδιότητες.....	62
3.4.1	Προσδιορισμός Μηχανικών Ιδιοτήτων.....	62
3.4.2	Σχέση μεταξύ σκληρότητας και εφελκυστικής αντοχής.....	64
3.4.3	Ελάχιστη Ακτίνα Καμπυλότητας.....	65
3.4.4	Μεταβολή της Αντοχής με την Θερμοκρασία.....	66
3.5	Καμπύλες Τάσης – Παραμόρφωσης.....	68
3.5.1	Γενικά.....	68
3.5.2	Εμπειρικές Σχέσεις Τάσης – Παραμόρφωσης.....	68
3.5.3	Μοντέλο Baehre.....	69
3.5.4	Μοντέλο Mazzolani	70
3.5.5	Μοντέλο Ramberg – Osgood.....	72
3.5.6	Καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης για υλικά ελάχιστης αντοχής	74
3.6	Διάβρωση.....	75
4	ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ.....	78
4.1	Γενική περιγραφή	78
4.2	Ιστορία του Ανοξειδωτού Χάλυβα	78
4.3	Τύποι και Κατηγορίες Ανοξειδωτού Χάλυβα.....	79
4.3.1	Μαρτενσιτικοί Χάλυβες.....	79
4.3.2	Φερριτικοί Χάλυβες.....	80
4.3.3	Ωστενιτικοί Χάλυβες	81
4.4	Χημική Σύσταση.....	85
4.5	Μηχανικές Ιδιότητες.....	87
4.6	Παρασκευή Ανοξειδωτού Χάλυβα	88
4.7	Πλεονεκτήματα του Ανοξειδωτού Χάλυβα.....	89

4.8	Εφαρμογές του Ανοξειδωτου Χάλυβα.....	90
5	ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9 ΜΕΡΟΣ 1-1 ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	98
5.1	Επί Μέρους Συντελεστές Ασφαλείας	98
5.2	Ιδιότητες του Υλικού	98
5.2.1	Χαρακτηριστικές Τιμές.....	98
5.2.2	Τιμές Σχεδιασμού	99
5.3	Τύποι κραμάτων κατά τον Ευρωκώδικα 9.....	100
5.4	Ιδιότητες του Υλικού για Σφυρήλατα Κράματα Αλουμινίου	101
5.4.1	Ελάχιστες Τιμές	101
5.5	Ιδιότητες του Υλικού για Χυτά Κράματα Αλουμινίου.....	106
5.5.1	Ελάχιστες Τιμές	106
5.6	Διαστάσεις, μάζα και ανοχές	107
5.7	Τιμές Σχεδιασμού για σταθερές του Υλικού	107
5.8	Μέσα Σύνδεσης.....	107
5.8.1	Γενικά.....	107
5.8.2	Κοχλίες, Περικόχλια και Ροδέλες.....	107
5.8.3	Προεντεταμένοι Κοχλίες.....	108
5.8.4	Πριτσίνια.....	109
5.8.5	Αναλώσιμα Υλικά Συγκολλήσεων	109
5.8.6	Συγκολλητικές Ουσίες	111
5.9	Ανθεκτικότητα και Προστασία σε Διάβρωση	113
5.9.1	Γενικά.....	113
5.9.2	Αντοχή	114
5.9.3	Προστασία σε Διάβρωση.....	114
5.10	Σχεδιασμός μελών από Αλουμίνιο στην Κατάσταση Λειτουργικότητας.....	117
5.10.1	Όρια Μετατοπίσεων.....	117
5.10.2	Υπολογισμός Ελαστικών Μετατοπίσεων	118

5.10.3	Ταλαντώσεις	119
5.10.4	Δυναμικά Φαινόμενα	120
5.11	Σχεδιασμός μελών από Αλουμίνιο σε Οριακές Καταστάσεις	121
5.11.1	Γενικά.....	121
5.11.2	Αντοχή Διατομής	125
5.11.3	Κατάταξη των Διατομών	128
5.11.4	Ζώνη Θερμικής Επιρροής.....	137
5.11.5	Αντοχή Δοκών	142
5.11.6	Αντοχή Εφελκυσόμενων Μελών	150
5.11.7	Αντοχή Θλιβόμενων Μελών.....	151
5.11.8	Αντοχή Μελών με Αξονική Δύναμη και Διαξονική Κάμψη	162
5.12	Σχεδιασμός των συνδέσεων	171
5.12.1	Γενικά.....	171
5.12.2	Διασταυρώσεις για Κοχλιωτές, Πριτσινιωτές και Συγκολλητές Συνδέσεις	172
5.12.3	Συνδέσεις που υπόκεινται σε κρούση, ταλάντωση ή σε αναστροφή φορτίου..	172
5.12.4	Κατάταξη Διατομών	173
5.12.5	Συνδέσεις κοχλιών, πριτσινίων ή πείρων.....	176
5.12.6	Συγκολλητές Συνδέσεις	186
6	ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 ΜΕΡΟΣ 1 - 4 ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ	
	195	
6.1	Γενικά.....	195
6.2	Δεδομένα για το υλικό	195
6.2.1	Λεξιλόγιο όρων επεξεργασίας του χάλυβα.....	199
6.2.2	Αντιστοίχιση των ανοξείδωτων χαλύβων προς τις ονομαστικές κατηγορίες αντοχής.....	200
6.3	Ονοματολογία των ανοξείδωτων χαλύβων.....	200
6.3.1	Βραχείες ονομασίες	200
6.3.2	Αριθμός υλικού (Werkstoff Nummer).....	201

6.3.3	Συσχετισμός μεταξύ των διαφόρων συμβολισμών των χαλύβων	202
6.4	Συσχετισμός εργοσκληρωμένων ανοξειδωτων χαλύβων με επίπεδα εργοσκληρυνσης	204
6.5	Ιδιότητες του Υλικού	205
6.5.1	Φυσικές ιδιότητες των ανοξειδωτων χαλύβων	205
6.5.2	Ιδιότητες του υλικού για ανοξειδωτο χάλυβα σε κατάσταση θερμικής επεξεργασίας.....	206
6.5.3	Ιδιότητες υλικού για ανοξειδωτο χάλυβα σε κατάσταση εργοσκληρυνσης	208
6.5.4	Συντελεστές υλικού	209
6.5.5	Ανθεκτικότητα σε ψαθυρή θραύση (δυσθραυστότητα).....	210
6.5.6	Ιδιότητες Αντοχής υπό Ειδικές συνθήκες.....	210
6.6	Μέσα Σύνδεσης.....	213
6.6.1	Κοχλίες.....	213
6.6.2	Προεντεταμένοι κοχλίες	214
6.6.3	Αναλώσιμα συγκολλήσεων.....	214
6.7	Ανθεκτικότητα και Προστασία σε Διάβρωση	215
6.7.1	Τύποι διάβρωσης	218
6.7.2	Επίπεδα κινδύνου.....	221
6.7.3	Επιλογή των υλικών.....	223
6.7.4	Σχεδιασμός για έλεγχο της διάβρωσης	226
6.8	Σχεδιασμός μελών από Ανοξειδωτο Χάλυβα σε Οριακές Καταστάσεις.....	230
6.8.1	Οριακή κατάσταση ανθεκτικότητας	230
6.8.2	Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας.....	230
6.8.3	Οριακές καταστάσεις αστοχίας.....	232
6.9	Σχεδιασμός των συνδέσεων	245
6.9.1	Γενικά.....	245
6.9.2	Κοχλιωτές συνδέσεις	246
6.9.3	Συγκολλητές συνδέσεις.....	248

6.10	Κόπωση.....	249
7	ΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΑΣ (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 9 ΜΕΡΟΣ 1-2).	250
7.1	Γενικά.....	250
7.2	Όροι και Ορισμοί	250
7.3	Συμβολισμοί.....	253
7.3.1	Δείκτες	254
7.4	Βασικές Αρχές Σχεδιασμού	255
7.4.1	Βασικές Απαιτήσεις	255
7.4.2	Δράσεις	256
7.4.3	Τιμές Σχεδιασμού για τις Ιδιότητες του Υλικού	256
7.4.4	Μέθοδοι Ελέγχου	257
7.4.5	Σύγκριση με Χάλυβα	260
7.5	Ιδιότητες του Υλικού	262
7.5.1	Μηχανικές Ιδιότητες των Κραμάτων Αλουμινίου.....	262
7.5.2	Σύγκριση με τις Μηχανικές Ιδιότητες του Συνήθους και του Ανοξειδωτου Χάλυβα 265	
7.5.3	Θερμικές Ιδιότητες των κραμάτων Αλουμινίου	275
7.5.4	Σύγκριση με τις Θερμικές Ιδιότητες του Συνήθους και Ανοξειδωτου Χάλυβα	277
7.5.5	Υλικά Πυροπροστασίας.....	283
7.6	Δομικός Σχεδιασμός σε Πυρκαγιά.....	284
7.6.1	Γενικά.....	284
7.6.2	Απλά Υπολογιστικά Προσομοιώματα (Μοντέλα).....	284
7.6.3	Γενικές Υπολογιστικές Μέθοδοι	312
8	ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	314
8.1	Σχεδιασμός δοκού έναντι πυρκαγιάς	315
8.1.1	Έλεγχος της δοκού σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας.....	317
8.1.2	Έλεγχος της δοκού σε συνθήκες φωτιάς. Μη μονωμένη δοκός.....	318

8.1.3	Έλεγχος της δοκού σε συνθήκες φωτιάς. Μονωμένη δοκός	322
8.1.4	Παρατηρήσεις	324
8.2	Σχεδιασμός εφελκύμενης ράβδου έναντι πυρκαγιάς με χρησιμοποίηση των παραμετρικών εξισώσεων θερμοκρασίας - χρόνου	328
8.2.1	Έλεγχος του αναρτήρα σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας.....	329
8.2.2	Έλεγχος αναρτήρα έναντι πυρκαγιάς. Μη μονωμένος αναρτήρας.....	330
8.2.3	Έλεγχος αναρτήρα έναντι πυρκαγιάς. Μονωμένος αναρτήρας.....	336
8.3	Σχεδιασμός θλιβόμενου στοιχείου έναντι πυρκαγιάς	342
8.3.1	Έλεγχος υποστυλώματος σε συνήθεις συνθήκες.....	344
8.3.2	Έλεγχος έναντι πυρκαγιάς	346
9	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ	348
9.1	Κατάλογος Διελασμένων Προφίλ.....	348
9.1.1	Tees (Διατομές Ταυ)	348
9.1.2	Equal Angles (Ίσα Γωνιακά)	349
9.1.3	Unequal Angles (Άνισα Γωνιακά).....	350
9.1.4	Channels.....	351
9.1.5	Unequal Leg Channels	352
9.1.6	Lipped Channels	352
9.1.7	Flat Bars (Επίπεδες Ράβδοι).....	353
9.1.8	Round Bars (Στρογγυλές Ράβδοι).....	354
9.1.9	Square Bars (Τετράγωνες Ράβδοι).....	354
9.1.10	Hexagonal Bars (Εξαγωνικές Ράβδοι).....	354
9.1.11	Round Tubes (Στρογγυλοί Σωλήνες).....	355
9.1.12	Square Tubes (Τετράγωνοι Σωλήνες).....	356
9.1.13	J Sections	356
9.1.14	Bevel Edged Bars.....	357
9.1.15	Half Round Bars (Ημικυκλικές Ράβδοι)	358

9.1.16 Double Feathered Edge.....	358
9.1.17 Single Feathered Edge	359
9.1.18 Z Sections.....	359
9.1.19 Top Hat Sections.....	360
9.1.20 H Sections	360

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η χρήση των κραμάτων αλουμινίου ως δομικού στοιχείου αποτελεί μία σχετικά νέα τάση στο πεδίο του πολιτικού μηχανικού. Τα κράματα αυτά έχουν ευρέως χρησιμοποιηθεί στην επιστήμη της αεροναυτικής, και μάλιστα με μεγάλη επιτυχία, από την εποχή των αεροσκαφών Zeppelin και Schwartz, μέχρι και σήμερα. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται πλέον και σε άλλους τομείς των μεταφορών, όπως οι βιομηχανίες σιδηροδρόμων, αυτοκινήτων και ναυπηγίας.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας θα αναπτυχθούν οι θεωρίες που αφορούν στην οριακή κατάσταση μελών από κράματα αλουμινίου. Επιπλέον, θα εξηγηθεί και θα σχολιασθεί το θεωρητικό και πειραματικό υπόβαθρο στο οποίο έχουν βασισθεί οι Ευρωπαϊκές Οδηγίες και οι περισσότεροι διεθνείς κανονισμοί.

Επιπροσθέτως, θα αναφερθούν ορισμένα κριτήρια σχεδιασμού προκειμένου να δοθεί έμφαση, πέρα από τις βασικές διαφορές σε σχέση με τις μεταλλικές κατασκευές, στα προβλήματα τα οποία ενδέχεται να προκύψουν αν τα κριτήρια αυτά αγνοηθούν.

1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

1.1 Γενική περιγραφή

1.1.1 Το στοιχείο του αλουμινίου

Το αλουμίνιο είναι ένα μεταλλικό στοιχείο το οποίο διεθνώς συμβολίζεται ως Al, έχει ατομικό αριθμό 13 και ατομικό βάρος 27. Ο πυρήνας του αλουμινίου περιέχει 13 πρωτόνια και 14 νετρόνια (συνολικά 81 quarks. Το αλουμίνιο είναι το τρίτο πιο κοινό στοιχείο στον φλοιό της γης, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Αποτελεί το 8% του γήινου φλοιού και είναι το μέταλλο που απαντάται σε μεγαλύτερη αφθονία.

1.1.2 Η ονομασία

Στη διεθνή βιβλιογραφία το αλουμίνιο απαντάται με δύο όρους, τον Αμερικάνικο όρο aluminum και τον Ευρωπαϊκό όρο aluminium. Το όνομα προτάθηκε από τον Sir Humphrey Davy γύρω στο 1807, ο οποίος βασίστηκε στην λατινική λέξη alumen. Η πρόταση του Davy ήταν η συντομότερη εκδοχή aluminum, ωστόσο όταν πλέον ξεκίνησε η εμπορική παραγωγή του αλουμινίου το 1850 το επιπλέον i είχε ήδη καθιερωθεί.

1.1.3 Το βιομηχανικό μέταλλο

Το αλουμίνιο αποτελεί σημαντικό βιομηχανικό μέταλλο μόλις από το 1886, οπότε και εφευρέθηκε η σύγχρονη διαδικασία εκκαμίνευσης. Κατά συνέπεια, υπήρξε διαθέσιμο για περιορισμένο χρονικό διάστημα σε σχέση με τα χιλιάδες χρόνια που χρησιμοποιούμε τον σίδηρο, το χαλκό ή το μπρούτζο. Σήμερα άνετα ηγείται των μη σιδηρούχων μετάλλων σε ευρεία χρήση. Προτιμάται αντί του χάλυβα σε εκείνους τους τομείς όπου οι ιδιότητές του (ελαφρύ & λαμπερό) το καθιστούν αντάξιο του κόστους του. Υπάρχουν αρκετές εφαρμογές όπου το αλουμίνιο έχει κατακτήσει τη θέση που δικαιωματικά του ανήκει και άλλες όπου βρίσκεται στη διαδικασία της καθιέρωσης.

1.1.4 Κράματα

Το καθαρό αλουμίνιο είναι «αδύναμο», με εφελκυστική αντοχή η οποία κυμαίνεται από 90 έως 140 N/mm² ανάλογα με τις συνθήκες. Δύναται να χρησιμοποιηθεί για ήδη οικιακής χρήσης ή ηλεκτρικούς αγωγούς, ωστόσο όταν πρόκειται για δομική χρήση

πρέπει να ενισχυθεί μέσω κραμάτων. Τα ισχυρότερα κράματα διαθέτουν εφελκυστική αντοχή της τάξεως των 500 N/mm².

Έχουν βρεθεί δέκα βασικά κράματα μέσω των οποίων παράγονται σφυρήλατα υλικά (ελάσματα, φύλλα και διατομές). Δυστυχώς, κάθε ένα από αυτά τα κράματα εμφανίζεται σε μία μεγάλη ποικιλία από διαφορετικές εκδοχές, καθιστώντας την επιλογή υλικού περισσότερο πολύπλοκη σε σχέση με το δομικό χάλυβα, ειδικά εφ' όσον θα πρέπει κανείς να εξοικειωθεί με το σύστημα αρίθμησης των κραμάτων.

Σε ορολογία μηχανικού ο όρος αλουμίνιο (aluminium ή aluminum) καλύπτει όλα τα υλικά με βάση το αλουμίνιο, και αναφέρεται τόσο στα κράματα όσο και στο καθαρό μέταλλο. Αν κανείς επιθυμεί να αναφερθεί αποκλειστικά στην πρώτη ύλη θα πρέπει να χρησιμοποιήσει τον όρο καθαρό αλουμίνιο (pure aluminium).

1.1.5 Καλούπια

Το αλουμίνιο είναι ιδιαίτερος κατάλληλο για καλούπωμα. Για περιπτώσεις μεγάλων μεγεθών -όπως καλούπια από άμμο-, το αλουμίνιο συχνά προτιμάται σαν εναλλακτική έναντι του χυτοσιδήρου. Για περιπτώσεις μικρότερων μεγεθών παρέχει μία ισχυρή εναλλακτική έναντι του ψευδαργύρου.

1.1.6 Οι κίνδυνοι για την Υγεία

Για πολλά χρόνια υπήρχε η πεποίθηση ότι το αλουμίνιο ήταν απόλυτα μη τοξικό και ανώτερο από τα περισσότερα μέταλλα ως προς αυτήν την άποψη. Στη δεκαετία του ογδόντα αυτή η εικόνα αντιστράφηκε όταν οι ερευνητές ισχυρίστηκαν ότι η παρατεταμένη χρήση τηγανιών από αλουμίνιο είναι δυνατόν να προκαλέσει την απορρόφηση θραυσμάτων του μετάλλου από τον ανθρώπινο εγκέφαλο, γεγονός που αυξάνει τον κίνδυνο νόσησης από Alzheimer.

Μεταγενέστερη έρευνα στον ίδιο τομέα οδήγησε σε σοβαρή αμφισβήτηση σε σχέση με αυτό το εύρημα και η σύγχρονη άποψη είναι ότι η παραπάνω θεωρία περί νόσου Alzheimer ήταν υπερεκτιμημένη και σε κάθε περίπτωση δεν υπάρχει λόγος ανησυχίας πέρα από την περίπτωση των μαγειρικών σκευών.

1.1.7 Ο κίνδυνος πυρκαϊάς

Τρία από τα Βρετανικά πολεμικά πλοία τα οποία βυθίσθηκαν στα Falklands το 1981 είχαν σκελετό από αλουμίνιο. Εκείνη την εποχή ο τύπος δήλωνε πως το αλουμίνιο κάηκε στις σοβαρές πυρκαγιές που προηγήθηκαν των ναυαγίων. Το τελευταίο ήταν εντελώς αναληθές, οι κατασκευές από αλουμίνιο έχασαν την αντοχή τους και παραμορφώθηκαν αλλά δεν κάηκαν. Οι διατομές από αλουμίνιο, τα ελάσματα, τα φύλλα, το αλουμινόχαρτο και το σύρμα από αλουμίνιο δεν καίγονται. Μόνο υπό τη μορφή σκόνης ή νιφάδων είναι δυνατόν να καεί το μέταλλο.

1.2 Φυσικές Ιδιότητες

1.2.1 Βάρος

Η πυκνότητα του καθαρού αλουμινίου σχετίζεται με αυτήν του χάλυβα ως εξής:

Καθαρό Αλουμίνιο	$\rho_{al} = 2.70 \text{ g/cm}^3$
Δομικός Χάλυβας	$\rho_{st} = 7.90 \text{ g/cm}^3$

Η αντίστοιχη τιμή για την περίπτωση κραμάτων τα οποία χρησιμοποιούνται για σφυρήλατα υλικά κυμαίνεται μεταξύ 2.67 και 2.80g/cm³. Η στρογγυλοποιημένη τιμή των 2.70g/cm³ χρησιμοποιείται συνήθως οδηγώντας στο σχηματισμό των ακόλουθων σχέσεων:

	Μάζα	Βάρος
Διατομές	0.0027 A kg/m	0.027A N/m
Ελάσματα, Φύλλα	2.7 kg/m ²	27t N/m ²

όπου A είναι το εμβαδόν της διατομής σε mm² και t το πάχος του ελάσματος σε (mm).

Στον πίνακα που ακολουθεί συγκρίνεται το αλουμίνιο με άλλα μέταλλα:

Στοιχείο	Συμβολισμός	Πυκνότητα (g/cm ³)	Αναλογία προς την πυκνότητα του Αλουμινίου
Λίθιο	Li	0.53	0.20
Μαγνήσιο	Mg	1.74	0.64
Αλουμίνιο	Al	2.70	1.00
Τιτάνιο	Ti	4.51	1.67
Ψευδάργυρος	Zn	7.13	2.64
Κασσίτερος	Sn	7.28	2.70
Σίδηρος	Fe	7.87	2.92
Χαλκός	Cu	8.93	3.31
Ασήμι	Ag	10.50	3.89
Μόλυβδος	Pb	11.134	4.20
Χρυσός	Au	19.28	7.15
Όσμιο	Os	22.58	8.37

1.2.2 Ελαστικές Σταθερές

Το αλουμίνιο είναι ένα ελαστικό μέταλλο με σχετικά μικρό μέτρο ελαστικότητας (E). Για το καθαρό μέταλλο σε θερμοκρασίες δωματίου συγκρίνεται με το χάλυβα ως εξής:

Καθαρό Αλουμίνιο	$E = 69 \text{ kN/mm}^2$
Δομικός Χάλυβας	$E = 205 \text{ kN/mm}^2$

ενώ η αντίστοιχη τιμή του μέτρου ελαστικότητας για κράματα αλουμινίου κυμαίνεται από 69 έως 72 kN/mm². Για σχεδιαστικούς λόγους ο Βρετανικός Κανονισμός BS.8118 υιοθετεί την τιμή $E = 70 \text{ kN/mm}^2$, η οποία είναι ανάλογη με εκείνη του γυαλιού. Το μέτρο ελαστικότητας του αλουμινίου μειώνεται σταδιακά με την αύξηση της θερμοκρασίας, παίρνοντας την τιμή των 67 kN/mm² στους 100° C και των 59 kN/mm² στους 200° C.

Ο λόγος του Poisson (ν) είναι υψηλότερος από την τιμή 0.30 η οποία έχει καθιερωθεί στην περίπτωση του χάλυβα και θα πρέπει να λαμβάνεται ίση με 0.33, σύμφωνα με την εργασία των Baker και Roderick (Cambridge, 1948).

Η αντίστοιχη τιμή για το μέτρο διατμήσεως (G), για τις προαναφερθείσες τιμές των E , είναι:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)} \approx 26\text{kN/mm}^2 \quad (1.1)$$

1.2.3 Θερμική διαστολή

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής α , για το καθαρό αλουμίνιο σε θερμοκρασία δωματίου σχετίζεται με τα αντίστοιχα μεγέθη του χάλυβα ως εξής:

Καθαρό Αλουμίνιο	$\alpha = 23.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
Δομικός Χάλυβας	$\alpha = 12.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

ενώ η αντίστοιχη τιμή στην περίπτωση κραμάτων αλουμινίου μεταβάλλεται στο διάστημα $22 - 24.5 \times 10^{-6}$. Ο Βρετανικός Κανονισμός BS.8118 υιοθετεί την στρογγυλοποιημένη τιμή των $23 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ για σχεδιαστικούς σκοπούς. Σημειώνεται σε αυτό το σημείο ότι ο συντελεστής α , μεταβάλλεται ανάλογα με την θερμοκρασία, φθάνοντας την τιμή των $26 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ στους 200°C

1.2.4 Σημείο τήξης

Η τιμή του σημείου τήξης είναι 600°C για καθαρό αλουμίνιο, ενώ για το χάλυβα ανέρχεται στους 1500°C , ενώ οι αντίστοιχες τιμές για τα κράματα είναι σχετικά μειωμένες. Το σημείο βρασμού είναι 1800°C .

1.2.5 Θερμικές Σταθερές

Το αλουμίνιο είναι ένα αξιόπιστο υλικό όταν πρόκειται για χρήση σε εναλλάκτες θερμότητας αντί του χαλκού, καθώς η θερμική αγωγιμότητα του καθαρού μετάλλου είναι 240°C , τετραπλάσια δηλαδή σε σχέση με εκείνη του χάλυβα. Ωστόσο, η θερμική του αγωγιμότητα μειώνεται δραστικά κατά την παραγωγή κραμάτων, ακόμη και στο 50% για ορισμένα κράματα. Η συνήθης θερμοκρασία του αλουμινίου σε θερμοκρασία δωματίου είναι $22 \text{ cal/g}^\circ\text{C}$ (περίπου διπλάσια από του χάλυβα)

1.2.6 Ηλεκτρική Αγωγιμότητα

Το καθαρό αλουμίνιο συναγωνίζεται τον χαλκό σε μερικές ηλεκτρικές συσκευές και είναι το βασικό υλικό στους αγωγούς των εναέριων γραμμών μετάδοσης. Η αντίσταση του καθαρού αλουμινίου είναι $2.7\mu\Omega$ cm σε θερμοκρασία δωματίου. Και πάλι στην περίπτωση των κραμάτων η τιμή αυτή είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη, έτσι για ορισμένα κράματα είναι διπλάσια από την προαναφερθείσα τιμή.

1.3 Σύγκριση με το Χάλυβα

Το αλουμίνιο σε μορφή κράματος είναι ένα ισχυρό και όλκιμο μέταλλο και παρουσιάζει αρκετή ομοιότητα με το δομικό χάλυβα. Οι μηχανικές του ιδιότητες έχουν την τάση να είναι κατώτερες εκείνων του χάλυβα, καθώς τα ισχυρότερα κράματα είναι μεν συγκρίσιμα σε αντοχή, υστερούν ωστόσο σε όλκιμότητα. Αντίθετα από το χάλυβα, το αλουμίνιο δεν είναι μαγνήτης.

1.3.1 Πλεονεκτήματα του αλουμινίου

Ελαφρότητα

Το αλουμίνιο είναι ελαφρύτερο από το χάλυβα (σχεδόν ίσο με το ένα τρίτο του βάρους του χάλυβα)

Αντίσταση στην σκουριά

Το αλουμίνιο δεν σκουριάζει και μπορεί να χρησιμοποιηθεί δίχως βάψιμο. Ωστόσο, τα ισχυρότερα κράματα διαβρώνονται σε ορισμένα «εχθρικά» περιβάλλοντα και ενδέχεται να χρίζουν προστασίας.

Η διαδικασία της διέλασης

Η τεχνική αυτή, η οποία είναι η τυπική μέθοδος κατασκευής διατομών από αλουμίνιο, είναι περισσότερο εύχρηστη από της τεχνικές εξέλασης οι οποίες χρησιμοποιούνται στην παραγωγή του χάλυβα.

Ηλεκτροσυγκόλληση

Τα περισσότερα κράματα μπορούν να συγκολληθούν με την ίδια ευκολία με την οποία συγκολλάται και ο χάλυβας, χρησιμοποιώντας διαδικασίες με προστασία έναντι αερίων (gas – shielded processes). Οι ταχύτητες συγκόλλησης είναι μεγαλύτερες.

Εργασιμότητα

Η άλεση είναι μία οικονομική μέθοδος παρασκευής αλουμινίου λόγω του ότι μεγάλοι ρυθμοί απομάκρυνσης μετάλλων είναι εφικτοί.

Συγκολλησιμότητα

Η χρήση συγκολλήσεων έχει εδραιωθεί ως αξιόπιστη μέθοδος για την κατασκευή συνδέσεων από αλουμίνιο.

Απόδοση σε χαμηλές Θερμοκρασίες

Το αλουμίνιο είναι απολύτως κατάλληλο για κρυογενείς εφαρμογές, διότι δεν υπόκειται σε ψαθυρή θραύση σε χαμηλές θερμοκρασίες όπως ο χάλυβας. Οι μηχανικές του ιδιότητες βελτιώνονται σταθερά με τη μείωση της θερμοκρασίας.

1.3.2 Μειονεκτήματα του αλουμινίου

Κόστος

Το κόστος του αλουμινίου (υπό μορφή διατομών, ελάσματος ή φύλλου) ισούται κατά κανόνα 1.5 φορά το κόστος χάλυβα ίσου όγκου. Παρά ταύτα, το κόστος κατασκευής είναι μειωμένο λόγω του ευκολότερου χειρισμού, της χρήσης ευφυών μεθόδων εξόλκευσης, της μεγαλύτερης εργασιμότητας, του γεγονότος ότι δε χρειάζεται βαφή και της απλούστερης ανέγερσης. Κατά συνέπεια, σε όρους συνολικού κόστους η επιλογή του αλουμινίου ως δομικού υλικού είναι τελικά πολύ φθηνότερη από ότι κανείς φαντάζεται.

Σημαντικός παράγοντας είναι και η μεγάλη αξία που έχει το αλουμίνιο ως πρώτη ύλη, ειδικά όταν πρόκειται για την επιλογή υλικού κατασκευής με μειωμένη διάρκεια ζωής. Ωστόσο, η μεγάλη αξία πρώτης ύλης δεν είναι πάντα θετική αν αναλογιστεί κανείς τον κίνδυνο από επιτήδειους που αφαιρούν τμήματα της μεταλλικής κατασκευής προκειμένου να τα πουλήσουν ως πρώτη ύλη.

Λυγισμός

Λόγω του χαμηλού μέτρου ελαστικότητας, το φορτίο αστοχίας σε λυγισμό μέλους από αλουμίνιο είναι χαμηλότερο από εκείνο χαλύβδινου μέλους ίδιας λεπτότητας.

Επίδραση της Θερμοκρασίας

Το αλουμίνιο χάνει την αντοχή του πιο γρήγορα από το χάλυβα με την άνοδο της θερμοκρασίας. Μερικά κράματα ξεκινούν να χάνουν την αντοχή τους για θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 100°C.

Μείωση Αντοχής στην περιοχή των Ηλεκτροσυγκολλήσεων

Υπάρχει η τάση έντονης μείωσης της αντοχής τοπικά στην περιοχή που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία (heat affected zone – HAZ) σε ηλεκτροσυγκολλημένες συνδέσεις σε μερικά κράματα.

Κόπωση

Η αστοχία λόγω κοπώσεως είναι πιο συνήθης στα στοιχεία από αλουμίνιο από ότι στα στοιχεία από χάλυβα.

Θερμική Διαστολή

Το αλουμίνιο διαστέλλεται και συστέλλεται με τη θερμοκρασία δύο φορές περισσότερο σε σχέση με το χάλυβα. Ωστόσο, λόγω του χαμηλότερου μέτρου ελαστικότητας, οι τάσεις λόγω θερμοκρασίας σε δεσμευμένα μέλη είναι μόλις τα δύο τρίτα των αντιστοίχων τάσεων σε χαλύβδινα μέλη.

Ηλεκτρολυτική διάβρωση

Στις περιοχές των συνδέσεων με άλλους τύπους μετάλλων είναι δυνατόν να εμφανισθεί έντονη διάβρωση, η οποία αποφεύγεται εφ' όσον ληφθούν οι απαραίτητες προϋποθέσεις. Η διάβρωση εμφανίζεται ακόμη και στην περίπτωση κραμάτων τα οποία είναι κατά τα άλλα μεγάλης αντοχής.

Παραμορφώσεις

Λόγω και πάλι του μικρότερου μέτρου ελαστικότητας, η ελαστική παραμόρφωση αποτελεί σημαντικότερο παράγοντα στον σχεδιασμό στην περίπτωση του αλουμινίου σε σύγκριση με την περίπτωση του χάλυβα.

1.4 Ιστορική Αναδρομή

Τα κάτωθι είναι μία περίληψη του πως από το 1845 έως το 1945, το αλουμίνιο έγινε το δεύτερο σημαντικότερο βιομηχανικό μέταλλο.

1.4.1 Το στάδιο του πολύτιμου μετάλλου

Το 1825 ο Δανός επιστήμονας Hans Oersted πέτυχε να απομονώσει στοιχειώδη σωματίδια του μετάλλου του αλουμινίου. Πειρασμένος πως το μέταλλο ήδη υπήρχε έχασε το ενδιαφέρον του και στράφηκε στη μελέτη του ηλεκτρομαγνητισμού. Δύο χρόνια αργότερα ο Friedrich Wöhler, καθηγητής χημείας στο Πανεπιστήμιο Göttingen της Γερμανίας, ξεκίνησε να αναπαράγει τα πειράματα του Oersted. Επέμεινε για είκοσι χρόνια και τελικά παρήγαγε τους πρώτους σβώλους αλουμινίου, οι οποίοι στάθηκαν ικανοί για να αναδείξουν τις ιδιαίτερες ιδιότητες του μετάλλου, ειδικότερα την ελαφρότητα και την λαμπρότητα.

Το βήμα από το πεδίο της επιστήμης στην εμπορική παραγωγή έγινε το 1850 από το Γάλλο χημικό Henry Ste – Claire Deville, καθηγητή στο Πανεπιστήμιο της Σορβόνης του Παρισιού. Όντας γνώστης της δουλειάς του Wöhler προκάλεσε το ενδιαφέρον του Ναπολέοντος του τρίτου, ο οποίος τον χρηματοδότησε προκειμένου να το αναπτύξει εμπορικά. Η διαδικασία του Wöhler για την παραγωγή αλουμινίου βασιζόταν στο ποτάσα το υψηλό κόστος του οποίου έκανε απαγορευτική την εμπορική αξιοποίηση του αλουμινίου. Ο Ste – Claire Deville πέτυχε να αναπτύξει μία οικονομική μέθοδο για την παραγωγή σόδας την οποία χρησιμοποίησε αντί της ποτάσας. Μπόρεσε κατ' αυτόν τον τρόπο να παράγει αλουμίνιο το οποίο αν και σχετικά ακριβό θα μπορούσε να αποτελέσει πρακτικό μέταλλο για ορισμένες κατασκευές.

Στα επόμενα τριάντα χρόνια αρκετές χώρες, μεταξύ των οποίων και η Βρετανία, εκμεταλλεύθηκαν τη διαδικασία του Deville προκειμένου να παράγουν το αλουμίνιο το οποίο σε εκείνο το στάδιο ήταν ένα ακριβό μέταλλο «πολυτελείας».

1.4.2 Η μεγάλη εξέλιξη

Το 1886 οι Charles M. Hall και Paul Heroult, ετών 22, ανεξάρτητα εφηύραν την ίδια ηλεκτρολυτική διαδικασία για την εκκαμίνευση του αλουμινίου. Η ηλεκτρόλυση είχε δοκιμασθεί και παλαιότερα από τον Humphry Davy και τον Robert Bunsen δίχως

επιτυχία. Οι μέθοδος των Hall και Heroult χρησιμοποιούσε την αλουμίνα σαν πρώτη ύλη και λειωμένο κρυολίτη ως ηλεκτρολύτη, με παράλληλη χρήση ηλεκτρισμού. Ένα ακόμη βασικό βήμα, δύο χρόνια αργότερα, ήταν η ανάπτυξη από τον Γερμανό Karl Bayer, μίας οικονομικής διαδικασίας για την παραλαβή αλουμινας από το μέταλλευμα του βωξίτη. Η διαδικασία Hall – Heroult μαζί με την αλουμίνα που παραγόταν μέσω της διαδικασίας Bayer υποδεκαπλασίασαν την τιμή του αλουμινίου και το μετέτρεψαν σε βιομηχανικό μέταλλο ευρείας παραγωγής. Οι προαναφερθείσες διαδικασίες είναι αυτές που χρησιμοποιούνται ακόμη.

1.4.3 Οι Πρώτες Εφαρμογές

Στα χρόνια που ακολούθησαν το έτος 1886, το νέο διαθέσιμο μέταλλο δοκιμάστηκε για μία πληθώρα χρήσεων, μερικές από τις οποίες ήταν επιτυχημένες ενώ άλλες όχι και τόσο. Ένα διάσημο παράδειγμα από εκείνη την εποχή είναι το άγαλμα του Έρωτα στο τσίρκο του Piccadilly στο Λονδίνο (1893). Ένα δεύτερο παράδειγμα είναι η οροφή του θόλου του ναού San Gioacchino στη Ρώμη. (1897).

Υπήρξαν αρκετές προσπάθειες για την ανάπτυξη του αλουμινίου ως δομικού υλικού, μερικές από τις οποίες αρχικά εγκαταλείφθηκαν και τελικά ήρθαν και πάλι στην επιφάνεια πενήντα χρόνια αργότερα. Το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε ως επένδυση βαγονιών σιδηροδρόμων. Το 1986 χρησιμοποιήθηκε ως θωράκιση τορπιλοβόλου. Ορισμένα από τα πρώτα αυτοκίνητα είχαν αλουμίνιο στο αμάξωμά τους. Ακόμη, υπάρχει μία αναφορά για ένα προκατασκευασμένο φορητό σπίτι από αλουμίνιο το οποίο εφευρέθηκε από τον Howes στο Σιάτλ (1897), το οποίο ζύγιζε μόλις 70kg και προοριζόταν για χρήση από τους χρυσοθήρες του Klondyke (1897). Δυστυχώς, λίγα είναι γνωστά για την απόδοση των πρώτων αυτών προσπαθειών, πέρα από εκείνη του τορπιλοβόλου το οποίο τελικά διαβρώθηκε καθώς χρησιμοποιήθηκε ακατάλληλο κράμα (6% σε περιεκτικότητα χαλκού).

1.4.4 Η καθιέρωση των κραμάτων

Προκειμένου το αλουμίνιο να μπορεί να χρησιμοποιείται ως δομικό υλικό, ήταν απαραίτητο να αναπτυχθούν κατάλληλα κράματα, καθώς το καθαρό μέταλλο ήταν μάλλον χαμηλής αντοχής. Ο πρωτοπόρος της κατασκευής κραμάτων ήταν ο Γερμανός μεταλλουργός Alfred Wilm, ο οποίος ανακάλυψε την χρόνια σκλήρυνση (age hardening),

το φαινόμενο δηλαδή σύμφωνα με το οποίο μερικά κράματα αλουμινίου αν και ακόμη χαμηλών αντοχών μετά από θερμική κατεργασία, σταδιακά σκληρύνονται αφού αφεθούν για αρκετές ημέρες σε θερμοκρασία δωματίου. Η πρώτη επίδειξη αυτής της συμπεριφοράς έγινε το 1903 με ένα κράμα το οποίο περιείχε Χαλκό σε ποσοστό 4%. Περισσότερα πειράματα οδήγησαν σε ισχυρότερα κράματα και τελικά το 1909 παρήγαγε ένα κράμα το οποίο παρουσίαζε ιδιότητες αντίστοιχες με αυτές του μέτριου χάλυβα, μία σύνθεση Al-CuMgMn την οποία βάπτισε duralumin. Ήταν ο πρόγονος αυτού που τώρα ονομάζουμε 2xxx σειρά κραμάτων.

Μόλις το 1920 βρέθηκε επιστημονική εξήγηση για το φαινόμενο του age hardening, λίγο μετά την δημιουργία ενός δεύτερου κράματος, του τύπου Al-MgSi, που επίσης παρουσίαζε φαινόμενο αυτό. Αυτή η ομάδα κραμάτων, η οποία σήμερα ονομάζεται 6xxx σειρά, έχει εφελκυστική αντοχή περί τα 300 N/mm² και είναι άρα χαμηλότερης αντοχής από την 2xxx σειρά. Ωστόσο, παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά τα οποία οδήγησαν στην καθιέρωση της σειράς 6xxx ως το «μέτριο χάλυβα» (mild steel) του αλουμινίου.

Τα κράματα που εμφανίσθηκαν στη συνέχεια ήταν του τύπου Al-Mg, τα οποία σήμερα είναι γνωστά ως 5xxx σειρά. Πρόκειται για μη θερμικά κατεργασμένα κράματα τα οποία σκληραίνονται μέσω της διαδικασίας της εξέλασης. Τα κράματα αυτά αναπτύχθηκαν στη Βρετανία στα τέλη της δεκαετίας του 1920 και βγήκαν στην αγορά με την ονομασία Birmabright. Το χαρακτηριστικό τους είναι η πολύ καλή αντίσταση στη διάβρωση για αυτό και κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1930 χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή πλοίων.

Η δεκαετία του 1930 ήταν εκείνη στην οποία έκαναν την εμφάνισή τους οι δύο ισχυρότεροι τύποι κραμάτων. Πρόκειται για θερμικά κατεργαζόμενα υλικά τα οποία ανταποκρίνονται στη διαδικασία της τεχνητής ωρίμανσης (artificial ageing) σε υψηλές θερμοκρασίες. Ο πρώτος εκ των δύο τύπων, άλλο ένα κράμα σειράς 2xxx, ήταν μία εξέλιξη του duralumin και ονομάστηκε superdural. Αποκτά εφελκυστική αντοχή μεγαλύτερη από 450 N/mm² όταν έχει πλήρως κατεργασθεί θερμικά και διαθέτει υψηλό όριο ελαστικότητας. Ο δεύτερος τύπος, ο οποίος εμφανίσθηκε το 1936, ήταν ακόμη ισχυρότερος. Πρόκειται για ένα νέο κράμα τύπου Al-Zn Mg, το πρώτο από τη σημερινή σειρά κραμάτων 7xxx, το οποίο διαθέτει εφελκυστική αντοχή της τάξεως των 500 N/mm² και εξακολουθεί να είναι ο ισχυρότερη μορφή αλουμινίου που χρησιμοποιείται ευρέως.

Μέχρι το 1939 είχαν δημιουργηθεί όλοι οι τύποι κραμάτων που χρησιμοποιούνται μέχρι σήμερα εκτός του συγκολλητού τύπου της σειράς 7xxx, ο οποίος αναπτύχθηκε τη μεταπολεμική περίοδο.

1.4.5 Η πρώτη μεγάλη αγορά

Η χρήση η οποία καθιέρωσε το αλουμίνιο ως δομικό υλικό ήταν η χρήση του στην αεροναυτική, αρχικά στα αερόπλοια και εν συνεχεία και στα αεροπλάνα.

Ο πρωτοπόρος των αερόπλοιων ήταν ο Γερμανός στρατηγός Count Ferdinand von Zeppelin, ο οποίος μπορεί να θεωρηθεί ως ο πατέρας του δομικού αλουμινίου. Το πρώτο zeppelin το οποίο έκανε το παρθενικό του ταξίδι πάνω από τη λίμνη Constance της Γερμανίας το 1900, ήταν 130 m σε μήκος ενώ η διάμετρος του ήταν 11.5 m. Ο σκελετός κατασκευάστηκε από μικρά τμήματα αποτελούμενα από λωρίδες. Στο LZ1 οι λωρίδες αυτές ήταν από καθαρό αλουμίνιο, ωστόσο στα μεταγενέστερα σχέδια ο Zeppelin κατόρθωσε να ελαφρύνει την κατασκευή χρησιμοποιώντας το duralumin του Wilm. Τα αερόπλοια με σκελετό από αλουμίνιο χρησιμοποιούνταν μέχρι και το 1937 οπότε και εγκαταλήφθησαν μετά από κάποιες θεαματικές καταστροφές-το υδρογόνο ήταν πολύ επικίνδυνο.

Το μεγάλο βήμα μπροστά για το αλουμίνιο ήταν η χρήση του στα στρατιωτικά αεροπλάνα στο δεύτερο Παγκόσμιο Πόλεμο. Κατά τη διάρκεια των δεκαετιών 1920 και 1930 η κατασκευή αεροπλάνων είχε προοδεύσει από την παλαιά μορφή της στην πλήρως μεταλλική. Μέχρι το 1939 εκλεπτυσμένα σχέδια είχαν τελειοποιηθεί κάνοντας χρήση των ισχυρότερων κραμάτων και ανεπτυγμένη δομική ανάλυση.

1.5 Το Αλουμίνιο από το 1945

1.5.1 Η ανάπτυξη στην παραγωγή

Η ετήσια παραγωγή αλουμινίου το 1943, την περίοδο της αιχμής του λόγω του πολέμου ήταν περίπου δύο εκατομμύρια τόνοι (τέσσερις φορές όσο το 1933). Το 1945 η αγορά στέρεψε και η βιομηχανία του αλουμινίου έπρεπε σύντομα να ανακαλύψει νέες διεξόδους. Τούτο δεν στάθηκε σημαντικό πρόβλημα καθώς το αλουμίνιο μπορούσε να χρησιμεύσει ως αντικαταστάτης των συμβατικών υλικών τα οποία τότε δεν ήταν διαθέσιμα, ενώ παράλληλα είχε γίνει πολύ φθηνότερο από ότι πριν τον πόλεμο. Το

αλουμίνιο απέκτησε θέση σε αρκετές νέες αγορές. Κάποιες από αυτές ήταν προσωρινές και εξαφανίσθηκαν όταν ο χάλυβας ήταν και πάλι διαθέσιμος σε αφθονία, αλλά οι περισσότερες παρέμειναν και γρήγορα αναπτύχθηκαν. Σε κάποιο στάδιο η ετήσια παραγωγή του αλουμινίου διπλασιαζόταν κάθε επτά χρόνια. Η σημερινή παραγωγή είναι δεκαπλάσια από εκείνη του 1943, περίπου είκοσι εκατομμύρια τόνοι ανά έτος εκ των οποίων το ένα τέταρτο αντιστοιχία στις συσκευασίες. Η κατανάλωση του χάλυβα είναι δώδεκα φορές μεγαλύτερη.

Η αεροπλοΐα εξακολουθεί να παρέχει μία σημαντική αγορά αλλά ένα πολύ μεγαλύτερο κομμάτι αντιστοιχεί σε άλλες χρήσεις. Ακολούθως, παρουσιάζεται η εξέλιξη του αλουμινίου ως δομικού μετάλλου.

1.5.2 Νέα Τεχνολογία

Το βασικό κομμάτι της τεχνολογίας του αλουμινίου είχε σχηματισθεί μέχρι το 1939 . Τα ακόλουθα αποτελούν μεταπολεμικές εξελίξεις στον δομικό τομέα.

Χρήση Κραμάτων

Πριν τον πόλεμο τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα κράματα ήταν της σειράς 2xxx (duralumin, superdural). Από το 1945 οι σειρές 5xxx και 6xxx χρησιμοποιούνται ευρύτατα ενώ η σειρά 2xxx περιορίστηκε κυρίως στα αεροσκάφη. Μία άλλη εξέλιξη ήταν η εισαγωγή της συγκολλητής σειράς 7xxx.

Μεγάλα Πριτσίνια

Εκατομμύρια πριτσινίων μικρού μεγέθους χρησιμοποιούνταν στα αεροσκάφη. Μετά το 1945 πριτσίνια μεγάλου μεγέθους αναπτύχθηκαν προς χρήση στο πεδίο του πολιτικού μηχανικού. Έπειτα από κάποιες δεκαετίες χρήσης τα πριτσίνια έδωσαν τη θέση τους στις συγκολλήσεις.

Ηλεκτροσυγκολλήσεις

Η σημαντικότερη δομική εξέλιξη ήταν στις συγκολλήσεις. Πριν τον πόλεμο η μόνη διαθέσιμη τεχνική συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο ήταν η συνήθης συγκόλληση με ράβδο και ηλεκτρόδια επενδυμένα με συλλίπασμα. Αυτή δεν ήταν αποδεκτή για το αλουμίνιο καθώς τα απαραίτητα συλλιπάσματα ήταν έντονα διαβρωτικά και τα χαρακτηριστικά του τόξου καθιστούσαν δύσκολη την επίτευξη μίας ομαλής απόθεσης. Η

λύση βρισκόταν σε διαδικασίες που κάνουν χρήση αδρανών αερίων (αργό ή ήλιο) προκειμένου να προστατευθεί το τόξο. Η πρώτη διαδικασία που εμφανίσθηκε ήταν η TIG η οποία κάνει χρήση ηλεκτροδίου από βολφράμιο και ξεχωριστού καλωδίου με πλήρωση. Στη συνέχεια εμφανίσθηκε η ημι-αυτόματη διαδικασία MIG, η οποία χρησιμοποιούσε ηλεκτρόδιο καλωδίου συνεχούς πλήρωσης (το οποίο μετέπειτα χρησιμοποιήθηκε στην διαδικασία με CO₂ στο χάλυβα). Και οι δύο προαναφερθείσες διαδικασίες αναπτύχθηκαν στις ΗΠΑ γύρω στο 1950. Από τότε αυτές οι διαδικασίες έγιναν συνήθης πρακτική στις κατασκευές από αλουμίνιο, εκτός των συνδέσεων στα πολύ ισχυρά κράματα για τα οποία η ηλεκτροσυγκόλληση δεν είναι αποδοτική.

Διελασμένες Διατομές

Η εξέλαση του αλουμινίου ήταν ήδη μία βιώσιμη λειτουργία μέχρι το 1939. Από το 1945 υπήρξε σημαντική αύξηση στην χρήση των διατομών που έχουν παραχθεί μέσω αυτής της μεθόδου, κυρίως όσον αφορά στα κράματα της σειράς 6xxx. Οι διατομές έχουν λεπτοδουλεμένο και εφευρετικό σχήμα με έμφαση στα προφίλ τα οποία είναι πολύ λεπτά σε σχέση με το ολικό τους μέγεθος. Οι κοίλες διατομές έχουν γίνει πιο δημοφιλείς, ενώ η διαφορά στο κόστος μεταξύ αυτών και των μη κοίλων διατομών έχει σχεδόν μηδενισθεί. Μία σημαντική εξέλιξη ήταν η ολοένα αυξανόμενη χρήση μεγάλων πρεσών με πλάτη διατομών μέχρι και 0.8m.

Συγκολλήσεις

Υπάρχει ποικιλία δυνατών συγκολλήσεων οι οποίες είναι ιδιαίτερες κατάλληλες για τη δημιουργία συγκολλημένων δομικών ενώσεων από αλουμίνιο. Σε μερικές εφαρμογές αυτή είναι η προτιμώμενη εναλλακτική έναντι της ηλεκτροσυγκόλλησης και η χρήση της αναμένεται να διαδοθεί περαιτέρω.

Άλεση

Μία άλλη εξέλιξη ήταν η εγκατάσταση ογκωδών μηχανών άλεσης οι οποίες κατέστησαν δυνατή την παραγωγή τεραστίων πάνελ από την επεξεργασία στερεών κομματιών. Η ανάπτυξη αυτή ενδιαφέρει κυρίως στο πεδίο της αεροναυτικής.

1.5.3 Το Αλουμίνιο στο πεδίο του Πολιτικού Μηχανικού

Η ευρεία χρήση του αλουμινίου ως δομικού υλικού ξεκίνησε στις ΗΠΑ το 1931 όταν χρησιμοποιήθηκε στο 46 m ζευκτό ενός γερανού, στις εργασίες για τις επιχωματώσεις του ποταμού Mississippi. Περισσότερο γνωστή είναι η ανακατασκευή της γέφυρας Smithfield Street στο Pittsburg των ΗΠΑ, μήκους 220 m, της οποίας το κατάστρωμα επενδύθηκε με αλουμίνιο (1934). Άλλη μία από τις πρώτες εφαρμογές ήταν η σιδηροδρομική γέφυρα του ποταμού Grasse στη Νέα Υόρκη, όπου ένα από τα ανοίγματα 26 m κατασκευάστηκε από αλουμίνιο αντί για χάλυβα, σαν πείραμα (1938). Σε όλες αυτές οι πρώτες κατασκευές χρησιμοποιήθηκε φυσικά ωριμασμένο κράμα αλουμινίου της σειράς 2xxx (duralumin), το οποίο θα κρινόταν ακατάλληλο για τα σύγχρονα δεδομένα. Το κατάστρωμα της γέφυρας Smithfield Street άντεξε για 40 έτη, παρά την επιλογή του συγκεκριμένου κράματος και εν συνεχεία, αντικαταστάθηκε από διαφορετικό κράμα αλουμινίου (της σειράς 6xxx).

Αμέσως μετά τον πόλεμο, υπήρχε έλλειψη χάλυβα και καθώς μία από τις διαθέσιμες εναλλακτικές ήταν το αλουμίνιο, το τελευταίο τελικά εξειδικεύτηκε για διάφορους τύπους κατασκευών, όπως οροφές εργοστασίων και γερανούς, παρά το επιπλέον κόστος. Αρκετά μεγάλο κομμάτι της αγοράς αυτής σύντομα εξαφανίστηκε αν και το αλουμίνιο εξακολούθησε να χρησιμοποιείται σε οροφές μεγάλων ανοιγμάτων. Σήμερα εμφανίζεται ακόμη σε αντίστοιχες περιπτώσεις οροφών.

Στις γέφυρες το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε κατά κόρον κυρίως σε αυτές που κατασκευάστηκαν για στρατιωτικούς σκοπούς και οι οποίες επιβάλλεται να ανεγείρονται και να είναι έτοιμες προς χρήση σε πολύ σύντομο χρονικό διάστημα. Το αλουμίνιο εμφανίζεται ωστόσο και σε κοινές γέφυρες σε απόμακρες τοποθεσίες, όπου μένουν άβαφες. Υπάρχει η υποθετική περίπτωση χρήσης αλουμινίου για γέφυρες μεγάλων ανοιγμάτων, όπου το ίδιο βάρος είναι ένα σημαντικός παράγοντας, ωστόσο δεν έχει γίνει ακόμα κάποιο βήμα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Μία πιο πρόσφατη εξέλιξη στο πεδίο των κατασκευών είναι η χρήση σε παραθαλάσσιες κατασκευές, όπου το αλουμίνιο κερδίζει έδαφος ως αξιόπιστο υλικό για την περίπτωση μονάδων οι οποίες εδράζονται σε σταθερές πλατφόρμες, όπου το κόστος εγκατάστασης εξαρτάται άμεσα από το βάρος. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων περιπτώσεων είναι οι πλατφόρμες ελικοπτέρων και οι πλωτές μονάδες διαμονής. Οι τελευταίες είναι πενταόροφα κτίσματα από αλουμίνιο που χρησιμοποιούνται ως ξενοδοχεία.

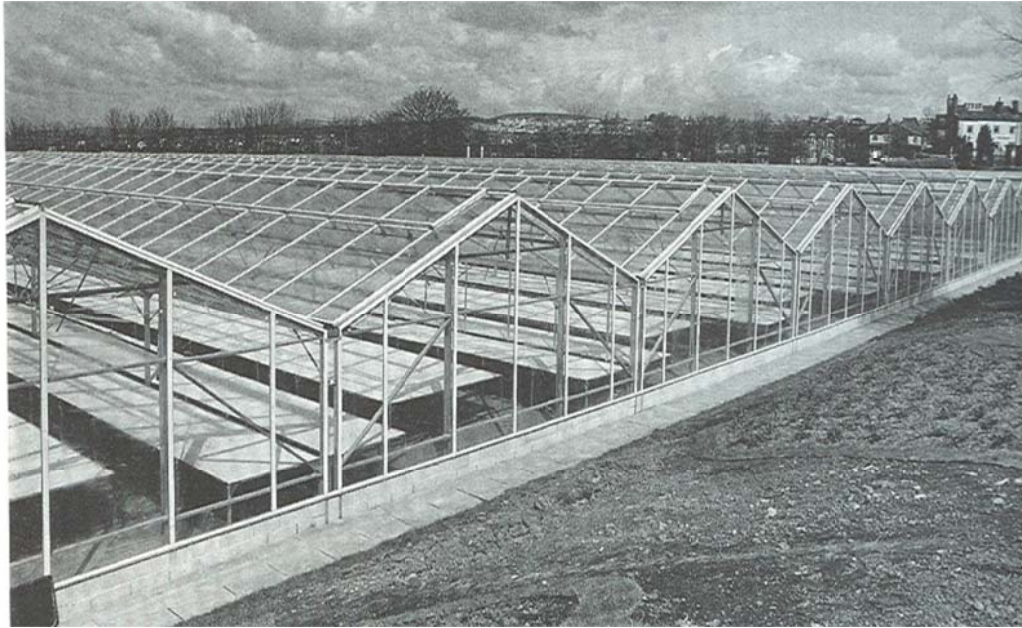


Σχ. 1.1: Πλατφόρμα Ελικοπτέρων (άλλη μία χρήση του αλουμινίου).

Προς το τέλος της δεκαετίας του 1940, ορισμένοι σχεδιαστές ακολούθησαν την προγενέστερη αμερικάνικη πρακτική της χρήσης κραμάτων της σειράς 2xxx για ογκώδης κατασκευές. Σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό αποτέλεσε καταστροφική επιλογή. Για παράδειγμα, η σηκωτή γέφυρα στο λιμάνι του Sunderland στις ΗΠΑ, η οποία κατασκευάστηκε από αυτό το υλικό, αστόχησε μέσα σε λίγα χρόνια λόγω διάβρωσης από το έντονα μολυσμένο βιομηχανικό περιβάλλον. Ένα άλλο παράδειγμα είναι οι βρετανικοί γερανοί οι οποίοι χρησιμοποίησαν την ισχυρότερη μορφή της σειράς 2xxx (superdural) σε πολύ υψηλά επίπεδα τάσης. Τελικά επήλθε αστοχία λόγω κοπώσεως μέσα σε σύντομο χρονικό διάστημα. Σύντομα έγινε συνείδηση πως η βέλτιστη επιλογή κράματος για κατασκευές πολιτικού μηχανικού ήταν ο ισχυρότερος τύπος της σειράς 6xxx, αν και μερικές φορές προτιμάται ο ηλεκτροκολλησίμος τύπος της σειράς 7xxx.

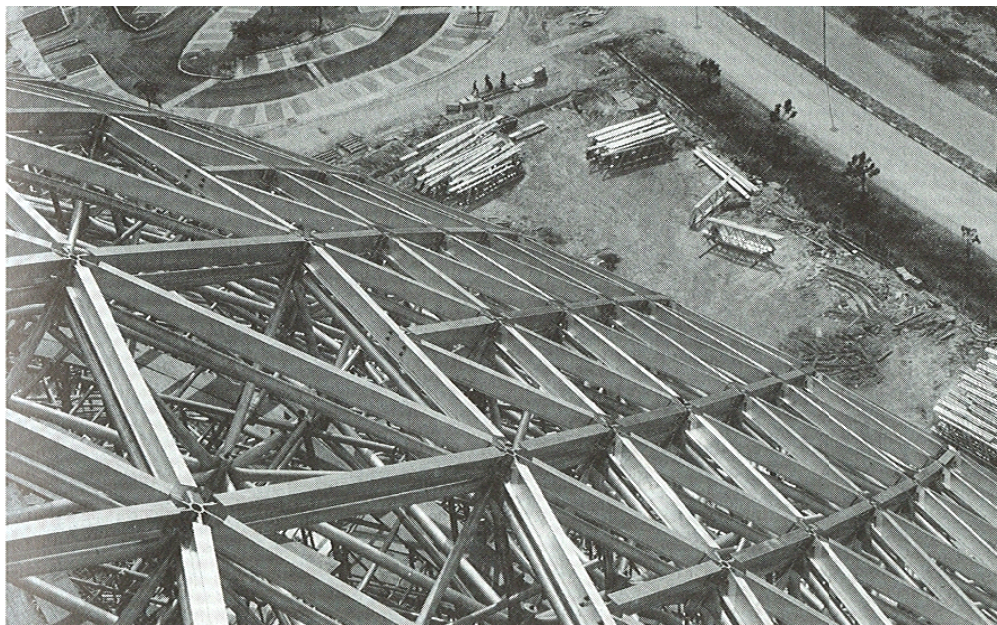
1.5.4 Αρχιτεκτονική

Μία από τις πρώτες χρήσεις του αλουμινίου σε κουφώματα παραθύρων ήταν στη Βιβλιοθήκη του Πανεπιστημίου του Cambridge (1936). Από τότε το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε ευρέως σε παράθυρα και άλλα δευτερεύοντα στοιχεία όπως τζαμαρίες παραπετάσματα και θερμοκήπια (Σχ. 1.2). Ο τύπος κράματος που χρησιμοποιείται είναι ο ασθενέστερος τύπος της σειράς 6xxx ο οποίος διαθέτει καλό επιφανειακό φινίρισμα και είναι περισσότερο δύσκαμπτος παρά ανθεκτικός.



Σχ. 1.2: Υαλοκατασκευή από αλουμίνιο για θερμοκήπιο.

Τα φύλλα αλουμινίου συναγωνίζονται με τον επιχρισμένο χάλυβα στην επένδυση εργοστασιακών κτιρίων, όπου συνήθως χρησιμοποιούνται τραπεζοειδή προφίλ της σειράς 3xxx. Ένας άλλος τύπος χρήσης είναι οι πλήρως στηριζόμενες οροφές όπου τα φύλλα αλουμινίου είναι μία καλή εναλλακτική αντί του μόλυβδου, του ψευδάργυρου ή του χαλκού.



Σχ. 1.3: Θόλος διαμέτρου 51m από αλουμίνιο σε τζαμί της Μαλαισίας.

1.5.5 Επίγειες Μεταφορές

Από το 1945 το αλουμίνιο σταδιακά αντικατέστησε το χάλυβα στις σιδηροδρομικές άμαξες. Οι προγενέστερες κατασκευές αποτελούνταν από συμβατικό σκελετό με μεταλλικά πλαίσια. Πλέον η μέθοδος αυτή αντικαθίσταται από σχέδια τα οποία κάνουν χρήση πλατιών κοίλων διατομών προκειμένου να παράγουν έναν αξιόπιστο, συγκολλησιμο τύπο κατασκευής διπλής όψεως. Τα επίπεδα τάσεων θα πρέπει να κρατιόνται σε χαμηλά επίπεδα, λόγω του κινδύνου της κοπώσεως, καθιστώντας έτσι οικονομική τη χρήση του τύπου της σειράς 6xxx που παρουσιάζει τη χαμηλότερη αντοχή αλλά εξαιρετη εργασιμότητα. Το αλουμίνιο χρησιμοποιήθηκε επίσης με επιτυχία στην κατασκευή μεγάλων βαγονιών τα οποία μεταφέρουν προϊόντα εξόρυξης. Στη Νότια Αμερική το 90% αυτών έχει κατασκευασθεί από αλουμίνιο.

Στις οδικές μεταφορές, το αλουμίνιο από χρόνια έχει καθιερωθεί στην αγορά ως το υλικό κατασκευής του αμαξώματος λεωφορείων και φορτηγών, των οποίων ο σκελετός είναι συνήθως χαλύβδινος. Εφευρετικοί τύποι διατομών είναι διαθέσιμοι τα οποία διευκολύνουν ακόμη και τους κατασκευαστές μικρής κλίμακας να παράγουν ανεξάρτητα αμαξώματα προκειμένου να ικανοποιήσουν τις διαφορετικές απαιτήσεις των πελατών. Το σύνθηες υλικό που χρησιμοποιείται είναι ο ισχυρότερος τύπος της σειράς 6xxx, ενώ η συναρμολόγηση γίνεται με χρήση κοχλιών και ήλων και περιορισμένη συγκόλληση. Μία διαφορετική τεχνική κάνει χρήση πλήρως συγκολλημένων κατασκευών, από έλασμα της σειράς 5xxx συνήθως. Οι προσπάθειες κατασκευής και του σκελετού από το αλουμίνιο ξεκίνησαν από το 1950, ωστόσο είχαν περιορισμένη επιτυχία. Προσφάτως, εμφανίσθηκαν κάποια εξελιγμένα σασί από συγκολλητή κατασκευή.

Αυτές εξελίξεις κατά πάσα πιθανότητα θα επισκιασθούν από εκείνη του αυτοκινήτου, η οποία βρίσκεται ακόμη σε εξέλιξη. Αυτή η κατά πάσα πιθανότητα τεράστια αγορά άργησε να αναπτυχθεί, παρά το προφανές πλεονέκτημα του ελαφρού, ανθεκτικού και ανοξειδώτου αμαξώματος από αλουμίνιο. Μέχρι τώρα το αλουμίνιο είχε περιορισμένο ρόλο στη βιομηχανία του αυτοκινήτου, κυρίως σε ακριβές κατασκευές και σε κάποια σπορ αυτοκίνητα. Ωστόσο, πλέον εμφανίζονται προχωρημένα σχέδια τα οποία συναρμολογούνται μέσω συγκολλήσεων, τα οποία διευκολύνουν την παραγωγή κελυφών αμαξώματος τα οποία παρουσιάζουν δυσκαμψία και απόσβεση κραδασμών αντίστοιχες των χαλύβδινων κατασκευών. Ορισμένοι ισχυρίζονται ότι ο τύπος αυτός αμαξώματος δεν έχουν στην πραγματικότητα μεγαλύτερο κόστος καθώς έχουν φθηνότερο φινίρισμα ενώ

σε αντίθεση με το χάλυβα η μπογιά δεν διατρέχει τον κίνδυνο της γρήγορης φθοράς (αφού δεν σκουριάζει). Με τέτοια σχέδια ο αλουμίνιο αναμένεται να ανοιχτεί στην αυτοκινητοβιομηχανία και ήδη ένα τέτοιο μοντέλο έχει βγει στην αγορά (Audi).

1.5.6 Χρήση στη ναυσιπλοΐα

Μία από τις χρήσεις του αλουμινίου σε αυτόν τον τομέα ήταν στην υπερκατασκευή υπερωκεάνιων στα οποία το μειωμένο βάρος του άνω τμήματος βοηθά στην ευστάθεια. Για τον ίδιο λόγο το αλουμίνιο μερικές φορές επιλέγεται και για τις υπερκατασκευές πολεμικών πλοίων. Καθώς η ολκιμότητα είναι εξίσου σημαντική με την αντοχή, ο προτιμώμενος τύπος κράματος είναι η ανθεκτικότερη μορφή της σειράς 5xxx.

Τα τελευταία χρόνια το αλουμίνιο χρησιμοποιείται και σε high-speed ferries όπως του καταμαράν Sea Cat, το οποίο είναι πλήρως κατασκευασμένο από αλουμίνιο και κάνει χρήση συνδυασμού ελάσματος της σειράς 5xxx και διατομών της σειράς 6xxx.

2 ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το πρώτο βήμα στην παραγωγή του αλουμινίου είναι η παραλαβή του σε ρευστή μορφή (first fusion) από το ορυκτό του βωξίτη, του οποίου συστατικά είναι η αλουμίνα, το οξείδιο του σιδήρου, το πυρίτιο και ύδωρ. Προκειμένου να είναι έτοιμο για τη διαδικασία παραγωγής, το αλουμίνιο φέρεται σε μορφή ράβδου κατάλληλου μεγέθους.

Σημαντική ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας είναι απαραίτητη για την παραγωγή του αλουμινίου. Σύμφωνα με την τεχνική των Hall – Heroult, περίπου 25 - 30 kWh ήταν απαραίτητες για την παραγωγή ενός χιλιόγραμμου αλουμινίου. Πλέον, η ίδια ποσότητα παράγεται με 13 – 14 kWh ενώ η θεωρητική οριακή τιμή είναι 9 kWh. Αυτός είναι ο λόγος για τον οποίον η πρώτη τήξη (first fusion) του αλουμινίου συνήθως λαμβάνει χώρα σε περιοχές με αφθονία φθηνής ηλεκτρικής ενέργειας. Σημειώνεται πως για αυτό τα πρώτα κέντρα παραγωγής αλουμινίου βρίσκονταν κοντά σε υδροηλεκτρικά εργοστάσια. Από την άλλη, λόγω του χαμηλού σημείου τήξης του αλουμινίου (660 °C), η κατασκευή κραμάτων αλουμινίου δεν απαιτεί μεγάλη ποσότητα ενέργειας.

2.1 Επίπεδα Προϊόντα

Ελάσματα πάχους 5 - 6 mm παράγονται από πλάκες με τη διαδικασία της εν θερμώ εξέλασης (hot rolling). Για την παραλαβή λεπτότερων ελασμάτων η διαδικασία της ψυχρής εξέλασης είναι απαραίτητη. Η διαδικασία αυτή προκαλεί σκλήρυνση ανάλογη της ποσότητας και της φύσης των στοιχείων κράματος τα οποία είναι παρόντα στο προϊόν και συνεπώς, η διαδικασία της ανόπτησης καθίσταται απαραίτητη για την αύξηση της ολκιμότητας.

Τα πλάτη των ελασμάτων και των φύλλων που παράγονται μέσω αυτής της διαδικασίας είναι συνήθως περί το 1.5 m αν και μεγαλύτερα μεγέθη είναι εφικτά.

- **Ελάσματα**

Ο όρος έλασμα (plate) αναφέρεται σε επίπεδο προϊόν εν θερμώ έλασης, με πάχος τυπικά ≥ 6 mm, αν και μπορεί να γίνει λεπτότερο. Όταν το έλασμα κατασκευάζεται από μη θερμικά κατεργασμένο κράμα, συχνά της αποδίδεται ο σχετικά ασαφής χαρακτηρισμός “as – hot – rolled” ή κατάστασης F, για τον οποίο μόνο τυπικές ιδιότητες μπορούν να αποδοθούν. Εναλλακτικά αν μετά την έλαση ακολουθήσει η διαδικασία της ανόπτησης,

το έλασμα φέρεται πλέον σε κατάσταση Ο. Στην κατάσταση αυτή η αντοχή είναι μειωμένη αλλά σαφώς ορισμένη.

Τα θερμικά κατεργασμένα ελάσματα (2xxx,6xxx ή 7xxx σειρά κράματος) συνήθως κατηγοριοποιείται ως πλήρως θερμικά κατεργασμένη T6 κατάσταση, η οποία περιλαμβάνει μία θερμική κατεργασία ακολουθούμενη από την τεχνική της τεχνητής ωρίμανσης. Εναλλακτικά, μπορεί να παραχθεί στην περισσότερο όλκιμη κατάσταση T4, η οποία επιτρέπεται να ωριμάσει φυσικά σε θερμοκρασία δωματίου.

▪ Φύλλα

Με τον όρο φύλλο (sheet) γενικά αναφερόμαστε σε επίπεδο υλικό πάχους μέχρι 6 mm (αν και στις ΗΠΑ ο όρος slate αντί του sheet για υλικά στο όριο μεταξύ φύλλου και ελάσματος). Παράγεται μέσω ψυχρής εξέλασης η οποία συνήθως ακολουθείται από ανόπτηση. Έτοιμα πάχη είναι 0.5,0.6,0.8,1.0,1.2,1.5,2.0,2.5,3.0,4.0,5.0 και 6.0 mm.

Τα περισσότερα φύλλα παράγονται από μη θερμικά κατεργασμένα υλικά (σειρές 1xxx, 3xxx, 5xxx) και αντιστοιχούνται σε συγκεκριμένες κατηγορίες σκληρότητας όπως “quarter-hard” ή “half-hard”, με συγκεκριμένες μηχανικές ιδιότητες για κάθε κατηγορία.

Για εφαρμογές που υπόκεινται σε υψηλότερα επίπεδα έντασης, τα φύλλα κατασκευάζονται από θερμικά κατεργασμένα κράματα (2xxx,6xxx ή 7xxx σειρά κράματος) και συνήθως κατηγοριοποιείται ως πλήρως θερμικά κατεργασμένη T6 κατάσταση.

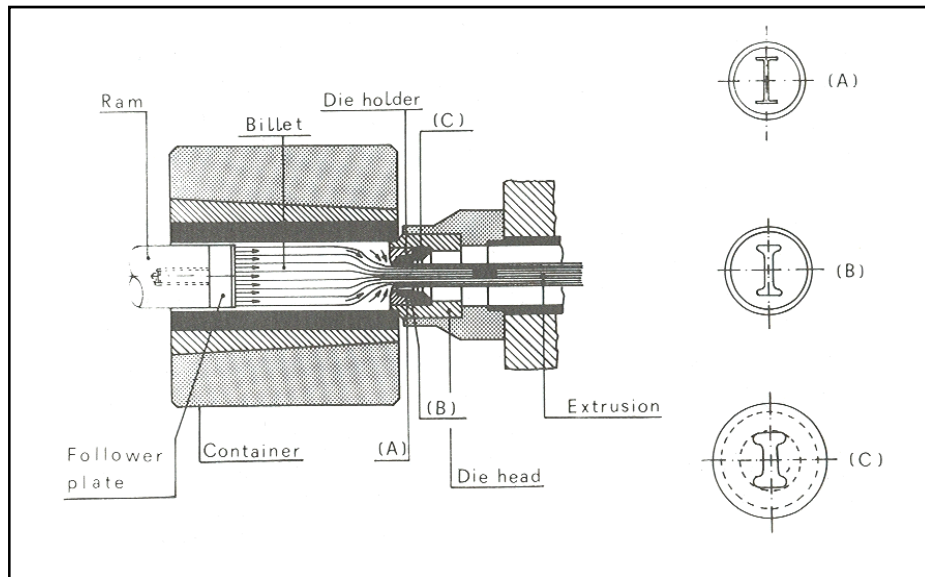
2.1.1 Ανοχή Σφάλματος Πάχους

Η ανοχή στο σφάλμα δt του πάχους για επίπεδα προϊόντα επιτρέπει την διακύμανση κατά μήκος του πλάτους, όπως επίσης και ανακρίβειες στο κυρίως πάχος. Η τιμή του δt εξαρτάται από το πάχος t και το πλάτος w και μπορεί να εκτιμηθεί προσεγγιστικά από τις ακόλουθες εκφράσεις:

Έλασμα	$\delta t = \pm (0.000014 wt + 0.3) \text{ mm}$
Φύλλο	$\delta t = \pm (0.11 \sqrt{t} + 0.00004 w - 0.06) \text{ mm}$

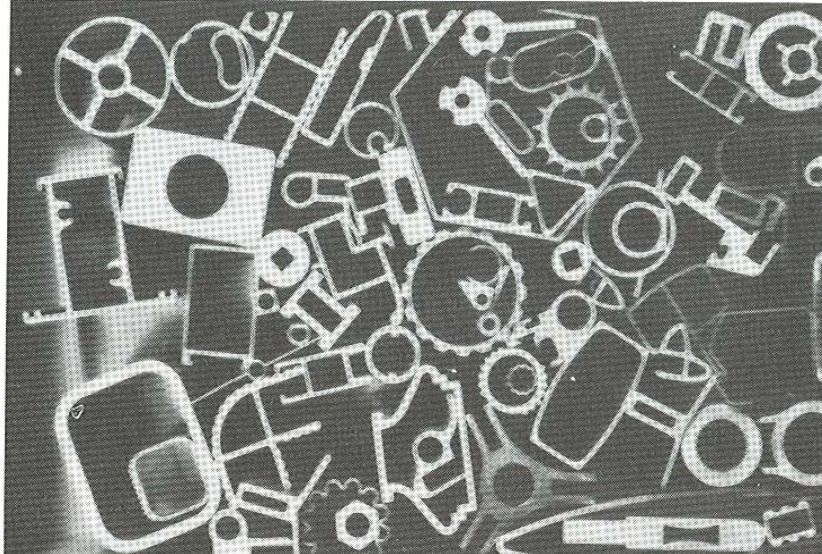
όπου τα t , w είναι σε mm. Τα όρια αυτά συμφωνούν με τις απαιτήσεις του BSEN.485 για $t=1 - 30 \text{ mm}$ και $w > 1000 \text{ mm}$. Έξω από αυτά τα όρια υπερεκτιμάται η ανοχή.

2.2 Διελασμένες Διατομές



Σχ. 2.1: Η διαδικασία της διέλασης (extrusion process).

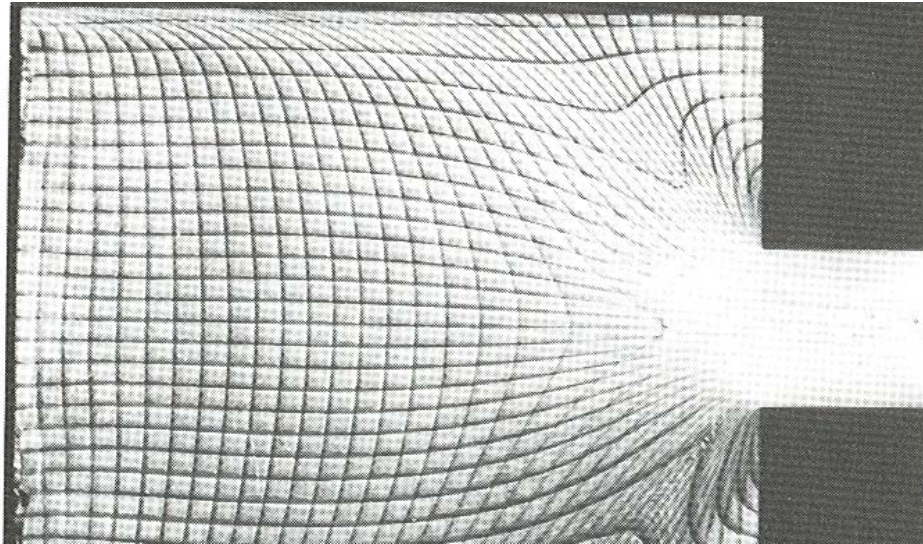
Ένα από τα μεγαλύτερα πλεονεκτήματα των κραμάτων αλουμινίου είναι η διαμόρφωση διατομών μέσω πρέσας (Σχ. 2.1). Η διαδικασία της διέλασης (extrusion process) οδηγεί στο σχηματισμό προφίλ οποιουδήποτε σχήματος τα οποία δεν είναι δυνατόν να ληφθούν μέσω της διαδικασίας της εν θερμώ εξέλασης (Σχ. 2.2). Αυτό είναι ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα του αλουμινίου έναντι του χάλυβα και θα έπρεπε να λαμβάνεται υπόψη κατά την οικονομική σύγκριση του αλουμινίου με άλλα μέταλλα.



Σχ. 2.2: Ποικιλία Προφίλ τα οποία είναι διαθέσιμα μέσω διέλασης.

Η διαδικασία της διέλασης αποτελείται από τα ακόλουθα στάδια:

- Ράβδοι του υλικού θερμαίνονται στην κατάλληλη θερμοκρασία.
- Στη συνέχεια, τοποθετείται στο δοχείο μίας πρέσας του οποίου η έξοδος φράσσεται από πλάκα με οπή.
- Το σχήμα της οπής της πλάκας αυτής, η οποία συνήθως είναι κατασκευασμένη από χάλυβα υψηλής αντοχής, δίνει το σχήμα του προφίλ που θα παραχθεί. Συνήθως παράγονται διατομές πλάτους από 10 έως 800 mm
- Υψηλή πίεση εφαρμόζεται στη συνέχεια μέσω της πρέσας (από 250 έως 1000 N mm⁻²)
- Το υλικό εξωθείται διαμέσου της πλάκας η οποία φέρει την οπή και παραμορφώνεται. Στο Σχ. 2.3 φαίνονται οι γραμμές της παραμόρφωσης πριν την διέλαση.



Σχ. 2.3: Γραμμές παραμόρφωσης του υλικού.

- Το προφίλ στη συνέχεια αποβάλλεται από την πλάκα. Το μήκος του προφίλ εξαρτάται από τον λόγο διέλασης, ο οποίος είναι η αναλογία μεταξύ της διατομής της πρώτης ύλης και της διατομής του διελασμένου προφίλ. Για διατομές της σειράς 6xxx κυμαίνεται στο διάστημα 30 – 50. Πολύ μικρή τιμή του λόγου αυτού (π.χ. 7) θα προκαλέσει πτώση στην ποιότητα των ιδιοτήτων, ενώ πολύ υψηλή τιμή (π.χ. 80) σημαίνει συντριπτική πίεση, η οποία οδηγεί σε παραμόρφωση της μήτρας ή θραύση.
- Μετά τη διαδικασία της διέλασης, το προφίλ υπόκειται σε υψηλή εφελκυστική ένταση στον πάγκο «ισιώματος» (straightening table). Οι πάγκοι αυτοί εξασκούν εφελκυστική δύναμη της τάξεως των 200 τόνων και φθάνουν σε μήκος τα 50 m.

Οι δυνατότητες της διέλασης περιορίζονται από τις διαστάσεις της πρέσας. Πλέον είναι διαθέσιμες πρέσες δυνατότητας από 1000 έως 12500 τόνους. Οι διατομές των προφίλ που λαμβάνονται από αυτές τις πρέσες είναι εγγράψιμες σε κύκλο διαμέτρου 500 mm ή σε ορθογώνιο διαστάσεων 600 × 200 mm. Οι περισσότερες υδραυλικές πρέσες είναι οριζόντιου τύπου ενώ υπάρχουν και κάποιες κατακόρυφες.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να σημειωθεί πως τα αποκαλούμενα «ισχυρά» κράματα είναι λιγότερο διελάσιμα λόγω της υψηλότερης πίεσης η οποία απαιτείται προκειμένου να υπερνικηθεί η μεγαλύτερη αντίσταση στην πλαστική παραμόρφωση.

Ένα άλλο κομμάτι της τεχνολογίας κατασκευής αλουμινίου είναι η διαδικασία της χύτευσης (casting process), η οποία επιτρέπει την παραγωγή monobloc και δύσκαμπτων σχημάτων. Οι διαδικασίες χύτευσης οι οποίες χρησιμοποιούνται σήμερα είναι:

- Χύτευση με χρήση άμμου
- Χύτευση κελυφών
- Χύτευση με πρεσάρισμα

Η πρώτη εκ των τριών προαναφερθέντων διαδικασιών κάνει χρήση φθηνών καλουπιών. Η δεύτερη διαδικασία χρησιμοποιείται για παραγωγές μεγαλύτερης κλίμακας καθώς τα καλούπια είναι πιο ακριβά. Η Τρίτη διαδικασία είναι και η πιο πρόσφατη. Παράγει προφίλ με εξαιρετική ακρίβεια και παρέχει άριστο επιφανειακό τελείωμα. Κατά συνέπεια, χρησιμοποιείται και αυτή σε παραγωγές μεγάλης κλίμακας όπου η μεγάλη αρχική επένδυση είναι δικαιολογημένη.

2.2.1 Θερμική Κατεργασία Διατομών

Οι περισσότερες διατομές παράγονται από θερμικά κατεργασμένο υλικό και προκειμένου να αποκτήσουν την τελική αντοχή τους υπόκεινται σε επεξεργασία με διάλυμα (quenching), η οποία ακολουθείται από τη διαδικασία της ωρίμανσης (ageing).

Η ευκολότερη μορφή επεξεργασίας με διάλυμα είναι ο ψεκασμός της διατομής με νερό καθώς αυτή εξέρχεται από την πρέσα, η οποία είναι και η συνήθης διαδικασία προκειμένου για διατομές κατασκευασμένες από κράμα της σειράς 6xxx. Για μερικά από τα υλικά της σειράς 6xxx, ένας αποδοτικός βαθμός σκληρότητας είναι δυνατόν να επιτευχθεί ακόμη και δίχως τη χρήση του ψεκασμού (air quenching), μειώνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο την παραμόρφωση.

Η επεξεργασία με διάλυμα στην πρέσα είναι λιγότερο αποδοτική για υλικά μεγάλου πάχους της σειράς 6xxx, ενώ δεν παρέχει καμία χρησιμότητα για κράματα της σειράς 2xxx και 7xxx, αφού αυτές απαιτούν λεπτομερή έλεγχο της θερμοκρασίας κατά την επεξεργασία με διάλυμα. Για τέτοια υλικά είναι απαραίτητο, μετά τον τεμαχισμό κατά μήκος, να ξαναξεσταθούν και να υποστούν την επεξεργασία με διάλυμα σε δεξαμενή. Τούτο δύναται να πραγματοποιηθεί είτε καθέτως, είτε οριζοντίως. Το πρώτο προκαλεί λιγότερες παραμορφώσεις, αλλά θέτει στενότερους περιορισμούς το μήκος.

Για τα περισσότερα υλικά τα οποία παράγονται μέσω της διαδικασίας της διέλασης, το δεύτερο στάδιο της θερμικής κατεργασίας (η ωρίμανση) συνίσταται από τη διατήρηση σε φούρνο για κάποιες ώρες, σε υψηλή θερμοκρασία, μεταξύ 150 και 180° C. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως τεχνητή ωρίμανση (artificial ageing) ή αλλιώς επεξεργασία καθιζήσεως (precipitation treatment) και οδηγεί το μέταλλο στην απόκτηση της πλήρους αντοχής του - κατάσταση T6 ή T5 εφ' όσον χρησιμοποιηθεί αέρας (air quenched). Ορισμένες φορές το θερμικά κατεργασμένο υλικό αφήνεται να ωριμάσει φυσιολογικά σε θερμοκρασία δωματίου (naturally ageing), φθάνοντας στην περισσότερο όλκιμη αλλά λιγότερο ανθεκτική κατάσταση T4. Το τελευταίο είναι προτιμότερο στην περίπτωση υλικών που θα περάσουν από τη διαδικασία του φορμαρίσματος.

2.2.2 Διόρθωση

Τα διελασμένα μέλη που προέρχονται τείνουν να παραμορφώνονται καθώς εξέρχονται από την πρέσα και η θερμική κατεργασία εντείνει αυτό το φαινόμενο. Δύο είναι οι βασικές μορφές παραμόρφωσης οι οποίες θα πρέπει να διορθωθούν:

- λυγισμός κατά μήκος του μέλους
- παραμόρφωση της διατομής.

Η πρώτη μορφή παραμόρφωσης διορθώνεται μέσω επιβολής εφελκυστικής παραμόρφωσης (stretching) της τάξεως του 1 έως 2%. Για υλικό το οποίο έχει κατεργασθεί θερμικά μέσω ψεκασμού ή με αέρα, αλλά και για μη θερμικά κατεργασμένα υλικά, η διόρθωση λαμβάνει χώρα πριν τον τεμαχισμό του μέλους σε μικρότερα τμήματα. Για άλλα υλικά, η διόρθωση πραγματοποιείται για κάθε ένα από τα επί μέρους τμήματα. Για θερμικά κατεργασμένες διατομές, η διόρθωση μέσω έκτασης έχει αμελητέα επίδραση στις τελικές ιδιότητες του υλικού. Ωστόσο, για μη θερμικά κατεργασμένα υλικά, έχει την επίπτωση της σημαντικής μείωσης της θλιπτικής τάσης διαρροής (φαινόμενο Bauschinger).

Για παχιές σύνθετες διατομές, η παραμόρφωση της διατομής δεν είναι πρόβλημα και επομένως η μόνη διόρθωση που είναι απαραίτητη είναι η έκταση. Αντιθέτως, για λεπτές διατομές αυτός ο τύπος παραμόρφωσης μπορεί να αποδειχθεί σημαντικός και συνεπώς περαιτέρω διόρθωση είναι απαραίτητη. Διάφορες τεχνικές είναι διαθέσιμες, οι οποίες προσαρμόζονται στα μέτρα του κάθε προφίλ. Οι τεχνικές αυτές απαιτούν αρκετό μόχθο

και για αυτό το λόγο οι λεπτές διατομές έχουν υψηλότερο κόστος ανά χιλιόγραμμο. Μερικές φορές η πιθανότητα παραμόρφωσης μίας διατομής κατά την παραγωγή της κάνει την καθιστά μη συμφέρουσα. Σε τέτοιες περιπτώσεις μία λύση είναι η μείωση της παραμόρφωσης χρησιμοποιώντας θερμική κατεργασία με αέρα (κατάσταση T5 αντί της T6), παρά τις μειωμένες τελικές ιδιότητες.

2.2.3 Όρια Μεγέθους και Πάχους

Μήκος

Για υλικά στα οποία η κατεργασία μέσω ψεκασμού κρίνεται ως ακατάλληλη, όπως αυτά της σειράς 2xxx ή 7xxx, το μέγιστο μήκος καθορίζεται από τον τύπο της θερμικής κατεργασίας. Με μία χονδρικά εκτίμηση τυπικά μεγέθη είναι τα 6m για κατακόρυφη κατεργασία και τα 10m για οριζόντια. Τα παραπάνω δεν ισχύουν για υλικά της σειράς 6xxx για τα οποία πιθανός περιορισμός είναι η μεταφορά.

Πλάτος

Δεν υπάρχει καμία δυσκολία στην παραλαβή διατομών πάχους μέχρι και 300mm, για τις οποίες διατίθενται αρκετές πρέσες με αρκετά ευρύχωρο κοντέινερ. Το διπλάσιο αυτού του πλάτους είναι εφικτό από τις μεγάλες πρέσες των 600 ή περισσότερων χιλιοστών, οι οποίες ωστόσο είναι διαθέσιμες μονάχα σε λίγες χώρες.

Πάχος

Ο σχεδιαστής επιθυμεί συχνά την κατασκευή όσο το δυνατόν λεπτότερων διατομών, για λόγους οικονομίας. Το ελάχιστο πάχος εξαρτάται αφ' ενός από το τι μπορεί να παραχθεί μέσω διέλασης, ανάλογα με το είδος το κράματος, και αφ' ετέρου από την επίδραση της παραμόρφωσης. Εν γένει αποτελεί συνάρτηση του γενικότερου μεγέθους της διατομής. Μία πολύ χονδρική εκτίμηση για το ελάχιστο πάχος μία μη κοίλης διατομής του λιγότερου ανθεκτικού από τους τύπους της σειράς 6xxx (όπως ο 6063) είναι το μέγιστο των a) 1.2mm ή b) του 1% του μεγέθους της διατομής.

Τονίζεται σε αυτό το σημείο πως τα παραπάνω αποτελούν προσεγγιστικές τιμές και πως το πραγματικό πάχος μπορεί τελικά ανάλογα με το επιλεγθέν προφίλ να είναι μεγαλύτερο ή μικρότερο. Η τιμή b) είναι πιθανότερο να επιτευχθεί όταν επιλεγθεί η κατάσταση T5

(air quenched). Για κοίλες διατομές, το ελάχιστο πάχος είναι συνήθως κατά 25% μεγαλύτερο από αυτό των μη κοίλων.

Για τον ισχυρότερο από τους τύπους της σειράς 6xxx, το ελάχιστο δυνατό πάχος τείνει να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο. Για τον λιγότερο ανθεκτικό από τους τύπους της σειράς 7xxx, είναι σημαντικά αυξημένο.

2.2.4 Ανοχές

Συχνά, λόγω της ελκυστικότητάς τους, υπάρχει η πεποίθηση πως τα προϊόντα από αλουμίνιο παράγονται με μεγάλη ακρίβεια διαστάσεων, ενώ στην πραγματικότητα υπόκεινται σε κάποια όρια αντίστοιχα με αυτά του χάλυβα. Αυτές οι ανοχές αφορούν στο πλάτος, το πάχος, το σχήμα της διατομής, κ.τ.λ. Όταν κάποια συγκεκριμένη διάσταση είναι ιδιαίτερα κρίσιμη, είναι συνήθως δυνατή η διαπραγμάτευση με τον κατασκευαστή προκειμένου να επιτευχθεί ένα αυστηρότερο όριο για την επιτρεπτή ανοχή. Ένα παράδειγμα τέτοιας περιπτώσεως είναι όταν δύο διατομές πρέπει να συνενωθούν. Ακολούθως δίνονται κάποια χαρακτηριστικά μεγέθη:

Η συνήθης ανοχή όσον αφορά στο πάχος της διατομής w , μπορεί να εκτιμηθεί από την ακόλουθη προσεγγιστική σχέση:

$$\text{Ανοχή πλάτους} = \pm \left(0.3 + \frac{w}{200} \right) \text{mm} \quad (2.1)$$

όπου το πάχος w τίθεται σε mm. Η παραπάνω σχέση βρίσκεται σε συμφωνία με το Βρετανικό Πρότυπο BSEN.755, για $w > 100\text{mm}$, ενώ τείνει προς το άνω όριο προκειμένου για χαμηλές τιμές του w .

Η αντίστοιχη ανοχή όσον αφορά στο πάχος της διατομής είναι:

$$\text{Ανοχή πάχους} = \pm \left(0.2 + \frac{w}{600} + \frac{t}{150} \right) \text{mm} \quad (2.2)$$

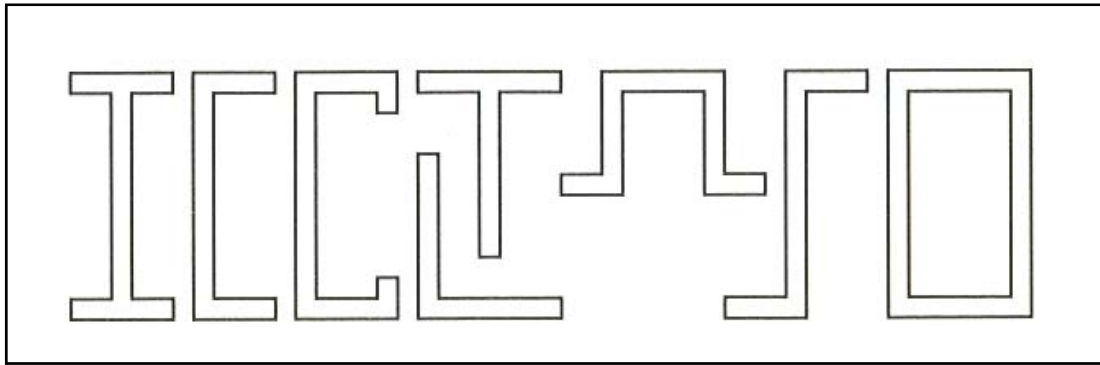
όπου τα w , t τίθενται σε mm. Αυτό αναφέρεται στο πάχος των κυρίως στοιχείων της διατομής και όχι σε πτυχώσεις και προεξοχές. Και πάλι δίνει απαισιόδοξη εκτίμηση για μικρά w .

Η έκφραση (2.2), δίνει ανησυχητικά αποτελέσματα, αν ληφθεί για την ονομαστική τιμή. Για παράδειγμα εάν $w = 300$ και $t = 3$ mm, η προκύπτουσα ανοχή είναι περίπου ± 0.7 mm. Εάν εφαρμοσθεί για ολόκληρη τη διατομή τούτο μπορεί να οδηγήσει σε επιφάνεια 20 με 25% άνω της ονομαστικής, με αντίστοιχη αύξηση για το βάρος. Εάν η διατομή αγοραζόταν για συγκεκριμένη τιμή ανά χιλιόγραμμο, η επίδραση στην οικονομικότητα του σχεδιασμού θα ήταν καταστροφική. Στην πραγματικότητα η ανοχή η οποία υπολογίζεται από την εξίσωση (2.2) καλύπτει κυρίως τοπικές διακυμάνσεις στο πάχος της διατομής. Ο λόγος για τον οποίο αυξάνει τόσο πολύ με το πλάτος w , είναι προκειμένου να ληφθεί υπόψη η κάμψη της μήτρας για ένα πλατύ και λεπτό στοιχείο. Η κάμψη αυτή επηρεάζει το πάχος στο μέσον ενός τέτοιου στοιχείου. Στις άκρες η μεταβολή θα είναι πολύ λιγότερο αισθητή και μπορεί να εκτιμηθεί αγνοώντας τον δεύτερο όρο της εξίσωσης (2.2), ο οποίος εξαρτάται από το w . Επομένως, η πιθανή διακύμανση στο κόστος είναι τελικά λιγότερη από την αρχικά υποθεθείσα, δεν παύει ωστόσο να είναι υπολογίσιμη.

Ένας σημαντικός παράγοντας ο οποίος επηρεάζει την διακύμανση του πάχους είναι η φθορά της μήτρας. Μακροπρόθεσμα, η μήτρα πρέπει να αποσύρεται από τη λειτουργία όταν είναι πλέον σημαντικά φθαρμένη και να αντικαθίσταται από μία καινούρια. Μία αυστηρότερη ανοχή επιτυγχάνεται περιορίζοντας το χρονικό διάστημα μεταξύ αντικαταστάσεων.

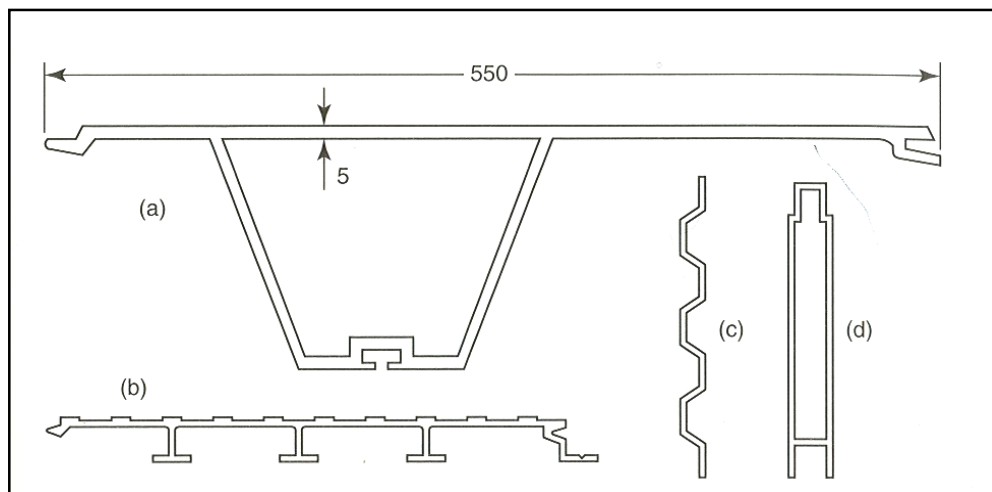
2.2.5 Δυνατότητες Σχεδιασμού

Ο σχεδιαστής έχει την δυνατότητα είτε να επιλέξει μία υπάρχουσα διατομή όταν υπάρχει ήδη κατάλληλη μήτρα, είτε να χρησιμοποιήσει ένα νέο σχέδιο μήτρας προκειμένου να εκπληρώσει το σκοπό του. Οι κατασκευαστές διαθέτουν μία μεγάλη ποικιλία υπαρχουσών μήτρων προκειμένου για συμβατικά προφίλ, όπως αυτά που φαίνονται στο Σχ. 2.4.



Σχ. 2.4: Συμβατικά προφίλ.

Όταν κανείς σχεδιάζει έναν νέο τύπο διατομής είναι συνετό να συνδυάζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά με την ανθεκτικότητα.



Σχ. 2.5: Τυπικές στραντζαριστές διατομές.

Οι στραντζαριστές διατομές (Σχ. 2.5) χρησιμοποιούνται ευρύτατα και διαθέτουν πληθώρα δυνατοτήτων όπως αντί - ολισθητική επιφάνεια, καλυμμένη στερέωση και αλληλασφάλιση μεταξύ παρακείμενων στραντζών.

2.3 Σωλήνες

Με τον όρο σωλήνες (tubes) αναφερόμαστε σε κοίλες διατομές ενιαίου πάχους, συνήθως κυκλικές ή ορισμένες φορές πολυγωνικού σχήματος (τετραγωνικό ή εξαγωνικό). Υπάρχουν ουσιαστικά τρεις μέθοδοι κατασκευής τέτοιων σωλήνων: η διέλαση, η ολκή και η συγκόλληση.

2.3.1 Διελασμένος Σωλήνας (*Extruded Tube*)

Το προϊόν αυτό είναι απλώς μία κοίλη διατομή, η οποία παράγεται από ειδικό τύπο μήτρας (bridge die) ο οποίος εικονίζεται στο Σχήμα (???)?. Συνήθως, κατασκευάζεται από κράμα της σειράς 6xxx ή του λιγότερο ανθεκτικού τύπου από τα κράματα της σειράς 7xxx.. Παρουσιάζει το μειονέκτημα της παρουσίας ραφών λόγω συγκόλλησης, γεγονός το οποίο περιορίζει τους τομείς χρήσης του.

2.3.2 Ελκυόμενος Σωλήνας (*Drawn Tube*)

Συχνά αναφέρεται και ως σωλήνας δίχως ραφές. Πρόκειται για ένα προϊόν υψηλής ποιότητας το οποίο κοστίζει περισσότερο από τον προηγούμενο τύπο σωλήνα. Ξεκινά ως σχετικά παχιά κοίλη διατομή, η οποία παράγεται μέσω διέλασης πάνω από άξονα. Στη συνέχεια επεξεργάζεται περαιτέρω μέσω αλληλουχίας περασμάτων από τον πάγκο έλκυσης, με χρήση της διαδικασίας της ανόπτησης όπου αυτό κρίνεται αναγκαίο. Στη φάση αυτή ο σωλήνας κρατιέται από το ένα άκρο το οποίο οδηγείται διαμέσου της μήτρας. η εξωτερική διάμετρος (OD) του σωλήνα καθορίζεται από τη μήτρα, ενώ η εσωτερική διάμετρος (ID) από ένα βύσμα το οποίο βρίσκεται το οποίο έχει στερεωθεί σε ράβδο η οποία περνιέται προς τα πίσω μέσα από το σωλήνα. Η διαδικασία είναι σχετικά κοπιώδης και πρέπει να γίνει σταδιακά.

Ο συγκεκριμένος σωλήνας μπορεί να παραχθεί σε λεπτές διατομές, κάτω από τα όρια των διελασμένων σωλήνων. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η απουσία ραφών. Ακόμη, κρατά την εξωτερική και την εσωτερική διάμετρο σε κοντινά όρια και το επιφανειακό φινίρισμα ήταν καλό. Από την άλλη, τείνει να παράγει ιδιάζουσες οπές, γεγονός το οποίο προκαλεί κυμαινόμενο πάχος κατά μήκος της περιφέρειας, όταν η τυπική ανοχή του σφάλματος πάχους σε κάθε σημείο είναι το 10% της ονομαστικής. Ένας τρόπος να αντιμετωπισθεί αυτό το πρόβλημα είναι να χρησιμοποιηθεί σαν αρχικό κομμάτι σωλήνας ο οποίος έχει

παραχθεί μέσω διέλασης διαμέσου του ειδικού τύπου μήτρας του σχήματος (????), ωστόσο σε αυτήν την περίπτωση του τελικό προϊόν δεν είναι πράγματι δίχως ραφές.

Λόγω του ότι η όλη διαδικασία περιλαμβάνει εργασία εν ψυχρώ, ο ελκυσόμενος σωλήνας είναι κατάλληλος τόσο για μη θερμικά κατεργασμένα όσο και για θερμικά κατεργασμένα υλικά. Στην περίπτωση των μη θερμικά κατεργασμένων παρέχεται σε συγκεκριμένο βαθμό σκληρότητας.

Σωλήνες μη κυκλικής διατομής κατασκευάζονται προσδίδοντας στον αρχικό σωλήνα την απαραίτητη διάμετρο και το κατάλληλο πάχος και εν συνεχεία οδηγώντας τον διαμέσου μήτρας η οποία διαμορφώνει το τελικό προφίλ.

2.3.3 Συγκολλημένος Σωλήνας (*welded tube*)

Πρόκειται για την φθηνότερη μέθοδο κατασκευής σωλήνων. Λωρίδα η οποία έχει επεξεργασθεί εν ψυχρώ, ρολάρεται σε κυκλικό σχήμα και εν συνεχεία τροφοδοτείται σε κεφαλή συγκόλλησης προκειμένου να παραχθεί το τελικό προϊόν. Τέτοιου είδους σωλήνες παράγονται σε μεγάλα μήκη από μη θερμικά κατεργασμένη σπειροειδή λωρίδα (κράματος των σειρών 3xxx ή 5xxx). Ένα μεγάλο μέρος της αγοράς τέτοιος σωλήνας είναι οι σωλήνες άρδευσης.

3 ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΟΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥΣ

Τα κράματα αλουμινίου, τα οποία συνήθως αποκαλούνται ελαφριά κράματα, αναπτύχθηκαν προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή του καθαρού αλουμινίου, το οποίο είναι πολύ όλκιμο και ανθεκτικό σε διάβρωση. Σε αντίθεση με τα κράματα σιδήρου – άνθρακα (χάλυβας), τα κράματα αλουμινίου απαιτούν μικρή ποσότητα θερμικής ισχύος για την παραγωγή τους.

Φαίνεται σημαντικό να παρατηρήσουμε πως τα κράματα αλουμινίου απαιτούν πολύ μικρές ποσότητες προσθέτων. Τα βασικά συστατικά που χρησιμοποιούνται στα κράματα είναι το μαγνήσιο, το πυρίτιο, ο ψευδάργυρος, ο χαλκός και το μαγγάνιο. Το νικέλιο, το κοβάλτιο, το χρώμιο, ο σίδηρος, το τιτάνιο και το ζirkόνιο χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα.

Οι βασικές ιδιότητες των στοιχείων αυτών είναι οι εξής:

- Το **Μαγνήσιο** μειώνει το σημείο τήξης στους 451°C (αυτός είναι ο λόγος για τον οποίο χρησιμοποιείται ως υλικό συγκολλήσεων), αυξάνει την εργασιμότητα και την αντίσταση στη διάβρωση σε αλμυρό νερό.
- Το **Πυρίτιο** αυξάνει την αντοχή και την όλκιμότητα και μειώνει το σημείο τήξης. Εάν συνδυασθεί με το μαγνήσιο επιτρέπει την σκλήρυνση μέσω καθιζήσεως.
- Ο **Ψευδάργυρος** μειώνει δραστικά την αντοχή και επιτρέπει της θερμή ή ψυχρή σκλήρυνση μέσω καθιζήσεως.
- Ο **Χαλκός** προσδίδει ακόμη μεγαλύτερη αύξησης της αντοχής και επιτρέπει την ψυχρή σκλήρυνση μέσω καθιζήσεως, αλλά μειώνει την αντίσταση στη διάβρωση, την συγκολλησιμότητα και την όλκιμότητα.
- Το Νικέλιο αυξάνει την αντοχή σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών.
- Το Τιτάνιο προσδίδει μειωμένο μέγεθος.
- Το Ζirkόνιο είναι στοιχείο σταθεροποιητής, το οποίο επηρεάζει την σκληρότητα.
- Το Χρώμιο αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση.

- Ο σίδηρος είναι συνήθως ένα πρόσμικτο το οποίο είναι δυνατόν να αυξήσει την αντοχή του καθαρού αλουμινίου εάν χρησιμοποιηθεί σε χαμηλό ποσοστό.

Ανάλογα με την διαδικασία κατασκευής, τα κράματα αλουμινίου διακρίνονται ως ακολούθως:

α) Χυτά κράματα, τα οποία πρέπει να τηχθούν ξανά και στη συνέχεια να χυτευθούν. Παραδίδονται στη μορφή ράβδων σχήματος T, οι οποίες μπορεί πολύ εύκολα να τηχθούν ξανά.

β) Σφυρηλάτα κράματα, τα οποία πρέπει να επεξεργασθούν εν θερμώ ή εν ψυχρώ χωρίς προηγουμένως να τηχθούν. Αυτό συμβαίνει σε διαδικασίες θερμής και ψυχρής εξέλασης όπως η διέλαση, η σφυρηλάτηση και η ολκή. Παραδίδονται σε μορφή πλακών ή ράβδων ανάλογα με τις παρακάτω διεργασίες:

Αναφορικά με την αντίδρασή τους στη θερμική κατεργασία τα κράματα αλουμινίου κατηγοριοποιούνται ως εξής:

α) Μη θερμικά κατεργαζόμενα κράματα, τα οποία επίσης ονομάζονται σκληρυνόμενα κράματα.

β) Θερμικά κατεργαζόμενα κράματα.

Στα μη θερμικά κατεργαζόμενα κράματα συγκαταλέγονται τα AlMn, AlMg και AlMgMn στα οποία η αντοχή αυξάνεται μέσω ψυχρής κατεργασίας, μέσω της οποίας αυξάνεται η αντοχή και μειώνεται η ολκιμότητα. Αν το υλικό θερμανθεί στους 350 °C τα κράματα επιστρέφουν στην αρχική τους κατάσταση. Η συγκόλληση επομένως προκαλεί μείωση της αντοχής στη θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη Θ.Ε.Ζ (heat affected zone).

Στην κατηγορία των θερμικά κατεργασμένων κραμάτων ανήκουν τα AlMgSi, AlZnMgCu και AlCuMg. Η θερμική κατεργασία προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή και μπορεί να διαχωρισθεί στα ακόλουθα στάδια:

- Θέρμανση στους 450 °C ή 530 °C ανάλογα με το είδος του κράματος.
- Σκλήρυνση με αέρα ή νερό
- Ωρίμανση σε θερμοκρασία δωματίου (natural ageing)

- Ωρίμανση σε θερμοκρασία η οποία κυμαίνεται μεταξύ 120 και 180 °C.

Οι επιδράσεις αυτής της επεξεργασίας εξαφανίζονται αν το υλικό θερμανθεί σε θερμοκρασία μεταξύ των 200 και 350 °C. Η θερμότητα η οποία εισάγεται από τη συγκόλληση μειώνει την αντοχή του κράματος σε τιμή η οποία εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού στην κατάσταση ανόπτησης και στο στάδιο θερμικής επεξεργασίας. Τα κράματα AlZnMg ανακτούν το μεγαλύτερο ποσοστό της αντοχής τους λόγω της διαδικασίας της φυσικής ωρίμανσης η οποία ακολουθεί την συγκόλληση.

3.1 Κατάταξη των κραμάτων

Τα κράματα αλουμινίου κατατάσσονται σε κατηγορίες είτε ανάλογα με την διαδικασία κατασκευής (χυτά και σφυρήλατα κράματα) και την θερμική κατεργασία (θερμικά και μη θερμικά κατεργασμένα κράματα), ή ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση.

Δυστυχώς αν και οργανισμός τυποποίησης ISO προσπάθησε να καθιερώσει κοινή ονοματολογία, αυτή εξακολουθεί να είναι διαφορετική σε κάθε χώρα. Ωστόσο, τα σφυρήλατα κράματα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με δύο διαφορετικούς τρόπους:

α) Σύμφωνα με αριθμητική ονοματολογία

β) Σύμφωνα με αλφαριθμητική ονοματολογία.

Το σύμβολο το οποίο δηλώνει την χημική σύνθεση ακολουθείται συνήθως από ένα άλλο σύμβολο το οποίο υποδεικνύει την διαδικασία παρασκευής.

3.1.1 Αριθμητική Ονοματολογία

Αυτός ο τύπος ονομασίας, ο οποίος προέρχεται από την Αμερική αλλά χρησιμοποιείται πλέον και στην Ευρώπη, χρησιμοποιείται για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου και αποτελείται από τέσσερα ψηφία. Η χρήση της μονάδας ως πρώτου ψηφίου δηλώνει εκείνα τα κράματα στα οποία το ποσοστό του αλουμινίου είναι μεγαλύτερο από 99%. Εάν το πρώτο ψηφίο είναι από 2 έως 8 δηλώνει το κύριο συστατικό του κράματος. Πιο αναλυτικά:

<i>Αριθμητική Ονοματολογία για Σφυρήλατα Κράματα</i>	
1xxx	καθαρό αλουμίνιο
2xxx	χαλκός
3xxx	μαγγάνιο
4xxx	πυρίτιο
5xxx	μαγνήσιο
6xxx	μαγνήσιο και πυρίτιο
7xxx	ψευδάργυρος
8xxx	άλλα στοιχεία
9xxx	δεν χρησιμοποιείται

Στο πρώτο γκρουπ του καθαρού αλουμινίου το τρίτο και το τέταρτο ψηφίο υποδηλώνουν το ποσοστό του αλουμινίου άνω του 99%. Για παράδειγμα η ονομασία 1070 δηλώνει πως το κράμα περιέχει αλουμίνιο σε ποσοστό 99.70%. Το δεύτερο ψηφία δηλώνει το επίπεδο των προσμίξεων. Ισούται με το μηδέν εφ' όσον οι προσμίξεις είναι ελεγχόμενες, ενώ μπορεί να κυμαίνεται από 1 ως 9 δηλώνοντας το επίπεδο το οποίο δεν μπορεί να ξεπερασθεί από το περιεχόμενο των προσμίξεων.

Στα υπόλοιπα γκρουπ, το δεύτερο ψηφίο ισούται με το μηδέν για το κύριο συστατικό και κυμαίνεται από 1 ως 9 για τις παραλλαγές του. Το τρίτο και τέταρτο ψηφίο ταυτοποιούν το συγκεκριμένο κράμα του γκρουπ.

Η Συνομοσπονδία Αλουμινίου (Aluminium Association) χρησιμοποιεί την αριθμητική ονοματολογία για χυτά κράματα, με την εξής έννοια:

<i>Αριθμητική Ονοματολογία για Χυτά Κράματα</i>	
1xxx	καθαρό αλουμίνιο
2xxx	χαλκός
3xxx	πυρίτιο, χαλκός και μαγνήσιο
4xxx	πυρίτιο
5xxx	μαγνήσιο
6xxx	δεν χρησιμοποιείται
7xxx	ψευδάργυρος
8xxx	κασσίτερος
9xxx	δεν χρησιμοποιείται

Στο Ηνωμένο Βασίλειο χρησιμοποιείται μία ειδική αριθμητική ονοματολογία:

α) Ένα ή δύο ψηφία χρησιμοποιούνται για σφυρήλατες διατομές. Το γράμμα N τοποθετείται πριν από τα δύο ψηφία για κράμα επεξεργασμένο εν ψυχρώ, ενώ το γράμμα H χρησιμοποιείται για θερμικά κατεργασμένα κράματα.

β) Ένα ή δύο ψηφία έπονται των γραμμάτων LM προκειμένου να δηλώσουν χυτές διατομές.

Τα Νέα Ευρωπαϊκά Πρότυπα χρησιμοποιούν το πρόθεμα AW ή AC προκειμένου για σφυρήλατα ή χυτά κράματα.

3.1.2 Αλφαριθμητική Ονοματολογία

Αυτός ο τύπος ονοματολογίας χρησιμοποιείται στις περισσότερες Ευρωπαϊκές Χώρες. Ακόμη χρησιμοποιείται στην κανονικοποίηση κατά ISO.

Κάθε κράμα καθορίζεται από μία ομάδα γραμμάτων και αριθμητικών ψηφίων τα οποία διαχωρίζονται σε δύο σετ. Το πρώτο σετ προσδιορίζει το μέταλλο «βάση», για παράδειγμα το αλουμίνιο αναφέρεται ως Al (Ιταλία, Γερμανία, Σουηδία, Αυστρία, Ελβετία, Ολλανδία, Γιουγκοσλαβία), PAl (Ιταλία - καθαρό αλουμίνιο), A (Γαλλία). Σε ορισμένες περιπτώσεις το γράμμα αυτό έπεται άλλων με τις εξής έννοιες:

- G χυτά κράματα στο χονδροειδές στάδιο (Ιταλία, Ελβετία, Ολλανδία)
χυτευμένα με άμμο (G_S), χυτευμένα με μόνιμο καλούπι (G_C), χυτευμένα με πρέσα (G_P) (Ιταλία)
- GD χυτευμένα μέσω πρέσας (Γερμανία)
- GK χυτευμένα με μόνιμο καλούπι (Γερμανία)
- K χυτά κράματα (Γιουγκοσλαβία)
- P σφυρήλατα κράματα (Ιταλία)

Το δεύτερο σετ γραμμάτων αντιπροσωπεύει τα στοιχεία του κράματος. Ορισμένες φορές αυτά τα γράμματα ακολουθούνται από το ποσοστό του στοιχείου. Τα σύμβολα τα οποία εκφράζουν αυτά τα στοιχεία μορφώνονται από ένα γράμμα (Γαλλία) ή δύο (στις άλλες χώρες), Για παράδειγμα:

Χαλκός	U ή Cu
Μαγνήσιο	G ή Mg
Μαγγάνιο	M ή Mn
Πυρίτιο	S ή Si
Ψευδάργυρος	Z ή Zn

Σε ορισμένες χώρες, όπως η Ελβετία και η Ιταλία, ορισμένα κράματα αντιπροσωπεύονται από ένα γράμμα το οποίο ακολουθείται από έναν αριθμό. Για παράδειγμα:

Peraluman 460	(αντιστοιχεί στο 5083)
Peraluman 500	(αντιστοιχεί στο 5086)
Estrudal 050	(αντιστοιχεί στο 6060)
Anticodoral 100	(αντιστοιχεί στο 5351)

Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτές η ονομασίες χρησιμοποιούνται μόνο σε εμπορικές συναλλαγές και δεν αναγνωρίζονται από διεθνείς οργανισμούς.

3.1.3 Ονοματολογία Σταδίου Παρασκευής

Το μεταλλουργικό στάδιο του αλουμινίου συνήθως προσδιορίζεται με ένα σύμβολο το οποίο ακολουθεί το σύμβολο της χημικής σύνθεσης.

Τα ακόλουθα σύμβολα παρέχονται από την Συνομοσπονδία Αλουμινίου (Aluminium Association):

- **F** χονδροειδές στάδιο παρασκευής

Η κατάσταση αυτή αναφέρεται σε υλικά τα οποία έχουν μορφωθεί στο τελικό τους σχήμα μέσω θερμής επεξεργασίας, δίχως να ακολουθεί κάποιο στάδιο ψυχρής επεξεργασίας ή θερμικής κατεργασίας. Οι μηχανικές ιδιότητες δεν μπορούν να προσδιορισθούν και επομένως να εξασφαλισθούν σε αυτά τα προϊόντα.

- **O** στάδιο ανόπτησης

Αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία έχουν ανοπτηθεί πλήρως μέσω θέρμανσης. Αυτό είναι το περισσότερο όλκιμο στάδιο γι αυτό και η αντοχή είναι αρκετά χαμηλή.

- **H** στάδιο σκλήρυνσης μέσω κατεργασίας

Το στάδιο αυτό αντιπροσωπεύει εκείνα τα κράματα των οποίων η αντοχή αυξάνεται μέσω ψυχρής κατεργασίας, η οποία σε ορισμένες περιπτώσεις ακολουθείται από μαλάκυνση μέσω ανόπτησης.

- **W** ασταθές στάδιο σκλήρυνσης

Πρόκειται για ένα ασταθές μεταλλουργικό στάδιο το οποίο αντιπροσωπεύει εκείνα τα κράματα τα οποία σκληρύνονται και ωριμάζουν σε θερμοκρασία δωματίου μετά από επεξεργασία με διάλυμα. Το σύμβολο ακολουθείται από έναν αριθμό ο οποίος δηλώνει την περίοδο φυσικής ωρίμανσης (π.χ $W \frac{1}{2}$ hour)

- **T** στάδιο θερμικής κατεργασίας

Το στάδιο αυτό αντιπροσωπεύει τα προϊόντα τα οποία έχουν θερμικά κατεργασθεί με συνδυασμό των διαδικασιών που περιγράφονται στην παράγραφο 2.2.1.

Το στάδιο **H** υποδιαιρείται ως ακολούθως:

H1x στάδιο ψυχρούς επεξεργασίας

H2x στάδιο ψυχρούς επεξεργασίας και μερικής ανόπτησης

H3x στάδιο ψυχρούς επεξεργασίας και σταθεροποίησης

Το στάδιο **T** υποδιαιρείται σε κατηγορίες από T1ως T10, ωστόσο τρεις είναι αυτές που ενδιαφέρουν στον δομικό σχεδιασμό:

T4 Επεξεργασία με διάλυμα και φυσική ωρίμανση. Δεν λαμβάνει χώρα σκλήρυνση ή ακόμη και αν συμβεί δεν λαμβάνεται υπόψη από τους κανονισμούς.

T5 Ψύξη μετά από θερμική κατεργασία με αέρα (air quench) και τεχνητή ωρίμανση. Μετά την εξέλαση ή διέλαση το υλικό ψύχεται γρήγορα προκειμένου να επιτευχθεί περαιτέρω σκλήρυνση λόγω της τεχνητής ωρίμανσης.

T6 Επεξεργασία με διάλυμα και τεχνητή ωρίμανση.

Η T6 είναι η πλήρως θερμικά κατεργασμένη κατάσταση (μέγιστη αντοχή). Η T4 είναι περισσότερο όλκιμη και επιλέγεται όταν η εργασιμότητα είναι καθοριστικός παράγοντας. Η T5 επιλέγεται για λεπτές διατομές η οποίες θα παρουσίαζαν σημαντική παραμόρφωση εφ' όσον υπόκειντο σε θερμική κατεργασία μέσω ύδατος (water quench).

Οι πρόσφατοι κανονισμοί κάνουν διάκριση μεταξύ υλικών τα οποία δεν υπόκεινται σε διαδικασία εξομάλυνσης μετά την θερμική επεξεργασία και σε εκείνα τα οποία υπόκεινται. Για ελάσματα ή φύλλα η προηγούμενη κατάσταση υποδεικνύεται προσθέτοντας τα ψηφία 51 στο βασικό όνομα T4 ή T6, ενώ για διελασμένες διατομές ή ελκυσμένους σωλήνες τα πρόσθετα ψηφία είναι 510. Στην πράξη, αυτός είναι ένας μάλλον ακαδημαϊκός διαχωρισμός αφού οι ίδιες ιδιότητες συνήθως αντιστοιχούν και στις δύο καταστάσεις. Γι αυτό το λόγο οι σχεδιαστές δεν υποπέφτουν σε σημαντικό σφάλμα γράφοντας απλώς T4 ή T6.

3.2 Χαρακτηριστικά των Διαφόρων Τύπων Σφυρήλατων Κραμάτων

Τα γενικά χαρακτηριστικά των επτά πρώτων τύπων σειρών κραμάτων συνοψίζονται στον ακόλουθο πίνακα. (???)

Εκείνα που χρησιμοποιούνται περισσότερο είναι οι σειρές 5xxx και 6xxx.

3.2.1 Μη θερμικά κατεργασμένα κράματα

- Σειρά 1xxx

Τα υλικά της σειράς αποτελούνται από καθαρό αλουμίνιο σε μία ποικιλία βαθμών «καθαρότητας». Το καθαρό αλουμίνιο έχει χαμηλή ανθεκτικότητα καθώς η μέγιστη εφελκυστική αντοχή του είναι της τάξεως των 150 N/mm². Επιλέγεται όταν η αντίσταση στη διάβρωση είναι καθοριστικός παράγοντας όπως σε χημικά εργοστάσια. Όσο υψηλότερη είναι η καθαρότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η αντοχή σε διάβρωση αλλά μικρότερη η . Στις καταστάσεις O ή F το καθαρό αλουμίνιο είναι σχετικά μαλακό και χρησιμοποιείται όταν απαιτείται μεγάλη εργασιμότητα. Η περισσότερο όλκιμη αντοχή είναι αυτή της “super-purity” (99.99% pure aluminium), η οποία παράγεται από μέταλλο χαμηλής ποιότητας μέσω μίας περαιτέρω διαδικασίας ραφινάρισματος.

- Σειρά 3xxx

Η σχετικά χαμηλή περιεκτικότητα σε μαγγάνιο αυτών των κραμάτων, τα οποία μερικές φορές περιέχουν μαγνήσιο ως πρόσθετο, τα καθιστά κατά το ήμισυ ανθεκτικά σε σχέση με το καθαρό αλουμίνιο. Ωστόσο, διατηρούν πολύ καλή αντίσταση στην διάβρωση. Η εφελκυστική αντοχή ανέρχεται στα 200 N/mm² ή περισσότερο. Στις κατασκευές η κύρια εφαρμογή (στο μέγιστο βαθμό σκληρότητας) είναι η κατασκευή προφίλ φύλλων, τα οποία χρησιμοποιούνται στις επικαλύψεις κτιρίων και άλλων κατασκευών. Οι λωρίδες σειράς 3xxx χρησιμοποιούνται επίσης για την κατασκευή συγκολλημένων σωλήνων.

- Σειρά 4xxx

Η σειρά αυτή κραμάτων Al-Si παραλείπονται από τον προηγούμενο πίνακα διότι σπάνια εμφανίζονται σε μορφή δομικών μελών. Χρησιμοποιούνται για χυτές διατομές και συγκολλημένο καλώδιο πλήρωσης. Κάποτε οι αρχιτεκτονικές διατομές παράγονταν κατά

ένα μέρος από υλικό αυτού του τύπου, λόγω του ελκυστικού σκοτεινού φινιρίσματος που προκύπτει λόγω της φυσικής ανοδίσωσης.

- Σειρά 5xxx

Αυτές αντιπροσωπεύουν την κύρια δομική χρήση των μη θερμικά κατεργασμένων καρμάτων. Η περιεκτικότητα σε Μαγνήσιο ποικίλλει από 1 ως 5%, συχνά με την προσθήκη Μαγγανίου, παρέχοντας μία ποικιλία από διαφορετικές αντοχές και ολκιμότητες προκειμένου να προσαρμοστούν σε διάφορες εφαρμογές. Η αντίσταση σε διάβρωση είναι συνήθως άριστη, αν και είναι πιθανό για τους ανθεκτικότερους τύπους να υπόκεινται σε ασυνήθιστους τύπους διάβρωσης όταν λειτουργούν σε θερμό περιβάλλον. Η σειρά 5xxx εμφανίζεται συνήθως σε φύλλα ή ελάσματα. Στα κατώτερα μέλη της ποικιλίας, εμφανίζεται καλή εργασιμότητα και είναι η συνήθης επιλογή για εφαρμογές μεταλλικών φύλλων. Τα ανώτερα μέλη χρησιμοποιούνται σε κατασκευές συγκολλημένων ελασμάτων, τα οποία συνήθως ανήκουν στην κατάσταση F. Τέτοια ελάσματα είναι σκληρά και όλκιμα με πιθανή εφελκυστική αντοχή η οποία ξεπερνά τα 300 N/mm².

Η σειρά αυτή χρησιμοποιείται σπάνια για διελασμένες διατομές, οι οποίες είναι διαθέσιμες αποκλειστικά στις καταστάσεις O και F, με μάλλον περιορισμένη τάση διαρροής. Η ικανότητα διέλασης είναι πτωχή σε σχέση με τη σειρά 6xxx και οι πολύ λεπτές διατομές είναι αδύνατο να κατασκευαστούν. Επίσης, η χρήση του τύπου μήτρας bridge die αποκλείεται, αφήνοντας τη διέλαση σε άξονα ως τον μοναδικό τρόπο κατασκευής κοίλων διατομών. Μία αποδεκτή πρακτική είναι η χρήση επίστρωσης της σειράς 5xxx με διελασμένες διατομές της σειράς 6xxx ως σκληρυντικών.

3.2.2 Θερμικά Κατεργασμένα Κράματα

- Σειρά 2xxx

Η σειρά αυτή αποτελείται από μία πληθώρα κραμάτων τα οποία περιέχουν σίδηρο, μαζί με άλλες πιθανά στοιχεία όπως Mg, Mn και Si. Το αρχικό προϊόν του Wilm, το duralumin, ήταν ένα κράμα αυτού του τύπου. Η σειρά 2xxx συνίσταται από προϊόντα υψηλής αντοχής και περιορίζεται κατά κύριο λόγο στη βιομηχανία της αεροναυτικής. Γι αυτό και τα υλικά για αυτήν της αγορά πληρούν ειδικές προδιαγραφές, με συνεπαγόμενο αυξημένο κόστος.

Στην περίπτωση της φυσικά ωριμασμένης κατάστασης T4, τα κράματα αυτά διαθέτουν μηχανικές ιδιότητες παρόμοιες με εκείνες του ήπιου χάλυβα, με τυπική τάση διαρροής της τάξεως των 250 N/mm^2 , μέγιστη εφελκυστική αντοχή η οποία πλησιάζει τα 400 N/mm^2 και καλή ολκιμότητα. Στην κατάσταση T6, πλήρους ανθεκτικότητας, η τάση διαρροής και η μέγιστη τάση μπορούν να φτάσουν τα 375 N/mm^2 και 450 N/mm^2 αλλά με μειωμένη ολκιμότητα. Τα καλά μηχανικά χαρακτηριστικά της σειράς 2xxx, αντισταθμίζονται από αρκετούς αντιτιθέμενους παράγοντες, όπως χαμηλότερη αντοχή σε διάβρωση, κακή ικανότητα διέλασης, ακαταλληλότητα συγκόλλησης με ηλεκτρικό τόξο και υψηλότερο κόστος. Ωστόσο, η αντίσταση σε διάβρωση λεπτών υλικών μπορεί να βελτιωθεί χρησιμοποιώντας το στη μορφή σύνθετου φύλλου.

Η αμερικάνικες κατασκευές πολιτικού μηχανικού της δεκαετίας του 1930, ήταν όλες της σειράς κραμάτων 2xxx και έκαναν χρήση της όλκιμης κατηγορίας σκληρότητας T4. Μετά το 1945 η σειρά 2xxx αντικαταστάθηκε από την σειρά 6xxx για τέτοιες χρήσεις παρά την κατώτερη αντοχή της. Σήμερα χρησιμοποιείται περισσότερο στην αεροναυπηγική.

- Σειρά 6xxx

Τα υλικά αυτά, τα οποία κατά κύριο λόγο περιέχουν Μαγνήσιο και Πυρίτιο, χρησιμοποιούνται περισσότερο από όλες τις θερμικά κατεργασμένες σειρές κραμάτων. Συνδυάζουν την ικανοποιητική αντοχή με την καλή αντίσταση σε διάβρωση και την εξαιρετική ικανότητα διέλασης. Η επαρκής επεξεργασία με διάλυμα των διελασμένων προϊόντων μπορεί συνήθως να επιτευχθεί μέσω ψεκασμού στη μήτρα ενώ η θερμική κατεργασία με αέρα (air quenching) είναι δυνατή για κάποια κράματα. Τα 6xxx υλικά συγκολλώνται εύκολα, αλλά παρουσιάζουν σημαντικό βαθμό μαλάκυνσης στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη. Εν γένει, διαχωρίζονται στον ισχυρότερο και πιο αδύναμο τύπο.

Ο ισχυρότερος τύπος υλικού 6xxx, στην κατάσταση T6, περιγράφεται ορισμένες φορές ως ο ήπιος χάλυβας του αλουμινίου, καθώς είναι η συνήθης επιλογή για εντεινόμενα μέλη. Στην πραγματικότητα, είναι πιο αδύναμο υλικό από τον ήπιο χάλυβα με παρόμοια τάση διαρροής (250 N/mm^2) αλλά πολύ μικρότερη εφελκυστική αντοχή (300 N/mm^2). Είναι επίσης λιγότερο όλκιμο.

Ο πιο αδύναμος τύπος της σειράς 6xxx, ο οποίος δεν προσφέρεται συνήθως ως φύλλο ή έλασμα, είναι το κράμα διέλασης “par excellence”. Είναι καταλληλότερο από οποιοδήποτε άλλο κράμα για την διέλαση λεπτών διατομών και είναι κοινή επιλογή για

μέλη τα οποία λειτουργούν υπό συνθήκες χαμηλής έντασης, ειδικά όταν είναι σημαντικός παράγοντας το καλό επιφανειακό φινίρισμα. Τυπικά παραδείγματα είναι, όταν ο σχεδιασμός βασίζεται περισσότερο στην δυσκαμψία παρά στην αντοχή, ή όταν η κόπωση κρίνεται καθοριστική όπως για παράδειγμα στην κατασκευή βαγονιών.

- Σειρά 7xxx

Τα κράματα αυτά περιέχουν κυρίως ψευδάργυρο και μαγνήσιο. Όπως και η σειρά 6xxx διαχωρίζονται σε ισχυρότερο και περισσότερο αδύναμο τύπο. Ο ισχυρότερος τύπος της σειράς περιλαμβάνει τους ισχυρότερους από όλους τους τύπους κραμάτων αλουμινίου, με εφελκυστική αντοχή που φθάνει τα 550 N/mm^2 , για την κατάσταση T6. Η χρήση τέτοιων κραμάτων περιορίζεται αποκλειστικά στην αεροπλοΐα. Έχουν κατώτερη αντοχή στην διάβρωση, κακή ικανότητα διέλασης και είναι ακατάλληλα για ηλεκτρο συγκόλληση. Όπως και τα κράματα της σειράς 2xxx, τα φύλλα μπορούν να παραδίδονται σε σύνθετη μορφή προκειμένου να αντιμετωπισθεί η διάβρωση.

Ο πιο αδύναμος τύπος αυτής της σειράς, είναι μία διαφορετική πρόταση και έξω από το πεδίο της αεροναυπηγικής, είναι μία δυνατή εναλλακτική έναντι της σειράς 6xxx, ειδικά για συγκολλημένες κατασκευές. Έχει ανώτερες μηχανικές ιδιότητες από τη σειρά 6xxx και η μαλάκυνση στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (HAZ softening) στις περιοχές των συγκολλήσεων είναι λιγότερο έντονη. Ωστόσο, η αντοχή σε διάβρωση αν και αρκετά καλύτερη για τον ισχυρότερο τύπο της σειράς, δεν είναι τόσο καλή όσο αυτή των κραμάτων της σειράς 6xxx. Επίσης, υπάρχει η πιθανότητα της διάβρωσης λόγω έντασης. Η ικανότητα διέλευσης δεν συγκρίνεται με εκείνη της σειράς 6xxx, αλλά εξακολουθεί να είναι δυνατή η κατασκευή κοίλων διατομών. Ένας σημαντικός παράγοντας για τη χρήση αυτής της σειράς έναντι της 6xxx είναι η ανάγκη καλύτερης τεχνικής στην κατασκευή.

3.3 Φυσικές Ιδιότητες

Ο ακόλουθος πίνακας παρουσιάζει τις βασικές φυσικές ιδιότητες του αλουμινίου σε θερμοκρασία δωματίου και τις συγκρίνει με εκείνες του χάλυβα και του ανοξείδωτου χάλυβα.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ			
Ιδιότητες	Αλουμίνιο	Χάλυβας	Ανοξείδωτος Χάλυβας
Μέση πυκνότητα (kg/m^3)	2700	7850	7900
Σημείο Τήξης ($^{\circ}\text{C}$)	658	1450-1530	1450
Συντελεστής Γραμμικής Διαστολής ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	24×10^{-6}	12×10^{-6}	17.3×10^{-6}
Ειδική Θερμότητα (cal g^{-1})	0.255	0.12	0.12
Θερμική Αγωγιμότητα ($\text{cal cm}^{-1} \text{s}^{-1} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$)	0.52	0.062	0.035
Ηλεκτρική Αντίσταση ($\mu\Omega \text{ cm}$)	2.84	15-5	70
Μέτρο Ελαστικότητας (N/mm^2)	68500	206000	206000

Όσον αφορά στις παραμέτρους που είναι περισσότερο καθοριστικές για την δομική συμπεριφορά, μπορεί να λεχθεί ότι:

Η πυκνότητα του αλουμινίου είναι περίπου το 1/3 αυτής του χάλυβα (σε διαφορετικά κράματα κυμαίνεται από 2600 ως 2800 kg/m^3).

Το μέτρο ελαστικότητας είναι επίσης περίπου το 1/3 του χάλυβα (σε διαφορετικά κράματα κυμαίνεται από 68500 ως 74500 N/mm^2).

Ο συντελεστής θερμικής διαστολής είναι διπλάσιος από του χάλυβα (σε διαφορετικά κράματα κυμαίνεται από 19×10^{-6} ως $25 \times 10^{-6} \text{ } ^{\circ}\text{C}^{-1}$).

3.4 Μηχανικές Ιδιότητες

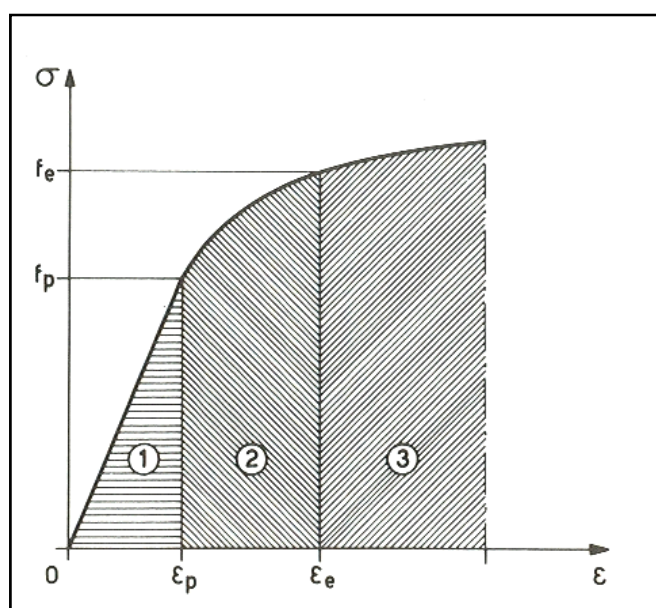
3.4.1 Προσδιορισμός Μηχανικών Ιδιοτήτων

Οι κανονισμοί αλουμινίου αναφέρονται σε δύο επίπεδα τάσης τα οποία πρέπει να είναι εφικτά προκειμένου να γίνει δεκτή η αντίστοιχη παρτίδα:

$f_{0.2}$ ελάχιστη τιμή της 0.2% τάσης διαρροής¹.

f_u ελάχιστη τιμή της εφελκυστικής αντοχής ή μέγιστη τάση.

Τα παραπάνω όρια προσδιορίζονται μέσω πειραμάτων εφελκυσμού σε δοκίμια. Μέσω της πειραματικής διάταξης κατασκευάζεται η σχέση τάσης – παραμόρφωσης η οποία εικονίζεται στο Σχ. 3.2. Η σχέση αυτή απεικονίζεται συνήθως από μία συνεχή καμπύλη στην οποία δεν είναι ευδιάκριτο το όριο διαρροής.



Σχ. 3.1: Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης.

Το διάγραμμα χωρίζεται σε:

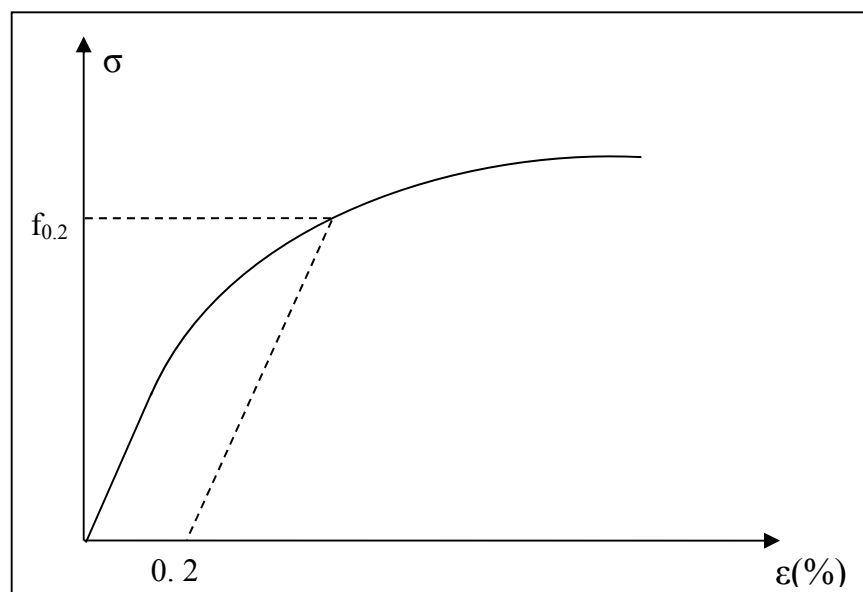
- έναν γραμμικά ελαστικό κλάδο μέχρι την τάση αναλογίας f_p (η οποία είναι η τάση που αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση της τάξεως του 0.01%)

¹ Με τον όρο αυτό αναφερόμαστε στην τάση η οποία αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση της τάξεως του 0.2% και η οποία λαμβάνεται ως η θεωρητική τάση διαρροής.

- έναν μη γραμμικό κλάδο
- και έναν κρατυνόμενο κλάδο, η κλίση του οποίου εξαρτάται από τον τύπο του κράματος.

Η τάση η οποία αντιστοιχεί σε παραμένουσα παραμόρφωση ίση με 0.2% θεωρείται ως η τάση πέρα από την οποία η συμπεριφορά του υλικού δεν είναι πλέον ελαστική (συμβατικά καλείται και όριο ελαστικότητας f_e). Η τάση $f_{0.2}$ είναι ουσιαστικά η τάση διαρροής και υπολογίζεται μέσω του γνωστού κανόνα ο οποίος εικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα (Σχ. 3.2).

Η μέγιστη τάση f_u αντιστοιχεί σε εκείνη την τιμή παραμόρφωσης στην οποία παρατηρείται το φαινόμενο του σχηματισμού «λαιμού» στο δοκίμιο. Σε αυτό το σημείο η τάση αυξάνεται στην περιοχή του λαιμού και παρατηρούνται μεγάλες παραμορφώσεις. Παράλληλα, καταγράφεται μείωση του φορτίου λόγω αστοχίας του στοιχείου, με τιμή παραμόρφωσης ίση με ϵ_u . Η τιμή αυτή χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της ολκιμότητας του υλικού, δηλαδή της ικανότητάς του να υποβάλλεται σε σημαντικές πλαστικές παραμορφώσεις δίχως να φθάνει σε αστοχία.



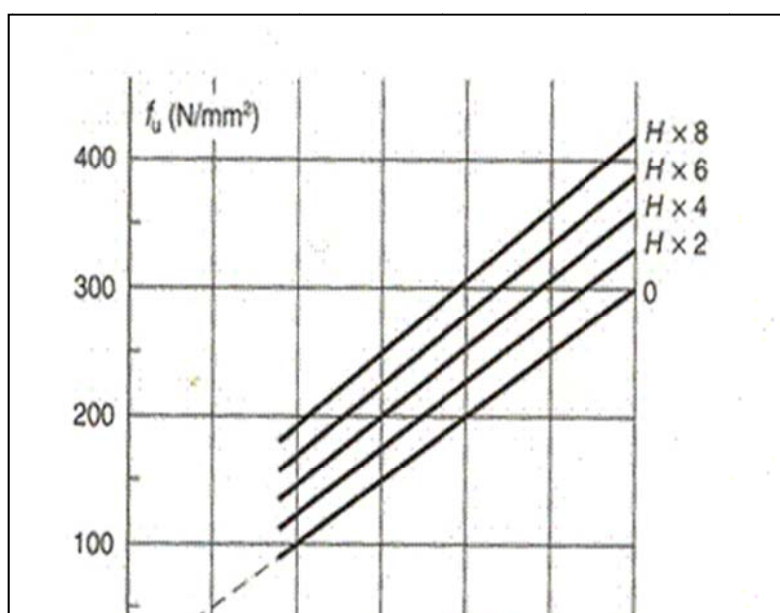
Σχ. 3.2: Υπολογισμός τάσεως διαρροής.

Η θλιπτική τάση διαρροής δεν καταγράφεται ποτέ και συνήθως υποτίθεται κατά το σχεδιασμό ίση με την εφελκυστική. Αυτή η υπόθεση αν και λογική μπορεί να αποδειχθεί λανθασμένη για ορισμένα μη θερμικά κατεργασμένα κράματα. Λόγω του φαινομένου Bauschinger η εφελκυστική τάση διαρροής πιθανώς να αυξηθεί με παράλληλη μείωση

της θλιπτικής τάσης διαρροής. Η διαφορά μεταξύ των δύο τιμών δύναται να φτάσει το 20% σε ορισμένες περιπτώσεις, κάτι το οποίο δεν είναι ανησυχητικό καθώς ο καθορισμός της τιμής της τάσης $f_{0.2}$ είναι συντηρητικός.

3.4.2 Σχέση μεταξύ σκληρότητας και εφελκυστικής αντοχής

Για υλικά σε μορφή φύλλου, υπάρχει μία σχετικά ξεκάθαρη σχέση μεταξύ της κατηγορίας σκληρότητας και της εφελκυστικής αντοχής f_u , όπως καθορίζεται από τον κανονισμό BSEN.515.



Σχ. 3.3: Σχέση μεταξύ σκληρότητας και αντοχής.

Η μεγαλύτερη κατηγορία σκληρότητας (H18, H28, H38), η οποία ονομάζεται και Hx8, περιγράφεται ως η μεγαλύτερη κατηγορία σκληρότητας που παράγεται φυσιολογικά. Για κάθε κράμα προσδιορίζεται σε όρους του ποσοστού κατά το οποίο η τάση f_u ξεπερνά την τάση f_{u0} για το ίδιο κράμα στην κατάσταση ανόπτησης O. Η ενδιάμεσες σκληρότητες καθορίζονται εν συνεχεία, θεωρώντας διαμερισμό σε ίσα τμήματα μεταξύ των δύο ακραίων καταστάσεων (O και Hx8). Η προκύπτουσα τιμή για την τάση f_u δίνεται από την ακόλουθη έκφραση (η οποία γραφικά αποδίδεται από το Σχ. 3.3):

$$f_u = P f_{u0} + Q \quad (3.1)$$

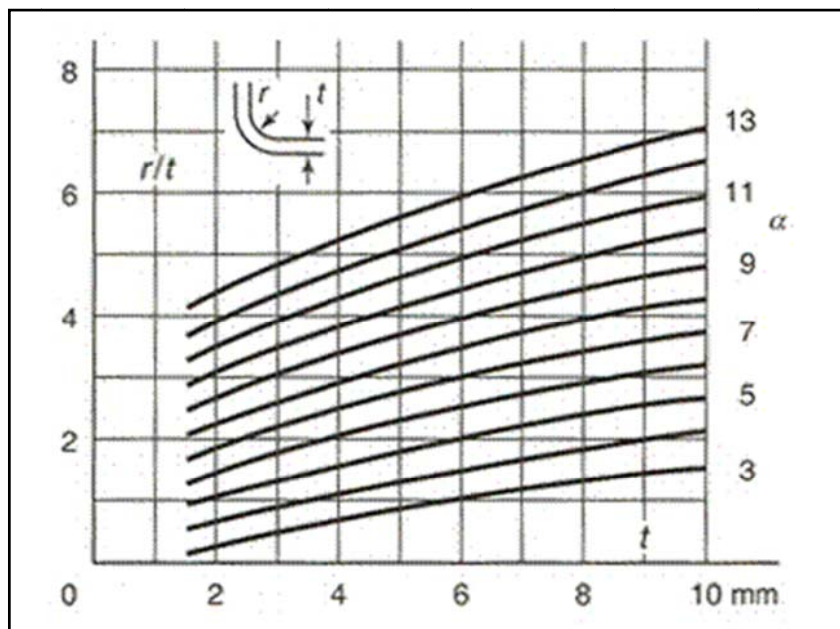
όπου οι συντελεστές Q και P αποτελούν συνάρτηση της θερμοκρασίας και δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα.

Συντελεστές P και Q		
Σκληρότητα	P	Q (N/mm ²)
O	1.00	0
H12, H22, H32	1.03	20
H14, H24, H34	1.06	40
H16, H26, H36	1.09	60
H18, H28, H38	1.12	80

3.4.3 Ελάχιστη Ακτίνα Καμπυλότητας

Η καμψιμότητα επίπεδων προϊόντων από αλουμίνιο ποικίλει ανάλογα με τον τύπο κράματος. Το πρόβλημα που τίθεται είναι ποια είναι η ελάχιστη τιμή της ακτίνας καμπυλότητας (r), συναρτήσει της σκληρότητας και του πάχους (t). Μία μέθοδος εκτίμησης του λόγου r/t είναι η εξής:

Για δοσμένο πάχος η ελάχιστη ακτίνα καμπυλότητας τόξου 90° μπορεί να προσδιορισθεί με τη βοήθεια του Σχ. 3.4, το οποίο δίνει καμπύλες του λόγου r/t σε συνάρτηση με το πάχος t .



Σχ. 3.4: Προσεγγιστική μεταβολή του λόγου r/t σε συνάρτηση με το πάχος t , για γωνία κάμψης 90° επίπεδου υλικού.

Η κατάλληλη καμπύλη εξαρτάται από τον συντελεστή ευκαμψίας α , ο οποίος δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα:

Υπολογισμός του Συντελεστή Ευκαμψίας α για Επίπεδα Υλικά						
Κράμα α	Κατηγορία Σκληρότητα ς	α	Κατηγορία Σκληρότητα ς	α	Κατηγορία Σκληρότητα ς	α
1200	O	3	H12	5	H14	6
3103	O	4	H12	5	H14	6
5251	O	5	H22	6	H24	7
5154A	O	6	H22	8	H24	9
5083	O	6	H22	8	H24	10
6061	T4	8	T6	11		
6082	T4	9	T6	13		

Οι καμπύλες αυτές ικανοποιούν την εξίσωση:

$$\frac{r}{t} = A + B\sqrt{t} \quad (3.2)$$

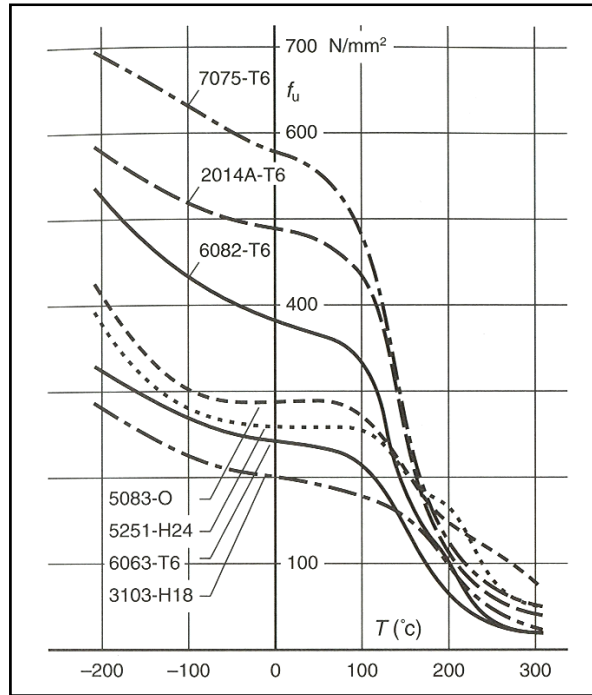
όπου $A=0.3\alpha - 1.7$ και $B=0.08\alpha + 0.5$ και t το πάχος σε mm.

Οι καμπύλες του σχήματος αφορούν σε ορθές γωνίες κάμψης. Για γωνίες $> 90^\circ$ η ελάχιστη καμπυλότητα θα αυξηθεί, ειδικά για μεγαλύτερες σκληρότητες.

3.4.4 Μεταβολή της Αντοχής με την Θερμοκρασία

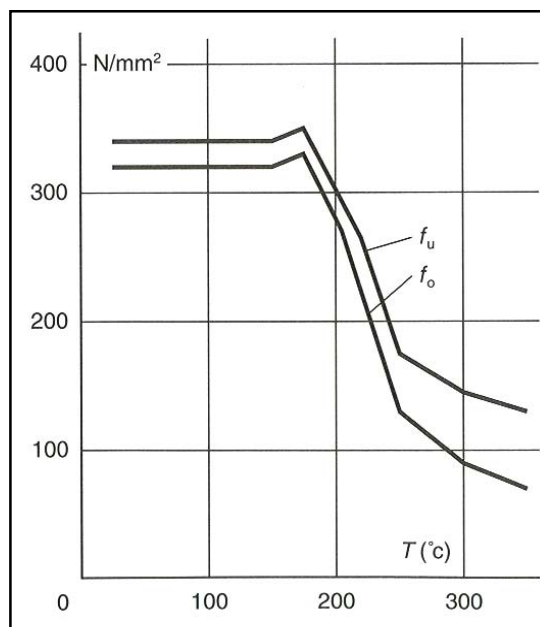
Μία από τις αδυναμίες που παρουσιάζει το αλουμίνιο ως δομικό υλικό είναι η δραστική μείωση της αντοχής με τη θερμοκρασία. Από την άλλη, παρουσιάζει το πλεονέκτημα της σταθερής βελτίωσης των ιδιοτήτων του με την μείωση της θερμοκρασίας, δίχως να παρουσιάζει τα προβλήματα ψαθυρής θραύσης που συναντώνται στο χάλυβα.

Το Σχ. 3.5 απεικονίζει την διακύμανση της εφελκυστικής αντοχής με την θερμοκρασία (T) για διάφορους τύπους κραμάτων. Οι καμπύλες σχεδιάστηκαν με βάση στοιχεία που παραχωρήθηκαν από την Ομοσπονδία Αλουμινίου (Aluminium Federation), από πειράματα σε δοκίμια που κρατήθηκαν σε συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες. Η μείωση της αντοχής με την θερμοκρασία είναι ένας σημαντικός παράγοντας στον σχεδιασμό των υπερηχητικών αεροσκαφών και ειδικά κράματα υψηλής αντοχής σχεδιάστηκαν για τον περιορισμό του φαινομένου.



Σχ. 3.5: Μεταβολή της εφελκυστικής αντοχής με τη θερμοκρασία.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει επίσης η μείωση της αντοχής μετά από σχετικά βραχυπρόθεσμη έκθεση σε αυξημένη θερμοκρασία (Σχ. 3.6). Το γεγονός αυτό είναι καθοριστικό στον τομέα της πυρασφάλειας των κατασκευών.

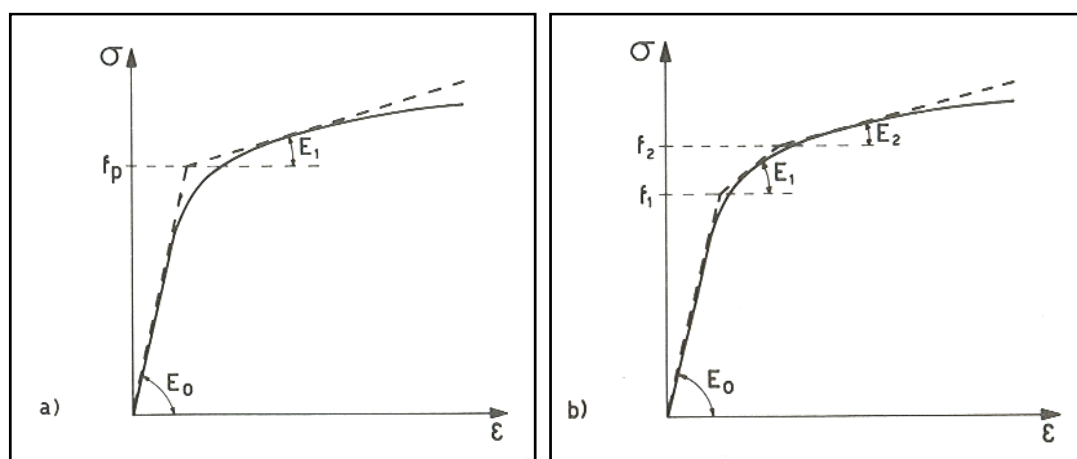


Σχ. 3.6: Μεταβολή των ιδιοτήτων σε μετά από δίωρη έκθεση σε αυξημένη θερμοκρασία για υλικό 6082-T6. ($f_o=f_{0,2}$)

3.5 Καμπύλες Τάσης – Παραμόρφωσης

3.5.1 Γενικά

Το σχήμα της καμπύλης τάσεως – παραμόρφωσης ($\sigma - \epsilon$) δεν υπεισέρχεται απευθείας στο σχεδιασμό, είναι ωστόσο χρήσιμο για τον μηχανικό να έχει μία αίσθηση αυτής της σχέσης. Η απλούστερη μέθοδος για την προσομοίωσή της είναι μέσω ενός διγραμμικού διαγράμματος (Σχ. 3.7(a)).



Σχ. 3.7: Προσέγγιση σχέσης $\sigma - \epsilon$ a) μέσω διγραμμικού διαγράμματος b) μέσω τριγραμμικού διαγράμματος.

Το πρώτο τμήμα του διαγράμματος αντιστοιχεί στον ελαστικό κλάδο και έχει κλίση ίση με το μέτρο ελαστικότητας E_0 . Το δεύτερο τμήμα του διαγράμματος αντιπροσωπεύει τον κρατυνόμο κλάδο και έχει κλίση ίση με το επαπτόμενο μέτρο E_1 . Η τομή των δύο κλάδων δίνει την συμβατική τιμή του ορίου αναλογίας f_p .

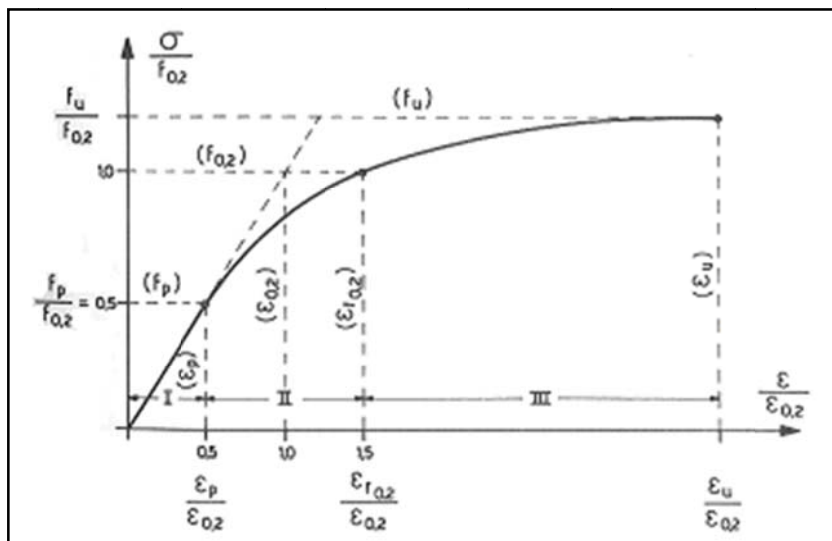
Η παραπάνω προσέγγιση μπορεί να βελτιωθεί αν προστεθεί ένα ενδιάμεσο γραμμικό τμήμα στο σημείο μετάβασης από την ελαστική στην πλαστική περιοχή. Το τριγραμμικό πλέον διάγραμμα χαρακτηρίζεται από τρία μέτρα ελαστικότητας E_0, E_1, E_2 (Σχ. 3.7(b)).

3.5.2 Εμπειρικές Σχέσεις Τάσης – Παραμόρφωσης

Υπάρχουν δύο τύποι τέτοιων σχέσεων, αυτές της μορφής $\sigma = \sigma(\epsilon)$ και εκείνες της μορφής $\epsilon = \epsilon(\sigma)$. Στις πρώτες διακρίνει κανείς τρία τμήματα κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί στους τρεις κλάδους για τους οποίους έγινε λόγος στην παράγραφο 3.4.1, δηλαδή τον γραμμικά ελαστικό, τον μη γραμμικά ελαστικό και τον κρατυνόμο κλάδο.

Τα μοντέλα Baehre και Mazzolani τα οποία περιγράφονται ακολούθως είναι της μορφής $\sigma = \sigma(\varepsilon)$, ενώ το μοντέλο Ramberg – Osgood είναι της μορφής $\varepsilon = \varepsilon(\sigma)$.

3.5.3 Μοντέλο Baehre



Σχ. 3.8: Μοντέλο Baehre

Ο νόμος $\sigma - \varepsilon$ για κάθε μία από τις τρεις περιοχές του Σχ. 3.1 δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

- **Γραμμικά Ελαστική Περιοχή**

$$\text{για } 0 < \varepsilon/\varepsilon_{0.2} \leq \varepsilon_p/\varepsilon_{0.2} \text{ ή } \varepsilon_{\max}/\varepsilon_{0.2} \leq 0.5$$

$$\frac{\sigma}{f_{0.2}} = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{0.2}} \quad (3.3)$$

- **Μη Γραμμική Ελαστική Περιοχή**

$$\text{για } \varepsilon_p/\varepsilon_{0.2} < \varepsilon/\varepsilon_{0.2} \leq \varepsilon_{f_{0.2}}/\varepsilon_{0.2} \text{ ή } 0.5 < \varepsilon_{\max}/\varepsilon_{0.2} \leq 1.5$$

$$\frac{\sigma}{f_{0.2}} = -0.2 + 1.85 \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{0.2}} - \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{0.2}} \right)^2 + 0.2 \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{0.2}} \right)^3 \quad (3.4)$$

- **Κρατυνόμενη Περιοχή**

$$\text{για } \varepsilon_{f_{0.2}}/\varepsilon_{0.2} < \varepsilon/\varepsilon_{0.2} \leq \varepsilon_u/\varepsilon_{0.2} \text{ ή } 1.5 < \varepsilon_{\max}/\varepsilon_{0.2} \leq \varepsilon_u/\varepsilon_{0.2}$$

$$\frac{\sigma}{f_{0.2}} = \frac{f_u}{f_{0.2}} - 1.5 \left(\frac{f_u}{f_{0.2}} - 1 \right) \frac{\varepsilon_{0.2}}{\varepsilon} \quad (3.5)$$

όπου:

$f_{0.2}$ η τάση που αντιστοιχεί σε στο όριο ελαστικότητας

$\varepsilon_{0.2} = f_{0.2}/E$

ε_u η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση f_u

ε_p η παραμόρφωση που αντιστοιχεί στο όριο αναλογίας

ε_{\max} η μέγιστη τιμή της παραμόρφωσης στην ακραία ίνα καμπτόμενης διατομής.

3.5.4 Μοντέλο Mazzolani

Στο μοντέλο αυτό η τάση f_p η οποία αντιστοιχεί στο όριο αναλογίας προσδιορίζεται μέσω της σχέσεως:

$$f_p = f_{0.2} \left(1 - \left(1 - \frac{f_{0.1}}{f_{0.2}} \right) \right) \quad (3.6)$$

Η αντίστοιχη παραμόρφωση ε_p προσδιορίζεται ως:

$$\varepsilon_p = f_p / E \quad (3.7)$$

Ο εκθέτης m ο οποίος χρησιμοποιείται στη σχέση (3.6), δίνεται από την πειραματικά επιβεβαιωμένη εξίσωση:

$$m = 2.30 - \frac{f_{0.2}}{f_{0.1}} 1.75 \quad (3.8)$$

Το όριο ελαστικότητας f_e λαμβάνεται ίσο με $f_{0.2}$ και η αντίστοιχη παραμόρφωση υπολογίζεται μέσω της σχέσεως:

$$\varepsilon_e = 0.002 + f_{0.2} / E \quad (3.9)$$

Οι αδιάστατες σχέσεις για κάθε μία από τις τρεις περιοχές εκφράζονται μέσω των ακόλουθων σχέσεων:

- **Γραμμικά Ελαστική Περιοχή**

$$\begin{aligned} \text{για } 0 < \sigma/f_p < 1 : 0 < \varepsilon/\varepsilon_p < 1 \\ \sigma/f_p &= \varepsilon/\varepsilon_p \end{aligned} \quad (3.10)$$

- **Μη Γραμμική Ελαστική Περιοχή**

$$\begin{aligned} \text{για } 1 < \sigma/f_p < \sigma_1/f_p : 1 < \varepsilon/\varepsilon_p < \varepsilon_1/\varepsilon_p \\ \sigma/f_p &= \varepsilon/\varepsilon_p - \beta(\varepsilon/\varepsilon_p - 1)^\alpha \end{aligned} \quad (3.11)$$

όπου

$$\begin{aligned} \sigma_1/\sigma_p &= \frac{f_c}{f_p} = \left(1 - \left(1 - \frac{f_{0.2}}{f_{0.1}} \right)^m \right)^{-1} \\ \varepsilon_1/\varepsilon_p &= \frac{\varepsilon_c}{\varepsilon_p} = \left[1 + 0.002 \frac{E}{f_{0.2}} \right] \left(1 - \left(1 - \frac{f_{0.2}}{f_{0.1}} \right)^m \right)^{-1} \end{aligned} \quad (3.12)$$

και οι εμπειρικοί συντελεστές α και β δίνονται από τις εξισώσεις:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{1 - \varepsilon_1/\varepsilon_p}{\sigma_1/\sigma_p - \varepsilon_1/\varepsilon_p} \left[1 - f_{0.2} \left(1 - \frac{f_{0.1}}{f_{0.2}} \right) \right] \\ \beta &= \frac{\varepsilon_1/\varepsilon_p - \sigma_1/\sigma_p}{(\varepsilon_1/\varepsilon_p - 1)^\alpha} \end{aligned} \quad (3.13)$$

- **Κρατυνόμενη Περιοχή**

$$\begin{aligned} \text{για } \sigma_1/f_p < \sigma/f_p < \sigma_u/f_p : \varepsilon/\varepsilon_p > \varepsilon_1/\varepsilon_p \\ \sigma/f_p &= \sigma_u/f_p - \psi e^{-\gamma(\varepsilon - \varepsilon/\varepsilon_p)} \end{aligned} \quad (3.14)$$

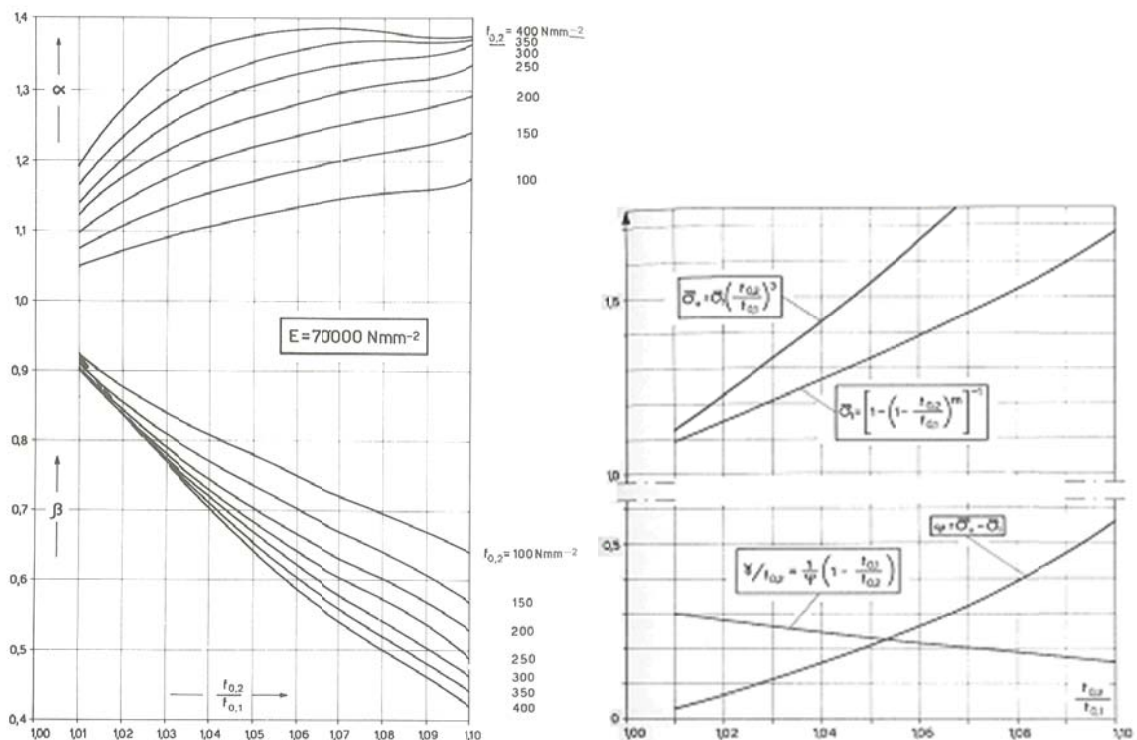
όπου:

$$\sigma_u/f_p = \sigma_1/f_p \left(\frac{f_{0.2}}{f_{0.1}} \right)^3$$

$$\psi = \sigma_u/f_p - \sigma_1/f_p = \sigma_1/f_p \left(\left(\frac{f_{0.2}}{f_{0.1}} \right)^3 - 1 \right) \quad (3.15)$$

$$\gamma = \frac{f_{0.2}}{\gamma} \left(1 - \frac{f_{0.1}}{f_{0.2}} \right)$$

Η μεταβολή των συντελεστών α , β και των σ_1/f_p , σ_u/f_p , ψ , $\frac{\gamma}{f_{0.2}}$ σε συνάρτηση με τον λόγο $f_{0.2}/f_{0.1}$ δίνεται από τα ακόλουθα σχήματα:



Σχ. 3.9: Συντελεστές Μοντέλου Mazzolani.

3.5.5 Μοντέλο Ramberg – Osgood

Μία αξιόπιστη εμπειρική σχέση μεταξύ τάσεως και παραμόρφωσης είναι η γνωστή εξίσωση Ramberg – Osgood:

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \varepsilon_0 \left(\frac{\sigma}{f_{\varepsilon_0}} \right)^n \quad (3.16)$$

όπου

E το μέτρο ελαστικότητας

f_{ε_0} το συμβατικό όριο ελαστικότητας

ε_0 η παραμένουσα τάση που αντιστοιχεί στο όριο ελαστικότητας

και το n μπορεί να εκτιμηθεί από τη σχέση:

$$n = \frac{\ln \alpha}{\ln(f_{\varepsilon_0}/f_{\varepsilon_0/\alpha})}, \alpha > 1 \quad (3.17)$$

Για την συνήθη περίπτωση όπου $\varepsilon_0 = 0.2$ και $f_{\varepsilon_0} = f_{0.2}$ οι παραπάνω σχέσεις παίρνουν την μορφή:

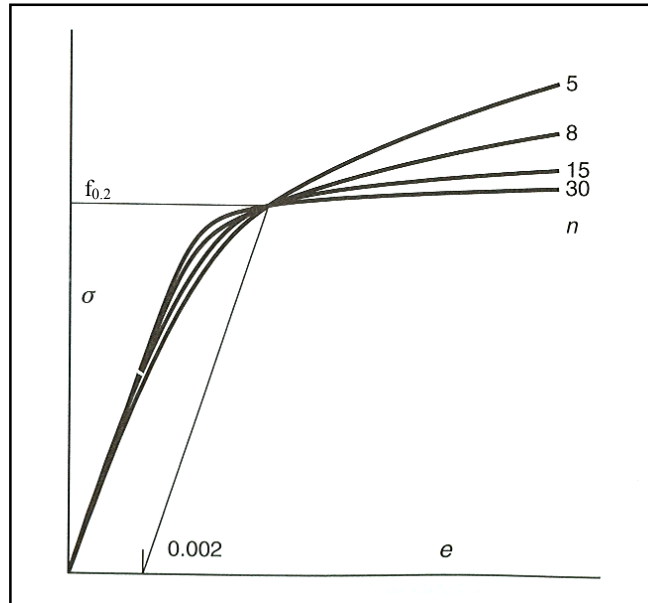
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + 0.002 \left(\frac{\sigma}{f_{0.2}} \right)^n \quad (3.18)$$

όπου:

$$n = \frac{\ln 2}{\ln(f_{0.2}/f_{0.1})} \quad (3.19)$$

Οι δύο όροι της εξισώσεως απεικονίζουν την ελαστική και την πλαστική παραμόρφωση αντίστοιχα. Όπως φαίνεται και από το Σχ. 3.10 η καμπύλη παρουσιάζει τα εξής χαρακτηριστικά για όλες τις τιμές του n .

- Υπάρχει ένας γραμμικά ελαστικός κλάδος.
- Η πλαστική παραμόρφωση παίρνει την τιμή 0.002 όταν η τάση γίνεται ίση με $f_{0.2}$.



Σχ. 3.10: Η σχέση Ramberg – Osgood και η επίδραση του n .

Ο συντελεστής n ελέγχει την καμπυλότητα μετάβασης από τον ελαστικό στον πλαστικό κλάδο. Μεγάλες τιμές του n οδηγούν σε απότομη μετάβαση, και η καμπύλη τείνει προς τη διγραμμική για $n \rightarrow \infty$, ενώ μικρές τιμές του n οδηγούν σε περισσότερο ομαλή μετάβαση. Τυπικές τιμές του συντελεστού είναι από 5 ως 40.

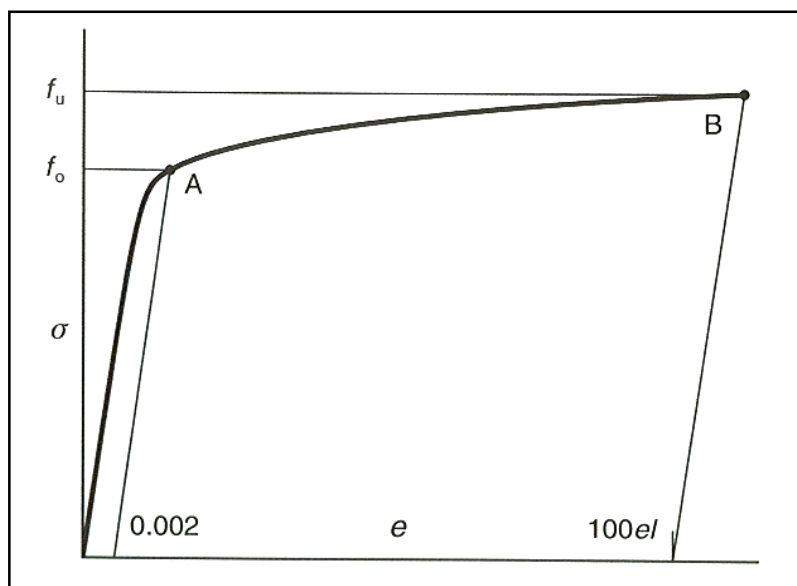
3.5.6 Καμπύλες τάσης – παραμόρφωσης για υλικά ελάχιστης αντοχής

Για οποιοδήποτε κράμα οι ιδιότητες του υλικού διαφέρουν για κάθε παρτίδα όπως επίσης και κατά μήκος μίας διατομής. Για αναλυτικούς σκοπούς, είναι πιθανώς αναγκαίο να καθορισθεί μία σχέση τάσης – παραμόρφωσης η οποία να απεικονίζει την απόκριση του υλικού ελάχιστης αντοχής, δηλαδή του υλικού που μόλις ικανοποιεί τις καθορισμένες προϋποθέσεις για τα $f_{0.2}$, f_u . Όπως φαίνεται και στο Σχ. 3.11, η καμπύλη αυτή θα πρέπει να διέρχεται από το σημείο διαρροής A (που αντιστοιχεί σε τάση $f_{0.2}$) και το σημείο αστοχίας B (που αντιστοιχεί σε τάση f_u).

Αντικαθιστώντας τις παραπάνω συνθήκες στην εξίσωση (3.18) λαμβάνουμε:

$$n = \frac{\log(5e)}{\log(f_u / f_o)} \quad (3.20)$$

όπου η παραμένουσα παραμόρφωση για τάση ίση με f_u ισούται με $100e$.



Σχ. 3.11: Κατασκευή της καμπύλης τάσεως–παραμορφώσεως για υλικά ελάχιστης αντοχής.

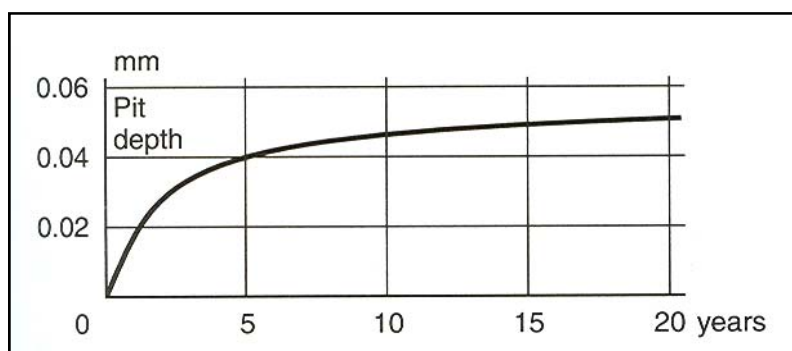
Η καμπυλότητα του διαγράμματος, η οποία καθορίζεται από την τιμή του n , εξαρτάται κατά πολύ από τον λόγο $f_u / f_{0.2}$ αλλά δεν επηρεάζεται από την τιμή e_l η οποία σχετίζεται με την παραμόρφωση αστοχίας. Μεγάλες τιμές του λόγου $f_u / f_{0.2}$ οδηγούν σε απότομη μετάβαση, ενώ μικρές τιμές οδηγούν σε περισσότερο ομαλή μετάβαση. Η πρώτη περίπτωση αντιστοιχεί σε θερμικά κατεργασμένα υλικά, ενώ η δεύτερη σε υλικά που ανήκουν στην κατηγορία T4.

3.6 Διάβρωση

Κάθε επιφάνεια από αλουμίνιο η οποία εκτίθεται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες αναπτύσσει λεπτή επίστρωση οξειδίου, η οποία είναι σκληρή, χημικά ευσταθής και σταθερά συνδεδεμένη με την μεταλλική επιφάνεια. Αν και πολύ λεπτή (με τυπικό πάχος της τάξεως του 0.005), το στρώμα αυτό αποτρέπει την περαιτέρω οξείδωση. Όταν φθαρθεί, αναμορφώνεται άμεσα, εφ' όσον υπάρχει διαθέσιμο οξυγόνο και είναι αυτό το στρώμα που δίνει στο αλουμίνιο την αντοχή του.

Η ατμοσφαιρική διάβρωση του αλουμινίου συχνά αναφέρεται και ως αλλοίωση (weathering) και διαφέρει σε μεγάλο βαθμό από το σκούριασμα του χάλυβα. Ατμοσφαιρικοί ρύποι, όπως το θειικό οξύ και το χλωριούχο νάτριο, προκαλούν την δημιουργία μικρών λάκκων, το βάθος των οποίων μπορεί να χρησιμεύσει ως μέτρο της προκαλούμενης ζημιάς. Αρχικά, το πάθος αυξάνεται με σχετικά γρήγορο ρυθμό, αλλά με

το πέρασμα του χρόνου τα προϊόντα της διάβρωσης καταπνίγουν τη διαδικασία. Μετά από πέντε περίπου έτη, σταματά η περαιτέρω διάβρωση, όπως παρατηρεί κανείς και από το Σχ. 3.12.



Σχ. 3.12: Εξέλιξη της Διάβρωσης για φύλλο Αλουμινίου τύπου 3103 σε βιομηχανική τοποθεσία.

Το βάθος των λάκκων εξαρτάται από το κράμα και το περιβάλλον. Για πολύ ανθεκτικά κράματα, όπως το 3103, οι χειρότερες περιπτώσεις φθάνουν βάθος της τάξεως των 0.04 mm σε αγροτικές τοποθεσίες και 0.16 mm σε παραθαλάσσιες βιομηχανικές περιοχές.

Η επιφάνεια του διαβρωμένου αλουμινίου μοιάζει πάντα πολύ χειρότερη από ότι είναι στην πραγματικότητα, και ο μεγάλος όγκος προϊόντων διάβρωσης παράγει μία ψευδή αίσθηση για το μέγεθος της διάβρωσης. Πειράματα εφελκυσμού σε ορισμένους τύπους κραμάτων τα οποία είχαν εκτεθεί σε μολυσμένο περιβάλλον, απέδειξαν ότι το μέταλλο χάνει μικρό μόνο μέρος της αντοχής του και εξακολουθεί να ικανοποιεί τις προδιαγεγραμμένες απαιτήσεις. Ο μόνος πιθανός λόγος ανησυχίας είναι η μείωση της ολκιμότητας η οποία μπορεί να προκύψει για λεπτά υλικά.

Το χρώμα του διαβρωμένου αλουμινίου ποικίλει από απαλό γκρι – μπλε σε αγροτικό περιβάλλον σε βαθύ γκρι ή μαύρο σε βιομηχανικές περιοχές. Όταν και οι δύο πλευρές ενός στοιχείου είναι εκτεθειμένες σε μολυσμένο περιβάλλον, η κατώτερη πλευρά εμφανίζεται περισσότερο καταπονημένη, διότι τα προϊόντα της διάβρωσης δεν ξεπλένονται από τη βροχή, όπως στην άνω επιφάνεια. Το συχνό πλύσιμο είναι σημαντικό για ανοδιωμένες επιφάνειες προκειμένου να διατηρήσουν την καλή τους εμφάνιση.

Πέρα από τον σχηματισμό λάκκων, είναι πιθανό να εμφανισθούν περισσότερο ακανόνιστες μορφές διάβρωσης σε εκτεθειμένες επιφάνειες αλουμινίου, όπως:

- Αποφλοιώση, η οποία εμφανίζεται ως ξεφλούδισμα στρωμάτων τα οποία είναι παράλληλα στην επιφάνεια του μετάλλου και είναι παρόμοια με το σκούριασμα του χάλυβα.
- Ενδοκρυσταλλική προσβολή ή διάβρωση λόγω έντασης. Αποτελεί τον πιο επικίνδυνο τύπο διάβρωσης και εμφανίζεται όταν μικρορωγμές αναπτύσσονται στις εντεινόμενες ζώνες λόγω παρουσίας των διαβρωτικών παραγόντων.

Ο πρώτος τύπος διάβρωσης είναι περισσότερο πιθανό να προκύψει στους ισχυρούς τύπους κραμάτων (2xxx και 7xxx), όταν χρησιμοποιούνται χωρίς προστασία σε εχθρικό περιβάλλον. Ο δεύτερος τύπος διάβρωσης εμφανίζεται στα ανθεκτικότερα μέλη της σειράς 5xxx (Mg>3.5%), όταν εκτίθενται για μεγάλο χρονικό διάστημα σε αυξημένες θερμοκρασίες (άνω των 70° C). Επίσης, αποτελεί πρόβλημα στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (Θ.Ε.Ζ) στις συγκολλήσεις.

Ένας πρόσθετος κίνδυνος είναι το φαινόμενο του καταπλάσματος, το οποίο εμφανίζεται όταν μία επιφάνεια αλουμινίου στερείται οξυγόνου και κατά συνέπεια συνεχίζει απεριόριστα να διαβρώνεται καθώς το στρώμα οξειδίου δεν μπορεί να αναμορφωθεί. Έναν παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι όταν φύλλα αλουμινίου βρίσκονται σε επαφή με μονωτικά υλικά και τα χημικά της μόνωσης προσβάλλουν το αλουμίνιο.

Η αντίσταση σε διάβρωση των κραμάτων αλουμινίου εκτιμάται ανάλογα με τα στοιχεία πρόσμιξης:

- Το Μαγγάνιο σε μικρά ποσοστά δεν διαφοροποιεί την αντίσταση σε διάβρωση.
- Το Μαγνήσιο σε μικρά ποσοστά (5-6%) αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση.
- Το Πυρίτιο συνήθως μειώνει την αντίσταση σε διάβρωση αν και σε συνδυασμό με το Μαγνήσιο, παρέχει αντίσταση όμοια με του καθαρού αλουμινίου.
- Ο Ψευδάργυρος σε συνδυασμό με το Μαγνήσιο παρέχει ικανή αντίσταση έναντι διαβρώσεως με κατάλληλη θερμική κατεργασία.
- Το Νικέλιο, ο Σίδηρος και ο Χαλκός ακόμη και σε συνδυασμό με τα προαναφερθέντα υλικά μειώνουν την αντίσταση σε διάβρωση.

4 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

4.1 Γενική περιγραφή

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες αποτελούν μία ομάδα χαλύβων οι οποίοι διαθέτουν ανθεκτικότητα σε διάβρωση και αυξημένη θερμοκρασία. Η περιεκτικότητα σε χρώμιο είναι τουλάχιστον 10.5% ενώ σε σίδηρο τουλάχιστον 50%. Το χρώμιο αντιδρά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας σχηματίζοντας ένα αόρατο, προστατευτικό επιφανειακό χρώμα οξειδίου του χρωμίου. Εάν υποστεί μηχανική ή χημική βλάβη, η επίστρωση αυτή επουλώνεται από μόνη της, υπό την προϋπόθεση ότι διατίθεται έστω και μικρή ποσότητα οξυγόνου.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι ανοξείδωτων χαλύβων με διαφορετική χημική σύσταση. Αυτές οι διαφοροποιήσεις στη σύσταση επηρεάζουν την αντοχή, την αντίσταση σε διάβρωση και το κόστος. Υψηλότερη περιεκτικότητα σε χρώμιο καθώς επίσης και άλλα πρόσμικτα όπως το νικέλιο και το μολυβδαίνιο βελτιώνουν την αντίσταση σε διάβρωση και διευκολύνουν την παρασκευή. Έτσι, διακρίνονται περισσότεροι από 60 διαφορετικοί τύποι χαλύβων. Ωστόσο, το σύνολο τους μπορεί να υποδιαιρεθεί σε τρεις κατηγορίες. Κάθε μία καθορίζεται από τα πρόσμικτα στοιχεία τα οποία επηρεάζουν την μικροδομή.

4.2 Ιστορία του Ανοξείδωτου Χάλυβα

Το 1913, όταν οι ερευνητές πειραματίζονταν με διαφορετικούς τύπους και ποιότητες κραμάτων χάλυβα, ο Harry Brearley από το Sheffield της Αγγλίας, ανακάλυψε τον ανοξείδωτο χάλυβα. Καθώς πειραματιζόταν με αυξανόμενα επίπεδα χρωμίου, διαπίστωσε πως για περιεκτικότητα μεγαλύτερη από 12%, ο χάλυβας αποκτούσε εξαιρετική αντίσταση σε διάβρωση.

Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1920, δύο τύποι ανοξείδωτου χάλυβα αποδείχθηκαν ιδιαίτερα εύχρηστοι:

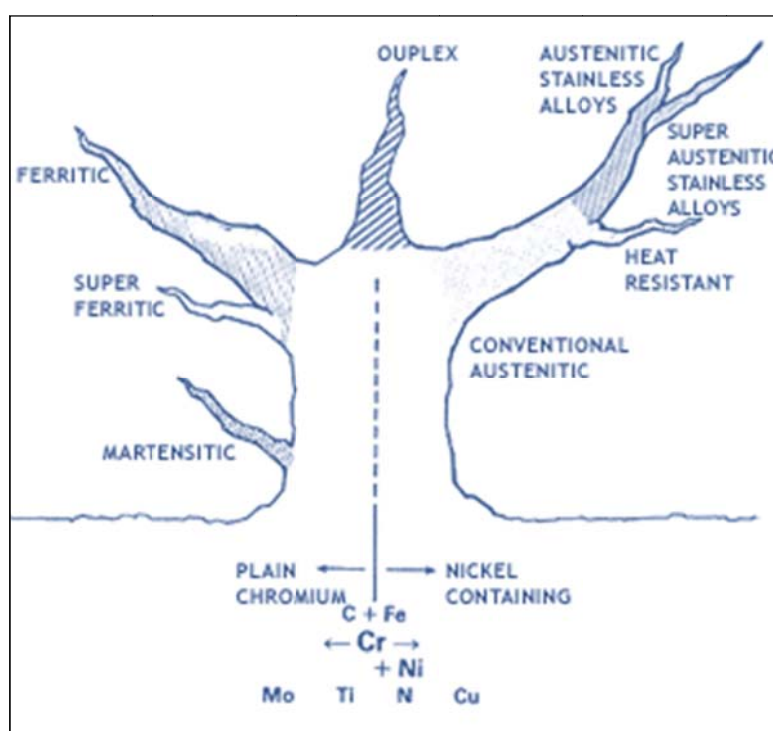
- Οι μαρτενσιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες (περιεκτικότητα σε χρώμιο 13-18%)
- και οι ωστενιτικοί χάλυβες (περιεκτικότητα σε χρώμιο 18% και σε νικέλιο 8%)

Η τεχνική εξέλιξη του χάλυβα ακολούθησε δύο δρόμους: την βαθμιαία βελτίωση των πρότυπων τάξεων οι οποίες είχαν εφευρεθεί στη δεκαετία του 1920 όπως επίσης και την ανάπτυξη εντελώς καινούριων κατηγοριών. Ωστόσο, οι βασικές ιδιότητες του

ανοξειδωτου χάλυβα, δηλαδή η αντοχή, η αντίσταση σε διάβρωση και θερμότητα καθώς επίσης και η εργασιμότητα, η αισθητική εμφάνιση και η χαμηλή συντήρηση δεν μεταβλήθηκαν λόγω των εξελίξεων.

Οι παραγωγοί ανοξειδωτου χάλυβα εξακολουθούν να διεξάγουν έρευνα ως προς την χημική σύνθεση, τις καινοτόμες τεχνολογίες παραγωγής, νέες τεχνολογίες έλασης, τον ποιοτικό έλεγχο και τα μειωμένα κόστη.

4.3 Τύποι και Κατηγορίες Ανοξειδωτου Χάλυβα



Ουσιαστικά υπάρχουν τρεις βασικοί τύποι Ανοξειδωτου Χάλυβα:

- Μαρτενσιτικοί
- Φερριτικοί και
- Ωστενιτικοί

4.3.1 Μαρτενσιτικοί Χάλυβες

Οι μαρτενσιτικοί χάλυβες είναι μαγνητικοί και περιέχουν 12%-18% χρώμιο και σχετικά υψηλή ποσότητα άνθρακα. Ήταν οι πρώτοι τύποι που κατασκευάστηκαν βιομηχανικά. Σκληρώνονται μέσω των ίδιων μεθόδων που εφαρμόζονται και για τον συνήθη

ανθρακούχο χάλυβα και βρίσκουν εφαρμογή κατά κύριο λόγο στην οικοκυρική, την αεροναυτική και εν γένει στο πεδίο του μηχανικού.

Βασικές Ιδιότητες

- Μέτρια ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- Σκληρύνονται μέσω θερμικής κατεργασίας και άρα αναπτύσσουν υψηλή αντοχή και σκληρότητα.
- Χαμηλή ικανότητα συγκόλλησης λόγω του υψηλού περιεχομένου σε άνθρακα και της σκληρυνόμενης φύσης.

Συνήθης Χρήση

Οι μαρτενσιτικοί χάλυβες χρησιμοποιούνται συνήθως σε εφαρμογές οι οποίες απαιτούν αντοχή και σκληρότητα όπως λεπίδες, χειρουργικά εργαλεία, άξονες, ακροφύσια, λαβές και ελατήρια. Ακόμη, βρίσκουν εφαρμογή στην αεροναυτική και εν γένει στο πεδίο του μηχανικού. Ο μαρτενσιτικός χάλυβας διατίθεται σε μορφή ράβδων ή λωρίδων.

4.3.2 Φερριτικοί Χάλυβες



Οι φερριτικοί χάλυβες είναι μαγνητικοί και διαθέτουν χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, έχοντας ως κύριο συστατικό το χρώμιο σε επίπεδο 13-17%.

Βασικές Ιδιότητες

- Μέτρια ως καλή ανθεκτικότητα σε διάβρωση, η οποία αυξάνεται με την περιεκτικότητα σε χρώμιο.
- Μαγνητικός, μη σκληρυνόμενος και πάντα χρησιμοποιείται μετά από ανόπτηση.
- Χαμηλή ικανότητα συγκόλλησης

Συνήθης Χρήση

Οι φερριτικοί χάλυβες χρησιμοποιούνται συνήθως σε κατασκευαστικά εργαλεία, οικιακό εξοπλισμό και αρχιτεκτονικά έργα. Κάποιες εφαρμογές είναι αλυσιδωτοί μεταφορείς, αγωγοί υπερχειλίσης και καταστρώματα.

Λόγω του ότι συνήθως βρίσκουν εφαρμογή σε λεπτές κατασκευές διατίθενται κυρίως σε μορφή φύλλων και έλικας. Λιγότερο συνήθης είναι η χρήση τους σε μορφή ελάσματος ή σωλήνα.

4.3.3 Ωστενιτικοί Χάλυβες



Οι ωστενιτικοί χάλυβες είναι μη μαγνητικοί και πέρα από χρώμιο, σε επίπεδο 18%, περιέχουν νικέλιο (8%), το οποίο αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση. Όταν το νικέλιο προστίθεται σε επαρκής ποσότητες η κρυσταλλική δομή αλλάζει σε ωστενίτη από όπου και προκύπτει η ονομασία. Σε περίπτωση που απαιτείται περισσότερη αντοχή σε διάβρωση προστίθεται μολυβδαίνιο σε ποσοστό 2-3%. Το περιεχόμενο σε άνθρακα είναι

χαμηλό (το πολύ 0.08%). Ο τύπος αυτός Ανοξειδωτου Χάλυβα είναι ο ευρύτερα χρησιμοποιούμενος.

Βασικές Ιδιότητες

- Άριστη ανθεκτικότητα σε διάβρωση
- Εξαιρετική δυνατότητα καθαρισμό και υψηλός συντελεστής υγιεινής. Πολύ καλή εργασιμότητα.
- Άριστη ικανότητα συγκόλλησης.
- Σκληραίνεται με ψυχρή κατεργασία και όχι θερμική.
- Χρησιμοποιούνται στην κατάσταση πλήρους ανόπτησης στην οποία είναι μη μαγνητικοί.
- Διαθέτει την ικανότητα να αντεπεξέρχεται τόσο σε εξαιρετικά χαμηλές (κρυογενικές) θερμοκρασίες, όσο και σε εξαιρετικά υψηλές (ως 925°C).

Συνήθης Χρήση

Οι ωστενιτικοί χάλυβες έχουν ευρύτατο πεδίο εφαρμογής. Μερικές από αυτές είναι σε κοίλα σκεύη, κατασκευαστικά εργαλεία, σφαγεία, στην παραγωγή μπύρας και αναψυκτικών και στον εξοπλισμό επεξεργασίας τροφίμων, όπου απαιτείται εύκολος καθαρισμός και ιδιότητες αντοχής σε διάβρωση.

Οι υπόλοιποι τύποι ανοξειδωτων χαλύβων περιλαμβάνουν αυτούς που σκληρύνονται μέσω κατακρήμνισης, ντούμπλεξ τύπους και τύπους με υψηλή ποσότητα προσμίκτων.

Επίδραση των Προσμίκτων στον Ανοξειδωτο Χάλυβα

Τα αποτελέσματα χρήσης προσμίκτων μπορούν να είναι είτε ωφέλιμα είτε καταστροφικά ανάλογα με την ποιότητά τους και το συνδυασμό που γίνεται.

Αλουμίνιο (Al)	Μειώνει την ευαισθησία στην σκλήρυνση λόγω ηλικίας . Συμβάλλει στην απόκτηση ιδιοτήτων λόγω επεξεργασίας με κατακρήμνιση.
Ανθρακας (C)	Το κύριο συστατικό για την αύξηση της αντοχής και την σκλήρυνση των κραμάτων και των ανθρακούχων χαλύβων, συνήθως θυσιάζοντας την ολκιμότητα.
Χρώμιο (Ch)	Αυξάνει την σκληρότητα και την αντοχή σε φθορά των κραμάτων χαλύβων. Βελτιώνει την αντοχή σε χημική διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες.
Κοβάλτιο (C)	Αυξάνει την αντοχή και την σκληρότητα και επιτρέπει υψηλότερες θερμοκρασίες θερμικής κατεργασίας. Επίσης, εντείνει την ανεξάρτητη επίδραση άλλων κυρίων προσμίκτων στην περίπτωση σύνθετων χαλύβων.
Κολόμβιο (Cb) & Ταντάλιο (Ta)	Χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό και αποτελούν σταθεροποιητικά.
Μαγγάνιο (Mn)	Μειώνει την τάση θραύσης λόγω των θερμών διεργασιών. Σκληραίνει τα κράματα και τους ανθρακούχους χάλυβες και βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα.
Μολυβδαίνιο (Mo)	Βελτιώνει την αντοχή και τη σκληρότητα, όπως επίσης και την αντοχή σε ερπυσμό και την αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Βελτιώνει ακόμη την εργασιμότητα και την αντίσταση σε διάβρωση όπως επίσης και την επίδραση άλλων προσμίκτων.
Νικέλιο (N)	Βελτιώνει την αντοχή και τη σκληρότητα δίχως να θυσιάζει την ολκιμότητα και την ανθεκτικότητα. Ακόμη, αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση και την αντοχή σε αυξημένες θερμοκρασίες.
Φώσφορος (P)	Αυξάνει την αντοχή και τη σκληρότητα και βελτιώνει την εργασιμότητα. Ωστόσο, προσδίδει αξιοσημείωτη ψαθυρότητα και συστολή λόγω ψύξης στον χάλυβα.
Σελήνιο (Se)	Βελτιώνει την εργασιμότητα.
Πυρίτιο (Si)	Ένα διοξειδωτικό το οποίο χρησιμεύει στην μόρφωση καλύτερων κόκκων και στην απόκτηση βελτιωμένης ολκιμότητας. Αυξάνει την αντοχή σε απολέπιση. Μεταδίδει μαγνητικές ιδιότητες σε κράματα με βάση το σίδηρο.
Θείο (Su)	Σχηματίζει τοπικές εύθραυστες ραβδώσεις οι οποίες βελτιώνουν

	την εργασιμότητα ενώ παράλληλα μειώνουν την ολκιμότητα και μεταβάλλουν την αντοχή, κυρίως στην εγκάρσια διεύθυνση. Μειώνουν την συγκολλησιμότητα.
Τιτάνιο (Ti)	Ένα καρβίδιο το οποίο σταθεροποιεί τους ανοξείδωτους χάλυβες προωθώντας την συγκολλησιμότητα χωρίς να θυσιάζει την αντίσταση σε διάβρωση. Ραφινάει τους κόκκους.
Βολφράμιο (W)	Αυξάνει την αντοχή, τη σκληρότητα και την ανθεκτικότητα. Προσδίδει υψηλή ικανότητα θερμικής κατεργασίας .
Βανάδιο (V)	Ραφινάει τους κόκκους και συμβάλλει στις ιδιότητες σκλήρυνσης κραμάτων χαλύβων.

4.4 Χημική Σύσταση

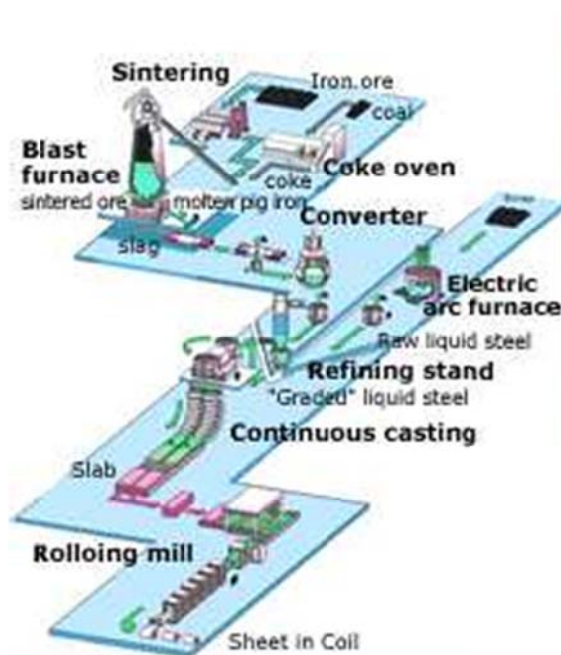
Χημική Σύσταση (%)										
Κατηγορία	C (Max)	Mn (Max)	P (Max)	S (Max)	Si (Max)	Cr	Ni	Mo	Nitrogen (Max)	Cu
J-301	0.15	2.00	0.045	0.030	1.00	16.00 - 18.00	6.00 - 8.00		0.10	
J-304	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00-20.00	8.00 - 10.50		0.10	
J-304H	0.04 - 0.1	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 - 20.00	8.00 - 10.50			
J-304L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 - 20.00	8.00 - 12.00		0.10	
J-304LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 - 20.00	8.00 - 12.00		0.10 - 0.16	
J-309	0.20	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00 - 24.00	12.00 - 15.00			
J-309S	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	22.00 - 24.00	12.00 - 15.00			
J-310	0.25	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00 - 26.00	19.00 - 22.00			
J-310S	0.08	2.00	0.045	0.030	1.50	24.00 - 26.00	19.00 - 22.00			
J-316	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 - 18.00	10.00 - 14.00	2.00 - 3.00	0.10	
J-316L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 - 18.00	10.00 - 14.00	2.00 - 3.00	0.10	
J-316LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 - 18.00	10.00 - 14.00	2.00 - 3.00	0.10 - 0.16	
J-316Ti	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	16.00 - 18.00	10.00 - 14.00	2.00 - 3.00	0.10	
J-317	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 - 20.00	11.00 - 15.00	3.00 - 4.00	0.10	
J-317L	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00 - 20.00	11.00 - 15.00	3.00 - 4.00	0.10	
J-317LN	0.030	2.00	0.045	0.030	0.75	18.00	11.00	3.00	0.10 -	

						- 20.00	- 15.00	- 4.00	0.22	
J-321	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00 - 19.00	9.00 - 12.00		0.10	
J-347	0.08	2.00	0.045	0.030	0.75	17.00 - 19.00	9.00 - 13.00			
J-409	0.030	1.00	0.040	0.020	1.00	10.50 - 11.75	0.50 max		0.030	
J-409RC	0.02	1.00	0.040	0.030	1.00	10.50 - 11.75	0.50 max		0.020	
J-409M	0.03	0.8 - 1.5	0.03	0.030	1.00	10.80 - 12.50	1.50 max		0.030	
J-410	0.15	1.0	0.040	0.030	1.00	11.50 - 13.50	0.75 max			
J-410S	0.08	1.00	0.040	0.030	1.00	11.50 - 13.50	0.60 max			
J-405	0.08	1.00	0.04	0.030	1.00	11.50 - 14.50	0.60			
J-430	0.12	1.00	0.04	0.030	1.00	16.00 - 18.00	0.75 max			
J-430Ti	0.030	1.00	0.04	0.030	1.00	16.00 - 19.00				
J-436	0.12	1.00	0.040	0.030	1.00	16.00 - 18.00		0.75 - 1.25		
J-420	0.15 min	1.00	0.040	0.030	1.00	12.00 - 14.00	0.75 max			
JBS	0.6 - 0.75	1.00	0.04	0.030	0.75	12.00 - 14.00		0.75 max		
JSL AUS(J1)	0.08	7.00 - 8.0	0.075	0.030	0.75	15.00 - 17.00	4.00 - 5.00		0.10	1.5
J3	0.08	9.00 - 10.50	0.075	0.030	0.75	14.00 - 16.00	2.00 - 3.00		0.15	2.0
J4	0.10	8.50 - 10.00	0.090	0.030	0.75	15.00 - 16.00	1.2 (max)		0.20	2.0

4.5 Μηχανικές Ιδιότητες

Κατηγορία	Εφελκυστική Αντοχή (MPa)	Τάση Διαρροής (MPa)	% Επιμήκυνση στα 50mm μήκους δοκιμίου	Σκληρότητα	
				BHN	Rb
J-301	515	205	40	217	95
J-304	515	205	40	201	92
J-304H	515	205	40	201	92
J-304L	485	170	40	201	92
J-304LN	515	205	40	201	92
J-309	515	205	40	217	95
J-309S	515	205	40	217	95
J-310	515	205	40	217	95
J-310S	515	205	40	217	95
J-316	515	205	40	217	95
J-316L	485	170	40	217	95
J-316LN	515	205	40	217	95
J-316Ti	515	205	35	217	95
J-317	515	205	40	217	95
J-317L	515	205	40	217	95
J-317LN	550	240	40	217	95
J-321	515	205	40	217	95
J-347	515	205	40	201	92
J-409	380	205	20	179	88
J-409RC	350	170	30	179	88
J-409M	450	275	20	187	90
J-410	450	205	20	217	96
J-410S	415	205	22	183	89
J-405	415	170	20	179	88
J-430	415	205	22	183	89
J-430Ti	360	175	27	179	88
J-436	450	240	22		89
J-420	690		15	217	96
JBS					
JSL AUS(J1)	550	205	40	217	95
J3	600	250	40	217	95
J4	700	350	40	217	95

4.6 Παρασκευή Ανοξειδωτου Χάλυβα



Ο Ανοξειδωτος Χάλυβας παρασκευάζεται σε φούρνο Ηλεκτρικού Τόξου όπου ηλεκτρόδια άνθρακα έρχονται σε επαφή με ανακυκλωμένα ανοξειδωτα σίδερα και διάφορα κράματα χρωμίου (και νικελίου, μολυβδαινίου κ.τ.λ). Το ηλεκτρόδιο διαπερνάται από ηλεκτρικό ρεύμα και η θερμοκρασία αυξάνει σε σημείο που τα κράματα λιώνουν.

Το λιωμένο υλικό του φούρνου μεταφέρεται εν συνεχεία σε δοχείο Απανθράκωσης με Αργό και Οξυγόνο, όπου μειώνονται τα επίπεδα άνθρακα και προστίθενται τα τελικά πρόσμικτα προκειμένου να επιτευχθεί η ακριβής χημική σύσταση. Στη συνέχεια μορφώνονται δοκίμια σε μορφή ράβδων ή πλακών. Στη συνέχεια το υλικό ελάσσεται εν θερμώ και σφυρηλατείται στην τελική του μορφή. Ορισμένα υλικά υποβάλλονται σε εν ψυχρώ έλαση προκειμένου να μειωθεί το πάχος στην περίπτωση φύλλων, ή η διάμετρος για καλώδια και ράβδους.

Οι περισσότεροι ανοξειδωτοι χάλυβες υποβάλλονται σε διαδικασία ανόπτησης (θερμική διεργασία που μαλακώνει το υλικό) και σε πλύση με οξύ η οποία απομακρύνει τη φθορά λόγω ανόπτησης και προωθεί την προστατευτική επιφανειακή επίστρωση που σχηματίζεται φυσικά.

4.7 Πλεονεκτήματα του Ανοξειδωτού Χάλυβα

Αντίσταση σε Διάβρωση

Όλοι οι Ανοξειδωτοί Χάλυβες διαθέτουν υψηλή αντίσταση σε διάβρωση. Οι χαμηλές κατηγορίες κραμάτων αντιστέκονται στη διάβρωση σε ατμοσφαιρικές συνθήκες και περιβάλλοντα καθαρών υδάτων, ενώ οι υψηλότερες βαθμίδες αντιστέκονται στα περισσότερα οξέα, αλκαλικά διαλύματα και περιβάλλοντα χλωρίου ακόμη και σε συνθήκες αυξημένης πίεσης και θερμοκρασίας.

Αντοχή σε υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες.

Ορισμένες βαθμίδες αντιστέκονται στην απολέπιση και διατηρούν υψηλή αντοχή σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, ενώ άλλες επιδεικνύουν εξαιρετική ανθεκτικότητα σε κρυογενικές θερμοκρασίες.

Ευκολία Κατασκευής

Η πλειοψηφία των Ανοξειδωτών Χαλύβων μπορεί να κοπεί, να συγκολληθεί, να μορφωθεί και να παρασκευασθεί με ευκολία.

Αντοχή

Οι ιδιότητες που αποκτώνται από την ψυχρή κατεργασία αρκετών ανοξειδωτών χαλύβων μπορούν να χρησιμεύσουν στο σχεδιασμό προκειμένου να μειωθεί το απαιτούμενο πάχος υλικού καθώς επίσης και το απαιτούμενο βάρος και κόστος. Άλλοι Ανοξειδωτοί Χάλυβες περνούν από θερμική κατεργασία αποκτώντας πολύ υψηλές ιδιότητες αντοχής. Η εργοσκληρυνόμενη ιδιότητα των ωστενιτικών χαλύβων (η οποία οδηγεί σε σημαντική αύξηση της αντοχής σε σχέση με αυτή που αποκτάται αποκλειστικά από ψυχρή κατεργασία), όπως επίσης και οι ντούμπλεξ βαθμίδες, επιτρέπουν μειωμένο πάχος σε σχέση με συμβατικές κατηγορίες χαλύβων.

Αισθητική Αξία

Ο Ανοξειδωτός Χάλυβας διατίθεται σε ποικίλα επιφανειακά τελειώματα. Συντηρείται κατά απλό και εύκολο τρόπο, οδηγώντας σε υψηλή ποιότητα και ελκυστική εμφάνιση.

Με τη βοήθεια ηλεκτρο - χημικής διαδικασίας μπορούν να παραχθούν σε πλήθος χρωμάτων, όπως χρυσό, πράσινο, μπλε και μαύρο.

Ιδιότητες Υγιεινής

Η ευκολία καθαρισμού του Ανοξειδωτου Χάλυβα τον καθιστά την πρώτη επιλογή σε νοσοκομειακές και φαρμακευτικές εγκαταστάσεις, όπως επίσης και στη βιομηχανία τροφίμων. Πρόκειται για ανθεκτικό υλικό που απαιτεί χαμηλή συντήρηση. Ακόμη, Ανοξειδωτος Χάλυβας μπορεί εύκολα να ανακυκλωθεί.

Μακροπρόθεσμη Αξία

Εάν υπολογισθούν τα κόστη κατά τη διάρκεια ζωής των υλικών, ο Ανοξειδωτος Χάλυβας συχνά αποδεικνύεται η οικονομικότερη επιλογή.

4.8 Εφαρμογές του Ανοξειδωτου Χάλυβα

Αρχιτεκτονική

Σε αυτό το πεδίο ο Ανοξειδωτος Χάλυβας βρίσκει εφαρμογή σε

- Εξοπλισμός Εξωτερικών Χώρων

Όπως παγκάκια, κάδοι απορριμμάτων, σταντ, σιντριβάνια, κιόσκια, στύλοι, κιγκλιδώματα και βρύσες.



- Χαλύβδινα Εξαρτήματα

Όπως χερούλια θυρών, πύλες, στύλοι, οροφές και κουφώματα.

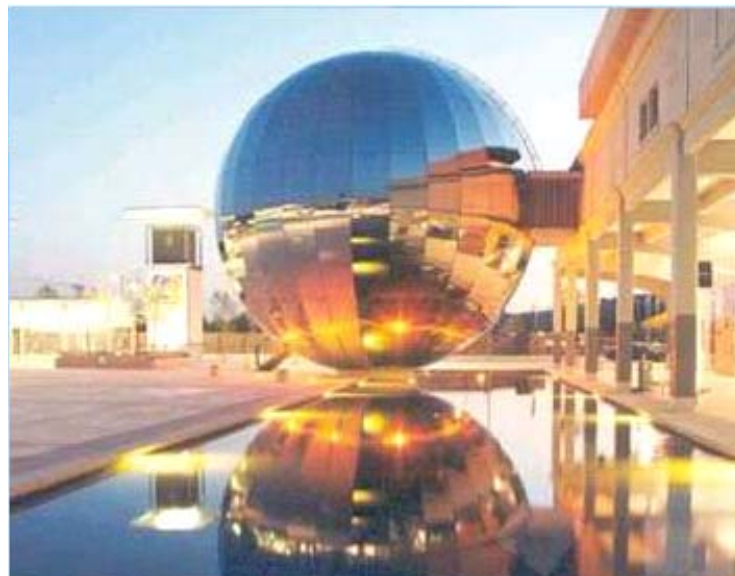


Σχ. 4.1: Οροφή από Ανοξείδωτο Χάλυβα

- Διάσημα Κτίρια

Ορισμένες από τις περιπτώσεις διάσημων κτιρίων οι ακόλουθες:

Το κτίριο Millenium Dome



Οι δίδυμοι Πύργοι της Petronas



Η πυραμίδα του Λούβρου



- Εσωτερικό Κτιρίων

Όπως σε έπιπλα εσωτερικών χώρων, ανελκυστήρες, πάγκους, κλίμακες και κιγκλιδώματα.



Σχ. 4.2: Οροφή από Ανοξείδωτο Χάλυβα



Σχ. 4.3: Κυλιόμενη Κλίμακα

Αυτοκίνηση

- Δίτροχα και τρίτροχα οχήματα

Ο Ανοξείδωτος Χάλυβας χρησιμοποιείται ολοένα και περισσότερο στην κατασκευή δίτροχων, κυρίως για εξατμίσεις και καταλυτικούς μετατροπείς, αλλά και για κατασκευαστικούς σκοπούς. Καθώς δίνεται ιδιαίτερη προσοχή για την επίτευξη χαμηλών μακροπρόθεσμων εξόδων συντήρησης, μειωμένη περιβαλλοντική επίδραση η αγορά του ανοξείδωτου χάλυβα συνεχώς βελτιώνεται.



- Τετράτροχα οχήματα



Οι μηχανικές ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα και οι ιδιότητες πυρασφάλειας όπως επίσης και η αντοχή σε κόπωση και η απορρόφηση ενέργειας κατά την κρούση σε σχέση με τον ρυθμό παραμόρφωσης, τον καθιστούν ιδανικό υλικό για την κατασκευή του αμαξώματος. Η λαμπερή επιφάνεια δεν απαιτεί γαλβανισμό ή βάνιμο και μπορεί να καθαρίζεται με πλύσιμο. Τούτο επιφέρει οικονομικά και περιβαλλοντικά οφέλη. Η αντοχή του υλικού επιτρέπει λεπτότερα εξαρτήματα, χαμηλότερο βάρος και μειωμένα κόστη καυσίμων. Το βασικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει ο ανοξείδωτος χάλυβας ως υλικό κατασκευής είναι ο εξαιρετικός συνδυασμός ανθεκτικότητας, ασφάλειας και αισθητικής.

- Εμπορικά Οχήματα & Οχήματα Έκτακτης Ανάγκης



Η εξοικονόμηση καυσίμου, η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και το μειωμένο κόστος συντήρησης είναι μερικά από τα χαρακτηριστικά βαρέων οχημάτων από ανοξείδωτο χάλυβα. Επιπλέον, εξαλείφεται το πρόβλημα της διάβρωσης.

Βιομηχανία

- Χημική Βιομηχανία



Εφαρμογές σε αυτό το πεδίο περιλαμβάνουν χημικά φίλτρα, χημικοί φούρνοι, μηχανήματα επεξεργασίας, δεξαμενές αποθήκευσης και πετροχημικά καλώδια.

- Βιομηχανία Τροφίμων

- Συσκευασίες
- Φαρμακευτική Βιομηχανία



Εφαρμογές σε αυτό το πεδίο είναι φυγοκεντρικοί διαχωριστές, μηχανήματα ανάμιξης, αντιδραστήρες, λεπίδες και ψαλίδια κ.ά.

Οικιακός Εξοπλισμός



- Έπιπλα
- Οικιακές Συσκευές
- Σκεύη Μαγειρικής

5 ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 9 ΜΕΡΟΣ 1-1 ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

5.1 Επί Μέρους Συντελεστές Ασφαλείας

Το πρότυπο αυτό δίνει γενικές οδηγίες για το σχεδιασμό κατασκευών από αλουμίνιο, οι οποίοι σχετίζονται με οριακές καταστάσεις μελών, όπως αστοχίας σε εφελκυσμό, αστοχία λόγω φαινομένων δευτέρας τάξεως, ή αστοχία των συνδέσεων.

Οι περισσότεροι κανόνες ρυθμίστηκαν με βάση πειραματικά δεδομένα προκειμένου να ληφθούν συνεπείς τιμές για τους συντελεστές ασφαλείας γ_M . Προκειμένου να αποφευχθεί η ύπαρξη πολλών τιμών για τους συντελεστές γ_M , επιλέχθηκαν δύο κατηγορίες:

- γ_{M1} εφαρμόζεται προκειμένου για τιμές αντοχής οι οποίες σχετίζονται με την τάση διαρροής $f_{0,2}$, για την οποία λόγος έγινε και στα προηγούμενα (π.χ. για φαινόμενα αστάθειας).
- γ_{M2} εφαρμόζεται προκειμένου για τιμές αντοχής οι οποίες σχετίζονται με την μέγιστη τάση σε εφελκυσμό f_u , για την οποία λόγος έγινε και στα προηγούμενα (π.χ. για την αντοχή της καθαρής διατομής σε εφελκυσμό, ή αντοχές κοχλιωτών και συγκολλητών συνδέσεων).

5.2 Ιδιότητες του Υλικού

5.2.1 Χαρακτηριστικές Τιμές

Οι ιδιότητες του υλικού αντιπροσωπεύονται από μία χαρακτηριστική τιμή X_k η οποία αντιστοιχεί σε κάποιο κλάσμα της στατιστικής κατανομής της συγκεκριμένης ιδιότητας.

Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιείται μία ονομαστική τιμή ως χαρακτηριστική. Στην περίπτωση των κατασκευών αλουμινίου η περίπτωση αυτή είναι και η συνήθης.

Σημείωση: Ως ονομαστική τιμή μπορεί να ληφθεί το κατώτατο όριο μεταβλητής (βλ. Παράγραφο 3.1 ENV 1999-1-1:1998)

Μία ιδιότητα είναι πιθανό να διαθέτει δύο χαρακτηριστικές τιμές, την ανώτατη και την κατώτατη. Στις περισσότερες περιπτώσεις μόνο η δεύτερη λαμβάνεται υπόψη. Ωστόσο,

υψηλότερες τιμές της τάσεως διαρροής $f_{0,2}$ μπορούν να χρησιμοποιούνται σε ειδικές περιπτώσεις όπου τα φαινόμενα υπεραντοχής μπορούν να οδηγήσουν σε περιορισμό της ασφάλειας.

5.2.2 Τιμές Σχεδιασμού

- Η τιμή σχεδιασμού X_d μίας ιδιότητας εν γένει ορίζεται ως:

$$X_d = X_k / \gamma_M \quad (4.1)$$

όπου γ_M είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τη συγκεκριμένη ιδιότητα του υλικού.

- Για κατασκευές από κράματα αλουμινίου, η αντοχή σχεδιασμού R_d προσδιορίζεται γενικά απ' ευθείας από τις χαρακτηριστικές τιμές των ιδιοτήτων του υλικού και από γεωμετρικά στοιχεία.:

$$R_d = R(X_k, \alpha_k, \dots) / \gamma_M \quad (4.2)$$

όπου γ_M είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για την αντοχή.

- Η χαρακτηριστική τιμή R_k καθορίζεται από πειράματα.

5.3 Τύποι κραμάτων κατά τον Ευρωκώδικα 9

Στους ακόλουθους πίνακες παρουσιάζονται οι τύποι σφυρήλατων και χυτών κραμάτων σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9. Χρησιμοποιείται η αριθμητική ονοματολογία τεσσάρων ψηφίων για την οποία έγινε λόγος στην παράγραφο 3.1.1, προηγούνται ωστόσο οι χαρακτήρες EN (από το European) και AW ή AC για σφυρήλατα ή χυτά κράματα αντίστοιχα. Επιπλέον, τα νούμερα που παρουσιάζονται στον χημικό συμβολισμό δηλώνουν το ποσοστό πρόσμιξης το οποίο δεν πρέπει να υπερβαίνεται από την ουσία στην οποία αντιστοιχούν.

Σφυρήλατα Κράματα Αλουμινίου			
Χαρακτηρισμός κράματος		Μορφή Προϊόντος	Αντοχή
Ονομασία	Χημικοί Συμβολισμοί		
EN AW- 3103	EN AW- Al Mn1	SH,ST,PL,ET	A
EN AW- 5083	EN AW- Al Mg4.5Mn0.7	SH,ST,PL,ET,SEP,ER/B,DT,FO	A
EN AW- 5052	EN AW- Al Mg2.5	SH,ST,PL	A
EN AW- 5454	EN AW- Al Mg3Mn	SH,ST,PL	A
EN AW- 5754	EN AW- Al Mg3	SH,ST,PL,FO	A
EN AW- 6060	EN AW- Al MgSi	ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW- 6061	EN AW- Al Mg1SiCu	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW- 6063	EN AW- Al Mg0.7Si	ET,EP,ER/B,DT	B
EN AW- 6005	EN AW- Al SiMg(A)	EP	B
EN AW- 6082	EN AW- Al Si1MgMn	SH,ST,PL,ET,EP,ER/B,DT,FO	B
EN AW- 7020	EN AW- Al Zn4.5MgCu	SH,ST,PL,ET,SEP,ER/B,DT	C
Υπόμνημα:		EP Διελασμένα Προφίλ	
SH Φύλλο		SEP Απλά Διελασμένα Προφίλ	
ST Λωρίδα		ER/B Διελασμένες Ράβδοι	
PL Έλασμα		DT Ελκυσμένος Σωλήνας	
ET Διελασμένος Σωλήνας		FO Σφυρήλατα	

Πίν. 5.1: Σφυρήλατα Κράματα Αλουμινίου

Χυτά Κράματα Αλουμινίου		
Χαρακτηρισμός κράματος		Αντοχή
Ονομασία	Χημικοί Συμβολισμοί	
EN AC- 42100	EN AC- Al Si7Mg0.3	B
EN AC- 42200	EN AC- Al Si7Mg0.6	B
EN AC- 43200	EN AC- Al Si10Mg(Cu)	C
EN AC- 44100	EN AC- Al Si12(b)	B
EN AC- 51300	EN AC- Al Mg5	A

Πίν. 5.2: Χυτά Κράματα Αλουμινίου

Οι διατάξεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και για άλλους τύπους κραμάτων, οι οποίοι απαριθμούνται στα πρότυπα EN ή ISO, αρκεί να διατίθενται επαρκή στοιχεία τα οποία να δικαιολογούν την χρήση των σχετικών κανόνων σχεδιασμού και παρασκευής.

5.4 Ιδιότητες του Υλικού για Σφυρήλατα Κράματα Αλουμινίου

5.4.1 Ελάχιστες Τιμές

Τα ελάχιστα όρια για την τάση διαρροής 0.2%, $f_{0.2}$, και την εφελκυστική αντοχή, f_u , για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου, για διάφορα πάχη και κατηγορίες σκληρότητας δίνονται από τον Πίν. 5.3 για προϊόντα σε μορφή φύλλου, λωρίδας ή ελάσματος, τον Πίν. 5.4 για διελασμένες ράβδους, σωλήνες και προφίλ και ελκνόμενους σωλήνες, τον Πίν. 5.5 για ηλεκτροκολλημένους σωλήνες και τον Πίν. 5.6 για forgings.

Τα ελάχιστα όρια τιμών των Πίν. 5.3 - Πίν. 5.6 μπορούν να υιοθετηθούν και ως χαρακτηριστικές τιμές σε υπολογισμούς κατασκευών που υπόκεινται σε κανονικές θερμοκρασίες κάτω των 100° C. Για υψηλότερες θερμοκρασίες εφαρμόζονται οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 9 Μέρους 1-2 για το οποίο αναφορά θα γίνει σε επόμενο κεφάλαιο.

Κράμα	Σκληρότητα	Πάχος mm		$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²	A ₅₀ Ελάχιστη παραμόρφωση θραύσης %
		από	έως			
EN AW-3103	H14	0.2	25	120	140	2
	H16	0.2	4	145	160	1
EN AW-5052	H12	0.2	4	160	210	4
	H14	0.2	2	180	230	3
EN AW-5454	O/H111	0.2	8	85	215	12
	H24/2034	0.2	25	200	270	4
EN AW-5754	O/H111	0.2	100	80	190	12
	H24/H34	0.2	25	160	240	6
EN AW-5083	O/H111	0.2	50	125	275	11
		50	80	115	270	14
	H24/H34	0.2	25	250	340	4
EN AW-6061	T4	0.4	12.5	110	205	12
	T6	0.4	12	240	290	6
EN AW-6082	T6	0.4	6	260	310	6
		6	12.5	255	300	9
		12	100	240	295	8
	T651	12	40	280	350	7
EN AW-7020	T6	0.4	12.5	280	350	7
	T651	12.5	40			9 ¹

¹Με βάση το A και όχι το A₅₀

Πίν. 5.3: Ελάχιστες τιμές της τάσεως διαρροής $f_{0.2}$ και της τάσεως εφελκυστικής αντοχής f_u για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου, για υλικά σε μορφή φύλλου, λωρίδας ή ελάσματος.

Κράμα	Μορφή Προϊόντος	Σκληρότητα	Πάχος t mm	$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²	A_{50} Ελάχιστη παραμόρφωση θραύσης %
EN AW-5083	ET,EP,ER/B	F,H112	$t \leq 200$	110	270	12
	DT	H12, H22/H32	$t \leq 10$	200	280	6
		H14, H24/H34	$t \leq 5$	235	300	4
EN AW-6060	ET,EP,ER/B	T5	$t \leq 5$	120	160	8
	EP		$5 < t \leq 25$	100	140	8
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 15$	140	170	8
	DT		$t \leq 20$	160	215	12
EN AW-6061	ET,EP,ER/B, DT	T6	$t \leq 20$	240	260	8
EN AW-6063	ET,EP,ER/B	T5	$t \leq 3$	130	175	8
	EP		$3 < t \leq 25$	110	160	7
	ET,EP,ER/B	T6	$t \leq 10$	170	215	8
	DT		$t \leq 20$	190	220	10
EN W-6005A	EP/O	T6	$t \leq 5$	225	270	8
			$5 < t \leq 10$	215	260	8
			$10 < t \leq 25$	200	250	8
	EP/H	T6	$t \leq 5$	215	255	8
			$5 < t \leq 15$	200	250	8
EN AW-6082	ET,EP,ER/B	T4	$t \leq 25$	110	205	14
	EP/O,EP/H	T5	$t \leq 5$	230	270	8
	EP/O,EP/H ET	T6	$t \leq 5$	250	290	8
			$5 < t \leq 25$	260	310	10
	ER/B	T6	$t \leq 20$	250	295	8
			$20 < t \leq 150$	260	310	8
	DT	T6	$t \leq 5$	255	310	8
			$5 < t \leq 20$	240	310	10
EN AW-7020	EP/ER/B,DT, ET	T6	$t \leq 15$	280	350	10
Υπόμνημα:				EP/O Διελασμένα Ανοιχτά Προφίλ		
EP Διελασμένα Προφίλ				ET Διελασμένος Σωλήνας DT Ελκυσόμενος		
EP/H Διελασμένα Κοίλα Προφίλ				Σωλήνας		
ER/B Διελασμένες Ράβδοι						

Πίν. 5.4: Ελάχιστες τιμές της τάσεως $f_{0.2}$ και της τάσεως f_u για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου, για διελασμένα προφίλ, σωλήνες και ράβδους και ελκυσόμενους σωλήνες.

Σημειώσεις για τον Πίν. 5.4:

1. Όπου οι τιμές σημειώνονται με έντονη γραφή, μεγαλύτερα πάχη ή/και υψηλότερες μηχανικές ιδιότητες μπορούν να επιτραπούν για ορισμένες μορφές.
2. Όπου οι τιμές της ελάχιστης παραμόρφωσης θραύσης σημειώνονται με έντονη γραφή, υψηλότερα όρια ελάχιστων τιμών μπορούν να επιτραπούν για ορισμένες μορφές ή πάχη.

Κράμα	Σκληρότητα	$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²	A ₅₀ Ελάχιστη παραμόρφωση θραύσης %
EN AW-3103	Hx65	150	170	3
	Hx85	170	190	2

Πίν. 5.5: Ελάχιστες τιμές της τάσεως $f_{0.2}$ και της τάσεως f_u για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου, για ηλεκτροκολλημένους σωλήνες.

Κράμα	Σκληρότητα	Μέγιστο Πάχος mm	Διεύθυνση	$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²	A ₅₀ Ελάχιστη παραμόρφωση θραύσης %
EN AW-5754	H112	150	Διαμήκης (L)	80	180	15
EN AW-5083	H112	150	Διαμήκης (L)	120	270	12
			Εγκάρσιος (T)	110	260	10
EN AW-6082	T6	100	Διαμήκης (L)	260	310	6
			Εγκάρσιος (T)	250	290	5

Πίν. 5.6: Ελάχιστες τιμές της τάσεως $f_{0.2}$ και της τάσεως f_u για σφυρήλατα κράματα αλουμινίου, για forgings.

5.5 Ιδιότητες του Υλικού για Χυτά Κράματα Αλουμινίου

5.5.1 Ελάχιστες Τιμές

Τα ελάχιστα όρια για την τάση διαρροής 0.2%, $f_{0.2}$, και την εφελκυστική αντοχή, f_u , για χυτές ράβδους δοκιμών από κράματα αλουμινίου, για διάφορες κατηγορίες σκληρότητας δίνονται από τον Πίν. 5.3.

Κράμα	Διαδικασία Χύτευσης	Σκληρότητα	$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²	A ₅₀ Ελάχιστη παραμόρφωση θραύσης %
EN AC-42100	μέσω άμμου	T6	190	230	2
	μόνιμο καλούπι		210	290	4
EN AC-42200	μέσω άμμου	T6	210	250	1
	μόνιμο καλούπι		240	320	3
EN AC-43200	μέσω άμμου	F	80	160	1
	μέσω άμμου	T6	180	220	1
	μόνιμο καλούπι	F	90	180	1
	μόνιμο καλούπι	T6	200	240	1
EN AC-44100	μέσω άμμου	F	70	150	4
	μόνιμο καλούπι		80	170	5
EN AC-51300	μέσω άμμου	F	90	160	3
	μόνιμο καλούπι		100	180	4

Πίν. 5.7: Ελάχιστες τιμές της τάσεως $f_{0.2}$ και της τάσεως f_u για χυτά κράματα αλουμινίου.

5.6 Διαστάσεις, μάζα και ανοχές

Λαμβάνονται από άλλα πρότυπα τα οποία καταγράφονται στις παραγράφους 1.3.1.3 και 1.3.1.4 του Ευρωκώδικα 9.

5.7 Τιμές Σχεδιασμού για σταθερές του Υλικού

Οι σταθερές του υλικού που πρέπει να υιοθετούνται στους υπολογισμούς που ορίζονται στα πλαίσια του συγκεκριμένου Ευρωκώδικα θα λαμβάνονται ως ακολούθως:

- Μέτρο Ελαστικότητας: $E=70000 \text{ N/mm}^2$
- Μέτρο Διάτμησης: $G=27000 \text{ N/mm}^2$
- Λόγος Poisson: $\nu=0.3$
- Συντελεστής Θερμικής Διαστολής: $\alpha=23 \times 10^{-6} \text{ per } ^\circ\text{C}$
- Πυκνότητα: $\rho=2700 \text{ kg/m}^3$

Για τις ιδιότητες του υλικού σε κατασκευές που υπόκεινται σε υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες σχετίζονται με πυρκαγιά εφαρμόζονται οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 9 Μέρος 1-2, στο οποίο αναφορά θα γίνει στην επόμενη παράγραφο.

5.8 Μέσα Σύνδεσης

5.8.1 Γενικά

Τα μέσα σύνδεσης πρέπει να επιλέγονται ανάλογα με την προοριζόμενη χρήση τους. Κατάλληλες διατάξεις συνδέσεως συνιστούν οι κοχλίες, συμπαγή και κοίλα πιρτσίνια, σύνδεσμοι υψηλής αντοχής, συγκολλήσεις και συγκολλητικές ουσίες.

5.8.2 Κοχλίες, Περικόχλια και Ροδέλες

Οι κοχλίες, τα περικόχλια και οι ροδέλες συμμορφώνονται με τις διατάξεις των υπαρχόντων κανονισμών ENs, prENs και των προτύπων ISO.

Τα ελάχιστα όρια για την τάση διαρροής 0.2%, $f_{0.2}$, και την εφελκυστική αντοχή, f_u , που θα πρέπει να υιοθετούνται ως χαρακτηριστικές τιμές στους υπολογισμούς δίνονται από τον Πίν. 5.8.

Υλικό	Τύπος Συνδέσμου	Τύπος Κράματος	Σκληρότητα	$f_{0.2}$ 0.2% αντοχή διαρροής N/mm ²	f_u εφελκυστική αντοχή N/mm ²
Κράμα Αλουμινίου	Συμπαγή Πιρτσίνια	5056 ^A	O	145	270
		5086	O	100	240
		6082	T4 ⁽¹⁾	-	200
			T6 ⁽¹⁾	-	295
	Κοίλα Πιρτσίνια	5154 ^A	O ή F	-	215
	Κοχλίες	6082	T6	260	310
		6061	T6	245	310
		2017 ^A	T4	250	380
		7075	T6	440	510
	Χάλυβας	Κοχλίες	4.6		240
5.6			300	500	
6.8			480	600	
8.8			640	800	
10.9			900	1000	
Ανοξείδωτος Χάλυβας	Κοχλίες	A4	A4-50	210	500
		A4	A4-70	450	700
		A4	A4-80	600	800

⁽¹⁾ Ελασμένα εν Ψυχρώ

Πίν. 5.8: Ελάχιστες τιμές της τάσεως $f_{0.2}$ και της τάσεως f_u για κοχλίες και συμπαγή και κοίλα πιρτσίνια.

5.8.3 Προεντεταμένοι Κοχλίες

Κοχλίες υψηλής αντοχής μπορούν να χρησιμοποιούνται ως προεντεταμένοι κοχλίες με ελεγχόμενη σύσφιξη, αρκεί να πληρούν τις προϋποθέσεις που ορίζονται από τους κανονισμούς ENs, prENs και τα πρότυπα ISO για προεντεταμένους κοχλίες.

Άλλοι κατάλληλοι τύποι κοχλιών μπορούν επιπλέον να χρησιμοποιηθούν ως προεντεταμένοι με ελεγχόμενη σύσφιξη, εφ' όσον συμφωνηθεί μεταξύ του σχεδιαστή και της αρμόδιας αρχής.

5.8.4 Πριτσίνια

Οι ιδιότητες του υλικού, οι διαστάσεις και οι ανοχές πριτσινίων από κράματα αλουμινίου εναρμονίζονται με τους κανονισμούς ENs, prENs και τα πρότυπα ISO (αν και όταν αυτά είναι διαθέσιμα).

Τα ελάχιστα όρια για την τάση διαρροής 0.2%, $f_{0.2}$, και την εφελκυστική αντοχή, f_u , που θα πρέπει να υιοθετούνται ως χαρακτηριστικές τιμές στους υπολογισμούς δίνονται από τον Πίν. 5.8.

5.8.5 Αναλώσιμα Υλικά Συγκολλήσεων

Τα αναλώσιμα υλικά συγκολλήσεων θα πρέπει να εναρμονίζονται με τους κανονισμούς ENs, prENs και τα πρότυπα ISO (αν και όταν αυτά είναι διαθέσιμα).

Η επιλογή συγκολλητικού μετάλλου πλήρωσης για την συνένωση διαφορετικών συνδυασμούς κραμάτων γίνεται με βάση τον Πίνακα B.5 και B.6 του prEN 1011-4. Ο Ευρωκώδικας 9 παρέχει καθοδήγηση για την επιλογή υλικού πλήρωσης μέσω των ακόλουθων πινάκων:

Τύπος Υλικού Πλήρωσης	Κράματα
Τύπος 3	3103
Τύπος 4	4043A, 4074A ⁽¹⁾
Τύπος 5	5056A, 5356, 5556A, 5183

⁽¹⁾ Η σειρά 4074A χρησιμοποιείται προκειμένου να εμποδίσει τη ρηγμάτωση του συγκολλημένου μετάλλου σε ενώσεις υψηλού ποσοστού διαλύματος και υψηλών περιορισμών. Στις υπόλοιπες περιπτώσεις η σειρά 4034A είναι προτιμότερη.

Πίν. 5.9: Τύποι Κραμάτων που χρησιμοποιούνται στον Πίν. 5.10.

Συνδυασμός Συγκολλώμενων Μετάλλων

1 ^ο Μέρος	2 ^ο Μέρος						
	Al-Si χυτά	Al-Mg χυτά	3000 σειρά κραμάτων	υπόλοιπα κράματα της σειράς 5000	5083	6000 σειρά κραμάτων	7020
7020	NR ⁽²⁾	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 4	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	5556A Τύπος 5 5556A	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 4	5556A Τύπος 5 Τύπος 4 ⁽⁴⁾
6000 σειρά κραμάτων	Τύπος 4 Τύπος 4 Τύπος 4	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 4 Τύπος 4 Τύπος 4	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 4 Τύπος 4	
5083	NR ⁽²⁾	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	5556A Τύπος 5 Τύπος 5		
υπόλοιπα κράματα της σειράς 5000	NR ⁽²⁾	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 5 ⁽³⁾ Τύπος 5			
3000 σειρά κραμάτων	Τύπος 4 Τύπος 4 Τύπος 4	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5	Τύπος 2 Τύπος 3 Τύπος 3				
Al-Mg χυτά	NR ⁽²⁾	Τύπος 5 Τύπος 5 Τύπος 5					
Al-Si χυτά	Τύπος 4 Τύπος 4 Τύπος 4						

⁽¹⁾ Τα μέταλλα πλήρωσης για συγκεκριμένο συνδυασμό των συγκολλώμενων μετάλλων προσδιορίζεται από το κελί που βρίσκεται στην τομή της αντίστοιχης γραμμής και στήλης αυτού του Πίνακα. Σε κάθε κελί δείχνεται πρώτο το μέταλλο πλήρωσης για την μέγιστη αντοχή της συγκόλλησης. Κάτω από αυτήν την τιμή σημειώνεται το μέταλλο πλήρωσης για μέγιστη αντίσταση σε διάβρωση και τέλος δείχνεται το μέταλλο πλήρωσης για αποφυγή παραμενουσών ρωγμών συγκόλλησης.

NR⁽²⁾ = Δεν συνίσταται. Η συγκόλληση κραμάτων τα οποία περιέχουν περίπου 2% ή περισσότερο Mg με υλικό πλήρωσης Al-Si ή αντίστροφα δεν συνίσταται λόγω του ιζήματος Mg₂Si που σχηματίζεται στα όρια της συγκόλλησης καθιστώντας την ψαθυρή.

....Συνέχεια του Πίν. 5.10.

⁽³⁾ Η συμπεριφορά σε διαβρωτικές συνθήκες του μετάλλου συγκόλλησης είναι πιθανό να βελτιωθεί εάν η σύστασή του είναι παραπλήσια με αυτήν των συγκολλώμενων μετάλλων και όχι σημαντικά αυξημένη. Γι αυτό το λόγο για λειτουργία σε πιθανώς διαβρωτικό περιβάλλον είναι προτιμότερο να χρησιμοποιηθεί υλικό πλήρωσης τύπου 5454 για συγκόλληση μετάλλου τύπου 5454. Ωστόσο σε ορισμένες περιπτώσεις αυτό μπορεί να γίνει εις βάρος της καλής κατάστασης της συγκόλλησης γι αυτό και είναι απαραίτητος ο συμβιβασμός.

⁽⁴⁾ Μόνο για ειδικές περιπτώσεις λόγω της μειωμένης αντοχής της συγκόλλησης και της παραμόρφωσης θραύσεως της σύνδεσης.

Πίν. 5.10: Επιλογή Μετάλλου Πλήρωσης.

5.8.6 Συγκολλητικές Ουσίες

Οι συνιστώμενες οικογένειες συγκολλητικών ουσιών για την ανέγερση κατασκευών από αλουμίνιο είναι: μονομερείς και διμερείς τροποποιημένες εποξικές ρητίνες, τροποποιημένα ακριλικά και μονομερείς ή διμερείς πολυουρεθάνες. Σε ορισμένες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται και αναερόβιες ουσίες.

Η ποιότητα της συγκολλητικής ουσίας είναι δυνατόν να ελεγχθεί είτε μέσω χημικής ή θερμικής ανάλυσης είτε μέσω προσδιορισμού του ιξώδους του στεγνού αποστάγματος.

Η αντοχή ενός συγκολλημένου κόμβου εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

- της αντοχής της ίδιας της συγκολλητικής ουσίας.
- Τον τύπο του κράματος και ειδικά από το όριο $f_{0.2}$, όταν η τάση διαρροής του μετάλλου υπερβαίνεται πριν την αστοχία της συγκολλητικής ουσίας.
- Την προεπεξεργασία της επιφάνειας: η χημική μετατροπή και η ανοδίωση γενικά δίνουν καλύτερα μακροπρόθεσμα αποτελέσματα από την μηχανική απόξεση. Η χρήση ασταριού δεν αποκλείεται αρκεί να έχει εξασφαλιστεί μέσω καταλλήλων πειραμάτων η συμβατότητα μεταξύ ασταριού, συγκολλητικής ουσίας και κράματος.
- Το περιβάλλον και την ωρίμανση. Η παρουσία νερού ή υγρασίας στην ατμόσφαιρα ή εν γένει εχθρικό περιβάλλον μπορούν να μειώσουν δραστικά την

μακροπρόθεσμη λειτουργικότητα της ένωσης (ειδικά στην περίπτωση φτωχής προεπεξεργασίας της επιφάνειας).

- Η διαμόρφωση ης άρθρωσης και η συσχετιζόμενη κατανομή τάσεων π.χ. η αναλογία μέγιστης διατμητικής τάσης προς την ελάχιστη (τ_{\max}/τ_{\min}) και η αναλογία της μέγιστης ορθής τάσης σ_{\max} προς την ελάχιστη διατμητική ($\sigma_{\max}/\tau_{\min}$). Και τα δύο μέγιστα εμφανίζονται στο άκρο του κόμβου. Οι συγκεντρώσεις τάσεων θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μειωμένες. Εξαρτώνται από τη δυσκαμψία των μελών και το μήκος επικάλυψης της ένωσης.

Η γνώση της αντοχής της συγκολλητικής ουσίας δεν επαρκεί προκειμένου να εκτιμηθεί η αντοχή της συνδέσεως, γι αυτό και η αξιολόγησή της πρέπει να βασίζεται σε εργαστηριακές δοκιμές οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τη συνολική διάταξη, π.χ. τους συνδυασμούς τύπων κραμάτων / προεπεξεργασίας και συγκολλητικής ύλης, την ωρίμανση και το περιβάλλον.

Η αντοχή των δοκιμών όπως προσδιορίζεται στο εργαστήριο θα πρέπει να χρησιμοποιείται ως κατευθυντήρια οδηγία. Η απόδοση της συνδέσεως θα πρέπει να ελέγχεται σε πραγματικές συνθήκες.

5.9 Ανθεκτικότητα και Προστασία σε Διάβρωση

5.9.1 Γενικά

Η καλή αντίσταση σε διάβρωση του αλουμινίου και των κραμάτων του αποδίδεται στην προστατευτική επίστρωση η οποία σχηματίζεται στην επιφάνεια του μετάλλου αμέσως μετά την έκθεσή του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Η επίστρωση αυτή είναι συνήθως διαφανής, σχετικά αδρανής και καθώς σχηματίζεται με την έκθεση σε οξυγόνο, η προστατευτική στρώση είναι κατά συνέπεια αυτό-προστατευόμενη.

Σε ήπιες περιβαλλοντικές συνθήκες οι επιφάνειες αλουμινίου διατηρούν την αρχική τους εμφάνιση για χρόνια και δεν απαιτείται πρόσθετη προστασία για τα περισσότερα κράματα. Σε μέσες βιομηχανικές συνθήκες η επιφάνεια σκληραίνει και το χρώμα της γίνεται πιο σκούρο. Καθώς οι ατμοσφαιρικές συνθήκες γίνονται πιο εχθρικές, όπως σε ισχυρώς όξινα ή αλκαλικά περιβάλλοντα ο αποχρωματισμός της επιφάνειας και η σκλήρυνση εντείνονται, ενώ εμφανίζονται λευκά οξειδία σε μορφή σκόνης και η μπορεί επίστρωση να γίνει ευδιάλυτη. Το μέταλλο παύει να προστατεύεται πλήρως και επιπρόσθετη προστασία είναι απαραίτητη. Οι συνθήκες αυτές μπορούν επίσης να εμφανισθούν σε ρωγμές λόγω έντονων τοπικών όξινων ή αλκαλικών συνθηκών, αλλά οι παράγοντες που έχουν αυτές τις ακραίες επιδράσεις είναι σχετικά λίγοι.

Σε παράκτια και θαλασσινά περιβάλλοντα, η επιφάνεια σκληραίνει και αποκτά ένα γκριζό χρώμα και η προστασία κάποιων κραμάτων καθίσταται απαραίτητη. Όπου το αλουμίνιο εμβαπτίζεται σε νερό, ειδικές προφυλάξεις είναι απαραίτητες.

Όπου εμφανίζεται επιφανειακή αλλοίωση, οι καμπύλες διάβρωσης – χρόνου για το αλουμίνιο και τα κράματα του ακολουθούν συνήθως εκθετικό νόμο, με αρχική απώλεια της αντανακλαστικότητας μετά από ελαφρά διάβρωση. Μετά από αυτό υπάρχει ελάχιστη περαιτέρω αλλαγή για περιόδους μεγάλης διάρκειας. Με την ατμοσφαιρική έκθεση το αρχικό στάδιο μπορεί να διαρκέσει από λίγους μήνες ως δύο με τρία χρόνια, ακολουθούμενο από μικρή αν οποιαδήποτε αλλαγή, για περιόδους 20, 30 ή ακόμη και 80 ετών. Τέτοια συμπεριφορά είναι ενιαία για συνθήκες ελεύθερης έκθεσης σε εξωτερικά περιβάλλοντα αλλά και για έκθεση σε εσωτερικές, προστατευόμενες συνθήκες εκτός από αυτές όπου μπορεί να εμφανισθούν ακραία αλκαλικά ή όξινα περιβάλλοντα. Τα τροπικά περιβάλλοντα γενικώς δεν απειλούν περισσότερο το αλουμίνιο από τα εύκρατα

περιβάλλοντα αν και μερικά κράματα της σειράς 5000 επηρεάζονται από μακρά έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ειδικά σε θαλάσσια περιβάλλοντα.

5.9.2 Αντοχή

Τα κράματα αλουμινίου που αναφέρονται στους Πίν. 5.1 - Πίν. 5.1 κατηγοριοποιούνται σε τρεις κατηγορίες αντοχής σύμφωνα με τον Ευρωκώδικα 9: A (άριστη), B και C σε φθίνουσα κατάταξη αντοχής. Οι κατηγορίες αυτές χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό της ανάγκης και του βαθμού της απαιτούμενης προστασίας. Στις κατασκευές που κάνουν χρήση περισσότερων του ενός κραμάτων, συμπεριλαμβανομένων και των μετάλλων πλήρωσης σε συγκολλημένες κατασκευές, οι προστασία πρέπει να πληροί τις προδιαγραφές της κατώτατης των κατηγοριών αντοχής.

5.9.3 Προστασία σε Διάβρωση

Η ανάγκη παροχής προστασίας έναντι διάβρωσης σε κατασκευές από κράματα αλουμινίου, όταν αυτές εκτίθενται σε διάφορα περιβάλλοντα, δίνεται στον ακόλουθο Πίνακα.

Κατηγορία Αντοχής Κράματος	Πάχος Υλικού (mm)	Προστασία ανάλογα με το Περιβάλλον							
		Ατμοσφαιρικό						Εμβαπτισμένο	
		Αγροτικό	Βιομηχανικό-Αστικό		Θαλάσσιο			Γλυκό Νερό	Αλμυρό Νερό
			Ήπιο	Έντονο	Μη Βιομηχανικό	Ήπιο	Έντονο		
A	όλα	0	0	P	0	0	P	0	(P)
B	<3	0	(P)	P	(P)	(P)	P	P	P
	≥3	0	0	P	0	(P)	P	(P)	P
C	όλα	0	(P) ⁽²⁾	P	(P) ⁽²⁾	(P) ⁽²⁾	P	(P) ⁽¹⁾	NR

Υπόμνημα:

0 Συνήθως δεν απαιτείται καμία προστασία

P Συνήθως απαιτείται προστασία εκτός ειδικών περιπτώσεων ανάλογα με την κρίση του μηχανικού.

(P) Η ανάγκη προστασίας εξαρτάται από τις ειδικές συνθήκες της κατασκευής ανάλογα με την

κρίση του μηχανικού.

NR Εμβάπτιση σε νερό δεν συνίσταται.

⁽¹⁾ Για τον τύπο 7020. Προστασία απαιτείται μόνο στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (Θ.Ε.Ζ) αν δεν ακολουθήσει θερμική κατεργασία μετά την συγκόλληση.

⁽²⁾ Όταν δεν ακολουθήσει θερμική κατεργασία μετά την συγκόλληση για τον τύπο 7020, η ανάγκη προστασίας της Θ.Ε.Ζ εξαρτάται από τις συνθήκες.

Πίν. 5.11: Προστασία έναντι διαβρώσεως κατασκευών από αλουμίνιο.

Για την επιλογή της κατάλληλης στήλης από τον παραπάνω Πίνακα, για ατμοσφαιρικό περιβάλλον πρέπει να υπενθυμισθεί η πιθανή ύπαρξη τοπικών περιοχών μέσα σε μία ευρύτερη οι οποίες παρουσιάζουν «μικροκλίματα» σημαντικά διαφορετικά από τα εν γένει περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά της περιοχής ως συνόλου. Μία περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται ως «αστική» πιθανώς να απαρτίζεται από τοπικά περιβάλλοντα τα οποία μοιάζουν περισσότερο να ανήκουν σε βιομηχανικό περιβάλλον, π.χ σε περιοχές πλησίον εργοστασιακών μονάδων. Ομοίως μία παραθαλάσσια τοποθεσία η οποία βρίσκεται κοντά σε βιομηχανικές εγκαταστάσεις ενδέχεται, με την ύπαρξη κατάλληλων ανέμων, να παρουσιάζει χαρακτηριστικά τα οποία πλησιάζουν περισσότερο αυτά βιομηχανικής παρά θαλάσσιας περιοχής. Το περιβάλλον δεν είναι απαραίτητα το ίδιο για κατασκευές που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους κτιρίου με αυτό των κατασκευών που βρίσκονται σε εξωτερικούς χώρους του ίδιου κτιρίου.

Η εμφάνιση της διάβρωσης εξαρτάται όχι μόνο από την δεκτικότητα του υλικού και τις επικρατούσες συνθήκες αλλά στην πράξη περισσότερο από τη χρονική περίοδο κατά την οποία μπορεί να εμφανισθεί υγρασία σε συνδυασμό με παγιδευμένες ακαθαρσίες και διαβρωτικούς παράγοντες. Οι επιφάνειες μελών ή κατασκευαστικών λεπτομερειών όπου παγιδεύονται ή συγκρατούνται ακαθαρσίες είναι περισσότερο κρίσιμες από περιοχές όπου βροχή σε συνδυασμό με άνεμο καθαρίζει την επιφάνεια και το στέγνωμα είναι γρήγορο.

Στην εκτίμηση της ανάγκης και του επιπέδου της ασφάλειας που απαιτείται η διάρκεια ζωής σχεδιασμού της κατασκευής θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Για κατασκευές με σύντομη διάρκεια ζωής λιγότερο αυστηρά μέτρα ή και καθόλου προστασία μπορεί να είναι αποδεκτά. Όπου σχεδιασμένη επιθεώρησης και συντήρηση αποκαλύψουν την έναρξη της διάβρωσης σε πρώιμο στάδιο, επιτρέποντας την λήψη διορθωτικών μέτρων, το αρχικό επίπεδο παρεχόμενης προστασίας επιτρέπεται να είναι χαλαρό. Αντίθετα, όπου

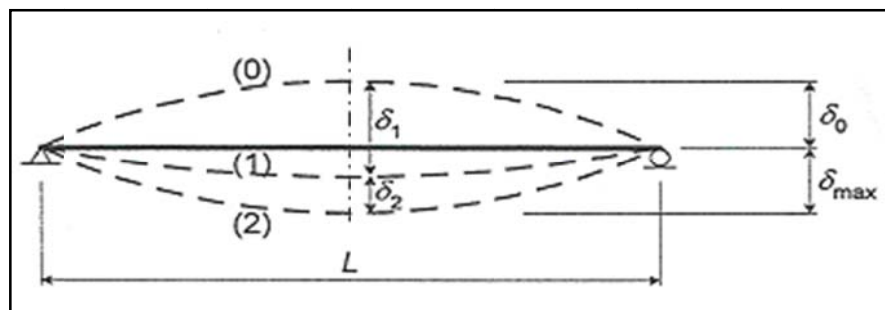
η επιθεώρηση είναι δυσχερής και οι ενδείξεις διαβρώσεως δεν θα αποκαλυφθούν, το αρχικό επίπεδο προστασίας πρέπει να είναι υψηλότερο. Γι αυτό το λόγο η ανάγκη προστασίας στις περιπτώσεις που σημειώνονται με (P) στον άνω Πίνακα θα πρέπει να καθορίζονται σε συνεργασία με το μηχανικό, τον κατασκευαστή και αν είναι απαραίτητο με ειδικό σε θέματα διαβρώσεως.

Λόγω αυτών των παραγόντων, τοπικές συνθήκες αυξημένης σημασίας μπορεί να προκύψουν. Συνίσταται η μελέτη των ακριβών συνθηκών που επικρατούν στο χώρο της κατασκευής πριν αποφασισθεί η στήλη του κατάλληλου περιβάλλοντος από τον Πίν. 5.11.

Όπου χρησιμοποιούνται κοίλες διατομές δημιουργείται προβληματισμός ως προς την ανάγκη προστασίας του εσωτερικού κενού προκειμένου να αποφευχθεί η διάβρωση η οποία προκύπτει από την αύξηση των διαβρωτικών παραγόντων. Λόγω της δυσκολίας που υπάρχει στο βάψιμο αυτών των διατομών, επιχρίσματα χημικής μετατροπής μπορεί να είναι χρήσιμα. Όπου το εσωτερικό κενό προστατεύεται επαρκώς η εσωτερική προστασία δεν είναι απαραίτητη.

5.10 Σχεδιασμός μελών από Αλουμίνιο στην Κατάσταση Λειτουργικότητας

5.10.1 Όρια Μετατοπίσεων



Σχ. 5.1: Βέλος Αμφιέριστης Δοκού

Οι οριακές τιμές για τις εγκάρσιες μετατοπίσεις οι οποίες παρέχονται ακολούθως, αφορούν στην απλά εδραζόμενη δοκό του Σχ. 5.1, στο οποίο:

$$\delta_{max} = \delta_1 + \delta_2 - \delta_0 \quad (4.3)$$

όπου:

δ_{max} είναι το τελικό βέλος

δ_0 είναι το αρχικό βέλος (αρνητικό βέλος) της δοκού στην αφόρτιστη κατάσταση

δ_1 είναι η διακύμανση της παραμόρφωσης της δοκού λόγω μονίμων φορτίων αμέσως μετά τη φόρτιση

δ_2 είναι η διακύμανση της παραμόρφωσης της δοκού λόγω κινητών φορτίων συν όποια χρονικά εξαρτώμενη παραμόρφωση λόγω μονίμων φορτίων.

Για κτιριακές κατασκευές δεν θα πρέπει να υπερβαίνονται οι ακόλουθες τιμές:

Όρια Μετατοπίσεων	
Περίπτωση	Επιτρεπόμενο Βέλος
Αμφιέρειστες Δοκοί οι οποίες Φέρουν Δάπεδο.	L/180
Δοκοί οι οποίες φέρουν ασβεστοκονίαμα ή άλλο ψαθυρό φινίρισμα	L/360
Δοκός Στέγης ή Φύλλα α) Υπό νεκρά φορτία μόνο	L/200
β) Υπό το δυσμενέστερο συνδυασμό νεκρών φορτίων, κινητών φορτίων και φορτίων ανέμου ή χιονιού	L/100
Δοκοί μη Φέρουσας Τοιχοποιίας οι οποίες χρησιμοποιούνται άνω και μεταξύ κουφωμάτων.	min(L/250 ή 15 mm)
Κορυφές Υποστυλωμάτων	L/300

Πίν. 5.12: Όρια Παραμορφώσεων.

Στον παραπάνω Πίνακα L είναι το μήκος μεταξύ στηρίξεων.

5.10.2 Υπολογισμός Ελαστικών Μετατοπίσεων

Εάν η πραγματική δυσκαμψία δεν λαμβάνεται υπόψη σε επαυξητικά βήματα κατά των υπολογισμό των μετατοπίσεων οι ακόλουθες απλοποιητικές διαδικασίες μπορούν να χρησιμοποιούνται. Ο υπολογισμός των ελαστικών μετατοπίσεων θα πρέπει να βασίζεται στις ιδιότητες της πλήρους διατομής του μέλους. Ωστόσο, για λεπτόκορμες διατομές μπορεί να είναι απαραίτητο να ληφθεί απομειωμένη διατομή προκειμένου να συνυπολογισθεί η επίδραση του τοπικού λυγισμού. Ακόμη, θα πρέπει να γίνεται πρόσθετη θεώρηση φαινομένων δυσκαμψίας, δευτέρας τάξεως και αλλαγών στη γεωμετρία. Επιπλέον, στην περίπτωση ημι-ακάμπτων συνδέσεων, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και η στροφική δυσκαμψία, όπως επίσης και η επανεμφάνιση πλαστικών παραμορφώσεων στην κατάσταση λειτουργικότητας.

Για διατομές κατηγορίας 4, μπορούμε να επωφεληθούμε από τα χαμηλά επίπεδα τάσεων προκειμένου να υπολογίσουμε το ενεργό πάχος, χρησιμοποιώντας την ακόλουθη πλαστική ροπή αδρανείας:

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{f_o} (I_{gr} - I_{eff}) \quad (4.4)$$

όπου:

I_{fic} είναι η ροπή αδρανείας της πλήρους διατομής

I_{eff} είναι η ροπή αδρανείας της πλήρους διατομής στην οριακή κατάσταση, λαμβάνοντας υπόψη τον τοπικό λυγισμό

σ_{gr} είναι η μέγιστη καμπτο – θλιπτική τάση στη κατάσταση λειτουργικότητας, βασισμένη στην πλήρη διατομή

f_o είναι η χαρακτηριστική αντοχή σε κάμψη και καθολική διαρροή.

5.10.3 Ταλαντώσεις

5.10.3.1 Συντονισμός

Οι ιδιοσυχνότητες κατασκευών ή τμημάτων κατασκευών θα πρέπει να διαφέρουν επαρκώς από εκείνες του διεγείροντος αιτίου προκειμένου να αποφεύγεται ο συντονισμός. Στον έλεγχο της ασυμβατότητας των πλατών ταλάντωσης θα χρησιμοποιούνται ονομαστικά φορτία. Όπου η ταλάντωση θεωρείται ως πιθανό πρόβλημα, ιδίως λόγω του ιλλίγγου που μπορεί να προκαλέσει η ανεμοφόρτιση, θα πρέπει να εξετάζεται η πιθανότητα αστοχίας λόγω κοπώσεως.

5.10.3.2 Απόσβεση

Όταν εκτιμώνται οι επιδράσεις της ταλάντωσης, τα χαρακτηριστικά απόσβεσης των δομικών μορφών και υλικών θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Η ανάγκη εξασφάλισης επαρκούς απόσβεσης θα πρέπει να εξετάζεται και άρα η διενέργεια πειραμάτων σε πρωτότυπα δοκίμια είναι απαραίτητη.

5.10.3.3 Αίσθημα Δυσφορίας

Η ταλάντωση των κατασκευών σε χαμηλές ιδιοσυχνότητες μπορεί να προκαλέσει δυσφορία σε χρήστες και θα πρέπει να εξετάζεται κατά το σχεδιασμό.

Η χαμηλότερη ιδιοσυχνότητα φερουσών κατασκευών στις οποίες κινείται ο χρήστης (π.χ δάπεδα, καταστρώματα πεζογεφυρών) δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 3 κύκλους/sec. Η απαίτηση αυτή μπορεί να γίνει πιο χαλαρή σε περίπτωση εξασφάλισης επαρκούς απόσβεσης.

Η χαμηλότερη ιδιοσυχνότητα φερουσών κατασκευών πάνω στις οποίες οι χρήστες χορεύουν ή χοροπηδούν ρυθμικά δεν θα πρέπει να είναι μικρότερη από 5 κύκλους/sec.

5.10.4 Δυναμικά Φαινόμενα

Τα όρια λειτουργικότητας για παραμορφώσεις ή μετατοπίσεις ισχύουν τόσο σε δυναμική όπως επίσης και σε στατικά εφαρμοζόμενη φόρτιση. Οι δυνάμεις που προκύπτουν λόγω δυναμικών φαινομένων, αντιμετωπίζονται ως επιβαλλόμενη φόρτιση όταν επιλέγουμε συντελεστές φόρτισης. Εάν χρησιμοποιείται ένας δυναμικός συντελεστής μεγέθυνσης ο σχεδιαστής θα πρέπει να γνωρίζει ότι η διαδικασία αυτή δεν συνίσταται αν δεν λαμβάνει υπόψη την απόκριση της κατασκευής.

5.11 Σχεδιασμός μελών από Αλουμίνιο σε Οριακές Καταστάσεις

5.11.1 Γενικά

Οι ακόλουθες συστάσεις σχεδιασμού αφορούν σε κατασκευές που εκτίθενται σε ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Οι επί μέρους συντελεστές ασφαλείας γ_M θα λαμβάνονται ως ακολούθως για μέλη τα οποία συνδέονται μέσω συγκόλλησης, πριτσινίων ή κοχλιών:

Αντοχή	Συντελεστής ασφαλείας γ_M
για διατομή κατηγορίας 1	1.10
για διατομή κατηγορίας 2 ή 3	1.10
για διατομή κατηγορίας 4	1.10
μέλους έναντι λυγισμού	1.10
καθαρής διατομή σε οπές κοχλιών	1.25

Πίν. 5.13: Επί μέρους συντελεστές ασφαλείας για οριακές καταστάσεις.

5.11.1.1 Εφελκυόμενα Μέλη

Για τα μέλη αυτά πραγματοποιείται έλεγχος αντοχής της διατομής. (βλ. ??)

5.11.1.2 Θλιβόμενα Μέλη

Για τα μέλη αυτά θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος αντοχής της διατομής και έλεγχος έναντι λυγισμού. (βλ. ??)

5.11.1.3 Δοκοί

Τα μέλη τα οποία υπόκεινται σε κάμψη θα πρέπει να ελέγχονται έναντι:

- κάμψης
- διάτμησης
- συνδυασμό κάμψης και διάτμησης

- φέρουσας ικανότητας κορμού
- στρεπτο - καμπτικού λυγισμού

5.11.1.4 Μέλη τα οποία υπόκεινται σε συνδυασμό αξονικής, κάμψης και διάτμησης

Για τα μέλη αυτά θα πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος αντοχής της διατομής έναντι συνδυασμένης έντασης και έλεγχος έναντι λυγισμού υπό συνδυασμένη ένταση. (βλ. ??)

5.11.1.5 Πλαίσια

Τα πλαίσια θα πρέπει να πραγματοποιούνται έλεγχοι αντοχής

- των μελών
- των συνδέσεων μεταξύ μελών
- έναντι λυγισμού

5.11.1.6 Ελάσματα

1) Σε ελάσματα με άκαμπτους συνδέσμους τα οποία δεν αποτελούν τμήμα κύριας δοκού στήριξης θα πρέπει να πραγματοποιούνται έλεγχοι αντοχής

- της διατομής υπό ομοιόμορφη θλίψη
- έναντι κάμψης εντός επιπέδου ή διαμήκους μεταβολής της έντασης
- έναντι διάτμησης
- έναντι συνδυασμένης έντασης και έναντι λυγισμού υπό συνθήκες συνδυασμένης έντασης.

2) Σε ελάσματα τα οποία αποτελούν τμήμα κύριας δοκού στήριξης θα πρέπει να πραγματοποιούνται έλεγχοι αντοχής

- έναντι κάμψης εντός επιπέδου, διάτμησης και συνδυασμένης κάμψης, διάτμησης και αξονικής

- των ακάμπτων συνδέσμων
- των ακάμπτων συνδέσμων κορμού έναντι εγκάρσιων δυνάμεων οι οποίες εφαρμόζονται μέσω των πελμάτων
- κορμών με αυλακώσεις ή πυκνούς άκαμπτους συνδέσμους
- κυρίως δοκών με άκαμπτους συνδέσμους στις στηρίξεις

5.11.1.7 Συνδέσεις

Οι συνδέσεις μεταξύ μελών, ή μεταξύ στοιχείων μίας κατασκευής, ή μεταξύ τοπικών λεπτομερειών και δομικών μελών, θα πρέπει να σχεδιάζονται έτσι ώστε να ικανοποιούν τις οριακές καταστάσεις στατικής αντοχής και κόπωσης. Οι έλεγχοι οι οποίοι θα πρέπει να πραγματοποιούνται σε συνδέσεις αφορούν σε:

- αντοχή συνδετήρων, πριτσινίων και κοχλιών (σε μη συγκολλημένα μέλη) έναντι διάτμησης, αξονικής έντασης, συνδυασμένης διάτμησης και εφελκυσμού και σύνθλιψης άντυγας
- αντοχή κοχλιών υψηλής αντοχής (όπου χρησιμοποιούνται) ως προς τις παραμέτρους τριβής, προέντασης και ολίσθησης
- αντοχή ήλων έναντι διάτμησης ή κάμψης
- αντοχή συγκολλήσεων σε διάτμηση υπό συνήθη ένταση
- αντοχή της ζώνης θερμικής επιρροής (Ζ.Θ.Ε) στην περιοχή των συγκολλήσεων
- αντοχή συγκολλημένων κόμβων όταν ως μέθοδος συγκόλλησης χρησιμοποιείται κολλώδεις ουσίες.

5.11.1.8 Κόπωση

Οι κατασκευές οι οποίες επιβαρύνονται με μεταβλητά φορτία λειτουργίας είναι επιρρεπής σε κόπωση, και θα πρέπει να υπόκειται σε αντίστοιχο έλεγχο. Η απόδοση σε κόπωση επηρεάζεται κατά κύριο λόγο από τις ακόλουθες συνθήκες.

- υψηλή αναλογία δυναμικής προς στατική φόρτιση

- συγκόλλησης κόμβων μεταξύ μελών και μεταξύ τοπικών προσαρτήσεων και μελών
- πολυπλοκότητα των λεπτομερειών σύνδεσης
- χαμηλές ιδιοσυχνότητες των δομικών μελών
- περιβάλλον χαμηλής θερμικής και χημικής ποιότητας

Όπου είναι δυνατόν οι κατασκευές από αλουμίνιο θα πρέπει να σχεδιάζονται με σκοπό την παροχή ενός αποδεκτού επιπέδου ασφάλειας καθ' όλη τη διάρκεια ζωής της κατασκευής. Οι μέθοδοι εκτίμησης της κόπωσης θα πρέπει να διασφαλίζουν πως η πιθανότητα αστοχίας έναντι κοπώσεως είναι συγκρίσιμη με οποιαδήποτε άλλη μορφή αστοχίας λόγω οριακής κατάστασης κατά τη διάρκεια ζωής της κατασκευής.

5.11.1.9 Ταλάντωση

Η αντοχή έναντι ταλαντώσεως θα πρέπει να εκτιμάται μέσω ελέγχου κοπώσεως και μέσω ελέγχου των χαρακτηριστικών απόσβεσης της κατασκευής και του υλικού της. Αυτό εφαρμόζεται κυρίως σε:

- κατασκευές οι οποίες υποστηρίζουν ανυψωτικές συσκευές
- κατασκευές οι οποίες υποστηρίζουν δονούμενα μηχανήματα
- κατασκευές οι οποίες υπόκεινται σε ταλάντωση λόγω ανέμων
- κατασκευές οι οποίες υπόκεινται σε ταλάντωση λόγω πλήθους

5.11.1.10 Υβριδικές Διατομές

Η αντοχή υβριδικών διατομών, οι οποίες περιέχουν κράματα αλουμινίου διαφορετικών αντοχών, θα υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψη την αντοχή των επί μέρους τμημάτων και των κατηγοριών τους.

Εάν χρησιμοποιούνται υβριδικές διατομές αλουμινίου και χάλυβα, θα πρέπει να ελέγχεται η συμπεριφορά σε διαρροή και να λαμβάνονται υπόψη θερμικές παραμορφώσεις.

5.11.2 Αντοχή Διατομής

5.11.2.1 Αντοχή Σχεδιασμού

Η αντοχή σχεδιασμού διατομών μελών μπορεί να περιορίζεται από:

- την πλαστική αντίσταση της διατομής
- την αντοχή της καθαρής διατομής σε οπές
- τον έλεγχο τοπικής ευστάθειας στοιχείων της διατομής

Όπου κρίνεται απαραίτητο θα πρέπει να ελέγχεται και συνολικά η ευστάθεια.. Η αντοχή μελών με λεπτόκορμα στοιχεία μπορεί να μειώνεται σαν αποτέλεσμα πρόωρου τοπικού λυγισμού. Ο σχεδιασμός μέλους υπό ομοιόμορφη θλίψη ή θλίψη λόγω κάμψης ελέγχεται μέσω κατάταξης της διατομής σε κατηγορίες ανάλογα με την επιδεκτικότητά της ε τοπικό λυγισμό.

5.11.2.2 Ιδιότητες Διατομής

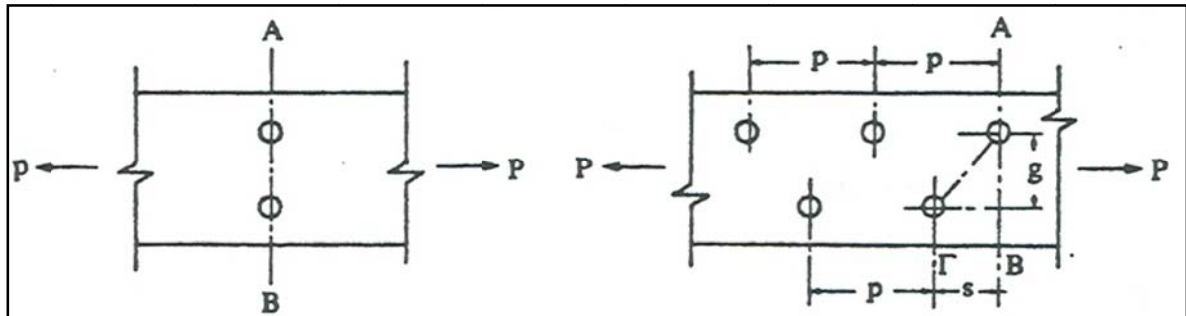
Οι ιδιότητες των διατομών θα προσδιορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τις προκαθορισμένες διαστάσεις. Οπές συνδετήρων δεν απαιτείται να αφαιρούνται, αλλά θα πρέπει να υπολογίζονται μεγαλύτερα ανοίγματα . Ματίσματα δεν θα λαμβάνονται υπόψη.

Η καθαρή επιφάνεια (A_{net}) μέλους ή διατομής προκύπτει από την πλήρη διατομή αφαιρώντας οπές και άλλα ανοίγματα. όταν υπολογίζονται οι ιδιότητες της καθαρής διατομής, η απομείωση για μία μόνο οπή ισούται με το ολικό εμβαδόν της οπής στο επίπεδο του άξονά της. Υπό την προϋπόθεση ότι οι οπές δεν είναι επικαλυπτόμενες, το συνολικό εμβαδόν απομείωσης ισούται με το μέγιστο άθροισμα των εμβαδόν των οπών σε οποιαδήποτε διατομή κάθετη στον άξονα του μέλους.

Όταν οι οπές είναι επικαλυπτόμενες, το συνολικό εμβαδόν απομείωσης είναι το μέγιστο εκ των ακολούθων δύο:

- την απομείωση μη επικαλυπτόμενων οπών για την οποία λόγος έγινε προηγουμένως

- το άθροισμα των εμβαδών των επιφανειών όλων των οπών σε οποιαδήποτε διαγώνια ή τεθλασμένη γραμμή η οποία εκτείνεται προοδευτικά κατά μήκος του μέλους ή τμήματος του μέλους, μείον $s^2t/4p$ και $0.65st$, όπου τα μεγέθη s , p εικονίζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 5.2: Καθορισμός καθαρής διατομής

Κατά το σχεδιασμό συνδέσεων θλιβομένων μελών δεν είναι αναγκαία η απομείωση λόγω οπών εκτός από την περίπτωση σχισμών. Εφ' όσον σε συνδέσεις θλιβομένων μελών καμία πλαστική παραμόρφωση της καθαρής διατομής δεν είναι αποδεκτή, η απομείωση λόγω οπών θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Οι οπές λόγω συνδετήρων σε εφελκόμενο πέλμα δεν είναι απαραίτητο να συνυπολογίζονται εφ' όσον ισχύει:

$$0.9 \frac{A_{net}}{A_g} \geq \frac{f_o / \gamma_{M1}}{f_a / \gamma_{M2}} \quad (4.5)$$

Οι οπές λόγω συνδετήρων στην εφελκόμενη περιοχή του κορμού δεν είναι αναγκαίο να συνυπολογίζονται αρκεί το όριο που καθορίζεται από την παραπάνω έκφραση να ικανοποιείται για το σύνολο της εφελκόμενης ζώνης η οποία αποτελείται από το εφελκόμενο πέλμα και την εφελκόμενη ζώνη του κορμού.

Οι οπές λόγω συνδετήρων δεν είναι απαραίτητο να συνυπολογίζονται σε διατμητικούς ελέγχους εφ' όσον ισχύει:

$$\frac{A_{net}}{A_g} \geq \frac{f_o / \gamma_{M1}}{f_a / \gamma_{M2}} \quad (4.6)$$

5.11.2.3 Ζώνη Θερμικής Επιρροής (Ζ.Θ.Ε)

Το αλουμίνιο διαφόρων κραμάτων και κατηγοριών σκληρότητας αποδυναμώνεται στην ζώνη θερμικής επιρροής στην περιοχή των συγκολλήσεων και αυτό θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά το σχεδιασμό. Εξαιρέσεις από αυτόν τον κανόνα, όπου δεν εμφανίζεται αυτό το φαινόμενο σε συγκολλήσεις, προκύπτουν για κράματα κατηγορίας O ή T4, ή αν το υλικό βρίσκεται στην κατάσταση F και η αντοχή σχεδιασμού βασίζεται στις ιδιότητες της κατηγορίας O. Ακολούθως θα δοθούν κανόνες για την εκτίμηση της σοβαρότητας και του εύρους της ζώνης θερμική επιρροής.

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τον σχεδιασμό να συνειδητοποιηθεί πως ακόμη και μία μικρή συγκόλληση για μία μικρή προσάρτηση σε κάποιο μέλος δύναται να απομειώσει σημαντικά την αντοχή αυτού του μέλους λόγω της παρουσίας της Ζ.Θ.Ε. Γι αυτό το λόγο κατά το σχεδιασμό δοκών είναι χρήσιμο να τοποθετούμε συγκολλήσεις και προσαρτήσεις σε περιοχές μειωμένης έντασης, π.χ κοντά στον ουδέτερο άξονα ή μακριά από περιοχές έντονης κάμψης.

5.11.2.4 Χαρακτηριστική Αντοχή

Οι υπολογισμοί γίνονται με βάση τα ακόλουθα χαρακτηριστικά μεγέθη:

f_o είναι η χαρακτηριστική αντοχή για κάμψη και διαρροή σε εφελκυσμό και θλίψη

f_α είναι η χαρακτηριστική αντοχή της τοπικής ικανότητας ανάληψης εφελκυσμού ή θλίψης από την καθαρή διατομή

f_v είναι η χαρακτηριστική αντοχή για διάτμηση

f_s είναι η χαρακτηριστική αντοχή για φαινόμενα αστάθειας (λυγισμό)

Τα παραπάνω μεγέθη ορίζονται με βάση τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\begin{aligned} f_o &= f_{0,2} \\ f_\alpha &= f_u \\ f_v &= f_o / \sqrt{3} \end{aligned} \quad (4.7)$$

5.11.3 Κατάταξη των Διατομών

Η κατάταξη των διατομών είναι απαραίτητη όταν απαιτείται ο υπολογισμός της αντοχής στοιχείων έναντι καμπτικών ροπών και περιορισμένης κάμψης, ή όταν είναι πιθανή η απομείωση της αντοχής καμπτόμενων ή αξονικά θλιβόμενων μελών λόγω λυγισμού.

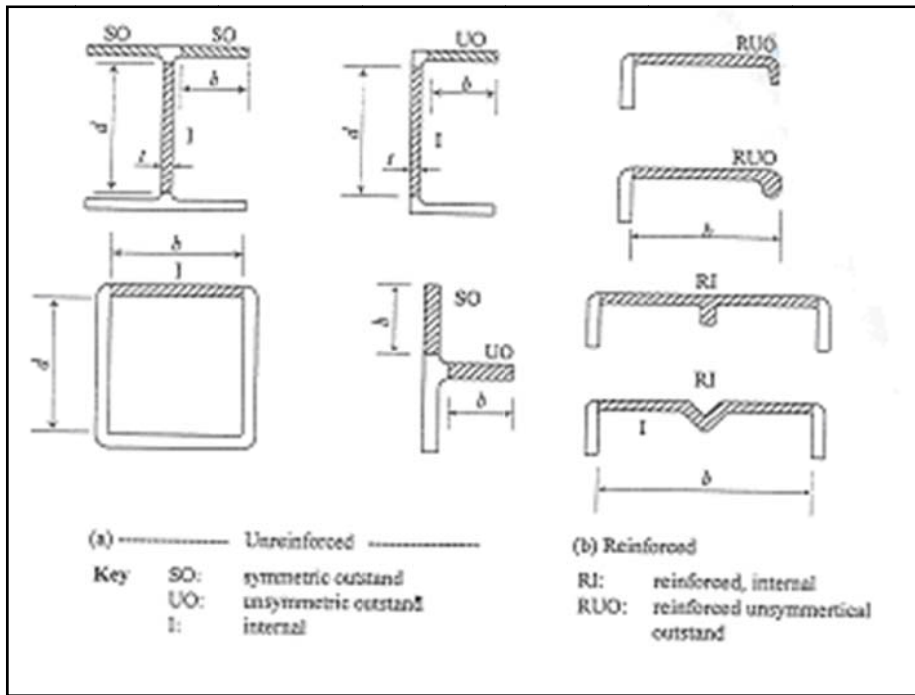
Διακρίνουμε όπως και στην περίπτωση διατομών από χάλυβα τέσσερις κατηγορίες διατομών:

- Διατομές Κατηγορίας 1, είναι οι διατομές που έχουν τη δυνατότητα σχηματισμού πλαστικής άρθρωσης με την απαραίτητη στροφική ικανότητα για πλαστική ανάλυση.
- Διατομές Κατηγορίας 2, είναι οι διατομές που έχουν τη δυνατότητα ανάπτυξης πλαστικής αντίστασης αλλά διαθέτουν περιορισμένη στροφική ικανότητα
- Διατομές Κατηγορίας 3, είναι οι διατομές στις οποίες η υπολογισμένη ένταση στην ακραία θλιβόμενη ίνα του μέλους μπορεί να φθάσει την ονομαστική αντοχή, αλλά ο τοπικός λυγισμός είναι δυνατόν να παρεμποδίσει την ανάπτυξη πλήρους πλαστικής αντίστασης.
- Διατομές Κατηγορίας 4, είναι οι διατομές στις οποίες απαιτούνται λεπτομερής συνυπολογισμός των επιδράσεων του τοπικού λυγισμού προκειμένου να προσδιορισθεί η καμπτική ή θλιπτική αντοχή τους.

Τρεις βασικοί τύποι λεπτόκορμων στοιχείων χρησιμοποιούνται κατά τη διαδικασία κατάταξης:

- επίπεδο εξέχων στοιχείο
- επίπεδο εσωτερικό στοιχείο
- καμπυλόγραμμο εσωτερικό στοιχείο

Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 5.3: Τύποι Λεπτόκορμων Στοιχείων

5.11.3.1 Παράμετροι λυγηρότητας

Οι διατομές θα πρέπει να κατατάσσονται με βάση τις παραμέτρους λυγηρότητας που περιγράφουν τη διατομή.

Α) Η ευαισθησία επίπεδου στοιχείου χωρίς οπλισμό έναντι τοπικού λυγισμού καθορίζεται από την παράμετρο λυγηρότητας β και λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

Επίπεδα εξέχοντα ή εσωτερικά στοιχεία χωρίς μεταβολές τάσης	$\beta=b/t$
Εσωτερικό στοιχείο με κατανομή έντασης που οδηγεί σε σχηματισμό ουδέτερου άξονα στο κέντρο	$\beta=0.40 b/t$ ή $\beta=0.40 d/t$
Για οποιαδήποτε άλλη κατανομή έντασης	$\beta=g b/t$ ή $\beta=g d/t$

Πίν. 5.14: Παράμετρος λυγηρότητας β .

όπου

b το πλάτος του στοιχείου

- t το πάχος του στοιχείου
- d το ύψος κορμού στοιχείου δοκού
- g ο συντελεστής κατανομής της έντασης

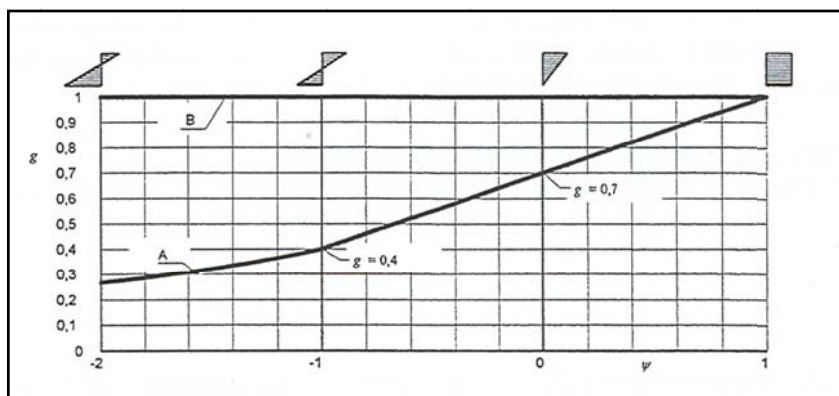
Το g δίνεται από την ακόλουθη έκφραση:

$$g = 0.70 + 0.30\psi \quad (1 > \psi > -1)$$

$$g = \frac{0.80}{(1 - \psi)} \quad (\psi \leq -1) \quad (4.8)$$

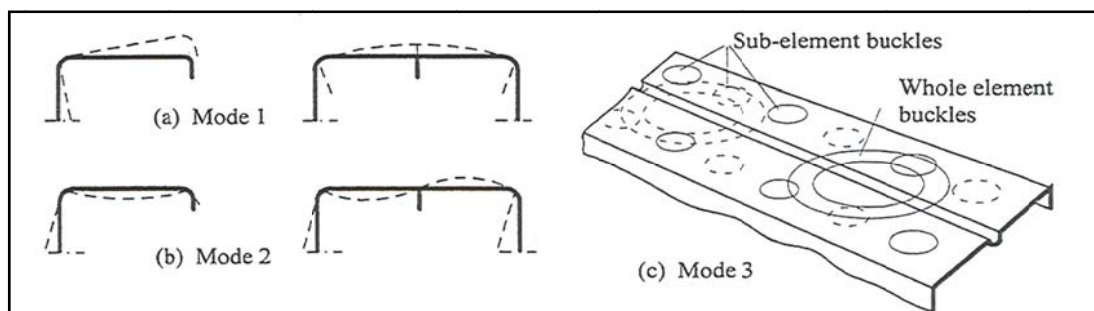
ψ είναι η αναλογία τάσεων στα άκρα του υπόψη ελάσματος η οποία σχετίζεται με τη μέγιστη θλιπτική τάση. Εν γένει, ο ουδέτερος άξονας θα πρέπει να λαμβάνεται ως ο ελαστικός ουδέτερος άξονας, αλλά κατά τον έλεγχο για να διαπιστωθεί αν η διατομή είναι κατηγορίας 2 επιτρέπεται να λαμβάνεται ο πλαστικός ουδέτερος άξονας.

Εναλλακτικά η σχέση μεταξύ του g και του ψ μπορεί να λαμβάνεται από το Σχ. 5.4.



Σχ. 5.4: Σχέση μεταξύ των g, ψ .

B) Στην περίπτωση επιπέδων οπλισμένων στοιχείων οι τιμές τις παραμέτρου β εξαρτώνται από τους τύπους λυγισμού του Σχ. 5.5 και από τον τύπο όπλισης και παρουσιάζονται συνοπτικά στον πίνακα Πίν. 5.15:



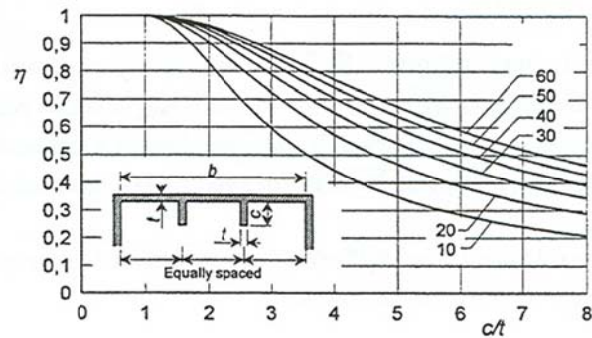
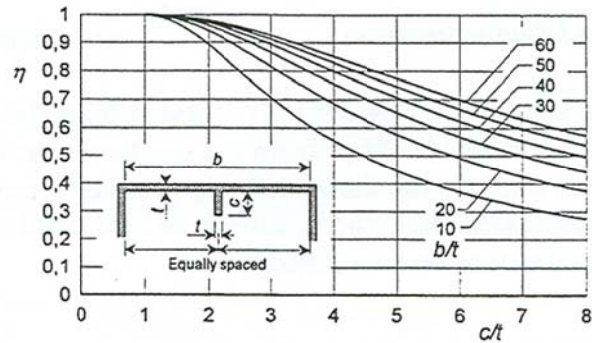
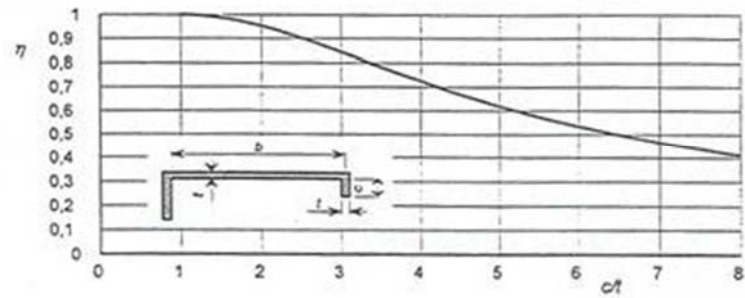
Σχ. 5.5: Τύποι Λυγισμού

Συνθήκες	Παράμετρος β
Τύπος 1, Ομοιόμορφη Θλίψη, Τυπική Ενίσχυση	Όταν η ενίσχυση αποτελείται από μονόπλευρη νεύρωση ή χείλος πάχους ίσο με το πάχος του στοιχείου (t) ισχύει: $\beta = n \frac{b}{t}$ Όπου το n λαμβάνεται από τη σχέση (4.13). (4.9)
Τύπος 1, Ομοιόμορφη Θλίψη, Μη Τυπική Ενίσχυση	Για οποιοδήποτε άλλο τύπο ενίσχυσης αυτή αντικαθίσταται από μία ισοδύναμη νεύρωση ή (4.10) χείλος ίσο με το πάχος του στοιχείου.
Τύπος 1, Ομοιόμορφη Θλίψη, Σύνθετη Ενίσχυση	$\beta = \frac{b}{t} \left(\frac{\sigma_{cr0}}{\sigma_{cr}} \right)$ όπου: σ_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη τάση για το οπλισμένο (4.11) στοιχείο θεωρώντας απλά εδραζόμενα άκρα σ_{cr0} είναι η ελαστική κρίσιμη τάση για το άοπλο στοιχείο θεωρώντας απλά εδραζόμενα άκρα
Τύπος 1, Μεταβαλλόμενη Ένταση	Χρησιμοποιείται η σχέση (4.11) όπου τα σ_{cr} και σ_{cr0} αφορούν πλέον στο πλέον θλιβόμενο άκρο του (4.12) στοιχείου.
Τύπος 2	Η τιμή του υπολογίζεται ξεχωριστά για κάθε επιμέρους στοιχείο σε αντιστοιχία με όσα γράφηκαν στο Α.

Πίν. 5.15: Τιμές της παραμέτρου λυγηρότητας β.

Η τιμή του n στη σχέση (4.9) δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις ή προκύπτει από τα Σχ. 5.6.

$$\begin{aligned}n &= \frac{1}{\sqrt{1+0.1(c/t-1)^2}} \\n &= \frac{1}{\sqrt{1+2.5 \frac{(c/t-1)^2}{b/t}}} \\n &= \frac{1}{\sqrt{1+4.5 \frac{(c/t-1)^2}{b/t}}}\end{aligned} \tag{4.13}$$



Σχ. 5.6: Μεταβολή της παραμέτρου η σε συνάρτηση με το λόγο c/t.

Γ) Η ευαισθησία ενός ομοιόμορφα θλιβόμενου, μη ενισχυμένου, εσωτερικού στοιχείου με ρηχή κύρτωση σε τοπικό λυγισμό καθορίζεται από την παράμετρο β, όπου:

$$\beta = \frac{b}{t} \sqrt{\frac{1}{1 + 0.006 \frac{b^4}{R^2 t^2}}} \quad (4.14)$$

Στην παραπάνω σχέση:

R η ακτίνα καμπυλότητας

b το μέσο πλάτος του υλικού

t πάχος

Τα παραπάνω ισχύουν για $R/b > 0.1$ b/t . Διατομές με εντονότερα κυρτωμένα στοιχεία απαιτούν περαιτέρω μελέτη.

Δ) Η ευαισθησία ενός λεπτότοιχου στρογγυλού σωλήνα σε τοπικό λυγισμό καθορίζεται από την παράμετρο β , όπου:

$$\beta = 3\sqrt{\frac{D}{t}} \quad (4.15)$$

όπου:

D η μέση διάμετρος

5.11.3.2 Κατάταξη Στοιχείων Διατομής

Η κατάταξη των στοιχείων της διατομής συνδέεται με τις τιμές της παραμέτρου λυγηρότητας β ως εξής:

Κατάταξη Στοιχείων Διατομής	
Στοιχεία σε Δοκούς	Στοιχεία σε Κομβοελάσματα
$\beta \leq \beta_1 \Rightarrow$ Κατηγορία 1	$\beta \leq \beta_2 \Rightarrow$ Κατηγορία 1 ή 2
$\beta_1 < \beta \leq \beta_2 \Rightarrow$ Κατηγορία 2	$\beta_2 < \beta \leq \beta_3 \Rightarrow$ Κατηγορία 3
$\beta_2 < \beta \leq \beta_3 \Rightarrow$ Κατηγορία 3	$\beta_3 < \beta \Rightarrow$ Κατηγορία 4
$\beta_3 < \beta \Rightarrow$ Κατηγορία 4	

Οι τιμές των $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ δίνονται από τον ακόλουθο πίνακα:

Παράμετροι Λυγηρότητας $\beta_1, \beta_2, \beta_3$			
Στοιχεία	β_1		
	Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα ή Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα
Εξέχοντα	3ε	2.5ε	2ε
Εσωτερικά	11ε	9ε	7ε
Στοιχεία	β_2		
	Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα ή Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα
Εξέχοντα	4.5ε	4ε	3ε
Εσωτερικά	16ε	13ε	11ε
Στοιχεία	β_3		
	Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα ή Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Συγκολλημένα
Εξέχοντα	6ε	5ε	4ε
Εσωτερικά	22ε	18ε	15ε
Όπου: $\varepsilon = \sqrt{250/f_o}$, f_o σε N/mm ²			

Πίν. 5.16: Τιμές των παραμέτρων λυγηρότητας $\beta_1, \beta_2, \beta_3$.

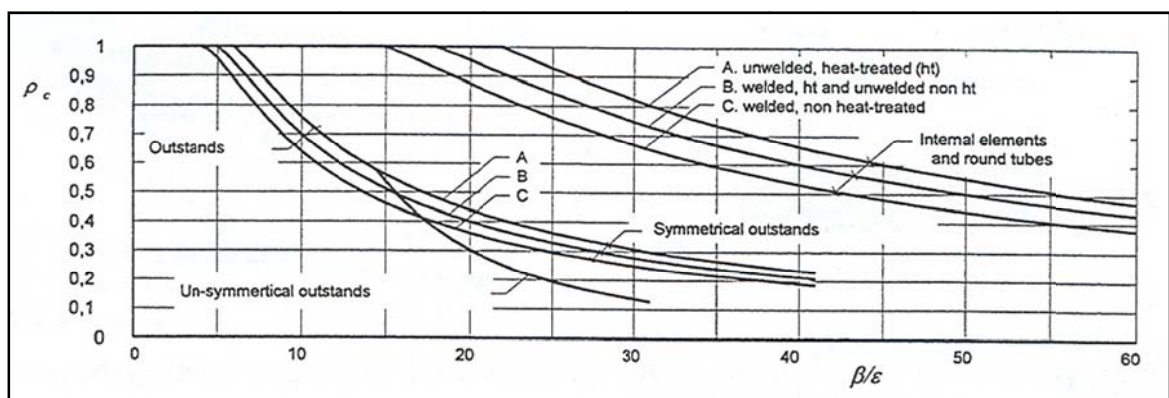
5.11.3.3 Τοπικός Λυγισμός

Ο τοπικός λυγισμός για διατομές κατηγορίας 4 λαμβάνεται υπόψη αντικαθιστώντας την πραγματική διατομή με μία ισοδύναμη. Η ισοδύναμη διατομή λαμβάνεται μετά από τη εφαρμογή του ενός συντελεστή τοπικού λυγισμού ρ_c για την απομείωση της πυκνότητας ο συντελεστής ρ_c εφαρμόζεται για οποιοδήποτε στοιχείο κατηγορίας 4, ομοιόμορφης πυκνότητας, το οποίο θλίβεται εξ ολοκλήρου ή μερικώς. Στοιχεία ανομοιόμορφης πυκνότητας απαιτούν ειδική μελέτη.

Οι τιμές του συντελεστή ρ_c προσδιορίζονται με βάση τον ακόλουθο πίνακα ή το διάγραμμα Σχ. 5.7.

Συντελεστής Τοπικού Λυγισμού ρ_c		
Επίπεδα Εξέχοντα Στοιχεία σε Συμμετρικές Διατομές		
Θερμικά Κατεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Θερμικά Κατεργασμένα, Συγκολλημένα ή Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Μη Θερμικά Κατεργασμένα, Συγκολλημένα
$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 6$ $\rho_c = \frac{10}{(\beta/\epsilon)} - \frac{24}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 6$	$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 5$ $\rho_c = \frac{9}{(\beta/\epsilon)} - \frac{20}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 5$	$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 4$ $\rho_c = \frac{8}{(\beta/\epsilon)} - \frac{16}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 4$
Επίπεδα Εξέχοντα Στοιχεία σε Μη Συμμετρικές Διατομές		
Ισχύουν οι παραπάνω σχέσεις με τον περιορισμό $\rho_{max}=120/(b/e)^2$		
Επίπεδα Εσωτερικά Στοιχεία ή Στρογγυλοί Σωλήνες		
Θερμικά Κατεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Θερμικά Κατεργασμένα, Συγκολλημένα ή Μη Θερμικά επεξεργασμένα, Μη Συγκολλημένα	Μη Θερμικά Κατεργασμένα, Συγκολλημένα
$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 22$ $\rho_c = \frac{32}{(\beta/\epsilon)} - \frac{220}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 22$	$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 18$ $\rho_c = \frac{29}{(\beta/\epsilon)} - \frac{198}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 18$	$\rho_c = 1.0$ για $\beta/\epsilon \leq 15$ $\rho_c = \frac{25}{(\beta/\epsilon)} - \frac{150}{(\beta/\epsilon)^2}$ για $\beta/\epsilon > 15$
Οπλισμένα Στοιχεία		
Θεωρούμε όλους τους δυνατούς τύπους λυγισμού και λαμβάνουμε τη μικρότερη τιμή του ρ_c		

Πίν. 5.17: Τιμές του Συντελεστή Τοπικού Λυγισμού ρ_c .



Σχ. 5.7: Μεταβολή του Συντελεστή Τοπικού Λυγισμού ρ_c σε συνάρτηση με το λόγο β/ϵ .

5.11.4 Ζώνη Θερμικής Επιρροής

Κατά το σχεδιασμό συγκολλημένων κατασκευών η χρήση δομικών κραμάτων υψηλής αντοχής είναι απαραίτητη προκειμένου να αντιμετωπισθεί η απομείωση στις ιδιότητες αντοχής που προκύπτει στην περιοχή των συγκολλήσεων. Η απομείωση επηρεάζει την ονομαστική τάση διαρροής (0.2%) του υλικού περισσότερο από ότι την μέγιστη εφελκυστική τάση. Η επηρεαζόμενη περιοχή εξαπλώνεται αμέσως γύρω από τη συγκόλληση, ενώ πέρα από αυτήν οι ιδιότητες αντοχής ανακτούν γρήγορα τις αρχικές τιμές τους.

Για σχεδιαστικούς λόγους γίνεται η υπόθεση ότι σε όλη την ζώνη θερμικής επιρροής (Ζ.Θ.Ε) οι ιδιότητες αντοχής μειώνονται κατά ένα σταθερό συντελεστή ρ_{haz} .

Δριμύτητα της χαλάρωσης

Οι χαρακτηριστικές αντοχές f_o , f_a και f_v στη Ζ.Θ.Ε υπολογίζονται κατά τρόπο αντίστοιχο με αυτόν που δίνεται στην παράγραφο 5.11.2.4, πολλαπλασιάζοντας ωστόσο με την κατάλληλη τιμή του συντελεστή ρ_{haz} , η οποία λαμβάνεται από τον Πίν. 5.18. Οι τιμές αυτές αναφέρονται σε μία ποικιλία τυπικών κραμάτων.

Συντελεστής Απομείωσης της Ζ.Θ.Ε			
Για όλα τα κράματα τα οποία παρέχονται σε μορφή διελασμένων διατομών, φύλλων, ελασμάτων, ελκνόμενων σωλήνων και σιδηρουργικά προϊόντα στις καταστάσεις O και F ισχύει $\rho_{haz}=1$			
Για διελασμένες διατομές, φύλλα, ελασμάτα, ελκνόμενους σωλήνες και σιδηρουργικά προϊόντα στις καταστάσεις T4, T5 και T6 ισχύει:			
Σειρά Κράματος	Κατάσταση	ρ_{haz} (συγκόλληση MIG)	ρ_{haz} (συγκόλληση TIG)
6xxx	T4	1.00	-
	T5	0.65	0.60
	T6	0.65	0.50
7xxx	T6	0.80	0.60 ^(a)
		1.00	0.80 ^(b)

Για φύλλα, ελάσματα, ελκυσμένους σωλήνες και σιδηρουργικά προϊόντα των σειρών 5xxx, 3xxx και 1xxx (στην εργοσκληρυνόμενη κατάσταση H) ισχύει:

Σειρά Κράματος	Κατάσταση	ρ_{haz} (συγκόλληση MIG)	ρ_{haz} (συγκόλληση TIG)
5xxx	H22	0.86	0.86
	H24	0.80	0.80
3xx	H14,16,18	0.60	0.60
1xxx	H14	0.60	0.60

Πίν. 5.18: Τιμές του Συντελεστή Απομείωσης της Ζ.Θ.Ε

Για υλικό της σειράς 7xxx, οι τιμές του συντελεστή ρ_{haz} επηρεάζονται από την φύση της έντασης στη Ζ.Θ.Ε. Στον Πίν. 5.18 δύο τιμές παρέχονται:

- Οι τιμές αυτές ισχύουν όταν η εφελκυστική τάση εφαρμόζεται κάθετα στον άξονα μίας εσωραφής (butt weld) ή εξωραφής (fillet weld)
- Οι τιμές αυτές ισχύουν σε όλες τις υπόλοιπες συνθήκες όπως: διαμήκης τάση, εγκάρσια θλιπτική τάση ή διατμητική τάση.

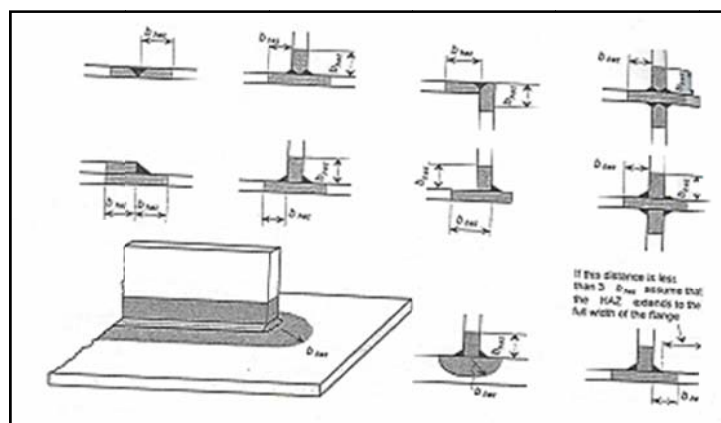
Οι τιμές του παραπάνω πίνακα ισχύουν μετά από τα εξής χρονικά διαστήματα μετά τη συγκόλληση, υπό την προϋπόθεση το υλικό να είχε κρατηθεί σε θερμοκρασία όχι μικρότερη των 10°C.

Σειρά 6xxx	3 ημέρες
Σειρά 7xxx	20 ημέρες

Εφ' όσον το υλικό κρατείται σε θερμοκρασία κάτω των 10°C μετά την συγκόλληση, ο χρόνος ανάκαμψης παρατείνεται.

Η επίδραση της απομείωσης μπορεί να λαμβάνεται υπόψη είτε από την χαρακτηριστική αντοχή στη Ζ.Θ.Ε είτε απομειώνοντας την περιοχή όπου εφαρμόζονται οι τάσεις. Έτσι, η χαρακτηριστική αντοχή μίας απλής ορθογωνικής διατομής η οποία επηρεάζεται από τη Ζ.Θ.Ε εκφράζεται ως: $(f_a \rho_{\text{haz}})A$ ή $f_a(A \rho_{\text{haz}})$.

Έκταση της Ζ.Θ.Ε



Σχ. 5.8: Έκταση της Ζώνης Θερμικής Επιρροής

Η Ζ.Θ.Ε θεωρείται πως εξαπλώνεται σε απόσταση b_{haz} σε οποιαδήποτε διεύθυνση από μία συγκόλληση, όπως φαίνεται και στο παραπάνω σχήμα, και μετράται ως εξής:

- Κάθετα από τον κεντροβαρικό άξονα μίας εσωραφής
- Κάθετα από το σημείο τομής των επιφανειών συγκόλλησης σε εξωραφές
- Κάθετα από το σημείο τομής των επιφανειών συγκόλλησης σε εσωραφές οι οποίες χρησιμοποιούνται σε κόμβους γωνιακούς, σταυροειδείς ή μορφής ταυ
- Σε οποιαδήποτε ακτινική διεύθυνση από το άκρο μίας συγκόλλησης

Τα σύνορα της Ζ.Θ.Ε θα πρέπει εν γένει να λαμβάνονται ως ευθείες γραμμές κάθετες στην μεταλλική επιφάνεια, ειδικά όταν πρόκειται για συγκόλληση λεπτού υλικού. Ωστόσο, όταν εφαρμόζεται επιφανειακή συγκόλληση σε παχύ υλικό επιτρέπεται να γίνεται θεώρηση καμπύλου συνόρου ακτίνας b_{haz} , όπως φαίνεται και στο Σχ. 5.8.

Για μη θερμασμένα υλικά τα οποία συγκολλούνται με τύπο συγκόλλησης MIG (μέταλλο αδρανές αερίο), με ενδοστρωματική ψύξη στους 60°C ή λιγότερο όταν η συγκόλληση πραγματοποιείται σε πολλαπλές στρώσεις, οι τιμές του b_{haz} είναι οι ακόλουθες:

$$\begin{aligned}
 0 < t \leq 6 \text{ mm} : & \quad b_{haz} = 20\text{mm} \\
 6 < t \leq 12 \text{ mm} : & \quad b_{haz} = 30\text{mm} \\
 12 < t \leq 25 \text{ mm} : & \quad b_{haz} = 35\text{mm} \\
 t > 25 \text{ mm} : & \quad b_{haz} = 40\text{mm}
 \end{aligned}
 \tag{4.16}$$

Για πάχη μεγαλύτερα των 12 mm πιθανώς να έχουμε θερμοκρασιακή επίδραση, διότι η ενδοστρωματική ψύξη μπορεί να υπερβαίνει τους 60° C εκτός αν πραγματοποιείται αυστηρός ποιοτικός έλεγχος. Το τελευταίο αυξάνει το πλάτος της Ζ.Θ.Ε.

Τα παραπάνω νούμερα ισχύουν στην περίπτωση εσωραφών (με δύο θερμικές διόδους) ή σε εξωραφές σε κόμβους μορφής T (τρεις θερμικές διόδους) για σειρές κραμάτων 6xxx και 7xxx, ή της σειράς 5xxx στην κατάσταση εργοσκληρυνσης.

Για συγκόλληση τύπου TIG (βολφράμιο αδρανές αέριο) το εύρος της Ζ.Θ.Ε είναι μεγαλύτερο διότι η εισροή θερμότητας είναι μεγαλύτερη από ότι για συγκόλληση τύπου MIG. Ισχύει:

$$0 < t \leq 6 \text{ mm} : \quad b_{\text{haz}} = 30 \text{ mm} \quad (4.17)$$

Όταν δύο συγκολλήσεις βρίσκονται πλησίον η μία στην άλλη, τα σύνορα της Ζ.Θ.Ε επικαλύπτονται. Τότε θεωρείται πως μία Ζ.Θ.Ε αντιστοιχεί σε όλη τημ ομάδα των συγκολλήσεων. Όταν μία συγκόλληση είναι τοποθετημένη πολύ κοντά προς το ελεύθερο άκρο μίας προεξοχής, η διάχυση της θερμότητας είναι λιγότερο αποδοτική. Στην περίπτωση που η απόσταση από το άκρο της συγκόλλησης μέχρι το άκρο της προεξοχής είναι λιγότερο από $3b_{\text{haz}}$, θεωρούμε πως ολόκληρο το πλάτος της προεξοχής υπόκειται στον μειωτικό συντελεστή ρ_{haz} .

Άλλοι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την τιμή του πλάτους b_{haz} είναι οι ακόλουθοι:

- Θερμοκρασία άνω των 60 °C

Αν η ενδοστρωματική θερμοκρασία T_1 κυμαίνεται μεταξύ 60 και 120 °C, μία συντηρητική θεώρηση είναι ο πολλαπλασιασμός του εύρους b_{haz} με τον συντελεστή α_2 (προκειμένου για κράματα της σειράς 6xxx, 7xxx και της 5xxx σε κατάσταση εργοσκληρυνσης):

$$\begin{aligned} \text{κράματα της σειράς 6xxx:} \quad \alpha_2 &= 1 + \frac{T_1 - 60}{120} \\ \text{κράματα της σειράς 7xxx:} \quad \alpha_2 &= 1 + 1.5 \frac{T_1 - 60}{120} \end{aligned} \quad (4.18)$$

Σε περίπτωση που απαιτείται μία λιγότερο συντηρητική τιμή του α_2 , πειράματα σκληρότητας σε δοκίμια μπορούν να προσδιορίσουν το πραγματικό εύρος της Ζ.Θ.Ε. Η

θερμοκρασία των 120 °C είναι η μέγιστη συνιστώμενη για την συγκόλληση κραμάτων αλουμινίου.

- Διακυμάνσεις στο πάχος του στοιχείου

Εάν τα στοιχεία που συνδέονται μέσω της συγκόλλησης δεν διαθέτουν κοινό πάχος t , μπορούμε υπέρ της ασφάλειας να θεωρήσουμε στις παραπάνω εκφράσεις πως το t αντιστοιχεί στο μέσο πάχος όλων των στοιχείων. Τούτο ισχύει υπό την προϋπόθεση ότι το μέσο πάχος δεν ξεπερνά την τιμή $1.5 \times (\text{ελάχιστο πάχος})$. Για μεγαλύτερες διακυμάνσεις η έκταση της Ζ.Θ.Ε θα πρέπει να προσδιορίζεται από πειράματα σκληρότητας σε δοκίμια.

- Διακυμάνσεις στον αριθμό των θερμικών διόδων

Εάν οι κόμβοι μεταξύ των στοιχείων είναι συγκολλημένοι μέσω εξωραφής, αλλά έχουν διαφορετικό αριθμό θερμικών διόδων (N), από τις τρεις που αναφέρθηκαν σε προηγούμενη παράγραφο, πολλαπλασιάζουμε την τιμή του b_{haz} με $3/N$.

5.11.5 Αντοχή Δοκών

5.11.5.1 Αντοχή σε Μονοαξονική Κάμψη

Ελλείψει διατμητικής δύναμης, η τιμή σχεδιασμού της καμπτικής ροπής M_{Rd} θα πρέπει να λαμβάνεται μικρότερη από $M_{\alpha,Rd}$ και $M_{c,Rd}$ όπου:

$$M_{\alpha,Rd} = f_{\alpha} \frac{W_{net}}{\gamma_{M2}} \quad (4.19)$$

σε καθαρή διατομή και

$$M_{c,Rd} = f_o \alpha \frac{W_{el}}{\gamma_{M1}} \quad (4.20)$$

σε κάθε διατομή όπου:

α είναι ο συντελεστής σχήματος, ο οποίος δίνεται από τον Πίν. 5.19

W_{el} είναι η ελαστική ροπή αντίστασης της πλήρους διατομής

W_{net} είναι η ελαστική ροπή αντίστασης της καθαρής διατομής το οποίο λαμβάνει υπόψη οπές και χαλάρωση λόγω της Ζ.Θ.Ε, εάν υπάρχει συγκόλληση

Συντελεστής Σχήματος α		
Κατηγορία Διατομής	Μη Συγκολλημένα	Συγκολλημένα
1	W_{pl}/W_{el}	W_{ple}/W_{el}
2	W_{pl}/W_{el}	W_{ple}/W_{el}
3	$\alpha_{3,u}$	$\alpha_{3,w}$
4	W_{eff}/W_{el}	W_{effe}/W_{el}

Πίν. 5.19: Τιμές του Συντελεστή Σχήματος α

Στον παραπάνω πίνακα ισχύει:

W_{pl} η πλαστική ροπή αντίστασης της πλήρους διατομής

W_{eff} η ενεργός ελαστική ροπή αντίσταση της διατομής, η οποία λαμβάνεται χρησιμοποιώντας απομειωμένο πάχος t_{eff} για στοιχεία κατηγορίας 4.

W_{ele} η ενεργός ελαστική ροπή αντίσταση της πλήρους διατομής, η οποία λαμβάνεται χρησιμοποιώντας απομειωμένο πάχος ρ_{haz} για υλικό σε Ζ.Θ.Ε

W_{ple} η ενεργός πλαστική ροπή αντίσταση της πλήρους διατομής, η οποία λαμβάνεται χρησιμοποιώντας απομειωμένο πάχος ρ_{haz} για υλικό σε Ζ.Θ.Ε

W_{effe} η ενεργός ελαστική ροπή αντίσταση της διατομής, η οποία λαμβάνεται χρησιμοποιώντας το απομειωμένο πάχος t_{eff} για στοιχεία κατηγορίας 4 ή απομειωμένο πάχος ρ_{haz} για υλικό σε Ζ.Θ.Ε, ανάλογα με το ποιο δίνει ελάχιστη τιμή

$\alpha_{3,u} = 1$, ή εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$\alpha_{3,u} = 1 + \frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \left(\frac{W_{pl}}{W_{el}} - 1 \right) \quad (4.21)$$

$\alpha_{3,w} = W_{ele} / W_{el}$, ή εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$\alpha_{3,w} = \frac{W_{ele}}{W_{el}} + \left(\frac{\beta_3 - \beta}{\beta_3 - \beta_2} \right) \left(\frac{W_{ple} - W_{ele}}{W_{el}} \right) \quad (4.22)$$

όπου:

β είναι η παράμετρος λυγηρότητας για το κρισιμότερο στοιχείο της διατομής

β_2 και β_3 είναι οι παράμετροι οι οποίες λαμβάνονται από τον Πίν. 5.16.

5.11.5.2 Αντοχή σε Διατμητική Δύναμη

Η τιμή σχεδιασμού για την διατμητική δύναμη V_{Ed} σε κάθε διατομή θα πρέπει να ικανοποιεί:

$$V_{Ed} \leq V_{c,Rd} \quad (4.23)$$

όπου $V_{c,Rd}$ είναι η διατμητική αντοχή σχεδιασμού της διατομής η οποία εξαρτάται από την κατάταξη της διατομής για διάτμηση και λαμβάνεται ως:

- Για Διατομή Κατηγορίας 1,2 ή 3

$$V_{c,Rd} = A_V f_V / \gamma_{M1} \quad (4.24)$$

όπου A_V είναι η επιφάνεια διάτμησης, η οποία λαμβάνεται ως:

- Για διατομές οι οποίες περιλαμβάνουν στοιχεία που αναλαμβάνουν διάτμηση:

$$A_V = \sum_1^N [0.8D(t_w)_i - (1 - \rho_{haz})d_z(t_w)_i] \quad (4.25)$$

όπου:

d_z το συνολικό ύψος υλικού εντός της Ζ.Θ.Ε το οποίο λαμβάνεται μεταξύ του καθαρού πλάτους του κορμού μεταξύ των πελμάτων. Για διατομές δίχως συγκολλήσεις λαμβάνεται $\rho_{haz}=1$

D το συνολικό ύψος της διατομής το οποίο μετράται μέχρι την εξωτερική επιφάνεια των πελμάτων

t_w το πάχος του κορμού

N ο αριθμός των κορμών (στοιχείων που αναλαμβάνουν διάτμηση)

- Για συμπαγείς ράβδους και στρογγυλούς σωλήνες

$$A_V = n_V A_e \quad (4.26)$$

όπου:

$$\begin{aligned} n_V &= 0.8 \text{ για συμπαγή ράβδο} \\ n_V &= 0.6 \text{ για στρογγυλό σωλήνα} \end{aligned} \quad (4.27)$$

A_e είναι η το εμβαδόν της μη συγκολλημένης διατομής και η ενεργός διατομή η οποία λαμβάνεται θεωρώντας απομειωμένο πάχος ρ_{haz} για το υλικό που βρίσκεται σε Ζ.Θ.Ε συγκόλλησης.

5.11.5.3 Συνδυασμός Κάμψης και Διάτμησης

Η θεωρητική ροπή αντίστασης μίας διατομής μειώνεται λόγω παρουσίας τέμνουσας. Για μικρές τιμές διατμητικής δύναμης η απομείωση είναι τόσο μικρή που μπορεί να αμελείται. Ωστόσο, όταν η διατμητική δύναμη ξεπερνά το ήμισυ της διατμητικής αντοχής, θα πρέπει να εξετάζεται η επίδρασή της στην ροπή αντοχής.

Εφ' όσον η τιμή της τέμνουσας σχεδιασμού V_{Ed} δεν ξεπερνά το 50% της διατμητικής αντοχής $V_{pl,Rd}$ δεν θα πρέπει να πραγματοποιείται απομείωση της ροπής αντοχής η οποία δίνεται από την παράγραφο 5.11.5.1. Διαφορετικά, η σχεδιαστική ροπή αντοχής θα πρέπει να απομειώνεται στην $M_{V,Rd}$. Η απομειωμένη πλαστική ροπή αντοχής σχεδιασμού η οποία λαμβάνει υπόψη την διατμητική δύναμη, λαμβάνεται ως ακολούθως:

- Για την επιφάνεια διάτμησης η συμβολή στην ροπή αντοχής της διατομής βασίζεται στην απομειωμένη αντοχή του υλικού, f_{ow} , η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$f_{ow} = f_o \sqrt{1 - \left(\frac{V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} \right)^2} \quad (4.28)$$

- Στην περίπτωση διατομής τύπου διπλού ταυ ίσων πελμάτων η οποία ανήκει στις κατηγορίες 1,2 ή 3 για την περίπτωση κάμψης, η τιμή της $M_{V,Rd}$ είναι:

$$M_{V,Rd} = t_f b_f (h_s - t_f) \frac{f_o}{\gamma_{M1}} + \frac{t_w h_w^2}{4} \frac{f_{ow}}{\gamma_{M1}} \quad (4.29)$$

- Για διατομές κατηγορίας 4 σε κάμψη ή διατομές οι οποίες επηρεάζονται από τη Ζ.Θ.Ε, θα πρέπει να χρησιμοποιείται ο συντελεστής σχήματος α ο οποίος δίνεται από τον Πίν. 5.19.

5.11.5.4 Στεπτο - καμπτικός Λυγισμός

Όλες οι δοκοί εκτός από αυτές που συγκαταλέγονται στις εξαιρέσεις που αναφέρονται ακολούθως, θα πρέπει να ελέγχονται έναντι πιθανής αστοχίας λόγω στεπτο – καμπτικού λυγισμού.

Μήκη δίχως εξασφάλιση μεταξύ σημείων επαρκούς πλευρικής υποστήριξης θα πρέπει να ικανοποιούν την συνθήκη:

$$M_{ed} \leq M_{b,Rd} \quad (4.30)$$

όπου η σχεδιαστική ροπή αντοχής έναντι λυγισμού ισούται με:

$$M_{b,Rd} = f_s \alpha \frac{W_{el,y}}{\gamma_{M1}} \quad (4.31)$$

Ενώ $W_{el,y}$ είναι η ελαστική ροπή αντίστασης της πλήρους διατομής, δίχως απομείωση για την Ζ.Θ.Ε, τοπικό λυγισμό ή οπές. Η παράμετρος α λαμβάνεται από τον Πίν. 5.19 υπό τον περιορισμό $\alpha \leq \frac{W_{pl}}{W_{el,y}}$. Τέλος, f_s είναι η τάση στρεπτο – καμπτικού λυγισμού η οποία ορίζεται ακολούθως.

Εξαιρέσεις

Δεν απαιτείται έλεγχος ελέγχονται έναντι πιθανής αστοχίας λόγω στρεπτο – καμπτικού λυγισμού στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Η κάμψη λαμβάνει χώρα περί τον ασθενή άξονα
- Η δικός είναι πλήρως εξασφαλισμένη έναντι πλευρικής μετακίνησης καθ' όλο το μήκος της
- Η αδιάστατη παράμετρος λυγηρότητας $\bar{\lambda}_{LT}$ (η οποία ορίζεται ακολούθως), μεταξύ σημείων ενεργών πλευρικών εξασφαλίσεων είναι μικρότερη του 0.4.

Τάση Λυγισμού

Η τάση στρεπτο – καμπτικού λυγισμού f_s για την κατάλληλη αδιάστατη λυγηρότητα $\bar{\lambda}_{LT}$ μπορεί να λαμβάνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$f_s = \chi_{LT} f_o \quad (4.32)$$

Όπου η παράμετρος χ_{LT} δίνεται από:

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \mu\epsilon \quad (4.33)$$

$$\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + a_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

Οι τιμές των a_{LT} και $\bar{\lambda}_{0,LT}$ θα πρέπει να λαμβάνονται ως:

$$\begin{aligned} a_{LT} = 0.10 \quad \& \quad \bar{\lambda}_{0,LT} = 0.6 \text{ για διατομές κατηγορίας 1 ή 2} \\ \text{και} \\ a_{LT} = 0.20 \quad \& \quad \bar{\lambda}_{0,LT} = 0.4 \text{ για διατομές κατηγορίας 3 ή 4} \end{aligned} \quad (4.34)$$

Η τιμή του $\bar{\lambda}_{LT}$ μπορεί να καθορίζεται από τη σχέση:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{\alpha W_{el,y} f_o}{M_{cr}}} \quad (4.35)$$

όπου:

α λαμβάνεται από τον Πίν. 5.19 υπό τον περιορισμό $\alpha \leq \frac{W_{pl}}{W_{el,y}}$

M_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή σε στρεπτο – καμπτικό λυγισμό η οποία υπολογίζεται από τις σχέσεις του Ευρωκώδικα 3.

Υπέρ της ασφαλείας Η τιμή του $\bar{\lambda}_{LT}$ μπορεί να προσδιορίζεται από τη σχέση:

$$\bar{\lambda}_{LT} = \lambda_{LT} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_o}{E}} \quad (4.36)$$

όπου:

$$\lambda_{LT} = \frac{l}{i_z}$$

l είναι το ενεργό μήκος στρεπτο – καμπτικού λυγισμού

i_z είναι η ακτίνα αδρανείας της διατομής περί τον ασθενή άξονα

Για τις διατομές που δίνονται από τον Σχ. 5.9, η τιμή του λ_{LT} μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση:

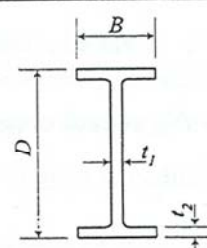
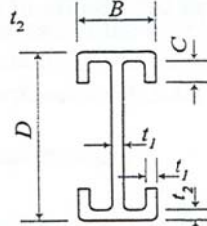
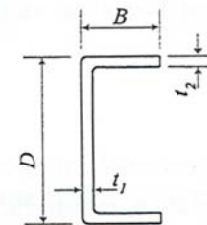
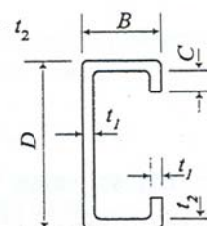
$$\lambda_{LT} = \frac{XL/i_z}{\left[1 + Y\left(\frac{L/i_z}{D/t_2}\right)\right]^{1/4}} \quad (4.37)$$

όπου:

D το ολικό ύψος της διατομής

t₂ το πάχος του πέλματος

X & Y συντελεστές οι οποίοι λαμβάνονται από τον Σχ. 5.9. Υπέρ της ασφαλείας μπορεί να λαμβάνεται X=1.0 και Y=0.05

	$X = 0,90 - 0,03 D/B + 0,04 t_2/t_1$ $Y = 0,05 - 0,010 \sqrt{D/B(t_2/t_1 - 1)}$
	$X = 0,94 - D/B(0,03 - 0,07 C/B) - 0,3 C/B$ $Y = 0,05 - 0,06 C/D$
	$X = 0,95 - 0,03 D/B + 0,06 t_2/t_1$ $Y = 0,07 - 0,014 \sqrt{D/B(t_2/t_1 - 1)}$
	$X = 1,01 - D/B(0,03 - 0,06 C/B) - 0,3 C/B$ $Y = 0,07 - 0,10 C/D$

Σχ. 5.9: Εκφράσεις των συντελεστών X και Y.

Ενεργές Πλευρικές Εξασφαλίσεις

Συστήματα στήριξης τα οποία παρέχουν πλευρικούς περιορισμούς θα πρέπει να σχεδιάζονται με τη θεώρηση ότι η συνολική πλευρική δύναμη η οποία εξασκείται από θλιβόμενο πέλμα, η οποία μοιράζεται μεταξύ των σημείων στήριξης σε κάθε άνοιγμα, αντιστοιχεί στο 3% της θλίψης σε εκείνο το πέλμα.

Όπου μία σειρά δύο ή περισσότερων παράλληλων δοκών απαιτούν πλευρικό περιορισμό, δεν επαρκεί απλώς να προσδεθούν τα θλιβόμενα πέλματα μεταξύ τους προκειμένου να γίνουν αμοιβαίως ανεξάρτητα. Επαρκείς περιορισμοί επιβάλλονται είτε με αγκύρωση των δεσμών σε ανεξάρτητη στιβαρή στήριξη, είτε παρέχοντας τριγωνισμένο σύστημα στήριξης. Εάν οι παράλληλες δοκοί είναι περισσότερες από τρεις, αρκεί το σύστημα

στήριξης να είναι σχεδιασμένο έτσι ώστε να αντιστέκεται στο άθροισμα των πλευρικών δυνάμεων που προκύπτει αποκλειστικά από τις τρεις μεγαλύτερες θλιπτικές δυνάμεις.

5.11.5.5 Διαξονική Κάμψη

Μέλη τα οποία υπόκεινται σε κάμψη περί τους δύο κύριους άξονες μπορούν να σχεδιάζονται σύμφωνα με τις σχέσεις που δίνονται στην παράγραφο 5.11.8.3, παραλείποντας τον όρο της N_{Ed} .

5.11.6 Αντοχή Εφελκόμενων Μελών

Για μέλη τα οποία υπόκεινται σε αξονικό εφελκυσμό, η τιμή σχεδιασμού της εφελκυστικής δύναμης N_{Ed} σε κάθε διατομή θα πρέπει να ικανοποιεί της σχέση:

$$N_{Ed} \leq N_{t,Rd} \quad (4.38)$$

όπου $N_{t,Rd}$ είναι η εφελκυστική αντοχή της διατομής, η οποία λαμβάνεται ως η μικρότερη εκ των ακολούθων δύο τιμών:

- γενικευμένη διαρροή κατά μήκος του μέλους
- τοπική αστοχία σε κρίσιμη διατομή

5.11.6.1 Γενικευμένη Διαρροή

Η τιμή της $N_{t,Rd}$ βασίζεται στη γενική διατομή κατά μήκος του μέλους, αγνοώντας την επίδραση ακραίων συνδέσεων, τυχόν οπών ή τοπικών Ζ.Θ.Ε και δίνεται από:

$$N_{t,Rd} = A_g f_o / \gamma_{M1} \quad (4.39)$$

όπου:

A_g είναι είτε η πλήρης διατομή ή μία απομειωμένη διατομή η οποία λαμβάνει υπόψη την επίδραση της Ζ.Θ.Ε. Στην τελευταία περίπτωση το A_g λαμβάνεται πολλαπλασιάζοντας την πλήρη διατομή με τον μειωτικό συντελεστή ρ_{haz} .

f_o είναι η χαρακτηριστική αντοχή (βλ. 5.11.2.4)

γ_{M1} είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας του υλικού (βλ. 5.1)

5.11.6.2 Τοπική Αστοχία

Η τιμή της $N_{t,Rd}$ βασίζεται στην περισσότερο κρίσιμη διατομή ως ακολούθως:

$$N_{t,Rd} = A_{net} f_a / \gamma_{M2} \quad (4.40)$$

όπου:

f_a είναι η χαρακτηριστική αντοχή (βλ. 5.11.2.4)

A_{net} είναι η καθαρή διατομή, με απομείωση λόγω οπών και επιπλέον απομείωση εφ' όσον απαιτείται για την επίδραση της Ζ.Θ.Ε. Η τελευταία απομείωση βασίζεται στο απομειωμένο πάχος $\rho_{haz}t$.

γ_{M2} είναι ο συντελεστής του υλικού (βλ. 5.1)

5.11.7 Αντοχή Θλιβόμενων Μελών

Μέλη τα οποία υπόκεινται σε αξονική θλίψη είναι δυνατόν να αστοχήσουν με έναν απ[ό τους εξής τρόπους:

- a) Καμπτικό
- b) Στρεπτικό
- c) Τοπική Σύνθλιψη

Έλεγχος για τον πρώτο πρέπει να γίνεται σε κάθε περίπτωση. Για τον δεύτερο, εν γένει απαιτείται αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αποφευχθεί. Τέλος, έλεγχος για τον τρίτο απαιτείται μόνο για ορθοστάτες χαμηλής λυγηρότητας που αποδυναμώνονται σημαντικά λόγω οπών ή συγκολλήσεων.

Για συνδυασμένη θλίψη και κάμψη βλ. παράγραφο 5.11.8.

5.11.7.1 Κατάταξη Διατομής για Αξονική Θλίψη

Η κατάταξη πραγματοποιείται σε αντιστοιχία με την παράγραφο 5.11.3.2.

5.11.7.2 Αντοχή έναντι Καθολικού Λυγισμού

Οι έλεγχοι για τις περιπτώσεις α) και β) θα πρέπει να ικανοποιούν τη συνθήκη:

$$N_{Ed} \leq N_{b,Rd} \quad (4.41)$$

όπου:

$N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού σε λυγισμό και ισούται με $f_s A / \gamma_{M1}$

A είναι η πλήρης διατομή, δίχως απομείωση για Ζ.Θ.Ε, τοπικό λυγισμό ή οπές

f_s είναι η τάση λυγισμού για καμπτικό λυγισμό ή στρεπτικό λυγισμό.

5.11.7.3 Αντοχή σε Καμπτικό Λυγισμό

Τάση Λυγισμού

Η τιμή της f_s καθορίζεται από τη σχέση:

$$f_s = \chi \cdot n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot f_o \quad (4.42)$$

όπου το χ λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{όπου} \quad (4.43)$$
$$\phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_o) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

α είναι ο συντελεστής ατελειών ο οποίος λαμβάνεται από τον Πίν. 5.21

$\bar{\lambda}_o$ είναι το όριο της περιοχής κόρου του διαγράμματος (plateau), το οποίο λαμβάνεται από τον Πίν. 5.21

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A n f_o}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

λ είναι η λυγηρότητα του σχετικού άξονα

$$\lambda_1 = \pi \sqrt{\frac{E}{nf_o}}$$

N_{cr} είναι το ελαστικό κρίσιμο φορτίο του σχετικού άξονα

n είναι ο παράγοντας μέσω του οποίου λαμβάνεται υπόψη της ύπαρξη στοιχείων κατηγορίας 4, ο οποίος δίνεται από:

$n=1$ για διατομή κατηγορίας 1,2 ή 3

$n=A_e/A$ για διατομή κατηγορίας 4 με $A_e=A-A_c(1-\rho_c)$, A_c = εμβαδόν στοιχείου κατηγορίας 4, $\rho_c=t_{ef}/t$ για κάθε στοιχείο κατηγορίας 4.

k_1 συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την ασυμμετρία της διατομής και δίνεται από τον Πίν. 5.20.

k_2 συντελεστής ο οποίος λαμβάνει υπόψη την επιρροή της συγκόλλησης και δίνεται από τον Πίν. 5.20.

		Συντελεστές k_1, k_2	
		Θερμικά Κατεργασμένα Κράματα	Θερμικά Ακατέργαστα Κράματα
k_1	Συμμετρική Διατομή	1	1
	Ασύμμετρη Διατομή	$1 - 2.4\psi^2 \frac{\bar{\lambda}^2}{(1 + \bar{\lambda}^2)(1 + \bar{\lambda})^2}$	$\frac{1 - 3.2\psi^2 \bar{\lambda}^2}{(1 + \bar{\lambda}^2)(1 + \bar{\lambda})^2}$
		$\psi = \frac{\gamma_{\max} - \gamma_{\min}}{h}$ όπου γ_{\max} και γ_{\min} είναι οι αποστάσεις μεταξύ των άκρων της διατομής και του κέντρου βάρους στο επίπεδο λυγισμού και h το ύψος της διατομής.	
k_2	Διαμήκειες Ραφές	$1 - \left(1 - \frac{A_1}{A}\right) 10^{-\bar{\lambda}} - \left(0.05 + 0.1 \frac{A_1}{A}\right) \bar{\lambda}^{1.3(1-\bar{\lambda})}$ όπου $A_1 = A - A_{\text{haz}} (1 - \rho_{\text{haz}})$ και $A_{\text{haz}} = \text{εμβαδόν της Ζ.Θ.Ε}$	$1 + 0.04(4\bar{\lambda})^{(0.5-\bar{\lambda})} - 0.22\bar{\lambda}^{1.4(1-\bar{\lambda})}$
	Εγκάρσιες Ραφές	ρ_{haz} ή ω_x σύμφωνα με τη σχέση	ρ_{haz} ή ω_x σύμφωνα με ????

Πίν. 5.20: Τιμές των Συντελεστών k_1, k_2

Συντελεστής ατέλειας α και $\bar{\lambda}_o$		
Κράματα	α	$\bar{\lambda}_o$
Θερμικά Κατεργασμένα	0.20	0.10
Θερμικά Ακατέργαστα	0.32	0.00

Πίν. 5.21: Τιμές των Συντελεστών α και $\bar{\lambda}_o$

Παράμετρος Λυγηρότητας

Η παράμετρος λυγηρότητας υποστυλώματος λ ορίζεται ως ακολούθως:

$$\lambda = l / i \quad (4.44)$$

όπου:

l είναι το ενεργό μήκος

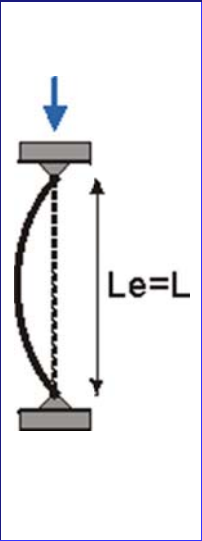
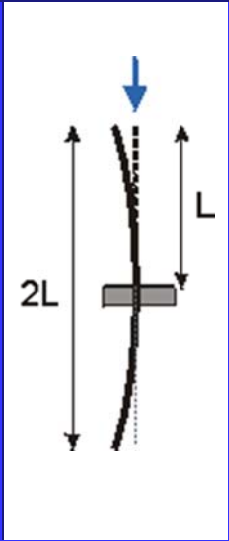
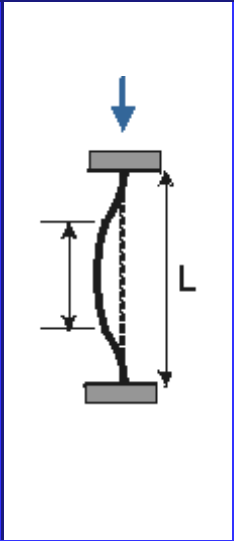
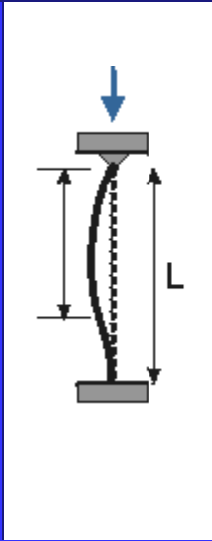
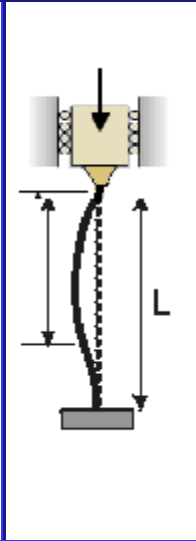
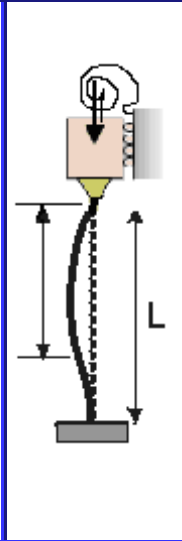
i είναι η ακτίνα αδρανείας

και τα δύο αφορούν στην θεωρούμενη διεύθυνση λυγισμού.

Το ενεργό μήκος l θα πρέπει να λαμβάνεται ως KL , όπου L είναι το μήκος μεταξύ σημείων πλευρικών εξασφαλίσεων. Για αμφιέρειστη δοκό το L είναι ίσο με το μήκος αυτής. Η τιμή του συντελεστή ενεργού μήκους για δοκούς, K , θα πρέπει να εκτιμάται λαμβάνοντας υπόψη τις συνοριακές συνθήκες. (βλ. Πίν. 5.22)

Η τιμή του i θα πρέπει να βασίζεται στην πλήρη διατομή για όλα τρα μέλη.

Σημείωση: Όταν μία διατομή επηρεάζεται πλήρως ή μερικώς από τη Ζ.Θ.Ε σε κάποιο περιοριζόμενο άκρο του μέλους, τέτοιοι περιορισμοί θα πρέπει να αγνοούνται για τον προσδιορισμό της τιμής του K . Έτσι, για την πρώτη περίπτωση του Πίν. 5.22 η τιμή του K θα πρέπει να ληφθεί ίση με τη μονάδα εάν η διατομή έχει πλήρως αποδυναμωθεί σε κάθε άκρο.

Συντελεστής Ενεργού Μήκους K για Δοκούς					
Συνοριακή Συνθήκη					
Άρθρωση - Άρθρωση	Πάκτωση - Ελεύθερο Άκρο	Πάκτωση - Πάκτωση	Πάκτωση - Άρθρωση	Κυλιώμενη Πάκτωση - Πάκτωση	Μερική Πάκτωση - Πάκτωση
					
1	2	0.7	0.85	1.25	1.5

Πίν. 5.22: Τιμές του Συντελεστή Ενεργού Μήκους K για Δοκούς.

5.11.7.4 Στρεπτικός Λυγισμός

Εξαιρέσεις

Η πιθανότητα στρεπτικού λυγισμού μπορεί να αγνοείται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Κλειστές κοίλες διατομές
- Διατομές διπλού ταν διπλής συμμετρίας
- Διατομές οι οποίες συνίστανται αποκλειστικά από ακτινικά προεξέχοντα τμήματα, π.χ: γωνιακά, ταν, σταυροί τα οποία κατατάσσονται ως κατηγορία 1.

Παράμετρος Λυγηρότητας

Η παράμετρος λυγηρότητας στην περίπτωση στρεπτικού λυγισμού, λ , μπορεί να λαμβάνεται χρησιμοποιώντας κάποια από τις ακόλουθες σχέσεις:

- Γενική Έκφραση

$$\lambda = \pi \sqrt{\frac{EA}{N_{cr}}} \quad (4.45)$$

όπου:

A είναι το εμβαδόν της πλήρους διατομής

E είναι το μέτρο ελαστικότητας

N_{cr} είναι το κρίσιμο ελαστικό φορτίο για στρεπτικό λυγισμό, το οποίο λαμβάνει υπόψη την αλληλεπίδραση με τον λυγισμό του στύλου, όπου αυτό απαιτείται.

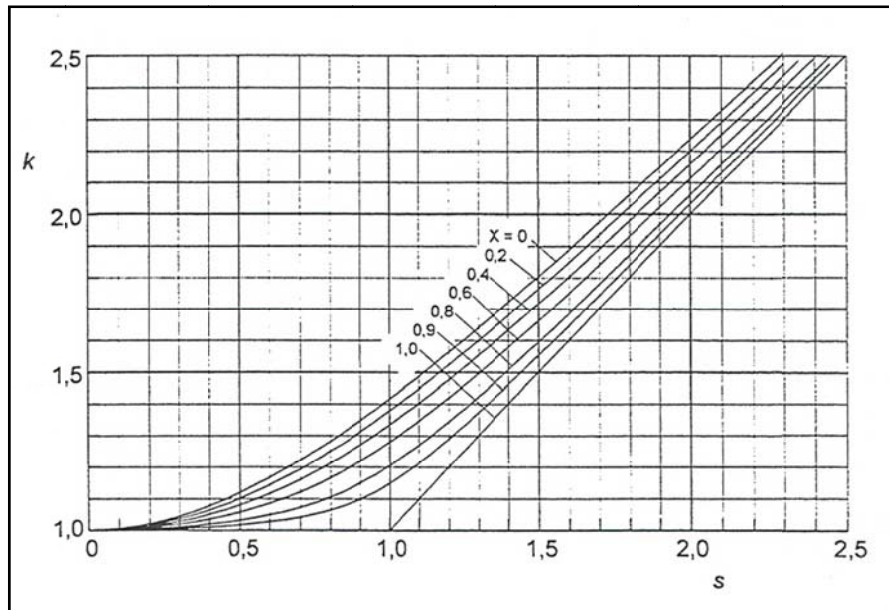
- Για τις διατομές που δίνονται από τον Πίν. 5.24.

$$\lambda = k \lambda_i \quad (4.46)$$

όπου: το k λαμβάνεται από το Σχ. 5.10 ή από τη σχέση:

$$k = \sqrt{\frac{2Xs^2}{1+s^2 - \sqrt{(1+s^2)^2 - 4Xs^2}}} \quad (4.47)$$

όπου τα X, s λαμβάνονται από τον Πίν. 5.24.



Σχ. 5.10: Τιμές του Συντελεστή k.

Το λ_t προσδιορίζεται ως εξής:

Για γωνιακά, ταυ, σταυρούς: $\lambda_t = \lambda_o$

$$\text{Για διατομές τύπου U και Π: } \lambda_t = \frac{\lambda_o}{\sqrt{1 + Y \lambda_o^2 / \lambda_y^2}} \quad (4.48)$$

Τάση Λυγισμού

Η τιμή της f_s για στρεπτικό λυγισμό θα πρέπει να λαμβάνεται από την έκφραση (4.42), όπου το ϕ λαμβάνεται από τη σχέση:

$$\phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_1) + \bar{\lambda}^2 \right] \quad (4.49)$$

Η τιμή του $\bar{\lambda}_1$ καθορίζεται από τον ακόλουθο Πίνακα.

Συντελεστές α και $\bar{\lambda}_1$ για στρεπτικό λυγισμό		
Διατομή	Τιμή του α	Τιμή του $\bar{\lambda}_1$
Γενικού Τύπου	0.35	0.40
Αποτελούμενη εξολοκλήρου από ακτινικά προεξέχοντα τμήματα	0.20	0.60

Πίν. 5.23: Τιμές των Συντελεστών α και $\bar{\lambda}_1$ για στρεπτικό λυγισμό

5.11.7.5 Τοπική Σύνθλιψη

Η αξονική δύναμη N_{Ed} δεν πρέπει να υπερβαίνει την τιμή $N_{\alpha,Rd}$ για τη δυσμενέστερη διατομή κατά μήκος της δοκού, η οποία δίνεται από:

$$\begin{aligned} \text{Κατηγορία 1,2 ή 3, δίχως επιρροή από Ζ.Θ.Ε: } N_{\alpha,Rd} &= f_o A_n / \gamma_{M1} \\ \text{Υπόλοιπες Διατομές: } N_{\alpha,Rd} &= f_o A_{ne} / \gamma_{M1} \end{aligned} \quad (4.50)$$

όπου:

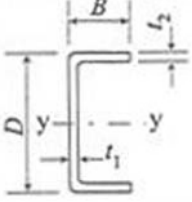
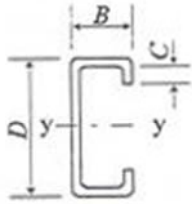
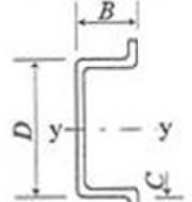
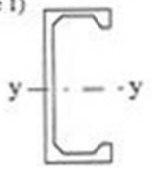
A_n το εμβαδόν της καθαρής διατομής, με απομείωση για απλήρωτες οπές

A_{ne} η καθαρή ενεργός διατομή, η οποία λαμβάνεται όπως και η A_e δίχως την απομείωση για απλήρωτες οπές, όπου η A_e είναι η ενεργός διατομή η οποία χρησιμοποιείται στη θεώρηση καθολικού λυγισμού (στρεπτικού ή καμπτικού). Για οπές οι οποίες βρίσκονται σε περιοχές μειωμένου πάχους το συμπέρασμα μπορεί να βασίζεται στο απομειωμένο πάχος, αντί του πλήρους.

Πίν. 5.24: Τιμές των Συντελεστών s , λ_0 , X και Y .

1		$\rho \leq 5$	$\lambda_0 = \lambda_1 = 5 B/t - 0,6 \rho^{0,5} (B/t)^{0,5}$ $s = \lambda_1 / \lambda_0$ $X = 0,6$
2		$\rho \leq 5$ $1 \leq w \leq 2,5$	$\lambda_0 = \lambda_1 - (w - 1)[2(w - 1)^2 - 1,5 \rho]$ $s = \lambda_1 / \lambda_0$ $X = 0,6$
3	(See note 1) 		$\lambda_0 = 66$ $s = \lambda_1 / \lambda_0$ $X = 0,61$
4		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq B/D \leq 1$	$\lambda_0 = (D/t)[4,2 + 0,8(B/D)^2] - 0,6 \rho^{0,5} (D/t)^{0,5}$ $s = s_4 = \{1 + 6(1 - B/D)^2\} (\lambda_1 / \lambda_0)$ $X = X_4 = 0,6 - 0,4(1 - B/D)^2$
5		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq B/D \leq 1$ $1 \leq w \leq 2,5$	$\lambda_0 = \lambda_4 + 1,5 \rho (w - 1) - 2(w - 1)^3$ $s = s_4$ $X = X_4$
6	(See note 1) 		$\lambda_0 = 57$ $s = 1,4 \lambda_1 / \lambda_0$ $X = 0,6$
7		$\rho \leq 3,5$	$\lambda_0 = 5,1 B/t - \rho^{0,5} (B/t)^{0,5}$ $X = 1$

8		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq D/B \leq 2$	$\lambda_o = \lambda_s = (B/t)[4,4 + 1,1(B/D)^2] - 0,7\rho^{0,5}(B/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = X_s = 1,1 - 0,3 D/B$
9		$\rho \leq 5$ $0,5 \leq D/B \leq 2$ $1 \leq w \leq 2,5$	$\lambda_o = \lambda_s + 1,5 \rho(w-1) - 2(w-1)^3$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = X_s$
10	(See note 1) Equal		$\lambda_o = 70$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = 0,83$
11	(See note 1) Unequal		$\lambda_o = 60$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = 0,76$
12	(See note 1) Unequal		$\lambda_o = 63$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = 0,89$
13		$\rho \leq 3,5$ $0,5 \leq D/B \leq 2$	$\lambda_o = (D/t)[1,4 + 1,5 B/D + 1,1 D/B] - \rho^{0,5}(D/t)^{0,5}$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = 1,3 - 0,8 D/B + 0,2(D/B)^2$
14	(See note 1) 		$\lambda_o = 65$ $s = \lambda_z/\lambda_o$ $X = 0,78$

15		$1 \leq D/B \leq 3$ $1 \leq t_2/t_1 \leq 2$	$\lambda_o = (B/t_2)[7 + 1,5 (D/B)(t_2/t_1)]$ $s = \lambda_y/\lambda_1$ $X = 0,38 D/B - 0,04(D/B)^2$ $Y = 0,14 - 0,02 D/B - 0,02 t_2/t_1$
16		$1 \leq D/B \leq 3$ $C/B \leq 0,4$	$\lambda_o = (B/t)(7 + 1,5 D/B + 5C/B)$ $s = \lambda_y/\lambda_1$ $X = 0,38 D/B - 0,04(D/B)^2 - 0,25 C/B$ $Y = 0,12 - 0,02 D/B + \frac{0,6(C/B)^2}{D/B - 0,5}$
17		$1 \leq D/B \leq 3$ $C/B \leq 0,4$	$\lambda_o = (B/t)(7 + 1,5 D/B + 5C/B)$ $s = \lambda_y/\lambda_1$ $X = 0,38 D/B - 0,04(D/B)^2$ $Y = 0,12 - 0,2 D/B - \frac{0,05C/B}{D/B - 0,5}$
18	(See note 1) 		$\lambda_o = 126$ $s = \lambda_y/\lambda_1$ $X = 0,59$ $Y = 0,104$

5.11.8 Αντοχή Μελών με Αξονική Δύναμη και Διαξονική Κάμψη

Σε αυτήν την περίπτωση απαιτούνται συνήθως δύο έλεγχοι:

- Έλεγχος έναντι καμπτικού λυγισμού
- Έλεγχος έναντι στρεπτο – καμπτικού λυγισμού

5.11.8.1 Κατάταξη Διατομών και Τοπικός Λυγισμός υπό Συνδυασμένη Ένταση

Η κατάταξη διατομών για μέλη που υπόκεινται σε συνδυασμό καμπτικών και αξονικών δράσεων πραγματοποιείται ανεξάρτητα για τρεις επί μέρους δράσεις σύμφωνα με τη παράγραφο 5.11.3.

Μία διατομή μπορεί να ανήκει σε διαφορετικές κατηγορίες για αξονική δύναμη, κάμψη περί τον ισχυρό και κάμψη περί τον ασθενή άξονα. Η συνδυασμένη εντατική κατάσταση

αντιμετωπίζεται με βάση της εκφράσεις αλληλεπίδρασης των παραγράφων ??? και ???. Οι εκφράσεις αυτές μπορούν να χρησιμοποιούνται για όλες τις κατηγορίες διατομών.

5.11.8.2 Κάμψη και Αξονική Δύναμη. Έλεγχος Διατομής

Κάμψη και Αξονικός Εφελκυσμός

Μέλη τα οποία υπόκεινται σε συνδυασμό καμπτικής και αξονικής έντασης θα πρέπει να ελέγχονται για αντοχή σε στρεπτο – καμπτικό λυγισμό.

Όπου η αξονική δύναμη και η ροπή κάμψης μπορούν να μεταβάλλονται ανεξάρτητα, η τιμή σχεδιασμού για τον αξονικό εφελκυσμό θα πρέπει να πολλαπλασιάζεται με ένα μειωτικό συντελεστή καθώς πρόκειται για σύνθεση διανυσμάτων.

$$\psi_{vec} = 0.8 \quad (4.51)$$

Η καθαρή υπολογιζόμενη τάση $\sigma_{com,Ed}$ (η οποία μπορεί να υπερβαίνει την τιμή f_o/γ_{M1}) στην ακραία θλιβόμενη ίνα, λόγω διανυσματικής σύνθεσης θα πρέπει να καθορίζεται από:

$$\sigma_{com,Ed} = M_{Sd} / W_{com} - \psi_{sec} N_{t,Sd} / A \quad (4.52)$$

όπου W_{com} είναι η ελαστική ροπή αντίστασης για την ακραία θλιβόμενη ίνα και $N_{t,Sd}$ η δράση σχεδιασμού του αξονικού εφελκυσμού.

Θα πρέπει να πραγματοποιείται επαλήθευση κάνοντας χρήση της ενεργού εσωτερικής ροπής σχεδιασμού $M_{eff,Ed}$, η οποία λαμβάνεται από:

$$M_{eff,Ed} = W_{com} \sigma_{com,Ed} \quad (4.53)$$

Η τιμή της $M_{b,Rd}$ λαμβάνεται από τη σχέση (4.31).

- Μέλη τα οποία υπόκεινται σε συνδυασμό κάμψης και αξονικού εφελκυσμού ή κάμψης και αξονικής θλίψης για τα οποία δεν υφίσταται κίνδυνος καμπτικού ή στρεπτο – καμπτικού λυγισμού θα πρέπει να ικανοποιούν τις εκφράσεις ???:

Δοκοί Διπλού Ταυ

Θα πρέπει να ελέγχονται οι ακόλουθες δύο εκφράσεις:

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^{\xi_0} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \leq 1.00 \quad (4.54)$$

και

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^{n_0} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{\gamma_0} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{\xi_0} \leq 1.00 \quad (4.55)$$

όπου οι εκθέτες n_0 , γ_0 και ξ_0 προκύπτουν από τις σχέσεις:

$$\begin{aligned} n_0 &= 1.0 \text{ ή εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται ως } \alpha_z^2 \alpha_y^2 \text{ με } n_0 \geq 1 \text{ και } n_0 \leq 2 \\ \gamma_0 &= 1.0 \text{ ή εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται ως } \alpha_z^2 \text{ με } \gamma_0 \geq 1 \text{ και } \gamma_0 \leq 1.56 \\ \xi_0 &= 1.0 \text{ ή εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται ως } \alpha_y^2 \text{ με } \xi_0 \geq 1 \end{aligned} \quad (4.56)$$

Στις παραπάνω εκφράσεις τα μεγέθη είναι:

N_{Ed}	αξονική θλιπτική ή εφελκυστική δύναμη
$M_{y,Ed}$	ροπή κάμψης περί τον ισχυρό άξονα y
$M_{z,Ed}$	ροπή κάμψης περί τον ασθενή άξονα z
N_{Rd}	$= Af_0 / \gamma_{M1}$ ή $A_{ef} f_0 / \gamma_{M1}$ για διατομές κατηγορίας 4
$M_{y,Rd}$	$= \alpha_y W_y f_0 / \gamma_{M1}$
$M_{z,Rd}$	$= \alpha_z W_z f_0 / \gamma_{M1}$
ω_0	=1 για δοκούς και υποστυλώματα χωρίς τοπικές συγκολλήσεις ή οπές.
α_y, α_z	συντελεστής σχήματος για κάμψη περί τους άξονες y και z, οι οποίοι αφορούν στην πλήρη διατομή λαμβάνοντας υπόψη επιρροές τοπικού λυγισμού και της Ζ.Θ.Ε λόγω διαμηκών συγκολλήσεων. Το α_z πρέπει να είναι μικρότερο από 1.25.

Συμπαγείς και Κοίλες Διατομές

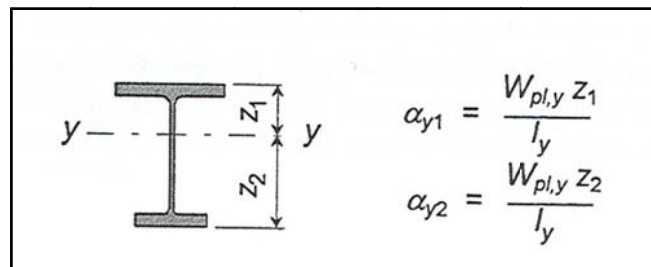
Θα πρέπει να ελέγχεται η ακόλουθη έκφραση:

$$\left[\left(\frac{N_{Ed}}{\omega_0 N_{Rd}} \right)^\psi + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} \leq 1.00 \quad (4.57)$$

όπου $\psi=2$ για συμπαγείς διατομές και $\psi=1.3$ για κοίλες διατομές. Εναλλακτικά, το ψ μπορεί να λαμβάνεται ως $\alpha_y \alpha_z$ υπό τον περιορισμό $\psi \leq 2$.

Άλλες Διατομές

Η έκφραση (4.55) μπορεί να χρησιμοποιείται με $n_0 = \alpha_0^2$ (αλλά $n_0 \leq 2$ & $n_0 > 1$) ενώ $\gamma_0 = \xi_0 = 1$, όπου α_0 είναι το μέγιστο από τα α_{y1}, α_{y2} για τις δύο ακραίες ίνες, όπως σχηματικά δείχνεται και στο Σχ. 5.11. Για λεπτότοιχες διατομές βλ. ???.



Σχ. 5.11: Τιμές των α_{y1}, α_{y2} .

Μέλη τα οποία περιέχουν Τοπικές Συγκολλήσεις

Σε μία διατομή η οποία επηρεάζεται από Ζ.Θ.Ε η τιμή του f_0 θα λαμβάνεται ως η χαρακτηριστική αντοχή σε καθολικό λυγισμό του υλικού απομειωμένης αντοχής. Τούτο περιλαμβάνει επιδράσεις της Ζ.Θ.Ε λόγω της συγκολλήσεως προσωρινών προσαρτημάτων.

Ωστόσο, όταν η επίδραση της Ζ.Θ.Ε εντοπίζεται σε συγκεκριμένη τοποθεσία κατά μήκος του στοιχείου και εφ' όσον η χαλάρωση δεν εξαπλώνεται σε διαμήκη απόσταση μεγαλύτερη από το ελάχιστο πλάτος του μέλους, τότε η αντοχή σχεδιασμού f_0/γ_{M1} θα λαμβάνεται ως η μέγιστη αντοχή σχεδιασμού f_a/γ_{M2} του υλικού απομειωμένης αντοχής.

5.11.8.3 Κάμψη και Αξονική Θλίψη

Για μέλη τα οποία υπόκεινται σε αξονική θλίψη και κάμψη θα πρέπει να ικανοποιούνται κατάλληλες σχέσεις αλληλεπίδρασης καμπτικού και στρεπτο - καμπτικού λυγισμού, σε κάθε μήκος το οποίο είναι πιθανό να λυγίσει.

Όλες οι ποσότητες στις σχέσεις αλληλεπίδρασης θα πρέπει να λαμβάνονται ως θετικές.

Καμπτικός Λυγισμός

Θα πρέπει να ελέγχονται οι ακόλουθες εκφράσεις:

1) Λυγισμός δοκού διατομής διπλού ταυ περί τον y - άξονα

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_y \omega_x N_{Rd}} \right)^{\xi_{ye}} + \frac{M_{y,Ed}}{\omega_0 M_{y,Rd}} \leq 1.00 \quad (4.58)$$

2) Λυγισμός δοκού διατομής διπλού ταυ περί τον z - άξονα

$$\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}} \right)^{n_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{\xi_{ze}} \leq 1.00 \quad (4.59)$$

Στις παραπάνω εκφράσεις όλοι οι εκθέτες μπορούν να λαμβλάνονται ίσοι με 0.8 ή εναλλακτικά:

$$\begin{aligned} n_c &= n_0 \chi_z \text{ αλλά } n_c \geq 0.8 \\ \xi_{ye} &= \xi_0 \chi_y \text{ αλλά } \xi_{ye} \geq 0.8 \\ \xi_{ze} &= \xi_0 \chi_z \text{ αλλά } \xi_{ze} \geq 0.8 \end{aligned} \quad (4.60)$$

όπου:

τα n_0 και ξ_0 δίνονται από τις σχέσεις ???. Ενώ, $\omega_x = \omega_0 = 1$ όταν δεν υπάρχουν τοπικές συγκολλήσεις.

3) Συμπαγείς Διατομές

Η έκφραση ??? μπορεί να χρησιμοποιείται με εκθέτες ίσους με 0.8 ή:

$$n_c = 2\chi \text{ αλλά } n_c \geq 0.8$$

$$\xi_c = 1.56\chi \text{ αλλά } \xi_c \geq 0.8$$

4) Κοίλες Διατομές και Σωλήνες

Η παρακάτω έκφραση μπορεί να χρησιμοποιείται με $\psi_c = 0.8$. Εναλλακτικά το ψ_c μπορεί να ισούται με $\chi_y\psi$ ή $\chi_z\psi$ ανάλογα με τη διεύθυνση λυγισμού, αλλά $\psi_c \geq 0.8$. Το $\psi=2$ για συμπαγείς διατομές ενώ $\psi=1.3$ για κοίλες διατομές. Εναλλακτικά, το ψ μπορεί να λαμβάνεται ως $\alpha_y\alpha_z$ υπό τον περιορισμό $\psi \leq 2$.

$$\left[\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_{\min} \omega_x N_{Rd}} \right)^{\psi_c} + \frac{1}{\omega_0} \left(\frac{M_{y,Ed}}{M_{y,Rd}} \right)^{1.7} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{M_{z,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{0.6} \leq 1.00 \quad (4.61)$$

5) Λοιπές Διατομές

Η έκφραση ??? μπορεί να χρησιμοποιείται για κάμψη διατομών απλής και διπλής συμμετρίας περί οποιονδήποτε άξονα. Για κάμψη περί τον άξονα z αντικαθιστούμε τα ξ_{yc} , $M_{y,Ed}$, $M_{y,Rd}$ και χ_y με ξ_{zc} , $M_{z,Ed}$, $M_{z,Rd}$ και χ_z .

Υπόμνημα

N_{Ed}	αξονική θλιπτική δύναμη
N_{Rd}	Af_0/γ_{M1} ή $A_{ef}f_0/\gamma_{M1}$ για διατομές κατηγορίας 4
χ_y	συντελεστής απομείωσης για λυγισμό στο επίπεδο z - x
χ_z	συντελεστής απομείωσης για λυγισμό στο επίπεδο y - x
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$	καμπτική ροπή περί τους άξονες y και z
$M_{y,Rd}$	$\alpha_y W_y f_0 / \gamma_{M1}$, η αντοχή σε κάμψη περί τον άξονα y
$M_{z,Rd}$	$\alpha_z W_z f_0 / \gamma_{M1}$, η αντοχή σε κάμψη περί τον άξονα z
α_y , α_z	συντελεστής σχήματος αλλά $\alpha_z \leq 1.25$
ω_x , ω_0	συντελεστές για την επίδραση της Ζ.Θ.Ε, οι οποίοι προσδιορίζονται στη συνέχεια. Εάν δεν υπάρχουν συγκολλήσεις λαμβάνεται $\omega_x = \omega_0 = 1$.

Στρεπτο – Καμπτικός Λυγισμός

Η ακόλουθη έκφραση θα πρέπει να ελέγχεται για δοκούς – υποστυλώματα με διατομή διπλού ταυ και παρόμοιες διατομές:

$$\left[\left(\frac{N_{Ed}}{\chi_z \omega_x N_{Rd}} \right)^{n_c} + \left(\frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \omega_{xLT} M_{y,Rd}} \right)^{\gamma_c} + \left(\frac{M_{z,Ed}}{\omega_0 M_{z,Rd}} \right)^{1.7} \right]^{\xi_{zc}} \leq 1.00 \quad (4.62)$$

όπου:

N_{Ed}	αξονική δύναμη
$M_{y,Ed}$	καμπτική ροπή περί τον άξονα y. Στην περίπτωση δοκών – υποστυλωμάτων με αρθρωτά άκρα σε αμετάθετα πλαίσια, η $M_{y,Ed}$ είναι η ροπή πρώτης τάξης. Για μέλη που συμμετέχουν σε μεταθετά πλαίσια, η $M_{y,Ed}$ είναι η καμπτική ροπή σύμφωνα με τη θεωρία δευτέρας τάξεως.
$M_{z,Ed}$	καμπτική ροπή περί τον άξονα z. Η $M_{z,Ed}$ είναι η ροπή πρώτης τάξης.
χ_z	συντελεστής απομείωσης για λυγισμό όταν και το ένα ή και τα δύο πέλματα εκτρέπονται πλευρικά (λυγισμός στο επίπεδο y – z ή στρεπτο – καμπτικός λυγισμός).
$M_{y,Rd}$	$\alpha_y W_y f_0 / \gamma_{M1}$, η αντοχή σε κάμψη περί τον άξονα y
χ_{LT}	συντελεστής απομείωσης για στρεπτο – καμπτικό λυγισμό
$M_{z,Rd}$	$\alpha_z W_z f_0 / \gamma_{M1}$, η αντοχή σε κάμψη περί τον άξονα z
N_{Rd}	$A f_0 / \gamma_{M1}$ ή $A_{ef} f_0 / \gamma_{M1}$ για διατομές κατηγορίας 4
n_c	= 0.8 ή εναλλακτικά $n_0 \chi_z$ αλλά $n_c \geq 0.8$
γ_c	= γ_0
ξ_{zc}	= 0.8 ή εναλλακτικά $\xi_0 \chi_z$ αλλά $\xi_{zc} \geq 0.8$
α_y, α_z	συντελεστής σχήματος αλλά $\alpha_z \leq 1.25$
ω_x, ω_0 και ω_{LT}	συντελεστές για την επίδραση της Ζ.Θ.Ε, οι οποίοι προσδιορίζονται στη συνέχεια.
n_0, γ_0 και ξ_0	προσδιορίζονται σύμφωνα με την έκφραση ???.

Η έκφραση για καμπτικό λυγισμό, (βλ. ???), πρέπει επίσης να ελέγχεται.

Λεπτότοιχες Διατομές

Θα πρέπει να γίνεται χρήση των σχέσεων (4.54) και (4.55). Ο τοπικός λυγισμός λαμβάνεται υπόψη μέσω των συντελεστών σχήματος α_y και α_z . Επίσης θα πρέπει $n_0, \gamma_0, \xi_0 \geq 1$.

Μέλη με Τοπικές Συγκολλήσεις

Η τιμή των ω_0 , ω_x , και ω_{xLT} για δοκό – υποστύλωμα, υποκείμενα στην επίδραση της Ζ.Θ.Ε, θα πρέπει εν γένει να βασίζεται στην μέγιστη αντοχή του υλικού της Ζ.Θ.Ε. Υπέρ της ασφαλείας θα μπορούσε να βασίζεται στην δυσμενέστερη διατομή του υπόψη μέλους, ακόμη και αν η επίδραση εντοπίζεται τοπικά. Τότε τα ω_0 , ω_x και ω_{xLT} των εκφράσεων (4.58), (4.59) και (4.61) προκύπτουν από τη σχέση:

$$\omega_0 = \omega_x = \omega_{xLT} = \frac{\rho_{haz} f_\alpha / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} \quad (4.63)$$

όπου

ρ_{haz} ο συντελεστής απομείωσης για το θερμικά επηρεαζόμενο υλικό.

Ωστόσο, στην περίπτωση που η Ζ.Θ.Ε εμφανίζεται αποκλειστικά πλησίον ακραίων διατομών του μέλους, ή σημείων με αρνητική ροπή κάμψης, τα ω_x και ω_{xLT} μπορούν να επαυξάνονται κατά τον έλεγχο σε καμπτικό και στρεπτο – καμπτικό λυγισμό, υπό την προϋπόθεση η έκταση της Ζ.Θ.Ε να περιορίζεται σε εύρος μικρότερο του ελάχιστου πλάτους της διατομής.

$$\omega_x = \frac{\omega_0}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (4.64)$$

$$\omega_{xLT} = \frac{\omega_0}{\chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (4.65)$$

$$\omega_0 = \frac{\rho_{haz} f_\alpha / \gamma_{M2}}{f_0 / \gamma_{M1}} \text{ με } \omega_0 \leq 1.00 \quad (4.66)$$

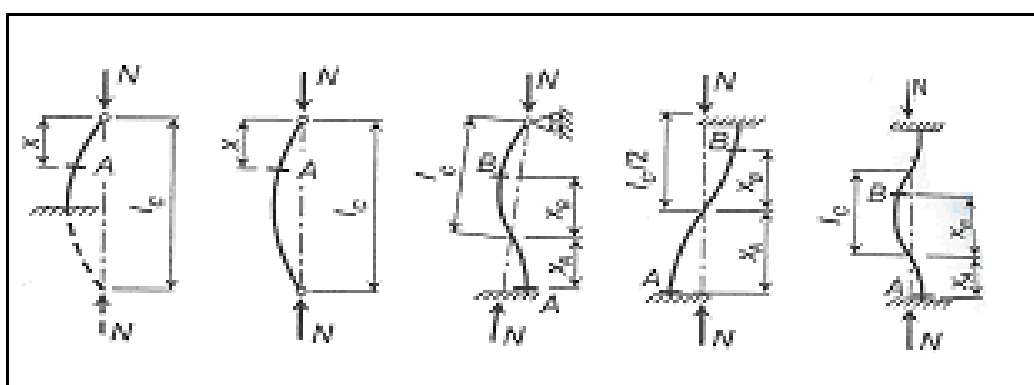
όπου:

χ = χ_y ή χ_z ανάλογα με τη διεύθυνση λυγισμού

χ_{LT} = συντελεστής απομείωσης στρεπτο – καμπτικού λυγισμού σε κάμψη μόνο

x_s = απόσταση από την περιοχή της συγκόλλησης μέχρι μία στήριξη ή σημείο αρνητικής ροπής, αποκλειστικά για ελαστικό λυγισμό λόγω αξονικής δύναμης (βλ. Σχ. 5.12)

l_c = μήκος λυγισμού (= KL)



Σχ. 5.12: Μήκη λυγισμού l_c .

Μέλη με Τοπική Απομείωση Διατομής

Για τοπικές απομειώσεις διατομής, όπως οπές κοχλιών ή αποκομμένα πέλματα, ο έλεγχος των μελών μπορεί να πραγματοποιείται μέσω των σχέσεων (4.64), (4.65) και (4.66), αντικαθιστώντας το ρ_{haz} στις εκφράσεις των ω_0 , ω_x και ω_{xLT} με την τιμή A_{net}/A_g , όπου:

A_{net} η καθαρή διατομή, με απομείωση λόγω οπών

A_g η συνολική διατομή

Μέλη με Άνισες Ακραίες Ροπές ή /και Εγκάρσια Φόρτιση

Οι εκφράσεις των ω_x και ω_{xLT} παίρνουν την μορφή:

$$\omega_x = \frac{1}{\chi + (1 - \chi) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (4.67)$$

$$\omega_{xLT} = \frac{1}{\chi_{LT} + (1 - \chi_{LT}) \sin \frac{\pi x_s}{l_c}} \quad (4.68)$$

5.12 Σχεδιασμός των συνδέσεων

5.12.1 Γενικά

5.12.1.1 Επί μέρους Συντελεστές Ασφαλείας

Οι επί μέρους συντελεστές ασφαλείας δίνονται από τον ακόλουθο Πίνακα:

<i>Επί Μέρους Συντελεστές Ασφαλείας</i>	
Αντοχή κοχλιωτών συνδέσεων	$\gamma_{Mb} = 1.25$
Αντοχή πριτσινιωτών συνδέσεων	$\gamma_{Mf} = 1.25$
Αντοχή συνδέσεων με πείρους	$\gamma_{Mp} = 1.25$
Αντοχή συγκολλητών συνδέσεων	$\gamma_{Mw} = 1.25$
Συνδέσεις ανθεκτικές σε Ολίσθηση	βλ. 5.12.5.5
Συνδέσεις με κολλώδεις Ουσίες	$\gamma_{Ma} \geq 3.0$
Αντοχή Μελών και Διατομών	γ_{M1}, γ_{M2} βλ. 5.1

5.12.1.2 Αντοχή των Συνδέσεων

Η αντοχή σύνδεσης θα πρέπει να καθορίζεται με βάση τις αντοχές των επί μέρους μεταλλικών συνδέσμων και συγκολλήσεων. Εν γένει μπορεί να χρησιμοποιείται η γραμμική ελαστική ανάλυση. Εναλλακτικά, μη γραμμική ανάλυση μπορεί να εφαρμόζεται αρκεί να λαμβάνει υπόψη τα χαρακτηριστικά της χρονοϊστορίας της φόρτισης για όλα τα μέλη της σύνδεσης.

5.12.1.3 Υποθέσεις για το Σχεδιασμό

Οι συνδέσεις πρέπει να σχεδιάζονται κατανέμοντας τις εσωτερικές δυνάμεις και ροπές με τέτοιο τρόπο ώστε να εξασφαλίζονται τα ακόλουθα:

- Οι υποθεθείσες εσωτερικές δυνάμεις και ροπές βρίσκονται σε ισορροπία με τις εφαρμοζόμενες δυνάμεις και ροπές.
- Κάθε στοιχείο της σύνδεσης είναι ικανό να αναλάβει τις δράσεις που προκύπτουν από την ανάλυση
- Οι παραμορφώσεις οι οποίες θεωρούνται σε οποιοδήποτε σχεδιαστικό προσομοίωμα το οποίο βασίζεται σε όρια διαρροής, προκύπτουν από στροφές στερεού σώματος (και παραμορφώσεις εντός του επιπέδου) οι οποίες είναι φυσικώς δυνατές.

Επιπροσθέτως, η υποτιθέμενη κατανομή εσωτερικών δυνάμεων θα πρέπει να είναι ρεαλιστική σε σχέση με τις σχετικές δυσκαμψίες στην περιοχή της ένωσης.

Παραμένουσες τάσεις όπως επίσης και τάσεις λόγω σύσφιξης συνδέσμων δεν απαιτείται να λαμβάνονται υπόψη.

5.12.2 Διασταυρώσεις για Κοχλιωτές, Πριτσινιωτές και Συγκολλητές Συνδέσεις

Τα μέλη τα οποία συναντώνται σε έναν κόμβο θα πρέπει κανονικά να τοποθετούνται έτσι ώστε οι κεντροβαρικοί άξονες να τέμνονται σε ένα σημείο.

Εάν υπάρχει εκκεντρότητα στο σημείο τομής, αυτή θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη, με εξαίρεση κάποιες ειδικές περιπτώσεις κατασκευών όπου έχειδειχθεί πως τούτο δεν απαιτείται.

5.12.3 Συνδέσεις που υπόκεινται σε κρούση, ταλάντωση ή σε αναστροφή φορτίου.

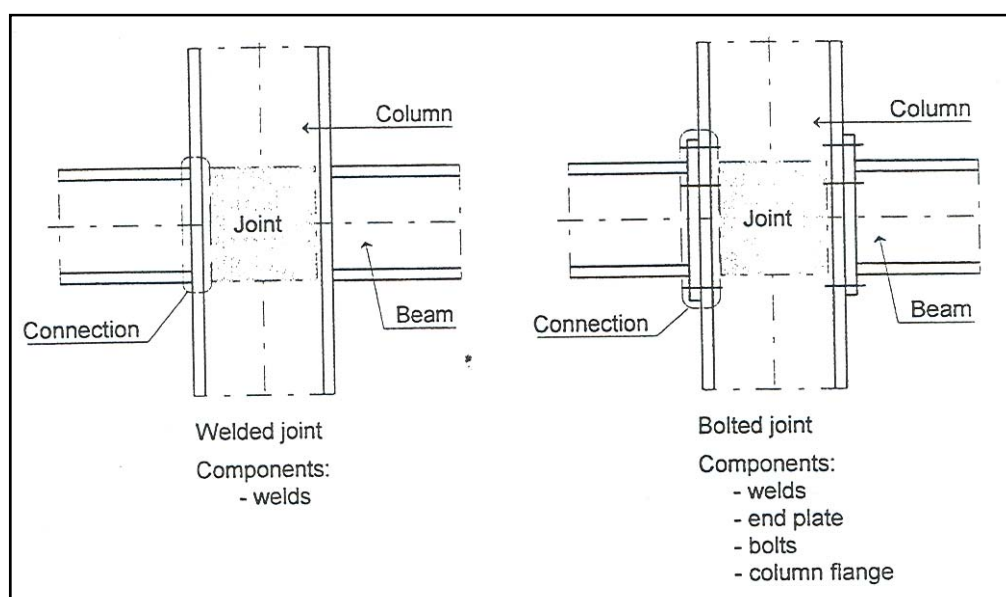
Όπου μία σύνδεση υπόκειται σε κρούση ή ταλάντωση θα χρησιμοποιείται είτε συγκόλληση, είτε κοχλίες με ασφάλειες σύσφιξης ή προεντεταμένοι κοχλίες, εμπηγνυόμενοι κοχλίες, ή τέλος άλλοι τύποι κοχλιών οι οποίοι εμποδίζουν επαρκώς τη μετακίνηση.

Όπου η ολίσθηση δεν είναι αποδεκτή σε κάποια σύνδεση λόγω του ότι υπόκειται σε αναστροφή διατημητικής φόρτισης (ή για όποιον άλλο λόγο), θα πρέπει να

χρησιμοποιούνται είτε προεντεταμένοι κοχλίες, είτε εφαρμοσμένοι κοχλίες, είτε τέλος συγκολλήσεις.

5.12.4 Κατάταξη Διατομών

Κατ' αρχήν θα πρέπει να διαχωρισθεί η έννοια του όρου της σύνδεσης (connection) από το όρο του κόμβου (joint). Ο πρώτος όρος αναφέρεται στην περιοχή της σύνδεσης, ενώ ο δεύτερος συμπεριλαμβάνει και την ζώνη αλληλεπίδρασης μεταξύ συνδεδεμένων μελών.



Σχ. 5.13: Ορισμός σύνδεσης (connection) και κόμβου (joint).

Οι συνδέσεις μπορούν να κατατάσσονται ανάλογα με την ικανότητά τους να αποκαθιστούν την συμπεριφορά των συνδεδεμένων μελών. Δύο βασικές κατηγορίες προσδιορίζονται με βάση την καθολική συμπεριφορά των συνδεδεμένων μελών:

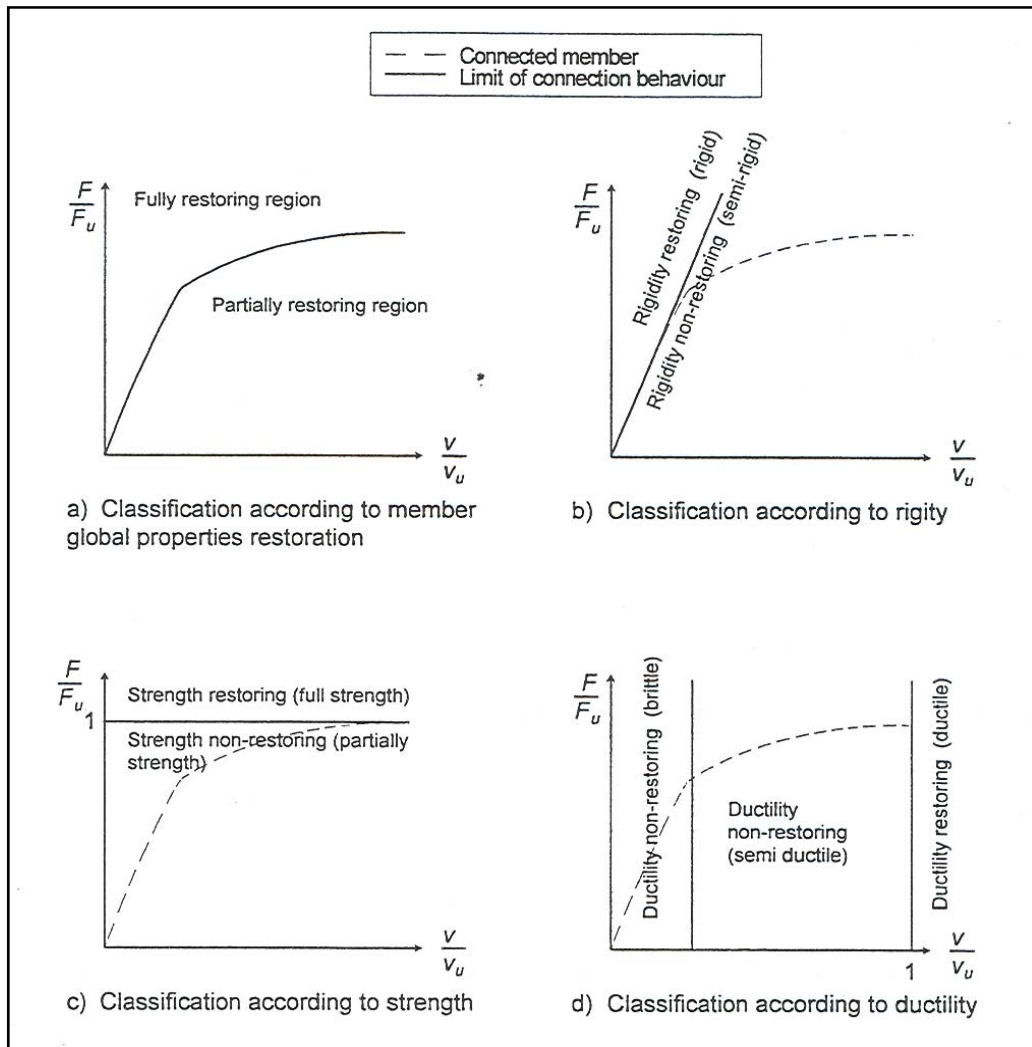
- Συνδέσεις πλήρους αποκατάστασης
- Συνδέσεις μερικής αποκατάστασης

Ανάλογα με την επί μέρους συμπεριφορά του συνδεδεμένου μέλους, οι συνδέσεις μπορούν να κατατάσσονται με κριτήριο:

- Την δυσκαμψία
- Την αντοχή

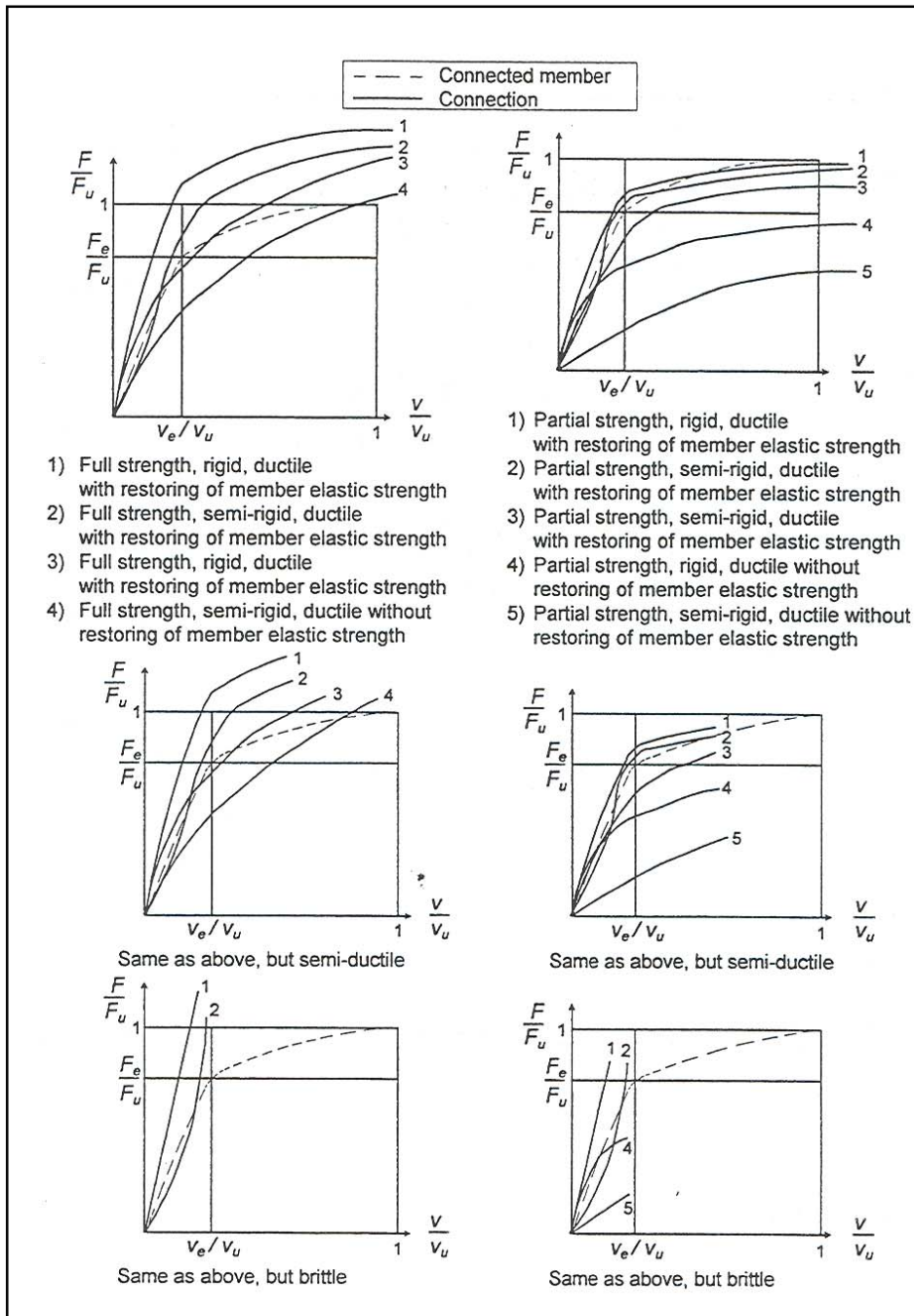
- Την ολκιμότητα

Η κατάταξη για τις προαναφερθείσες περιπτώσεις απεικονίζεται γραφικά από τα ακόλουθα σχήματα:



Σχ. 5.14: Κατάταξη Συνδέσεων.

Στο επόμενο σχήμα παρατίθενται οι περιπτώσεις συνδυασμού των παραπάνω χαρακτηριστικών, που συναντώνται στους βασικούς τύπους σύνδεσης:



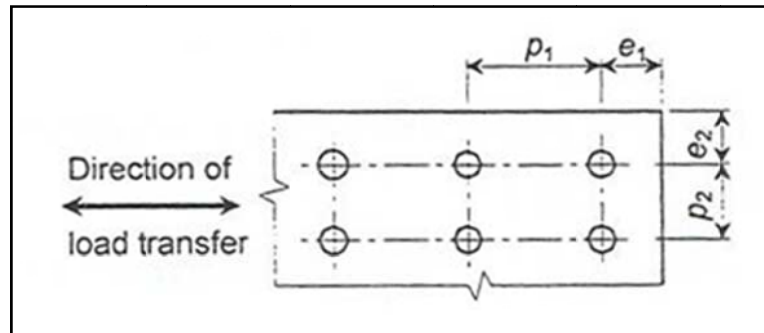
Σχ. 5.15: Βασικοί Τύποι Συνδέσεων

5.12.5 Συνδέσεις κοχλιών, πριτσινίων ή πείρων

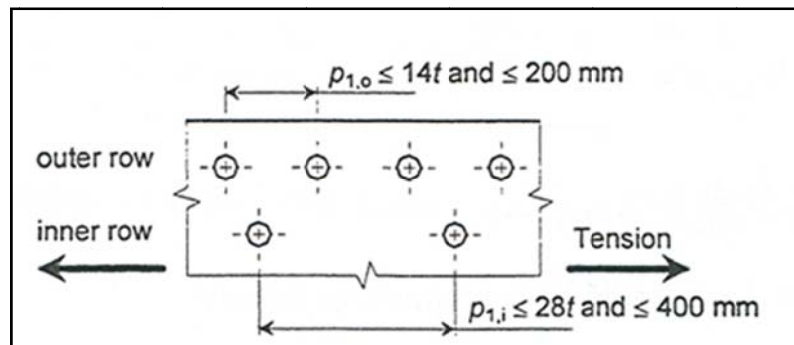
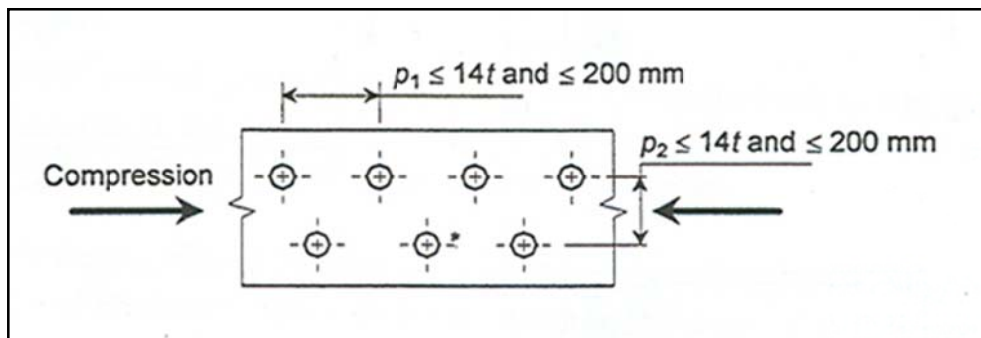
5.12.5.1 Τοποθέτηση των οπών για κοχλίες και πριτσίνια.

Η τοποθέτηση θα γίνεται κατά τέτοιον τρόπο ώστε να αποφεύγεται η διάβρωση και ο τοπικός λυγισμός αλλά και ώστε να διευκολύνεται η τοποθέτηση των μηχανικών μέσων σύνδεσης.

Για τις ακραίες αποστάσεις e_1 και e_2 αλλά και για τις ενδιάμεσες αποστάσεις p_1 και p_2 που εικονίζονται στο Σχ. 5.16, τα μέγιστα και ελάχιστα όρια μπορούν να λαμβάνονται από τον Πίν. 5.25.



Σχ. 5.16: Αποστάσεις μηχανικών συνδέσεων.



Σχ. 5.17: Αποστάσεις μηχανικών συνδέσεων για θλίψη και εφελκυσμό.

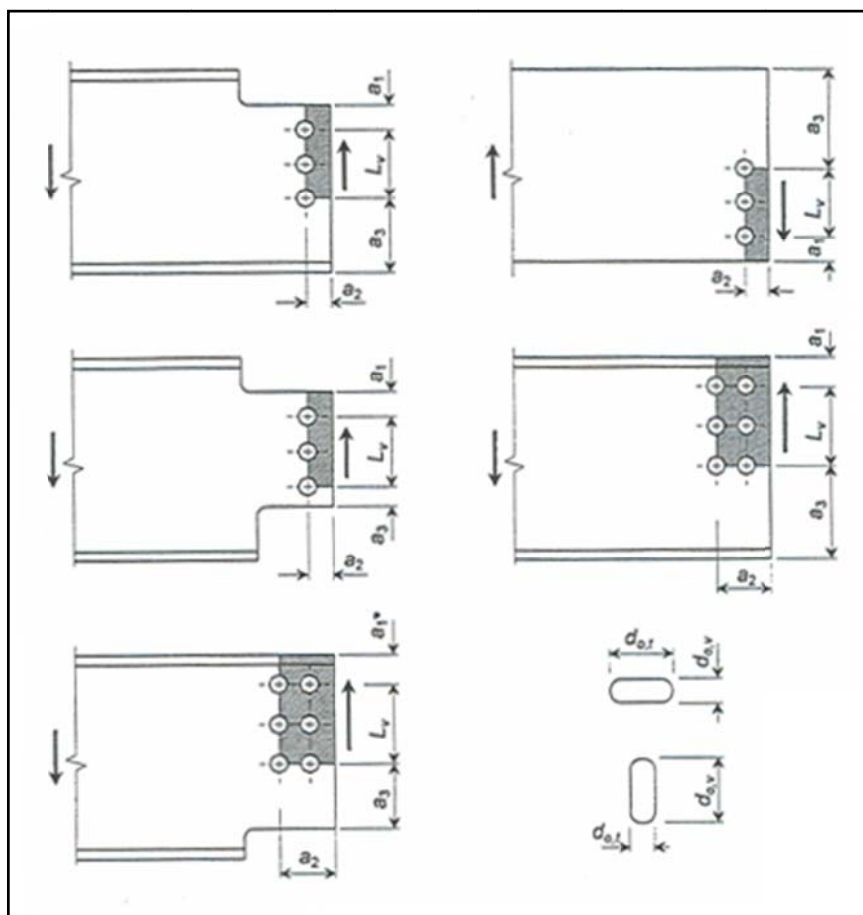
Όρια Ακραίων και Ενδιάμεσων Αποστάσεων		
Τύπος Απόστασης	Ελάχιστο Όριο	Μέγιστο Όριο
Ακραία Απόσταση e_1	1.2d ₀ (συνήθης τιμή: 2.0d ₀)	40mm + 4t για έκθεση σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες
		max(12t ή 150mm) Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις
Ακραία Απόσταση e_2	1.5d ₀ (ή 1.2d ₀ για ακραίες περιπτώσεις)	40mm + 4t για έκθεση σε καιρικές ή διαβρωτικές συνθήκες
		max(12t ή 150mm) Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις
Ενδιάμεση Απόσταση p_1 για θλιβόμενα μέλη	2.2d ₀ (συνήθης τιμή: 2.5d ₀)	min(14t ή 200mm)
Ενδιάμεση Απόσταση p_2 για θλιβόμενα μέλη	2.4d ₀ (συνήθης τιμή: 3.0d ₀)	min(14t ή 200mm)
Ενδιάμεση Απόσταση p_1 για εφελκυόμενα μέλη	2.2d ₀ (συνήθης τιμή: 2.5d ₀)	min(28t ή 400mm) Για εσωτερικές σειρές αρκεί για τις εξωτερικές να ικανοποιείται: min(14t ή 200mm)
Ενδιάμεση Απόσταση p_2 για εφελκυόμενα μέλη	2.4d ₀ (συνήθης τιμή: 3.0d ₀)	min(28t ή 400mm) Για εσωτερικές σειρές αρκεί για τις εξωτερικές να ικανοποιείται: min(14t ή 200mm)

Πίν. 5.25: Όρια των Αποστάσεων Μηχανικών Συνδέσμων.

5.12.5.2 Απομειώσεις για οπές Μηχανικών Συνδέσμων

Αντοχή έναντι Διατμητικής Θραύσεως

Η αστοχία για ομάδες οπών κοντά στο άκρο κορμού μίας δοκού ή σύνδεσης με παρόμοια συμπεριφορά (βλ. Σχ. 5.18) μπορεί να αποφεύγεται χρησιμοποιώντας κατάλληλα διαστήματα μεταξύ των οπών. Αυτός ο τύπος αστοχίας εν γένει συνίσταται από εφελκυστικές θραύσεις κατά μήκος μίας οριζόντιας γραμμής οπών στο εφελκυόμενο τμήμα της ομάδας οπών, σε συνδυασμό με διαρροή της διατομής σε διάτμηση στην κατακόρυφη γραμμή οπών σε εκείνο το τμήμα της ομάδας οπών το οποίο υπόκειται σε διάτμηση.



Σχ. 5.18: Ενεργός Περιοχή σε Διάτμηση.

Η αντοχή σχεδιασμού σε διάτμηση θα πρέπει να καθορίζεται από:

$$V_{eff,Rd} = \frac{f_o / \sqrt{3} A_{v,eff}}{\gamma_{M1}} \quad (4.69)$$

όπου $A_{v,eff}$ η ενεργός περιοχή διάτμησης η οποία δίνεται από τη σχέση:

$$\begin{aligned} A_{v,eff} &= iL_{v,eff} \quad \mu\epsilon \\ L_{v,eff} &= L_v + L_1 + L_2, \quad L_{v,eff} \leq L_3 \\ L_1 &= \alpha_1 \quad \alpha\lambda\lambda\acute{\alpha} \quad L_1 \leq 5d \\ L_2 &= (\alpha_2 - kd_{0,t}) \frac{f_u}{f_o} \quad \kappa\alpha\iota \\ L_3 &= L_v + \alpha_1 + \alpha_3, \quad L_3 \leq (L_v + \alpha_1 + \alpha - nd_{0,v}) \frac{f_u}{f_o} \end{aligned} \quad (4.70)$$

Τα α_1 , α_2 , α_3 και L_v σημειώνονται στο Σχ. 5.18.

d είναι η ονομαστική διάμετρος των συνδέσμων

$d_{0,t}$ είναι η διάμετρος της οπής στο εφελκυόμενο τμήμα

$d_{0,v}$ είναι η διάμετρος της οπής για το τμήμα που υπόκειται σε διάτμηση

n ο αριθμός οπών στο τμήμα που υπόκειται σε διάτμηση

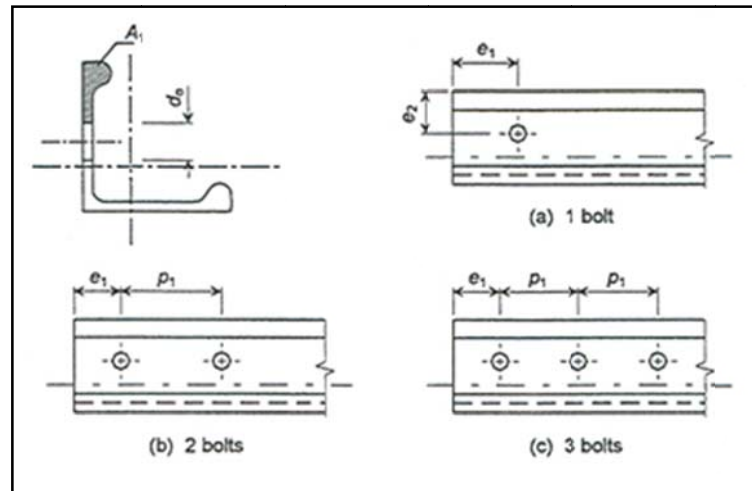
t πάχος κορμού

k είναι συντελεστής ο οποίος λαμβάνει τις ακόλουθες τιμές:

για μία σειρά κοχλιών : $k = 0.5$

για δύο σειρές κοχλιών: $k = 2.5$

Αντοχή Γωνιακών



Σχ. 5.19: Συνδέσεις Γωνιακών.

Η αντοχή γωνιακών (βλ. Σχ. 5.19) δίνεται από τις ακόλουθες σχέσεις:

$$\text{για ένα κοχλία: } N_{u,Rd} = \frac{2A_1 f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4.71)$$

$$\text{για δύο κοχλίες: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4.72)$$

$$\text{για τρεις κοχλίες: } N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (4.73)$$

όπου A_{net} είναι η καθαρή διατομή του γωνιακού. Για γωνιακό με άνισες πλευρές η A_{net} προκύπτει από ισοδύναμο γωνιακό με πλάτη πλευρών ίσα προς αυτά της μικρότερης πλευράς του άνισου γωνιακού. Ακόμη, τα β_1 , β_2 , β_3 δίνονται από τον ακόλουθο Πίνακα:

Απόσταση p_1	$\leq 2.5d_o$	$\geq 5.0d_o$
β_2 για 2 κοχλίες	0.4	0.7
β_3 για 3 ή περισσότερους κοχλίες	0.5	0.7

5.12.5.3 Αντοχή Σχεδιασμού Κοχλιών

Ο επόμενος Πίνακας συνοψίζει τις σχέσεις που ισχύουν για τις Αντοχές των Κοχλιών:

Αντοχή Σχεδιασμού για Κοχλίες

Διατμητική Αντοχή ανά Επίπεδο Διάτμησης

- Για κατηγορίες αντοχών μικρότερες από 10.9

$$F_{v,Rd} = \frac{0.6 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}} \quad (4.74)$$

- Για κατηγορίες αντοχών μικρότερες από 10.9

$$F_{v,Rd} = \frac{0.5 A f_{ub}}{\gamma_{Mb}} \quad (4.75)$$

όπου:

$A = A_s$, αν το επίπεδο διάτμησης τέμνει το σπείρωμα

$A = A$, αν το επίπεδο διάτμησης δεν τέμνει το σπείρωμα

f_{ub} = η χαρακτηριστική οριακή εφελκυστική αντοχή του υλικού του κοχλίας.

Αντοχή σε Σύνθλιψη Άντυγας

$$F_{b,Rd} = \frac{2.5 \alpha f_u d t}{\gamma_{Mb}} \quad (4.76)$$

$$\text{όπου: } \alpha = \min \left[\frac{e_1}{3d_o}, \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ub}}{f_u}, 1.0 \right]$$

f_u = η χαρακτηριστική οριακή αντοχή του υλικού του συνδεόμενου μέλους.

Εφελκυστική Αντοχή

$$F_{t,Rd} = \frac{0.9 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \text{για χαλύβδινους κοχλίες} \quad (4.77)$$
$$F_{t,Rd} = \frac{0.6 f_{ub} A_s}{\gamma_{Mb}} \quad \text{για κοχλίες αλουμινίου}$$

Αντοχή σε Διάτρηση

$$B_{p,Rd} = 0.6 \pi d_m t_p f_o / \gamma_{Mb} \quad (4.78)$$

p είναι η απόσταση μεταξύ των κέντρων των οπών

t_p είναι το πάχος του ελάσματος κάτω από την κεφαλή του κοχλίας .

Συνθήκες

$$F_{v,Ed} \leq \min(F_{v,Rd}, F_{b,Rd}) \quad \& \quad F_{t,Ed} \leq B_{t,Rd} = \min(F_{t,Rd}, B_{b,Rd})$$

Για κοχλίες που υπόκεινται σε ταυτόχρονο εφελκυσμό και διάτμηση θα πρέπει επιπλέον

να ικανοποιούν την ακόλουθη συνθήκη:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4F_{t,Rd}} \leq 1.0$$

Περιοχές Ισχύος

$$e_2 \geq 1.5d_o \text{ \& } p_2 \geq 3.0d_o$$

Εφ' όσον το e_2 μειωθεί στο $1.2d_o$ και το p_2 στα $2.4d_o$, η αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας θα πρέπει να μειώνεται στα $2/3$ της τιμής που δόθηκε προηγουμένως.

Υπόμνημα:

A είναι το εμβαδόν της κεφαλής του κοχλία

A_s είναι η εντεινόμενη περιοχή του κοχλία

d είναι η διάμετρος του κοχλία και d_o είναι η διάμετρος της οπής

5.12.5.4 Αντοχή Σχεδιασμού Πριτσινίων

Ο επόμενος Πίνακας συνοψίζει τις σχέσεις που ισχύουν για τις Αντοχές των Πριτσινίων:

Αντοχή Σχεδιασμού Πριτσινίων	
Διατμητική Αντοχή ανά Επίπεδο Διάτμησης	
$F_{v,Rd} = \frac{0.6Af_{ur}}{\gamma_{Mr}} \quad (4.79)$	
Αντοχή σε Σύνθλιψη Άντυγας	
$F_{b,Rd} = \frac{2.5\alpha f_u d_o t}{\gamma_{Mr}} \quad (4.80)$	
<p>όπου: $\alpha = \min \left[\frac{e_1}{3d_o}, \frac{p_1}{3d_o} - \frac{1}{4}, \frac{f_{ur}}{f_u}, 1.0 \right]$</p> <p>$f_u$ = η χαρακτηριστική οριακή αντοχή του υλικού του συνδεόμενου μέλους.</p>	
Εφελκυστική Αντοχή	
Δεν προτείνεται	
Υπόμνημα:	

A είναι το εμβαδόν της οπής του πριτσινίου

d_o είναι η διάμετρος της οπής

f_{ur} είναι η οριακή αντοχή του πριτσινίου

5.12.5.5 Κοχλίες Υψηλής Αντοχής σε συνδέσεις ανθεκτικές σε ολίσθηση

Στην οριακή κατάσταση η διατμητική δύναμη σχεδιασμού $F_{v,Ed}$ σε κοχλία υψηλής αντοχής θα πρέπει να μην υπερβαίνει την ελάχιστη από:

- Την διατμητική αντοχή σχεδιασμού $F_{v,Rd}$
- Την αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας $F_{b,Rd}$
- Την εφελκυστική ή θλιπτική ή καμπτική αντοχή του μέλους.

Αντοχή σε Ολίσθηση/ Διατμητική Αντοχή

Η αντοχή σχεδιασμού σε ολίσθηση προεντεταμένου κοχλία, υψηλής αντοχής θα πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$F_{s,Rd} = \frac{n\mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,Cd} \quad (4.81)$$

$$F_{s,Rd} = \frac{n\mu}{\gamma_{Ms}} F_{p,Cd} \quad (4.82)$$

όπου:

$F_{p,Cd}$ είναι η σχεδιαστική δύναμη προέντασης

μ είναι ο συντελεστής ολίσθησης (βλ. Πίν. 5.26)

n είναι ο αριθμός των διεπιφανειών τριβής

γ_{Ms} ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας ο οποίος ισούται με:

$\gamma_{Ms,ult} = 1.25$ για την οριακή κατάσταση

$\gamma_{Ms,ser} = 1.10$ για την κατάσταση λειτουργικότητας.

Ο συντελεστής $\gamma_{Ms,ult}$ μπορεί να λαμβάνεται ίσος με 1.24 στην περίπτωση που έχουν προηγηθεί κατάλληλοι έλεγχοι.

Ο συντελεστής ολίσθησης μ , εξαρτάται από το βαθμό επιφανειακής επεξεργασίας. Η τιμή του μ για την συνήθη επεξεργασία με ελαφρά εκτόξευση χαλύβδινων κόκκων, δίνεται από τον ακόλουθο Πίνακα:

Συντελεστής Ολίσθησης Επεξεργασμένων Επιφανειών	
Συνολικό Πάχος Ένωσης mm	Συντελεστής Ολίσθησης μ
$12 \leq \Sigma t \leq 18$	0.27
$18 \leq \Sigma t \leq 24$	0.33
$24 \leq \Sigma t \leq 30$	0.37
$30 \leq \Sigma t$	0.40

Πίν. 5.26: Τιμές Συντελεστή Ολίσθησης μ .

Η δύναμη προέντασης

Η δύναμη προέντασης κοχλιών υψηλής αντοχής πρέπει να λαμβάνεται από τις εξής σχέσεις:

$$\begin{aligned} F_{p,Cd} &= 0.65 f_{ub} A_s \text{ για κοχλίες ποιότητας 8.8} \\ F_{p,Cd} &= 0.7 f_{ub} A_s \text{ για κοχλίες ποιότητας 10.9} \end{aligned} \quad (4.83)$$

Συνδυασμός Εφελκυσμού και Διάτμησης

Εφ' όσον μία σύνδεση ανθεκτική σε ολίσθηση υπόκειται σε εφελκυστική δύναμη F_t σε συνδυασμό με διατμητική δύναμη F_v , η οποία προκαλεί ολίσθηση, η αντοχή ανά κοχλία δίνεται από:

Κατηγορία Β: Αντοχή σε ολίσθηση στην κατάσταση λειτουργικότητας.

$$F_{s,Rd,ser} = \frac{n\mu(F_{p,Cd} - 0.8F_{t,Ed,ser})}{\gamma_{Ms,ser}} \quad (4.84)$$

Κατηγορία Γ: Αντοχή σε ολίσθηση στην οριακή κατάσταση.

$$F_{s,Rd} = \frac{n\mu(F_{p,Cd} - 0.8F_{t,Ed})}{\gamma_{Ms,ult}} \quad (4.85)$$

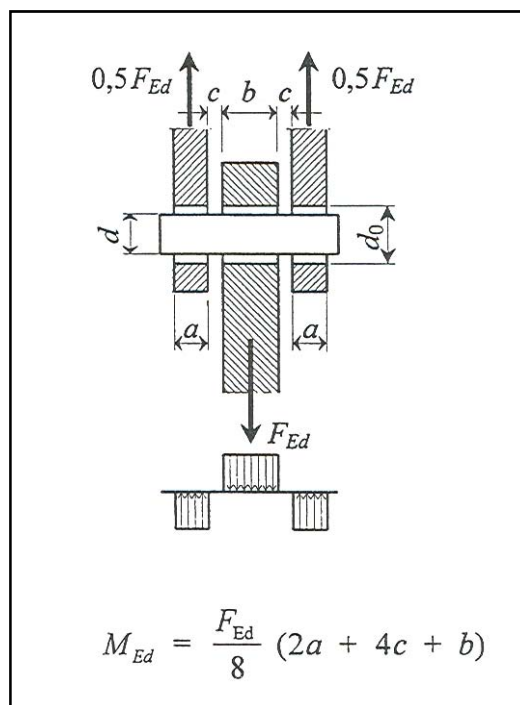
5.12.5.6 Συνδέσεις με Πείρους

Οι επόμενες διατάξεις αφορούν σε συνδέσεις πείρων όπου απαιτείται ελευθερία στροφής. Όπου η στροφή δεν είναι απαραίτητη ο σχεδιασμός θα γίνεται σύμφωνα με τα προηγούμενα.

Οι συνδέσεις αυτές πιθανώς να μην φορτίζονται σε απλή διάτμηση, οπότε και κάποιο από τα μέλη που συνδέονται θα έπρεπε να έχει στο άκρο λαβή σε σχήμα U. Το σύστημα που συγκρατεί τον πείρο, π.χ ελατήριο, θα πρέπει να σχεδιάζεται ώστε να αντέχει σε οριζόντιο φορτίο ίσο με τουλάχιστον το 10% του συνολικού διατμητικού φορτίου.

Σχεδιασμός Πείρων

Οι ροπές κάμψης σε έναν πείρο θα πρέπει να υπολογίζονται σύμφωνα με όσα δείχνονται στο Σχ. 5.20



Σχ. 5.20: Ροπή Κάμψης σε Πείρο.

Αντοχή Σχεδιασμού για Συνδέσεις Πείρων:

Στην οριακή κατάσταση οι δυνάμεις και ροπές σε πείρο δεν θα υπερβαίνουν τις σχετικές αντοχές σχεδιασμού οι οποίες δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα:

Αντοχή Σχεδιασμού	
Κριτήριο	Αντοχή
Διάτμηση του Πείρου	$F_{v,Rd} = 0.6A \frac{f_{up}}{\gamma_{Mp}}$
Κάμψη του Πείρου	$M_{Rd} = 0.8W_{el} \frac{f_{up}}{\gamma_{Mp}}$
Συνδυασμός Διάτμησης και Κάμψης του Πείρου	$[M_{Ed}/M_{Rd}]^2 + [F_{v,Ed}/F_{v,Rd}]^2 \leq 1.0$
Σύνθλιψη Άντυγας του Ελάσματος του Πείρου	$F_{b,Rd} = 1.5t d f_o / \gamma_{Mp}$

Πίν. 5.27: Τιμές Αντοχής Σχεδιασμού για Πείρο.Συγκολλητές Συνδέσεις

5.12.5.7 Χαρακτηριστική Αντοχή του Μετάλλου Συγκόλλησης

Οι τιμές της χαρακτηριστικής αντοχής, f_w , του μετάλλου συγκόλλησης, δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα για συγκεκριμένους συνδυασμούς συνδεόμενου μετάλλου (parent metal) και μετάλλου πλήρωσης (filler metal).

Χαρακτηριστική Αντοχή	Μέταλλο Πλήρωσης	Κράμα								
		3103	5052	5083	5454	6060	6005A	6061	6082	7020
f_w [N/mm ²]	5356	-	170	240	220	160	180	190	210	260
	4043A	95	-	-	-	150	160	170	190	210

- Για διελασμένα προφίλ και πάχη υλικών $5 < t \leq 25 \text{ mm}$ για κράματα τύπου 6060-T5 οι παραπάνω τιμές θα πρέπει να μειωθούν στα 140 N/mm².
- Για τα κράματα 5754 και 6063 μπορούν να χρησιμοποιούνται οι τιμές των 5454 και 6060 αντίστοιχα.
- Εάν χρησιμοποιείται μέταλλο πλήρωσης τύπου 5056A, 5556A ή 5183 τότε θα πρέπει να λαμβάνονται οι τιμές που εφαρμόζονται για το κράμα τύπου 5356.
- Εάν χρησιμοποιείται μέταλλο πλήρωσης τύπου 4047A, ή 3103 τότε θα πρέπει να λαμβάνονται οι τιμές που εφαρμόζονται για το κράμα τύπου 4043A.
- Για διαφορετικούς συνδυασμούς θα λαμβάνεται η χαμηλότερη χαρακτηριστική αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης.

Πίν. 5.28: Χαρακτηριστική Αντοχή του Μετάλλου Συγκόλλησης

5.12.5.8 Σχεδιασμός Εσωραφών

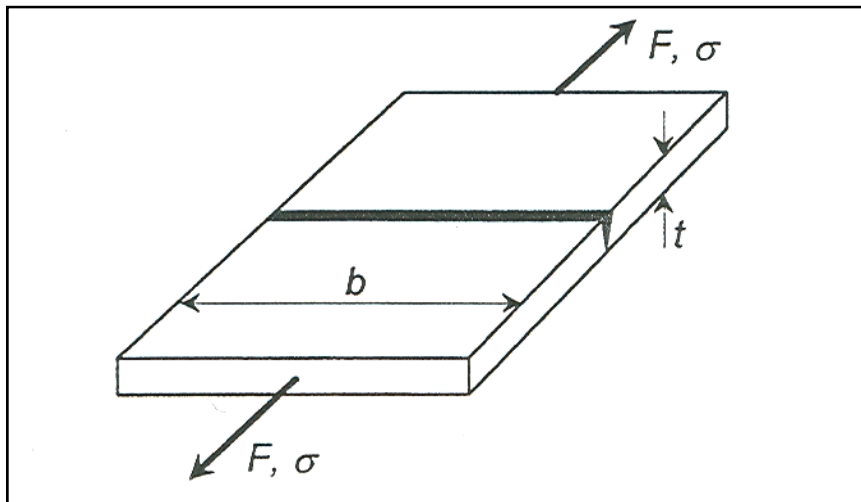
Οι εσωραφές διακρίνονται σε:

- Πλήρους και
- Μερικής Διείσδυσης.

Για τις τάσεις σχεδιασμού μπορούν να εφαρμόζονται τα ακόλουθα:

- Ορθές Τάσεις, θλιπτικές ή εφελκυστικές κάθετα στον άξονα της συγκόλλησης, βλ. Σχ. 5.21:

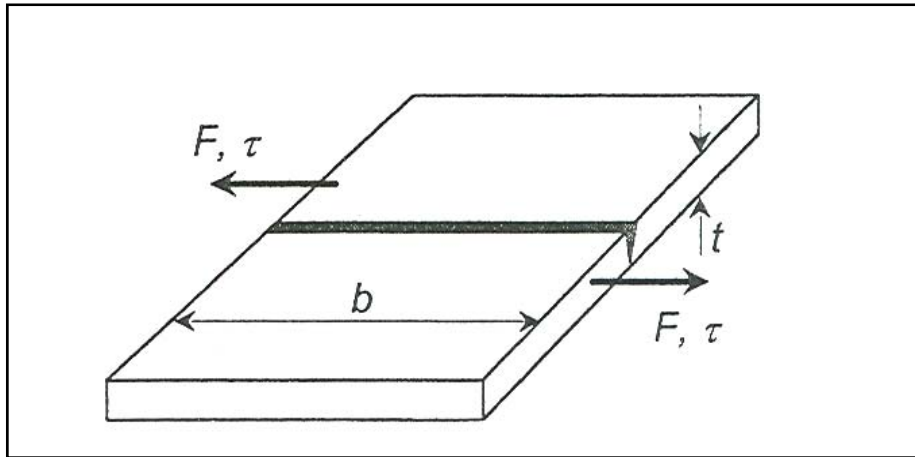
$$\sigma_{\perp} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (4.86)$$



Σχ. 5.21: Ορθές Τάσεις σε Εσωραφή.

- Διατμητικές Τάσεις, βλ. Σχ. 5.22:

$$\tau \leq 0.6 \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (4.87)$$



Σχ. 5.22: Διατμητικές Τάσεις σε Εξωραφή.

- Συνδυασμός Ορθών και Διατμητικών Τάσεων:

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3\tau^2} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (4.88)$$

όπου:

f_w η χαρακτηριστική αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης, σύμφωνα με τον Πίν. 5.28.

σ_{\perp} ορθή τάση, κάθετη στον άξονα της συγκόλλησης

τ διατμητική τάση, παράλληλη στον άξονα της συγκόλλησης

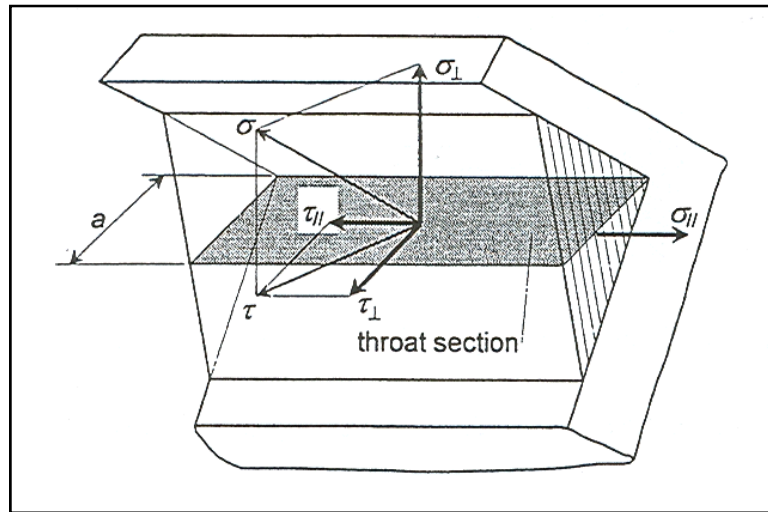
γ_{Mw} επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για συγκολλήσεις 5.12.1.1.

5.12.5.9 Σχεδιασμός Εξωραφών

Οι δυνάμεις οι οποίες δρουν σε μία εξωραφή αναλύονται στις εξής συνιστώσες τάσεων στο μέσο επίπεδο της συγκόλλησης (βλ. Σχ. 5.23):

- Ορθή τάση σ_{\perp} , κάθετη στο μέσο επίπεδο της συγκόλλησης
- Διατμητική τάση τ_{\perp} , δρα στο μέσο επίπεδο της συγκόλλησης, κάθετα στον άξονα της συγκόλλησης

- Διατμητική τάση τ_{II} , δρα στο μέσο επίπεδο της συγκόλλησης, παράλληλα στον άξονα της συγκόλλησης



Σχ. 5.23: Τάσεις στο μέσο επίπεδο Εξωραφής.

Οι τάσεις αυτές θα συνδυάζονται στην τάση σ_c ως εξής:

$$\sigma_c = \sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2)} \quad (4.89)$$

όπου:

$$\sigma_c \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad \& \quad \sigma_{\perp} \leq \frac{f_w}{\gamma_{Mw}} \quad (4.90)$$

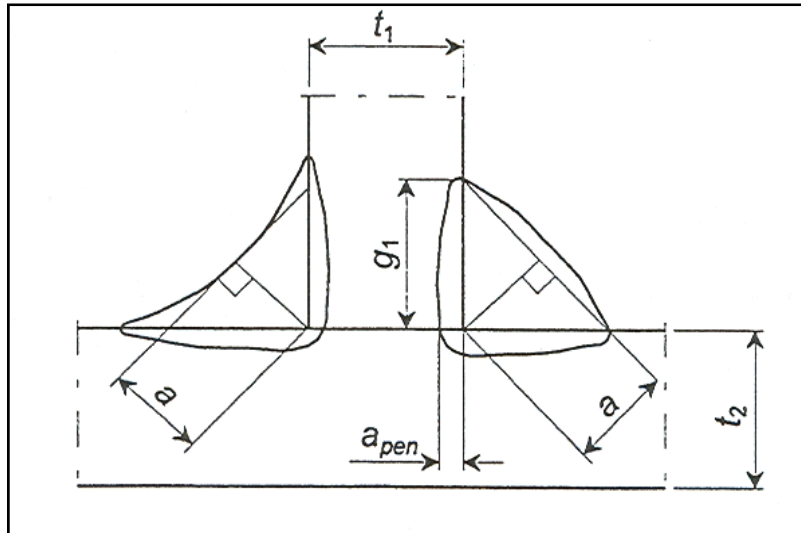
με

f_w η χαρακτηριστική αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης, σύμφωνα με τον Πίν. 5.28.

γ_{Mw} επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για συγκολλήσεις 5.12.1.1.

Πάχος Συγκόλλησης a

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη μίας εξωραφής, μεταξύ των οποίων και το πάχος a φαίνονται στον ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 5.24: Χαρακτηριστικά Μεγέθη Εξωραφής.

- Για συγκολλήσεις διπλών εξωραφών, οι οποίες φορτίζονται κάθετα στον άξονα της συγκόλλησης, το πάχος a λαμβάνεται ως:

$$\alpha > 0.7 \frac{\sigma t}{f_w / \gamma_{Mw}} \quad (4.91)$$

όπου:

$$\sigma = \frac{F}{tb}$$

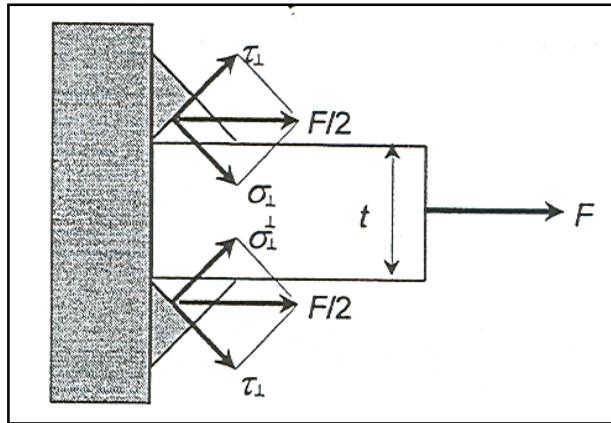
η ορθή τάση στο συνδεόμενο μέλος

F φορτίο σχεδιασμού στο συνδεόμενο μέλος

f_w χαρακτηριστικά αντοχή του μετάλλου συγκόλλησης, σύμφωνα με τον Πίν. 5.28.

t πάχος του συνδεόμενου υλικού, (βλ. Σχ. 5.25)

b πλάτος του συνδεόμενου υλικού.



Σχ. 5.25: Διπλή Εξωραφή φορτιζόμενη κάθετα στον άξονα της συγκόλλησης.

- Για συγκολλήσεις διπλών εξωραφών, οι οποίες φορτίζονται παράλληλα στον άξονα της συγκόλλησης, το πάχος a λαμβάνεται ως:

$$\alpha > 0.85 \frac{\tau t}{f_w / \gamma_{Mw}} \quad (4.92)$$

όπου:

$$\tau = \frac{F}{th} \quad \text{η διατμητική τάση στο συνδεόμενο μέλος}$$

t πάχος του συνδεόμενου υλικού

b ύψος του συνδεόμενου υλικού.

5.12.5.10 Αντοχή Σχεδιασμού της Ζ.Θ.Ε

Η αντοχή σχεδιασμού της Ζ.Θ.Ε που εμφανίζεται σε περιοχές συγκολλήσεων θα λαμβάνεται ως ακολούθως:

- **Εφελκυστική Δύναμη κάθετα στο επίπεδο αστοχίας**

- Εσωραφές

$$\sigma_{haz} \leq \frac{f_{\alpha,haz}}{\gamma_{Mw}} \quad \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \quad (4.93)$$

- Εσωραφές μερικής διεύθυνσης

$$\sigma_{haz} \leq \frac{t_e}{t} \frac{f_{\alpha,haz}}{\gamma_{Mw}} \quad \text{στο σύνορο σύντηξης} \quad (4.94)$$

➤ Εξωραφές

$$\begin{aligned} \sigma_{haz} &\leq \frac{f_{\alpha,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \\ \sigma_{haz} &\leq \frac{g_1}{t} \frac{f_{\alpha,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στο σύνορο σύντηξης} \end{aligned} \quad (4.95)$$

όπου:

σ_{haz} η ορθή τάση σχεδιασμού κάθετα στον άξονα της συγκόλλησης

t πάχος του συνδεόμενου υλικού

t_e ενεργό πάχος συγκόλλησης εσωραφής μερικής διείσδυσης

g_1 μήκος του πόδα της συγκόλλησης εξωραφής (βλ. Σχ. 5.24)

$f_{\alpha,haz}$ χαρακτηριστική αντοχή της Ζ.Θ.Ε

▪ Διατμητική Δύναμη στο επίπεδο αστοχίας

➤ Εσωραφές

$$\begin{aligned} \tau_{haz} &\leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \\ \tau_{haz} &\leq \frac{t_e}{t} \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στο σύνορο σύντηξης} \end{aligned} \quad (4.96)$$

➤ Εξωραφές

$$\begin{aligned} \tau_{haz} &\leq \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \\ \tau_{haz} &\leq \frac{g_1}{t} \frac{f_{v,haz}}{\gamma_{Mw}} && \text{στο σύνορο σύντηξης} \end{aligned} \quad (4.97)$$

όπου:

τ_{haz} η διατμητική τάση σχεδιασμού παράλληλα στον άξονα της συγκόλλησης

$f_{v,\text{haz}}$ χαρακτηριστική διατμητική αντοχή της Ζ.Θ.Ε

▪ **Συνδυασμός Διάτμησης και Εφελκυσμού**

➤ Εσωραφές

$$\begin{aligned}\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} &\leq \frac{f_{v,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}} && \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \\ \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} &\leq \frac{t_e}{t} \frac{f_{v,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}} && \text{στο σύνορο σύντηξης}\end{aligned}\tag{4.98}$$

➤ Εξωραφές

$$\begin{aligned}\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} &\leq \frac{f_{\alpha,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}} && \text{στον πόδα της συγκόλλησης} \\ \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} &\leq \frac{g_1}{t} \frac{f_{\alpha,\text{haz}}}{\gamma_{Mw}} && \text{στο σύνορο σύντηξης}\end{aligned}\tag{4.99}$$

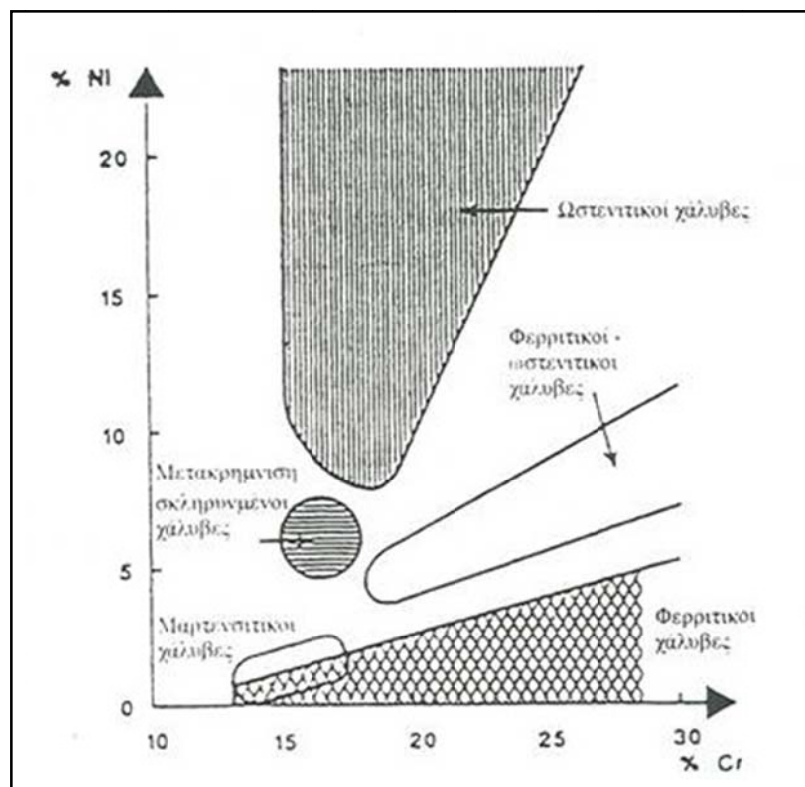
6 ΟΙ ΔΙΑΤΑΞΕΙΣ ΤΟΥ ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑ 3 ΜΕΡΟΣ 1 - 4 ΓΙΑ ΤΟΝ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟ ΧΑΛΥΒΑ

6.1 Γενικά

Στο παρόν κεφάλαιο αναφέρονται ορισμένες από τις βασικές διατάξεις του Ευρωκώδικα 4 οι οποίες αφορούν στις ιδιότητες του ανοξείδωτου χάλυβα αλλά και στο σχεδιασμό μελών από ανοξείδωτο χάλυβα.

6.2 Δεδομένα για το υλικό

Τύποι ανοξείδωτου χάλυβα



Σχ. 6.1: Κατάταξη των ανοξείδωτων χάλυβων σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε νικέλιο και χρώμιο

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες ταξινομούνται ανάλογα με τη δομή και τη χημική τους σύσταση στις ακόλουθες κατηγορίες:

Φερριτικοί, ημι-φερριτικοί και μαρτενσιτικοί χάλυβες

Το κύριο στοιχείο του κράματος είναι το χρώμιο.

Φερριτικοί και ημι-φερριτικοί χάλυβες

Οι φερριτικοί χάλυβες έχουν ένα όριο σε περιεκτικότητα άνθρακα 0.08%. Για το λόγο αυτό, δεν υφίστανται σημαντική σκλήρυνση μετά από βαφή.

Η φερριτική δομή στη φάση α (άλφα) και στη φάση δ (δέλτα, παραμένουν δομή από υψηλή θερμοκρασία) είναι μαγνητική.

Αυτή η δομή είναι όλκιμη σε ορισμένες συνθήκες κατεργασίας.

Οι φερριτικές ποιότητες που συνηθέστερα χρησιμοποιούνται για ράβδους, περιέχουν πρόσθετο θείο άνω του 0.15% για να διευκολύνεται η ελεύθερη μηχανική κατεργασία

Σε ορισμένες περιπτώσεις, το θείο μπορεί εν μέρει να αντικαθίσταται από στοιχεία της ίδιας οικογένειας (σιλένιο, τελλούριο, κλπ....).

Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση, μερικές ποιότητες μπορεί να υποστούν μερικό μαρτενσιτικό μετασχηματισμό, οπότε καλούνται ημι-φερριτικοί χάλυβες.

Μαρτενσιτικοί χάλυβες

Οι μαρτενσιτικοί χάλυβες έχουν την υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα. 0.08% μέχρι και άνω του 1 %. Η μηχανική τους αντοχή μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με θερμική επεξεργασία βαφής. Η μαρτενσιτική δομή που αποκτάται είναι μαγνητική και εύθραυστη. Πρέπει πριν τη χρήση να υποστεί θερμική επεξεργασία επαναφοράς.

Μερικές ποιότητες περιέχουν προσθήκες θείου, μερικές φορές στοιχεία της ίδιας οικογένειας (σιλένιο, τελλούριο.) σε ποσοστό άνω του 0.15% και προορίζονται για μηχανικές κατεργασίες μεγάλης ταχύτητας.

Επιπροσθέτως των ποιοτήτων που ορίζονται στο παρόν πρότυπο, υπάρχουν και άλλες για ειδικές εφαρμογές, όπως εφέδρανα και μαχαιροπήρουνα.

Ωστενιτικοί χάλυβες

Το χρώμιο και το νικέλιο είναι τα κύρια στοιχεία που δημιουργούν κράματα με τον σίδηρο.

Η δομή αυτών των χαλύβων είναι ωστενιτης γ (φάση γάμα) ο οποίος μπορεί να περιπέσει σε φαινομενική ισορροπία με την πιθανή παρουσία φερριτη δ (φάση δ), κατάλοιπου από υψηλές θερμοκρασίες

Η ωστενιτική φάση γ (γαμά) δεν είναι μαγνητική.

Ο ωστενίτης σε κατάσταση φαινομενικής ισορροπίας μπορεί να μετασχηματισθεί σε μαρτενσίτη με πλαστική παραμόρφωση ή με ψύξη σε χαμηλή θερμοκρασία.

Η ευστάθεια του ωστενίτη μπορεί να αυξηθεί με την προσθήκη γαμα-γενών στοιχείων: άνθρακα, νικελίου, μαγγανίου, αζώτου, χαλκού και κοβαλτίου.

Οι ωστενιτικοί χάλυβες έχουν καλή γενική ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Δεν παρουσιάζουν σκλήρυνση ύστερα από θερμική επεξεργασία. Από το άλλο μέρος, η μηχανική τους αντοχή μπορεί να αυξηθεί σημαντικά με διαμόρφωση εν ψυχρώ.

Ανάλογα με την χημική τους σύσταση, και ιδιαίτερα με τα στοιχεία πρόσμιξης, οι ωστενιτικοί χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν ως ακολούθως:

Ωστενιτικοί χάλυβες

Είναι ποιότητες που συνηθέστατα χρησιμοποιούνται, διότι αποτελούν ένα καλό συμβιβασμό μεταξύ κόστους και ανθεκτικότητας σε διάβρωση.

Η μηχανική τους κατεργασία είναι πιο δύσκολη απ' ό τι στις φερριτικές και μαρτενσιτικές ποιότητες, και όπως και σε εκείνες, υπάρχουν παραλλαγές με αυξημένο θείο ($\delta > 0.15\%$ με πιθανώς σιλένιο, τελλούριο).

Ωστενιτικοί μολυβδενούχοι χάλυβες

Η προσθήκη μολυβδένιου γενικώς ενισχύει την ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Για να μην αναιρεθεί αυτό το πλεονέκτημα, δεν υπάρχουν παραλλαγές με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο.

Σε περιβάλλον αζώτου οι προσθήκες μολυβδένιου είναι μάλλον δυσμενείς.

Σταθεροποιημένοι ωστενιτικοί χάλυβες

Η προσθήκη τιτανίου και/η νιόβιου παρεμποδίζει την καθίζηση καρβιδίων του χρωμίου που συνδέονται με την θερμική επεξεργασία και/ή τις διαδικασίες συγκόλλησης. Επιπλέον, οι χάλυβες αυτοί παρουσιάζουν καλές μηχανικές ιδιότητες μέχρι τους 600Τ.

Υπέρ- ωστενιτικοί χάλυβες

Οι χάλυβες αυτοί με σταθερή ωστενιτική δομή έχουν πλήρη περιεκτικότητα σε χρώμιο και νικέλιο, συμπληρούμενο με προσμικτα στοιχεία, σε ποσοστό άνω του 45%, που τους προσδίδει μια εξαιρετική ανθεκτικότητα σε διάβρωση μέσα σε διαβρωτικά περιβάλλοντα.

Ωστενιτικοί-φερριτικοί χάλυβες

Οι χάλυβες αυτοί έχουν συνήθως υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο και χαμηλή σε νικέλιο, με το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό να παρουσιάζουν δομή δύο φάσεων σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (περιεκτικότητα ωστενίτη μεταξύ 40 και 60%).

Οι μηχανικές τους ιδιότητες είναι υψηλότερες από εκείνες των ωστενιτικών χαλύβων (περίπου 1. 2 φορές για την αντοχή εφελκυσμού και 2 φορές για το όριο διαρροής).

Οι ωστενιτικοί-φερριτικοί χάλυβες έχουν συνήθως καλύτερη ανθεκτικότητα σε γενική διάβρωση, σε σημειακή διάβρωση, και σε διάβρωση υπό τάση παρά οι ωστενιτικοί χάλυβες.

Χάλυβες σκληρυμένοι με κατακρήμνιση

Θερμική επεξεργασία που γίνεται σ' αυτούς τους χάλυβες μετά την εγκατάσταση τους, τους προσδίδει μεγαλύτερη μηχανική αντοχή με καλή ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

Η αυξημένη αντοχή είναι αποτέλεσμα της κατακρήμνισης των διαμεταλλικών συστατικών κατά τη διάρκεια της τελικής επεξεργασίας σκλήρυνσης.

Οι ειδικές συνθήκες επεξεργασίας θα πρέπει να προσαρμόζονται ανάλογα με το επιθυμητό επίπεδο των μηχανικών ιδιοτήτων και τα δεδομένα που παρέχουν οι παραγωγοί του χάλυβα.

Όπως και οι μαρτενσιτικοί χάλυβες, οι δομικά σκληρυμένοι χάλυβες μπορούν επίσης να παραδοθούν σε επεξεργασμένη κατάσταση έτοιμοι για χρήση.

6.2.1 Λεξιλόγιο όρων επεξεργασίας του χάλυβα

- **Θερμική επεξεργασία**

Σειρά διαδικασιών κατά τη διάρκεια των οποίων ένα συμπαγές προϊόν σίδηρου εκτίθεται ολικά ή μερικά σε θερμικούς κύκλους που επιφέρουν αλλαγή στις ιδιότητες του και / η στη δομή του.

- **Επεξεργασία διαλύματος**

Θερμική επεξεργασία που σκοπό έχει να διαλύσει και να διατηρήσει σε διάλυμα προηγουμένως κατακρημνισμένα συστατικά.

- **Ανόπτηση**

Θερμική επεξεργασία που συνίσταται σε θέρμανση σε όλη τη μάζα σε ορισμένη θερμοκρασία, και στη συνέχεια σε απόψυξη κάτω από συνθήκες τέτοιες ώστε, μετά την επάνοδο στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, το μέταλλο να ευρίσκεται σε κατάσταση δομής πλησιέστερα προς την ισορροπία.

- **Ανόπτηση διαλύματος**

Θερμική επεξεργασία εφαρμοζόμενη στους ωστενιτικούς χάλυβες. Συνίσταται σε θέρμανση σε υψηλή θερμοκρασία και στη συνέχεια σε αρκετά γρήγορη απόψυξη, ώστε να διατηρηθεί η ομοιογενής ωστενιτική δομή κατά την επάνοδο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

- **Εργοσκλήρυνση**

Η αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής που προκαλείται από παραμόρφωση και μηχανική κατεργασία.

6.2.2 Αντιστοίχιση των ανοξειδωτων χαλύβων προς τις ονομαστικές κατηγορίες αντοχής.

<i>Ονομαστική κατηγορία αντοχής</i>	<i>Μικροδομή</i>	<i>Ποιότητες Χάλυβα</i>
S220	A	X4CrNi 18-10, X2CrNi 19-11, X2CrNi 18-9, X6CrNiTi 18-10
S240	A	X4CrNiMo 17-12-2, X2CrNiMo 17-12-2, X2CrNiMo 17-12-3, X2CrNiMo 18-14-3, XINiCrMoCu 25-20-5, X6CrNiMoTi 17-12-2
S290	A	X2CrNiN 18-10, X2CrNiMoN 17-11-2, X2CrNiMoN 17-13-5, XINiCrMoCuN 25-20-7.
S320	A	XI CrNiMoCuN 20-18-7
S350	A	X2CrNiN 18-7
S420	D	X2CrNiN 23-4
S480	D	X2CrNiMoN 22-5-3
A = ωστενιτική, D = ωστενιτική - φερριτική		

Πίν. 6.1: Αντιστοιχία των συνήθων ωστενιτικών και ωστενιτικών - φερριτικών ανοξειδωτων χαλύβων με ονομαστικές κατηγορίες αντοχής.

6.3 Ονοματολογία των ανοξειδωτων χαλύβων

6.3.1 Βραχείες ονομασίες

Οι βραχείες ονομασίες κάνουν χρήση των στοιχείων που προστίθενται στους χάλυβες. Τα στοιχεία αναφέρονται σε κατιούσα τάξη ανάλογα με την περιεκτικότητα σε βάρος. Έτσι έχουμε :

- Ανοξειδωτους χάλυβες χρωμίου } μερικώς με
- Ανοξειδωτους χάλυβες χρωμίου-νικελίου } πρόσθετα
- Ανοξειδωτους χάλυβες χρωμίου-νικελίου- μολυβδενίου } στοιχεία

Το πρώτο γράμμα του συμβολισμού. X, υποδεικνύει ένα ισχυρά κραματωμένο χάλυβα με περιεκτικότητα ανώ του 5% του πρόσμικτου στοιχείου. Του X προηγείται το γράμμα O για χυτά προϊόντα. Ο αριθμός που ακολουθεί το X αντιστοιχεί σε 100 φορές τη μέση η πιο συχνή περιεκτικότητα τοις εκατό σε άνθρακα, σύμφωνα με την προδιαγραφή του πρότυπου του προϊόντος. Έπειτα ακολουθούν τα χημικά σύμβολα των προσμίκτων που χαρακτηρίζουν τον χάλυβα. Τα σύμβολα ακολουθούν δυο ή περισσότεροι διαδοχικοί αριθμοί που παριστούν τη μέση η άλλως την πιο συχνή περιεκτικότητα των χημικών στοιχείων που είναι παρόντα στο χάλυβα, κατά τη σειρά με την οποία τα σύμβολα αυτά παρατίθενται. Η περιεκτικότητα τοις εκατό στρογγυλεύεται στον επόμενο μεγαλύτερο αριθμό. Για παράδειγμα, ένας τυπικός χρωμιο-νικελιούχος ωστενιτικός χάλυβας συμβολίζεται ως X50Ni18-10. Το EN 10027 δίνει τους κανόνες για αυτή τη μέθοδο συμβολισμού.

Το πλεονέκτημα αυτού του συστήματος είναι ότι ο μη-ειδικός αναγνώστης μπορεί αμέσως να καταλάβει το είδος του αναφερόμενου χάλυβα. Για μια ακριβέστερη περιγραφή, οι αριθμοί στο τέλος των συμβολισμών σχετίζονται με την περιεκτικότητα των στοιχείων σε % του βάρους.

6.3.2 Αριθμός υλικού (Werkstoff Nummer)

Το σύστημα αυτό έχει υιοθετηθεί από το Γερμανικό **Werkstoff Nummer**. Εφαρμόζεται όχι μόνο στους ανοξείδωτους, αλλά σε όλους τους χάλυβες. Κάθε συμβολισμός περιλαμβάνει 5 αριθμούς. Για λεπτομέρειες σχετικά με τη χημική σύσταση και ιδιότητες του χάλυβα, θα πρέπει κανείς να ανατρέξει στο πρότυπο. Για παράδειγμα θα εξετασθεί ο αριθμός υλικού 1.4306 :

- Το πρώτο ψηφίο είναι 1 και υποδεικνύει χάλυβα.
- Τα δύο επόμενα ψηφία "43" σημαίνουν "χημικά ανθεκτικοί χάλυβες χωρίς μολυβδένιο, νιόβιο ή τιτάνιο"
- Τα τελευταία δύο ψηφία "06" ορίζουν τον ειδικό χάλυβα.
- Επιπλέον του συμβολισμού "43" υπάρχουν για τους ανοξείδωτους χάλυβες και οι ακόλουθοι:
 - "40" χωρίς μολυβδένιο, νιόβιο ή τιτάνιο, νικέλιο λιγότερο του 2.5%

- "41" με μολυβδένιο. χωρίς νιόβιο ή τιτάνιο, νικέλιο λιγότερο του 2.5%
- "44" με μολυβδένιο, χωρίς νιόβιο η τιτάνιο, νικέλιο περισσότερο του 2.5%.
- "45" με χαλκό, κολόμβιο η τιτάνιο, νικέλιο περισσότερο του 2,5%.

6.3.3 Συσχετισμός μεταξύ των διαφόρων συμβολισμών των χαλύβων

Ένας συσχετισμός μεταξύ των διαφόρων συμβολισμών των χαλύβων στις διάφορες χώρες, μπορεί να αντληθεί από τους Πίν. 6.2-Πίν. 6.3.

<i>Ονομασία χάλυβα σύμφωνα με EN 10088</i>		<i>Γερμανία (DIN)</i>		<i>Μεγάλη Βρετανία</i>	<i>Γαλλία</i>
Όνομα	Αριθ.	Όνομα	Αριθ.	BS1	AFNOR
X4CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	.4301	304 S 15/16/31	Z6 CN 18-09
X2CrNi19-11	1.4306	X2 CrNi 19 11	.4306	304 S 11	Z2 CN 18-10
X2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 1810	1.4541	321 S 31	Z6 CNT 18-10
X4CrNiMo17-12-2	1.4401	X5 CrNiMo 17 12 2	1.4401	316 S 31	Z6 CND 17-11
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X2 CrNiMo 17 13 2	1.4404	316 S 11	Z2 CND 17-12
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	-	-	-	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2 CrNiMo 18 14 3	:4435	316 S 13	Z2 CND 17-13
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	X1 NiCrMoCuN 25 20 5	1.4539	-	Z1 CNDU 15 20
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrN.MoTi 17 12 2	1.4571	320 S 31	Z6 CNDT 17-12
X2CrNi18-10	1.431 1	X2 CrNiN 18 10	1.4311	30-1 S 61	Z2 CN 18-10 Az
X2CrNiMoN17-11-2	1.4406	X2 CrNiMoN 17 12 2	1.4406	316 S 62	Z2 CND 17-12 Az
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	X2 CrNiMoN 17)35	1.4439	-	-
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	X1 NiCrMoCuN 25 20 6	1.4529	-	-
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.45-47	-		-	-
X2CrNi18-7	1.4318	X2 CrNiN 18 7	1.4318	-	-
X2CrNi23-4	1.4362	X2 CrNiN 23 4	1.4362	-	Z2 CN 23-4 Az
X2CrNiMoN22-5-3	1.44<52	X2 CrNiMoN 22 5 3	1.4462	duplex 2205	Z2 CND 22-5 Az

Πίν. 6.2: Συσχετισμός μεταξύ των κωδικών ονομασιών από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους τύπους ανοξείδωτων χαλύβων

Κωδική ονομασία χάλυβα σύμφωνα με EN10088		Ιταλία	Σουηδία	Ισπανία	ΗΠΑ	
Όνομα	Αριθ.	UNI	SIS	UNE	AJS1	UNS
X4CrNi18-10	1.4301	X5 CrNi 18 10	2332/33	3504	304	S 30400
X2CrNi 19-11	1.4306	X2 CrNi 18 11	2352	3503	304 L	S 30403
2CrNi18-9	1.4307	-	-	-	-	-
X6CrNiTi18-10	1.4541	X6 CrNiTi 18 11	2337	3523	321	S 32100
X4CrNiMo17-12-2	1.4401	X5 CrNiMo 17 12	2347	3534	316	S 31600
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	X2 CrNiMo 17 12	2348	3533	316 L	S 31603
X2CrNiMo17-12-3	1.4432	-	-	-	-	-
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	X2 CrNiMo 17 13	2353	3533	316 L	S 31603
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	-	2562	-	904 L	N 08904
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	X6 CrNiMoTi 17 12	2350	3535	316 T	S 31635
X2CrNi18-10	1.4311	-	2371	-	304 LN	S 30453
X2CrNiMoN17-U-2	1.1406	-	-	-	316 LN	S 31653
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	-	-	-	317 LMN	S31726
X1NiCrMoCuN2S-20-7	1.4529	-	-	-	-	-
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	-	2378	-	-	S31254
X2CrNi18-7	1.4318	-	-	-	301 LN (302 LN)	-
X2CrNiN23-4	1.4362	-	2327	-	306	S32309
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	-	2377	-	-	S 31803

Πίν. 6.3: Συσχετισμός μεταξύ των κωδικών ονομασιών από τους συνηθέστερα χρησιμοποιούμενους τύπους ανοξείδωτων χάλυβων

6.4 Συσχετισμός εργοσκληρυμένων ανοξειδωτων χαλύβων με επίπεδα εργοσκλήρυνσης

ΜΑΚΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ						
Χαρακτηρισμός Χάλυβα		Διαθέσιμα επίπεδα σκλήρυνσης μέσω κατεργασίας				
Όνομασία	No.	C 700	C 850	C 1000	C 1150	C 1300
X2CrNiN 18-7	1 4318		X	X		
X4CrNi 18-10	1.4301	X	X	X	X	X
X6CrNiTi 18-10	1.4541	X	X			
X4CrNiMo 17-12	1.4401	X	X			

Για μεγαλύτερες τιμές f_u βλέπε EURONORM 151-2

Πίν. 6.4: Διαθεσιμότητα ποιοτήτων ανοξειδωτου χάλυβα που έχει υποστεί σκλήρυνση μέσω (μηχανικής) κατεργασίας σύμφωνα με το prEN 10088 - 2 (επίπεδα προϊόντα).

ΜΑΚΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ			
Χαρακτηρισμός Χάλυβα		Επίπεδο εφελκυσμού	Μήκωση μετά τη θραύση A %ελάχιστη
Όνομασία	No		
X2CrNi 18-9	1.4307	C 700	20
		C800	12
X4CrNi 18-10	1.4301	C 700	20
		C 800	12
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	C 700	20
		C 800	12
X4CrNiMo 17-12-2	1.4401	C700	20
		C 800	12

Πίν. 6.5: Διαθεσιμότητα ποιοτήτων ανοξειδωτου χάλυβα που έχει υποστεί σκλήρυνση μέσω (μηχανικής) κατεργασίας σύμφωνα με το prEN 10088 - 3 (μακρά προϊόντα).

6.5 Ιδιότητες του Υλικού

6.5.1 Φυσικές ιδιότητες των ανοξείδωτων χαλύβων

Τυπικές φυσικές ιδιότητες σε θερμοκρασία περιβάλλοντος επιλεγμένων ποιοτήτων σε κατάσταση ανόπτησης, παρουσιάζονται στον Πίν. 6.6.

<i>Χαρακτηρισμός Χάλυβα</i>		<i>Ποκνότητα Kg / m³</i>	<i>Θερμική διαστολή 20- 100C x 10⁻⁶/K</i>
<i>Όνομασία</i>	<i>No.</i>		
X2CrNiN 18-7	1.4318	7.9	16.0
X2CrNiN 18-9	1.4307		
X2CrNi 19-11	1.4306		
X2CrNiN 18-10	1.4311		
X4CrNi 18-10	1.4301		
X6CrNiTi 18-10	1.4541		
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	8.0	16.0
X2CrNiMo 17-11-2	1.4406		
X4CrNiMo 17-12-2	1.4401		
X6CrNiMoTi 17-12-2	1.4571		
X2CrNiMo 17-12-3	1.4432		
X2CrNiMo 18-14-3	1.4435		16.0
X2CrNiMoN 17-13-5	1.4439		16.5
X1CrNiMoCuN 20-18-7	1.4547	8.1	15.8
X1NiCrMoCuN 25-20-7	1.4529		
X2CrNiN 23-4	1.4362	7.8	12.0
X2CrNiMoN 22-5-3	1.4462		

Μικρές ποσότητες φερρίτη και/ή μαρτενσίτη προερχόμενες από την διαμόρφωση εν ψυχρώ, αυξάνουν την ικανότητα μαγνήτισης.

Πίν. 6.6: Στοιχεία αναφοράς μερικών φυσικών ιδιοτήτων των ανοξείδωτων χαλύβων

6.5.2 Ιδιότητες του υλικού για ανοξείδωτο χάλυβα σε κατάσταση θερμικής επεξεργασίας

Κατά τους υπολογισμούς, οι χαρακτηριστικές τιμές θα λαμβάνονται ως ακολούθως ανεξάρτητα από τη διεύθυνση της έλασης :

- για την τάση διαρροής f_y , το ονομαστικό συμβατικό όριο διαρροής 0 2% που προδιαγράφεται στον Πίν. 6.7.
- για την αντοχή εφελκυσμού f_u , η ονομαστική αντοχή εφελκυσμού που προδιαγράφεται στον Πίν. 6.7.

Για κοίλες διατομές που έχουν παραχθεί με τεχνική χωρίς ραφή, οι τιμές που θα χρησιμοποιούνται θα λαμβάνονται από τον Πίν. 6.7 για υλικό του αντίστοιχου πάχους, ανεξάρτητα από τη μορφή προϊόντος του βασικού υλικού.

Για κοίλες διατομές που έχουν παραχθεί με συγκόλληση, οι τιμές που θα χρησιμοποιούνται θα λαμβάνονται από τον Πίν. 6.7 για το βασικό υλικό (χαλυβοταινία ψυχρής ή θερμής έλασης).

Κατηγορία Ονομαστικής αντοχής	Μορφή Προϊόντος							
	Ταινία ψυχρής έλασης		Ταινία θερμής έλασης		Φύλλα θερμής έλασης		Ραβδοσίδηρος τετραγωνικός και στρογγυλός	
	Ονομαστικό πάχος t (mm)							
	$t \leq 6$		$t \leq 12$		$12 \leq t \leq 75$		$t \leq 250$	
	f_y	f_u	f_y	f_u	f_y	f_u	f_y	f_u
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
S 220	220	520	200	520	200	500	180	460
S 240	240	530	220	530	220	520	200	500
S 290	290	580	270	580	270	580	270	580
S 320	320	650	300	650	300	650	300	650
S 350	350	650	330	650	330	630	-	-
S 420	420	600	400	600	400	630	400	600
S 480	480	660	460	660	460	640	450 3)	650 3)

Σημειώσεις:

Οι αντοχές που δίνονται σ' αυτόν τον πίνακα θα χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η επίδραση της ισοτροπίας και της κράτυνσης.

Για φερριτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, οι ιδιότητες του υλικού μπορούν να λαμβάνονται από το prEN 10088

$t < 160\text{mm}$

Πίν. 6.7: Ονομαστικές τιμές της αντοχής διαρροής f_y , και της αντοχής εφελκυσμού f_u για δομικούς ανοξείδωτους χάλυβες σύμφωνα με prEN10088.

6.5.3 Ιδιότητες υλικού για ανοξείδωτο χάλυβα σε κατάσταση εργοσκλήρυνσης

Για υλικό σύμφωνα με το prEN 10088 που παραδίδεται σε κατάσταση σκλήρυνσης λόγω μηχανικής κατεργασίας (εργοσκλήρυνση), μπορούν να υιοθετούνται οι αυξημένες ονομαστικές τιμές f_y , και f_u που δίδονται στον Πίν. 6.8 για επίπεδα προϊόντα και στον Πίν. 6.9 για επιμήκη προϊόντα.

Οι τιμές που δίδονται στον Πίν. 6.8 για χαλυβοταινία ψυχρής έλασης, δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται για πάχη μεγαλύτερα των 6 χιλιοστών.

Αυξημένες μηχανικές ιδιότητες για την κατάσταση εργοσκλήρυνσης δεν πρέπει να υιοθετούνται για ανοξείδωτους χάλυβες που παραδίδονται ως κατεργασμένοι εν ψυχρώ ή θερμικά επεξεργασμένοι κατά την παραγωγή τους. όπως χάλυβες QT, εφόσον πρόκειται να συγκολληθούν ή να υποστούν θερμική επεξεργασία κατά τη βιομηχανοποίηση, εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί με δοκιμές ότι η διαδικασία βιομηχανοποίησης δεν θα ελαττώσει τις μηχανικές ιδιότητες κάτω από τις τιμές που θα υιοθετηθούν.

Αυξημένες μηχανικές ιδιότητες για την κατάσταση εργοσκλήρυνσης δεν πρέπει να υιοθετούνται για ανοξείδωτους χάλυβες που υφίστανται μηχανική σκλήρυνση κατά την βιομηχανοποίηση, εφόσον πρόκειται να συγκολληθούν ή να υποστούν θερμική επεξεργασία μετά την κατεργασία εν ψυχρώ, εκτός εάν μπορεί να αποδειχθεί με δοκιμές ότι η συγκόλληση ή η θερμική επεξεργασία δεν θα ελαττώσει τις μηχανικές ιδιότητες κάτω από τις τιμές που θα υιοθετηθούν.

ΜΑΚΡΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ		
Επίπεδο εργοσκλήρυνσης	Αντοχή διαρροής f_y (N/mm²)	Αντοχή εφελκυσμού f_u (N/mm²)
C 700	350	700
C 850	530	850
C 1000	750	1000

C 1150	900	1150
C 1300		1300

Πίν. 6.8: Ονομαστικές τιμές αυξημένων αντοχών f_y , και f_u για επίπεδα προϊόντα δομικού ανοξείδωτου χάλυβα, που έχουν υποστεί σκλήρυνση μέσω (μηχανικής) κατεργασίας.

ΕΠΙΠΕΔΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ		
Επίπεδο εργοσκλήρυνσης	Αντοχή διαρροής f_y (N/mm²)	Αντοχή εφελκυσμού f_u (N/mm²)
C 700	350	700
C 850	500	850
<p>Σημείωση</p> <p>Οι μέγιστες διαμέτροι για επίπεδα σκλήρυνσης λόγω εφελκυσμού θα πρέπει να συμφωνούνται κατά τον χρόνο αίτησης της παραγγελίας του χάλυβα, αλλά σε κάθε περίπτωση δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερες από 20 χιλιοστά για C 700 και από 10 χιλιοστά για C 800</p>		

Πίν. 6.9: Ονομαστικές τιμές αυξημένων αντοχών f_y και f_u για μακρά προϊόντα δομικού ανοξείδωτου χάλυβα, που έχουν υποστεί σκλήρυνση μέσω (μηχανικής) κατεργασίας.

6.5.4 ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΕΣ ΥΛΙΚΟΥ

Για την καθολική ανάλυση και για τον προσδιορισμό των αντοχών μελών και διατομών, μπορούν να λαμβάνονται οι παρακάτω τιμές συντελεστών υλικού.

Ωστενιτικοί χάλυβες

μέτρο ελαστικότητας $E = 200000 \text{ N/mm}^2$

μέτρο διάτμησης $G = 77000 \text{ N/mm}^2$

Ωστενιτικοί- φερριτικοί χάλυβες

μέτρο ελαστικότητας $E = 205000 \text{ N/mm}^2$

μέτρο διάτμησης $G = 79000 \text{ N/mm}^2$

6.5.5 Ανθεκτικότητα σε ψαθυρή θραύση (δυσθραυστότητα)

Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι όλοι επαρκώς ανθεκτικοί μέχρι τις ελάχιστες θερμοκρασίες που ορίζονται στο Μέρος 1.1 του Ευρωκώδικα 3 και δεν υπόκεινται στον κίνδυνο ψαθυρής θραύσης.

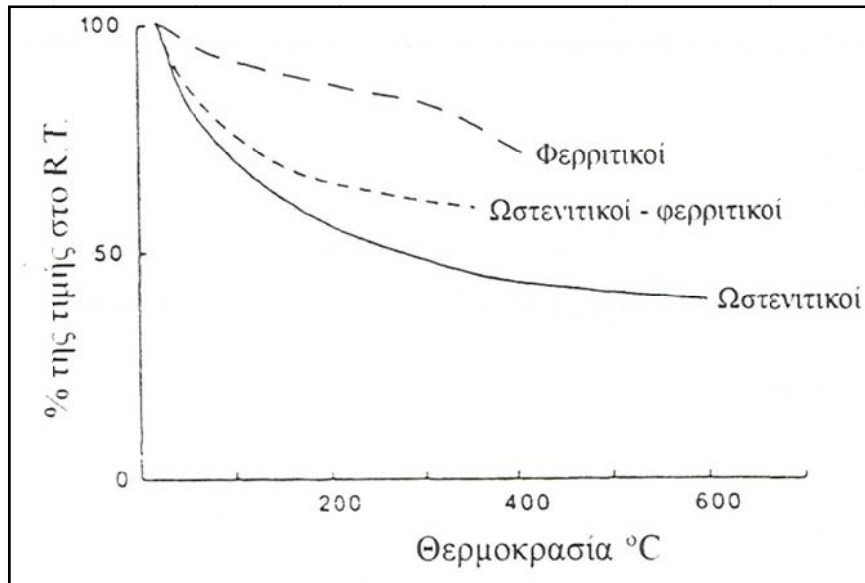
6.5.6 Ιδιότητες Αντοχής υπό Ειδικές συνθήκες

Συνθήκες εν θερμώ

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες των τριών μεγάλων κατηγοριών ωστενιτικοί, φερριτικοί και ωστενιτικοί-φερριτικοί, παρουσιάζουν ελαφρώς διαφορετικά ειδικά χαρακτηριστικά αντοχής σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες.

Εν γενεί, η αντοχή μειώνεται σε υψηλότερες θερμοκρασίες, σε σχέση με τις τιμές του συμβατικού ορίου διαρροής 0.2% ή 1% σε θερμοκρασία δωματίου. Ενώ ο ωστενιτικός και ο χάλυβας duplex χαρακτηρίζεται από μία ταχεία μείωση της αντοχής μέχρι τους 200T περίπου, αυτό συμβαίνει λιγότερο στους φερριτικούς χάλυβες. Επάνω από τη θερμοκρασία αυτή μέχρι τους 600°C περίπου, η μείωση της αντοχής των ωστενιτικών χαλύβων είναι βαθμιαία. Σε θερμοκρασίες άνω των 600T στους ωστενιτικούς και άνω των 400°C περίπου στους φερριτικούς και ωστενιτικούς-φερριτικούς χάλυβες, ιδιότητες χρονικά εξαρτώμενες, δηλαδή ο ερπυσμός, θα λαμβάνονται υπόψη.

Για ειδικές περιπτώσεις, θα πρέπει να εξετάζεται η καταλληλότητα των ανοξείδωτων χαλύβων σε παρατεταμένη έκθεση σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Για παράδειγμα, ορισμένοι ισχυρά κραματωμένοι ωστενιτικοί-φερριτικοί και ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες, μπορεί να είναι επιδεκτικοί σχηματισμού διαμεταλλικών φάσεων υστέρη από μακρόχρονη έκθεση.



Σχ. 6.2: Κατάταξη των ανοξείδωτων χαλύβων σύμφωνα με την περιεκτικότητά τους σε νικέλιο και χρώμιο

Μαγνητισμός

Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες θεωρούνται εν γένει μη-μαγνητικοί όταν περιέλθουν σε πλήρως μαλακή κατάσταση. Όμως, μικρά ποσά της φερρομαγνητικής φερριτικής φάσης συνήθως παραμένουν μετά την θερμική επεξεργασία. Ένας πλήρως ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας έχει σχετική μαγνητική διαπερατότητα ίση με τη μονάδα, αλλά η παρουσία φερρίτη γίνεται αιτία η ιδιότητα αυτή να αυξάνει κατά ποσόν που εξαρτάται από τη σύσταση. Τυπικές τιμές της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας για επιλεγμένες ποιότητες ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα, παρουσιάζονται στον πίνακα Α.6.

Εργοσκλήρυνση των λιγότερο σταθερών ωστενιτικών χαλύβων (συνήθως εκείνων με χαμηλότερη περιεκτικότητα σε νικέλιο) προκαλεί σχηματισμό της φερρομαγνητικής μαρτενσιτικής φάσης. Αυτό αυξάνει επίσης σημαντικά τη σχετική μαγνητική διαπερατότητα αναλογικά με την έκταση της εργοσκλήρυνσης. Όταν χρησιμοποιούνται ωστενιτικοί χάλυβες όπου είναι βασική η χαμηλή μαγνητική διαπερατότητα, τότε είναι σημαντικό να προδιαγράφεται μια σταθερή ποιότητα έτσι ώστε η προδιαγραφή για τη μαγνητική διαπερατότητα να μπορεί να ικανοποιηθεί στην τελική κατασκευή.

Οι μαρτενσιτικοί και φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι πλήρως φερρομαγνητικοί. Οι μαγνητικές τους ιδιότητες γενικώς μειώνονται αυξάνοντας την περιεκτικότητα σε χρώμιο και νικέλιο. Κατά συνεπεία, αυτοί οι χάλυβες είναι λιγότερο κατάλληλοι για

μαγνητικές εφαρμογές από άλλες (ελαφρά κραματούχες) ποιότητες, εκτός εάν άλλες ιδιότητες δεσπόζουν στην εκλογή για μία συγκεκριμένη κατασκευή.

<i>Τύπος Χάλυβα</i>	<i>Σχετική μαγνητική διαπερατότητα</i>
X4CrNi18-10	1.1
X2CrNi19-11	1.05
X2CrNiN 18-10	1.005
X1SCrNiSi20-12	1.05
XI2CrNi 25-21	1.005
X4CrNiMo17-12-2	1.1
X2CrNiMo 17-12-2, X2CrNiMo 18-14-3	1.05
X2CrNiMoN 17-11-2	1.005
X2CrNiMoN 17-13-5	1.005
320	1.1
X6CrNiTi 18-10	1.2
X6CrNiNb 18-10	1.2

Πίν. 6.10: Τυπικές τιμές της σχετικής μαγνητικής διαπερατότητας επιλεγμένων ποιοτήτων ωστενιτικού ανοξείδωτου χάλυβα σε κατάσταση ανόπτησης.

6.6 Μέσα Σύνδεσης

6.6.1 Κοχλίες

Κοχλίες και περικόχλια θα πρέπει να συμφωνούν με το ISO 3506. Οι δακτύλιοι θα πρέπει να είναι από οστενιτικό χάλυβα και να είναι σύμφωνοι με το ISO 7089 ή το ISO 7090

Η ονομαστική αντοχή διαρροής f_y και η αντοχή εφελκυσμού f_u θα λαμβάνονται από τον πίνακα που ακολουθεί.

Ομάδα υλικού	Κατηγορία ποιότητας	Διακόμευση μεγεθών	Κοχλίες	
			Τάση σε 0.2% μόνιμη μήκυνση f_{yb} (N/mm ²)	Αντοχή εφελκυσμού f_{ub} (N/mm ²)
Ωστενιτική και	50	≤M39	210	500
Ωστενιτική - Φερριτική	70	≤M20 (2)	450	700
	80	≤M20 (2)	600	800

Σημειώσεις: α) Οι προδιαγραφόμενες τιμές είναι ελάχιστες.
β) Επιπροσθέτως των διαφόρων τύπων χάλυβα που καλύπτονται στο ISO 3506 ως κατηγορίες ποιότητας 50, 70 και 80, άλλοι τύποι χαλύβων του PREN 10088 - 3 μπορούν επίσης να χρησιμοποιούνται.

(1) Όλες οι τιμές αναφέρονται στην ενεργό διατομή.
(2) Για κοχλίες κατηγορίας ποιότητας 70 και 80 με μήκη μεγαλύτερα των 8 διαμέτρων η μεγέθη μεγαλύτερα από M20, οι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων θα πρέπει να λαμβάνονται από τον κατασκευαστή των κοχλιών.

Πίν. 6.11: Ονομαστικές τιμές F_{yb} και F_{ub} για ανοξείδωτους χαλύβδινους κοχλίες σύμφωνα με ISO 3506

6.6.2 Προεντεταμένοι κοχλίες

Κοχλίες υψηλής αντοχής από ανοξείδωτο χάλυβα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται ως προεντεταμένοι, υπολογισμένοι να έχουν μια συγκεκριμένη αντοχή σε ολίσθηση, εκτός εάν η αποδοχή τους σε μια συγκεκριμένη εφαρμογή μπορεί να αποδειχθεί μέσω αποτελεσμάτων δοκιμών. Σε αυτές τις περιπτώσεις θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη μακροπρόθεσμες επιρροές μέσω κατάλληλων μειωτικών συντελεστών στο φορτίο προέντασης

Σε άλλες περιπτώσεις, προεντεταμένοι κοχλίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν με την προϋπόθεση ότι υιοθετούνται κατάλληλες τεχνικές προέντασης και λαμβάνεται υπόψη η χαλάρωση της έντασης με την πάροδο του χρόνου.

6.6.3 Αναλώσιμα συγκολλήσεων

Όλα τα αναλώσιμα συγκολλήσεων πρέπει να είναι σύμφωνα με το Πρότυπο Αναφοράς 4, στο Παράρτημα Β του ENV 1993-1-1 Ευρωκώδικας 3: Μέρος 1.1

Η προδιαγεγραμμένη αντοχή διαρροής και αντοχή εφελκυσμού του υλικού συγκόλλησης πρέπει και οι δύο να είναι μεγαλύτερες ή ίσες από τις αντίστοιχες προδιαγεγραμμένες τιμές της ποιότητας του προς συγκόλληση χάλυβα.

Η αντοχή της συγκόλλησης σε διάβρωση πρέπει να είναι επαρκής για το περιβάλλον λειτουργίας της κατασκευής

Η αντοχή σε διάβρωση της συγκόλλησης μπορεί κανονικά να υποτεθεί ότι είναι επαρκής εφόσον δεν είναι μικρότερη από εκείνη του μητρικού υλικού, με την προϋπόθεση ότι έχει χρησιμοποιηθεί η ορθή διαδικασία συγκόλλησης.

6.7 Ανθεκτικότητα και Προστασία σε Διάβρωση

Η κύρια διαφορά στη χρησιμοποίηση ανάμεσα στους ανοξειδωτους και στους μη-ανοξειδωτους χάλυβες είναι η εξής:

Για τους μη-ανοξειδωτους χάλυβες, η προστασία από τις περιβαλλοντικές επιδράσεις, κι επομένως η διάρκεια ζωής, είναι θέματα άσχετα από τον δομικό σχεδιασμό.

Για τους ανοξειδωτους χάλυβες, η διάρκεια ζωής δεν καθορίζεται από μετέπειτα προστατευτικά μετρά, αλλά από την αρχική επιλογή του υλικού, τις διαδικασίες σχεδιασμού και κατασκευής, και την καταλληλότητα τους για τις περιβαλλοντικές συνθήκες.

Για να κάνει κανείς μια ενημερωμένη επιλογή της κατάλληλης ποιότητας ανοξειδωτου χάλυβα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή, ή για να εφαρμόσει σωστά τις διατιθέμενες οδηγίες προκειμένου να σχεδιάσει καλές λεπτομέρειες ώστε να αποφύγει τη διάβρωση, είναι σημαντικό να έχει κάποια γνώση των μηχανισμών της διάβρωσης στον ανοξειδωτο χάλυβα.

Όλα τα κοινά δομικά μέταλλα όταν εκτίθενται στον ξηρό αέρα σχηματίζουν στην επιφάνεια μεμβράνη οξειδίων. Τα οξείδια που σχηματίζονται στους περισσότερους μη-ανοξειδωτους χάλυβες γρήγορα θραύονται, και με την παρουσία υγρασίας δεν επισκευάζονται. Έτσι, μπορεί να λάβει χώρα μια αντίδραση ανάμεσα στο χάλυβα, την υγρασία και το οξυγόνο και να σχηματισθεί σκουριά. Εκτός της περίπτωσης των αυτο-προστατευόμενων χαλύβων, αυτή η σκουριά δεν είναι προστατευτική και δεν παρεμποδίζει την διαδικασία της διάβρωσης.

Οξείδιο σχηματίζεται επίσης και στον ανοξειδωτο χάλυβα. Το οξείδιο αυτό είναι πλούσιο σε χρώμιο και είναι σταθερό, χωρίς πόρους, και είναι ισχυρά προσκολλημένο στην επιφάνεια. Όμως, αντίθετα από εκείνο που σχηματίζεται στους μη-ανοξειδωτους χάλυβες, εάν θραυσθεί (π.χ. από ξύσιμο ή κόψιμο), έχει την ικανότητα να επισκευάζεται αμέσως μόνο του με την παρουσία αέρα ή ενός οξειδωτικού περιβάλλοντος. Το οξείδιο αυτό είναι επίσης ισχυρά ανθεκτικό σε χημική προσβολή. Για τους λόγους αυτούς είναι γνωστό ως "παθητική μεμβράνη". Παρόλο ότι αυτή η μεμβράνη είναι πολύ λεπτή (περίπου 5-10⁻⁶ χιλ.). προσδίδει στον ανοξειδωτο χάλυβα ιδιότητες υψηλής

ανθεκτικότητας σε διάβρωση παρεμποδίζοντας την αντίδραση του χάλυβα με την ατμόσφαιρα.

Η συμπεριφορά της παθητικής μεμβράνης εξαρτάται από τη χημική σύνθεση του χάλυβα, την επιφανειακή του επεξεργασία και τη διαβρωτική φύση του περιβάλλοντος. Η σταθερότητα της μεμβράνης αυξάνει όσο αυξάνει το ποσοστό σε χρώμιο. Οι περισσότεροι ανοξειδωτοί χάλυβες που χρησιμοποιούνται στις κατασκευές περιέχουν γύρω στο 18% χρώμιο και 10% νικέλιο. Μερικοί ανοξειδωτοί χάλυβες περιέχουν επίσης μολυβδένιο για παραπέρα αύξηση της ανθεκτικότητας σε διάβρωση.

Αυτή η έννοια του σχηματισμού της παθητικής μεμβράνης είναι σημαντική διότι όποιες συνθήκες παρεμποδίζουν τον σχηματισμό της μεμβράνης ή προκαλούν τη θραύση της, οδηγούν στην απώλεια της ανθεκτικότητας σε διάβρωση. Κατά συνεπεία διάβρωση στον ανοξειδωτο χάλυβα συμβαίνει εάν υποστεί βλάβη η παθητική μεμβράνη ή παρεμποδισθεί ο επανασχηματισμός της.

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες είναι εν γένει πολύ ανθεκτικοί σε διάβρωση και συμπεριφέρονται ικανοποιητικά στα περισσότερα περιβάλλοντα. Το όριο της ανθεκτικότητας σε διάβρωση ενός δεδομένου ανοξειδωτού χάλυβα, εξαρτάται από τις προσμίξεις του, που σημαίνει ότι κάθε μία ποιότητα έχει μία ελαφρώς διαφορετική απόκριση όταν εκτίθεται σε διαβρωτικό περιβάλλον. Κατά συνέπεια απαιτείται προσοχή στην επιλογή της πλέον κατάλληλης ποιότητας ανοξειδωτού χάλυβα για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Γενικώς, όσο υψηλότερο το επίπεδο της απαιτούμενης ανθεκτικότητας σε διάβρωση, τόσο μεγαλύτερο το κόστος του υλικού.

Πιθανοί λόγοι που μια συγκεκριμένη ποιότητα ανοξειδωτού χάλυβα αποτυγχάνει να ικανοποιήσει τις προσδοκίες ανθεκτικότητας σε διάβρωση περιλαμβάνουν :

- εσφαλμένη εκτίμηση του περιβάλλοντος ή έκθεση σε απρόβλεπτες συνθήκες (π.χ. μη αναμενόμενη μόλυνση από ιόντα χλωρίου).
- τον τρόπο που ο ανοξειδωτός χάλυβας κατεργάστηκε η επεξεργάστηκε, πράγμα που μπορεί να δημιουργήσει μια κατάσταση που δεν είχε προβλεφθεί στην αρχική εκτίμηση.

Παρόλο ότι οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να παρουσιάσουν αποχρωματισμό και κηλίδες (συχνά οφειλόμενες σε μόλυνση ανθρακούχου χάλυβα) , είναι εξαιρετικά ανθεκτικοί σε κτιριακά έργα. Σε έντονα διαβρωτικά βιομηχανικά και θαλασσιά περιβάλλοντα, πειράματα δεν έδειξαν μείωση της ανθεκτικότητας των μελών της κατασκευής, ακόμη και εκεί που παρατηρήθηκε μία μικρή μείωση του βάρους. Όμως, εμφάνιση άσχημων κηλίδων σκουριάς στις εξωτερικές επιφάνειες, μπορεί από τον χρήστη να θεωρείται ως αποτυχία του υλικού. Η εμπειρία έχει δείξει ότι οποιοδήποτε σοβαρό πρόβλημα διάβρωσης συνήθως εμφανίζεται τα πρώτα δύο ή τρία χρόνια λειτουργίας της κατασκευής.

Σε ορισμένα διαβρωτικά περιβάλλοντα, μερικές ποιότητες ανοξειδωτου χάλυβα μπορεί να υπόκεινται σε τοπική προσβολή. Έξι πιθανοί μηχανισμοί περιγράφονται στην ακολούθως, αλλά μόνον οι τρεις πρώτοι είναι πιθανόν να συμβούν σε κτίρια.

6.7.1 Τύποι διάβρωσης

6.7.1.1 Σημειακή διάβρωση

Η σημειακή διάβρωση είναι μία μορφή τοπικής διάβρωσης η οποία μπορεί να συμβεί ως αποτέλεσμα της έκθεσης σε ειδικά περιβάλλοντα, κατά το πλείστον εκείνα που περιέχουν ιόντα χλωρίου. Η σημειακή διάβρωση συμβαίνει διότι τα ιόντα χλωρίου διαπερνούν την παθητική μεμβράνη σε αδύνατα σημεία. Σχηματίζεται έτσι ένα τοπικό στοιχείο του οποίου άνοδος είναι η διαπερασμένη επιφάνεια και κάθοδος η γύρωθεν παθητική μεμβράνη. Δεδομένου δε ότι η επιφάνεια της ανόδου είναι μικρή και της καθόδου μεγάλη, η πυκνότητα του ρεύματος, και κατά συνέπεια η ταχύτητα διάβρωσης γίνεται πολύ μεγάλη.

Στις περισσότερες δομικές εφαρμογές, η σημειακή διάβρωση της επιφάνειας είναι συνήθως μικρή και αποδεκτή, γιατί η μείωση της διατομής του μέλους είναι αμελητέα. Όμως, τα προϊόντα της διάβρωσης μπορεί να κηλιδώσουν αρχιτεκτονικά στοιχεία. Μια λιγότερο ανεκτική άποψη για τη σημειακή διάβρωση θα πρέπει να υιοθετείται για εγκαταστάσεις όπως αγωγούς, σωληνώσεις και κατασκευές δοχείων. Εάν η επικινδυνότητα είναι γνωστή, θα πρέπει να επιλέγεται ένα κατάλληλο κράμα χάλυβα. Συνήθως αυτό είναι ένα ισχυρότερο κράμα που περιέχει προσθήκες μολυβδένιου.

6.7.1.2 Διάβρωση σε σχισμές

Η διάβρωση σε σχισμές είναι μία τοπική μορφή προσβολής η οποία αρχίζει από τη διαφοροποίηση των επιπέδων οξυγόνου μεταξύ των σχισμών και των εκτεθειμένων περιοχών. Συνήθως αποτελεί πρόβλημα σε λιμνάζουσες καταστάσεις όπου μπορεί να συμβεί ανάπτυξη χλωριδίων. Η σοβαρότητα της διάβρωσης σε σχισμές εξαρτάται πολύ από τη γεωμετρία της σχισμής. Όσο στενότερη και βαθύτερη η σχισμή, τόσο σοβαρότερη η διάβρωση. Τυπικές σχισμές εμφανίζονται μεταξύ περικοχλίων και δακτυλίων ή γύρω από το σπείρωμα μιας βίδας ή τον κορμό ενός κοχλία. Σχισμές μπορεί επίσης να εμφανισθούν σε συγκολλήσεις που δεν έχουν επιτύχει διείσδυση, καθώς και κάτω από αποθέσεις στην επιφάνεια του χάλυβα. Βασικά, η σημειακή διάβρωση και η διάβρωση σε σχισμές είναι φαινόμενα παρόμοια, αλλά η προσβολή αρχίζει πιο εύκολα σε μια σχισμή παρά στην ελεύθερη επιφάνεια.

6.7.1.3 Διμεταλλική διάβρωση

Διμεταλλική διάβρωση μπορεί να συμβεί όταν ανόμοια μέταλλα ευρίσκονται σε ηλεκτρική επαφή μέσα σε οποιοδήποτε ηλεκτρολύτη, περιλαμβανομένου του βρόχινου νερού, της συμπύκνωσης υδρατμών κλπ. Εάν ένα ηλεκτρικό ρεύμα τρέξει μεταξύ των δυο, το ολιγότερο ευγενές μέταλλο (η άνοδος) διαβρώνεται με ταχύτερο ρυθμό από ότι θα συνέβαινε εάν τα μέταλλα δεν ήταν σε επαφή.

Ο ρυθμός διάβρωσης εξαρτάται επίσης από τις σχετικές επιφάνειες των εν επαφή μετάλλων, την θερμοκρασία και την σύνθεση του ηλεκτρολύτη. Ειδικότερα, όσο μεγαλύτερη η επιφάνεια της καθόδου σε σχέση με εκείνη της ανόδου, τόσο μεγαλύτερη η ταχύτητα προσβολής. Δυσμενείς λόγοι επιφανειών συνήθως εμφανίζονται στους κοχλίες και στους κόμβους.

Κοχλίες από ανθρακούχο χάλυβα σε μέλη ανοξειδωτού χάλυβα πρέπει να αποφεύγονται διότι ο λόγος των επιφανειών του ανοξειδωτού προς τον ανθρακούχο χάλυβα είναι μεγάλος και οι κοχλίες θα υπόκεινται σε ταχεία προσβολή. Αντίθετα, η ταχύτητα προσβολής ενός μέλους ανθρακούχου χάλυβα από ένα ανοξειδωτο κοχλία είναι πολύ μικρότερη. Συνήθως βοηθάει η αναφορά σε προηγούμενη εμπειρία σε παρόμοιες θέσεις, διότι ανόμοια μέταλλα μπορούν συχνά να συνδυάζονται με ασφάλεια κάτω από συνθήκες περιπτωσιακής συμπύκνωσης ή υγρασίας χωρίς δυσμενή αποτελέσματα, ιδίως όταν η αγωγιμότητα του ηλεκτρολύτη είναι χαμηλή.

Η πρόβλεψη αυτών των επιδράσεων είναι δύσκολη διότι η ταχύτητα διάβρωσης καθορίζεται από ένα αριθμό πολύπλοκων παραμέτρων. Η χρήση ενδεχομένως πινάκων αγνοεί την παρουσία της επιφανειακής οξειδωτικής μεμβράνης, την επίδραση του λόγου των επιφανειών και την διαφορετική χημεία του διαλύματος (ηλεκτρολύτη). Επομένως, η απληροφόρητη χρήση αυτών των πινάκων μπορεί να καταλήξει σε λανθασμένα αποτελέσματα. Οι πίνακες θα πρέπει να χρησιμοποιούνται με προσοχή και μόνο για αρχική εκτίμηση.

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες συνήθως αποτελούν την κάθοδο σε ένα διμεταλλικό ζεύγος και επομένως δεν υποφέρουν από διάβρωση. Εξάιρεση αποτελεί το ζεύγος με χαλκό που θα πρέπει γενικώς να αποφεύγεται. εκτός κάτω από καλοήθειες συνθήκες. Επαφή μεταξύ ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων και ψευδαργύρου ή αλουμινίου μπορεί να προκαλέσει κάποια πρόσθετη διάβρωση στα δυο τελευταία μέταλλα. Αυτό είναι

απίθανο να έχει κάποια σημασία από στατική άποψη, αλλά η γκριζόασπρη σκόνη που προκύπτει προδιαθέτει άσχημα.

Η διμεταλλική διάβρωση μπορεί να αποφευχθεί αποκλείοντας την παρουσία του νερού από την λεπτομέρεια (για παράδειγμα βάφοντας ή στεγανοποιώντας τον κόμβο) ή απομονώνοντας ηλεκτρικά τα μέταλλα μεταξύ τους (για παράδειγμα βάφοντας τις επιφάνειες επαφής των ανόμοιων μετάλλων). Μόνωση γύρω από τις κοχλιωτές συνδέσεις μπορεί να επιτευχθεί με μη-αγώγιμα πλαστικά ή ελαστικά παρεμβλήματα και δακτυλίους από νάιλον ή τεφλόν. Το σύστημα αυτό είναι χρονοβόρο επί τόπου του έργου, και από το άλλο μέρος δεν είναι συνήθως δυνατόν να υπάρχει το απαραίτητο επίπεδο επιτόπου επιθεώρησης, ώστε να ελέγχεται ότι όλοι οι δακτύλιοι και τα χιτώνια έχουν τοποθετηθεί σωστά.

6.7.1.4 Διάβρωση ρωγμών εξαιτίας τάσεων

Η ανάπτυξη της διάβρωσης ρωγμών εξαιτίας τάσεων απαιτεί την ταυτόχρονη παρουσία εφελκυστικών τάσεων και ειδικών περιβαλλοντικών παραγόντων που δεν συναντώνται συνήθως στην κανονική ατμόσφαιρα των κτιριακών έργων. Οι τάσεις δεν είναι ανάγκη να είναι πολύ υψηλές σε σχέση με το όριο διαρροής του υλικού, και μπορεί να οφείλονται στη φόρτιση ή σε παραμένουσες τάσεις από τις διαδικασίες κατεργασίας όπως συγκόλληση ή διαμόρφωση. Προσοχή πρέπει να δίδεται όταν ανοξείδωτα μέλη που περιέχουν υψηλές παραμένουσες τάσεις (όπως αυτές που οφείλονται στην διαμόρφωση εν ψυχρώ) χρησιμοποιούνται σε περιβάλλοντα πλούσια σε χλωρίδια. όπως κολυμβητήρια ή θαλασσιές κατασκευές, περιλαμβανομένων των εξέδρων άντλησης πετρελαίου.

Η συχνότητα εμφάνισης της διάβρωσης ρωγμών λόγω τάσεων αυξάνει με την αύξηση των εφελκυστικών τάσεων και της θερμοκρασίας. Σε ωστενιτικούς χρωμιονικελιούχους ανοξείδωτους χάλυβες, το νικέλιο είναι η πρόσμιξη εκείνη που περισσότερο μειώνει την ευαισθησία του μετάλλου σε διάβρωση ρωγμών λόγω τάσεων.

6.7.1.5 Γενική διάβρωση

Η γενική διάβρωση είναι πολύ λιγότερο σοβαρή στον ανοξείδωτο χάλυβα παρά στους άλλους χάλυβες. Συμβαίνει μόνον όταν ο ανοξείδωτος χάλυβας ευρίσκεται σε μια τιμή pH η οποία είναι είτε πολύ χαμηλή (όξινο περιβάλλον) είτε πολύ υψηλή (αλκαλικό

περιβάλλον). Η μορφή αυτή διάβρωσης δεν αποτελεί πρόβλημα για τις ποιότητες ανοξείδωτου χάλυβα που συνήθως χρησιμοποιούνται σε κανονικές οικοδομικές εφαρμογές. Αναφορά μπορεί να γίνεται σε πίνακες των βιομηχανιών. Εναλλακτικά, θα πρέπει να επιζητείται η συμβουλή ενός μηχανικού ειδικού σε θέματα διάβρωσης, ιδίως εάν ο ανοξείδωτος χάλυβας πρόκειται να έλθει σε επαφή με χημικά.

6.7.1.6 Προσβολή της κοκκώδους δομής και αποσάθρωση των συγκολλήσεων

Όταν ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες υπόκεινται σε παρατεταμένη θέρμανση μεταξύ 450-850C. ο άνθρακας στον χάλυβα διαχέεται στα όρια των κόκκων και καθιζάνει χρώμιο. Αυτό αφαιρεί χρώμιο από το στερεό διάλυμα και αφήνει μικρότερο ποσοστό χρωμίου κοντά στα όρια των κόκκων. Τότε οι χάλυβες περιέρχονται σε μια ευαισθητοποιημένη κατάσταση (sensitised). Τα όρια των κόκκων γίνονται ευάλωτα σε προσβολή όταν ο χάλυβας εκτεθεί σε διαβρωτικό περιβάλλον. Όταν το φαινόμενο αυτό συμβαίνει στην έγκαυστη ζώνη μιας συγκόλλησης, τότε είναι γνωστό ως αποσάθρωση της συγκόλλησης.

Υπάρχουν τρεις τρόποι για την αποφυγή της διάβρωσης στην κοκκώδη δομή:

- χρησιμοποίηση χάλυβα με χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα
- χρησιμοποίηση χάλυβα σταθεροποιημένου με τιτάνιο ή νιόβιο, δεδομένου ότι αυτά τα στοιχεία συνδυάζονται κατά προτίμηση με τον άνθρακα για να σχηματίσουν σταθερά σωματίδια, μειώνοντας επομένως τον κίνδυνο σχηματισμού καρβιδίων του χρωμίου.
- χρήση θερμικής κατεργασίας. Αυτή η μέθοδος σπάνια χρησιμοποιείται στην πράξη.

Η εμπειρία έχει δείξει ότι μια χαμηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι επαρκής ώστε να προστατεύσει κατά της διάβρωσης της κοκκώδους δομής μετά την συγκόλληση. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα όταν η συγκόλληση γίνεται με τεχνικές τόξου (που προκαλούν ταχεία θέρμανση και ψύξη), ακόμη και για πάχη ελασμάτων μέχρι 20 χιλιοστά.

6.7.2 Επίπεδα κινδύνου

Το επίπεδο κινδύνου εξαρτάται από τα υλικά, τη μορφολογία και τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Μπορούν να διακριθούν τρία επίπεδα κινδύνου ως ακολούθως:

α) Μόνο επιφανειακή προσβολή (μικροσημειακή διάβρωση) που ενδιαφέρει την εμφάνιση, και που συμβαίνει στα 50 χρόνια ζωής που γίνεται ο σχεδιασμός Η συντήρηση από άποψη δομικής ακεραιότητας δεν είναι απαραίτητη, αλλά μπορεί να απαιτείται να διατηρείται η αρχική εμφάνιση Οι περισσότεροι ανοξείδωτοι χάλυβες ικανοποιούν αυτή την απαίτηση για ελαφρές ή μέτριες διαβρωτικές συνθήκες περιβάλλοντος.

β) Κίνδυνος σημειακής διάβρωσης ή διάβρωσης σχισμών, με απώλεια διατομής ή διείσδυση, ο οποίος απαιτεί επιθεώρηση ή επισκευή λόγω δομικής αστοχίας μέσα στα 50 χρόνια ζωής του σχεδιασμού. Το επίπεδο αυτό κινδύνου αντιστοιχεί σε ατμοσφαιρική έκθεση σε χημικά μολυσμένα ατμόσφαιρα από θαλάσσιο ή βαρεία βιομηχανικό περιβάλλον, ή ατμόσφαιρα στο εσωτερικό κτιρίων όπου λαμβάνουν χώρα ορισμένες διαδικασίες και λειτουργίες.

γ) Κίνδυνος τοπικής προσβολής από διαβρωτικές ουσίες (π.χ. αποθέσεις οξέων χλωριδίων. ρευστό μέταλλο ψευδαργύρου) οι οποίες μπορεί να προκαλέσουν απώλεια της δομικής ακεραιότητας ένεκα τοπικής διαβρωτικής ρηγμάτωσης υπό ένταση. Η διάρκεια ζωής και η συχνότητα επιθεώρησης καθορίζονται από τον συνδυασμό της επιλογής των υλικών και της σοβαρότητας και πιθανότητας έκθεσης σε διαβρωτικές ουσίες. Το επίπεδο αυτό κινδύνου αντιστοιχεί σε έκθεση σε ειδικά περιβάλλοντα, όπως σε ορισμένα κλειστά κολυμβητήρια, όπου μπορεί να δημιουργηθούν διαβρωτικές αποθέσεις με υψηλές συγκεντρώσεις χλωριδίων. Επίσης σε κατασκευές που περιέχουν μέλη γαλβανισμένα ή επικαλυμμένα με ψευδάργυρο, όπου υπάρχει κίνδυνος πυρκαγιάς.

Παρόλο ότι για τα επίπεδα κινδύνου α) και β) μπορούν να δοθούν γενικές οδηγίες για την επιλογή των υλικών, για το επίπεδο γ) είναι βασικό να επιζητείται η συμβουλή ειδικού.

6.7.3 Επιλογή των υλικών

6.7.3.1 Γενικά

Η επιλογή της σωστής ποιότητας ανοξείδωτου χάλυβα θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη το περιβάλλον, την πορεία κατασκευής, την ικανότητα κατεργασίας του υλικού, το τελείωμα της επιφανείας και την συντήρηση της κατασκευής. Μολονότι το υλικό έχει χαμηλές απαιτήσεις συντήρησης, όταν εκλέγεται για χρήση σε διαβρωτικό περιβάλλον, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τον σχεδιασμό λεπτομερείς κανόνες για την εξασφάλιση ανθεκτικότητας σε διάβρωση.

Κατά τη διάρκεια ζωής για την οποία σχεδιάζεται η κατασκευή, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι παρακάτω κίνδυνοι:

- διάβρωση ρωγμών λόγω τάσεων
- διάβρωση σε σχισμές
- γαλβανική διάβρωση
- σημειακή διάβρωση
- κηλίδωση
- απώλεια πάχους διατομής

Το πρώτο βήμα είναι ο χαρακτηρισμός του περιβάλλοντος λειτουργίας. Η διαβρωτικότητα ενός περιβάλλοντος κυβερνάται από ένα αριθμό μεταβλητών όπως η υγρασία, η θερμοκρασία αέρος, η παρουσία και συγκέντρωση χημικών, η περιεκτικότητα σε οξυγόνο, κλπ. Για να συμβεί διάβρωση πρέπει να είναι παρούσα υγρασία. Για παράδειγμα, θερμαινόμενα και αεριζόμενα κτίρια μπορούν να ταξινομηθούν ως ξηρά. και σε αυτά είναι απίθανο να συμβεί διάβρωση. Ο κίνδυνος συμύκνωσης είναι μεγαλύτερος σε κουζίνες και πλυντήρια. Παράκτιες περιοχές είναι πολύ διαβρωτικές λόγω της παρουσίας υψηλών συγκεντρώσεων ιόντων χλωρίου στον αέρα. και κατασκευές εκτεθειμένες σε σταγονίδια θαλασσινού νερού προσφέρονται ιδιαίτερα για διάβρωση.

Μετά τον χαρακτηρισμό του περιβάλλοντος, είναι στη συνέχεια απαραίτητο να εξετασθεί η επίδραση της άμεσης γειτονίας στον ανοξείδωτο χάλυβα (για παράδειγμα στοιχεία και ουσίες με τις οποίες είναι πιθανόν να έλθει σε επαφή). Επίσης σημαντικές παράμετροι μπορεί να είναι η κατάσταση της επιφανείας, η θερμοκρασία του χάλυβα και η αναμενόμενη τάση λειτουργίας.

Κατόπιν πρέπει να εξετασθούν οι μηχανικές ιδιότητες και η επιρροή του είδους των φορτίσεων, περιλαμβανομένων των φορτίων λειτουργίας, των ανακυκλιζομένων φορτίων, των ταλαντώσεων, των σεισμικών φορτίων, κλπ. Επίσης πρέπει να ποσοτικοποιείται η επιρροή της ανακυκλιζόμενης θέρμανσης και ψύξης. Ακόμη για την τελική επιλογή πρέπει να εξετάζονται η ευκολία κατασκευής, η διαθεσιμότητα μορφών προϊόντων, το τελείωμα της επιφανείας και το κόστος

Για την αποτίμηση της καταλληλότητας μιας ποιότητας, μία καλή προσέγγιση είναι η αναφορά στην εμπειρία χρήσης ανοξειδωτου χάλυβα σε παρόμοιες εφαρμογές και περιβάλλοντα. Για ατμοσφαιρικά περιβάλλοντα, ο πίνακας Β.1 καθοδηγεί για την επιλογή των κατάλληλων ποιοτήτων από άποψη διάβρωσης.

Περάν της ταξινόμησης των ανοξειδωτων χάλυβων ανάλογα με ατμοσφαιρικές εφαρμογές όπως στον Πίν. 6.12 είναι απαραίτητο να διαχωρίζονται οι παρακάτω περιπτώσεις:

- διακοσμητικές εφαρμογές όπου η κύρια μέριμνα κατά την επιλογή του υλικού είναι η διατήρηση της εμφάνισης κατά τη διάρκεια ζωής του προϊόντος. Στην περίπτωση αυτή είναι απαραίτητο να γίνεται διαχωρισμός μεταξύ εσωτερικών και εξωτερικών εφαρμογών.
- δομικά στοιχεία όπου οι μηχανικές ιδιότητες είναι θεμελιώδεις.

Στην πρώτη περίπτωση είναι απαραίτητο να θεωρείται όχι μονό η περιβαλλοντική ατμόσφαιρα αλλά επίσης η θέση των μελών της κατασκευής και η δυνατότητα "φυσικού" καθαρισμού τους από τους κλιματικούς παράγοντες. Εάν τα μέλη βρίσκονται κάτω από στέγαστρα (όπως στέγες), πρέπει να καθαρίζονται συχνότερα.

Στη δεύτερη περίπτωση, όπου οι μηχανικές ιδιότητες είναι θεμελιώδεις, οι περισσότερες φυσικές ατμόσφαιρες δεν έχουν βλαβερή επίδραση στους ανοξειδωτους χάλυβες.

Ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι κατάλληλοι για πολλές εφαρμογές σε ανοικτές ή κλειστές κολυμβητικές δεξαμενές. Για φέροντα μέλη σε ατμόσφαιρα που περιέχει χλωρίδια, όπως επάνω από κολυμβητήρια, θα χρησιμοποιούνται ωστενιτικοί χάλυβες με 6% Mo (π.χ. 1.4529 ή SMO τύποι), επιπροσθέτως των ποιοτήτων 1.4439, 1.4539, 1.4547, και 1.4462. Αυτοί οι χάλυβες θα πρέπει επίσης να καλύπτονται πλήρως από τους

διάφορους πίνακες.

Τύπος Χάλοβα	Τοποθεσία											
	Αγροτική			Αστική			Βιομηχανική			Θαλάσσια		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
1.4301, 1.4311 1.4541, 1.4318	✓	✓	✓	✓	✓	(✓)	(✓)	(✓)	X	✓	(✓)	X
1.4401, 1.4404 1.4406, 1.4571 1.4362	0	0	0	0	✓	✓	✓	✓	(✓)	✓	✓	(✓)
1.4439, 1.4462 1.4529, 1.4539 1.4547	0	0	0	0	0	0	0	0	✓	0	0	✓
L	Χαμηλή. Ελάχιστες συνθήκες διάβρωσης σε αυτή την κατηγορία, π.χ. μετριαζόμενες λόγω χαμηλής υγρασίας ή υψηλής θερμοκρασίας											
M	Μέτρια. Τυπική αυτής της κατηγορίας.											
H	Υψηλή. Διάβρωση συνήθως υψηλότερη από την τυπική για αυτή την κατηγορία, π.χ αυξημένη λόγω επίμονης υψηλής υγρασίας, υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος, ρύποι στον αέρα ιδιαίτερα διαβρωτικοί.											
0	Ίσως υπέρ το δέον προδιαγραφόμενο από άποψη διαβρώσεως.											
✓	Ίσως η καλύτερη επιλογή από άποψη αντοχής σε διάβρωση & κόστος.											
X	Συνήθως υποφέρει από υπερβολική διάβρωση.											
(✓)	Αξίζει να ληφθεί υπόψη εφόσον λαμβάνονται προστατευτικά μέτρα (δηλ. Να προδιαγράφεται σχετικά λεία επιφάνεια και εάν θα γίνεται τακτικό πλύσιμο).											

Πίν. 6.12: Συνιστώμενες ποιότητες για εφαρμογές στην ατμόσφαιρα.

6.7.3.2 Κοχλίες

Για υλικό κοχλιών, η ποιότητα A4 σύμφωνα με το ISO-3506 είναι από άποψη ανθεκτικότητας σε διάβρωση ισοδύναμη με τις 1.4401, 1.4404 και 1.4571 και η ποιότητα A2 κατά ISO-3506 είναι ισοδύναμη με τις 1.4301 και 1.4541. Η ποιότητα A1 είναι μικρότερης ανθεκτικότητας σε διάβρωση και δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται για κοχλίες. Κοχλίες από τους χάλυβες 1.4439, 1.4539, 1.4529, 1.4547 και 1.4462 θα χρησιμοποιούνται για την επίτευξη της αυτής ανθεκτικότητας σε διάβρωση.

Προσοχή απαιτείται στην περίπτωση χρήσης για κοχλίες ανοξείδωτων χαλύβων "ελεύθερης κατεργασίας". Η προσθήκη θείου στη σύνθεση αυτών των χαλύβων (συνήθως συμβολιζόμενων 303 στην κατηγορία των ωστενιτικών) τους κάνει πιο ευάλωτους σε διάβρωση, ειδικά σε βιομηχανικά και θαλασσιά περιβάλλοντα.

6.7.4 Σχεδιασμός για έλεγχο της διάβρωσης

Το σημαντικότερο βήμα για την πρόληψη προβλημάτων διάβρωσης, είναι η επιλογή μιας κατάλληλης ποιότητας ανοξείδωτου χάλυβα με κατάλληλες διαδικασίες κατασκευής για το δεδομένο περιβάλλον. Όμως, αφού προδιαγραφεί ένας συγκεκριμένος χάλυβας, πολλά άλλα οφέλη μπορούν να προκύψουν από την πλήρη εκμετάλλευση της ανθεκτικότητας του χάλυβα, εάν δοθεί προσοχή στο σχεδιασμό των λεπτομερειών.

Τα επόμενα είναι ένας κατάλογος ελέγχου για να λαμβάνεται υπόψη. Δεν σημαίνει ότι όλα τα σημεία δίνουν την καλύτερη λεπτομέρεια από την άποψη της δομικής αντοχής, ούτε ότι τα αναφερόμενα σημεία προορίζονται να εφαρμόζονται σε όλα τα περιβάλλοντα. Ειδικότερα, σε περιβάλλοντα χαμηλής διαβρωτικότητας ή όπου γίνεται κανονική συντήρηση, πολλά από τα σημεία του καταλόγου δεν χρειάζονται.

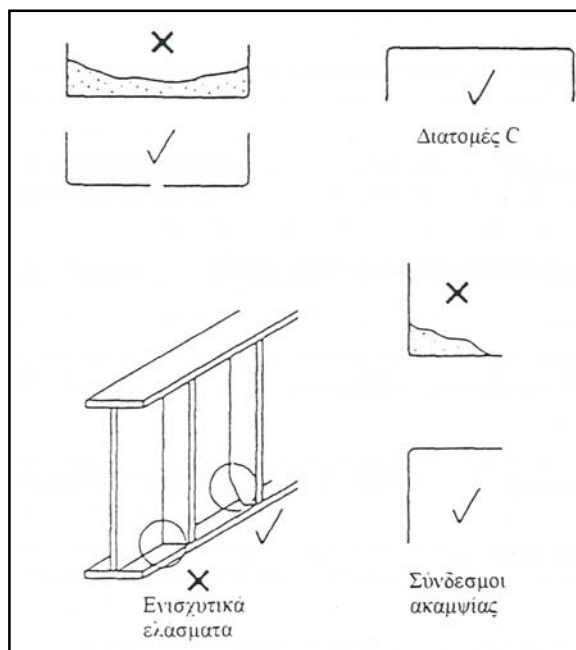
Θα πρέπει να επιτυγχάνεται ισόρροπη χρήση συγκόλλησης και κοχλίωσης ώστε να εξασφαλίζεται βέλτιστη απόδοση κατά της διάβρωσης με την ελαχίστη παραμόρφωση λόγω συγκόλλησης.

- Αποφυγή εγκλωβισμού ακαθαρσιών (βλέπε Σχ. 6.3)
- προσανατολισμός γωνιακών και διατομών U τέτοιος ώστε να ελαχιστοποιείται η συγκράτηση ακαθαρσιών

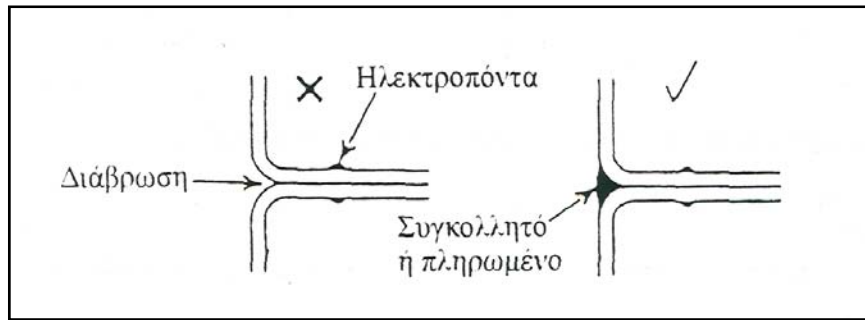
- πρόβλεψη οπών αποστράγγισης, εξασφαλίζοντας ότι έχουν επαρκές μέγεθος ώστε να μην φράζουν
- αποφυγή οριζοντίων επιφανειών
- πρόβλεψη μικρής κλίσης σε κομβοελάσματα που ευρίσκονται σε οριζόντιο επίπεδο
- χρησιμοποίηση κοίλων και συμπαγών διατομών (σφράγιση των σωλήνων με ξηρό αέριο ή αέρα όπου υπάρχει κίνδυνος σχηματισμού επιβλαβών συμπυκνώσεων)
- προδιαγραφή λείων τελειωμάτων
- Αποφυγή θυλάκων (βλέπε Σχ. 6.4):
 - με τη χρησιμοποίηση συγκολλητών παρά κοχλιωτών συνδέσεων
 - με τη χρησιμοποίηση σφραγιστικών συγκολλήσεων ή πλαστικών σφραγισμάτων
 - με την κατά προτίμηση εφαρμογή ραφών συγκολλήσεων
 - με την παρεμπόδιση βιολογικού καθαρισμού (Σημειώσατε ότι η χλωρίωση του νερού μπορεί να προκαλέσει σημειακή διάβρωση)
- Μείωση της πιθανότητας διάβρωσης ρωγμών λόγω τάσεων σε εκείνα τα ειδικά περιβάλλοντα όπου μπορεί να συμβεί :
 - με ελαχιστοποίηση των τάσεων κατασκευής επιλέγοντας προσεκτικά τη διαδοχή των συγκολλήσεων
 - με βολή της επιφάνειας με χαλύβδινα σφαιρίδια (με αποφυγή όμως γωνιακών σωματιδίων σιδήρου ή χάλυβα)
- Οι συγκολλήσεις θα πρέπει πάντοτε να καθαρίζονται ώστε να αποκαθίσταται η ανθεκτικότητα σε διάβρωση. Μείωση της πιθανότητας σημειακής διάβρωσης :
 - με απομάκρυνση των προϊόντων της συγκόλλησης που εκτινάσσονται.
 - με χημικό καθαρισμό του ανοξειδώτου χάλυβα για την απομάκρυνση ανεπιθύμητων προϊόντων της συγκόλλησης. Θα πρέπει να αποφεύγονται ισχυρά

οξειδωτικοί παράγοντες. Μετά τον χημικό καθαρισμό θα πρέπει να γίνεται επιμελές πλύσιμο με νερό.

- με την αποφυγή προσέλκυσης σωματιδίων ανθρακούχου χάλυβα (π.χ. να χρησιμοποιούνται χώροι και εργαλεία μόνο για τον ανοξειδωτο χάλυβα).
- με την εφαρμογή ενός κατάλληλου προγράμματος συντήρησης.
- Μείωση της πιθανότητας διμεταλλικής διάβρωσης:
 - με ηλεκτρική μόνωση
 - με την κατάλληλη χρήση χρωμάτων
 - με την ελαχιστοποίηση των περιόδων υγρασίας.



Σχ. 6.3: Αποφυγή εγκλωβισμού ακαθαρσιών.



Σχ. 6.4: Αποφυγή σχισμών.

6.8 Σχεδιασμός μελών από Ανοξείδωτο Χάλυβα σε Οριακές Καταστάσεις

6.8.1 Οριακή κατάσταση ανθεκτικότητας

Επιλογή των υλικών

Ανάλογα με την αντοχή σε διάβρωση που απαιτείται για το περιβάλλον στο οποίο θα χρησιμοποιηθούν τα δομικά στοιχεία, θα επιλέγεται το κατάλληλο κράμα ανοξείδωτου χάλυβα.

Σε διακοσμητικές εφαρμογές μπορεί να παρουσιασθούν μικρές αλλαγές στην εμφάνιση της επιφάνειας σαν αποτέλεσμα αποθέσεων ρύπων. Σε δυσμενείς συνθήκες αυτές οι αποθέσεις μπορούν να δημιουργήσουν ρωγμές και να οδηγήσουν σε μικροσκοπική σημειακή διάβρωση της επιφανείας. Αυτό μπορεί να αντιμετωπισθεί με την εκλογή μιας ποιότητας ανθεκτικής σε διάβρωση, που να εξασφαλίζει ότι μονό επιφανειακή προσβολή θα λάβει χώρα κατά τη διάρκεια ζωής που σχεδιάστηκε το μέλος. Μπορεί επίσης να είναι απαραίτητο να προδιαγραφεί ένα πρόγραμμα καθαρισμού για την συντήρηση της εμφάνισης της επιφανείας.

Οδηγίες για την καταλληλότητα των υλικών από άποψη διάβρωσης δίδονται στην παράγραφο 0.

6.8.2 Οριακές καταστάσεις λειτουργικότητας

6.8.2.1 Προσδιορισμός των παραμορφώσεων

Προκειμένου να περιορίζονται μη αναστρέψιμες παραμορφώσεις στις κοχλιωτές συνδέσεις, οι τάσεις στην καθαρή διατομή ή στους κοχλίες που οφείλονται στον σπάνιο συνδυασμό φορτίσεων πρέπει να περιορίζονται στην αντοχή διαρροής.

Για την εκτίμηση των παραμορφώσεων πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα αποτελέσματα της μη-γραμμικής συμπεριφοράς τάσεων/παραμορφώσεων των ανοξείδωτων χαλύβων και η αποδοτικότητα της διατομής.

Εναλλακτικά, ακριβέστερη εκτίμηση μπορεί να γίνει χρησιμοποιώντας ενεργό διατομή που βασίζεται σε ενεργά πλάτη προσδιοριζόμενα με τις τάσεις στο θλιβόμενο στοιχείο λόγω φόρτισης λειτουργίας, και λαμβάνοντας το ε στην 5.2.3 (όχι όμως στην 5.2.4) ως εξής :

$$\varepsilon = \left[\frac{235}{\sigma_{com}} \frac{E}{210000} \right]^{1/2} \quad (5.1)$$

όπου:

σ_{com} είναι η θλιπτική τάση στο στοιχείο οφειλόμενη στη φόρτιση λειτουργίας στην ενεργό διατομή.

Οι τιμές της σ_{com} , μπορούν να βασίζονται στην ενεργό διατομή. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν επαναληπτικές διαδικασίες σύγκλισης για περαιτέρω εκλέπτυνση της ενεργού διατομής.

Οι παραμορφώσεις δοκών που παραμένουν ελαστικές κάτω από τα φορτία λειτουργίας θα πρέπει να προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας το τέμνον μέτρο ελαστικότητας αντί του (αρχικά εφαπτομενικού) μέτρου ελαστικότητας E . Το τέμνον μέτρο E_s , θα πρέπει να προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη το επίπεδο έντασης στη δοκό και τον προσανατολισμό της διεύθυνσης έλασης. Εάν ο προσανατολισμός δεν είναι γνωστός, ή δεν μπορεί να εξασφαλισθεί, τότε θα χρησιμοποιείται η τιμή για την διεύθυνση έλασης (δηλ. η διαμήκης διεύθυνση).

Η τιμή του τέμνοντος μέτρου ελαστικότητας μπορεί να λαμβάνεται ως

ακολουθώς :

$$E_s = (E_{s1} + E_{s2}) / 2 \quad (5.2)$$

οπού:

E_{s1} είναι το τέμνον μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην τάση του εφελκυόμενου πέλματος.

E_{s2} είναι το τέμνον μέτρο ελαστικότητας που αντιστοιχεί στην τάση του θλιβόμενου πέλματος.

Τιμές των μέτρων E_{s1} και E_{s2} για τον κατάλληλο προσανατολισμό και λόγο τάσεων μπορούν να προσδιορίζονται από την ακόλουθη εξίσωση:

$$E_{st} = \frac{E}{1 + 0.002 \frac{E}{\sigma_1} \left(\frac{\sigma_1}{f_y} \right)^n} \quad (5.3)$$

στην οποία οι τιμές του n θα πρέπει να λαμβάνονται από τον παραγωγό του χάλυβα. Ο ακόλουθος πίνακας δίνει μερικές ενδεικτικές τιμές.

Κατηγορία αντοχής	Σταθερά	Διαμήκης διεύθυνση	Εγκάρσια διεύθυνση
S 220	E	200000	200000
A	n	5.5	7.5
S 240	E	200000	200000
A	n	6.0	8.0
S 480	E	205000	205000
D	n	4.0	4.0
E σε (N/mm ²)			

Πίν. 6.13: Τιμές του n για τον προσδιορισμό του τέμνοντος μέτρου ελαστικότητας.

Η τιμή του n ορίζεται βάσει του ορίου αναλογίας και του ορίου διαρροής, που ορίζονται το μεν πρώτο ως 0.01% και το δεύτερο ως 0.02% της συμβατικής αντοχής.

Για απλοποίηση μπορεί γενικώς να χρησιμοποιείται η ελάχιστη τιμή του E , (που αντιστοιχεί στη μέγιστη τάση στη δοκό), αγνοώντας την μεταβολή του E , κατά μήκος της δοκού.

6.8.3 Οριακές καταστάσεις αστοχίας

Ο μερικός συντελεστής ασφαλείας γ_M θα λαμβάνεται από τον ENV 1993-1 -1 Ευρωκώδικας 3: Μέρος 1.1.

Εάν εκτελείται πλαστική καθολική ανάλυση, οι συνδέσεις στη θέση η στην περιοχή των πλαστικών αρθρώσεων πρέπει να αποδεικνύεται είτε ότι έχουν επαρκή ικανότητα στροφής ώστε να επιτρέπουν τον σχηματισμό του μηχανισμού, είτε ότι είναι ικανές να

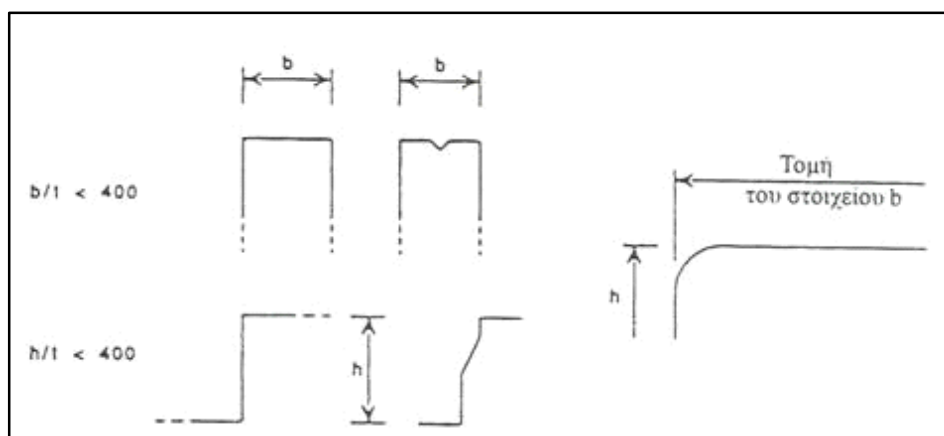
αναλάβουν την πρόσθετη ροπή (πέραν της πλαστικής ροπής) που προκαλείται από την κράτυνση κατά τη στροφή της άρθρωσης. Η απόδειξη αυτή θα πρέπει να βασίζεται σε πειραματική τεκμηρίωση

Κόπωση δε χρειάζεται να λαμβάνεται υπόψη, εκτός εάν η κατασκευή υπόκειται σε πολυάριθμες διακυμάνσεις της τάσης. Σε αυτές τις περιπτώσεις η αντοχή της κατασκευής σε κόπωση θα ελέγχεται σύμφωνα με επόμενη παράγραφο του παρόντος κεφαλαίου.

6.8.3.1 Ταξινόμηση των διατομών

Μέγιστοι λόγοι πλάτους προς πάχος

Για επίπεδο στοιχείο ή εσωτερικό πέλμα με ενδιάμεση νεύρωση ή κορμό που συνδέονται κατά μήκος και των δυο ακμών, (βλέπε Σχ. 6.5), ο λόγος b/t ή h/t δεν πρέπει να υπερβαίνει το 400. Για τον ορισμό των διαστάσεων b και h τα επίπεδα στοιχεία θα λαμβάνονται μέχρι τη γωνία σύμφωνα με το Σχ. 6.5 όταν η ακτίνα καμπυλότητας είναι μικρότερη από $5t$, όπου t είναι το πάχος του υλικού.



Σχ. 6.5: Σημεία τομής για τις διαστάσεις b και h .

Εάν οι στρεβλώσεις των επιπέδων στοιχείων είναι οπτικά απαράδεκτες, μπορεί να είναι απαραίτητες μικρότερες τιμές των λόγων b/t .

Ταξινόμηση

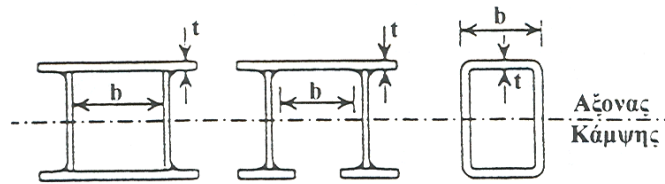
Τα στοιχεία κατατάσσονται στις Κατηγορίες 1, 2 ή 3 ανάλογα με τα όρια που δίδονται στους Πίν. 6.14-Πίν. 6.17. Τα στοιχεία εκείνα που δεν πληρούν τα κριτήρια της Κατηγορίας 3 κατατάσσονται στην Κατηγορία 4.

a. Κορμοί: (εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία κάθετα στον άξονα κάμψως)

Κατηγορία	Κορμός υποκειμένος σε κάμψη	Κορμός υποκειμένος σε θλίψη	Κορμός υποκειμένος σε κάμψη και θλίψη
Κατανομή τάσεων στο στοιχείο (θλίψη θετική)			
1	$d / t_w \leq 72.0 \varepsilon$	$d / t_w \leq 33.0 \varepsilon$	<p>όταν $\alpha > 0.5$: $d / t_w \leq 396\varepsilon / (13\alpha - 1)$</p> <p>όταν $\alpha \leq 0.5$: $d / t_w \leq 36 \varepsilon / \alpha$</p>
2	$d / t_w \leq 83.0 \varepsilon$	$d / t_w \leq 38.0 \varepsilon$	<p>όταν $\alpha > 0.5$: $d / t_w \leq 456\varepsilon / (13\alpha - 1)$</p> <p>όταν $\alpha \leq 0.5$: $d / t_w \leq 41.5 \varepsilon / \alpha$</p>
Κατανομή τάσεων στο στοιχείο (θλίψη θετική)			
3	$d / t_w \leq 124.0 \varepsilon$	$d / t_w \leq 42.0 \varepsilon$	<p>όταν $\psi > -1$: $d / t_w \leq 456\varepsilon / (13\alpha - 1)$</p> <p>όταν $\psi \leq -1$: $d / t_w \leq 41.5 \varepsilon / \alpha$</p>
$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E_s}{210000} \right]^{1/2}$		<p>Αντοχές σύμφωνα με το μέρος 3 (πίνακας 1 και 3.2) Τέμνον μέτρο ελαστικότητας σύμφωνα με 4.3 (6) και (7)</p>	

Πίν. 6.14: Μέγιστοι Λόγοι Πλάτους προς Πάχος για θλιβόμενα στοιχεία.

β. Εσωτερικά στοιχεία πελμάτων : (εσωτερικά θλιβόμενα στοιχεία παράλληλα προς τον άξονα κάμψης)



Κατηγορία	Τύπος	Διατομή σε κάμψη	Διατομή σε θλίψη
Κατανομή τάσεων στο στοιχείο και στη διατομή (θλίψη θετική)			
1	Ελατή κούλη διατομή Άλλη	$(b - 3t) / t \leq 33.0 \varepsilon$ $b / t \leq 33.0 \varepsilon$	$(b - 3t) / t \leq 42.0 \varepsilon$ $b / t \leq 42.0 \varepsilon$
2	Ελατή κούλη διατομή Άλλη	$(b - 3t) / t \leq 38.0 \varepsilon$ $b / t \leq 38.0 \varepsilon$	$(b - 3t) / t \leq 42.0 \varepsilon$ $b / t \leq 42.0 \varepsilon$
Κατανομή τάσεων στο στοιχείο και στη διατομή (θλίψη θετική)			
3	Ελατή κούλη διατομή Άλλη	$(b - 3t) / t \leq 42.0 \varepsilon$ $b / t \leq 42.0 \varepsilon$	$(b - 3t) / t \leq 42.0 \varepsilon$ $b / t \leq 42.0 \varepsilon$
$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E_s}{210000} \right]^{1/2}$		Αντοχές σύμφωνα με το μέρος 3 (πίνακας 1 και 3.2) Τέμνον μέτρο ελαστικότητας σύμφωνα με 4.3 (6) και (7)	

Πίν. 6.15: Μέγιστοι Λόγοι Πλάτους προς Πάχος για θλιβόμενα στοιχεία (συνέχεια).

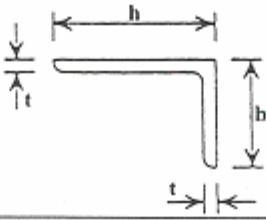
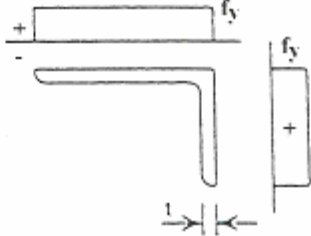
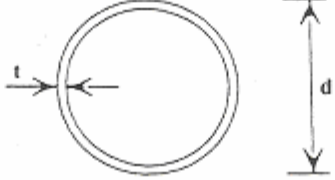
c. Προεξέχοντα πέλματα :

Διατομές ψυχρής διαμόρφωσης

Συγκολλητές διατομές

Κατηγορία	Τύπος διατομής	Κορμός υποκείμενος σε κάμψη	Κορμός υποκείμενος σε θλίψη	Κορμός υποκείμενος σε κάμψη και θλίψη	
1	Ψυχρής διαμόρφωσης Συγκολλητή	$c/t_f \leq 10.0 \varepsilon$ $c/t_f \leq 9.0 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha}$ $c/t_f \leq \frac{9 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \leq \frac{9 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
2	Ψυχρής διαμόρφωσης Συγκολλητή	$c/t_f \leq 11.0 \varepsilon$ $c/t_f \leq 10.0 \varepsilon$	$c/t_f \leq \frac{11 \varepsilon}{\alpha}$ $c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha}$	$c/t_f \leq \frac{11 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$ $c/t_f \leq \frac{10 \varepsilon}{\alpha \sqrt{\alpha}}$	
3	Ψυχρής διαμόρφωσης Συγκολλητή	$c/t_f \leq 15.0 \varepsilon$ $c/t_f \leq 14.0 \varepsilon$	$c/t_f \leq 23.0 \varepsilon \sqrt{k_c}$ $c/t_f \leq 21.0 \varepsilon \sqrt{k_c}$ Για το k_c βλέπε EC3. πίνακας 5.3.3		
		$\varepsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E_s}{210000} \right]^{1/2}$	Αντοχές σύμφωνα με το μέρος 3 (πίνακας 1 και 3.2) Τέμνον μέτρο ελαστικότητας σύμφωνα με 4.3 (6) και (7)		

Πίν. 6.16: Μέγιστοι Λόγοι Πλάτους προς Πάχος για θλιβόμενα στοιχεία (συνέχεια).

<p>d. <u>Γωνιακά :</u></p> <p>Βλέπε επίσης στο (c) "Προεξέχοντα πέλματα" (Φύλλο 3)</p>			<p>(Δεν ισχύει για γωνιακά σε συνεχή επαφή με άλλα μέλη)</p>
Κατηγορία	Διατομή σε θλίψη		
Κατανομή των τάσεων στη διατομή (θλίψη θετική)			
3	$h/t \leq 15.0 \epsilon : (b+h)/2t \leq 11.5 \epsilon$		
e. <u>Σωληνωτές διατομές</u>			
			
Κατηγορία	Διατομή σε κάμψη και / ή θλίψη		
1	$d/t \leq 50 \epsilon^2$		
2	$d/t \leq 70 \epsilon^2$		
3	$d/t \leq 90 \epsilon^2$		
$\epsilon = \left[\frac{235}{f_y} \frac{E_s}{210000} \right]^{1/2}$	<p>Αντοχές σύμφωνα με το κεφάλαιο 3 (πίνακας 1 και 3.2)</p> <p>Τέμνον μέτρο ελαστικότητας σύμφωνα με 4.3 (6) και (7)</p>		

Πίν. 6.17: Μέγιστοι Λόγοι Πλάτους προς Πάχος για θλιβόμενα στοιχεία (συνέχεια).

Ενεργά πλάτη στοιχείων διατομών Κατηγορίας 4

Ο συντελεστής μείωσης ρ πρέπει να λαμβάνεται ως ακολούθως:

$$\begin{aligned} \rho &= 1.0 && \text{όταν } \bar{\lambda}_p \leq 0.673 \\ \rho &= (1.0 - 0.22 / \bar{\lambda}_p) / \bar{\lambda}_p && \text{όταν } \bar{\lambda}_p > 0.673 \end{aligned} \quad (5.4)$$

όπου:

$$\bar{\lambda}_p = 1.052 \frac{b_p}{t} \sqrt{\frac{\sigma_{com}}{E_s k_\sigma}} \quad (5.5)$$

σ_{com} είναι η μέγιστη υπολογιστική θλιπτική τάση στο άκρο του στοιχείου, υπολογισμένη με βάση την ενεργό διατομή, και πολλαπλασιασμένη με τον μερικό συντελεστή ασφαλείας γ_{M1} .

k_{σ} είναι ο συντελεστής λυγισμού σύμφωνα με το ENV 1993-1-1.

E_s είναι το τέμνον μέτρο ελαστικότητας σύμφωνα με την (5.2).

6.8.3.2 Αντοχή διατομών

Η σκλήρυνση λόγω κατεργασίας (εργοσκλήρυνση) που συνδέεται με την διαδικασία της εν ψυχρώ διαμόρφωσης, αυξάνει γενικώς την αντοχή της διατομής. Όταν πρόκειται να γίνει χρήση της ευνοϊκής επίδρασης της εργοσκλήρυνσης, οι αντοχές της διατομής θα υπολογίζονται με την κατάλληλη τιμή που ορίζεται από το αντίστοιχο επίπεδο σκλήρυνσης που προδιαγράφεται στην 2.1.3. Όταν λαμβάνεται υπόψη η εργοσκλήρυνση, το πάχος των επίπεδων προϊόντων περιορίζεται στα 6 χιλιοστά και για τα άλλα προϊόντα στα 20 χιλιοστά.

Σε εξαιρετικές περιπτώσεις, μπορεί επίσης να επιτραπεί να χρησιμοποιηθεί η επίδραση της εργοσκλήρυνσης σε ανοπτημένο οστενιτικό υλικό.

Χρησιμοποίηση της εργοσκλήρυνσης σε ανοπτημένο οστενιτικό υλικό

Σε κατάλληλες συνθήκες, όπως σε δοκούς κάτω από τυχηματικές συνθήκες σχεδιασμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το σχεδιασμό η ευνοϊκή επίδραση της εργοσκλήρυνσης ανοπτημένου ανοξειδώτου χάλυβα.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τη χρησιμοποίηση της αυξημένης αντοχής διαρροής f_y , σύμφωνα με τους Πίν. 6.8-Πίν. 6.9, αντί της αντοχής διαρροής f_y , σύμφωνα με τον Πίν. 6.7. Θα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθοι περιορισμοί:

- Για τον υπολογισμό του ε του πίνακα 5.1, η διατομή θα πρέπει να είναι Κατηγορίας 1 ή Κατηγορίας 2 όταν η κατάταξη γίνεται με χρήση της αυξημένης αντοχής διαρροής f_y αντί της κανονικής αντοχής διαρροής f_y .
- Η δοκός θα πρέπει να υπόκειται σε μονοαξονική μόνο κάμψη.

- Όταν κατά τον έλεγχο χρησιμοποιείται η αυξημένη συμβατική τάση διαρροής, το μέλος που εξετάζεται δεν θα πρέπει να υπόκειται σε ελαστική αστάθεια λόγω λυγισμού (καμπτικού, στρεπτικού, στρεπτοκαμπτικού, πλευρικού-στρεπτικού ή στρεβλωτικού)
- Οι συνδέσεις στα ίδια τα μέλη και στα γειτονικά θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρές ώστε να αναπτύσσουν τουλάχιστον την επαυξημένη αντοχή του μέλους.

Καθαρή διατομή

Οι διατάξεις του ENV 1993-1-1 εφαρμόζονται επίσης και στους ανοξείδωτους χάλυβες.

Αντοχή εφελκυσμού συνδεδεμένων μερών σε κοχλιωτές συνδέσεις

Η αντοχή εφελκυσμού των συνδεδεμένων μερών που υπόκεινται σε συγγραμμικές δυνάμεις θα πρέπει να βασίζεται στη μικρότερη τιμή μεταξύ της πλαστικής αντοχής της πλήρους διατομής και της οριακής αντοχής της καθαρής διατομής.

Η πλαστική αντοχή της πλήρους διατομής μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση :

$$N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \quad (5.6)$$

Η οριακή αντοχή της καθαρής διατομής μπορεί να υπολογισθεί από τη σχέση

$$N_{u,Rd} = \frac{0.9k_r A_{net} f_u}{\gamma_{M2}} \quad (5.7)$$

στην οποία :

$$k_r = (1 - 0.9r + 3r \cdot d / s) \quad \text{αλλά } k_r \leq 1 \quad (5.8)$$

όπου :

r είναι η δύναμη που μεταβιβάζεται από τον κοχλία ή τους κοχλίες στην εξεταζόμενη διατομή, διαιρεμένη με την εφελκυστική δύναμη του μέλους σε αυτή τη διατομή

d είναι η ονομαστική διάμετρος του κοχλία

s είναι η απόσταση μεταξύ κοχλιών καθέτως προς τη διεύθυνση της τάσης. Στην περίπτωση ενός μονό κοχλία στη διατομή, το s είναι το πλάτος του ελάσματος

A_{net} είναι η καθαρή διατομή η η ενεργός καθαρή διατομή

Γωνιακά σε εφέλκυσμό

(Στην περίπτωση γωνιακών που συνδέονται με το ένα σκέλος, η εκκεντρότητα μπορεί να αγνοηθεί και το μέλος μπορεί να θεωρηθεί φορτιζόμενο κεντρικά χρησιμοποιώντας ως ενεργό διατομή την:

A_{net} ίση με την καθαρή διατομή του συνδεδεμένου σκέλους συν το 1/2 της πλήρους διατομής του μη συνδεδεμένου σκέλους

6.8.3.3 Αντοχή μέλους σε λυγισμό

Καμπτικός λυγισμός

Ο μειωτικός συντελεστής για τον λυγισμό υπολογίζεται κατά τα γνωστά λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές α και λ που δίδονται στον πίνακα που ακολουθεί.

$$\chi = 1 / \left(\phi + \left(\phi^2 - \bar{\lambda}^2 \right)^{1/2} \right) \quad \text{αλλά } \chi \leq 1 \quad (5.9)$$

όπου:

$$\begin{aligned} \phi &= 0.5 \left(1 + \alpha \left(\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_0 \right) + \bar{\lambda}^2 \right) \\ \bar{\lambda} &= \frac{1}{i} \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{f_v \beta_A}{E}} \end{aligned} \quad (5.10)$$

$\beta_A = 1$ για διατομές κατηγορίας 1, 2 ή 3

$\beta_A = A_{eff} / A$ για διατομές κατηγορίας 4

όπου:

l είναι το μήκος λυγισμού του στοιχείου

i είναι η ακτίνα αδρανείας της πλήρους διατομής

E είναι το αρχικό εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας

α είναι ο δείκτης ατελειών που ορίζεται στον Πίν. 6.18.

$\bar{\lambda}$ είναι η οριακή λυγηρότητα που ορίζεται στον Πίν. 6.18.

Τύπος μέλους	α	$\bar{\lambda}_o$
Ψυχρής έλασης	0.49	0.40
Ψυχρής έλασης, κυκλικές και τετραγωνικές κοίλες διατομές με διαμήκη ραφή	0.49	0.40
Κατασκευασμένα με συγκόλληση	0.76	0.20

Πίν. 6.18: Τιμές των α και $\bar{\lambda}_o$ για καμπτικό λυγισμό

Το μήκος λυγισμού l ενός θλιβόμενου μέλους με τα δύο του άκρα πλευρικά αμετάθετα, μπορεί συντηρητικά να λαμβάνεται ίσο με το πραγματικό μήκος του.

Πλευρικός- στρεπτικός λυγισμός

Ο μειωτικός συντελεστής για τον πλευρικό-στρεπτικό λυγισμό μπορεί να γίνεται κατά τα γνωστά (ENV 1993-1-1 Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1.1) λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές χ_{LT} που δίδονται στον Πίν. 6.19:

$$\chi_{LT} = 1 / \left(\phi + \left(\phi^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2 \right)^{0.5} \right) \quad \text{αλλά} \quad \chi_{LT} \leq 1 \quad (5.11)$$

στην οποία:

$$\begin{aligned} \phi &= 0.5 \left(1 + \alpha \left(\bar{\lambda}_{LT} - 0.2 \right) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right) \\ \bar{\lambda}_{LT} &= \sqrt{\frac{\beta_u W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = \frac{\lambda_{LT}}{\pi} \sqrt{\frac{\beta_u f_y}{E}} \\ \beta_u &= W_{el,y} / W_{pl,y} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 1} \\ \beta_u &= W_{eff,y} / W_{pl,y} \quad \text{για διατομές κατηγορίας 4} \end{aligned} \quad (5.12)$$

α είναι ο δείκτης ατελειών που ορίζεται στον Πίν. 6.19.

M_{cr} είναι η ελαστική κρίσιμη ροπή για πλευρικό-στρεπτικό λυγισμό.

$\beta_w = 1$, για διατομές κατηγορίας 1 ή 2

E είναι το αρχικό εφαπτομενικό μετρό ελαστικότητας.

Όπου το αδιάστατο μέγεθος λυγηρότητας είναι $\bar{\lambda}_{LT} \leq 0.4$, δεν είναι απαραίτητος ο έλεγχος σε πλευρικό-στρεπτικό λυγισμό.

Μία δοκός με πλήρη πλευρική αντιστήριξη δεν χρειάζεται να ελέγχεται σε πλευρικό-στρεπτικό λυγισμό.

Τύπος μέλους	α
Ψυχρής έλασης	0.34
Ψυχρής έλασης, κυκλικές και τετραγωνικές κοίλες διατομές με διαμήκη ραφή	0.34
Κατασκευασμένα με συγκόλληση	0.76
Σε περίπτωση απουσίας στοιχείων από δοκιμές	0.76

Πίν. 6.19: Τιμές του α για πλευρικό - στρεπτικό λυγισμό.

6.8.3.4 Αντοχή σε διάτμηση

Η αντοχή σε διάτμηση θα λαμβάνεται ως η μικρότερη τιμή μεταξύ της πλαστικής αντοχής σε διάτμηση και της αντοχής σε κύρτωση.

Όπου χρησιμοποιούνται οι τιμές του ελαχίστου συμβατικού ορίου διαρροής f_y , θα πρέπει να ελέγχονται σε κύρτωση κορμοί που έχουν:

$$d_w / t_w > 17.3\varepsilon \quad (5.13)$$

οπού:

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \sqrt{\frac{E_s}{210000}} \quad (5.14)$$

f_y είναι η αντοχή διαρροής του χάλυβα, επαυξημένη για την κράτυνση του υλικού

E_s είναι το τέμνον μέτρο ελαστικότητας.

Η αντοχή σχεδιασμού σε κύρτωση, $V_{b,Rd}$ μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$V_{b,Rd} = d_w t_w \tau_b / \gamma_{M1} \quad (5.15)$$

όπου: t_b = η χαρακτηριστική τιμή της μέσης διατμητικής αντοχής που δίδεται στον Πίν. 6.20 ως συνάρτηση του $\bar{\lambda}_w$.

$\bar{\lambda}_w = \frac{0.8 d_w}{\sqrt{k_\tau} t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$	τ_b για κορμό χωρίς ενισχύσεις με ενισχυτικές νευρώσεις μόνο στις στηρίξεις	τ_b για κορμό με ενδιάμεσες εγκάρσιες ενισχυτικές νευρώσεις καθώς και στις στηρίξεις
$\bar{\lambda}_w < 0.2$	$f_y / \sqrt{3}$	$f_y / \sqrt{3}$
$0.2 < \bar{\lambda}_w < 0.6$	$(1 - 0.63(\bar{\lambda}_w - 0.2)) f_y / \sqrt{3}$	$(1 - 0.63(\bar{\lambda}_w - 0.2)) f_y / \sqrt{3}$
$\bar{\lambda}_w > 0.6$	$(1 - 0.42\bar{\lambda}_w) f_y / \sqrt{3}$	$\frac{27 - \bar{\lambda}_w}{24 + 19\bar{\lambda}_w} f_y / \sqrt{3}$
Σημείωση: Το k_τ ορίζεται στην 5.6.3, EC3 Το E_s δίνεται στην 4.3 (6) και 7		

Πίν. 6.20: Χαρακτηριστική τιμή της μέσης διατμητικής αντοχής.

6.8.3.5 Σύθλιψη, ρυτίδωση και λυγισμός του κορμού

Ο ακόλουθος πίνακας υποδεικνύει την ανάγκη ελέγχου μιας συγκεκριμένης αστοχίας ανάλογα με το είδος της διατομής και την εφαρμογή του φορτίου.

Τύπος διατομής	Σύθλιψη	Ρυτίδωση	Λυγισμός
Συγκολλητή			
1) Φορτίο αναλαμβανόμενο από τον κορμό σε διάτμηση	✓	✓	
2) Φορτίο προερχόμενο από το απέναντι πέλμα	✓		✓
Ψυχρής διαμόρφωσης		✓	✓

Πίν. 6.21: Έλεγχοι για τοπικό λυγισμό του κορμού.

6.8.3.6 Εγκάρσιες ενισχύσεις

Στις στηρίξεις ή σε ενδιάμεσες θέσεις όπου εφαρμόζονται σημαντικά φορτία, το εφαρμοζόμενο φορτίο ή αντίδραση δεν πρέπει να υπερβαίνει την αντοχή σε λυγισμό της ενίσχυσης.

Σε άλλες ενδιάμεσες θέσεις, η θλιπτική δύναμη N_s στην ενίσχυση μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$N_s = V_{sd} - d_w t_w \tau_{bb} \text{ αλλά } N_s \geq 0 \quad (5.16)$$

όπου:

V_{sd} είναι η διατμητική δύναμη σχεδιασμού στο μέλος,

τ_{bb} είναι η αρχική τάση κύρτωσης του κορμού. Θα λαμβάνεται η μικρότερη τιμή της τ_{bb} των δύο φατνωμάτων εκατέρωθεν της ενίσχυσης.

Η αρχική τάση κύρτωσης, μπορεί να ευρίσκεται από τον πίνακα 5.6.

Κατά τον έλεγχο λυγισμού, η ενεργός διατομή της ενίσχυσης που θα χρησιμοποιείται θα πρέπει να περιλαμβάνει την ενίσχυση συν ένα πλάτος του ελάσματος του κορμού ίσο με $11e_w$ εκατέρωθεν της ενίσχυσης. Στα άκρα του μέλους η διάσταση $11e_w$ θα πρέπει να περιορίζεται σε όση είναι διαθέσιμη:

Αρχική διατμητική τάση λυγισμού	
$\bar{\lambda}_w = \frac{0.8 d_w}{\sqrt{k_\tau} t_w} \sqrt{\frac{f_y}{E_s}}$	τ_{bb}
$\bar{\lambda}_w \leq 0.2$	$f_y / \sqrt{3}$
$0.2 \leq \bar{\lambda}_w \leq 0.74$	$(1 - 0.63(\bar{\lambda}_w - 0.2)) f_y / \sqrt{3}$
$0.75 \leq \bar{\lambda}_w \leq 2.2$	$\frac{3.6 - \bar{\lambda}_w}{3.2 + 1.6\bar{\lambda}_w} f_y / \sqrt{3}$
$\bar{\lambda}_w > 2.2$	$\frac{1}{\bar{\lambda}_w^2} f_y / \sqrt{3}$

Σημείωση : Το k_t ορίζεται στην 5.6.3, EC3.

6.9 Σχεδιασμός των συνδέσεων

6.9.1 Γενικά

Ο σχεδιασμός των συνδέσεων, ειδικότερα, απαιτεί την μεγαλύτερη προσοχή προκειμένου να διατηρηθεί η βέλτιστη ανθεκτικότητα σε διάβρωση.

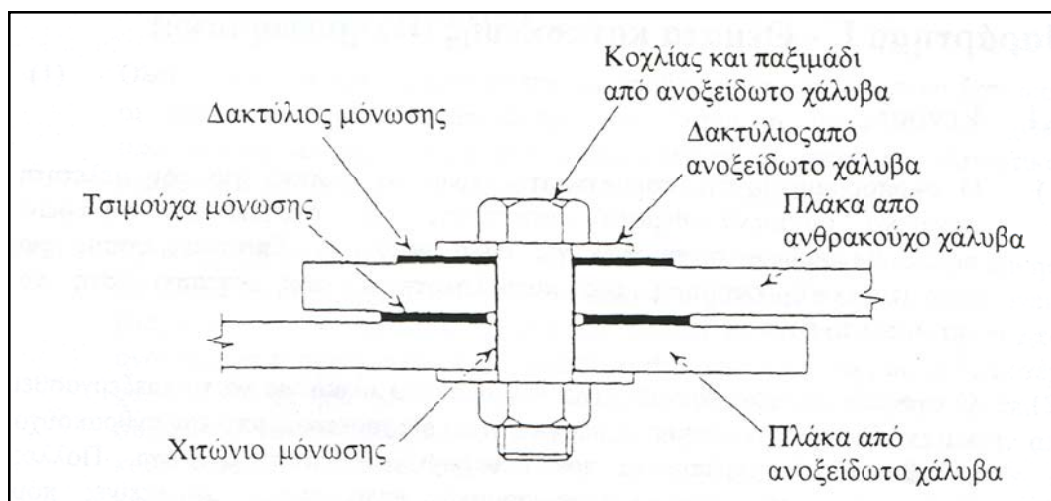
Αυτό ισχύει ειδικότερα για συνδέσεις που μπορεί να διαβραχούν είτε από τον καιρό, είτε από ψεκασμό, εμβάπτιση, συμπύκνωση, κλπ. Θα πρέπει να διερευνάται η δυνατότητα αποφυγής ή μείωσης των συναφών προβλημάτων διάβρωσης, τοποθετώντας τις συνδέσεις μακριά από την πηγή της υγρασίας. Εναλλακτικά, μπορεί να είναι δυνατή η απάλειψη της πηγής της υγρασίας. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της συμπύκνωσης, με επαρκή εξαερισμό ή με την εξασφάλιση ότι η θερμοκρασία περιβάλλοντος μέσα στην κατασκευή ευρίσκεται άνω του σημείου υγροποίησης.

Όπου δεν είναι δυνατόν να εμποδιστεί μία σύνδεση που περιέχει ανθρακούχο και ανοξείδωτο χάλυβα από το να διαβραχεί, θα πρέπει να μελετάται η παρεμπόδιση γαλβανικής διάβρωσης. Η χρήση κοχλιών από ανθρακούχο χάλυβα με δομικά μέλη από ανοξείδωτο χάλυβα θα πρέπει πάντοτε να αποφεύγεται. Σε κοχλιωτές συνδέσεις που θα ήταν υποκείμενες σε απαράδεκτο βαθμό διάβρωσης, θα πρέπει να προβλέπεται η ηλεκτρική μόνωση των στοιχείων ανθρακούχου και ανοξείδωτου χάλυβα. Αυτό προϋποθέτει την χρήση μη-μεταλλικών μονωτικών δακτυλίων και πιθανόν χιτωνίων. Τυπικές πρόσφορες λεπτομέρειες φαίνονται στο Σχ. 6.6. Το μονωτικό υλικό θα πρέπει να είναι αρκετά ισχυρό ώστε κατά την επιβολή των φορτίων τα χαλύβδινα στοιχεία να μην μπορούν να έλθουν σε επαφή

Αναφορικά με συγκολλητές συνδέσεις που περιέχουν ανθρακούχο και ανοξείδωτο χάλυβα, συνιστάται γενικώς οποιοδήποτε σύστημα χρωματισμού που εφαρμόζεται στον ανθρακούχο χάλυβα, να επεκτείνεται και επάνω στην συγκόλληση και να καλύπτει και κάποια περιοχή του ανοξείδωτου χάλυβα, εάν η σύνδεση είναι δυνητικά υποκείμενη σε διάβρωση.

Για την αποφυγή διάβρωσης θυλάκων σε κοχλιωτούς κόμβους, πρέπει να δίδεται προσοχή στην επιλογή των καταλλήλων υλικών για το δεδομένο περιβάλλον.

Με την συγκόλληση οι ιδιότητες του μητρικού υλικού μπορεί να αλλάξουν με μείωση της ανθεκτικότητας σε διάβρωση (αποσάθρωση των συγκολλήσεων). Ο κύκλος θέρμανσης και ψύξης που υπεισέρχεται κατά την συγκόλληση, επηρεάζει την μικροδομή όλων των ανοξείδωτων χαλύβων, αν και μερικών περισσότερο από άλλους. Αυτό έχει ιδιαίτερη σημασία για οστενιτικά-φερριτικά υλικά. Είναι βασικό να χρησιμοποιούνται οι κατάλληλες διαδικασίες συγκόλλησης και ηλεκτρόδια, και η εργασία να γίνεται από εξειδικευμένους ηλεκτροσυγκολλητές.



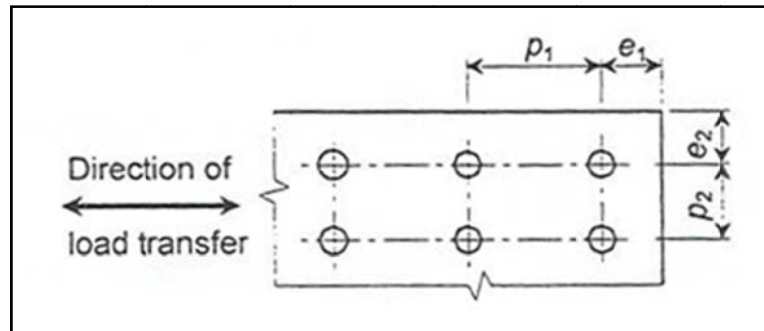
Σχ. 6.6: Τυπική Λεπτομέρεια Σύνθεσης Ανόμοιων Υλικών.

6.9.2 Κοχλιωτές συνδέσεις

- Οι κοχλίες πρέπει να είναι τουλάχιστον το ίδιο ανθεκτικοί σε διάβρωση μακροπρόθεσμα σε συνθήκες λειτουργίας όσο και τα συνδεδεμένα μέλη.
- Η επιρροή των φορτίων και της διάβρωσης σε συνθήκες λειτουργίας πρέπει να καταγράφεται με την μεγαλύτερη δυνατή πληρότητα και ακρίβεια.
- Όλες οι συνδέσεις πρέπει να είναι λείες και χωρίς κανένα κενό μεταξύ των συνδεδεμένων τεμαχίων.
- Παρεμβλήματα για τη μεταφορά φορτίων στη σύνδεση πρέπει να αποφεύγονται, εκτός σε συνδέσεις που περιέχουν ανθρακούχο και ανοξείδωτο χάλυβα.
- Πρέπει να χρησιμοποιούνται δακτύλιοι μεγαλύτερης διαμέτρου από ότι για τον ανθρακούχο χάλυβα.

6.9.2.1 Τοποθέτηση των οπών

Για τις ακραίες αποστάσεις e_1 και e_2 αλλά και για τις ενδιάμεσες αποστάσεις p_1 και p_2 που εικονίζονται στο Σχ. 5.16, τα μέγιστα και ελάχιστα όρια μπορούν να λαμβάνονται από τον Πίν. 5.25.



Σχ. 6.7: Αποστάσεις μηχανικών συνδέσμων.

Όρια Ακραίων και Ενδιάμεσων Αποστάσεων		
Τύπος Απόστασης	Ελάχιστο Όριο	Μέγιστο Όριο
Ακραίες Απόστασεις e_1 & e_2	$1.4d_0$	$\max(12t \text{ ή } 150\text{mm})$
Ενδιάμεση Απόσταση p_1 για θλιβόμενα μέλη	$2.3d_0$	Πρέπει να είναι τέτοια ώστε να λαμβάνεται υπόψη ο τοπικός λυγισμός να λαμβάνεται υπόψη (βλ. ENV 1993-1-1).
Ενδιάμεση Απόσταση p_2 για θλιβόμενα μέλη	$2.7d_0$	

Πίν. 6.22: Όρια των Αποστάσεων Μηχανικών Συνδέσμων.

6.9.2.2 Αντοχή σε σύνθλιψη άντυγας

Μπορούν να χρησιμοποιούνται οι σχέσεις αντοχής του Ευρωκώδικα 3 Μέρος 1.1. Ωστόσο, η αντοχή μιας κοχλιωτής σύνδεσης σε ανοξειδωτο χάλυβα συνήθως καθορίζεται από κριτήρια λειτουργικότητας όπου πρέπει να περιορίζεται η επιμήκυνση της οπής σε φορτία λειτουργίας. Για να αποφευχθεί η διεξαγωγή χωριστού ελέγχου στην κατάσταση

λειτουργικότητας, τίθεται ένας κατάλληλος περιορισμός στην επιμήκυνση της οπής με τη χρησιμοποίηση μιας μειωμένης τιμής f_u στην οριακή κατάσταση αστοχίας, δηλαδή $f_{u,red}$.

Η μειωμένη τιμή $f_{u,red}$ για τον περιορισμό της επιμήκυνσης της οπής στο οριακό φορτίο είναι:

$$f_{u,red} = 0.5 f_y + 0.6 f_u \quad (5.17)$$

Εάν εφαρμόζονται μικρότερες αποστάσεις μεταξύ κοχλιών, η αντοχή της άντυγας με βάση την $f_{u,Rd}$ θα πρέπει να ελαττώνεται. Όμως τότε, η μειωμένη αντοχή της άντυγας με βάση την $f_{u,red}$ δεν χρειάζεται να μειώνεται.

6.9.2.3 Αντοχή κοχλιών

Η αντοχή άντυγας και η αντοχή εφελκυσμού των κοχλιών θα προσδιορίζεται όπως προδιαγράφεται στην 6.5.5 του ENV 1993-1-1 Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1.1 και στην 8.1 (8) του ENV 1993-1-3 Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1.3.

Η αντοχή σε διάτμηση μιας κοχλιωτής σύνδεσης εξαρτάται από τον αριθμό των επιπέδων διάτμησης και την θέση τους κατά μήκος του κοχλία. Για κάθε επίπεδο διάτμησης η αντοχή σε διάτμηση όταν δεν υπάρχει εφελκυσμός θα προσδιορίζεται ως ακολούθως :

- όταν το επίπεδο διάτμησης είναι εκτός σπειρώματος $F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A / \gamma_{Mb}$ όπου A είναι το εμβαδόν διατομής του λείου κορμού
- όταν το επίπεδο διάτμησης τέμνει το σπείρωμα $F_{v,Rd} = 0.6 f_{ub} A_s / \gamma_{Mb}$
- όπου A_s είναι η ενεργός διατομή του κοχλία

6.9.3 Συγκολλητές συνδέσεις

Οι διατάξεις της 6.6 του ENV 1993-1-1 Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1.1 εφαρμόζονται επίσης στις διάφορες ποιότητες ανοξείδωτου χάλυβα.

- Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να λαμβάνεται με τις διακεκομμένες εξωραφές και με τις διακεκομμένες εσωραφές μερικής διείδυσης.

- Μονόπλευρες εσωραφες μερικής διείσδυσης δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται σε βαριά μολυσμένα περιβάλλοντα ή σε διαβρωτικά θαλάσσια περιβάλλοντα. Διακεκομμένες συγκολλήσεις δεν θα πρέπει να χρησιμοποιούνται οπού είναι πιθανόν να εμφανισθεί διάβρωση σχισμών.

6.10 Κόπωση

Οι διατάξεις του κεφαλαίου 9 του ENV 1993-1-1 Ευρωκώδικας 3 Μέρος 1.1 εφαρμόζονται επίσης στις διάφορες ποιότητες ανοξείδωτου χάλυβα, εκτός αν δίδονται ειδικές απαιτήσεις στο παρόν κεφαλαίο.

Μεταβολές των τάσεων οφειλόμενες σε συνήθεις διακυμάνσεις των φορτίων σε ένα κτίριο ή σε διακυμάνσεις της φόρτισης από άνεμο, δεν χρειάζεται να λαμβάνονται υπόψη. Μεταβολές των τάσεων οφειλόμενες στον άνεμο, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην περίπτωση πύργων και ιστών, καθώς και οφειλόμενες σε ταλαντώσεις λόγω ανέμου και σε ταλαντούμενα φορτία από μηχανήματα και εγκαταστάσεις.

7 ΔΟΜΙΚΟΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΕ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΦΩΤΙΑΣ (ΕΥΡΩΚΩΔΙΚΑΣ 9 ΜΕΡΟΣ 1-2).

7.1 Γενικά

Το μέρος αυτό του Ευρωκώδικα 9 ασχολείται αποκλειστικά με παθητικές μορφές πυροπροστασίας. Ακόμη, ισχύει αποκλειστικά για κατασκευές ή τμήματα κατασκευών τα οποία έχουν σχεδιασθεί σύμφωνα με τις διατάξεις του prENV 1999 1-1. Επιπλέον, οι ιδιότητες που περιγράφονται στα πλαίσια του συγκεκριμένου προτύπου ισχύουν για τα ακόλουθα κράματα αλουμινίου:

EN AW-5052 EN AW-5454 EN AW-6063

EN AW-5083 EN AW-6061 EN AW-6082

7.2 Όροι και Ορισμοί

Οι ακόλουθες έννοιες χρησιμοποιούνται στα πλαίσια του συγκεκριμένου προτύπου:

Συντελεστής Διάταξης: Η στερεά γωνία με κορυφή σε κάποιο σημείο της επιφάνειας του μέλους η οποία περιέχει την διαχεόμενη ακτινοβολία, διαιρέμενη με 2π.

Συντελεστής Μεταφοράς της Θερμότητας δια Συναγωγής: Η θερμική ροή δια συναγωγής προς το μέλος, συνδεδεμένη με τη διαφορά μεταξύ της συσσωρευμένης θερμοκρασίας του αέρα που περιτριγυρίζει τη σχετική επιφάνεια του μέλους και της θερμοκρασίας αυτής της επιφάνειας.

Κρίσιμη Θερμοκρασία κράματος Αλουμινίου: Για μία δεδομένη στάθμη φόρτισης, η θερμοκρασία στην οποία αναμένεται να προκληθεί αστοχία σε ένα δομικό στοιχείο από κράμα αλουμινίου για ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στο στοιχείο αυτό.

Πυρκαγιά Σχεδιασμού: Μία καθορισμένη ανάπτυξη πυρκαγιάς η οποία υιοθετείται για σχεδιαστικούς σκοπούς.

Ενεργό 0.2% αντοχή διαρροής: Για μία δοσμένη θερμοκρασία, το επίπεδο τάσης στο οποίο το διάγραμμα τάσεων - παραμορφώσεων του αλουμινίου αλλάζει κλίση παρουσιάζοντας ένα πλατό (οριζόντιο τμήμα) διαρροής.

Εξωτερικό Μέλος: Δομικό μέλος που βρίσκεται εξωτερικά της πρόσοψης του κτιρίου και το οποίο μπορεί να εκτεθεί σε πυρκαγιά μέσω των ανοιγμάτων του περιβλήματος του κτιρίου.

Πυροδιαμέρισμα: Ένας χώρος του κτιρίου, ο οποίος επεκτείνεται σε έναν ή περισσότερους ορόφους, ο οποίος περικλείεται από διαχωριστικά μέλη τέτοια ώστε η επέκταση της πυρκαγιάς εκτός του διαμερίσματος να εμποδίζεται κατά την έκθεση στη συγκεκριμένη πυρκαγιά.

Υλικό Πυροπροστασίας: Υλικό το οποίο, σύμφωνα με πειράματα πυρασφάλειας τα οποία συμμορφώνονται με τα prENVs και ENVs, είναι ικανό να παραμείνει στη θέση του και να παρέχει επαρκή θερμική μόνωση για τον υπό μελέτη χρόνο πυρασφάλειας.

Πυρασφάλεια: Η ικανότητα ενός μέλους, μίας κατασκευής ή τμήματος αυτής, να ικανοποιεί τις απαιτούμενες λειτουργίες του (φέρουσα λειτουργία, ή/και διαχωριστική λειτουργία) για καθορισμένες συνθήκες έκθεσης.

Συνολική ανάλυση της κατασκευής: Ανάλυση του συνόλου της κατασκευής, όταν είτε όλα τα τμήματα της, είτε ορισμένα από αυτά εκτίθενται σε πυρκαγιά. Έμμεσες δράσεις λόγω πυρκαγιάς θεωρούνται για όλη την κατασκευή.

Έμμεσες δράσεις πυρκαγιάς: Θερμικές διαστολές ή θερμικές παραμορφώσεις οι οποίες προκαλούν δυνάμεις και ροπές.

Φέρουσα Λειτουργία: Η ικανότητα μίας κατασκευής ή μέλους της να δέχεται δράσεις κατά τη διάρκεια της σχετικής πυρκαγιάς, σύμφωνα με συγκεκριμένα κριτήρια.

Ανάλυση επί μέρους μελών: Η θερμική και μηχανική ανάλυση ενός δομικού μέλους το οποίο εκτίθεται σε πυρκαγιά, στην οποία το μέλος θεωρείται ως απομονωμένο, με κατάλληλες στηρίξεις και συνοριακές συνθήκες. Έμμεσες δράσεις πυρκαγιάς δεν λαμβάνονται υπόψη, πέραν εκείνων που προκύπτουν λόγω θερμικών μεταβολών.

Προστατευμένα Μέλη: Μέλη για τα οποία έχουν ληφθεί μέτρα με σκοπό τη μείωση του ρυθμού αύξησης της θερμοκρασίας του μέλους της οφειλόμενης στην πυρκαγιά.

Συντελεστής Διατομής: Για ένα μέλος από κράμα αλουμινίου, ο λόγος μεταξύ του εμβαδού της εκτεθειμένης επιφάνειας και του όγκου του αλουμινίου· για ένα

προστατευμένο μέλος, ο λόγος μεταξύ της εσωτερικής επιφάνειας του υλικού που εγκιβωτίζει το μέλος και του όγκου του αλουμινίου.

Τυπική Έκθεση σε Πυρκαγιά: Έκθεση σε αέρια καμίνου με θερμοκρασία η οποία ποικίλλει με το χρόνο ανάλογα με την τυπική καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.

Τυπική Αντίσταση σε Πυρκαγιά: Πυραντίσταση για την τυπική έκθεση σε πυρκαγιά για δεδομένο χρονικό διάστημα.

Πρότυπη Καμπύλη Θερμοκρασίας – Χρόνου: Μία ονομαστική καμπύλη, οριζόμενη στο ENV 1991-2-2:1995.

Δομικά Μέλη: Τα φέροντα μέλη μίας κατασκευής, συμπεριλαμβανομένων και των ενισχύσεων.

Ανάλυση Υποσυστημάτων της Κατασκευής: Η ανάλυση τμημάτων της κατασκευής τα οποία εκτίθενται σε πυρκαγιά, στην οποία το αντίστοιχο κομμάτι της κατασκευής θεωρείται ως απομονωμένο, με κατάλληλες στηρίξεις και συνοριακές συνθήκες. Έμμεσες δράσεις πυρκαγιάς λαμβάνονται υπόψη στα πλαίσια του υποσυστήματος, αλλά όχι και χρόνο - εξαρτώμενες αλληλεπιδράσεις με άλλα τμήματα της κατασκευής.

Θερμοκρασιακή Ανάλυση: Η διαδικασία προσδιορισμού της εξέλιξης της θερμοκρασίας των μελών με βάση τις θερμικές δράσεις και τις θερμικές ιδιότητες του υλικού των μελών και των προστατευτικών επιφανειών, όπου αυτό είναι σχετικό.

Καμπύλες Θερμοκρασίας – Χρόνου: Θερμοκρασία του αέρα που περιβάλλει τις επιφάνειες των δομικών μελών της κατασκευής, συναρτήσει του χρόνου.

- **Ονομαστικές:** Συμβατικές καμπύλες που υιοθετούνται για την κατάταξη και τον έλεγχο του δείκτη πυραντίστασης, όπως π.χ η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.
- **Παραμετρικές:** Προσδιοριζόμενες επί τη βάση μοντέλων πυρκαγιάς και των ειδικών φυσικών παραμέτρων που καθορίζουν τις συνθήκες στο πυροδιαμέρισμα.

Θερμικές Δράσεις: Δράσεις επί της κατασκευής οι οποίες περιγράφονται από την καθαρή θερμική ροή στα μέλη.

7.3 Συμβολισμοί

A_m είναι το εμβαδόν επιφανείας του μέλους ανά μονάδα μήκους.

A_p το εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας του υλικού πυροπροστασίας ανά μονάδα μήκους του μέλους.

E_{al} είναι το μέτρο ελαστικότητας του κράματος αλουμινίου για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία.

$E_{al,\theta}$ είναι η κλίση του γραμμικά ελαστικού τμήματος της σχέσης τάσεως – παραμορφώσεως για κράματα αλουμινίου σε υψηλή θερμοκρασία.

$E_{fi,d}$ είναι το αποτέλεσμα των δράσεων σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς.

$R_{d,\theta}$ η αντοχή σχεδιασμού σε ομοιόμορφη αυξημένη θερμοκρασία υλικού.

$R_{fi,d}$ η αντοχή σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς.

$R_{fi,d,t}$ η αντοχή σχεδιασμού σε κατάσταση πυρκαγιάς, σε χρόνο t .

T η θερμοκρασία (σε °K) (θ για °C)

V ο όγκος του μέλους ανά μονάδα μήκους του.

$X_{fi,d}$ είναι η τιμή σχεδιασμού μίας ιδιότητας του υλικού σε κατάσταση πυρκαγιάς.

X_k είναι η χαρακτηριστική τιμή μίας ιδιότητας του υλικού.

$X_{k,\theta}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή μίας ιδιότητας του υλικού σε αυξημένη θερμοκρασία θ .

c η ειδική θερμότητα.

d_p το πάχος του υλικού προστασίας.

$f_{\theta,2}$ το όριο αναλογίας για κράμα αλουμινίου.

$f_{p,\theta}$ το όριο αναλογίας για κράμα αλουμινίου σε αυξημένη θερμοκρασία θ_{al} .

$f_{y,\theta}$ η ενεργός τάση διαρροής κράματος αλουμινίου σε αυξημένη θερμοκρασία θ_{al} .

- $h_{net,d}$ η τιμή σχεδιασμού της καθαρής θερμικής ροής ανά μονάδα επιφανείας.
- k_{θ} η σχετική τιμή μίας ιδιότητας που σχετίζεται με την παραμόρφωση ή την αντοχή σε αυξημένη θερμοκρασία θ_{al} .
- $k_{0.2, \theta}$ η 0.2% αντοχή διαρροής σε αυξημένη θερμοκρασία θ_{al} .
- l το μήκος σε θερμοκρασία 20°C.
- Δl η επιμήκυνση λόγω θερμοκρασίας.
- t ο χρόνος έκθεσης στην πυρκαγιά.
- Δt το χρονικό διάστημα.
- n_{fi} ο μειωτικός συντελεστής για τη στάθμη φόρτισης σχεδιασμού στην κατάσταση πυρκαγιάς.
- θ η θερμοκρασία (σε °C) (T για °K)
- κ ο συντελεστής προσαρμογής.
- λ η θερμική αγωγιμότητα.
- μ_{θ} ο βαθμός αξιοποίησης ενός μέλους τη χρονική στιγμή $t=0$.
- ρ_{al} η πυκνότητα του αλουμινίου.

7.3.1 Δείκτες

- al κράμα αλουμινίου
- c συνδέσεις
- fi τιμή σχετική με κατάσταση πυρκαγιάς
- m μέλος
- p υλικό πυροπροστασίας
- t δηλώνει εξάρτηση από το χρόνο

7.4 Βασικές Αρχές Σχεδιασμού

7.4.1 Βασικές Απαιτήσεις

Όπως και στην περίπτωση του σχεδιασμού δομικών στοιχείων από χάλυβα:

- (1) Σε περιπτώσεις που απαιτείται η μηχανική αντοχή σε περίπτωση πυρκαγιάς, οι κατασκευές από χάλυβα πρέπει να σχεδιάζονται και να κατασκευάζονται κατά τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν τη φέρουσα λειτουργία τους κατά τη διάρκεια του σχετικού χρόνου έκθεσης - κριτήριο R.
- (2) Κριτήρια παραμόρφωσης πρέπει να εφαρμόζονται όπου οι στόχοι της προστασίας ή τα κριτήρια σχεδιασμού για τα διαχωριστικά στοιχεία απαιτούν τη θεώρηση των παραμορφώσεων της φέρουσας κατασκευής.

Επιπρόσθετα προκειμένου για στοιχεία από αλουμίνιο:

- (3) Όπου απαιτείται διαχωρισμός, τα αντίστοιχα μέλη θα πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε να διατηρούν την διαχωριστική λειτουργία τους κατά τη διάρκεια του σχετικού χρόνου έκθεσης. Πιο συγκεκριμένα:
 - Δεν επιτρέπεται αστοχία λόγω αστάθειας οφειλόμενης σε ρωγμές, οπές ή ανοίγματα, τα οποία είναι αρκετά μεγάλα ώστε να επιτρέψουν τη διέλευση της πυρκαγιάς υπό μορφήν αερίων ή φλόγας. – κριτήριο E.
 - Δεν επιτρέπεται αστοχία μόνωσης λόγω αυξημένων θερμοκρασιών των μη εκτεθειμένων επιφανειών, οι οποίες υπερβαίνουν τις θερμοκρασίες ανάφλεξης – κριτήριο I.
- (4) Το κριτήριο I θεωρείται ότι ικανοποιείται όταν η μέση αύξηση θερμοκρασίας της μη εκτεθειμένης επιφάνειας, κατά τη διάρκεια της προτύπου έκθεσης, δεν ξεπερνά τους 140 °C ενώ η μέγιστη αύξηση σε κάθε σημείο της επιφάνειας δεν ξεπερνά τους 180 °C.
- (5) Οι απαιτήσεις συμμόρφωσης των μελών με τα κριτήρια R, E και I είναι οι εξής:
 - διαχωριστικά μόνο: E και I

- φέροντα μόνο: R
- διαχωριστικά και φέροντα: R, E και I.

7.4.2 Δράσεις

Όπως και στην περίπτωση του σχεδιασμού δομικών στοιχείων από χάλυβα έτσι και στην περίπτωση του αλουμινίου οι θερμικές και μηχανικές δράσεις λαμβάνονται από το EN 1991 – 1 – 2.

7.4.3 Τιμές Σχεδιασμού για τις Ιδιότητες του Υλικού

- (1) Οι τιμές σχεδιασμού των θερμικών και μηχανικών ιδιοτήτων (αντοχή και παραμορφώσεις) του υλικού $X_{d,fi}$ ορίζονται ως ακολούθως:

Θερμικές Ιδιότητες για Θερμική Ανάλυση:

- Εάν η αύξηση της ιδιότητας είναι ευνοϊκής για την ασφάλεια:

$$X_{fi,d} = X_{k,\theta} / \gamma_{M,fi} \quad (6.1)$$

- Εάν η αύξηση της ιδιότητας είναι δυσμενής για την ασφάλεια:

$$X_{fi,d} = \gamma_{M,fi} \cdot X_{k,\theta} \quad (6.2)$$

Μηχανικές Ιδιότητες για Δομική Ανάλυση:

$$X_{fi,d} = k_{\theta} \cdot X_k / \gamma_{M,fi} \quad (6.3)$$

όπου:

$X_{k,\theta}$ η χαρακτηριστική τιμή της ιδιότητας του υλικού κατά το σχεδιασμό στην κατάσταση πυρκαγιάς, γενικά εξαρτώμενη από τη θερμοκρασία του υλικού.

X_k η χαρακτηριστική τιμή μίας συγκεκριμένης ιδιότητας αντοχής ή παραμορφώσεως (γενικά f_k ή E_k) που λαμβάνεται υπόψη για συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με το EN 1993 – 1 – 1.

k_{θ} ο μειωτικός συντελεστής για μία ιδιότητα αντοχής ή παραμόρφωσης ($X_{k,\theta}/X_k$), εξαρτώμενος από τη θερμοκρασία του υλικού.

$\gamma_{M,\bar{f}}$ ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για τη συγκεκριμένη ιδιότητα του υλικού στην κατάσταση πυρκαγιάς.

(2) Για τις θερμικές και μηχανικές ιδιότητες κραμάτων αλουμινίου, ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας λαμβάνεται:

$$\gamma_{M,\bar{f}} = 1.0 \quad (6.4)$$

Οι παραπάνω σχέσεις είναι αυτές που ισχύουν και στην περίπτωση σχεδιασμού δομικών μελών από χάλυβα.

7.4.4 Μέθοδοι Ελέγχου

7.4.4.1.1 Γενικά

Όπως και στην περίπτωση δομικών μελών από χάλυβα η στατική ανάλυση πραγματοποιείται μέσω των ακόλουθων τριών μεθόδων:

- Ανάλυση επί μέρους μελών
- Ανάλυση υποσυστημάτων της κατασκευής
- Συνολική ανάλυση της κατασκευής.

Συνολική Ανάλυση της κατασκευής.

Όπου διενεργείται συνολική ανάλυση για την κατάσταση πυρκαγιάς πρέπει να λαμβάνονται υπόψη: οι σχετικές με την έκθεση στην πυρκαγιά μορφές αστοχίας, οι ιδιότητες του υλικού και οι δυσκαμψίες των μελών όπως μεταβάλλονται με τη θερμοκρασία.

Πρέπει να επιβεβαιώνεται ότι για τη θεωρούμενη χρονική διάρκεια t έκθεσης στην πυρκαγιά ισχύει:

$$E_{\bar{f},d,t} \leq R_{\bar{f},d,t} \quad (6.5)$$

όπου:

$E_{fi,d,t}$ είναι το αποτέλεσμα των δράσεων σχεδιασμού για την κατάσταση πυρκαγιάς, το οποίο προσδιορίζεται σύμφωνα με το ENV 1991-2-2:1995, περιλαμβανομένων των αποτελεσμάτων των θερμικών διαστολών και μετατοπίσεων.

$R_{fi,d,t}$ είναι η αντίστοιχη αντοχή σχεδιασμού για την κατάσταση πυρκαγιάς.

Ανάλυση Υποσυστημάτων της Κατασκευής

Ως εναλλακτική της ανάλυσης ολόκληρης της κατασκευής για διάφορες καταστάσεις πυρκαγιάς, μπορεί να πραγματοποιείται ανάλυση υποσυστημάτων αυτής κατ' αντιστοιχία με την προηγούμενη παράγραφο. Οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές στις στηρίξεις και στα σύνορα των υποσυστημάτων, οι οποίες εφαρμόζονται τη χρονική στιγμή $t=0$, μπορούν να θεωρούνται αμετάβλητες κατά τη διάρκεια της έκθεσης στην πυρκαγιά.

Ως μία εναλλακτική της εφαρμογής μίας στατικής ανάλυσης για την κατάσταση πυρκαγιάς κατά τη χρονική στιγμή $t=0$, οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές στις στηρίξεις και στα σύνορα των υποσυστημάτων μπορεί να λαμβάνονται από μία στατική ανάλυση του συνόλου της κατασκευής για συνήθη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$E_{fi,d} \leq n_{fi} \cdot E_d \quad (6.6)$$

E_d είναι η τιμή σχεδιασμού της αντίστοιχης δύναμης ή ροπής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία, η οποία προκύπτει για τον βασικό συνδυασμό δράσεων (βλ. 2.2.2.5 prENV 1999 – 1 – 1).

n_{fi} είναι ο μειωτικός συντελεστής για τη στάθμη φόρτισης κατά τον σχεδιασμό σε κατάσταση πυρκαγιάς.

Ο μειωτικός συντελεστής, n_{fi} , για τη στάθμη φόρτισης κατά τον σχεδιασμό σε κατάσταση πυρκαγιάς μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$n_{fi} = \frac{\gamma_{GA} \cdot G_k + \psi_{1,l} \cdot Q_{k,l}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,l} \cdot Q_{k,l}} \quad (6.7)$$

όπου:

$Q_{k,1}$ είναι η χαρακτηριστική τιμή της κύριας μεταβλητής δράσης.

G_k είναι η χαρακτηριστική τιμή της μόνιμης δράσης.

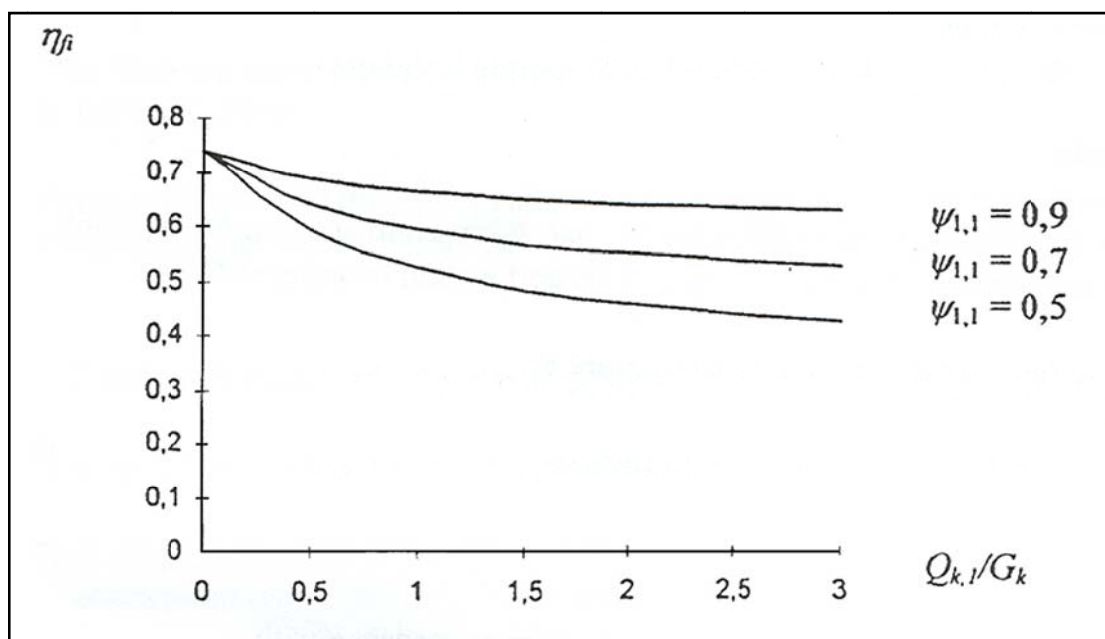
γ_{GA} είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για μόνιμες δράσεις.

γ_G είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για μόνιμες δράσεις σε τυχηματικές καταστάσεις σχεδιασμού.

$\gamma_{Q,1}$ είναι ο επί μέρους συντελεστής για τη μεταβλητή δράση 1.

$\psi_{1,1}$ είναι ο συντελεστής συνδυασμού δράσεων, ο οποίος δίνεται από τον Πίνακα 9.3 του ENV 1991-1:1994.

Στο επόμενο σχήμα παρουσιάζεται η μεταβολή του μειωτικού συντελεστή η_{fi} συναρτήσει του λόγου των φορτίων $Q_{k,1}/G_k$ για διαφορετικές τιμές του συντελεστή συνδυασμού $\psi_{1,1}$ για $\gamma_{GA}=1.35$, $\gamma_G=1.35$ και $\gamma_{Q,1}=1.5$.



Σχ. 7.1: Μεταβολή του μειωτικού συντελεστή η_{fi} συναρτήσει του λόγου $Q_{k,1}/G_k$.

Ανάλυση Επί Μέρους Μελών της Κατασκευής

Ως εναλλακτική της ανάλυσης ολόκληρης της κατασκευής για διάφορες καταστάσεις πυρκαγιάς, μπορεί να πραγματοποιείται ανάλυση επί μέρους μελών αυτής. Οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές στις στηρίξεις και στα σύνορα των μελών, όπως επίσης και οι συνοριακές συνθήκες στις στηρίξεις και τα άκρα του μέλους, οι οποίες εφαρμόζονται τη χρονική στιγμή $t=0$, μπορούν να θεωρούνται αμετάβλητες κατά τη διάρκεια της έκθεσης στην πυρκαγιά.

Ως μία εναλλακτική της εφαρμογής μίας στατικής ανάλυσης για την κατάσταση πυρκαγιάς κατά τη χρονική στιγμή $t=0$, οι εσωτερικές δυνάμεις και ροπές στις στηρίξεις και στα σύνορα των υποσυστημάτων μπορεί να λαμβάνονται από μία στατική ανάλυση του συνόλου της κατασκευής για συνήθη θερμοκρασία χρησιμοποιώντας τη σχέση (6.6).

Μόνο τα αποτελέσματα θερμικών παραμορφώσεων που προέρχονται από θερμικές διαβαθμίσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψη. Οι επιδράσεις λόγω θερμικών διαστολών των μελών μπορούν να αμελούνται.

7.4.5 Σύγκριση με Χάλυβα

Οι διατάξεις για την ανάλυση κατασκευών από χάλυβα είναι εντελώς αντίστοιχες. Στην περίπτωση του χάλυβα ο μειωτικός συντελεστής, n_{fi} , μπορεί να λαμβάνεται ως:

$$n_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (6.8)$$

ή για τους συνδυασμούς φορτίων (6.10a) και (6.10b) του EN 1990 λαμβάνεται ως η μικρότερη εκ των τιμών που δίδονται από τις ακόλουθες δύο σχέσεις:

$$n_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{0,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (6.9)$$

$$n_{fi} = \frac{G_k + \psi_{fi} \cdot Q_{k,1}}{\xi \cdot \gamma_G \cdot G_k + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1}} \quad (6.10)$$

όπου: $Q_{k,1}$, G_k , γ_G , $\gamma_{Q,1}$, είναι η χαρακτηριστική τιμή της μόνιμης δράσης.

γ_{GA} είναι ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας για μόνιμες δράσεις.

$\gamma_{Q,1}$ είναι ο επί μέρους συντελεστής για τη μεταβλητή δράση 1.

ψ_{fi} είναι ο συντελεστής συνδυασμού δράσεων που δίδεται ως $\psi_{1,1}$ ή $\psi_{2,1}$ (βλ. EN 1991-1-2).

ξ είναι ο μειωτικός συντελεστής για μόνιμες δράσεις G που δρουν κατά δυσμενή τρόπο.

7.5 Ιδιότητες του Υλικού

7.5.1 Μηχανικές Ιδιότητες των Κραμάτων Αλουμινίου

Ιδιότητες Αντοχής

Η τάση διαρροής 0.2% ορισμένων κραμάτων αλουμινίου για έκθεση σε αυξημένη θερμοκρασία για χρονική περίοδο μέχρι 2 ώρες $f_{y,\theta}$ θα πρέπει να λαμβάνεται με βάση την αναλογία τάσεων $k_{0,2,\theta}$ η οποία δίνεται από τον ακόλουθο πίνακα και την τάση διαρροής 0.2% του υλικού σε θερμοκρασία δωματίου, $f_{0,2}$, η οποία λαμβάνεται από τους Πίνακες Πίν. 5.3 - Πίν. 5.8 του τετάρτου κεφαλαίου. Η ενεργός τάση 0.2% σε θερμοκρασία θ δίνεται από τη σχέση:

$$f_{y,\theta} = k_{0,2,\theta} \cdot f_{0,2} \quad (6.11)$$

Για ενδιάμεσες τιμές θερμοκρασίας αλουμινίου, είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθεί γραμμική παρεμβολή.

Κράμα	Σκληρότητα	Θερμοκρασία κραμάτων αλουμινίου °C							
		20	100	150	200	250	300	350	550
EN AW-5052	O	1.00	1.00	0.96	0.82	0.68	0.48	0.23	0.00
EN AW-5052	H34	1.00	1.00	0.92	0.52	0.33	0.22	0.13	0.00
EN AW-5083	O	1.00	1.00	0.98	0.90	0.75	0.42	0.22	0.00
EN AW-5083	H13	1.00	1.00	0.89	0.78	0.63	0.47	0.29	0.00
EN AW-5454	O	1.00	1.00	0.96	0.88	0.50	0.32	0.21	0.00
EN AW-5454	H32	1.00	1.00	0.92	0.78	0.36	0.23	0.14	0.00
EN AW-6061	T6	1.00	1.00	0.92	0.79	0.62	0.32	0.10	0.00
EN AW-6063	T6	1.00	1.00	0.90	0.74	0.38	0.20	0.10	0.00
EN AW-6082	T6	1.00	1.00	0.79	0.65	0.38	0.20	0.11	0.00
EN AW-3003	O	1.00	1.00	0.90	0.79	0.64	0.46	0.38	-
EN AW-3003	H14	1.00	1.00	0.76	0.51	0.26	0.16	0.10	-
EN AW-5086	O	1.00	1.00	0.89	0.78	0.63	0.47	0.29	-
EN AW-5086	H112	1.00	1.00	0.99	0.91	0.73	0.46	0.30	-
EN AW-7075	T6	1.00	1.00	0.79	0.43	0.24	0.16	0.10	-

Σημείωση: Οι πέντε τελευταίοι τύποι κραμάτων δε αναφέρονται στο μέρος 1 του Ευρωκώδικα.

Πίν. 7.1: Λόγοι τάσεων διαρροής, $k_{0,2,\theta}$, για κράματα αλουμινίου σε αυξημένη θερμοκρασία για χρονική περίοδο εκθέσεως μέχρι 2 ώρες.

Μέτρο Ελαστικότητας

Το μέτρο ελαστικότητας όλων των κραμάτων αλουμινίου μετά από δύο ώρες έκθεσης σε αυξημένη θερμοκρασία $E_{al,\theta}$, θα πρέπει να λαμβάνεται από τον ακόλουθο Πίνακα:

Θερμοκρασία κράματος Αλουμινίου θ ($^{\circ}\text{C}$)	Μέτρο Ελαστικότητας (N/mm^2)
20	70000
50	69300
100	67900
150	65100
200	60200
250	54600
300	47600
350	37800
400	28000
550	0

Πίν. 7.2: Μέτρο Ελαστικότητας, $E_{al,\theta}$, για κράματα αλουμινίου σε αυξημένη θερμοκρασία για χρονική περίοδο εκθέσεως μέχρι 2 ώρες.

Πυκνότητα

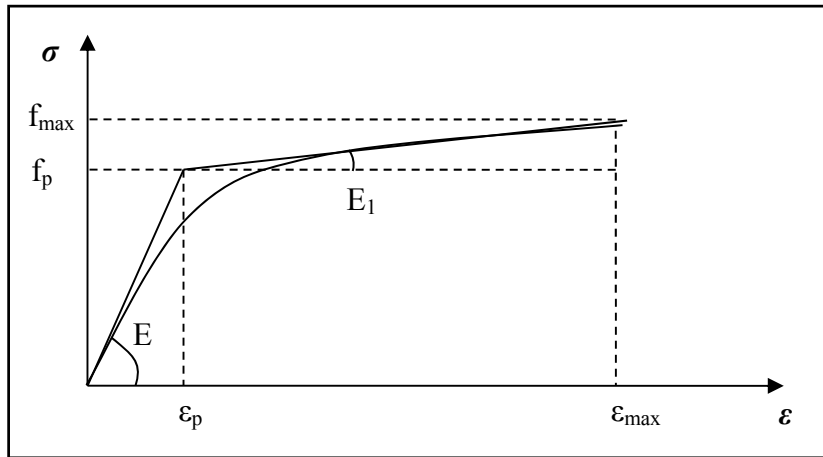
Η πυκνότητα των κραμάτων αλουμινίου ρ_{al} θα πρέπει να λαμβάνεται ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του αλουμινίου. Συνίσταται η υιοθέτηση της ακόλουθης τιμής:

$$\rho_{al}=2700 \text{ kg}/\text{m}^3 \quad (6.12)$$

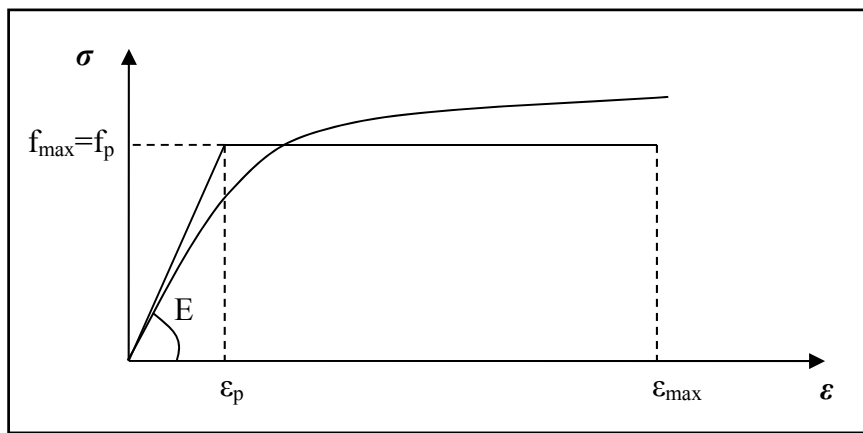
Σχέση Τάσεων – Παραμορφώσεων

Οι σχέσεις τάσεων – παραμορφώσεων που προτείνονται από τον Ευρωκώδικα είναι δύο μορφών:

- Γραμμικά Μοντέλα
 - Διγραμμικό

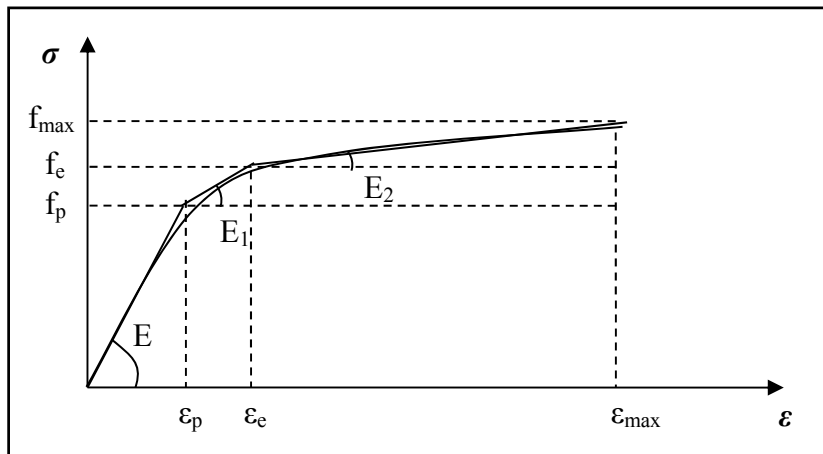


Σχ. 7.2: Διγραμμικό Κρατυνόμενο Μοντέλο

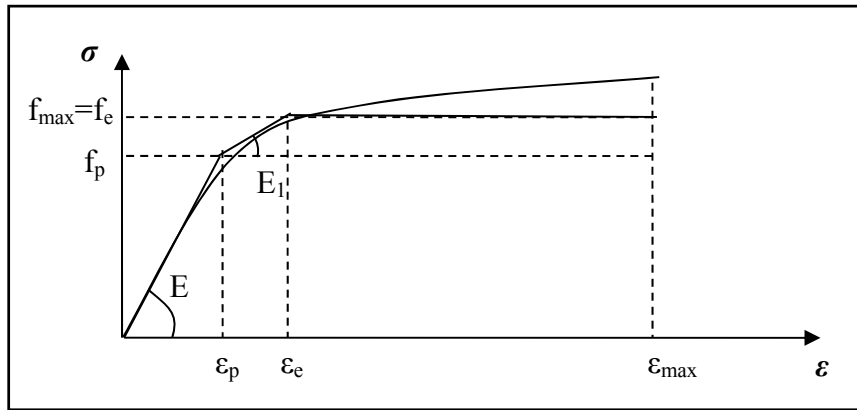


Σχ. 7.3: Διγραμμικό Ελαστικό - Απόλυτα Πλαστικό Μοντέλο

- Τριγραμμικό Μοντέλο



Σχ. 7.4: Τριγραμμικό Κρατυνόμενο Μοντέλο



Σχ. 7.5: Τριγραμμικό Ελαστικό - Απόλυτα Πλαστικό Μοντέλο

- Συνεχή Μοντέλα

- Μοντέλο Baehre της μορφής $\sigma = \sigma(\epsilon)$, βλ. παράγραφο 3.5.3.
- Μοντέλο Ramberg - Osgood της μορφής $\epsilon = \epsilon(\sigma)$, βλ. παράγραφο 3.5.5.

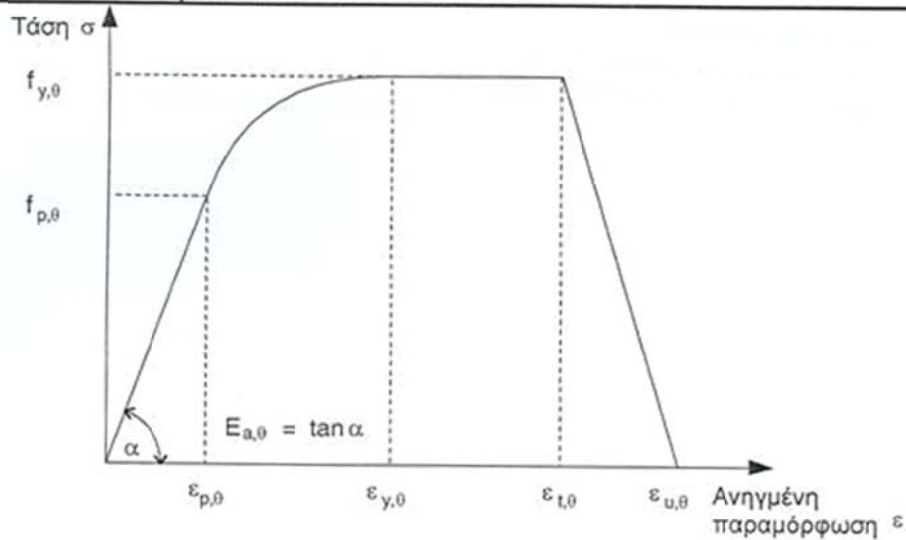
7.5.2 Σύγκριση με τις Μηχανικές Ιδιότητες του Συνήθους και του Ανοξειδωτου Χάλυβα

7.5.2.1 Ιδιότητες Αντοχής

Σχέση Τάσεων – Παραμορφώσεων σε υψηλές Θερμοκρασίες

Στην περίπτωση του χάλυβα η ενεργός τάση διαρροής υπολογίζεται με βάση τη σχέση τάσεων παραμορφώσεων που εικονίζεται στο επόμενο σχήμα:

Περιοχή (ανηγμένων) παραμορφώσεων	Τάση σ	Εφαπτομενικό μέτρο
$\varepsilon \leq \varepsilon_{p,\theta}$	$\varepsilon E_{a,\theta}$	$E_{a,\theta}$
$\varepsilon_{p,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{y,\theta}$	$f_{p,\theta} - c + (b/a) [a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}$	$\frac{b(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)}{a [a^2 - (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon)^2]^{0,5}}$
$\varepsilon_{y,\theta} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{t,\theta}$	$f_{y,\theta}$	0
$\varepsilon_{t,\theta} < \varepsilon < \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{y,\theta} [1 - (\varepsilon - \varepsilon_{t,\theta}) / (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{t,\theta})]$	-
$\varepsilon = \varepsilon_{u,\theta}$	0,00	-
Παράμετροι	$\varepsilon_{p,\theta} = f_{p,\theta} / E_{a,\theta}$ $\varepsilon_{y,\theta} = 0,02$	$\varepsilon_{t,\theta} = 0,15$ $\varepsilon_{u,\theta} = 0,20$
Συναρτήσεις	$a^2 = (\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta} + c / E_{a,\theta})$ $b^2 = c(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} + c^2$ $c = \frac{(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})^2}{(\varepsilon_{y,\theta} - \varepsilon_{p,\theta})E_{a,\theta} - 2(f_{y,\theta} - f_{p,\theta})}$	

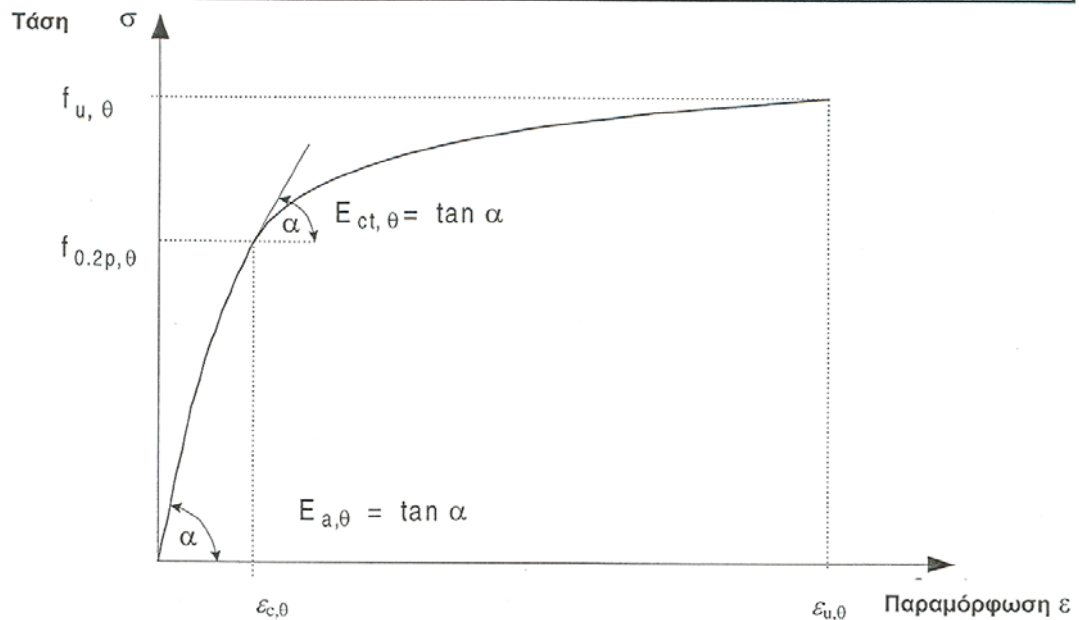


- όπου:
- $f_{y,\theta}$ ενεργός τάση διαρροής,
 - $f_{p,\theta}$ όριο αναλογίας,
 - $E_{a,\theta}$ κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής,
 - $\varepsilon_{p,\theta}$ παραμόρφωση αντιστοιχούσα στο όριο αναλογίας,
 - $\varepsilon_{y,\theta}$ παραμόρφωση διαρροής,
 - $\varepsilon_{t,\theta}$ μέγιστη παραμόρφωση στη στάθμη διαρροής,
 - $\varepsilon_{u,\theta}$ οριακή παραμόρφωση.

Σχ. 7.6: Σχέση τάσεων – παραμορφώσεων για συνήθεις χάλυβες σε υψηλές θερμοκρασίες.

Η αντίστοιχη σχέση τάσεων – παραμορφώσεων για τον ανοξείδωτο χάλυβα συνοψίζεται στο επόμενο σχήμα το οποίο ποιοτικά είναι αντίστοιχο με το Σχ. 7.6.

Περιοχή παραμορφώσεων	Τάση σ	Εφαπτομενικό μέτρο E_t
$\varepsilon \leq \varepsilon_{c,\theta}$	$\frac{E \cdot \varepsilon}{1 + a \cdot \varepsilon^b}$	$\frac{E(1 + a \cdot \varepsilon^b - a \cdot b \cdot \varepsilon^b)}{(1 + a \cdot \varepsilon^b)^2}$
$\varepsilon_{c,\theta} < \varepsilon \leq \varepsilon_{u,\theta}$	$f_{0.2p,\theta} - e + (d/c) \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}$	$\frac{d + (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)}{c \sqrt{c^2 - (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon)^2}}$
Παράμετροι	$\varepsilon_{c,\theta} = f_{0.2p,\theta} / E_{a,\theta} + 0.002$	
Συναρτήσεις	$a = \frac{E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} - f_{0.2p,\theta}}{f_{0.2p,\theta} \varepsilon_{c,\theta}^b}$	$b = \frac{(1 - \varepsilon_{c,\theta} E_{ct,\theta} / f_{0.2p,\theta}) E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta}}{(E_{a,\theta} \varepsilon_{c,\theta} / f_{0.2p,\theta} - 1) f_{0.2p,\theta}}$
	$c^2 = (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) \left(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta} + \frac{e}{E_{ct,\theta}} \right)$	$d^2 = e (\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} + e^2$
	$e = \frac{(f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})^2}{(\varepsilon_{u,\theta} - \varepsilon_{c,\theta}) E_{ct,\theta} - 2(f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta})}$	



όπου:

- $f_{u,\theta}$ είναι η αντοχή σε εφελκυσμό,
- $f_{0.2p,\theta}$ είναι η συμβατική τάση διαρροής για 0.2% παραμένονσα παραμόρφωση,
- $E_{a,\theta}$ είναι η κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής,
- $E_{ct,\theta}$ είναι η κλίση της εφαπτομένης του διαγράμματος στη στάθμη της συμβατικής τάσης διαρροής,
- $\varepsilon_{c,\theta}$ είναι η ολική παραμόρφωση που αντιστοιχεί στην τάση διαρροής,
- $\varepsilon_{u,\theta}$ είναι η οριακή παραμόρφωση.

Σχ. 7.7: Σχέση τάσεων – παραμορφώσεων για ανοξείδωτους χάλυβες σε υψηλές θερμοκρασίες.

Μέτρο Ελαστικότητας

Στις συνήθεις θερμοκρασίες οι τιμές σχεδιασμού για το μέτρο ελαστικότητας των τριών υλικών είναι οι ακόλουθες:

Μέτρο Ελαστικότητας σε Συνήθη Θερμοκρασία		
Υλικό		E (GPa)
Αλουμίνιο		70
Χάλυβας		210
Ανοξείδωτος	Ωστενιτικοί	200
Χάλυβας	Ωστενιτικοί- φερριτικοί	205

Παρατηρούμε επομένως πως το αλουμίνιο διαθέτει μικρό μέτρο ελαστικότητας, γεγονός το οποίο οδηγεί σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις από το χάλυβα για ίδια επίπεδα επιβαλλόμενης τάσης, δημιουργώντας προβλήματα κατά τους ελέγχους λειτουργικότητας.

Μειωτικός Συντελεστής $k_{y,\theta}$

- Συνήθης Χάλυβας

Κατ' αντιστοιχία με τη σχέση (6.11) που ισχύει για το αλουμίνιο, η συμβατική τάση διαρροής ως προς την τάση διαρροής σε 20 °C για τον συνήθη χάλυβα δίνεται από τη σχέση:

$$f_{y,\theta} = k_{y,\theta} \cdot f_y \quad (6.13)$$

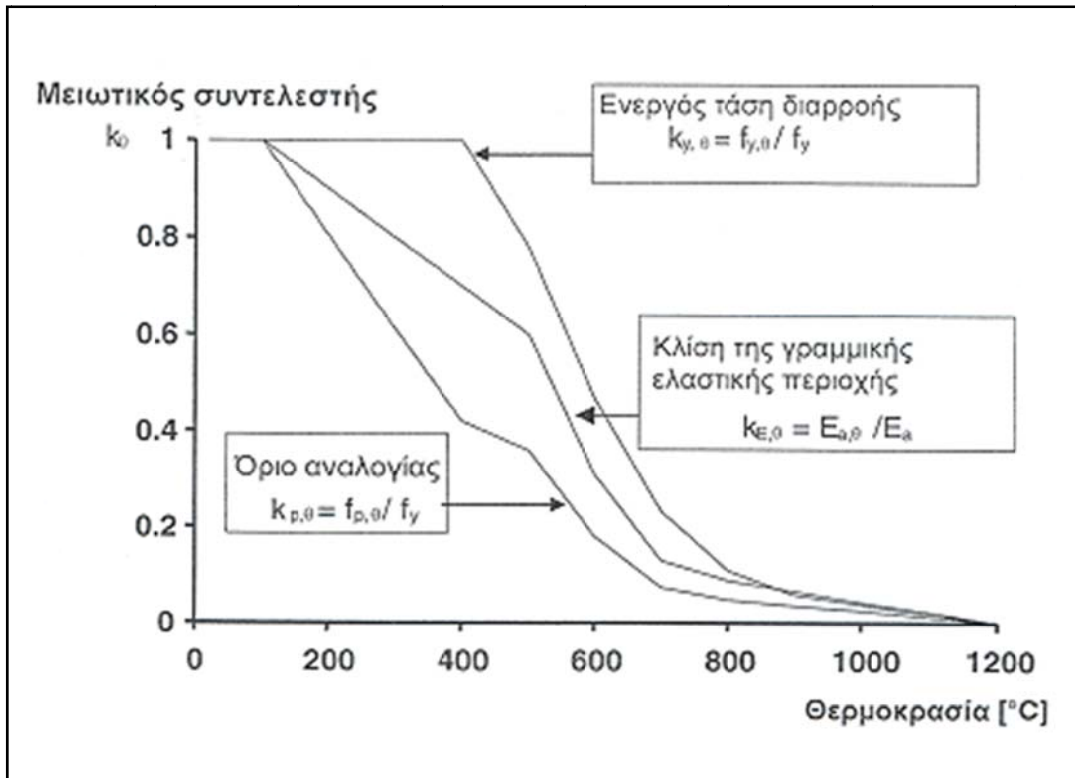
Ο συντελεστής $k_{y,\theta}$ είναι αντίστοιχος του μειωτικού συντελεστή $k_{0,2,\theta}$ και δίνεται από τον ακόλουθο Πίνακα, ο οποίος παρέχει επιπλέον και τους αντίστοιχους μειωτικούς συντελεστές για τα όρια ελαστικότητας $k_{E,\theta}$ και αναλογίας $k_{p,\theta}$.

Θερμοκρασία χάλυβα θ_a σε °C	Μειωτικοί συντελεστές σε θερμοκρασία θ_a ως προς την τιμή της f_y ή του E_a σε 20 °C		
	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την f_y) για την συμβατική τάση διαρροής $k_{y,\theta}$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς την f_y) για το όριο αναλογίας $k_{p,\theta}$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το E_a) για την κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής $k_{E,\theta}$
20	1,000	1,000	1,000
100	1,000	1,000	1,000
200	1,000	0,807	0,900
300	1,000	0,613	0,800
400	1,000	0,420	0,700
500	0,780	0,360	0,600
600	0,470	0,180	0,310
700	0,230	0,075	0,130
800	0,110	0,050	0,090
900	0,060	0,0375	0,0675
1000	0,040	0,0250	0,0450
1100	0,020	0,0125	0,0225
1200	0,000	0,0000	0,0000

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Για ενδιάμεσες τιμές της θερμοκρασίας του χάλυβα, μπορεί να χρησιμοποιείται γραμμική παρεμβολή.

Πίν. 7.3: Μειωτικοί Συντελεστές για τις Ιδιότητες του Χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

Εναλλακτικά μπορεί να χρησιμοποιείται και το σχήμα που ακολουθεί. Αντίστοιχο σχήμα δεν παρέχεται από τον κανονισμό για την περίπτωση του αλουμινίου.



Σχ. 7.8: Μειωτικοί Συντελεστές για τις Ιδιότητες του Χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες.

- Ανοξείδωτος Χάλυβας

Η συμβατική τάση διαρροής ως προς την τάση διαρροής σε 20 °C για τον συνήθη χάλυβα δίνεται από τη σχέση:

$$f_{0.2p,\theta} = k_{0.2p,\theta} \cdot f_y \quad (6.14)$$

Ο συντελεστής $k_{0.2p,\theta}$ είναι αντίστοιχος του μειωτικού συντελεστή $k_{0.2,\theta}$ και δίνεται από τον ακόλουθο Πίνακα για εφαρμογή απλών υπολογιστικών μεθόδων, ο οποίος παρέχει επιπλέον και τους αντίστοιχους μειωτικούς συντελεστές για τα όρια ελαστικότητας $k_{E,\theta}$ και εφελκυστικής αντοχής $k_{u,\theta}$.

Ακόμη ο Πίνακας δίνει και τον διορθωτικό συντελεστή $k_{2\%,\theta}$ για τον προσδιορισμό της αντοχής διαρροής χρησιμοποιώντας:

$$f_{y,\theta} = f_{0.2p,\theta} + k_{2\%,\theta} (f_{u,\theta} - f_{0.2p,\theta}) \quad (6.15)$$

Θερμοκρασία χάλυβα θ_a	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το E_a) για την κλίση της γραμμικής ελαστικής περιοχής $k_{E,\theta}$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το f_y) για τη συμβατική τάση διαρροής $k_{0.2p,\theta}$	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το f_u) για την αντοχή σε εφελκυσμό $k_{u,\theta}$	Συντελεστής για τον προσδιορισμό της τάσης διαρροής $f_{y,\theta}$ $k_{2\%,\theta}$
Ποιότητα 1.4301				
20	1,00	1,00	1,00	0,26
100	0,96	0,82	0,87	0,24
200	0,92	0,68	0,77	0,19
300	0,88	0,64	0,73	0,19
400	0,84	0,60	0,72	0,19
500	0,80	0,54	0,67	0,19
600	0,76	0,49	0,58	0,22
700	0,71	0,40	0,43	0,26
800	0,63	0,27	0,27	0,35
900	0,45	0,14	0,15	0,38
1000	0,20	0,06	0,07	0,40
1100	0,10	0,03	0,03	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40
Ποιότητα 1.4401 /1.4404				
20	1,00	1,00	1,00	0,24
100	0,96	0,88	0,93	0,24
200	0,92	0,76	0,87	0,24
300	0,88	0,71	0,84	0,24
400	0,84	0,66	0,83	0,21
500	0,80	0,63	0,79	0,20
600	0,76	0,61	0,72	0,19
700	0,71	0,51	0,55	0,24
800	0,63	0,40	0,34	0,35
900	0,45	0,19	0,18	0,38
1000	0,20	0,10	0,09	0,40
1100	0,10	0,05	0,04	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40
Ποιότητα 1.4571				
20	1,00	1,00	1,00	0,25
100	0,96	0,89	0,88	0,25
200	0,92	0,83	0,81	0,25
300	0,88	0,77	0,80	0,24
400	0,84	0,72	0,80	0,22
500	0,80	0,69	0,77	0,21
600	0,76	0,66	0,71	0,21
700	0,71	0,59	0,57	0,25
800	0,63	0,50	0,38	0,35
900	0,45	0,28	0,22	0,38

1000	0,20	0,15	0,11	0,40
1100	0,10	0,075	0,055	0,40
1200	0,00	0,00	0,00	0,40
Ποιότητα 1.4003				
20	1,00	1,00	1,00	0,37
100	0,96	1,00	0,94	0,37
200	0,92	1,00	0,88	0,37
300	0,88	0,98	0,86	0,37
400	0,84	0,91	0,83	0,42
500	0,80	0,80	0,81	0,40
600	0,76	0,45	0,42	0,45
700	0,71	0,19	0,21	0,46
800	0,63	0,13	0,12	0,47
900	0,45	0,10	0,11	0,47
1000	0,20	0,07	0,09	0,47
1100	0,10	0,035	0,045	0,47
1200	0,00	0,00	0,00	0,47
Ποιότητα 1.4462				
20	1,00	1,00	1,00	0,35
100	0,96	0,91	0,93	0,35
200	0,92	0,80	0,85	0,32
300	0,88	0,75	0,83	0,30
400	0,84	0,72	0,82	0,28
500	0,80	0,65	0,71	0,30
600	0,76	0,56	0,57	0,33
700	0,71	0,37	0,38	0,40
800	0,63	0,26	0,29	0,41
900	0,45	0,10	0,12	0,45
1000	0,20	0,03	0,04	0,47
1100	0,10	0,015	0,02	0,47
1200	0,00	0,00	0,00	0,47

Πίν. 7.4: Συντελεστές για τον προσδιορισμό παραμόρφωσης και δυσκαμψίας του ανοξείδωτου χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες, για εφαρμογή απλών υπολογιστικών μεθόδων.

Στην περίπτωση εφαρμογής προχωρημένων υπολογιστικών μεθόδων οι παραπάνω συντελεστές δίνονται από τον ακόλουθο Πίνακα:

Θερμοκρασία χάλυβα θ_a	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το E_a) για το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας στη στάθμη διαρροής	Οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{u,\theta}$ [-]
-------------------------------------	---	--

	$k_{\text{Ect},\theta}$	
Ποιότητα 1.4301		
20	0,11	0,40
100	0,05	0,40
200	0,02	0,40
300	0,02	0,40
400	0,02	0,40
500	0,02	0,40
600	0,02	0,35
700	0,02	0,30
800	0,02	0,20
900	0,02	0,20
1000	0,02	0,20
1100	0,02	0,20
1200	0,02	0,20
Ποιότητα 1.4401 / 1.4404		
20	0,050	0,40
100	0,049	0,40
200	0,047	0,40
300	0,045	0,40
400	0,030	0,40
500	0,025	0,40
600	0,020	0,40
700	0,020	0,30
800	0,020	0,20
900	0,020	0,20
1000	0,020	0,20
1100	0,020	0,20
1200	0,020	0,20
Ποιότητα 1.4571		
20	0,060	0,40
100	0,060	0,40
200	0,050	0,40
300	0,040	0,40
400	0,030	0,40
500	0,025	0,40
600	0,020	0,35
700	0,020	0,30
800	0,020	0,20

Θερμοκρασία χάλυβα θ_a	Μειωτικός συντελεστής (ως προς το E_a) για το εφαπτομενικό μέτρο ελαστικότητας στη στάθμη διαρροής $k_{Ect,\theta}$	Οριακή παραμόρφωση $\epsilon_{u,\theta}$ [-]
Ποιότητα 1.4571 (συνέχεια)		
900	0,020	0,20
1000	0,020	0,20
1100	0,020	0,20
1200	0 090	0,20
Ποιότητα 1.4003		
20	0,055	0,20
100	0,030	0,20
200	0,030	0,20
300	0,030	0,20
400	0,030	0,15
500	0,030	0,15
600	0,030	0,15
700	0,030	0,15
800	0,030	0,15
900	0,030	0,15
1000	0,030	0,15
1100	0,030	0,15
1200	0,030	0,15
Ποιότητα 1.4462		
20	0,100	0,20
100	0,070	0,20
200	0,037	0,20
300	0,035	0,20
400	0,033	0,20
500	0,030	0,20
600	0,030	0,20
700	0,025	0,15
800	0,025	0,15
900	0,025	0,15
1000	0,025	0,15
1100	0,025	0,15
1200	0,025	0,15

Πίν. 7.5: Μειωτικός Συντελεστής και Οριακή Παραμόρφωση του ανοξειδωτου χάλυβα σε υψηλές θερμοκρασίες, για εφαρμογή προχωρημένων υπολογιστικών μεθόδων.

Μία σημαντική παρατήρηση που προκύπτει από τους παραπάνω Πίνακες είναι ότι ενώ το αλουμίνιο χάνει την αντοχή του στους 550 °C, οι χάλυβες χάνουν την αντοχή τους στην σημαντικά μεγαλύτερη θερμοκρασία των 1200 °C.

7.5.2.2 Πυκνότητα

Η πυκνότητα του συνήθους και ανοξειδωτου χάλυβα θα πρέπει να λαμβάνεται ανεξάρτητα από τη θερμοκρασία του.

Χάλυβας	$\rho_{st} = 7.85 \text{ g/cm}^3$
Ανοξειδωτος Χάλυβας	$\rho_a = 7.85 \text{ g/cm}^3$
Αλουμίνιο	$\rho_{al} = 2.70 \text{ g/cm}^3$

Παρατηρούμε πως το αλουμίνιο είναι ένα σαφώς ελαφρύτερο υλικό.

7.5.3 Θερμικές Ιδιότητες των κραμάτων Αλουμινίου

Θερμική Διαστολή

Η θερμική διαστολή κραμάτων αλουμινίου, $\Delta l/l$, θα πρέπει να λαμβάνεται από τα ακόλουθα:

Για $0 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{al} < 500 \text{ }^\circ\text{C}$

$$\Delta l/l = 0.1 \cdot 10^{-7} \theta_{al}^2 + 22.5 \cdot 10^{-6} \theta_{al} - 4.5 \cdot 10^{-4} \quad (6.16)$$

όπου:

l είναι το μήκος σε θερμοκρασία 20 °C

Δl είναι η θερμική διαστολή

θ_{al} είναι η θερμοκρασία του κράματος αλουμινίου.

Για απλές υπολογιστικές μεθόδους η σχέση μεταξύ της θερμικής διαστολής και της θερμοκρασίας του κράματος αλουμινίου μπορεί να θεωρείται ως γραμμική. Στην περίπτωση αυτή η επιμήκυνση μπορεί να καθορίζεται από:

$$\Delta l/l = 2.5 \cdot 10^{-5} (\theta_{al} - 20) \quad (6.17)$$

Ειδική Θερμότητα

Η ειδική θερμότητα του αλουμινίου c_{al} , μπορεί να καθοριστεί από τα ακόλουθα:

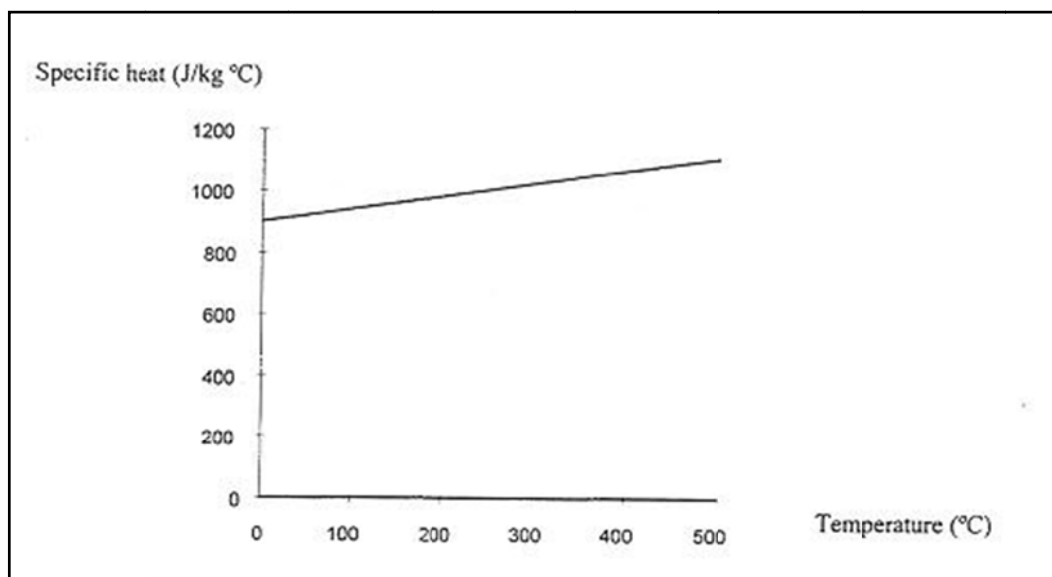
Για $0 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{al} < 500 \text{ }^\circ\text{C}$

$$c_{al} = 0.41 \cdot \theta_{al} + 903 (\text{J/kg } ^\circ\text{C}) \quad (6.18)$$

όπου:

θ_{al} είναι η θερμοκρασία του κράματος αλουμινίου

Η μεταβολή της Ειδικής Θερμότητας απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.9: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

Θερμική Αγωγιμότητα

Η θερμική αγωγιμότητα κράματος αλουμινίου, λ_{al} , για $0 \text{ }^\circ\text{C} < \theta_{al} < 400 \text{ }^\circ\text{C}$ θα πρέπει να καθορίζεται από τα ακόλουθα:

Για κράματα των σειρών 1000, 3000 και 6000:

$$\lambda_{al} = 0.07 \cdot \theta_{al} + 190 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \quad (6.19)$$

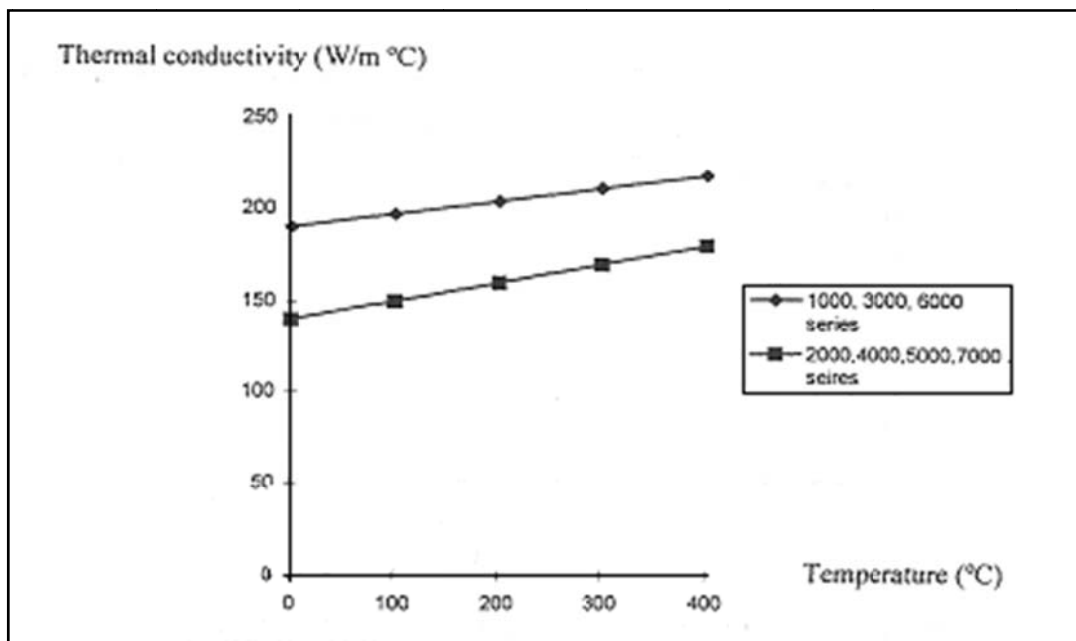
Για κράματα των σειρών 2000, 4000, 5000 και 7000:

$$\lambda_{al} = 0.10 \cdot \theta_{al} + 140 \text{ (W/m}^\circ\text{C)} \quad (6.20)$$

όπου:

θ_{al} είναι η θερμοκρασία του κράματος αλουμινίου

Η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.10: Μεταβολή της θερμικής Αγωγιμότητας σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία..

7.5.4 Σύγκριση με τις Θερμικές Ιδιότητες του Συνήθους και Ανοξειδωτου Χάλυβα

Θερμική Διαστολή

- Συνήθης Χάλυβας

Η θερμική διαστολή του χάλυβα, $\Delta l/l$, θα πρέπει να λαμβάνεται από τα ακόλουθα:

- Για $20^\circ\text{C} < \theta_a < 750^\circ\text{C}$

$$\Delta l/l = 1.2 \cdot 10^{-5} \theta_a + 0.4 \cdot 10^{-8} \theta_a^2 - 2.416 \cdot 10^{-4} \quad (6.21)$$

- Για $750\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a < 860\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta l/l = 1.1 \cdot 10^{-2} \quad (6.22)$$

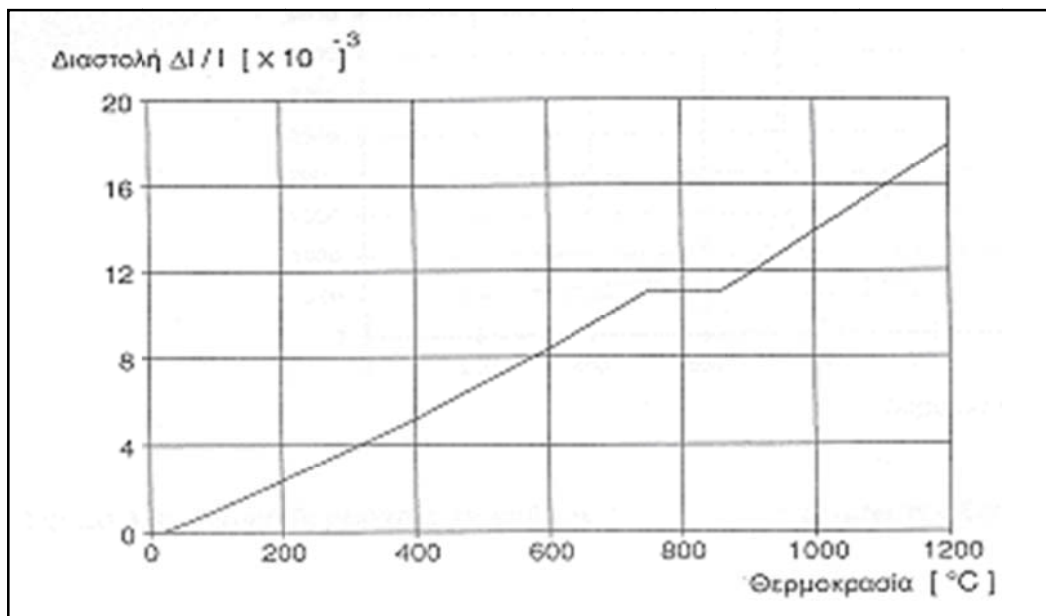
- Για $860\text{ }^{\circ}\text{C} < \theta_a < 1200\text{ }^{\circ}\text{C}$

$$\Delta l/l = 2 \cdot 10^{-5} \theta_a - 6.2 \cdot 10^{-3} \quad (6.23)$$

όπου:

θ_a είναι η θερμοκρασία του χάλυβα.

Η παραπάνω σχέση απεικονίζεται από το κάτωθι σχήμα:



Σχ. 7.11: Θερμική Διαστολή Συνήθους Χάλυβα συναρτήσει της Θερμοκρασίας.

- Ανοξειδωτος Χάλυβας

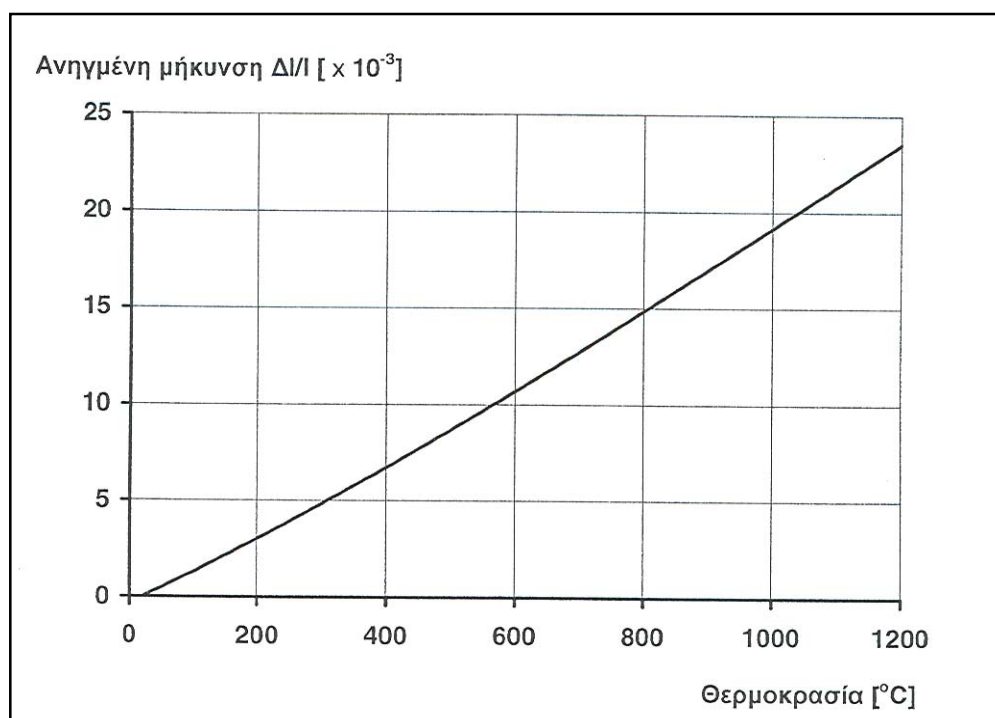
Η θερμική διαστολή ωστενιτικών ανοξειδωτων χάλυβων, $\Delta l/l$, θα πρέπει να λαμβάνεται από την εξής σχέση:

$$\Delta l/l = \left(16 + 4.79 \times 10^{-3} \theta_a - 1.243 \times 10^{-6} \theta_a^2 \right) \times (\theta_a - 20) 10^{-6} \quad (6.24)$$

όπου:

θ_a είναι η θερμοκρασία του χάλυβα. [°C]

Η παραπάνω σχέση απεικονίζεται από το κάτωθι σχήμα:



Σχ. 7.12: Θερμική Διαστολή Ανοξειδωτου Χάλυβα συναρτήσει της Θερμοκρασίας.

Ειδική Θερμότητα

- Συνήθης Χάλυβας

Η ειδική θερμότητα του χάλυβα c_a , μπορεί να καθοριστεί από τα ακόλουθα:

- Για $20\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 600\text{ }^\circ\text{C}$

$$c_a = 425 + 7.73 \cdot 10^{-1} \cdot \theta_a - 1.69 \cdot 10^{-3} \theta_a^2 + 2.22 \cdot 10^{-6} \theta_a^3 \text{ (J/kg } ^\circ\text{C)} \quad (6.25)$$

- Για $600\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 735\text{ }^\circ\text{C}$

$$c_a = 666 + \frac{13002}{738 - \theta_a} \text{ (J/kg K)} \quad (6.26)$$

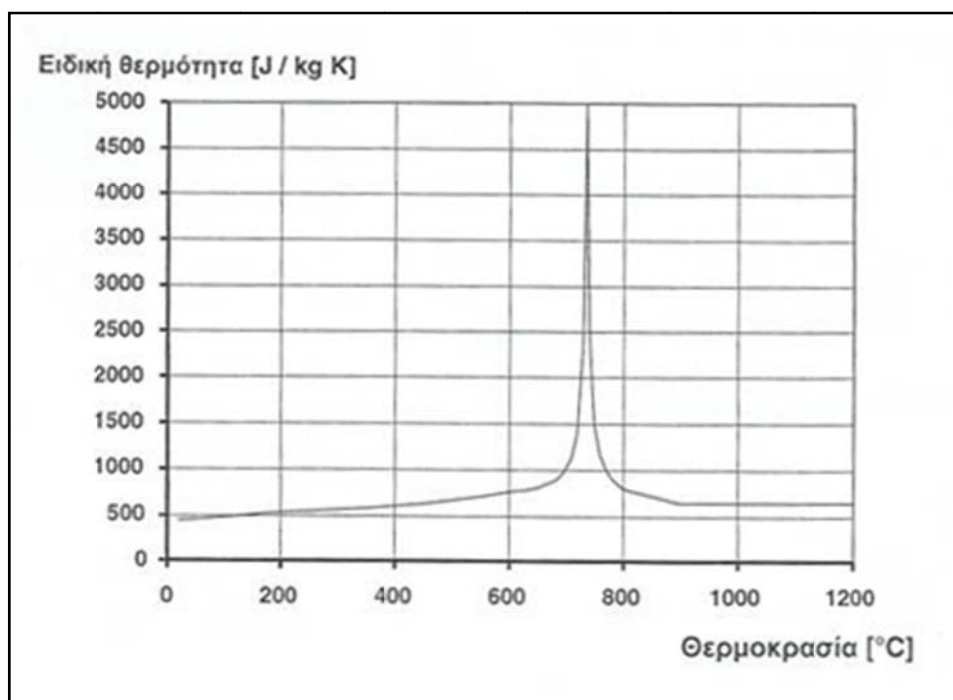
- Για $735\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 900\text{ }^\circ\text{C}$

$$c_{al} = 545 + \frac{17820}{\theta_a - 731} \text{ (J/kg K)} \quad (6.27)$$

- Για $900\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 1200\text{ }^\circ\text{C}$

$$c_{al} = 650(\text{J/kg K}) \quad (6.28)$$

Εναλλακτικά μπορεί να λαμβάνεται από το ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.13: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας συνήθους χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

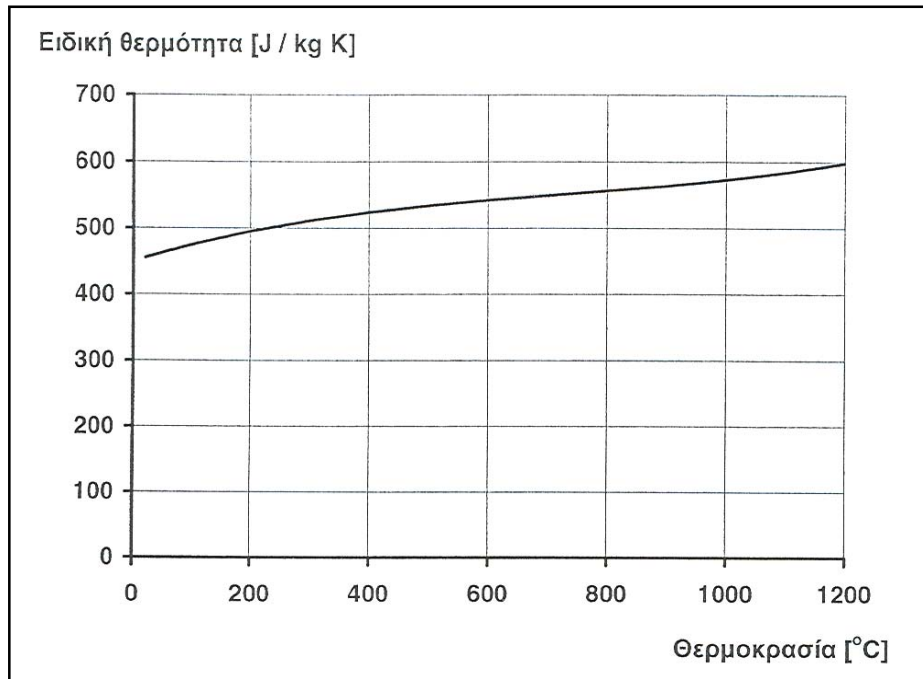
Τόσο το διάγραμμα αυτό όσο και εκείνο που αντιστοιχεί στο αλουμίνιο (Σχ. 7.9) περιγράφουν μία αρχικώς γραμμική σχέση. Η διαφορά έγκειται στο ότι ενώ το διάγραμμα του αλουμινίου διακόπτεται μετά τους 500 °C (καθώς το αλουμίνιο αρχίζει να λιώνει μετά τους 550 °C), η ειδική θερμότητα του χάλυβα απειρίζεται για θερμοκρασία ίση με 735 °C, και εν συνεχεία επανέρχεται στα προηγούμενα επίπεδα συνεχίζοντας να μεταβάλλεται γραμμικά.

- Ανοξειδωτος Χάλυβας

Η ειδική θερμότητα του ανοξειδωτου χάλυβα c_a , καθορίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$c_a = 450 + 0.280 \cdot \theta_a - 2.91 \cdot 10^{-4} \theta_a^2 + 1.34 \cdot 10^{-7} \theta_a^3 (\text{J/kg } ^\circ\text{C}) \quad (6.29)$$

Εναλλακτικά, μπορεί να λαμβάνεται από το ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.14: Μεταβολή της ειδικής θερμότητας ανοξείδωτου χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

Παρατηρούμε πως το παραπάνω διάγραμμα διαφοροποιείται από εκείνο του συνήθους χάλυβα (Σχ. 7.13) καθώς εκφράζει μία γνησίως αύξουσα συνάρτηση, δεν απειρίζεται δηλαδή για κάποια συγκεκριμένη θερμοκρασία.

Από άποψη μεγεθών, παρατηρούμε πως μεγαλύτερη μέση τιμή έχει η ειδική θερμότητα του αλουμινίου, ακολουθεί ο συνήθης χάλυβας (αν εξαιρεθεί το σημείο όπου απειρίζεται) και μικρότερη μέση τιμή παρουσιάζει ο ανοξείδωτος χάλυβας.

Θερμική Αγωγιμότητα

- Συνήθης Χάλυβας

Η θερμική αγωγιμότητα του χάλυβα, λ_a , θα πρέπει να καθορίζεται από τα ακόλουθα:

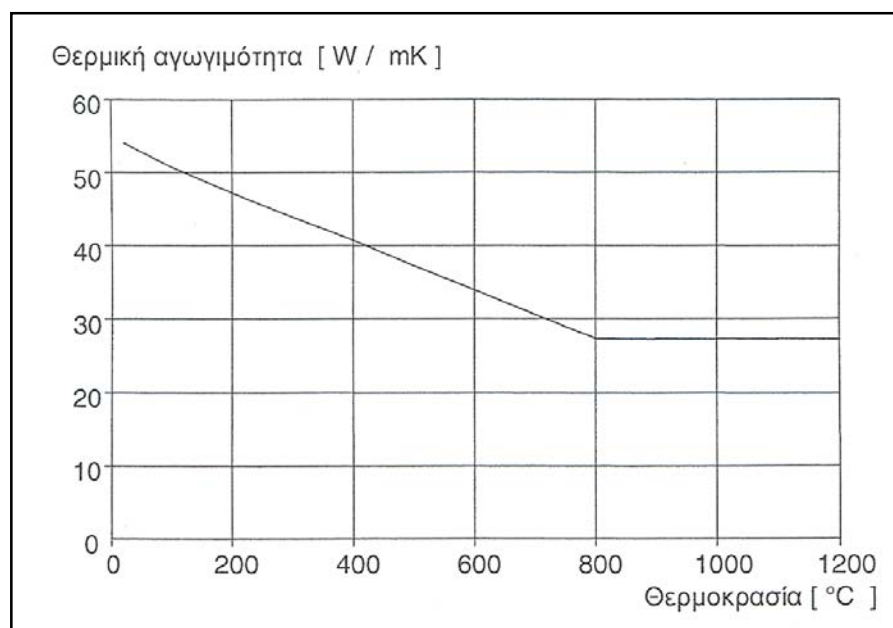
- Για $20\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 800\text{ }^\circ\text{C}$

$$\lambda_a = 54 - 3.33 \cdot 10^{-2} \cdot \theta_a \quad (\text{W/mK}) \quad (6.30)$$

- Για $800\text{ }^\circ\text{C} < \theta_a < 1200\text{ }^\circ\text{C}$

$$\lambda_a = 27.3 \quad (\text{W/mK}) \quad (6.31)$$

Η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας για συνήθεις χάλυβες απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.15: Μεταβολή της Θερμικής Αγωγιμότητας συνήθους Χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

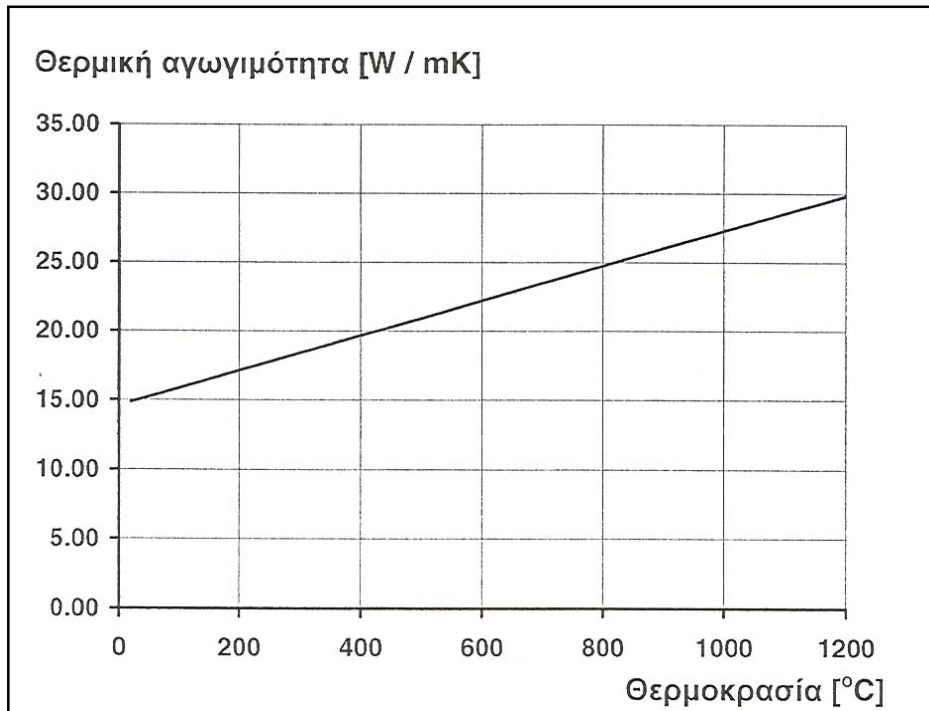
Συγκρίνοντας το παραπάνω διάγραμμα με εκείνο που αντιστοιχεί στο αλουμίνιο (Σχ. 7.10), διαπιστώνουμε εντελώς διαφορετική συμπεριφορά. Στο μιν χάλυβα η θερμική αγωγιμότητα βαίνει φθίνουσα με τη θερμοκρασία, στο δε αλουμίνιο η σχέση που συνδέει τα δύο μεγέθη είναι αύξουσα.

- Ανοξειδωτος Χάλυβας

Η θερμική αγωγιμότητα του ανοξειδωτου χάλυβα, λ_a , θα πρέπει να καθορίζεται από τα ακόλουθα:

$$\lambda_a = 14.6 + 1.27 \times 10^{-2} \theta_a \quad (\text{W/mK}) \quad (6.32)$$

Η μεταβολή της θερμικής αγωγιμότητας για ανοξειδωτους χάλυβες απεικονίζεται στο ακόλουθο σχήμα:



Σχ. 7.16: Μεταβολή της Θερμικής Αγωγιμότητας Ανοξειδωτου Χάλυβα σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία.

Η συμπεριφορά του ανοξειδωτου χάλυβα προσεγγίζει περισσότερο –από ποιοτική άποψη– αυτή του αλουμινίου από εκείνη του συνήθους χάλυβα, αφού συγκρίνοντας το παραπάνω διάγραμμα με εκείνο που αντιστοιχεί στο αλουμίνιο (Σχ. 7.10), διαπιστώνουμε και στα δύο η σχέση που συνδέει τα την θερμική αγωγιμότητα με τη θερμοκρασία είναι αύξουσα.

7.5.5 Υλικά Πυροπροστασίας

Όπως και στην περίπτωση του χάλυβα, οι ιδιότητες και η απόδοση των υλικών πυροπροστασίας θα εκτιμούνται με χρήση των διαδικασιών ελέγχου οι οποίες περιγράφονται στα prENs και ENs (όποτε είναι διαθέσιμο)

Σημείωση: Γίνεται η υπόθεση ότι αυτά τα πρότυπα συμπεριλαμβάνουν την εξής απαίτηση για τα υλικά πυροπροστασίας: να παραμένουν συμπαγή και σταθερά συνδεδεμένα στα στηρίγματά τους καθ' όλη της διάρκειας της έκθεσης στην πυρκαγιά. Στην περίπτωση που δεν συμβαίνει κάτι τέτοιο το αντικείμενο αυτό θα επανεξετάζεται.

7.6 Δομικός Σχεδιασμός σε Πυρκαγιά

7.6.1 Γενικά

Οι κατασκευές από κράματα αλουμινίου μπορούν να μονωθούν με χρήση υλικών πυροπροστασίας, τα οποία προστατεύονται από διαφράγματα ή κάποια άλλη μέθοδο η οποία περιορίζει την αύξηση της θερμοκρασίας του στοιχείο από κράμα αλουμινίου.

Η εκτίμηση της συμπεριφοράς της κατασκευής σε σχεδιασμό για κατάσταση πυρκαγιάς θα βασίζεται σε μία από τις ακόλουθες μεθόδους, ή σε συνδυασμό αυτών:

- Απλές υπολογιστικές μεθόδους οι οποίες εφαρμόζονται σε μεμονωμένα μέλη.
- Γενικές μεθόδους υπολογισμού

Οι απλές μέθοδοι υπολογισμού είναι απλοποιημένες μέθοδοι οι οποίες παρέχουν συντηρητικά αποτελέσματα

Οι γενικές μέθοδοι υπολογισμού είναι μέθοδοι στις οποίες οι αρχές της μηχανικής εφαρμόζονται με ρεαλιστικό τρόπο σε συγκεκριμένες εφαρμογές

Όπου δεν παρέχονται απλοί υπολογιστικοί κανόνες, είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείται είτε μία μέθοδος η οποία να βασίζεται σε πειραματικά αποτελέσματα είτε μία γενική υπολογιστική μέθοδος.

7.6.2 Απλά Υπολογιστικά Προσομοιώματα (Μοντέλα)

7.6.2.1 Γενικά

Η φέρουσα λειτουργία μίας κατασκευής από κράμα αλουμινίου μπορεί να υποτεθεί ότι διατηρείται μετά από χρονικό διάστημα t από την έναρξη δεδομένης πυρκαγιάς εάν:

$$E_{fi,d} = R_{fi,d,t} \quad (6.33)$$

όπου:

$E_{fi,d} \leq R_{fi,d,t}$ είναι το αποτέλεσμα των δράσεων για την κατάσταση πυρκαγιάς, σύμφωνα με την ENV 1999-2-2

$R_{fi,d,t}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού του μέλους ή της κατασκευής από αλουμίνιο, για την κατάσταση πυρκαγιάς στο χρόνο t .

Η $R_{fi,d,t}$ θα καθορίζεται από την κατανομή της θερμοκρασίας μέλη της κατασκευής κατά το χρόνο t , τροποποιώντας την αντοχή σχεδιασμού για συνήθη θερμοκρασία σχεδιασμού, κατά το prENV 1999-1-1 (κεφάλαιο 4 εδώ), ώστε να λαμβάνονται υπόψη οι μηχανικές ιδιότητες του αλουμινίου σε υψηλές θερμοκρασίες.

7.6.2.2 Αντοχή

Σημείωση: Σε αυτό το τμήμα τα σύμβολα για τις αντοχές σχεδιασμού γίνονται M_{Rd} , N_{Rd} , V_{Rd} ανάλογα με το αν τα αποτελέσματα των δράσεων αφορούν σε καμπτική ροπή, αξονική δύναμη ή διατμητική δύναμη αντίστοιχα.

7.6.2.3 Κατάταξη Διατομών

Για την κατάσταση πυρκαγιάς, η κατάταξη των διατομών μπορεί να γίνεται όπως και στην περίπτωση σχεδιασμού για συνήθη θερμοκρασία, σύμφωνα με την παράγραφο 5.11.3, χωρίς καθόλου αλλαγές.

Εφελκόμενα Μέλη

Η αντοχή σχεδιασμού ενός ελκόμενου μέλους, $N_{fi,t,Rd}$, με μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στη διατομή κατά το χρόνο t μπορεί να καθορίζεται από:

$$N_{fi,t,Rd} = \sum A_i k_{0.2,\theta_i} f_{0.2} / \gamma_{M,fi} \quad (6.34)$$

όπου:

A_i είναι το στοιχειώδες εμβαδόν της καθαρής διατομής με θερμοκρασία θ_i , συμπεριλαμβανομένης μία απομείωσης όπου αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα που συνδέονται με την ζώνη θερμικής επιρροής.

$k_{0.2,\theta_i}$ είναι ο μειωτικός συντελεστής για την ονομαστική 0.2% τάση διαρροής σε θερμοκρασία θ_i

θ_i είναι η θερμοκρασία στο στοιχειώδες εμβαδόν A_i .

Η αντοχή σχεδιασμού ενός ελκυόμενου μέλους, $N_{\bar{f},\theta,Rd}$, με ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_{al} προσδιορίζεται από:

$$N_{\bar{f},\theta,Rd} = k_{0,2,\theta} N_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,\bar{f}}) \quad (6.35)$$

όπου:

$k_{0,2,\theta}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} που δίνεται από τον Πίν. 7.1.

N_{Rd} είναι η αντοχή σχεδιασμού της καθαρής διατομής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με την παράγραφο 5.11.6.

Σύγκριση με Χάλυβα για τον έλεγχο εφελκόμενων μελών

Οι σχέσεις που δίνει ο κανονισμός για τον έλεγχο εφελκόμενων χαλύβδινων μελών είναι εντελώς αντίστοιχες με εκείνες που περιγράφουν το αλουμίνιο αν αντί του $k_{0,2,\theta}$ χρησιμοποιηθεί το $k_{y,\theta}$. Έτσι:

Η αντοχή σχεδιασμού ενός ελκυόμενου μέλους, $N_{\bar{f},\theta,Rd}$, με μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στη διατομή μπορεί να καθορίζεται από:

$$N_{\bar{f},t,Rd} = \sum A_i k_{y,\theta,i} f_y / \gamma_{M,\bar{f}} \quad (6.36)$$

Η αντοχή σχεδιασμού ενός ελκυόμενου μέλους, $N_{\bar{f},\theta,Rd}$, με ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_{al} προσδιορίζεται από:

$$N_{\bar{f},\theta,Rd} = k_{y,\theta} N_{Rd} (\gamma_{M0} / \gamma_{M,\bar{f}}) \quad (6.37)$$

Δοκοί με διατομές κατηγορίας 1,2 ,3 ή 4

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης, $M_{\bar{f},t,Rd}$, μίας διατομής κατηγορίας 1 ή 2 με μη ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο χρόνο t καθορίζεται από τη σχέση:

$$M_{\bar{f},t,Rd} = \sum A_i z_i k_{0,2,\theta,i} f_{0,2} / \gamma_{M,\bar{f}} \quad (6.38)$$

όπου:

A_i είναι το στοιχειώδες εμβαδόν της καθαρής διατομής με θερμοκρασία θ_i , συμπεριλαμβανομένης μία απομείωσης όπου αυτό είναι απαραίτητο προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα φαινόμενα που συνδέονται με την ζώνη θερμικής επιρροής.

z_i είναι η απόσταση μεταξύ του πλαστικού ουδέτερου άξονα και του κέντρου βάρους του στοιχειώδους εμβαδού A_i .

$k_{0.2,\theta_i}f_{0.2}$ είναι η αντοχή της στοιχειώδους επιφάνειας A_i σε θερμοκρασία θ_{al} .

Ο πλαστικός ουδέτερος άξονας της διατομής με μη ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας είναι ο άξονας ο κάθετος στο επίπεδο κάμψης, ο οποίος ικανοποιεί το ακόλουθο κριτήριο:

$$\sum A_i k_{0.2,\theta_i} f_{0.2,i} = 0 \quad (6.39)$$

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης, $M_{fi,t,Rd}$, μίας διατομής κατηγορίας 3 με μη ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο χρόνο t καθορίζεται από τη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} \quad (6.40)$$

όπου:

$M_{fi,\theta,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης της διατομής για ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_{al} η οποία ισούται με την μέγιστη θερμοκρασία $\theta_{al,max}$ η οποία επιτυγχάνεται στο χρόνο t .

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης, $M_{fi,t,Rd}$, μίας διατομής κατηγορίας 4 με μη ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο χρόνο t καθορίζεται από τη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{0.2,\theta,max} M_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) \quad (6.41)$$

όπου:

$k_{0.2,\theta,max}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} ίση με την μέγιστη θερμοκρασία $\theta_{al,max}$ της διατομής η οποία επιτυγχάνεται στο χρόνο t .

M_{Rd} είναι η αντοχή έναντι κάμψης της διατομής κατηγορίας 4 για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία σύμφωνα με την παράγραφο 0.

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης, $M_{fi,t,Rd}$, μίας διατομής κατηγορίας 1,2,3 ή 4 με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας στο χρόνο t καθορίζεται από τη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} M_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) \quad (6.42)$$

όπου:

$k_{0,2,\theta}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} που δίνεται από τον Πίν. 7.1.

M_{Rd} είναι η αντοχή έναντι κάμψης της διατομής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία.

Για δοκούς οι οποίες υπόκεινται σε στρεπτοκαμπτικό λυγισμό, η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού $M_{b,fi,t,Rd}$ μίας δοκού χωρίς πλευρική εξασφάλιση στο χρόνο t μπορεί να καθορίζεται από τη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} M_{b,Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) \quad (6.43)$$

όπου:

$k_{0,2,\theta,max}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} ίση με την μέγιστη θερμοκρασία του κράματος $\theta_{al,max}$.

$M_{b,Rd} = f_s \frac{W_{pl,y}}{\gamma_{M1}}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία, (βλ. 5.11.5.4)

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι διατμήσεως $V_{fi,t,Rd}$ μίας δοκού στο χρόνο t μπορεί να καθορίζεται από:

$$V_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} V_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) \quad (6.44)$$

όπου:

$k_{0,2,\theta}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} ίση με την μέγιστη θερμοκρασία του τμήματος της διατομής που αναλαμβάνει την διατμητική δύναμη.

V_{Rd} είναι η διατμητική αντοχή της καθαρής διατομής για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία, σύμφωνα με την παράγραφο 5.11.5.2.

Μπορεί να θεωρείται πως οι σχέσεις της παραγράφου αυτής ικανοποιούνται για κάποια δοκό εφ' όσον η θερμοκρασία του αλουμινίου θ_{al} στο χρόνο t , για όλες τις διατομές, δεν υπερβαίνει τους 170 °C.

Υποστυλώματα

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού $N_{b,fi,t,Rd}$ ενός θλιβόμενου μέλους στο χρόνο t μπορεί να καθορίζεται από:

$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1} / 1.2\gamma_{M,fi}) \quad (6.45)$$

όπου:

$k_{0,2,\theta,max}$ είναι ο λόγος τάσεων διαρροής 0.2% για κράματα αλουμινίου σε θερμοκρασία θ_{al} ίση με την μέγιστη θερμοκρασία του κράματος $\theta_{al,max}$.

$N_{b,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού για σχεδιασμό σε συνήθη θερμοκρασία, σύμφωνα με την παράγραφο 5.11.7.2.

Σημείωση: Η σταθερά 1.2 η οποία εμφανίζεται στην άνω έκφραση είναι ένας μειωτικός συντελεστής της αντοχής σχεδιασμού λόγω των φαινομένων ερπυσμού που αναπτύσσουν τα κράματα αλουμινίου με την μεταβολή της θερμοκρασίας.

Η αντοχή σχεδιασμού έναντι λυγισμού $R_{fi,t,d}$ ενός μέλους το οποίο υπόκειται σε ταυτόχρονη κάμψη και αξονική θλίψη στο χρόνο t μπορεί να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$R_{fi,t,d} = k_{0,2,\theta,max} R_d \quad (6.46)$$

όπου:

R_d αντιπροσωπεύει ένα συνδυασμό αξονικής θλίψης και καμπτικών ροπών $N_{fi,Ed}$, $M_{y,fi,Ed}$ και $M_{z,fi,Ed}$ τέτοιες ώστε για σχεδιασμό σε συνήθη

θερμοκρασία να ικανοποιούνται οι διατάξεις της παραγράφου 5.11.8 για όλους τους τύπους μελών όταν:

$$N_{Sd} = 1.2N_{fi,Ed}$$

$$M_{y,Sd} = M_{y,fi,Ed}$$

$$M_{z,Sd} = M_{z,fi,Ed}$$

Μπορεί να θεωρείται πως οι σχέσεις της παραγράφου αυτής ικανοποιούνται για κάποια δοκό εφ' όσον η θερμοκρασία του αλουμινίου θ_{al} στο χρόνο t , για όλες τις διατομές, δεν υπερβαίνει τους 170 °C.

Σύγκριση με Χάλυβα

Στην περίπτωση του χάλυβα ισχύουν συγκεντρωτικά οι σχέσεις, οι οποίες συνοψίζονται στον ακόλουθο Πίνακα όπου και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες του αλουμινίου.

Έλεγχος Ολιβόμενων Μελών από χάλυβα – Σύγκριση με Αλουμίνιο		
Τύπος Ελέγχου	Χάλυβας	Αλουμίνιο
Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 1 ή 2 ή 3 σε Κάμψη, για ομοιόμορφη θερμοκρασία.	$M_{fi,\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right]$	$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} M_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi})$
Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 1 ή 2 σε Κάμψη, για μη ομοιόμορφη θερμοκρασία.	$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{y,\theta,i} f_{y,i} / \gamma_{M,fi}$	$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{0,2,\theta,i} f_{0,2,i} / \gamma_{M,fi}$
	<p>ή εναλλακτικά (*)</p> $M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd} / \kappa_1 \kappa_2$	

<p>Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 1 ή 2 σε Στρεπτο - Καμπτικό Λυγισμό</p>	$M_{fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{pl,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi}$	$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} M_{b,Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi})$ $= k_{0,2,\theta,max} f_s \frac{W_{pl,y}}{\gamma_{M,fi}} =$ $= \chi_{LT} k_{0,2,\theta,max} f_0 \frac{W_{pl,y}}{\gamma_{M,fi}}$
	<p>όπου:</p> $\chi_{LT,fi} = \frac{1}{\phi_{LT,\theta,com} + \sqrt{\phi_{LT,\theta,com}^2 - \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2}}$ <p>με $\phi_{LT,\theta,com} = 0.5 \left[1 + a \bar{\lambda}_{LT,\theta,com} + \bar{\lambda}_{LT,\theta,com}^2 \right]$</p> <p>$\alpha = 0.65 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$ και</p> $\bar{\lambda}_{LT,\theta,com} = \bar{\lambda}_{LT} \left[k_{y,\theta,com} / k_{E,\theta,com} \right]^{0.5}$	<p>όπου:</p> $\chi_{LT} = \frac{1}{\phi_{LT} + \sqrt{\phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \text{ με}$ $\phi_{LT} = 0.5 \left[1 + a_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{0,LT}) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$ $a_{LT} = 0.10$
<p>Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 1 ή 2 σε Τέμνουσα</p>	$V_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,web} V_{Rd} (\gamma_{M,0} / \gamma_{M,fi})$ <p>όπου: θ_{web} η μέση θερμοκρασία στον κορμό της διατομής</p>	$V_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta} V_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi})$
<p>Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 3 σε Κάμψη, για μη ομοιόμορφη θερμοκρασία.</p>	$M_{fi,t,Rd} = k_{y,\theta,max} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,fi}} \right] / \kappa_1 \kappa_2$	<p>$M_{fi,t,Rd} = M_{fi,\theta,Rd}$ όπου:</p> <p>$M_{fi,\theta,Rd}$ είναι η αντοχή σχεδιασμού έναντι κάμψης για ομοιόμορφη θερμοκρασία θ_{a1} ίση με την μέγιστη θερμοκρασία $\theta_{a1,max}$ η οποία επιτυγχάνεται στο χρόνο t.</p>
<p>Έλεγχος Δοκών Κατηγορίας 3 σε Στρεπτο - Καμπτικό Λυγισμό</p>	$M_{fi,t,Rd} = \chi_{LT,fi} W_{el,y} k_{y,\theta,com} f_y / \gamma_{M,fi}$	$M_{fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} M_{b,Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi})$ $= k_{0,2,\theta,max} f_s \frac{W_{el,y}}{\gamma_{M,fi}} =$ $= \chi_{LT} k_{0,2,\theta,max} f_0 \frac{W_{el,y}}{\gamma_{M,fi}}$
<p>Έλεγχος Θλιβόμενων Μελών Κατηγορίας</p>	$N_{b,fi,t,Rd} = \chi_{fi} A k_{y,\theta} f_y / \gamma_{M,fi}$	$N_{b,fi,t,Rd} = k_{0,2,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1} / 1.2 \gamma_{M,fi})$ $= k_{0,2,\theta,max} f_s A / 1.2 \gamma_{M,fi} =$ $= k_{0,2,\theta,max} \chi \cdot n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot f_0 A / 1.2 \gamma_{M,fi}$

1,2 ή 3 σε
Λυγισμό

όπου:

$$\chi_{fi} = \frac{1}{\phi_{\theta} + \sqrt{\phi_{\theta}^2 - \bar{\lambda}_{\theta}^2}} \text{ και}$$
$$\phi_{\theta} = 0.5 \left[1 + \alpha \bar{\lambda}_{\theta} + \bar{\lambda}_{\theta}^2 \right],$$
$$\bar{\lambda}_{\theta} = \bar{\lambda} \left[k_{y,\theta} / k_{E,\theta} \right]^{0.5}$$

όπου:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ και}$$
$$\phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_o) + \bar{\lambda}^2 \right],$$
$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A n f_o}{N_{cr}}} = \frac{\lambda}{\lambda_1}$$

(*) όπου:

- $\kappa_1 = 1$ για δοκό εκτεθειμένη και στις τέσσερις πλευρές της.
- $\kappa_1 = 0,70$ για μία μη προστατευμένη δοκό εκτεθειμένη από τις τρεις πλευρές της με μία σύμμικτη ή από σκυρόδεμα πλάκα στην τέταρτη πλευρά.
- $\kappa_1 = 0,85$ για μία προστατευμένη δοκό εκτεθειμένη από τις τρεις πλευρές της με μία πλάκα από σκυρόδεμα στην τέταρτη πλευρά.
- $\kappa_2 = 0,85$ για τις στηρίξεις μίας στατικά αόριστης δοκού
- $\kappa_2 = 1,00$ για όλες τις άλλες περιπτώσεις

Συνδέσεις

Η αντοχή συνδέσεων μεταξύ μελών δεν απαιτείται να ελέγχεται εφ' όσον η θερμική αντίσταση $(d_p/\lambda_p)_c$ της πυροπροστασίας της σύνδεσης δεν είναι μικρότερη από την ελάχιστη τιμή της θερμικής αντίστασης $(d_p/\lambda_p)_M$ της πυροπροστασίας κάθε μέλους αλουμινίου που συνδέεται μέσω αυτής της σύνδεσης.

όπου:

d_p είναι το πάχος του υλικού πυροπροστασίας

λ_p είναι η ονομαστική θερμική αγωγιμότητα του υλικού πυροπροστασίας.

7.6.2.4 Στοιχεία Θερμικών Δράσεων

Πριν περάσουμε στις επόμενες διατάξεις είναι σημαντικό να ορίσουμε ορισμένες βασικές έννοιες, όπως αυτή της τιμής σχεδιασμού για την καθαρή θερμική ροή ανά μονάδα επιφανείας ($h_{net,d}$).

Ανατρέχοντας στον Ευρωκώδικα 1 (ENV 1991-2-2:1995) προκύπτει:

$$h_{\text{net,d}} = \gamma_{\text{n,c}} \cdot h_{\text{net,c}} + \gamma_{\text{n,r}} \cdot h_{\text{net,r}} \quad (6.47)$$

όπου:

$$\begin{aligned} \gamma_{\text{n,c}} &= \gamma_{\text{n,r}} = 1.0, \\ h_{\text{net,c}} &= \alpha_c (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2] \\ &\quad \& \\ h_{\text{net,r}} &= \Phi \cdot \varepsilon_{\text{res}} \cdot 5.67 \cdot 10^{-8} \left[(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4 \right] \quad [\text{W/m}^2] \end{aligned} \quad (6.48)$$

με:

α_c ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής $[\text{W/m}^2\text{K}]$

θ_g η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μέλος αέρα. $[\text{°C}]$

Φ ο συντελεστής διαμόρφωσης ο οποίος όταν δεν διατίθενται στοιχεία μπορεί να λαμβάνεται $=1.0$

θ_r η θερμοκρασία του ακτινοβολούντος περιβάλλοντος $[\text{°C}]$

θ_m η θερμοκρασία της επιφάνειας του μέλους $[\text{°C}]$

$5.67 \cdot 10^{-8}$ η σταθερά Stefan Boltzmann

ε_{res} ο συντελεστής ικανότητας ακτινοβολίας ο οποίος δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\varepsilon_{\text{res}} = \varepsilon_f \cdot \varepsilon_m \quad (6.49)$$

όπου:

ε_f η ικανότητα ακτινοβολίας η οποία συνδέεται με το πυροδιαμέρισμα. Όπου δεν ορίζεται κάτι άλλο θα πρέπει να λαμβάνεται $\varepsilon_f = 0.8$

ε_m η ικανότητα ακτινοβολίας η οποία συνδέεται με το επιφανειακό υλικό.

Πρότυπη Καμπύλη Θερμοκρασίας Χρόνου (ISO)

Η πρότυπη καμπύλη Θερμοκρασίας Χρόνου δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10}(8t+1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.50)$$

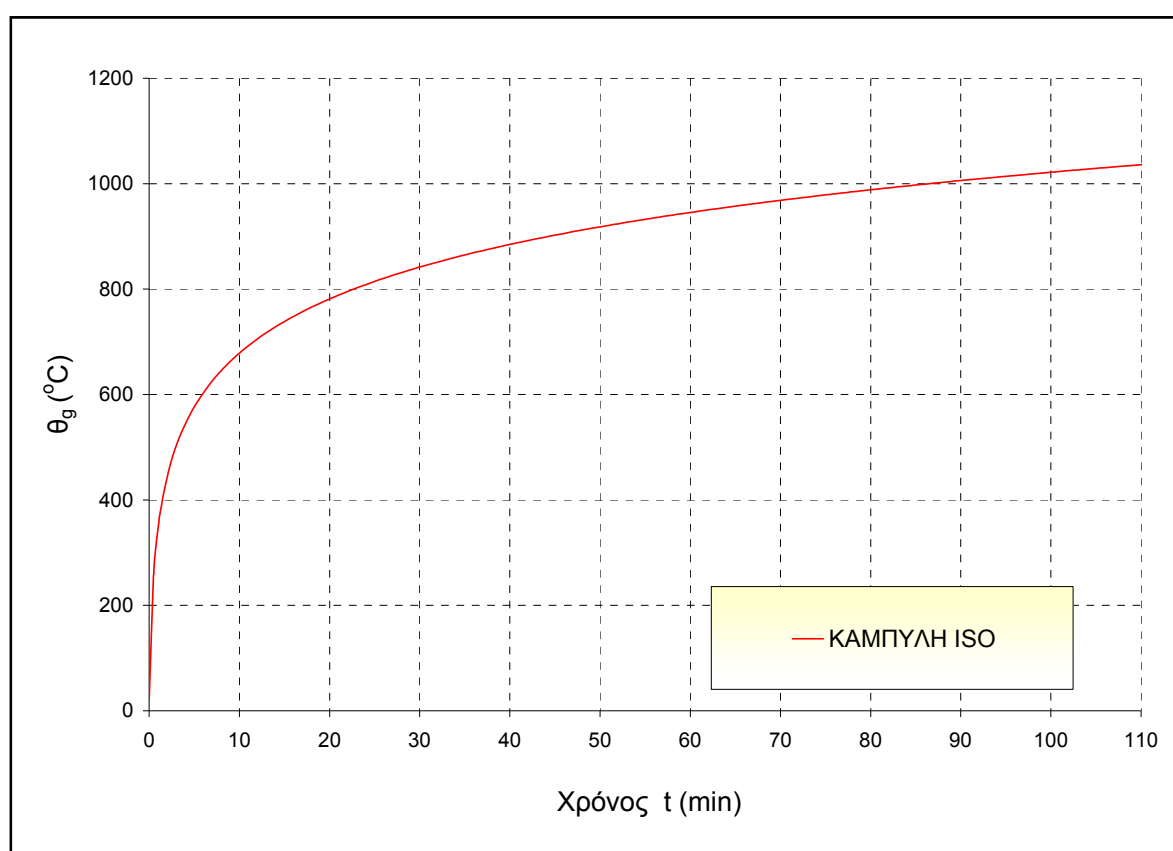
όπου:

θ_g η θερμοκρασία του αέρα του πυροδιαμερίσματος [$^{\circ}\text{C}$]

Η παραπάνω σχέση απεικονίζεται γραφικά στο Σχ. 7.17.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής α_c λαμβάνεται:

$$\alpha_c = 25 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (6.51)$$



Σχ. 7.17: Πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου.

Καμπύλη Εξωτερικής Πυρκαγιάς

Η καμπύλη εξωτερικής πυρκαγιάς δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_g = 660(1 - 0.687e^{-0.32t} - 0.313e^{-3.8t}) + 20 \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.52)$$

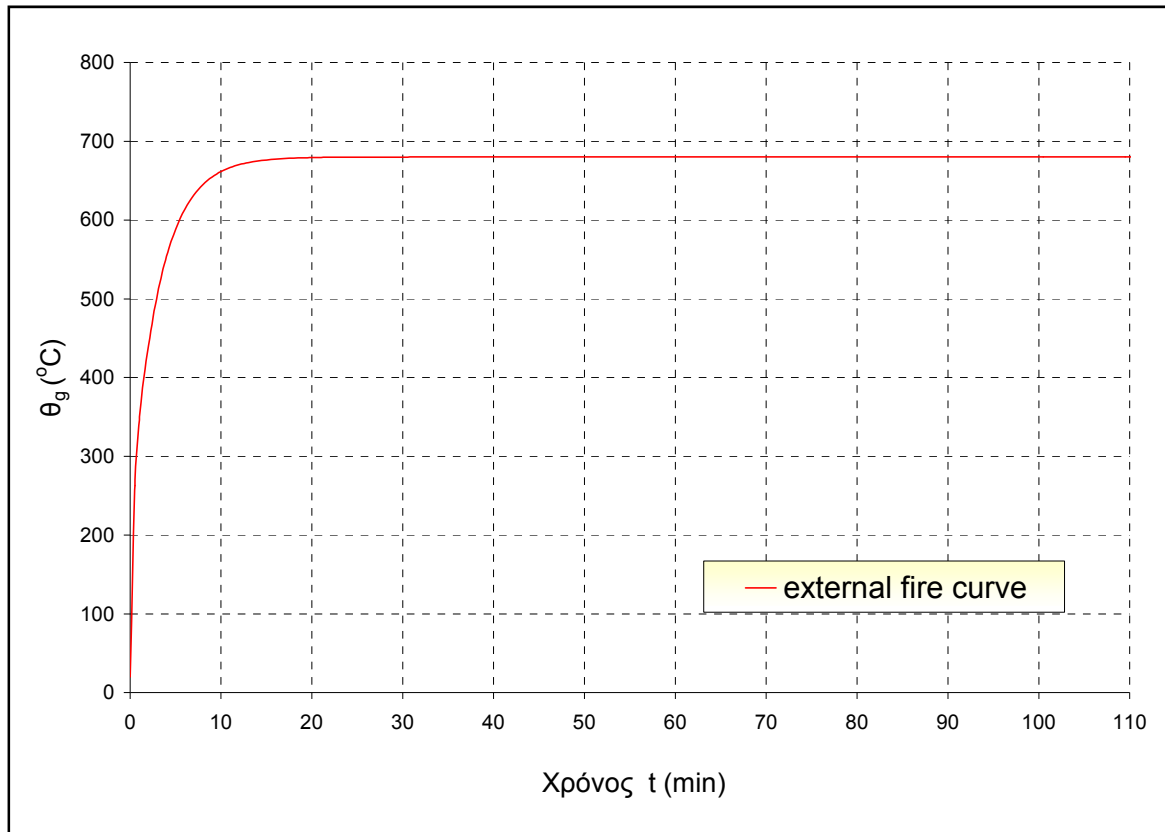
όπου:

θ_g η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μέλος αέρα [$^{\circ}\text{C}$]

Η παραπάνω σχέση απεικονίζεται γραφικά στο Σχ. 7.18.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής α_c λαμβάνεται:

$$\alpha_c = 25 \left[\text{W/m}^2\text{K} \right] \quad (6.53)$$



Σχ. 7.18: Καμπύλη Εξωτερικής Πυρκαγιάς.

Καμπύλη Υδρογονανθράκων

Η καμπύλη υδρογονανθράκων δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$\theta_g = 1080 \left(1 - 0.325e^{-0.167t} - 0.675e^{-2.5t} \right) + 20 \left[^{\circ}\text{C} \right] \quad (6.54)$$

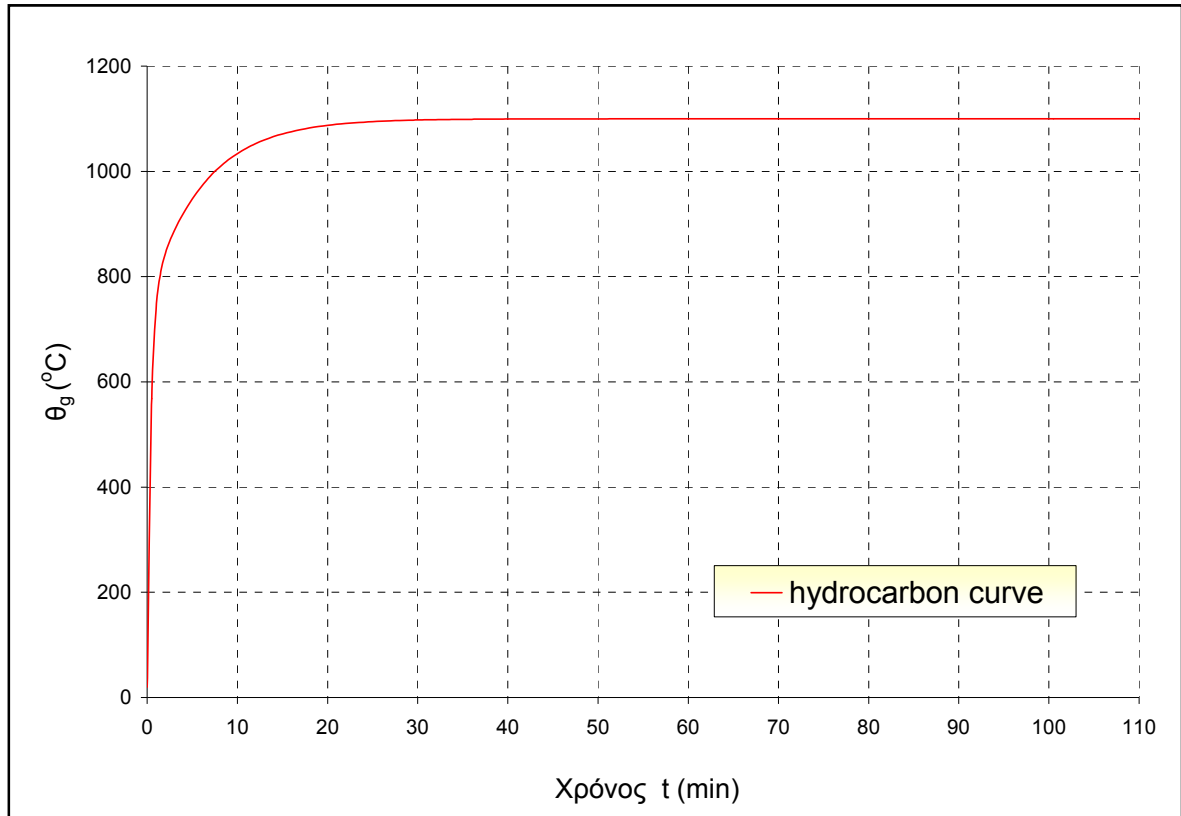
όπου:

θ_g η θερμοκρασία του αέρα του πυροδιαμερίσματος [$^{\circ}\text{C}$]

Η παραπάνω σχέση απεικονίζεται γραφικά στο Σχ. 7.19.

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής α_c λαμβάνεται:

$$\alpha_c = 50 \left[\text{W/m}^2\text{K} \right] \quad (6.55)$$



Σχ. 7.19: Καμπύλη Υδρογονανθράκων.

Παραμετρική Καμπύλη Θερμοκρασίας - Χρόνου

Για τον προσδιορισμό της συναρτήσεως θερμοκρασίας – χρόνου που αντιστοιχεί σε πυροδιαμερίσμα με δεδομένα χαρακτηριστικά, ο Ευρωκώδικας 1 στο (πληροφοριακό) παράρτημά του Β προτείνει την εξίσωση:

$$\theta_g = \theta_0 + 1325 \left(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right) \left[^\circ\text{C} \right] \quad (6.56)$$

όπου:

θ_g η θερμοκρασία του αέρα του πυροδιαμερίσματος $[^\circ\text{C}]$

t^* $= t \times \Gamma$ $[\text{h}]$

$$\Gamma = \frac{[O/b]^2}{(0.04/1160)^2} \text{ με } b = \sqrt{\rho c \lambda}, 1000 \leq b \leq 2000 \quad [\text{J/m}^2\text{s}^{1/2}\text{K}]$$

O ο συντελεστής αερισμού ο οποίος περιγράφεται από το Σχ. 7.20, υπό τον περιορισμό $0.02 \leq O \leq 0.2$.

ρ η πυκνότητα του συνόρου [kg/m³]

c η ειδική θερμότητα του συνόρου [J/kgK]

λ η θερμική αγωγιμότητα του συνόρου [W/mK]

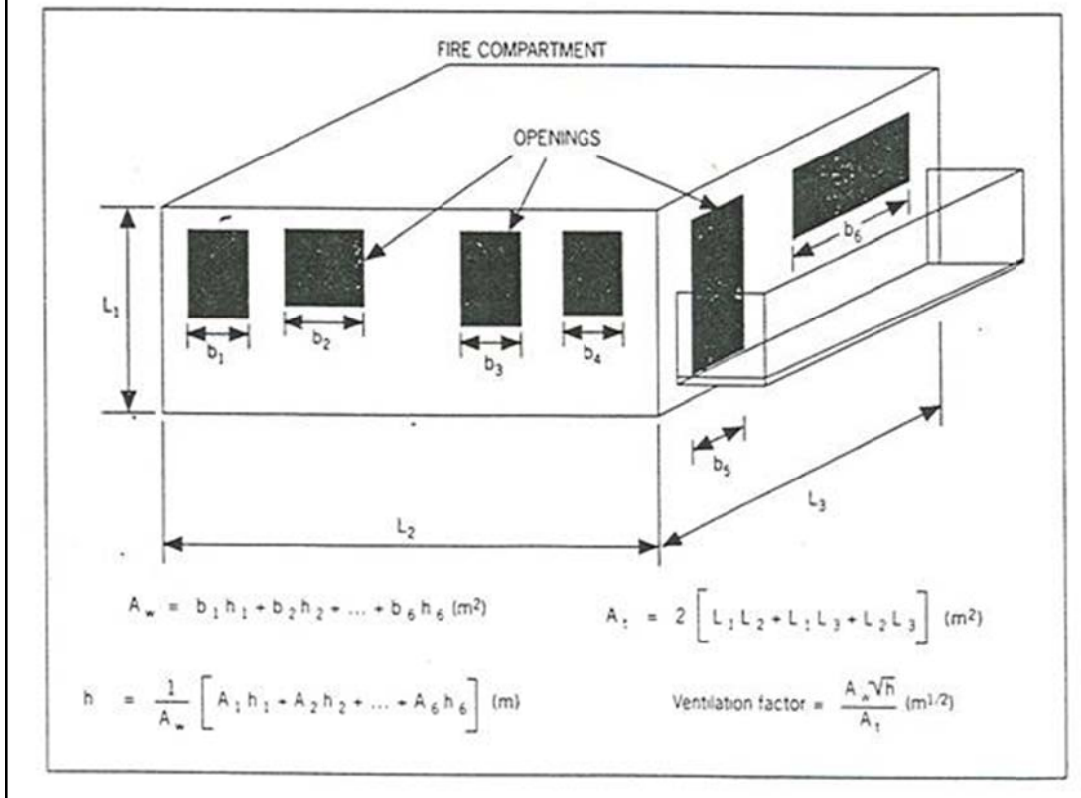
$$\text{Ventilation Factor } O = \frac{A_w}{A_t} \sqrt{h} \quad (\text{m}^{1/2})$$

where:

A_w = total area of openings (m^2)

h = mean height of openings (m)

A_t = total surrounding area of the compartment (m^2)



Σχ. 7.20: Συντελεστής Αερισμού Ο.

Σε περίπτωση διαφορετικών στρώσεων υλικού, η παράμετρος b θα πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$b = \sqrt{\frac{\sum s_i c_i \lambda_i}{\sum (s_i c_i \lambda_i / b_i^2)}} \quad (6.57)$$

όπου:

s_i το πάχος της στρώσης i

c_i η ειδική θερμότητα της στρώσης i

λ_i η θερμική αγωγιμότητα της στρώσης i

$$b_i = \sqrt{\rho_i c_i \lambda_i}$$

Προκειμένου να ληφθεί υπόψη η διαφοροποίηση υλικού σε τοίχους, οροφές και δάπεδα η παράμετρος b θα πρέπει να λαμβάνεται ως:

$$b = \frac{\sum b_i A_{ij}}{\sum A_{ij}} \quad (6.58)$$

όπου:

A_{ij} το εμβαδόν της εσωκλειώμενης επιφάνειας συμπεριλαμβανομένων των κενών με θερμική παράμετρο b_i .

Οι καμπύλες Θερμοκρασίας – Χρόνου στη φάση ψύχρανσης δίνονται από τις ακόλουθες σχέσεις:

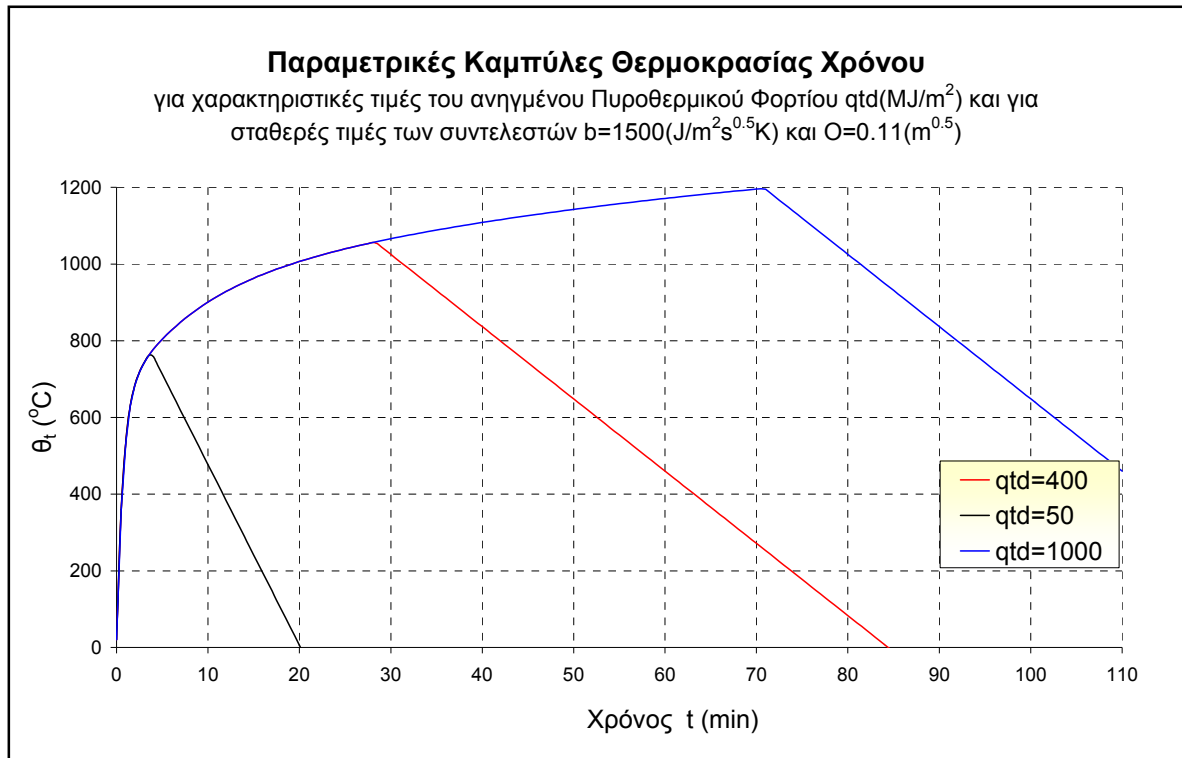
$$\begin{aligned} \theta_g &= \theta_{\max} - 625(t^* - t_d^*) && \text{για } t_d^* \leq 0.5 \\ \theta_g &= \theta_{\max} - 250(3 - t_d^*)(t^* - t_d^*) && \text{για } 0.5 < t_d^* < 2 \\ \theta_g &= \theta_{\max} - 250(t^* - t_d^*) && \text{για } t_d^* \geq 2 \end{aligned} \quad (6.59)$$

όπου:

θ_{\max} η μέγιστη θερμοκρασία σε [°C] κατά τη φάση θέρμανσης, για $t^* = t_d^*$

$$t_d^* = 0.13 \cdot 10^{-3} q_{t,d} \cdot \Gamma / O \quad [\text{h}]$$

$q_{t,d}$ η τιμή του πυροθερμικού φορτίου η οποία σχετίζεται με την επιφάνεια A_i (βλ. Σχ. 7.20) [MJ/m²]



Σχ. 7.21: Παραμετρική Καμπύλη Θερμοκρασίας Χρόνου για διάφορες τιμές του Πυροθερμικού Φορτίου

7.6.2.5 Ανάπτυξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου

Μη προστατευμένα εσωτερικά δομικά μέλη από αλουμίνιο

Για ισοδύναμη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας στις διατομές, η αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta\theta_{al,t}$ ενός μη προστατευόμενου μέλους από αλουμίνιο κατά τη διάρκεια χρονικού διαστήματος Δt προσδιορίζεται από:

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{1}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_m}{V} \cdot h_{net,d} \cdot \Delta t \quad (6.60)$$

όπου:

c_{al} είναι η ειδική θερμότητα των κραμάτων αλουμινίου που δίνεται από την σχέση (6.18) ($\text{J}/\text{kg} \text{ } ^\circ\text{C}$).

ρ_{al} είναι η πυκνότητα του αλουμινίου (kg/m^3)

A_m/V είναι ο συντελεστής διατομής για μη προστατευόμενα μέλη από αλουμίνιο (m^{-1})

A_m	είναι η το εμβαδόν της εκτιθέμενης επιφάνειας του μέλους ανά μονάδα μήκους του (m^2/m)
V	είναι ο όγκος του μέλους ανά μονάδα μήκους του (m^3/m)
$h_{net,d}$	είναι η τιμή σχεδιασμού για την καθαρή θερμική ροή ανά μονάδα επιφανείας
Δt	είναι το χρονικό διάστημα (sec)

Οι τιμές του $h_{net,d}$ θα πρέπει να λαμβάνονται από το ENV 1991-2-2:1995 (βλ σχέση (6.47)) χρησιμοποιώντας τις τιμές:

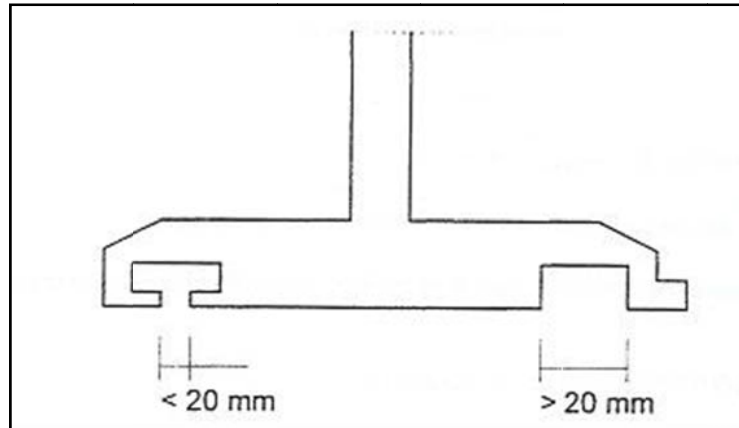
$$\varepsilon_m = 0.3 \text{ για καθαρές ακάλυπτες επιφάνειες.}$$

$$\varepsilon_m = 0.7 \text{ για βαμμένες και καλυμμένες επιφάνειες}$$

Η τιμή του Δt δεν θα έπρεπε να λαμβάνεται μεγαλύτερη από 5 sec.

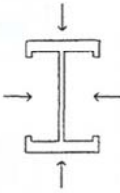
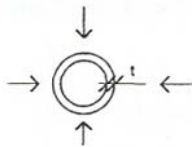
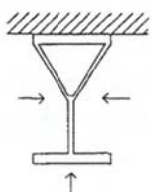
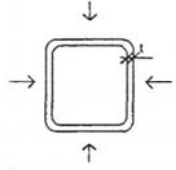
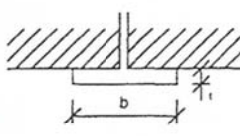
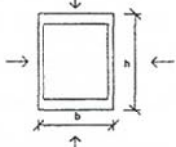
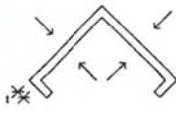
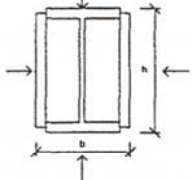
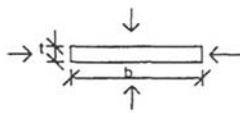
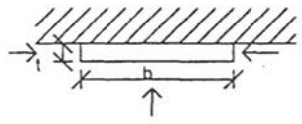
Η τιμή του συντελεστού σχήματος A_m/V δεν θα έπρεπε να λαμβάνεται μικρότερη από $10 m^{-1}$.

Κατά τον προσδιορισμό της εκτιθέμενης επιφάνειας, A_m , αυλακώσεις με άνοιγμα μικρότερο των 20 mm δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτιθέμενη επιφάνεια.(βλ. Σχ. 7.22).



Σχ. 7.22: Αυλακώσεις με άνοιγμα μικρότερο των 20 mm δεν θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτιθέμενη επιφάνεια. Αυλακώσεις με άνοιγμα μεγαλύτερο των 20 mm θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτιθέμενη επιφάνεια.

Ορισμένες από τις τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής διατομής A_m/V για μη προστατευμένα μέλη από αλουμίνιο δίνονται στον ακόλουθο Πίνακα ο οποίος ισχύει και απροστάτευτα μέλη από χάλυβα.

<p>Open section exposed to fire on all sides:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{perimeter}}{\text{cross - section area}}$ 	<p>Tube exposed to fire on all sides:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{1}{t}$ 
<p>Open section exposed to fire on three sides:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{\text{surface exposed to fire}}{\text{cross - section area}}$ 	<p>Hollow section (or welded box section of uniform thickness) exposed to fire on all sides: If $t \ll b$: $A_m/V = 1/t$</p> 
<p>I section flange exposed to fire on three sides:</p> $A_m/V = (b + 2t_f)/(b t_f)$ <p>If $t \ll b$: $A_m/V = 1/t_f$</p> 	<p>Box section exposed to fire on all sides:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{cross - section area}}$ 
<p>Angle (or any open section of uniform thickness) exposed to fire on all sides:</p> $A_m/V = 2/t$ 	<p>I section with box reinforcement, exposed to fire on all sides:</p> $\frac{A_m}{V} = \frac{2(b + h)}{\text{cross - section area}}$ 
<p>Flat bar exposed to fire on all sides:</p> $A_m/V = 2(b + t)/(b t)$ <p>If $t \ll b$: $A_m/V = 2/t$</p> 	<p>Flat bar exposed to fire on three sides:</p> $A_m/V = (b + 2 t)/(b t)$ <p>If $t \ll b$: $A_m/V = 1/t$</p> 

Πίν. 7.6: Συντελεστής διατομής A_m/V για μη προστατευμένα δομικά μέλη από αλουμίνιο για χρήση της μεθόδου συγκεντρωμένων μαζών.

Εσωτερικά μέλη από αλουμίνιο μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς.

Για περίπτωση ομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας στη διατομή, η αύξηση της θερμοκρασίας $\Delta\theta_{al(t)}$, ενός μονωμένου μέλους από χάλυβα κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος Δt θα πρέπει να λαμβάνεται από:

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{\lambda_p / d_p}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1 + \phi/3} \right] (\theta_t - \theta_{al}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{(t)} \quad (6.61)$$

$$\text{με } \Delta\theta_{al(t)} \geq 0 \text{ και } \phi = \frac{c_p \rho_p}{c_{al} \cdot \rho_{al}} d_p \cdot \frac{A_p}{V}$$

όπου:

A_p/V είναι ο συντελεστής διατομής για μέλη από αλουμίνιο μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς (m^{-1})

A_p είναι η το εμβαδόν της εσωτερικής επιφάνειας του υλικού πυροπροστασίας ανά μονάδα μήκους του (m^2/m)

V είναι ο όγκος του μέλους ανά μονάδα μήκους του (m^3/m)

c_{al} είναι η ειδική θερμότητα των κραμάτων αλουμινίου που δίνεται από την σχέση (6.18) ($J/kg \text{ } ^\circ C$).

c_p είναι η ειδική θερμότητα του υλικού πυροπροστασίας ($J/kg \text{ } ^\circ C$).

d_p είναι το πάχος του υλικού πυροπροστασίας (m)

Δt είναι το χρονικό διάστημα (sec)

$\theta_{(t)}$ είναι η θερμοκρασία του περιβάλλοντος το μέλος αέρα στο χρόνο t ($^\circ C$)

$\theta_{al(t)}$ είναι η θερμοκρασία του αλουμινίου στο χρόνο t ($^\circ C$)

$\Delta\theta_{(t)}$ είναι η αύξηση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος το μέλος αέρα κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος Δt ($^\circ C$)

λ_p είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πυροπροστασίας ($W/m \text{ } ^\circ C$)

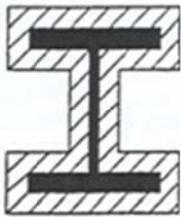
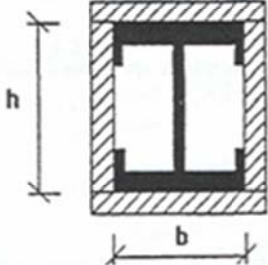
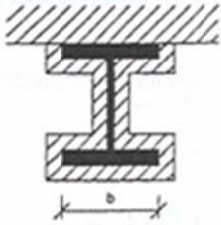
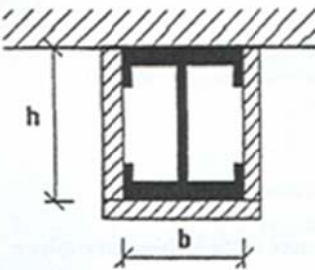
ρ_{al} είναι η πυκνότητα του αλουμινίου (kg/m^3)

ρ_p είναι η πυκνότητα του υλικού πυροπροστασίας (kg/m^3)

Η τιμή του χρονικού διαστήματος Δt δεν πρέπει να λαμβάνεται μεγαλύτερη από 30 δευτερόλεπτα.

Ορισμένες από τις τιμές που λαμβάνει ο συντελεστής διατομής A_m/V για μονωμένα μέλη από αλουμίνιο δίνονται στον Πίν. 7.7 ο οποίος ισχύει και για μονωμένα μέλη από χάλυβα.

Για υλικά πυροπροστασίας που περιέχουν υγρασία ο υπολογισμός της αύξησης θερμοκρασίας $\Delta\theta_{al(t)}$ μπορεί να τροποποιείται προκειμένου να ληφθεί υπόψη μία χρονική καθυστέρηση όταν η θερμοκρασία του αλουμινίου φθάσει τους $100\text{ }^\circ\text{C}$.

Sketch	Description	Section factor (A_m/V)
	Contour encasement of uniform thickness.	$\frac{\text{aluminium perimeter}}{\text{aluminium cross-section area}}$
	Hollow encasement of uniform thickness.	$\frac{2(b + h)}{\text{aluminium cross-section area}}$
	Contour encasement of uniform thickness, exposed to fire on three sides.	$\frac{\text{aluminium perimeter} - b}{\text{aluminium cross-section area}}$
	Hollow encasement of uniform thickness, exposed to fire on three sides.	$\frac{2h + b}{\text{aluminium cross-section area}}$

Πίν. 7.7: Συντελεστής διατομής A_m/V για μονωμένα δομικά μέλη από αλουμίνιο για χρήση της μεθόδου συγκεντρωμένων μαζών.

Εσωτερικές κατασκευές από αλουμίνιο σε χώρο προστατευόμενο από θερμικά διαφράγματα

Οι προβλέψεις που δίδονται στη συνέχεια εφαρμόζονται σε αμφότερες τις ακόλουθες περιπτώσεις:

- μέλη από αλουμίνιο σε χώρο που διαθέτει ένα δάπεδο άνω και οριζόντιο θερμικό διάφραγμα κάτω, και

- μέλη από αλουμίνιο σε χώρο που διαθέτει κατακόρυφα θερμικά διαφράγματα και στις δύο πλευρές του.

Για εσωτερικές κατασκευές από αλουμίνιο προστατευόμενες από θερμικά διαφράγματα, ο υπολογισμός της αύξησης της θερμοκρασίας του αλουμινίου $\Delta\theta_{al}$ πρέπει να βασίζεται σε όποια από τις μεθόδους που περιγράφονται από τις σχέσεις (6.60) και (6.61) θεωρείται καταλληλότερη, θεωρώντας τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος αέρα θ_l ως ίση προς τη θερμοκρασία του αέρα στον προστατευόμενο χώρο.

Οι ιδιότητες και η συμπεριφορά των θερμικών διαφραγμάτων που χρησιμοποιούνται στο σχεδιασμό πρέπει να έχουν προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την καταλληλότερη από τις πειραματικές διαδικασίες που προβλέπουν τα prENV, ENV, prEN και EN.

Η αύξηση της θερμοκρασίας στον προστατευμένο με διαφράγματα χώρο στον οποίο βρίσκονται τα μέλη από αλουμίνιο πρέπει να προσδιορίζεται με μετρήσεις σύμφωνα με το καταλληλότερο από τα prENV, ENV, prEN και EN.

Εξωτερικές κατασκευές από αλουμίνιο

Η θερμοκρασία εξωτερικών κατασκευών από αλουμίνιο θα προσδιορίζεται λαμβάνοντας υπόψη:

- τη ροή θερμότητας λόγω ακτινοβολίας από το πυροδιαμέρισμα,
- τη θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας και λόγω συναγωγής (επαφής) με τις φλόγες που εκπηγάζουν από τα ανοίγματα,
- τις απώλειες θερμότητας από ακτινοβολία και συναγωγή από τη χαλύβδινη κατασκευή προς την περιβάλλουσα ατμόσφαιρα,
- τις θέσεις και τα μεγέθη των δομικών μελών.

Θερμικά διαφράγματα μπορεί να τοποθετούνται σε μία, δύο ή και τις τρεις πλευρές ενός εξωτερικού μέλους από αλουμίνιο ώστε να προστατεύεται από μεταφορά θερμότητας λόγω ακτινοβολίας.

Τα θερμικά διαφράγματα πρέπει να είναι:

- απ' ευθείας συνδεδεμένα επί της πλευράς του μέλους αλουμινίου η οποία επιδιώκεται να προστατευθεί, ή

- με επαρκές πλάτος ώστε να φράσσει πλήρως εκείνη την πλευρά από την οποία αναμένεται θερμική ροή λόγω ακτινοβολίας.

Τα θερμικά διαφράγματα θα πρέπει να διαθέτουν την ακεραιότητα που αντιστοιχεί στην πυραντίσταση που απαιτείται για μέλη από αλουμίνιο.

Η θερμοκρασία εξωτερικής κατασκευής από αλουμίνιο προστατευμένης με θερμικά διαφράγματα θα προσδιορίζεται όπως περιγράφεται στην αρχή αυτής της παραγράφου, υποθέτοντας ότι δεν υπάρχει μεταφορά θερμότητας δια ακτινοβολίας προς εκείνες τις πλευρές που προστατεύονται με διαφράγματα.

Οι υπολογισμοί μπορεί να βασίζονται σε στέρεες συνθήκες που προκύπτουν από μία σταθερή θερμική ισορροπία χρησιμοποιώντας μεθόδους όμοιες με εκείνες που δίδονται που δίδονται στο Παράρτημα Β του ENV 1999-1-2 για το χάλυβα.

Ο σχεδιασμός χρησιμοποιώντας το Παράρτημα Β πρέπει να βασίζεται στο μοντέλο που δίδεται από τον Ευροκώδικα 1: Μέρος 2.2 το οποίο περιγράφει τις συνθήκες του πυροδιαμερίσματος και τις φλόγες που εκπηγάζουν από τα ανοίγματα, με βάση τα οποία υπολογίζονται οι θερμικές ροές από ακτινοβολία και συναγωγή.

Σύγκριση με Χάλυβα

Στην περίπτωση του χάλυβα η πολύ σημαντική παράμετρος της κρίσιμης θερμοκρασίας, θ_{cr} , μπορεί να προσδιορίζεται μέσω της προσεγγιστικής σχέσης που περιγράφεται ακολούθως. Αντίστοιχη σχέση δεν έχει προσδιορισθεί ακόμη για του αλουμίνιο και επομένως, η κρίσιμη θερμοκρασία του αλουμινίου για δεδομένες συνθήκες (δηλ. δεδομένο $k_{0,2,\theta}$) θα προσδιορίζεται από τον Πίν. 7.1.

Η κρίσιμη θερμοκρασία $\theta_{a,cr}$ συνήθων χαλύβων τη χρονική στιγμή t για ένα μέλος με ομοιόμορφη κατανομή θερμοκρασίας μπορεί να προσδιορίζεται συναρτήσει του βαθμού αξιοποίησης μ_0 κατά τη χρονική στιγμή $t=0$, χρησιμοποιώντας τη σχέση:

$$\theta_{a,cr} = 39.19 \ln \left[\frac{1}{0.9674 \mu_0^{3.833}} - 1 \right] + 482 \quad (6.62)$$

Για μέλη με διατομές κατηγορίας 1,2 ή 3 και για όλα τα εφελκόμενα μέλη, ο βαθμός αξιοποίησης μ_0 κατά τη χρονική στιγμή $t=0$ μπορεί να λαμβάνεται από:

$$\mu_0 = E_{f,d} / R_{f,d,0} \quad (6.63)$$

Εναλλακτικά, για εφελκόμενα μέλη και για δοκούς στις οποίες ο στρεπτοκαμπτικός λυγισμός δεν αποτελεί μία δυνατή μορφή αστοχίας, ο μ_0 μπορεί συντηρητικά να λαμβάνεται από:

$$\mu_0 = n_{fi} [\gamma_{M,fi} / \gamma_{M0}] \quad (6.64)$$

όπου ο συντελεστής n_{fi} λαμβάνεται από την παράγραφο 7.4.5.

Στον παρακάτω Πίνακα δίνονται παραδείγματα των τιμών της $\theta_{a,cr}$ για τιμές του μ_0 από 0.22 ως 0.80.

Κρίσιμη Θερμοκρασία Χάλυβα					
μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$	μ_0	$\theta_{a,cr}$
0,22	711	0,42	612	0,62	549
0,24	698	0,44	605	0,64	543
0,26	685	0,46	598	0,66	537
0,28	674	0,48	591	0,68	531
0,30	664	0,50	585	0,70	526
0,32	654	0,52	578	0,72	520
0,34	645	0,54	572	0,74	514
0,36	636	0,56	566	0,76	508
0,38	628	0,58	560	0,78	502
0,40	620	0,60	554	0,80	496

Πίν. 7.8: Κρίσιμη θερμοκρασία $\theta_{a,cr}$ για τιμές του συντελεστή αξιοποίησης μ_0 .

Σημαντικό εργαλείο για το σχεδιασμό είναι και οι Πίνακες των Ευρωπαϊκών Οδηγιών για την Ασφάλεια των Σιδηρών Κατασκευών έναντι Πυρκαγιάς (E.C.C.S), που συνδέουν την κρίσιμη αυτή θερμοκρασία με το διατιθέμενο δείκτη πυραντίστασης (για συγκεκριμένο συντελεστή διατομής). Ένα παράδειγμα φαίνεται ακολούθως:

$\varepsilon_{res} = 0.5$		Συντελεστής Διατομής F/V								
<i>Time t</i> (min)	<i>Gas temp.</i> $\theta_i [^{\circ}C]$	10	20	30	50	100	150	200	250	300
0	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
15	739	95	164	226	333	514	612	664	691	705
30	842	215	367	484	637	781	814	824	829	831
45	902	343	552	682	808	877	888	893	895	396
60	945	467	700	814	897	930	936	939	940	941
75	979	580	809	890	949	967	972	974	975	976
90	1006	673	899	954	985	997	1000	1002	1003	1003

Πίν. 7.9: Μεταβολή της θερμοκρασίας μη μονωμένου μέλους για διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής.

Όσον αφορά το θέμα της ανάπτυξης της θερμοκρασίας του γάλυβα, οι σχέσεις που ισχύουν είναι αντίστοιχες με εκείνες του αλουμινίου, όπως προκύπτει και από τον ακόλουθο Πίνακα όπου έχουν συνοψισθεί:

Ανάπτυξη της Θερμοκρασίας του Χάλυβα

Μη προστατευμένα Εσωτερικά Δομικά Μέλη

Χάλυβας

$$\Delta\theta_{a,t} = k_{sh} \frac{1}{c_a \rho_a} \frac{A_m}{V} h_{net,d} \Delta t$$

Αλουμίνιο

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{1}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_m}{V} \cdot h_{net,d} \cdot \Delta t$$

Σχόλια: Η βασική διαφορά έγκειται στη χρήση του διορθωτικού συντελεστή k_{sh} για την περίπτωση του χάλυβα, ο οποίος χρησιμοποιείται προκειμένου να λαμβάνεται υπόψη η σκίαση που παρέχουν τμήματα της διατομής σε άλλα. Προκύπτει από τα ακόλουθα:

- Για Διατομές διπλού ταν:

$$k_{sh} = 0.9 \left[\frac{A_m}{V} \right]_b / \left[\frac{A_m}{V} \right] \text{ όπου } \left[\frac{A_m}{V} \right]_b \text{ είναι η τιμή του συντελεστή διατομής θεωρώντας}$$

για τον υπολογισμό της A_m το ορθογώνιο που περιβάλλει τη διατομή.

- Για όλες τις άλλες περιπτώσεις:

$$k_{sh} = \left[\frac{A_m}{V} \right]_b / \left[\frac{A_m}{V} \right] \text{ όπου } \left[\frac{A_m}{V} \right]_b \text{ είναι η τιμή του συντελεστή διατομής θεωρώντας για}$$

τον υπολογισμό της A_m το ορθογώνιο που περιβάλλει τη διατομή.

Εναλλακτικά η επιρροή της σκίασης μπορεί να αγνοείται ($k_{sh} = 1.0$), προκειμένου να λαμβάνονται περισσότερο συντηρητικά αποτελέσματα, οπότε οι δύο σχέσεις γίνονται εντελώς όμοιες.

Επιπλέον για τον προσδιορισμό της θερμικής ροής σχεδιασμού $h_{net,d}$, ο κανονισμός προβλέπει:

- για το μεν αλουμίνιο $\epsilon_{res} = 0.8 \times 0.3$ για λείες ακάλυπτες επιφάνειες
- ή $\epsilon_{res} = 0.8 \times 0.7$ για βαμμένες και καλυμμένες επιφάνειες,
- για το δε χάλυβα λαμβάνεται $\epsilon_{res} = 0.5$.

Εσωτερικά μέλη μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς	
Χάλυβας	Αλουμίνιο
$\Delta\theta_{a,t} = \frac{\lambda_p/d_p}{c_a \cdot \rho_a} \cdot \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1+\varphi/3} \right] (\theta_{g,t} - \theta_{a,t}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{g,t}$	$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{\lambda_p/d_p}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1+\varphi/3} \right] (\theta_t - \theta_{al}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{(t)}$
<p>Σχόλια:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Σε αυτήν την περίπτωση οι σχέσεις είναι εντελώς αντίστοιχες. - Ο συντελεστής σχήματος είναι κοινός και για τα δύο υλικά και εξαρτάται από το σχήμα της διατομής. 	
Εσωτερικές κατασκευές σε χώρο προστατευόμενο από θερμικά διαφράγματα & Εξωτερικές κατασκευές	
Χάλυβας	Αλουμίνιο
Και πάλι οι διατάξεις που ισχύουν μεταξύ χάλυβα και αλουμινίου είναι εντελώς αντίστοιχες.	

7.6.3 Γενικές Υπολογιστικές Μέθοδοι

7.6.3.1 Γενικά

Προχωρημένες υπολογιστικές μέθοδοι μπορούν να χρησιμοποιούνται για επί μέρους μέλη, υποσυστήματα ή για ολόκληρη την κατασκευή. Ακόμη μπορούν να εφαρμόζονται για κάθε είδους διατομή.

Οι προχωρημένες υπολογιστικές μέθοδοι πρέπει να παρέχουν μία ρεαλιστική ανάλυση των κατασκευών που εκτίθενται σε πυρκαγιά. Πρέπει να βασίζονται στη θεμελιώδη φυσική συμπεριφορά κατά τέτοιο τρόπο που να οδηγεί σε μια αξιόπιστη προσέγγιση της αναμενόμενης συμπεριφοράς κάθε δομικού στοιχείου υπό συνθήκες πυρκαγιάς.

Οι προχωρημένες υπολογιστικές μέθοδοι πρέπει να περιέχουν χωριστά υπολογιστικά μοντέλα για τον προσδιορισμό:

- της ανάπτυξης και κατανομής της θερμοκρασίας μέσα στα δομικά μέλη (μοντέλο θερμικής απόκρισης),
- της μηχανικής συμπεριφοράς της κατασκευής ή κάθε τμήματός της (μοντέλο μηχανικής απόκρισης).

Κάθε δυνατή μορφή αστοχίας που δεν καλύπτεται από την προχωρημένη υπολογιστική] μέθοδο (περιλαμβανομένων του τοπικού λυγισμού και της αστοχίας από τέμνουσα) πρέπει να αποφεύγεται με κατάλληλα μέσα.

Προχωρημένες υπολογιστικές μέθοδοι μπορεί να χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με κάθε καμπύλη θέρμανσης, υπό την προϋπόθεση ότι οι ιδιότητες των υλικών είναι γνωστές για την αντίστοιχη περιοχή θερμοκρασίας.

Η εγκυρότητα οποιασδήποτε προχωρημένης μεθόδου υπολογισμού θα πρέπει να συμφωνείται μεταξύ του πελάτη, του σχεδιαστή και της αρμόδιας αρχής.

7.6.3.2 Θερμική απόκριση

Οι προχωρημένες μέθοδοι υπολογισμού για τη θερμική απόκριση πρέπει να βασίζονται σε αναγνωρισμένες αρχές και υποθέσεις της θεωρίας μεταφοράς θερμότητας.

Το μοντέλο θερμικής απόκρισης πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- τις σχετικές θερμικές δράσεις που καθορίζονται στο ENV 1991 -2 -2:1995,
- τη μεταβολή των θερμικών ιδιοτήτων του υλικού συναρτήσει της θερμοκρασίας, βλ.

παράγραφο 7.5.3.

Τα αποτελέσματα μη ομοιόμορφης θερμικής έκθεσης και μεταφοράς θερμότητας προς στοιχεία γειτονικών κτιρίων μπορεί να λαμβάνονται υπόψη όπου είναι απαραίτητο.

Η επιρροή κάθε περιεχόμενης υγρασίας και της απομάκρυνσης της από το υλικό προστασίας μπορεί συντηρητικά να αμελείται.

7.6.3.3 Μηχανική απόκριση

Οι προχωρημένες υπολογιστικές μέθοδοι για τη μηχανική απόκριση πρέπει να βασίζονται σε αναγνωρισμένες αρχές και υποθέσεις της μηχανικής, λαμβάνοντας υπόψη τις μεταβολές των μηχανικών ιδιοτήτων με τη θερμοκρασία .

Τα αποτελέσματα λόγω τάσεων και παραμορφώσεων που οφείλονται σε αύξηση της θερμοκρασίας και σε διαφορές θερμοκρασίας, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη.

Όπου είναι απαραίτητο, η μηχανική απόκριση του προσομοιώματος θα πρέπει να λαμβάνει υπόψη:

- την συνδυασμένη επίδραση των μηχανικών δράσεων, γεωμετρικές ατέλειες και θερμικές δράσεις
- τις θερμοκρασιακά εξαρτώμενες μηχανικές ιδιότητες του υλικού
- φαινόμενα γεωμετρικής μη γραμμικότητας
- την επίδραση μη γραμμικών ιδιοτήτων υλικού, συμπεριλαμβανομένου των ευμενών επιδράσεων της φόρτισης και αποφόρτισης στην ακαμψία του υλικού.
- Το θερμικά εξαρτώμενο φαινόμενο του ερπυσμού.

Οι παραμορφώσεις στην οριακή κατάσταση οι οποίες προκύπτουν από την υπολογιστική μέθοδο θα πρέπει να περιορίζονται προκειμένου να εξασφαλίζεται η συμβατότητα μεταξύ των μελών της κατασκευής.

Εφ' όσον απαιτείται, ο σχεδιασμός θα πρέπει να βασίζεται στην οριακή κατάσταση πέρα από την οποία οι υπολογισμένες παραμορφώσεις θα προκαλούσαν αστοχία λόγω απώλειας επαρκούς υποστήριξης σε κάποιο από τα μέλη.

Σύγκριση με Χάλυβα

Για την περίπτωση του χάλυβα οι διατάξεις του Ευρωκώδικα 3, όσον αφορά στα προχωρημένα υπολογιστικά μοντέλα, είναι εντελώς αντίστοιχες με αυτές του αλουμινίου οι οποίες αναφέρθηκαν παραπάνω.

8 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΓΙΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΕΣ ΑΠΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

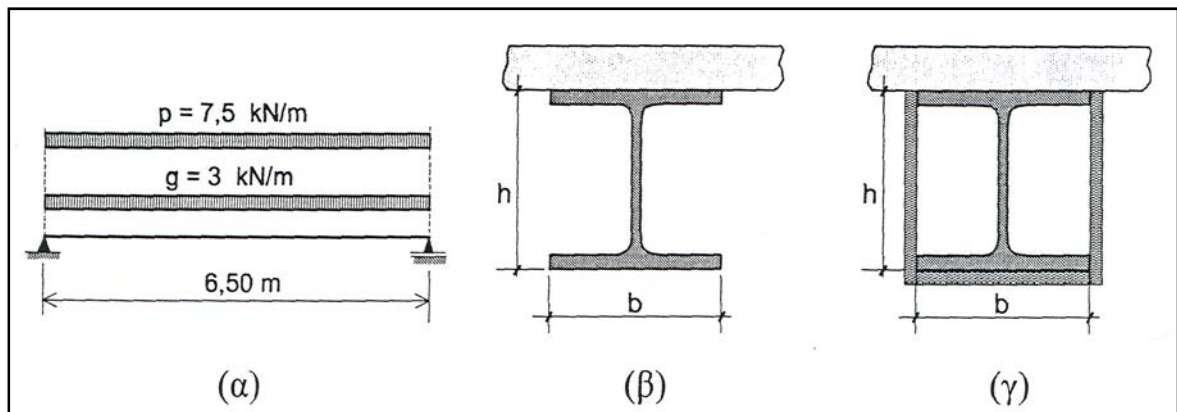
8.1 Σχεδιασμός δοκού έναντι πυρκαγιάς

Η πλευρικά προστατευμένη αμφιέρειστη δοκός του Σχ. 8.1(α), από κράμα αλουμινίου τύπου EN-AW 6061 στην κατάσταση T6, ανοίγματος 6.50 m, με διατομή διπλού ταυ της οποίας τα χαρακτηριστικά δίνονται ακολούθως, ανήκει σε πάτωμα κτιρίου-αποθήκης και υποστηρίζει πλάκα από σκυρόδεμα. Η δοκός καταπονείται από μόνιμα φορτία $g = 3$ kN/m και κινητά $p = 7.5$ kN/m. Ζητείται ο έλεγχος της δοκού έναντι πυρκαγιάς στις περιπτώσεις:

(α) μη μονωμένης δοκού Σχ. 8.1(β),

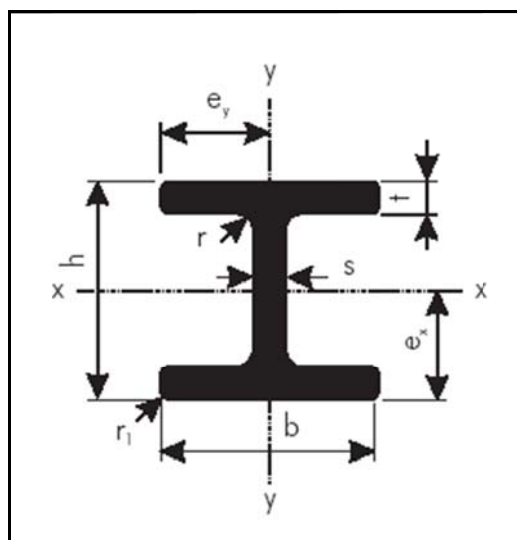
(β) μονωμένης δοκού στις τρεις ελεύθερες όψεις της με πλάκες περλίτη πάχους 50 mm Σχ. 8.1(γ).

Ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης είναι 60 min.



Σχ. 8.1: (α) Στατικό σύστημα – Φόρτιση (β) διατομή μη μονωμένης δοκού (γ) διατομή μονωμένης δοκού

Χρησιμοποιήθηκε διατομή διπλού ταυ με τα ακόλουθα χαρακτηριστικά:



<i>Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής</i>		
Διαστάσεις (mm)	h = 200	b = 200
	s = 15	t = 22
	r = 7.5	
Εμβαδόν	A = 111.4 cm ²	
Πλαστική Ροπή Αντίστασης	W _{pl} = 874 cm ³	
Ροπή Αδράνειας	I = 7480.52 cm ⁴	

Σχ. 8.2: Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής.

Κατάταξη της διατομής

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{240}} = 1.02$$

Κατάταξη πέλματος

Από τον Πίν. 5.16 για εσωτερικά, θερμικά κατεργασμένα στοιχεία, χωρίς συγκόλληση προκύπτει:

$$\beta_1 = 3\varepsilon = 3.06, \beta_2 = 4\varepsilon = 4.08, \beta_3 = 6\varepsilon = 7.70$$

Ακόμη, η παράμετρος λυγηρότητας β δίνεται από τη σχέση $\beta = b/t$ η οποία λαμβάνεται από τον Πίν. 5.15 για στοιχεία με ομοιόμορφη ένταση εφ' όσον έχουμε καθαρή θλίψη. Συνεπώς:

$$\beta = (200 - 15 - 7.5\sqrt{2})/22 = 3.96 \Rightarrow \beta_1 < \beta < \beta_2 \Rightarrow \text{Κατηγορία 2}$$

Κατάταξη κορμού

Από τον Πίν. 5.16 για εσωτερικά, θερμικά κατεργασμένα στοιχεία, χωρίς συγκόλληση προκύπτει:

$$\beta_1 = 11\varepsilon = 11.22, \beta_2 = 13\varepsilon = 13.26, \beta_3 = 22\varepsilon = 22.44$$

Ακόμη, η παράμετρος λυγηρότητας β δίνεται από τη σχέση $\beta = b/t$ η οποία λαμβάνεται από τον Πίν. 5.15 για στοιχεία με ομοιόμορφη ένταση εφ' όσον έχουμε καθαρή θλίψη.

Συνεπώς:

$$\beta = (200 - 2 \cdot 22) / 12 = 10.4 \Rightarrow \beta < \beta_1 \Rightarrow \text{Κατηγορία 1}$$

Τελικά, η διατομή είναι κατηγορίας 2.

8.1.1 Έλεγχος της δοκού σε συνθήκες θερμοκρασίας

- Φορτίο σχεδιασμού

$$q_{Sd} = 1.35 \cdot 3 + 1.50 \cdot 7.5 = 15.3 \text{ kN/m} \quad (7.1)$$

- Δρώσα ροπή

$$M_{Sd} = \frac{1}{8} 15.3 \cdot 6.5^2 = 80.8 \text{ kNm} \quad (7.2)$$

- Αντοχή της δοκού σε κάμψη (διατομή κατηγορίας 1)

Από τον Πίν. 5.4 λαμβάνουμε ότι για διελασμένα προφίλ αλουμινίου με πάχος κορμού $t_w \leq 20 \text{ mm}$ (καθώς $t_w = 15 \text{ mm}$ για τη διατομή που επιλέξαμε), $f_y = f_{0.2} = 240 \text{ MPa}$.

Συνεπώς, σύμφωνα με τη σχέση (4.20):

$$\begin{aligned} M_{c,Rd} &= \alpha W_{el} \cdot f_{0.2} / \gamma_{M1} = W_{pl} \cdot f_{0.2} / \gamma_{M1} = 874 \cdot 24 / 1.1 = 9971 \text{ kNcm} \\ \Rightarrow M_{c,Rd} &= 190.7 \text{ kNm} > M_{Sd} = 80.8 \text{ kNm} \end{aligned} \quad (7.3)$$

Ο επί μέρους συντελεστής ασφαλείας γ_{M1} λαμβάνεται ίσος με 1.10 σύμφωνα με τον Πίν. 5.13.

- Έλεγχος σε διάτμηση

$$\text{Δρώσα τέμνουσα } V_{Sd} = \frac{1}{2} 15.3 \cdot 6.5 = 49.7 \text{ kN}.$$

Η επιφάνεια διάτμησης λαμβάνεται σύμφωνα με την σχέση (4.25):

$$A_V = \sum_1^N [0.8D(t_w)_i - (1 - \rho_{haz})d_z(t_w)_i] \quad (7.4)$$

Καθώς η διατομή δεν είναι συγκολλητή, λαμβάνουμε $\rho_{haz} = 1.0$. Επομένως:

$$A_V = 0.8 \cdot 20 \cdot 1.5 = 24 \text{ cm}^2 \quad (7.5)$$

Αντοχή σε τέμνουσα:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M1}} = \frac{24 \cdot 24}{\sqrt{3} \cdot 1.1} = 302.3 \text{ kN} > V_{Sd} = 17.4 \text{ kN} \quad (7.6)$$

και $V_{Sd} < V_{pl,Rd} / 2 = 151.15 \text{ kN}$, άρα δε χρειάζεται απομείωση της ροπής αντοχής.

- Έλεγχος στην οριακή κατάσταση λειτουργικότητας

$$\delta_{\max} = \frac{5}{384} \frac{(g+q)L^4}{E \cdot I} = \frac{5}{384} \frac{(3+7.5)650^4}{7000 \cdot 7480.52 \cdot 100} \quad (7.7)$$

$$\Rightarrow \delta_{\max} = 4.66 \text{ cm} > L/180 = 3.61 \text{ cm}$$

όπου το E λαμβάνεται από τον Πίν. 7.2 για συνήθη θερμοκρασία (20 °C), ενώ τα όρια L/180 λαμβάνεται από τον Πίν. 5.12, για δοκό η οποία φέρει δάπεδο.

➤ Παρατηρούμε πως ο έλεγχος λειτουργικότητας δεν ικανοποιείται. Στην περίπτωση που το υλικό που είχαμε ήταν χάλυβας ο έλεγχος θα ικανοποιούνταν δεδομένου ότι ο χάλυβας διαθέτει πολύ μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας (210 MPa).

8.1.2 Έλεγχος της δοκού σε συνθήκες φωτιάς. Μη μονωμένη δοκός

Η φωτιά θεωρείται τυχηματική δράση και επομένως το συνυπάρχον με αυτήν εγκάρσιο φορτίο προκύπτει από το συνδυασμό:

$$q_{fi} = \gamma_{G,A} \cdot g + \psi_{11} \cdot p = 1.0 \cdot 3 + 1.0 \cdot 7.5$$

$$\Rightarrow q_{fi} = 10.5 \text{ kN/m} \quad (7.8)$$

Η τιμή $\psi_{11} = 1.0$ ελήφθη από τον ακόλουθο Πίνακα (του Εθνικό Κείμενου Εφαρμογής του Ευρωκώδικα 3) προκειμένου για ωφέλιμα φορτία χώρων αποθήκευσης:

<i>Συντελεστές Συνδυασμού Δράσεων</i>		
Φορτία Χρήσης	Ψ ₀ , Ψ ₁	Ψ ₂
Κατοικίες, γραφεία, καταστήματα, ξενοδοχεία, νοσοκομεία	0.6	0.3
Χώροι συχνής συνάθροισης προσώπων (σχολεία, θέατρα, στάδια κ.λ.π)	0.8	0.5
Χώροι Στάθμευσης	0.9	0.6
Χώροι μακροχρόνιας αποθήκευσης (βιβλιοθήκες, αρχεία αποθήκες, δεξαμενές, σιλό, υδατόπυργοι, κ.τ.λ)	1.0	0.8
Άνεμος (μη βατές στέγες)	0.6	0.0
Χιόνι (μη βατές στέγες)	0.6	0.3
Χιόνι (βατές στέγες)	0.6	0.0

Πίν. 8.1: Συντελεστές Συνδυασμού Δράσεων.

- Δρώσα ροπή σε συνθήκες φωτιάς

$$M_{fi} = \frac{1}{8} 10.5 \cdot 6.5^2 = 55.4 \text{ kNm} \quad (7.9)$$

Η θερμοκρασία αστοχίας (κρίσιμη θερμοκρασία), θα προσδιοριστεί εξισώνοντας την αντοχή της δοκού στη θερμοκρασία αυτή προς τη δρώσα ροπή:

$$M_{fi,t,Rd} = M_{fi} \quad (7.10)$$

όπου η ροπή αντοχής διατομής κατηγορίας 1, για μη ομοιόμορφη κατανομή της θερμοκρασίας, θα πρέπει να λαμβάνεται από τη σχέση:

$$M_{fi,t,Rd} = \sum A_i z_i k_{0.2,\theta,i} f_{0.2} / \gamma_{M,fi} \quad (7.11)$$

Η ίδια σχέση ισχύει και για το χάλυβα, όπου όμως μπορεί να αντικαθίσταται από την προσεγγιστική:

$$M_{\bar{f},t,Rd} = M_{\bar{f},\theta,Rd} / \kappa_1 \kappa_2 \text{ όπου} \quad (7.12)$$

$$M_{\bar{f},\theta,Rd} = k_{y,\theta} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,0}}{\gamma_{M,\bar{f}}} \right]$$

(*) όπου:

- $\kappa_1 = 1$ για δοκό εκτεθειμένη και στις τέσσερις πλευρές της.
- $\kappa_1 = 0,70$ για μία μη προστατευμένη δοκό εκτεθειμένη από τις τρεις πλευρές της με μία σύμμικτη ή από σκυρόδεμα πλάκα στην τέταρτη πλευρά.
- $\kappa_1 = 0,85$ για μία προστατευμένη δοκό εκτεθειμένη από τις τρεις πλευρές της με μία πλάκα από σκυρόδεμα στην τέταρτη πλευρά.
- $\kappa_2 = 0,85$ για τις στηρίξεις μίας στατικά αόριστης δοκού
- $\kappa_2 = 1,00$ για όλες τις άλλες περιπτώσεις

Δεδομένου ότι τα κ_1, κ_2 δεν εξαρτώνται από το υλικό αλλά από τις συνθήκες περιορισμού της δοκού, κάνουμε τη θεώρηση πως η ίδια σχέση μπορεί να εφαρμοσθεί και για το αλουμίνιο.

Συνεπώς,

$$M_{\bar{f},t,Rd} = k_{0,2,\theta} M_{Rd} \left[\frac{\gamma_{M,1}}{\gamma_{M,\bar{f}}} \right] / \kappa_1 \kappa_2 \Rightarrow$$

$$M_{\bar{f},t,Rd} = k_{0,2,\theta} 190.7 \left[\frac{1.10}{1.00} \right] / 0.70 \cdot 1.0 \quad (7.13)$$

$$\Rightarrow M_{\bar{f},t,Rd} = k_{0,2,\theta} 299.67$$

$\kappa_1 = 0.70$, επειδή η δοκός εκτίθεται στη φωτιά από τρεις πλευρές της.

$\kappa_2 = 1.00$, επειδή η δοκός είναι ισοστατική.

Τελικώς η εξίσωση ροπών (7.10) γράφεται:

$$55.4 = k_{0,2,\theta} 299.67 \Rightarrow$$

$$k_{0,2,\theta} = 0.185 \quad (7.14)$$

Από τον Πίν. 7.1 (Πίνακας 3.1 του ΕΛΟΤ ENV 1999-1-2:1998) προκύπτει με γραμμική παρεμβολή (για EN-AW 6061):

$$\theta_{al,cr} = 330.7^\circ C.$$

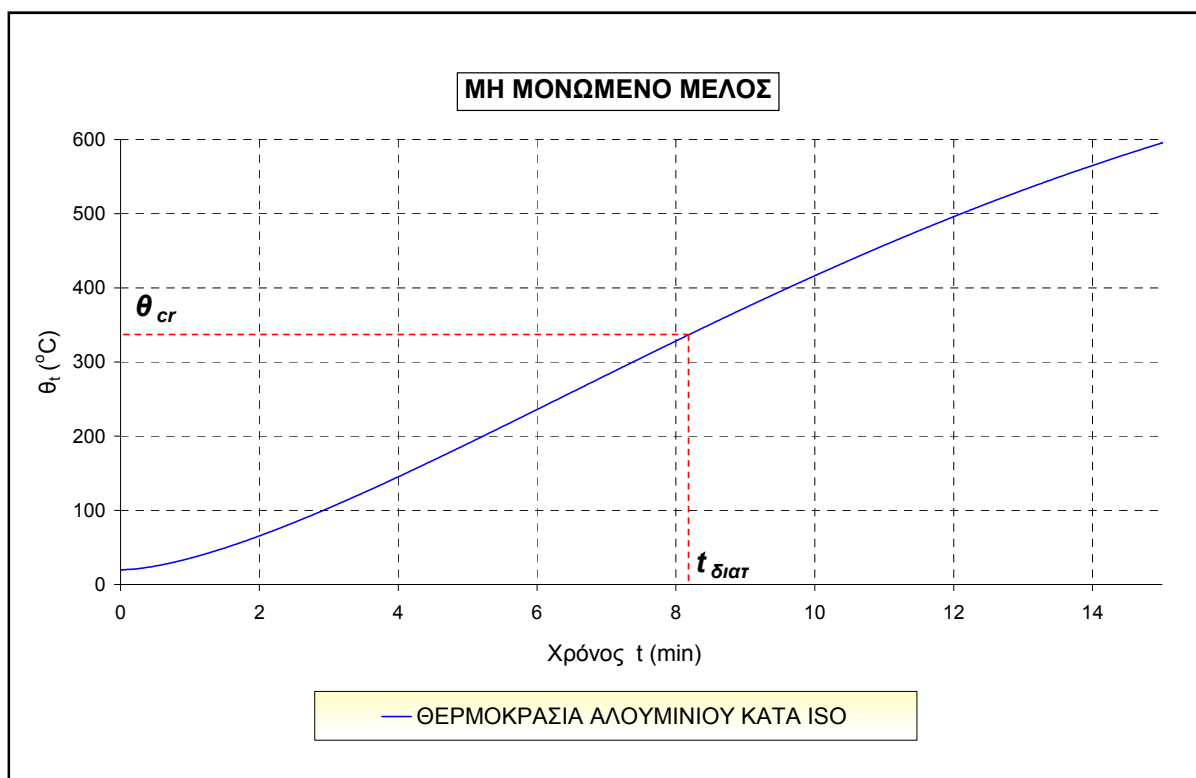
Περίμετρος διατομής σε επαφή με τον αέρα: $S \approx (2h + b + 2(b - s)) \Rightarrow S \approx 97.0 \text{ cm}$

Συντελεστής διατομής (επιφάνεια μέλους, ανά μονάδα μήκους του, σε επαφή με τον αέρα προς τον αντίστοιχο όγκο του μέλους):

$$\frac{A_m}{V} = \frac{S \cdot 100}{A} = \frac{97.0 \cdot 100}{111.4} \Rightarrow \frac{A_m}{V} = 87.07 \text{ m}^{-1} \quad (7.15)$$

Μέσω της καμπύλης του επόμενου σχήματος η οποία δίνει την εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο διαπιστώνουμε ο διατιθέμενος δείκτης πυραντίστασης ισούται με:

$$t_{\text{διατ}} = 8.03 \text{ min}$$



Σχ. 8.3: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά ISO).

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιείται ο ακόλουθος Πίνακας (ο οποίος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του Excel). Το πλεονέκτημα του Πίνακα είναι ότι μέσω γραμμικής παρεμβολής μπορεί να εφαρμόζεται για διάφορους συντελεστές Διατομής A_m/V . Βεβαίως, η γραμμική παρεμβολή παρέχει μικρότερη ακρίβεια σε σχέση με το γράφημα.

Χρόνος t (min)	Θερμοκρ. αέρα, θ_g (°C)	Συντελεστής Διατομής A_m/V (m^{-1})				
		50	100	150	200	250
0	20	20	20	20	20	20
5	576	124	211	282	340	387
10	678	284	451	548	601	629
15	738	444	626	-	-	-
20	781	581	-	-	-	-

Πίν. 8.2: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά ISO) και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής μη μονωμένου μέλους.

Για τον τρόπο με τον οποίο ο παραπάνω πίνακας, όπως επίσης και το γράφημα, μπορούν να διαμορφωθούν βλέπε και σχετική δεύτερη παρατήρηση του παρόντος παραδείγματος.

Ο διατιθέμενος αυτός δείκτης είναι ανεπαρκής (βλέπε και τρίτη παρατήρηση παραδείγματος), επειδή $t_{act} = 60 \text{ min} > t_{dact} = 8.03 \text{ min}$.

8.1.3 Έλεγχος της δοκού σε συνθήκες φωτιάς. Μονωμένη δοκός

Η κρίσιμη θερμοκρασία του χάλυβα προσδιορίζεται σύμφωνα τη μέθοδο που παρουσιάστηκε στην παράγραφο 8.1.2 του παρόντος παραδείγματος

$$\rightarrow \theta_{al,cr} = 330.7^\circ\text{C}$$

Συντελεστής διατομής

$$\frac{A_p}{V} = \frac{S_{\mu\omega\nu}}{A} = \frac{(2 \cdot 20 + 20)100}{55.92} \Rightarrow \frac{A_p}{V} = 107.3 \text{ m}^{-1} \quad (7.16)$$

Συντελεστής μονωτικού υλικού:

πάχος υλικού: $d = 50 \text{ mm} = 0.05 \text{ m}$

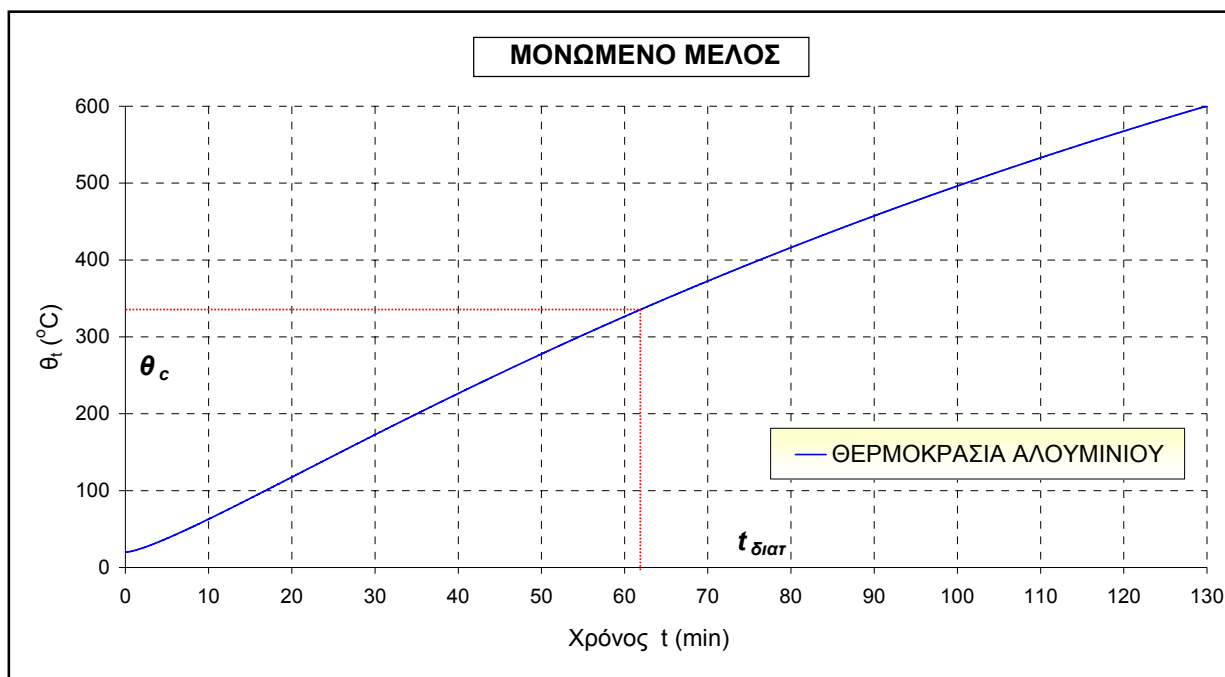
Συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας υλικού: $\lambda = 0.15 \text{ W/mK}$ (βλ. Παράρτημα), οπότε:

$$d/\lambda = 0.30$$

Από γράφημα αντίστοιχο με εκείνο που κατασκευάστηκε στην περίπτωση του μη μονωμένου υλικού, για λόγο $d/\lambda = 0.30$, προκύπτει ο διατιθέμενος δείκτης πυραντίστασης:

$$t_{\text{διατ}} = 60.83 \text{ min}$$

Ο δείκτης αυτός είναι αποδεκτός ($>60 \text{ min}$).



Σχ. 8.4: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά ISO).

Εναλλακτικά, μπορεί να χρησιμοποιείται ο ακόλουθος Πίνακας (ο οποίος κατασκευάστηκε με τη βοήθεια του Excel).

$d/\lambda = 0.30$		Συντελεστής Διατομής A_p/V (m^{-1})			
Χρόνος t (min)	Θερμοκρ. αέρα, θ_g	50	100	150	200
0	20	20	20	20	20
5	576	28	37	45	53
10	678	40	60	79	97
15	738	54	85	115	143
20	781	68	111	151	188
25	815	82	138	187	232
30	842	97	164	223	275
40	885	126	215	290	354
50	918	155	264	352	425
75	979	227	376	488	575
100	1022	295	475	601	-
140	1072	395	608	-	-
180	1110	484	-	-	-

Πίν. 8.3: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά ISO) και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής μονωμένου μέλους.

Πληροφορίες για τον υπολογισμό της αύξησης της θερμοκρασίας των μονωμένων μελών από αλουμίνιο δίδονται στην παρατήρηση 4 του παρόντος παραδείγματος.

8.1.4 Παρατηρήσεις

1. Η ροπή αντοχής σε θερμοκρασία θ (εξίσωση (7.12)) μπορεί συντηρητικότερα να υπολογιστεί αμελούμενης της επιρροής της ανομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας στην επιφάνεια κάθε διατομής (που λαμβάνεται υπόψη μέσω του συντελεστή κ_1) και της ανομοιόμορφης κατανομής της θερμοκρασίας κατά μήκος του φορέα (συντελεστής κ_2) λαμβάνοντας $\kappa_1 = \kappa_2 = 1.0$. Στις τιμές αυτές αντιστοιχεί η υπόθεση ενιαίας θερμοκρασίας σε όλες τις διατομές του μεταλλικού φορέα και όλα τα σημεία κάθε διατομής του. Στην περίπτωση αυτή ο υπολογισμός της παραγράφου 2 μεταβάλλεται ως εξής:

$$55.4 = k_{0,2,\theta} 299.67 \Rightarrow$$

$$k_{0,2,\theta} = 0.264 \quad (7.17)$$

Από τον Πίν. 7.1 (Πίνακας 3.1 του ΕΛΟΤ ENV 1999–1–2:1998) προκύπτει με γραμμική παρεμβολή: $\theta_{al,cr} = 312.7 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ο δείκτης πυραντίστασης προσδιορίζεται τότε σε $t = 7.65 \text{ min}$ (σε σχέση με το δείκτη $t = 8.03 \text{ min}$ που προσδιορίστηκε στην παράγραφο 8.1.2).

Για την περίπτωση του μονωμένου μέλους της παραγράφου 4 η παραπάνω κρίσιμη θερμοκρασία οδηγεί σε δείκτη πυραντίστασης $t = 57.12 \text{ min}$ (έναντι 60.83 min). Αν και τα δύο αποτελέσματα είναι συγκρίσιμα το δεύτερο οδηγεί σε οριακά μη αποδεκτό διάστημα πυραντίστασης.

2. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του αλουμινίου συναρτήσει του χρόνου, προκειμένου για μη μονωμένα μέλη, προσδιορίζεται από την εξίσωση (6.60) του κεφαλαίου 0:

$$\Delta\theta_{al(t)} = \frac{1}{c_{al} \cdot \rho_{al}} \cdot \frac{A_m}{V} \cdot h_{net,d} \cdot \Delta t$$

όπου:

c_{al} είναι η ειδική θερμότητα των κραμάτων αλουμινίου που δίνεται από την σχέση (6.18) ($\text{J/kg } ^\circ\text{C}$).

ρ_{al} είναι η πυκνότητα του αλουμινίου $= 2700 \text{ kg/m}^3$

A_m/V είναι ο συντελεστής διατομής για μη προστατευόμενα μέλη από αλουμίνιο ($= 177 \text{ m}^{-1}$ εν προκειμένω)

Δt είναι το χρονικό διάστημα που λήφθηκε ίσο με $1 \text{ sec} < 5 \text{ sec}$.

$h_{net,d}$ είναι η τιμή σχεδιασμού για την καθαρή θερμική ροή ανά μονάδα επιφανείας

Οι τιμές του $h_{net,d}$ θα πρέπει να λαμβάνονται από τη σχέση (6.47) χρησιμοποιώντας τις τιμές: $\epsilon_m = 0.3$ (για καθαρές ακάλυπτες επιφάνειες), $\epsilon_{res} = 0.8 * 0.3$ και $\Phi = 1.0$:

$$h_{net,d} = h_{net,c} + h_{net,r} \quad (7.18)$$

όπου:

$$h_{\text{net,c}} = \alpha_c (\theta_g - \theta_m) \quad [\text{W/m}^2]$$

&

$$h_{\text{net,r}} = 0.3 * 0.8 * 5.67 \cdot 10^{-8} [(\theta_r + 273)^4 - (\theta_m + 273)^4] \quad [\text{W/m}^2]$$

Ο συντελεστής μεταφοράς θερμότητας δια συναγωγής α_c λαμβάνεται ίσος με 25 W/m²K.

Η θερμοκρασία θ_r του ακτινοβολούντος περιβάλλοντος μπορεί να λαμβάνεται ίση με τη θερμοκρασία θ_g του αέρα, ενώ θ_m είναι η θερμοκρασία της επιφάνειας του μέλους.

Ως συνάρτηση θερμοκρασίας-χρόνου (θ_g -t) για τον αέρα του πυροδιαμερίσματος λήφθηκε η πρότυπη καμπύλη του Διεθνούς Οργανισμού Προτυποποίησης (βλ. Σχ. 7.17):

$$\theta_g = 20 + 345 \log_{10} (8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Εάν υπάρχουν ειδικότερα δεδομένα για το πυροδιαμέρισμα αναφοράς (συνθήκες αερισμού, πυκνότητα του πυρο-θερμικού φορτίου, μονωτική ικανότητα του περιβλήματος), επιτρέπεται να χρησιμοποιούνται ακριβέστερες συναρτήσεις θ_g -t (παραμετρικές συναρτήσεις) όπως αυτές του Σχ. 7.21.

Ο υπολογισμός πραγματοποιήθηκε με βάση τις παραπάνω σχέσεις, μέσω κατάλληλης εφαρμογής σε περιβάλλον Excel.

3. Οι απαιτούμενες κατά περίπτωση ελάχιστες τιμές του διατιθέμενου δείκτη πυραντίστασης καθορίζονται στο Προεδρικό Διάταγμα 71/88. Ειδικότερα, προκειμένου για βιομηχανικά κτίρια και αποθήκες ισχύουν οι καθοριζόμενες στον πίνακα ??? του Παραρτήματος τιμές, λαμβανομένων υπ όψη τόσο της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου όσο και της τυχόν ύπαρξης καταιονιστήρων.

4. Η μεταβολή της θερμοκρασίας του χάλυβα συναρτήσει του χρόνου, προκειμένου για μονωμένα μέλη, προσδιορίζεται από την εξίσωση (6.61), του κεφαλαίου 0:

$$\Delta\theta_{\text{al}(t)} = \frac{\lambda_p / d_p}{c_{\text{al}} \cdot \rho_{\text{al}}} \cdot \frac{A_p}{V} \left[\frac{1}{1 + \phi/3} \right] (\theta_t - \theta_{\text{al}}) \Delta t - (e^{\phi/10} - 1) \Delta\theta_{(t)}$$

$$\text{με } \Delta\theta_{\text{al}(t)} \geq 0 \text{ και } \phi = \frac{c_p \rho_p}{c_{\text{al}} \cdot \rho_{\text{al}}} d_p \cdot \frac{A_p}{V}$$

Στο πρόγραμμα απλοποιητικά χρησιμοποιήθηκε η προσεγγιστική σχέση:

$$\Delta\theta_{\text{al}(t)} = \frac{\lambda_p / d_p}{c_{\text{al}} \cdot \rho_{\text{al}}} \cdot \frac{A_p}{V} (\theta_g - \theta_{\text{al}}) \Delta t \quad (7.19)$$

Η παραπάνω σχέση χρησιμοποιείται και από τους Πίνακες Συστάσεων της E.C.C.S για την περίπτωση του χάλυβα και είναι ανεξάρτητη της ειδικής θερμότητας του μονωτικού υλικού. Για τους συντελεστές της άνω σχέσης έχουμε:

A_p/V είναι ο συντελεστής διατομής για μέλη από αλουμίνιο μονωμένα με υλικά προστασίας έναντι πυρκαγιάς, $=107.3 \text{ m}^{-1}$ στην συγκεκριμένη περίπτωση.

Δt είναι το χρονικό διάστημα που λήφθηκε $= 1 \text{ sec} < 30 \text{ sec}$

λ_p είναι η θερμική αγωγιμότητα του υλικού πυροπροστασίας $= 0.25 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$

ρ_p είναι η πυκνότητα του υλικού πυροπροστασίας $= 120 \text{ kg/m}^3$

Για τη μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα ισχύει ότι υποτέθηκε στην παρατήρηση 2.

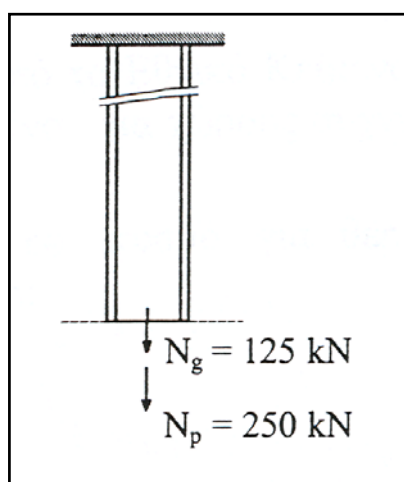
Σημείωση: Και στις δύο περιπτώσεις (μονωμένου και μη μονωμένου μέλους) η επαυξητική διαδικασία διακόπτεται για $\theta > 550$ με 600°C , όπου και χάνει την αντοχή του το αλουμίνιο.

8.2 Σχεδιασμός εφελκυόμενης ράβδου έναντι πυρκαγιάς με χρησιμοποίηση των παραμετρικών εξισώσεων θερμοκρασίας - χρόνου

Μεταλλικός αναρτήρας μεσοπατώματος, που ανήκει σε χώρο συχνής συνάθροισης προσώπων, από από κράμα αλουμινίου τύπου EN-AW 6061 στην κατάσταση T6, με διατομή διπλού ταυ της οποίας τα χαρακτηριστικά δίνονται ακολούθως, καταπονείται σε εφελκυσμό από μόνιμα φορτία $N_g = 125$ kN και κινητά $N_p = 250$ kN. Ζητείται να εξεταστεί η επάρκεια του αναρτήρα σε συνθήκες πυρκαγιάς, τόσο για περίπτωση μή μονωμένου μέλους όσο και για περίπτωση μέλους μονωμένου με πλάκες ορυκτοβάμβακα πάχους 50 mm, εάν ο απαιτούμενος δείκτης πυραντίστασης είναι 30 min.

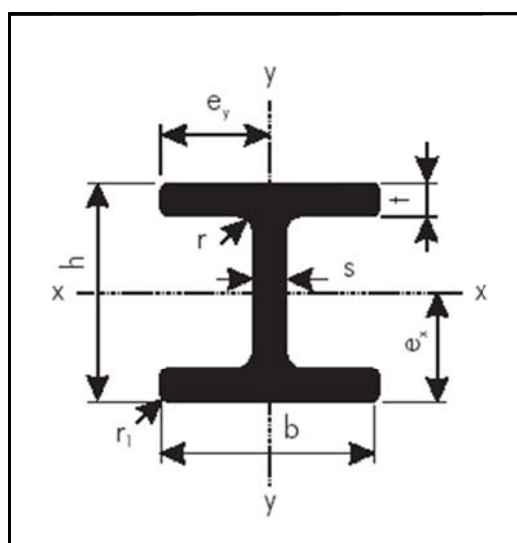
Να εξεταστούν οι εξής δύο περιπτώσεις:

α) Χρησιμοποίηση της πρότυπης καμπύλης ISO θ_g-t (Διεθνής Οργανισμός Προτυποποίησης) και β) χρησιμοποίηση παραμετρικής καμπύλης θ_g-t αντιστοιχούσης στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος στο οποίο ο αναρτήρας ανήκει, δηλαδή: συντελεστής αερισμού $O = 0.08$, πυκνότητα πυρο-θερμικού φορτίου $q_{td} = 400$ MJ/m², συντελεστής μονωτικής ικανότητας περιβλήματος $b = 1500$ J/m²sec^{1/2}K.



Σχ. 8.5: Αναρτήρας μεσοπατώματος υποκείμενος σε εφελκυσμό από μόνιμα N_g και κινητά N_p φορτία

Χρησιμοποιήθηκε η διατομή διπλού ταυ Νο 6370 του καταλόγου της σελίδας 362, της οποίας τα χαρακτηριστικά εικονίζονται στο επόμενο σχήμα:



<i>Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής</i>		
Διαστάσεις (mm)	h = 152	b = 160
	s = 6	t = 9
	r = 15	
Εμβαδόν	A = 36,84 cm ²	
Πλαστική Ροπή Αντίστασης	W _{pl} = 233 cm ³	
Ροπή αδράνειας	I = 1594.6 cm ⁴	

Σχ. 8.6: Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής.

8.2.1 Έλεγχος του αναρτήρα σε συνήθεις συνθήκες θερμοκρασίας

- Εφελκυστικό φορτίο σχεδιασμού

$$N_{t,Sd} = 1.35N_g + 1.50N_p = 1.35 \cdot 125 + 1.50 \cdot 250 = 543.8 \text{ kN} \quad (7.20)$$

- Η αντοχή σχεδιασμού σε εφελκυσμό λαμβάνεται από τη σχέση (4.39) του 4^{ου} κεφαλαίου:

$$N_{t,Rd} = A_g f_y / \gamma_{M1} = 36.84 \cdot 24 / 1.1 = 803.8 \text{ kN} > N_{t,Sd} = 543.8 \text{ kN} \quad (7.21)$$

όπου $A_g = A$, αφού δεν έχουμε Ζώνη Θερμικής Επιρροής λόγω συγκόλλησης.

8.2.2 Έλεγχος αναρτήρα έναντι πυρκαγιάς. Μη μονωμένος αναρτήρας

Προσδιορισμός θερμοκρασίας αστοχίας (κρίσιμης θερμοκρασίας)

- Αξονικό φορτίο σε συνθήκες πυρκαγιάς

$$N_{t,fi,Sd} = \gamma_{G,A} N_g + \psi_{11} N_p = 1.00 \cdot 125 + 0.80 \cdot 250 = 325 \text{ kN} \quad (7.22)$$

Η τιμή $\psi_{11} = 0.8$ ελήφθη από τον Πίν. 8.1 προκειμένου για χώρους συχνής συνάθροισης προσώπων.

Η αντοχή σχεδιασμού σε εφελκυσμό, για θερμοκρασία θ , προσδιορίζεται από τη σχέση (6.35) του κεφαλαίου 0:

$$\begin{aligned} N_{fi,\theta,Rd} &= k_{0,2,\theta} N_{Rd} (\gamma_{M1} / \gamma_{M,fi}) = k_{0,2,\theta} 803.8 (1.1 / 1.0) \\ &\Rightarrow N_{fi,\theta,Rd} = k_{0,2,\theta} 884.18 \end{aligned} \quad (7.23)$$

όπου $N_{Rd} = N_{t,Rd}$.

Η θερμοκρασία αστοχίας θα προσδιοριστεί εξισώνοντας την αντοχή $N_{fi,\theta,Rd}$ με το αξονικό φορτίο $N_{t,fi,Sd}$. Είναι:

$$\begin{aligned} N_{t,fi,Sd} = N_{fi,\theta,Rd} &\Rightarrow 325 = k_{0,2,\theta} 884.18 \\ &\Rightarrow k_{0,2,\theta} = 0.368 \end{aligned} \quad (7.24)$$

(δηλαδή η τάση διαρροής είναι $k_{0,2,\theta} \cdot f_y = 0.368 \cdot 24 = 8.82 \text{ kN/cm}^2$)

Από τον Πίν. 7.1 (Πίνακας 3.1 του ΕΛΟΤ ENV 1999–1–2:1998) προκύπτει με γραμμική παρεμβολή (για EN-AW 6061):

$$\theta_{al,cr} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$$

Προσδιορισμός δείκτη πυραντίστασης με βάση την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου

Περίμετρος διατομής σε επαφή με τον αέρα: $S = 94.31 \text{ cm}$.

Εμβαδόν διατομής: $A = 36.84 \text{ cm}^2$

Επιφάνεια αναρτήρα σε επαφή με τον αέρα ανά μέτρο μήκους του: $A_m = 94.31 \cdot 100 \rightarrow A_m = 9431 \text{ cm}^2$

Αντίστοιχος όγκος υλικού: $V = 36.84 \cdot 100 = 3684 \text{ cm}^3$.

Συντελεστής διατομής:

$$\frac{A_m}{V} = \frac{9431}{3684} \Rightarrow \frac{A_m}{V} = 256 \text{ m}^{-1} \quad (7.25)$$

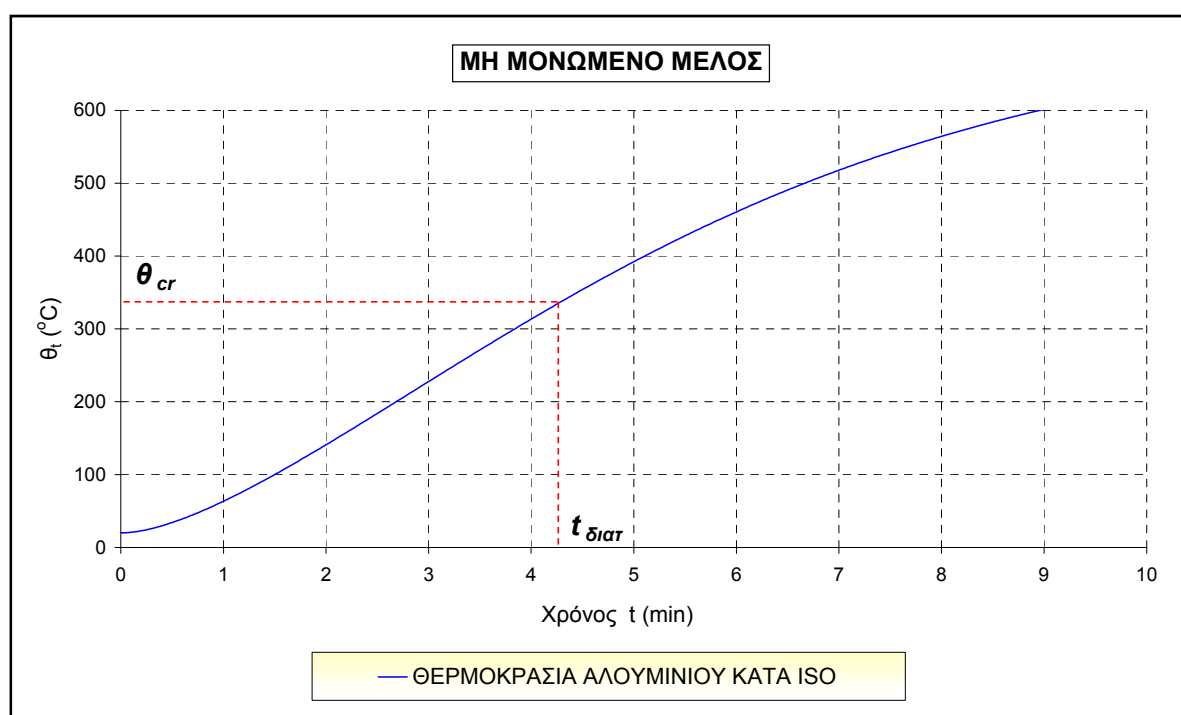
Μέσω του προγράμματος που χρησιμοποιήθηκε και στην 1^η Εφαρμογή βρίσκουμε πως ο διατιθέμενος δείκτης πυραντίστασης ισούται με:

$$t_{\text{διατ}} = 4.35 \text{ min}$$

Ο χρόνος αυτός δεν είναι αποδεκτός αφού είναι μικρότερος από το απαιτούμενο διάστημα πυραντίστασης: $t_{\text{απ}} = 30 \text{ min}$.

Ο δείκτης αυτός μπορεί προσεγγιστικά να ληφθεί και από τον Πίν. 8.2 για $\frac{A_m}{V} \approx 250 \text{ m}^{-1}$

. Το αντίστοιχο γράφημα παρουσιάζεται ακολούθως:



Σχ. 8.7: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά ISO).

Προσδιορισμός δείκτη πυραντίστασης με βάση παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου

Η παραμετρική καμπύλη θα προκύψει από τη γενική εξίσωση (6.56) λαμβανομένων υπόψη των ειδικών χαρακτηριστικών του πυροδιαμερίσματος μέσα στο οποίο βρίσκεται ο αναρτήρας και τα οποία δίνονται στην εκφώνηση του παραδείγματος.

Ο ανοδικός κλάδος της παραμετρικής καμπύλης θερμοκρασίας-χρόνου επομένως δίδεται από την εξίσωση:

$$\theta_g = 20 + 1325 \left(1 - 0.324e^{-0.2t^*} - 0.204e^{-1.7t^*} - 0.472e^{-19t^*} \right) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (7.26)$$

όπου:

θ_g η θερμοκρασία του αέρα του πυροδιαμερίσματος $[^{\circ}\text{C}]$

t^* $= t \times \Gamma$ $[\text{h}]$

$$\Gamma = \frac{[O/b]^2}{(0.04/1160)^2} = \frac{[0.08/1500]^2}{(0.04/1160)^2} = 2.392$$

Η μέγιστη θερμοκρασία (πέρας του ανοδικού κλάδου) πραγματοποιείται τη χρονική στιγμή (σε ώρες):

$$t_d^* = 0.13 \cdot 10^{-3} q_{t,d} \cdot \Gamma / O$$

δηλαδή, $t_d^* = 0.13 \cdot 10^{-3} 400 \cdot 2.392 / 0.08 = 1.555 \text{ h}$ ή σε απόλυτο χρόνο: $t_d = 1.555 \cdot 60 / 2.392 = 39 \text{ min}$ και έχει την τιμή:

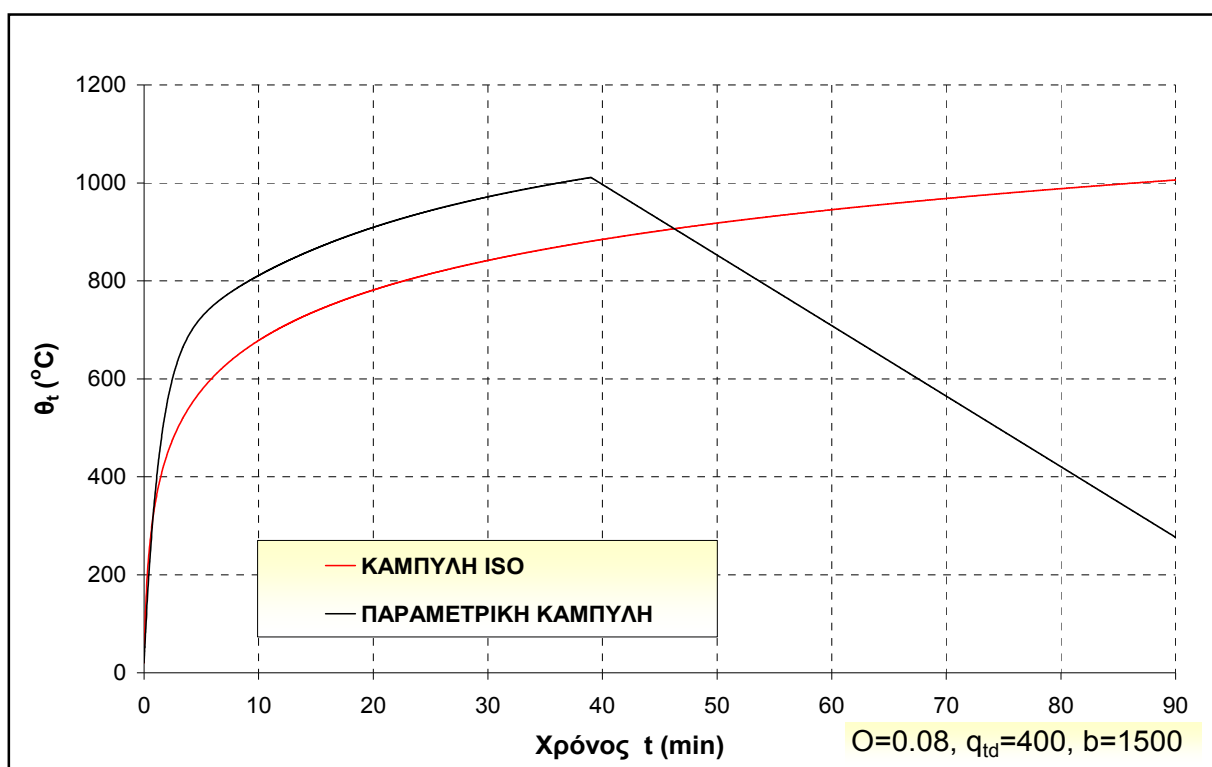
$$\theta_{max} = 1011,2^{\circ}\text{C}$$

Επειδή $0.5 < t_d^* = 1.555 < 2$, ο καθοδικός κλάδος της παραμετρικής καμπύλης θερμοκρασίας – χρόνου δίδεται από την εξίσωση:

$$\begin{aligned} \theta_g &= \theta_{max} - 250(3 - t_d^*)(t^* - t_d^*) \Rightarrow \\ \theta_g &= 1011 - 250(3 - 1.555)(t^* - 1.555) \end{aligned} \quad (7.27)$$

Στο Σχ. 8.8 παρουσιάζονται προς σύγκριση η πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας – χρόνου του ISO και η παραμετρική καμπύλη που αντιστοιχεί στα ειδικά δεδομένα του πυροδιαμερίσματος.

Εισάγοντας τη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα στο πυροδιαμέρισμα, όπως αυτή ορίζεται από τις δύο παραπάνω εξισώσεις (ανοδικός και καθοδικός κλάδος), μπορεί να προσδιοριστεί, με βάση τις γενικές εξισώσεις της δεύτερης παρατήρησης της 1^{ης} Εφαρμογής, η θερμοκρασία του χάλυβα (αναλόγως της τιμής του συντελεστή διατομής) για δεδομένη χρονική στιγμή.



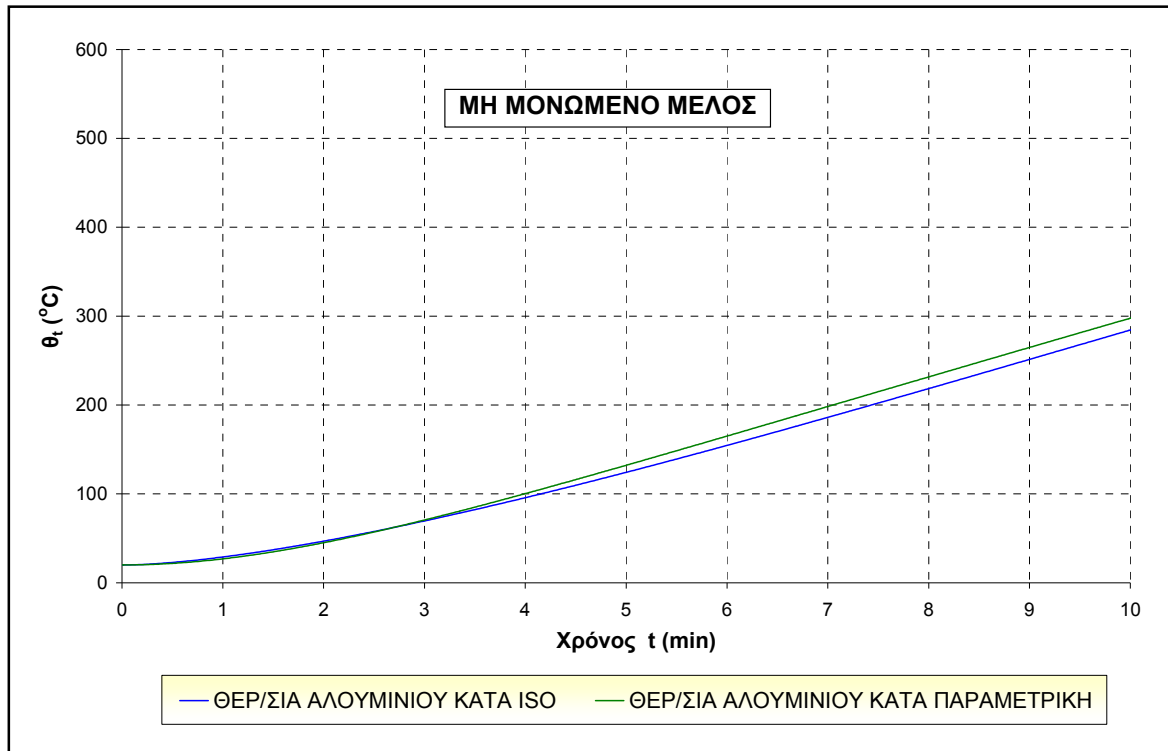
Σχ. 8.8: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αέρα στο πυροδιαμέρισμα α) με βάση την πρότυπη καμπύλη (ISO), β) με βάση την παραμετρική καμπύλη που αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου πυροδιαμερίσματος.

Για τη συγκεκριμένη περίπτωση του παραδείγματος (συντελεστής διατομής $A_m/V = 256$) προσδιορίζεται μέσω της αναπτυχθείσας εφαρμογής σε Excel, ότι η κρίσιμη θερμοκρασία $\theta_{cr} = 342$ °C αντιστοιχεί σε χρόνο:

$$t_{\text{διατ}} = 4.00 \text{ min}$$

Ο χρόνος αυτός είναι συγκρίσιμος με το δείκτη $t = 4.35 \text{ min}$ που προσδιορίστηκε με βάση την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου, ο οποίος δεν είναι επίσης αποδεκτός.

Στο επόμενο γράφημα δείχνεται η ανάπτυξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου σύμφωνα τις δύο παραπάνω μεθόδους:



Σχ. 8.9: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος.

Πινακοποιημένες θερμοκρασίες του αλουμινίου, φαίνονται στον Πίν. 8.4 για διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής ($O=0.08$, $q_{td}=400$, $b=1500$).

Χρόνος t (min)	Θερμοκρ. αέρα, θ_g ($^{\circ}\text{C}$)	Συντελεστής Διατομής $A_m/V(m^{-1})$				
		50	100	150	200	250
0	20	20	20	20	20	20
2	549	45	69	91	113	133
4	693	100	171	233	288	337
6	749	165	283	378	455	516
8	784	232	389	504	586	644
10	811	297	484	606	-	-
12	835	362	569	-	-	-
15	866	455	-	-	-	-

Πίν. 8.4: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά την παραμετρική καμπύλη) και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής του μη μονωμένου μέλους.

8.2.3 Έλεγχος αναρτήρα έναντι πυρκαγιάς. Μονωμένος αναρτήρας

Γενικά

Χρησιμοποιούνται για την προστασία του αλουμινίου τα εξής χαρακτηριστικά μονώσεως: πάχος μονωτικού υλικού = 50 mm = 0,05 m και συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας του ορυκτοβάμβακα: $\lambda = 0,25 \text{ W/mK}$ (βλ. ???, Παράρτημα), οπότε $d/\lambda = 0,20$. Η τιμή της κρίσιμης θερμοκρασίας παραμένει όπως και στην προηγούμενη περίπτωση $\theta_{cr} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$.

Προσδιορισμός του δείκτη πυραντίστασης με βάση την πρότυπη καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου

- Συντελεστής διατομής

$$A_p/V = 2 \cdot (15.2 + 16.0) \cdot 100/36.84 = 169.4 \text{ m}^{-1}$$

Σύμφωνα με τη μέθοδο που περιγράψαμε και στην προηγούμενη εφαρμογή υπολογίζουμε την εξέλιξη της θερμοκρασίας του χάλυβα με το χρόνο και προσδιορίζουμε για $\theta_{cr} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$, το διατιθέμενο διάστημα πυραντίστασης:

$$t_{\text{διατ}} = 31.85 \text{ min}$$

Ο δείκτης αυτός πυραντίστασης είναι αποδεκτός, επειδή $t_{\text{απ}} = 30 \text{ min} < t_{\text{διατ}} = 31.85 \text{ min}$.

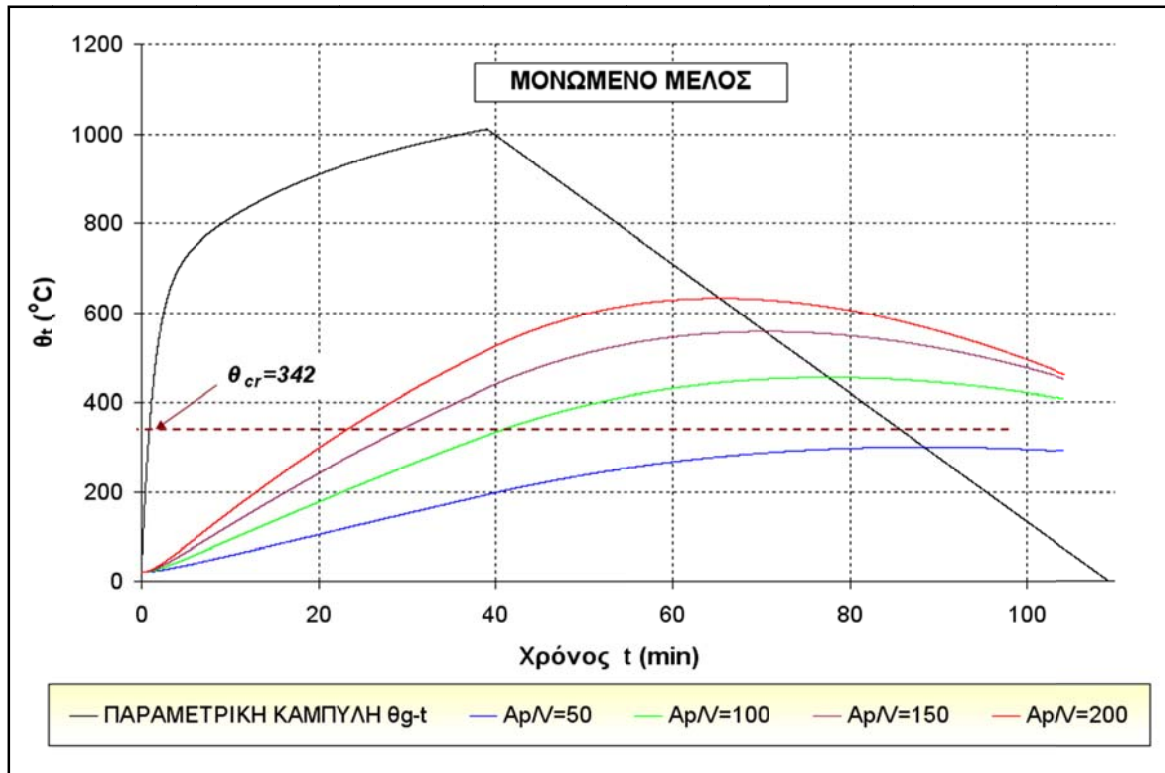
Προσδιορισμός του δείκτη πυραντίστασης με βάση την παραμετρική καμπύλη θερμοκρασίας-χρόνου

Χρησιμοποιώντας για τον προσδιορισμό της θερμοκρασίας θ_g , του αέρα του πυροδιαμερίσματος τις παραμετρικές εξισώσεις θερμοκρασίας-χρόνου που καθορίστηκαν προηγουμένως και τις γενικές σχέσεις που δίνονται στην παρατήρηση 4 της 1^{ης} Εφαρμογής, είναι δυνατός ο υπολογισμός της θερμοκρασίας του αλουμινίου σε διάφορες χρονικές στιγμές συναρτήσει της τιμής του συντελεστή διατομής, όπως αυτός προσδιορίζεται για μονωμένα μέλη. Παραδείγματα τέτοιων θερμοκρασιών δίδονται στον Πίν. 8.5.

$d/\lambda = 0.2$		Συντελεστής Διατομής A_p/V (m^{-1})			
Χρόνος t (min)	Θερμοκρ. αέρα, θ_g	50	100	150	200
		0	20	20	20
5	726	35	50	65	79
10	811	57	92	125	155
15	866	80	135	184	228
20	909	104	177	241	297
25	944	128	218	295	361
30	972	151	258	346	421
40	997	198	334	440	526
50	853	237	393	508	596
60	709	267	431	546	628
70	565	286	451	558	629
80	421	297	455	549	605
90	277	300	444	521	559
100	133	295	421	476	495

Πίν. 8.5: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά την παραμετρική καμπύλη) και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής του μονωμένου μέλους.

Το ακόλουθο σχήμα παρουσιάζει υπό μορφή καμπυλών το περιεχόμενο του παραπάνω Πίνακα:



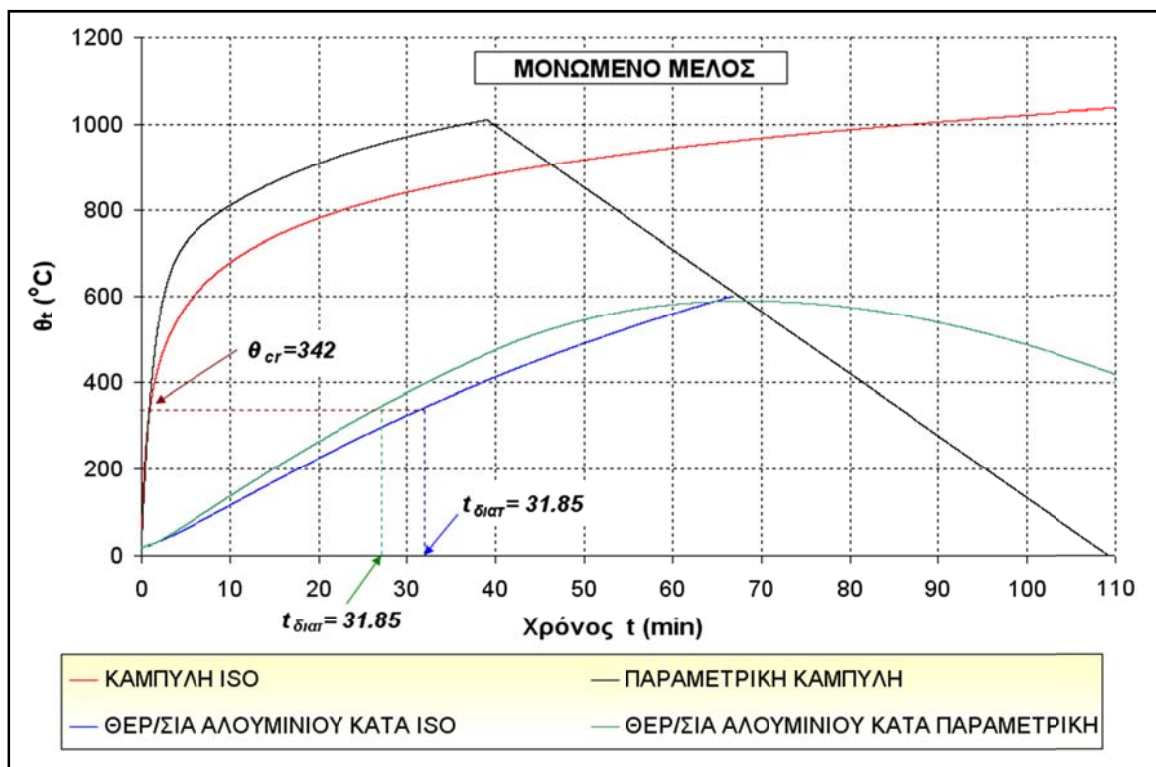
Σχ. 8.10: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος και διάφορες τιμές του συντελεστή διατομής.

Για την περίπτωση του παραδείγματος, ο συντελεστής διατομής έχει την τιμή $A_p/V=169.4\text{m}^{-1}$, οπότε μέσω της υπολογιστικής εφαρμογής που αναπτύχθηκε, προσδιορίζεται ότι η κρίσιμη θερμοκρασία $\theta_{cr} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$ θα πραγματοποιηθεί μετά χρόνο $t_{\text{διατ}} = 26.78 \text{ min}$ από την έναρξη της πυρκαγιάς. Εναλλακτικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα στοιχεία του Πίν. 8.5. Ο χρόνος αυτός είναι μη αποδεκτός, επειδή $t_{\text{απ}} = 30 \text{ min} > t_{\text{διατ}} = 26.78 \text{ min}$.

Διαπιστώνουμε δηλαδή σε αυτό το σημείο διαφωνία των δύο μεθόδων, παρά το γεγονός ότι τα αποτελέσματά τους είναι συγκρίσιμα (26.78 min έναντι 31.85 min). Υπέρ της ασφαλείας επομένως θα πρέπει να αυξηθεί το πάχος του μονωτικού υλικού ή να επιλεγεί κάποιο άλλο υλικό.

Στο Σχ. 8.11 παρουσιάζονται, προς σύγκριση, οι θερμοκρασίες αέρα του πυροδιαμερίσματος κατά την πρότυπη και την παραμετρική καμπύλη, καθώς επίσης και οι αντίστοιχες θερμοκρασίες του αλουμινίου (μονωμένο μέλος, με $d/\lambda = 0,20$ και $A_p/V=169.4\text{m}^{-1}$) τόσο για την περίπτωση που οι θερμοκρασίες αυτές προκύπτουν

από την καμπύλη ISO, όσο και για την περίπτωση που προκύπτουν από την παραμετρική καμπύλη. Στο ίδιο σχήμα φαίνονται, γραφικά, οι προκύπτοντες, κατά περίπτωση, μέσω των καμπυλών $\theta_{αl} - t$, δείκτες πυραντίστασης.

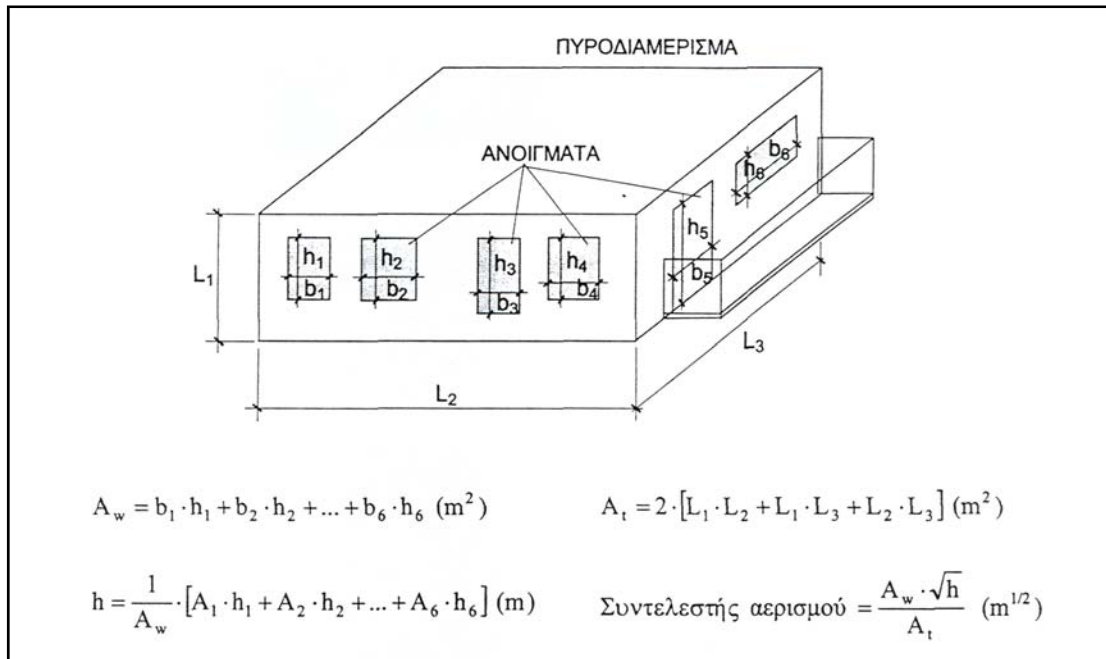


Σχ. 8.11:Θερμοκρασίες αέρα θ_g και του χάλυβα θ_a μονωμένου μέλους ($d/\lambda=0.20$) με βάση την πρότυπη καμπύλη ISO αφ' ενός και την παραμετρική καμπύλη που αντιστοιχεί στα χαρακτηριστικά του πυροδιαμερίσματος ($O=0,08$, $q_{td}=400$, $b=1500$) αφ' ετέρου.

Παρατηρήσεις

1. Ο τρόπος με τον οποίο ορίζεται ο συντελεστής αερισμού O πυροδιαμερίσματος φαίνεται στο Σχ. 8.12. Οι παραμετρικές εξισώσεις θ_g-t που προσδιορίζονται από τη βασική σχέση (7.26) μπορούν να χρησιμοποιούνται εάν $0.02 < O < 0.20m^{1/2}$.

2. Η πυκνότητα q_{td} του πυροθερμικού φορτίου έχει ως επιφάνεια αναφοράς ολόκληρη την εξωτερική επιφάνεια του πυροδιαμερίσματος στο οποίο αναφέρεται (δάπεδο, οροφή, παράπλευροι τοίχοι). Οι παραμετρικές εξισώσεις του μπορούν να εφαρμόζονται για $50 < q_{td} < 1000 MJ/m^2$.



Σχ. 8.12: Συντελεστής Αερισμού Πυροδιαμερίσματος.

3. Στον Ρ;ίνακα του Παραρτήματος δίδεται για διάφορα υλικά η εκλυόμενη ποσότητα θερμότητας κατά την καύση, ανά μονάδα μάζας τους, οπότε είναι δυνατός ο υπολογισμός της πυκνότητας του πυροθερμικού φορτίου δεδομένου πυροδιαμερίσματος με γνωστό περιεχόμενο.

4. Οι παραμετρικές εξισώσεις θ_g -t μπορούν να εφαρμόζονται εάν:

$$1000 \leq b \leq 2000 \text{ J/m}^2 \text{ sec}^{1/2} \text{ K}$$

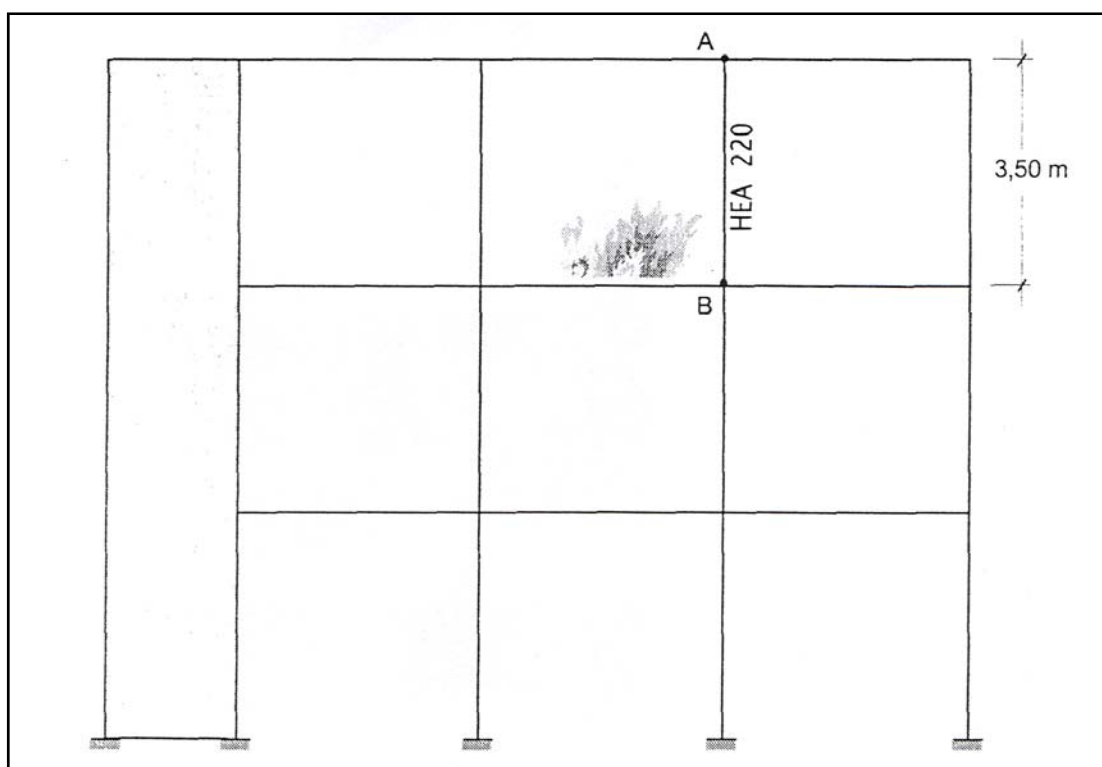
7. Από τις καμπύλες του Σχ. 8.10 γίνεται φανερό ότι σε περιπτώσεις που η κρίσιμη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από τη μέγιστη τιμή της καμπύλης θ_g -t, δεν υπάρχει ενδεχόμενο αστοχίας από πυρκαγιά, ανεξάρτητα της τιμής του απαιτούμενου δείκτη πυραντίστασης.

8. Από τις ίδιες καμπύλες γίνεται επίσης φανερό, ότι μετά την παρέλευση του χρόνου T που αντιστοιχεί στην τομή του κατιόντος κλάδου της συνάρτησης θ_g -t και της καμπύλης θ_a -t, δεν υπάρχει κίνδυνος αστοχίας (στη θέση της τομής αντιστοιχεί η μέγιστη θερμοκρασία του χάλυβα).

9. Με τη χρησιμοποίηση των παραμετρικών καμπυλών θ_g -t είναι δυνατόν, κατά περίπτωση, να προσδιορίζονται μεγαλύτεροι ή μικρότεροι δείκτες πυραντίστασης σε σχέση με τους προσδιοριζόμενους κατά την εφαρμογή της πρότυπης καμπύλης του ISO.

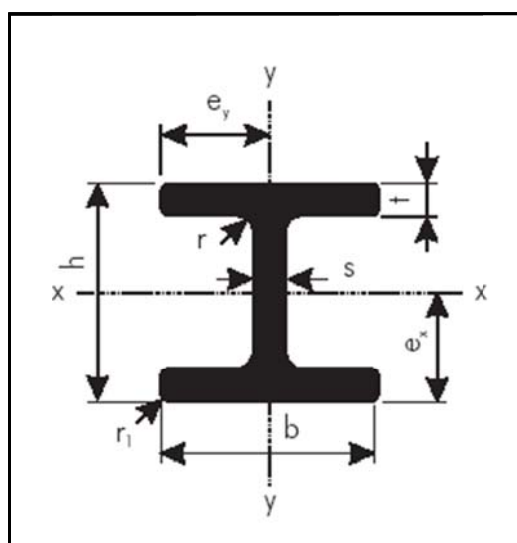
8.3 Σχεδιασμός θλιβόμενου στοιχείου έναντι πυρκαγιάς

Υποστύλωμα από κράμα αλουμινίου τύπου EN-AW 6061 στην κατάσταση T6, με τη διατομή διπλού ταυ της οποίας τα χαρακτηριστικά δίδονται ακολούθως, ανήκει στον ανώτερο όροφο, ύψους 3.50m, πολυώροφου κτιρίου γραφείων και καταπονείται από μόνιμο φορτίο $N_g = 400$ kN και κινητό $N_p = 250$ kN. Τα μεταλλικά υποστυλώματα του κτιρίου έχουν αμετάθετα άκρα και μεταφέρουν μόνο κατακόρυφες αξονικές δυνάμεις, προστατεύονται δε έναντι πυρκαγιάς από μονωτικές πλάκες με λόγο πάχους d (σε m) προς συντελεστή θερμικής αγωγιμότητας λ (σε W/mK), $d/\lambda = 0.20$. Ζητείται να εξεταστεί εάν η προστασία αυτή εξασφαλίζει δείκτη πυραντίστασης 40 min.



Σχ. 8.13: Υποστύλωμα AB του ανώτερου ορόφου αμετάθετου πλαισίου, υποκείμενο σε συνθήκες πυρκαγιάς

Χρησιμοποιήθηκε η διατομή διπλού ταυ Νο 2079 του καταλόγου της σελίδας 362, της οποίας τα χαρακτηριστικά εικονίζονται στο επόμενο σχήμα:



Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής		
Διαστάσεις (mm)	h = 200	b = 200
	s = 4.5	t = 12
	r = 7.5	
Εμβαδόν	A = 55.92 cm ²	
Πλαστική Ροπή Αντίστασης	W _{pl} = 457 cm ³	
Ροπή αδράνειας	I = 4451.5 cm ⁴	

Σχ. 8.14: Γεωμετρικά Μεγέθη Διατομής.

Κατάταξη της διατομής

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{250}{240}} = 1.02$$

Κατάταξη πέλματος

Από τον Πίν. 5.16 για εσωτερικά, θερμικά κατεργασμένα στοιχεία, χωρίς συγκόλληση προκύπτει:

$$\beta_1 = 3\varepsilon = 3.06, \beta_2 = 4\varepsilon = 4.08, \beta_3 = 6\varepsilon = 7.70$$

Ακόμη, η παράμετρος λυγηρότητας β δίνεται από τη σχέση $\beta = b/t$ η οποία λαμβάνεται από τον Πίν. 5.15 για στοιχεία με ομοιόμορφη ένταση εφ' όσον έχουμε καθαρή θλίψη. Συνεπώς:

$$\beta = (200 - 4.5 - 7.5\sqrt{2})/2/12 = 7.70 \Rightarrow \beta = \beta_3 \Rightarrow \text{Κατηγορία 3}$$

Κατάταξη κορμού

Από τον Πίν. 5.16 για εσωτερικά, θερμικά κατεργασμένα στοιχεία, χωρίς συγκόλληση προκύπτει:

$$\beta_1 = 11\varepsilon = 11.22, \beta_2 = 13\varepsilon = 13.26, \beta_3 = 22\varepsilon = 22.44$$

Ακόμη, η παράμετρος λυγηρότητας β δίνεται από τη σχέση $\beta = b/t$ η οποία λαμβάνεται από τον Πίν. 5.15 για στοιχεία με ομοιόμορφη ένταση εφ' όσον έχουμε καθαρή θλίψη.

Συνεπώς:

$$\beta = (200 - 2 \cdot 12) / 4,5 = 39.11 \Rightarrow \beta > \beta_3 \Rightarrow \text{Κατηγορία 4}$$

Τελικά, η διατομή είναι κατηγορίας 4.

8.3.1 Έλεγχος υποστυλώματος σε συνήθεις συνθήκες

Το υποστύλωμα θεωρείται ως αμφιαρθρωτό με ακτίνα αδρανείας:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4451.5}{55.92}} = 8.92 \text{ cm} \quad (7.28)$$

και άρα η σύμφωνα με την παράγραφο 5.11.7.3 λυγηρότητα του ισούται με:

$$\lambda = l/i = 350/8.92 \Rightarrow \lambda = 39.22 \quad (7.29)$$

Επομένως, η ανηγμένη λυγηρότητα δίνεται από τη σχέση:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda}{\lambda_1} = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{\frac{E}{n \cdot f_{0.2}}}} \Rightarrow \bar{\lambda} = \frac{39.22}{\pi \sqrt{1 \cdot \frac{7000}{24}}} \Rightarrow \bar{\lambda} = 0.731 \quad (7.30)$$

όπου $n = A_e / A$ με $A_e = A - A_c (1 - \rho_c)$ για διατομές κατηγορίας 4.

- Για τα πέλματα έχουμε από τον Πίν. 5.17 για επίπεδα εξέχοντα στοιχεία, θερμικά κατεργασμένα, μη συγκολλημένα, σε συμμετρικές διατομές, με $\beta / \varepsilon = 7.7 / 1.02 = 7.55 > 6.0$:

$$\rho_c = 10/7.55 - 24/7.55^2 = 0.903$$

- Για τον κορμό έχουμε από τον Πίν. 5.17 για επίπεδα εσωτερικά στοιχεία, θερμικά κατεργασμένα, μη συγκολλημένα, με $\beta / \varepsilon = 39.11/1.02 = 38.34 > 22$:

$$\rho_c = 32 / 38.34 - 220 / 38.34^2 = 0.685$$

Επομένως ο συντελεστής n τελικά ισούται με:

$$n = \left[\frac{A - \sum A_c (1 - \rho_c)}{A} \right] =$$

$$= \frac{55.92 - (20 \times 1.2 \times 2)(1 - 0.903) - [(20 - 2 \times 1.2) \times 0.45](1 - 0.685)}{55.92}$$

$$\Rightarrow n = 0.872$$

Για τον προσδιορισμό της αντοχής σε θλίψη χρησιμοποιούμε την τάση λυγισμού f_s η οποία δίνεται από τη σχέση (4.42):

$$f_s = \chi \cdot n \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot f_o \quad (7.31)$$

Καθώς έχουμε συμμετρική διατομή, μη συγκολλητή διατομή έχουμε $k_1 = k_2 = 1.0$. Ακόμη, λόγω της σχέσης (4.43):

$$\phi = 0.5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - \bar{\lambda}_o) + \bar{\lambda}^2 \right] = 0.5 \left[1 + 0.20(0.731 - 0.10) + 0.731^2 \right]$$

$$\Rightarrow \phi = 0.83 \quad (7.32)$$

$$\text{Άρα } \chi = \frac{1}{0.83 + \sqrt{0.83^2 - 0.731^2}} = 0.924$$

Συνεπώς, $f_s = 0.924 \cdot 0.872 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 24 \Rightarrow f_s = 19.34 \text{ kN/cm}^2 \quad (7.33)$

Αντοχή σε θλίψη

$$N_{b,Rd} = f_s A / \gamma_{M1} = 19.34 \cdot 55.92 / 1.10 = 983.22 \text{ kN} \quad (7.34)$$

Θλιπτικό Φορτίο Σχεδιασμού

$$N_{Sd} = 1.35 \cdot 400 + 1.50 \cdot 250 = 915 \text{ kN} \quad (7.35)$$

Έλεγχος Επάρκειας

$$N_{Sd} = 915 \text{ kN} < N_{b,Rd} = 983.22 \text{ kN} \quad \checkmark$$

8.3.2 Έλεγχος έναντι πυρκαγιάς

Θλιπτικό φορτίο σε συνθήκες πυρκαγιάς:

$$N_{sd} = 1.00 \cdot 400 + 0.60 \cdot 250 = 550 \text{ kN} \quad (7.36)$$

Η τιμή $\psi_{11} = 0.8$ ελήφθη από τον Πίν. 8.1 προκειμένου για κινητά φορτία σε χώρους γραφείων.

Θεωρούμε πως όπως προβλέπει ο EN 1993-1-2 για την περίπτωση του χάλυβα, το μήκος λυγισμού για περίπτωση αμετάθετου πλαισίου και υποστύλωμα του ανώτερου ορόφου, λαμβάνεται ίσο προς:

$$l_{cr} = 0.70L = 0.70 \cdot 350 = 245\text{m} \text{ (οπότε } \lambda = 245/8.92 = 27.57 \text{ και } \lambda = 0.51)$$

λόγω της πακτώσεως που προσφέρει το δύσκαμπτο ψυχρό υποστύλωμα του κατώτερου ορόφου.

Ο έλεγχος θα γίνει σε όρους αντοχής, θα εξεταστεί δηλαδή εάν η αντοχή του υποστυλώματος μετά 40 min από την έναρξη της πυρκαγιάς είναι μεγαλύτερη από τη δράση $N_{sd} = 550 \text{ kN}$.

Συντελεστής διατομής

$$\frac{A_p}{V} = 2(20 + 20) \cdot 100 / 55.92 = 143 \text{ m}^{-1} \quad (7.37)$$

Θα χρησιμοποιηθεί η πρότυπη καμπύλη ISO θερμοκρασίας - χρόνου και έτσι κάνοντας και πάλι χρήση της εφαρμογής του Excel προκύπτει ο ακόλουθος Πίνακας για $A_p/V=143 \text{ m}^{-1}$:

$d/\lambda = 0.2$		Συντελεστής Διατομής A_e/V
Χρόνος t (min)	Θερμοκρ. αέρα, θ_g	
		143
0	20	20
5	576	55
10	678	102
15	738	151
20	781	198
25	815	245
30	842	289
40	885	370
50	918	444
60	945	510
70	968	569
80	988	622
90	1006	670
100	1022	713

Πίν. 8.6: Εξέλιξη της θερμοκρασίας του αλουμινίου με το χρόνο για δεδομένη μεταβολή της θερμοκρασίας θ_g του αέρα του πυροδιαμερίσματος (κατά την πρότυπη καμπύλη).

Με γραμμική παρεμβολή προκύπτει ότι για $t = 40$ min είναι $\theta_{cr} = 370$ °C. Η αντοχή σχεδιασμού σε αξονική θλιπτική δύναμη, για $\theta_{cr} = 370$ °C, δίνεται από τη σχέση 6.45 του κεφαλαίου 7:

$$N_{b,fi,t,Rd} = k_{0.2,\theta,max} N_{b,Rd} (\gamma_{M1} / 1.2\gamma_{M,fi}) \quad (7.38)$$

Από τον Πίν. 7.1 για $\theta_{cr} = 370$ °C με γραμμική παρεμβολή λαμβάνουμε $k_{0.2,\theta} \cong 0.10$.

$$\text{Συνεπώς, } N_{b,fi,t,Rd} = 0.10 \cdot 983.22 (1.10 / 1.2 \cdot 1.0) \Rightarrow N_{b,fi,t,Rd} = 90.13 \text{ kN} \quad (7.39)$$

Προφανώς, οι συνθήκες μόνωσης είναι ανεπαρκής αφού:

$$N_{b,fi,t,Rd} = 90.13 \text{ kN} < N_{Sd} = 550 \text{ kN}$$

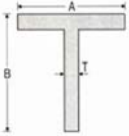
9 ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

9.1 Κατάλογος Διελασμένων Προφίλ

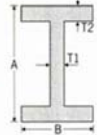
Ο παρακάτω κατάλογος έχει ληφθεί από το διαδίκτυο.

9.1.1 Tees (Διατομές Ταυ)


ALUMINIUM T SECTIONS & I BEAMS



ALUMINIUM T SECTIONS					
ALLOY	A	B	T	WLkg/m	
6063T5	1/2"	1/2"	1/16"	.104	
6063T6	3/4"	3/4"	1/16"	.157	
6063T6	3/4"	3/4"	1/8"	.301	
6063T6	1"	1"	1/16"	.212	
6082T6	1"	1"	1/8"	.411	
6082T6	1 1/4"	1 1/4"	1/8"	.519	
6082T6	1 1/4"	1 1/4"	1/4"	.985	
6082T6	1 1/2"	1 1/2"	1/8"	.628	
6082T6	1 1/2"	1 1/2"	1/4"	1.203	
6082T6	2"	1"	1/8"	.628	
6082T6	2"	1 1/2"	1/8"	.740	
6082T6	2"	2"	1/8"	.847	
6082T6	2"	2"	1/4"	1.640	
6082T6	2 1/2"	2 1/2"	1/4"	2.078	
6082T6	3"	3"	1/4"	2.515	
6082T6	3"	3"	3/8"	3.690	
6082T6	3 1/2"	3 1/2"	1/4"	2.953	
6082T6	4"	3"	5/16"	3.741	
6082T6	4"	4"	3/8"	5.003	



ALUMINIUM I BEAMS					
ALLOY	A	B	T1	T2	WLkg/m
6082T6	2.2"	1.83"	0.1"	0.1"	0.990
6082T6	3"	1 1/2"	3/16"	1/4"	2.230
6082T6	4"	3"	1/4"	5/16"	4.820
6082T6	5"	3"	1/4"	3/8"	5.975
6082T6	6"	3"	1/4"	3/8"	6.461



Unit B1, Millbrook Close
Chandlers Ford Industrial
Estate, Eastleigh
Hampshire SO53 4BZ
T: 023 8025 5566
F: 023 8025 2625
Email: sales@mgmetals.co.uk
www.mgmetals.co.uk

Products are to BS tolerances where possible – for further details and for special close tolerances, contact our Sales Office.

Our stock list is continually being expanded – if you do not see it in this catalogue, check with our Sales Office for availability.

Most items shown in this catalogue are ex-stock.

All sizes listed are mill finish.

- We can paint
- We can cut to size
- We keep a range of anodised tees

6
MG METALS

9.1.2 Equal Angles (Ισα Γωνιακά)



ALUMINIUM EQUAL ANGLES

ALLOY	A	T	Wt.Kg/m
6063T6	3/8"	1/16"	.079
6063T6	1/2"	1/16"	.104
6082T6	1/2"	1/8"	.192
6063T6	5/8"	1/16"	.130
6082T6	5/8"	1/8"	.250
6063T6	3/4"	1/16"	.160
6082T6	3/4"	1/8"	.302
6082T6	7/8"	1/8"	.360
6063T6	1"	1/16"	.213
6082T6	1"	1/8"	.411
6082T6	1"	3/16"	.600
6082T6	1"	1/4"	.770
6082T6	1 1/8"	1/8"	.466
6063T6	1 1/4"	1/16"	.270
6082T6	1 1/4"	1/8"	.520
6082T6	1 1/4"	3/16"	.760
6082T6	1 1/4"	1/4"	.990
6082T6	1 1/2"	1/16"	.330
6082T6	1 1/2"	1/8"	.631
6082T6	1 1/2"	3/16"	.930
6082T6	1 1/2"	1/4"	1.210
6082T6	1 3/4"	1/8"	.744
6082T6	1 3/4"	1/4"	1.430
6063T6	2"	1/16"	.430

ALUMINIUM EQUAL ANGLES

ALLOY	A	T	Wt.Kg/m
6082T6	2"	1/8"	.851
6082T6	2"	3/16"	1.260
6082T6	2"	1/4"	1.652
6082T6	2"	5/16"	2.030
6082T6	2"	3/8"	2.460
6082T6	2 1/2"	1/8"	1.070
6082T6	2 1/2"	3/16"	1.592
6082T6	2 1/2"	1/4"	2.083
6082T6	2 1/2"	3/8"	3.040
6082T6	3"	1/8"	1.284
6082T6	3"	1/4"	2.550
6082T6	3"	3/8"	3.705
6082T6	3"	1/2"	4.830
6082T6	80mm	8mm	3.300
6082T6	3 1/2"	1/4"	3.006
6082T6	3 1/2"	3/8"	4.400
6082T6	4"	1/8"	1.700
6082T6	4"	1/4"	3.467
6082T6	4"	1/4"	3.400
6082T6	4"	5/16"	4.220
6082T6	4"	3/8"	5.020
6082T6	4"	1/2"	6.620
6082T6	5"	3/8"	6.278
6082T6	6"	1/2"	10.100

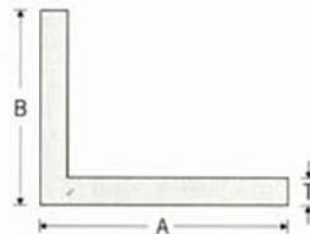
9.1.3 Unequal Angles (Άνισα Γωνιακά)

ALUMINIUM UNEQUAL ANGLES

ALLOY	A	B	T	WLKg/m
6063T6	3/4"	3/8"	1/16"	.120
6082T6	3/4"	1/2"	1/8"	.247
6082T6	7/8"	1/2"	1/8"	.274
6063T6	1"	1/2"	1/16"	.160
6082T6	1"	1/2"	1/8"	.302
6082T6	1"	5/8"	1/8"	.328
6063T6	1"	3/4"	1/16"	.190
6082T6	1"	3/4"	1/8"	.357
6082T6	1 1/4"	3/4"	1/8"	.411
6082T6	1 1/4"	1"	1/8"	.466
6063T6	1 1/2"	1/2"	1/16"	.210
6082T6	1 1/2"	1/2"	1/8"	.411
6082T6	1 1/2"	1/2"	3/16"	.594
6082T6	1 1/2"	3/4"	1/8"	.466
6082T6	1 1/2"	1"	1/8"	.522
6082T6	1 1/2"	1"	3/16"	.783
6082T6	1 3/4"	1 1/8"	1/8"	.602
6082T6	1 3/4"	1 1/4"	1/8"	.629
6063T6	2"	1/2"	1/8"	.522
6063T6	2"	3/4"	1/8"	.576
6082T6	2"	1"	1/8"	.631
6082T6	2"	1"	3/16"	.922
6082T6	2"	1"	1/4"	1.205
6082T6	2"	1 1/2"	1/8"	.741
6082T6	2"	1 1/2"	3/16"	1.101
6082T6	2"	1 1/2"	1/4"	1.427
6082T6	2 1/4"	1 1/4"	1/8"	.741
6082T6	2 1/2"	1"	1/8"	.741
6082T6	2 1/2"	1 1/2"	1/8"	.851
6082T6	2 1/2"	1 1/2"	3/16"	1.250
6082T6	2 1/2"	1 1/2"	1/4"	1.650
6082T6	2 1/2"	2"	1/4"	1.880

ALUMINIUM UNEQUAL ANGLES

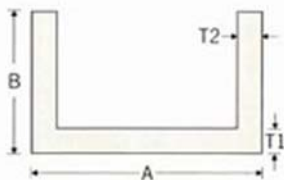
ALLOY	A	B	T	WLKg/m
6082T6	3"	1"	1/8"	.850
6082T6	3"	1 1/2"	1/8"	.958
6082T6	3"	1 1/2"	3/16"	1.450
6082T6	3"	1 1/2"	1/4"	1.860
6082T6	3"	2"	1/8"	1.070
6082T6	3"	2"	3/16"	1.580
6082T6	3"	2"	1/4"	2.110
6082T6	3 1/2"	1"	1/4"	1.860
6082T6	4"	1"	1/8"	1.070
6082T6	4"	2"	1/8"	1.284
6082T6	4"	2"	3/16"	1.960
6082T6	4"	2"	1/4"	2.520
6082T6	4"	3"	1/4"	2.960
6082T6	4"	3"	5/16"	3.705
6082T6	5"	3"	1/4"	3.420
6082T6	6"	3"	1/4"	3.827
6082T6	6"	3"	3/8"	5.744



9.1.4 Channels

ALUMINIUM CHANNELS

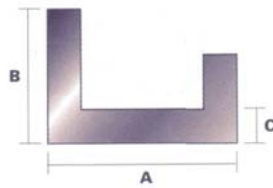
ALLOY	A	B	T1	T2	Wt.Kg/m
6063T6	3/8"	3/8"	1/16"		.110
6063T6	3/8"	5/8"	1/16"		.166
6063T5	1/2"	1/2"	1/16"		.150
6063T6	1/2"	1/2"	1/8"		.272
6063T6	1/2"	1"	3/32"		.381
6063T6	5/8"	5/8"	1/16"		.196
6063T6	5/8"	5/8"	1/8"		.356
6082T6	3/4"	1/2"	1/8"		.329
6063T6	3/4"	3/4"	1/16"		.239
6082T6	3/4"	3/4"	1/8"		.440
6082T6	3/4"	1 1/2"	1/8"		.766
6063T6	7/8"	7/8"	1/8"		.521
6063T6	1"	1/2"	1/8"		.384
6082T6	1"	3/4"	1/8"		.494
6082T6	1"	1"	1/8"		.603
6082T6	1"	1 1/2"	1/8"		.821
6082T6	1"	2"	1/8"		1.040
6082T6	1 1/8"	1"	1/8"		.631
6082T6	1 1/8"	1 1/2"	1/8"		.821
6082T6	1 1/4"	1/2"	1/8"		.438
6082T6	1 1/4"	3/4"	1/8"		.550
6082T6	1 1/4"	1"	1/8"		.660
6082T6	1 1/4"	1 1/4"	1/8"		.765
6082T6	1 1/4"	1 1/2"	1/8"		.880
6082T6	1 1/4"	2"	1/8"		1.094
6082T6	1 3/8"	1"	1/8"		.683
6082T6	1 1/2"	1/2"	1/8"		.492
6082T6	1 1/2"	3/4"	1/8"		.604
6082T6	1 1/2"	1"	1/8"		.713
6082T6	1 1/2"	1 1/2"	1/8"		.931
6082T6	1 1/2"	1 1/2"	3/16"		1.360



ALUMINIUM CHANNELS

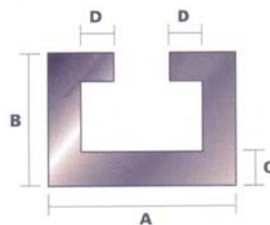
ALLOY	A	B	T1	T2	Wt.Kg/m
6063T6	40mm	15mm	2mm		.358
6082T6	44mm	30mm	3/16"		1.190
6082T6	1 3/4"	1"	1/8"		.765
6082T6	2"	1"	1/8"		.821
6082T6	2"	1"	3/16"		1.193
6082T6	2"	1"	1/4"		1.533
6082T6	2"	1 1/2"	1/4"		1.970
6082T6	2"	2"	1/8"		1.260
6082T6	2"	2"	3/16"		1.850
6082T6	2"	2"	1/4"		2.410
6082T6	2 1/4"	1 1/4"	3/16"		1.440
6082T6	2 1/2"	1"	1/8"		.933
6082T6	2 1/2"	1 1/4"	3/16"		1.520
6082T6	3"	1"	1/8"		1.040
6082T6	3"	1 1/2"	1/8"		1.260
6082T6	3"	1 1/2"	3/16"		1.918
6082T6	3"	1 1/2"	1/4"	5/16"	2.780
6082T6	3"	2"	1/8"		1.480
6082T6	3"	2"	1/4"	1/4"	2.850
6082T6	3 1/2"	1 1/2"	1/4"	5/16"	2.965
6082T6	4"	1 1/2"	1/8"		1.481
6082T6	4"	2"	1/8"		1.699
6082T6	4"	2"	1/4"	1/4"	3.290
6082T6	4"	2"	1/4"	5/16"	3.775
6082T6	5"	2"	1/4"	5/16"	4.237
6082T6	5"	2 1/2"	1/4"	3/8"	5.285
6082T6	6"	2"	3/16"	1/4"	3.685
6082T6	6"	3"	1/4"	3/8"	6.340
6082T6	6"	3"	3/8"	1/2"	8.727
6082T6	7"	3"	3/8"	1/2"	9.320
6082T6	8"	3"	5/16"	1/2"	9.260
6082T6	9"	3"	3/8"	1/2"	10.620
6082T6	9"	3 1/2"	3/8"	1/2"	11.540
6082T6	10"	3"	1/4"	3/8"	8.085
6082T6	10"	3"	3/8"	1/2"	11.320

9.1.5 Unequal Leg Channels



Unequal Leg Channels	Metric (mm)				Unequal Leg Channels	Metric (mm)			
Die Number	A	B	C	Kg/m	Die Number	A	B	C	Kg/m
2795UCH	12.70	38.1/25.4	3.18	0.601	3761UCH	7.00	25.0/12.0	2.0	0.217
1354UCH	25.40	19.05/6.35	1.59	0.211	4777UCH	12.76	12.95/5.33	0.95	0.075
2152UCH	5.84	17.45/9.53	1.27	0.104	1295UCH	15.00	22.00/13.0	1.2	0.155
6473UCH	5.85	25.4/ 12.7	1.02	0.116	2136UCH	15.0	25.00/15.0	3.0	0.397
3453UCH	6.00	25.0/ 8.0	2.0	0.179	3455UCH	16.0	25.00/15.0	3.0	0.407
3712UCH	6.61	31.75/10.16	1.02	0.128	4778UCH	22.28	12.95/5.33	0.95	0.109
3761UCH	7.00	25.0/ 12.0	2.0	0.217	2155UCH	23.0	23.0/10.0	2.0	0.281
					3693UCH	30.0	25.0/10.0	2.0/1.6	0.293

9.1.6 Lipped Channels



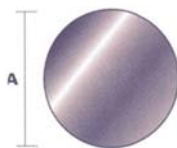
Lipped Channels	Metric (mm)					Lipped Channels	Metric (mm)				
Die Number	A	B	C	D	Kg/m	Die Number	A	B	C	D	Kg/m
1660LCH	11.11	6.35	1.20	2.37	0.085	3217LCH	19.05	11.05	1.59	4.76	0.204
2163LCH	11.50	11.50	1.00	2.25	0.100	4443LCH	20.00	10.00	2.00	2.50	0.279
2959LCH	12.50	3.00	1.00	1.00	0.050	4118LCH	20.00	12.00	1.80	2.70	0.244
4789LCH	12.70	4.70	1.00	1.00	0.094	3322LCH	20.00	20.00	1.59	3.90	0.279
2307LCH	12.70	5.16	1.57	2.40	0.105	5842LCH	21.34	6.60	1.27	3.56	0.125
1649LCH	14.50	10.00	1.50	2.50	0.149	5784LCH	23.00	23.00	2.50	5.00	0.500
2572LCH	15.00	10.00	1.50	4.50	0.170	3367LCH	24.00	14.00	4.0	3.00	0.487
2140LCH	15.50	7.50	1.00	2.50	0.091	1374LCH	25.00	5.00	1.00	0.70	0.088
5950LCH	18.00	11.70	1.00	3.00	0.123	3459LCH	28.00	8.50	2.50	4.50	0.346
4109LCH	18.00	12.00	1.00	3.00	0.120	6102LCH	34.00	4.00	1.00	2.10	0.136
6075LCH	19.00	19.00	1.60	4.90	0.276	1118LCH	35.30	11.17	1.27	7.62	0.250

4665LCH	19.05	9.53	1.20	3.50	0.161	3401LCH	36.00	17.50	3.5/	4.50	0.732
5409LCH	19.05	9.65	1.19	3.51	0.138	1807LCH	45.00	14.00	1.00	11.00	0.251

9.1.7 Flat Bars (Επίπεδες Ράβδοι)

ALUMINIUM FLAT BARS				ALUMINIUM FLAT BARS			
ALLOY	A	T	WLKg/m	ALLOY	A	T	WLKg/m
6063T5	1/4"	1/8"	.055	6082T6	1 1/2"	1/8"	.330
6082T6	3/8"	1/4"	.164	6082T6	1 1/2"	3/16"	.494
6082T6	1/2"	1/8"	.110	6082T6	1 1/2"	1/4"	.660
6063T6	1/2"	3/16"	.165	6082T6	1 1/2"	5/16"	.820
6082T6	1/2"	1/4"	.220	6082T6	1 1/2"	3/8"	.988
6082T6	1/2"	3/8"	.330	6082T6	1 1/2"	1/2"	1.320
6082T6	5/8"	1/8"	.140	6082T6	1 1/2"	5/8"	1.652
6082T6	5/8"	3/16"	.205	6082T6	1 1/2"	3/4"	1.980
6082T6	5/8"	1/4"	.274	6082T6	1 1/2"	1"	2.630
6082T6	5/8"	3/8"	.411	6082T6	1 3/4"	1/8"	.384
6082T6	5/8"	1/2"	.550	6082T6	1 3/4"	1/4"	.770
6082T6	3/4"	1/8"	.170	6082T6	1 3/4"	3/8"	1.152
6082T6	3/4"	3/16"	.246	6082T6	1 3/4"	1/2"	1.537
6082T6	3/4"	1/4"	.330	6082T6	1 3/4"	3/4"	2.290
6082T6	3/4"	5/16"	.411	6082T6	1 3/4"	1"	3.070
6082T6	3/4"	3/8"	.494	6082T6	50mm	5mm	.678
6082T6	3/4"	1/2"	.660	6082T6	2"	1/8"	.440
6082T6	3/4"	5/8"	.823	6082T6	2"	3/16"	.660
6063T6	7/8"	1/8"	.192	6082T6	2"	1/4"	.880
6082T6	1"	1/8"	.220	6082T6	2"	5/16"	1.100
6082T6	1"	3/16"	.330	6082T6	2"	3/8"	1.320
6082T6	1"	1/4"	.440	6082T6	2"	1/2"	1.760
6082T6	1"	5/16"	.550	6082T6	2"	5/8"	2.200
6082T6	1"	3/8"	.660	6082T6	2"	3/4"	2.634
6082T6	1"	1/2"	.880	6082T6	2"	1"	3.512
6082T6	1"	5/8"	1.100	6082T6	2"	1 1/4"	4.390
6082T6	1"	3/4"	1.320	6082T6	2"	1 1/2"	5.267
6082T6	1 1/4"	1/8"	.274	6082T6	2 1/4"	3/16"	.740
6082T6	1 1/4"	3/16"	.411	6082T6	2 1/4"	1/4"	.988
6082T6	1 1/4"	1/4"	.550	6082T6	2 1/4"	1"	3.950
6082T6	1 1/4"	5/16"	.686	6063T6	2 1/2"	1/8"	.550
6082T6	1 1/4"	3/8"	.823	6082T6	2 1/2"	3/16"	.820
6082T6	1 1/4"	1/2"	1.100	6082T6	2 1/2"	1/4"	1.100
6082T6	1 1/4"	5/8"	1.372	6082T6	2 1/2"	3/8"	1.652
6082T6	1 1/4"	3/4"	1.652	6082T6	2 1/2"	1/2"	2.200
6082T6	1 1/4"	1"	2.200	6082T6	2 1/2"	5/8"	2.740

9.1.8 Round Bars (Στρογγυλές Ράβδοι)



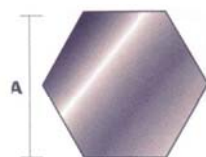
Round Bars	Metric (mm)		Round Bars	Metric (mm)	
Die Number	A	Kg/m	Die Number	A	Kg/m
6755SRB	3.18	0.021	2135SRB	5.50	0.064
1579SRB	3.97	0.033	3690SRB	5.89	0.074
1143SRB	4.76	0.051	1606SRB	6.00	0.076
1131SRB	6.35	0.086	3394SRB	6.33	0.085
1312SRB	7.94	0.134	5608SRB	6.35	0.086
1613SRB	9.53	0.192	1575SRB	6.50	0.091
2812SRB	11.11	0.263	7040SRB	31.75	2.146
2815SRB	12.70	0.343	7895SRB	3.25	0.022
1756SRB	3.00	0.019	7604SRB	12.25	0.319
1605SRB	5.00	0.053			

9.1.9 Square Bars (Τετράγωνες Ράβδοι)



Square Bars	Metric (mm)		Square Bars	Metric (mm)	
Die Number	A	kg/m	Die Number	A	kg/m
2193SQB	3.18	0.027	5398SQB	4.67	0.059
1332SQB	4.76	0.062	3399SQB	5.00	0.068
1050SQB	6.35	0.109	2636SQB	6.00	0.098
1068SQB	9.53	0.247	2031SQB	7.62	0.157
1051SQB	12.70	0.438	2106SQB	8.00	0.173
1066SQB	15.88	0.684	2270SQB	10.00	0.271
4181SQB	4.00	0.043	1829SQB	12.00	0.389

9.1.10 Hexagonal Bars (Εξαγωνικές Ράβδοι)



Hexagonal Bars		Metric (mm)		Hexagonal Bars		Metric (mm)	
Die Number	A	Kg/m	Die Number	A	Kg/m	Die Number	Kg/m
1699HEX	4.77	0.053	2109HEX	5.50	0.076		
2108HEX	6.30	0.100	1596HEX	6.00	0.084		
1586HEX	6.35	0.095	4730HEX	6.73	0.106		
1652HEX	7.14	0.120	1886HEX	7.00	0.115		
3600HEX	9.53	0.213	3416HEX	8.00	0.150		
1926HEX	11.11	0.290	1350HEX	8.23	0.168		
2402HEX	15.88	0.592	1590HEX	10.00	0.235		
4104HEX	3.86	0.035	6671HEX	7.90	0.146		
1653HEX	4.00	0.038	6717HEX	11.00	0.284		

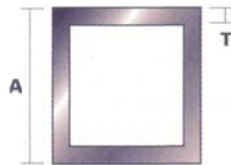
9.1.11 Round Tubes (Στρογγυλοί Σωλήνες)



Round Tubes	Metric (mm)			Round Tubes	Metric (mm)		
Die Number	A	T	Kg/m	Die Number	A	T	Kg/m
1645SRT	6.35	0.91	0.042	5609SRT	8.00	1.00	0.060
3153SRT	6.35	1.22	0.053	1599SRT	8.00	2.00	0.102
1670SRT	6.35	1.63	0.065	1945SRT	8.00	2.25	0.110
3721SRT	6.35	1.98	0.074	2290SRT	8.75	1.23	0.079
6452SRT	7.885	0.91	0.054	5974SRT	9.00	0.90	0.062
1634SRT	7.94	0.91	0.056	5822SRT	9.50	1.20	0.085
3703SRT	7.94	1.24	0.070	3889SRT	10.00	1.00	0.076
1594SRT	9.53	0.91	0.066	2882SRT	10.00	2.50	0.160
1517SRT	9.53	1.22	0.086	1946SRT	10.00	3.00	0.179
1508SRT	9.53	1.63	0.109	3919SRT	11.11	1.22	0.103
2593SRT	9.53	2.98	0.166	5302SRT	11.20	0.50	0.046
6478SRT	10.00	3.025	0.180	3830SRT	12.00	0.90	0.085
1644SRT	7.94	1.63	0.086	6150SRT	12.00	1.25	0.114
1635SRT	11.11	1.63	0.131	4686SRT	12.00	2.00	0.170
2000SRT	12.70	0.91	0.092	2884SRT	12.00	2.75	0.217
1501SRT	12.70	1.22	0.118	2883SRT	12.00	3.25	0.242
1561SRT	12.70	1.63	0.153	5774SRT	14.45	2.60	0.262
1509SRT	15.88	1.22	0.152	4415SRT	15.00	1.63	0.185
2790SRT	15.88	1.63	0.186	5167SRT	15.88	1.22	0.152
2351SRT	15.88	3.98	0.403	4168SRT	16.00	1.46	1.81
2063SRT	17.46	1.59	0.215	2301SRT	16.76	1.14	0.152
2066SRT	18.26	1.59	0.225	4169SRT	19.00	1.65	0.244
2500SRT	19.05	0.91	0.141	1625SRT	20.00	1.00	0.162
1560SRT	19.05	1.22	0.185	5364SRT	20.00	1.50	0.236
3002SRT	19.05	1.42	0.210	4940SRT	20.63	1.59	0.256

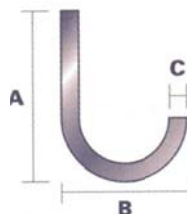
2064SRT	19.05	1.59	0.236	4416SRT	21.00	1.35	0.266
1589SRT	22.23	1.22	0.218	5245SRT	22.22	2.35	0.396
1564SRT	25.40	1.22	0.250	5958SRT	23.00	1.75	0.316
2065SRT	25.40	1.59	0.322	4170SRT	24.00	1.55	0.296
3255SRT	30.15	3.97	0.883	6299SRT	25.40	1.42	0.290
6462SRT	32.00	3.50	0.849	6271SRT	25.65	4.165	0.762
2789SRT	28.57	1.63	0.372	5107SRT	26.00	4.50	0.823
6502SRT	39.50	3.00	0.932	4702SRT	27.00	1.00	0.220
3016SRT	6.00	1.75	0.063	3917SRT	27.00	0.90	0.199
5197SRT	6.35	0.81	0.038	2154SRT	32.50	2.00	0.519
5538SRT	7.00	0.85	0.042	6533SRT	34.93	1.63	0.462
6556SRT	7.90	1.28	0.072	6006SRT	50.40	1.90	0.795
6199SRT	7.92	0.91	0.054	6613SRT	10.00	0.71	0.055
4941SRT	8.00	0.70	0.043				

9.1.12 Square Tubes (Τετράγωνοι Σωλήνες)



Square Tubes	Metric (mm)			Square Tubes	Metric (mm)		
Die Number	A	T	Kg/m	Die Number	A	T	Kg/m
1529SST	12.70	1.63	0.207	1697SST	15.00	1.55	0.225
1759SST	25.40	1.22	0.252	4996SST	15.87	1.59	0.246
1972SST	25.40	1.63	0.320	4908SST	16.00	2.00	0.304
6020SST	9.27	0.76	0.066	4190SST	19.05	1.22	0.236
1591SST	15.00	1.00	0.152	6451SST	23.88	2.03	0.484
5998SST	15.00	1.08	0.162	3224SST	25.65	1.35	0.355
4997SST	15.00	1.20	0.180	1593SST	25.00	18G	0.315
				2527SST	25.00	2.00	0.499

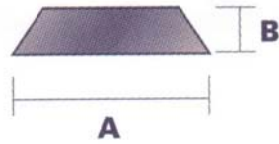
9.1.13 J Sections



J Sections	Metric (mm)			
Die Number	A	B	C	kg/m
1172JAY	25.40	12.70	1.59	0.170

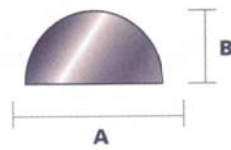
1616JAY	34.92	19.05	1.50	0.226
2422JAY	37.50	7.00	2.00	0.289

9.1.14 Bevel Edged Bars



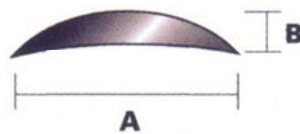
Bevel Edged Bars Die Number	Metric (mm)		Kg/m	Bevel Edged Bars Die Number	Metric (mm)		
	A	Die Number			A	B	Kg/m
1542BEB	15.88	9.53	0.109	2347BEB	15.70	3.85	0.146
2486BEB	11.80	2.00	0.062	2257BEB	40.00	2.00	0.205
3218BEB	14.00	5.00	0.150				

9.1.15 Half Round Bars (Ημικυκλικές Ράβδοι)



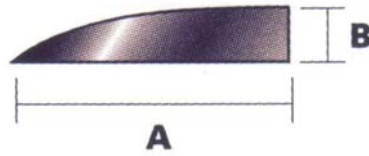
Half Round Bars	Metric (mm)			Half Round Bars	Metric (mm)		
Die Number	A	Die Number	kg/m	Die Number	A	B	kg/m
6135HRM	12.00	6.00	0.153	6135HRM	12.00	6.00	0.153
1276HRM	12.70	3.18	0.070	1276HRM	12.70	3.18	0.070
1037HRM	12.70	4.76	0.105	1037HRM	12.70	4.76	0.105
1270HRM	19.05	3.18	0.090	1270HRM	19.05	3.18	0.090
3442HRM	19.05	6.35	0.244	3442HRM	19.05	6.35	0.244
1277HRM	25.40	3.18	0.016	1277HRM	25.40	3.18	0.160
1147HRM	25.40	4.76	0.146	1147HRM	25.40	4.76	0.146
6135HRM	12.00	6.00	0.153	6135HRM	12.00	6.00	0.153
3205HRM	14.00	7.00	0.200	3205HRM	14.00	7.00	0.200
3783HRM	17.45	4.50	0.142	3783HRM	17.45	4.50	0.142
2465HRM	28.70	3.30	0.212	2465HRM	28.70	3.30	0.212
3936HRM	35.00	6.60	0.500	3936HRM	35.00	6.60	0.500

9.1.16 Double Feathered Edge



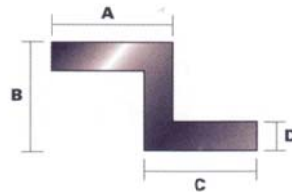
Double Feathered Edge	Metric (mm)			Double Feathered Edge	Metric (mm)		
Die Number	A	B	Kg/m	Die Number	A	B	Kg/m
1942DFE	12.70	0.06	0.052	3725DFE	20.00	2.00	0.108
1141DFE	25.40	3.18	0.210	2204DFE	36.00	4.00	0.378
3400DFE	31.75	2.79	0.240				
3.00mm Radius							

9.1.17 Single Feathered Edge



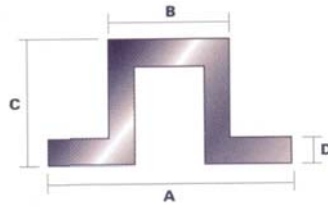
Single Feathered Edge	Metric (mm)		
Die Number	A	B	Kg/m
2858SFE	12.70	1.60	0.055
3143SFE	25.00	3.00	0.198

9.1.18 Z Sections



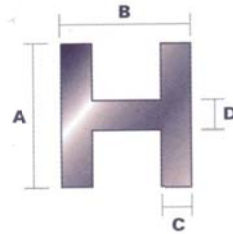
Z Sections Die Number	Metric (mm)					Z Sections Die Number	Metric (mm)				
	A	B	C	D	Kg/m		A	B	C	D	Kg/m
3526ZED	4.00	11.0	10.0	1.00	0.065	3302ZED	19.00	25.00	19.00	3.00	0.463
3510ZED	4.00	13.0	11.0	1.00	0.071	1353ZED	19.05	19.05	19.05	1.59	0.238
2373ZED	8.00	18.85	10.0	1.00	0.094	1738ZED	20.00	11.20	25.00	1.20	0.174
3398ZED	9.00	3.2	7.5	1.60	0.072	1722ZED	20.00	16.20	20.00	1.20	0.175
1675ZED	10.00	12.0	12.0	2.00	0.162	3314ZED	21.50	13.00	11.50	1.50	0.174
1176ZED	10.00	15.0	12.0	2.00	0.178	5835ZED	23.00	45.00	20.00	2.00	0.455
3441ZED	11.50	33.5	11.5	1.50	0.217	3476ZED	23.00	29.00	26.00	5.00	0.854
3395ZED	14.00	12.0	20.0	2.00	0.228	3219ZED	25.00	17.00	30.00	5.00	0.840
4024ZED	15.00	14.5	15.0	1.60	0.179	3335ZED	25.00	23.00	30.00	3.00	0.585
4023ZED	15.00	16.0	15.0	1.60	0.185	5258ZED	25.40	44.45	25.40	3.18	0.765
3126ZED	16.00	7.0	16.00	2.00	0.190	1039ZED	25.40	31.74	25.40	3.18	0.662
3485ZED	18.00	41.00	24.00	3.00	0.626	3380ZED	30.00	11.50	30.00	1.50	0.278

9.1.19 Top Hat Sections



Top Hat Sections	Metric (mm)				
Die Number	A	B	C	D	Kg/m
3724THS	25.00	15.00	7.00	2.00	0.189
3310THS	38.00	18.00	9.00	1.50	0.215
3209THS	51.00	25.50	14.00	3.20	0.629
4852THS	62.00	41.00	19.00	1.50	0.394

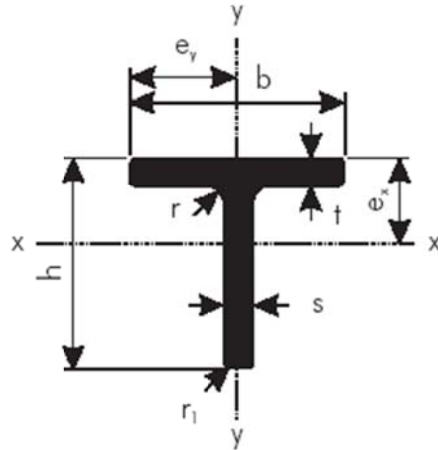
9.1.20 H Sections



H Sections	Metric (mm)					
Die Number		A	B	C	D	kg/m
3282STH		5.00	6.00	1.00	1.00	0.038
3334STH		6.00	9.60	1.25	1.50	0.066
3369STH		6.00	10.10	1.25	3.00	0.110
3702STH		9.50	2.40	0.80	3.50	0.049
3354STH		10.00	4.00	1.00	1.00	0.059
3368STH		10.00	10.10	1.25	3.00	0.129
2775STH		12.00	6.00	2.00	2.00	0.152
3727STH		13.00	8.00	2.00	2.00	0.163
2261STH		24.00	38.50	4.00	4.00	0.846
5590STH		25.00	13.00	2.00	2.00	0.320
1921STH		25.00	15.00	3.00	3.00	0.478
5229STH		30.00	26.10	3.00	3.00	0.651
6078STH		31.00	31.00	2.00	2.00	0.482
2709STH		34.00	27.40	2.30	2.30	0.566
1786STH		34.00	30.40	2.30	2.30	0.582
3151STH	Leg off set	35.00	25.00	2.00	2.00	0.493
2639STH		44.00	31.40	3.00	3.00	0.922
2788STH		50.00	35.00	1.50	3.00	0.739
3165STH		50.00	35.00	2.00	2.00	0.710
3549STH		50.80	16.96	1.63	2.54	0.547

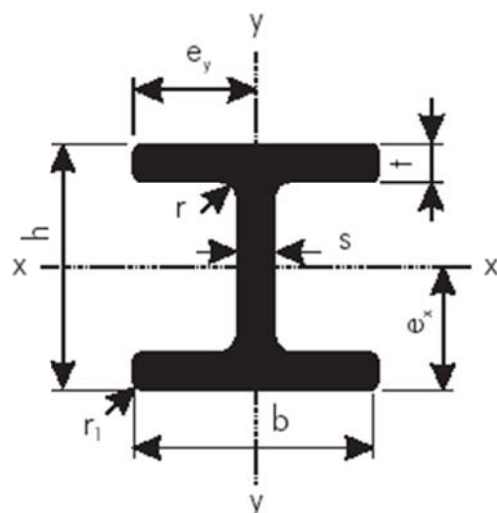
Πέρα από τις προηγούμενες πρότυπες διατομές οι οποίες είναι οι σχετικά μικρών διαστάσεων, διατίθενται και διατομές μεγαλύτερων διαστάσεων στην αγορά, όπως αυτές που παρατίθενται ακολούθως:

T-PROFILES



h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile nro
8	30	2	2	-	-	0,19	4747
12	12	2	2	1	-	0,12	7758
20	15	1	1	-	-	0,09	5579
20	20	2	2	1,6	-	0,21	6393
20	25	2	2,5	-	-	0,26	3851
20	30	2	2	1,6	-	0,26	25
20	50	4	4	1	-	0,71	2641
26,5	50	4	4	1,5	-	0,79	4111
30	30	3	3	2,5	-	0,47	83
35	35	4	4	2,5	-	0,72	569
40	40	4	4	-	-	0,82	2290
43	70	3	4	4	0,6	1,09	406
50	50	4	4	5	-	1,07	2890
50	50	5	5	-	-	1,28	2978
55	105	5	5	3	-	2,10	1436
60	60	6	6	4	0,6	1,87	46
80	50	4	4	-	-	1,36	13749
100	100	9	9	6	0,6	4,68	140

I-PROFILES



h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile nro
13,1	13,2	1,1	1,1	-	-	0,11	7300
14	30	2	2	-	-	0,38	383
15	6,5	1	1	-	-	0,07	128
15	20	10	5	-	-	0,67	3226
19	16,5	1,5	1,5	-	-	0,20	4885
30	12	3	3	-	-	0,39	718
40	40	2,5	4	-	-	1,08	4466
60	50	2	4	3	-	1,38	2166
80	50	2	5	3	-	1,75	2167
80	60	5	6	6	-	2,90	6791
96	100	5	8	12	-	5,73	6371
100	75	5	7	5	-	4,05	2271
100	100	7	10	7	0,5	7,02	13175
152	160	6	9	15	-	10,47	6370
175	100	6	8	8	1,5	6,97	5832
200	100	4	7	6	-	5,79	2725
200	200	4,5	12	7,5	-	15,23	2079
206,5	30	2,25	2,25	-	-	1,59	7240
240	160	8	20	5	-	21,66	7754

ROUND BARS



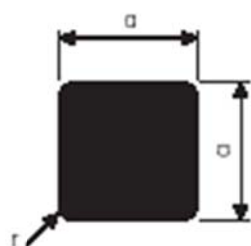
Specification example

Round bar d (diameter) prof.nr
e.g. Round bar 50 Nr-211

d		weight kg/m	profile nr
mm	inch		
5		0,053	6635
6		0,076	146
7		0,10	1924
8		0,14	6636
8,5		0,15	6395
10		0,21	851
11		0,26	1863
12		0,31	1136
14		0,42	1137
14,5		0,45	67
15		0,48	1
16		0,54	857
16,5		0,58	838
18		0,69	143
19		0,77	98
20		0,85	721
21		0,94	434
22		1,03	357
23		1,12	858
25		1,33	147
26		1,43	172
28		1,66	1457
28,57		1,73	2751
30	1 1/8	1,91	224
32		2,17	275
33		2,31	1908
35		2,60	1075
37		2,90	1556
38		3,06	6637
40		3,39	837
42		3,74	1205
45		4,29	338
47		4,68	222
50		5,30	211
55		6,41	1105
57		6,89	626

d		weight kg/m	profile nr
mm	inch		
60		7,63	452
60,32	2 3/8	7,72	2756
65		8,96	362
67		9,52	13750
70		10,39	301
75		11,93	340
76		12,25	363
80		13,57	158
85		15,32	341
90		17,18	1895
95		19,13	9077
96		19,50	17048
100		21,21	751
102		22,06	1771
105		23,38	9236
110		25,66	1985
120		30,54	2955

SQUARE BARS



Specification example

Square bar
a (width across flats) prof.nr
e.g. Square bar 50 Nr-2344

a mm	r mm	weight kg/m	profil nr
5	-	0,07	12950
7	-	0,13	1297
10	-	0,27	355
12,5	1	0,42	3490
15	-	0,61	454
20	-	1,08	157
25	-	1,69	3450
26,5	-	1,90	11566
30	-	3,43	1702
36	-	3,50	1101
38	6,5	3,80	5184
38,1	-	3,92	3771
40	-	4,32	4440
41	-	4,54	877
43	-	4,99	11157
45	-	5,47	1504
50	-	6,75	2344
52	-	7,30	6546
53	7	7,52	5193
60	2,5	9,71	4250
70	-	13,23	1080
75	9	15,00	744
80	-	17,28	6604
90	-	21,87	6586
100	-	27,00	6585
100	2,5	26,99	4253

HEXAGONAL BARS



Specification example

Hexagonal bar
a (width across flats) prof.nr
e.g. Hexagonal bar 40
Nr-5619

a mm	weight kg/m	profil nr
6	0,084	2599
8	0,15	4177
10	0,23	5294
11	0,28	559
12	0,34	2040
14	0,46	731
15	0,53	1099
17	0,68	2041
18	0,76	1001
22	1,11	134
24	1,35	1429
27	1,70	2044
32	2,39	2049
36	3,03	5333
40	3,74	5619
42	4,13	9848
56	7,33	2048

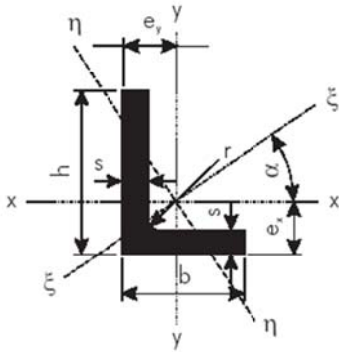
b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profilo no
50	4	-	0,54	3801
50	4	1	0,54	8419
50	5	1	0,67	1538
50	5	-	0,68	89
50	6	-	0,81	8
50	6	1	0,81	8418
50	6,5	-	0,88	2998
50	7	-	0,95	2999
50	7,5	-	1,01	3000
50	8	1,5	1,07	732
50	8	-	1,08	820
50	9	-	1,22	3002
50	10	-	1,35	982
50	10	1	1,35	1222
50	12	-	1,62	3006
50	14,5	-	1,96	3805
50	15	1	2,02	2924
50	15,5	-	2,09	3806
50	20	-	2,70	541
50	20	5	2,64	10887
50	25	-	3,38	521
50	40	-	5,40	3668
53	16	-	2,29	1987
55	14	1	2,08	1417
60	2	-	0,32	1298
60	4	1	0,65	6052
60	5	-	0,81	817
60	5	1	0,81	1534
60	6	-	0,97	519
60	8	-	1,30	1161
60	8	1	1,29	8417
60	10	-	1,62	494
60	10	1	1,62	1487
60	10	-	1,62	17299
60	12	-	1,94	187
60	15	-	2,43	978
60	20	-	3,24	518
60	25	-	4,05	520
60	36	-	5,83	7957
60	40	-	6,48	1496
60	50	1	8,10	7293
65	5	-	0,88	513
66	30	-	5,35	6755
68	35	1	6,43	4096
70	2	-	0,38	2782
70	5	-	0,95	816
70	6	1	1,13	8528
70	7	-	1,32	4479
70	15	-	2,84	188
70	40	-	7,56	3670
75	6	-	1,22	493
75	8	-	1,62	10008
75	10	1	2,02	1221
75	15	1	3,04	3698

b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profilo no
75	53	2	10,72	4355
80	5	-	1,08	981
80	6	1	1,30	17512
80	8	-	1,73	1647
80	10	-	2,16	981
80	10	1	2,16	1535
80	12	1	2,59	8245
80	15	-	3,24	4144
80	20	-	4,14	19508
80	25	-	5,40	1184
80	25	1	5,40	4282
80	30	-	6,48	749
80	50	-	10,80	1107
85	17	-	3,90	22184
86	43	-	9,98	3101
87	67	-	15,74	3108
90	2	-	0,48	737
90	3	-	0,73	5210
90	8	-	1,35	5749
100	5	-	1,35	468
100	6	-	1,62	88
100	10	-	2,70	485
100	10	1	2,70	1620
100	12	-	3,24	491
100	12	1	3,24	1488
100	15	-	4,05	4271
100	20	-	5,40	1118
100	20	5	5,34	11822
100	25	-	6,75	1012
100	32	-	8,64	789
100	37	-	9,99	1752
100	40	-	10,80	1639
100	50	2	13,48	9061
100	54	-	14,58	1406
100	80	2	21,58	8935
110	10	-	2,97	7015
118	8	1	2,55	2677
120	4	-	1,30	5211
120	10	-	3,24	1287
120	10	1	3,24	1536
120	12	1	3,81	4327
120	15	1	4,86	1918
120	20	1,5	6,48	6594
120	50	-	16,20	1655
120	70	1	22,60	5953
120	80	1	26,40	13020
125	5	-	1,68	456
125	12	-	4,05	11083
125	40	-	13,50	9078
130	10	-	3,51	11872
140	15	-	5,67	1407
150	8	-	3,24	492
150	10	-	4,05	1294
150	12	-	4,86	496

b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profilo no
150	15	-	6,07	17268
150	15	-	6,08	18514
150	20	-	8,10	1874
150	25	3	10,12	8645
150	35	0,5	14,17	14046
150	51	1	10,70	20701
150	70	4	28,31	4497
160	8	-	3,46	1452
160	10	1	4,32	13046
160	20	-	8,63	20818
162	72	2	17,48	9716
169	49	-	22,35	20819
169	58	1	26,47	9652
170	26	1	11,93	2395
175	55	-	25,99	2389
180	12	0,5	5,83	14005
180	30	-	14,58	4209
200	6	1,5	3,24	4345
200	8	-	4,32	17367
200	10	-	5,40	2686
200	15	-	8,10	1875
200	20	-	10,80	3232
210	38	2	21,54	5287
215	3,5	-	2,03	6095
230	15	1	9,31	10510
250	17	1	11,47	10511
265	3,5	-	2,50	6094
280	30	1	22,68	2427
290	32,5	3	25,43	11109
300	300	0,8	8,91	7627
300	300	0,8	21,50	4756
300	42	3,5	33,99	2946



L-PROFILES



Specification example

L-profile $h \times b \times s$ prof.nr
e.g. L-50×25×3 Nr-1726

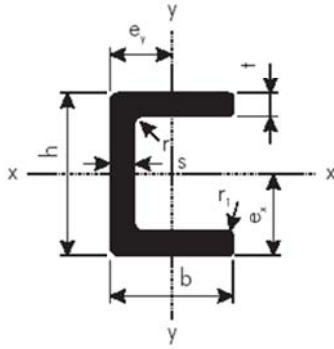
h mm	b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profile no
10	10	1,5	1,5	0,08	511
12	12	2	-	0,12	6671
15	8	1,5	3	0,09	4164
15	10	2	-	0,12	4731
15	15	1,5	1,5	0,12	512
15	15	2	-	0,15	1950
17	15	3	-	0,23	3481
20	6,5	2	-	0,13	2199
20	10	2	-	0,15	2791
20	15	2	1,6	0,18	176
20	20	1,5	-	0,16	2321
20	20	1,7	-	0,18	8914
20	20	2	0,6	0,21	10
20	20	2	-	0,21	1949
20	20	3	2,5	0,30	754
25	25	2	2	0,26	11
25	25	2	-	0,26	2792
25	25	3	2,5	0,38	1143
30	20	2	-	0,26	1235
30	20	3	-	0,38	4917
30	30	2	1,5	0,31	686
30	30	3	-	0,46	5671
30	30	3	3	0,47	12
30	30	4	2,5	0,61	572
30	30	4,5	-	0,69	7435
32	6	2	-	0,19	4756
32	12	1,5	-	0,17	714
32	17	2	-	0,25	798
35	20	4	2,5	0,55	568
35	35	3	2,5	0,55	3
35	35	4	-	0,71	411
40	15	1,5	-	0,22	1668
40	15	3	-	0,42	1782
40	20	2	1,6	0,31	4502
40	20	3	-	0,46	78
40	20	4	-	0,60	6911
40	25	5	-	0,81	2289
40	30	3	-	0,54	5723
40	30	4	2,5	0,72	689
40	32	2	-	0,38	2739
40	40	2	-	0,42	1150
40	40	4	4	0,83	14

h mm	b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profile no
43	34	10	-	1,81	4237
45	45	3	-	0,70	5859
47,5	27	6	2	1,11	3822
50	25	3	2,5	0,59	1726
50	30	3	-	0,62	1481
50	30	4	-	0,82	9095
50	40	3	3	0,71	18471
50	40	5	4	1,16	389
50	50	4	-	1,04	3470
50	50	5	5	1,30	15
50	50	6	5	1,54	5288
52	10	2	-	0,32	5912
55	15	3	-	0,54	1025
60	30	3	2	0,71	17514
60	40	4	2,5	1,04	141
60	40	5	-	1,28	1810
60	40	7	6	1,78	471
60	50	5	7	1,45	490
60	60	4	2	1,26	17516
60	60	6	4	1,86	45
60	60	8	4	2,43	4318
65	25	2	-	0,48	6134
65	35	8	-	1,99	11453
70	13	3	-	0,65	1024
70	50	5	4	1,56	753
70	70	4,7	-	1,72	17689
70	70	7	5	2,53	2632
75	50	6	7	1,96	489
75	50	7	4	2,24	4671
75	50	8	4	2,54	6954
75	65	6	-	2,17	3184
75	65	7	8	2,55	488
77	40	1,8	1	0,56	12989
80	35	5	4	1,49	688
80	50	10	4	3,25	3336
80	80	5	3	2,10	17517
80	80	8	8	3,32	16
80	80	10	-	4,05	2948
85	60	8	1	2,96	6608
95	60	6,5	3	2,61	8712
100	50	5	2	1,96	17513
100	50	6	9	2,38	487

h mm	b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profile no
100	50	7	-	2,7	3174
100	50	8	4	3,08	9186
100	65	7	-	2,99	18515
100	100	4	-	2,12	5973
100	100	10	6	5,15	852
110	35	4	-	1,52	3723
120	60	8	4	3,72	4073
120	120	11	13	6,90	3069
130	65	10	8	5,03	2774
130	75	7	6	3,76	1295
140	50	4	2,5	2,01	4944
150	75	8	6	4,71	3735
150	100	12	6	7,73	1779
150	150	10	12	7,91	6115
150	150	14	13	10,91	5171
200	55	6	4	4,04	5120
215	140	15	1	13,80	11776



U-PROFILES



h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile no.
9	10	1	1	-	-	0,07	472
12	12	2	2	-	-	0,17	642
13	13	1,5	1,5	1,5	-	0,15	388
14	12	2	2	-	-	0,18	10140
14	30	2	2	-	-	0,38	6182
15	15	1,5	1,5	-	-	0,17	6976
15	15	2	2	2	-	0,22	4854
15	15	2	2	2	-	0,23	17
15	25	1,5	1,5	-	-	0,25	3744
17	15	1	1	-	-	0,12	2322
18	18	2	2	-	-	0,27	7061
18	35	1,5	1,5	-	-	0,34	8211
20	10	2	2	-	-	0,19	900
20	20	2	2	2	-	0,31	18
22	19	2	2	-	-	0,30	2793
25	6	1,2	1,2	-	-	0,11	10542
25	15	2	2	2	-	0,28	19
25	20	2	2	2	-	0,33	828
26,4	10	1,2	1,2	-	-	0,14	7900
27	17	2	2	-	-	0,31	3722
29,5	29,5	2,5	2,5	-	1	0,56	4622
30	20	2	2	-	-	0,36	1270
30	20	3	3	3	-	0,53	20
30	30	1,5	1,5	1,5	-	0,35	879
30	30	3	3	2,5	-	0,69	6394
32	22	2	2	-	-	0,39	4425
32	29	3,5	3	-	-	0,72	443
34,5	32,5	2	2	-	-	0,52	799
35	35	3	3	2,5	-	0,81	538
36	10	2	2	-	-	0,28	954
40	20	2	2	-	-	0,41	736
40	20	4	4	2,5	-	0,78	453
40	25	1,5	1,5	-	-	0,352	14491
40	25	3	3	3	-	0,69	21
40	40	4	4	-	-	1,21	905
47	9	4	2	-	-	0,56	3163
50	9,8	2,5	1,5	-	-	0,40	15057
50	30	3	3	-	-	0,84	17426
53	44	3	3	-	-	1,10	19436
50	30	4	4	4	-	1,12	22
55	55	15	15	2	2	5,47	4376
60	20	4	4	-	-	0,99	1014

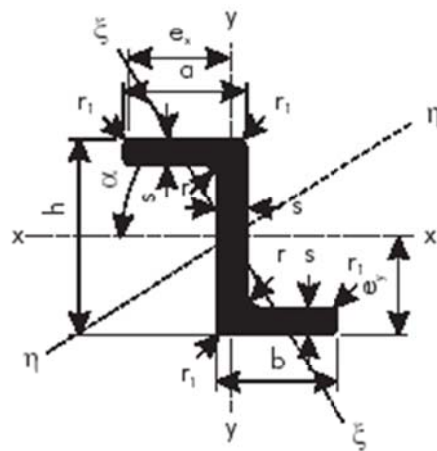
Specification example

U-profile h×b×s×t prof.nr

e.g. U-220×90×4×5 Nr-3480

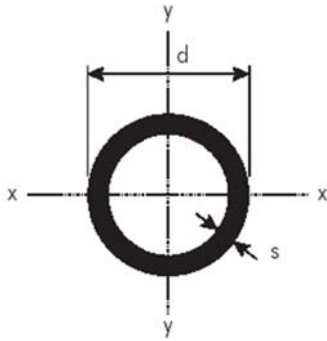
h mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile no.
60	30	4	4	2	2	1,21	2972
60	40	3	3	2,5	-	1,09	629
60	40	4	4	2,5	-	1,43	168
60	40	5	5	5	-	1,78	6580
60	60	6	6	4	-	2,74	4317
60	70	4	4	-	-	2,07	20076
61,5	52	4	4	1	1	1,70	8793
65	40	6	6	4	0,6	2,17	526
70	95	3	3	3	-	2,07	830
80	30	4	4	-	-	1,43	17511
80	40	3	3	2,5	-	1,25	70
80	40	4	4	-	-	1,64	17509
80	40	5	5	5	-	2,05	6581
80	40	6	6	4	0,6	2,42	2231
80	45	6	8	6	0,6	3,02	237
80	60	6	6	6	-	3,09	7779
85	130	2,5	2,5	-	-	2,29	3639
100	37,5	8	8	6	4	3,46	2003
100	40	3	3	-	-	1,41	2956
100	40	6	6	4	0,6	2,74	6396
100	50	3	3	3	-	1,58	1110
100	50	5	5	5	-	2,59	6582
100	50	6	9	6	2	3,80	4329
100	50	8	8	6	0,8	4,02	8531
120	45	6	6	4	-	3,23	724
120	45	10	10	1	1	5,13	1576
120	55	4	4	-	-	2,40	5077
120	55	7	9	6	0,6	4,64	2232
120	60	5	5	5	-	3,13	6583
125	73	11	11	3	3	7,40	2800
140	52,5	11	11	3	3	6,62	2365
140	60	6	6	4	-	4,03	1562
140	60	7	10	6	0,6	5,55	882
150	100	10	10	5	-	8,94	1850
160	60	8	12	3	3	6,82	6449
160	60	12	13	3	3	8,29	2719
170	80	6	10	5	-	6,77	1560
175	25	8	8	1	1	4,51	4685
180	67,5	13	13	3	3	10,14	2720
180	75	3	3	3	-	2,63	9347
182	85	10	10	-	-	8,96	6414
200	75	14	20	3	3	14,15	3052
203	59	8	8	3	3	6,59	2799
210	30	10	10	1	1	6,75	4686
220	50	5	5	2	-	4,19	9047
220	60	6	8	-	-	5,90	7161
220	90	4	5	1	1	4,70	3480

Z-PROFILES



h mm	a mm	b mm	s mm	r mm	r ₁ mm	weihjt kg/m	profile no
15	15	15	2,5	-	-	0,27	1002
17,5	17,5	17,5	1,5	-	-	0,18	12810
30	30	28	1,3	-	-	0,66	13538
32	20	12	2	-	-	0,32	12791
32,5	48	48	10	-	-	2,93	4267
50	20	20	3	3	1	0,69	4034
50	30	30	3	-	-	0,84	763
50	40	23	3	-	-	0,87	4924
55	25	25	2	-	-	0,54	13237
60	25	20	4	2	1	1,05	4190
101	30	30	3	-	-	1,26	12332

ROUND TUBES



Specification example

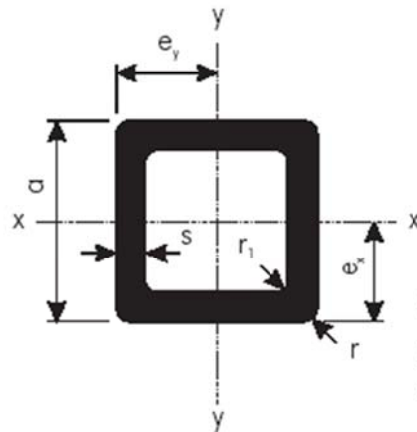
Round tube $d \times s$ prof.nr
e.g. Round tubi 200×5 Nr-2023

d mm	s mm	weight kg/m	profile no
6	1	0,042	336
8	1	0,059	255
10	1	0,076	346
10	1,5	0,11	71
10	1,75	0,12	4007
10	2	0,14	1336
11	1,3	0,11	10695
11,5	2,25	0,18	1077
12	1	0,09	522
12	2,5	0,20	941
12,8	1	0,10	274
13	1,5	0,15	11708
13	3,1	0,26	4751
13,9	1	0,11	13064
14,9	1,5	0,17	969
15	1	0,12	191
15	2	0,22	1337
16	1	0,13	279
16	1,5	0,18	448
16	2	0,24	5304
16	2,5	0,29	693
16	4,5	0,44	7515
17	3,5	0,40	943
17	4,25	0,46	1255
18	1,5	0,21	13720
18	2,5	0,33	5305
18	3	0,38	4078
19	1	0,15	273
19	1,5	0,22	308
19,5	5	0,62	20008
20	1	0,16	4299
20	1,5	0,23	5943
20	3	0,43	371
20	4,25	0,57	944
20	5,75	0,70	11450
21,5	1	0,17	5123
22	1	0,18	5748
22	1,5	0,26	163
22	2,5	0,41	15252
22	2	0,34	921
22	3	0,48	1613
22	4,25	0,64	4752
23,5	1,5	0,28	5645
24	4	0,68	463
24	5,25	0,83	945

d mm	s mm	weight kg/m	profile no
25	1,5	0,30	289
25	2,5	0,48	206
25	3,2	0,59	3682
25	4,75	0,82	946
26	4	0,75	4758
26,7	1,5	0,32	14273
27	1,6	0,34	909
27	2	0,42	1637
28	1,5	0,34	6981
28	1,6	0,36	1106
28	2,5	0,54	1750
28	4	0,81	464
28	5	0,98	6478
28	5,75	1,09	947
28	8,75	1,43	11470
30	1,5	0,36	1004
30	2,3	0,54	73
30	2,6	0,60	11734
30	3	0,69	3010
30	5,65	1,17	948
31,5	3	0,73	9006
32	1	0,26	8210
32	1,5	0,39	9516
32	2	0,51	417
32	4,5	1,05	630
33	5,5	1,28	5036
33	8,25	1,73	9087
34	2	0,54	161
34	3	0,79	1434
34	4	1,02	1234
35	1,5	0,43	523
35	2,5	0,69	74
35	5	1,27	1313
35	7,5	1,75	1053
35	9,5	2,05	465
35	11	2,24	14773
36	2	0,58	6513
36	31	0,84	208
38	1	0,31	633
38	1,5	0,46	9825
38	2	0,61	450
38	7	1,84	3359
39	5,75	1,63	2633
40	2	0,64	1003
40	3	0,94	4604

d mm	s mm	weight kg/m	profile no
40	3,5	1,08	4574
40	5	1,48	3837
40	5,5	1,61	4760
42	2,5	0,84	4390
42	3	0,99	5044
42	4	1,29	339
42	6	1,83	631
42	8,5	2,42	3258
42	13,5	3,26	3702
45	2,5	0,90	1991
45	3	1,07	4408
45	5	1,70	433
48,3	4	1,50	14210
48,5	4,5	1,68	5511
49	6	2,19	2634
50	1	0,42	1753
50	1,5	0,62	9142
50	2	0,81	722
50	3	1,20	207
50	2,5	1,00	6491
50	3,5	1,38	4409
50	4	1,56	16887
50	5	1,91	1052
50	5,5	2,08	5310
50	7	2,55	7517
50	10,35	3,48	3349
50	17,5	4,82	11758
50,65	1,5	0,63	15615
51,5	2,75	1,14	13859
50,75	1,5	0,63	9036
51,5	5	1,97	12922
52	6,25	2,43	1408
52	7	2,67	6550
53,75	1,5	0,67	15997
55	2,5	1,11	6819
55	6	2,49	1713
55	11,5	4,24	467
56	5	2,16	2590
59	5	2,29	6639
60	1,5	0,74	11368
60	2	0,98	837
60	2,5	1,22	5208
60	3	1,45	7523
60	3,5	1,68	1603
60	4,5	2,12	19170

SQUARE TUBES

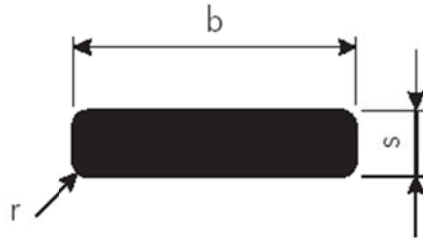


Specification example

Square tube $a \times s$ prof.nr
e.g. Square tube 50×4 Nr-2829

a mm	s mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile nro
15	1	2	1	0,14	595
15	1,5	-	-	0,21	4955
16	1,75	7	-	0,27	5050
20	1	-	-	0,21	11386
20	1,5	1,5	-	0,29	1346
25	1,6	-	1	0,41	9503
25	2	2	1	0,49	532
25	3	2	1	0,71	3676
25,3	1,25	-	-	0,32	10886
30	2	1,5	1,5	0,60	370
30	2	4	2	0,58	13803
30	3	3	-	0,85	39
35	2	1,5	1,5	0,71	420
40	2	-	-	0,82	3489
40	3	-	-	1,20	1272
40	3	3	2	1,19	2151
45	2	-	-	0,93	11227
45	4	-	-	1,77	1138
50	3	-	-	1,52	979
50	4	-	-	1,99	2829
60	3,8	3	2	2,29	3500
60	5	1	4	3,00	5612
65	4	-	-	2,64	1725
80	6	2	-	4,79	4866
100	4	4	2	4,12	5569
100	4,4	2	2	4,54	4365
110	6	-	-	6,74	20185
120	9	2	1	10,78	14667
120	13	10	5	15,20	20184
140	3	1,5	-	4,43	3465
148	10	10	10	14,90	6848
160	4	1	3	6,76	2825

FLAT BARS



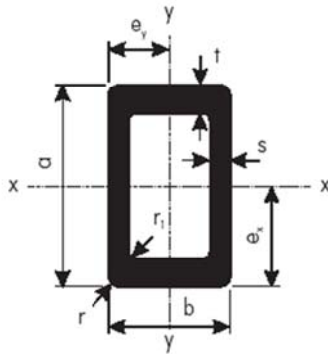
Specification example

Flat bar $b \times s$ prof.nr
e.g. Flat bar 50×10 Nr-982

b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profile no
8	3	-	0,06	4011
10	2	-	0,05	3022
10	3	-	0,08	11472
10	6	-	0,16	2516
12	3	-	0,10	1182
12	4	-	0,13	923
12	4	2	0,12	4132
12	5	-	0,16	2492
15	3	-	0,12	4
15	4	-	0,16	2980
15	5	-	0,20	182
15	6	-	0,24	4385
15	10	-	0,41	2313
17	10	-	0,46	4386
18	15	2	0,72	862
20	2	-	0,11	178
20	3	-	0,16	5
20	4	-	0,22	1350
20	5	-	0,27	81
20	5	1	0,27	1531
20	6	-	0,32	5516
20	6,5	-	0,35	4309
20	8	-	0,43	1043
20	10	-	0,54	8215
20	10	1	0,54	2535
20	12	1	0,65	3739
20	15	-	0,81	1186
24	2	-	0,13	9950
25	2	-	0,14	79
25	3	1	0,20	477
25	4	-	0,27	6
25	5	-	0,34	82
25	6	-	0,41	17098
25	8	1,5	0,53	475
25	10	-	0,68	30
27	3	-	0,22	1152
28	5	1	0,38	840
28	11,5	1	0,87	5217
30	1,5	-	0,12	165
30	2	0,8	0,16	6062
30	3	-	0,24	80
30	4	-	0,32	48

b mm	s mm	r mm	weight kg/m	profile no
30	4	-	0,32	3830
30	5	-	0,41	7
30	8	-	0,65	116
30	10	-	0,81	327
30	10	1	0,81	4273
30	14	1	1,13	3088
30	20	1	1,62	16200
32	3	0,8	0,26	4575
32	8	2	0,68	9655
32	25	-	2,16	4223
35	3	-	0,28	49
35	4	-	0,38	1093
35	10	-	0,95	2574
35	15	-	1,42	2813
35	20	-	1,89	1304
37	2	-	0,20	9952
38	2,5	0,8	0,26	4416
40	2	-	0,22	179
40	3	-	0,32	771
40	4	-	0,43	167
40	5	-	0,54	2
40	5	1	0,54	1532
40	6	-	0,65	1377
40	6	2	0,64	4039
40	8	-	0,86	3169
40	10	-	1,08	729
40	10	1	1,08	1486
40	15	-	1,62	1204
40	20	-	2,16	2738
42	6	-	0,68	2631
45	4	-	0,49	2989
45	6	-	0,73	1068
45	8	-	0,97	4424
45	15	-	1,82	544
45	19	-	2,31	546
45	20	-	2,43	3090
45	25	-	3,04	548
45	30	-	3,65	748
48	2,5	1	0,32	6063
48,5	2	-	0,26	16794
50	2	-	0,27	5258
50	3	-	0,41	1456

RECTANGULAR TUBES



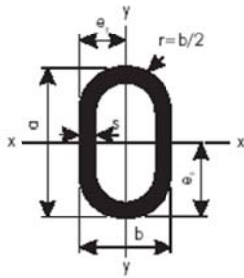
Specification example

Rectangular tube $a \times b \times s \times t$ prof.nr
e.g. Rectangular tube $70 \times 50 \times 3 \times 4$ Nr-1383

a mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile no
15	10	1,2	1,2	0,5	-	0,15	14321
18	12	1	1	-	-	0,15	804
20	10	1	1	0,5	0,5	0,15	14417
20	10	1	1	2	1	0,14	3795
20	15	1,5	1,5	-	-	0,26	4673
20,1	14,1	1	1	-	-	0,17	829
24	12	1	1,05	2	1	0,18	7445
25	13	2,5	2,5	2	-	0,44	7287
25	15	1,5	1,5	2	-	0,29	836
25	17,5	1	1	-	-	0,22	18556
25	20	1,25	1,25	-	-	0,29	11388
25	20	1,25	1,25	2	-	0,28	13236
25	20	2	2	-	-	0,44	1432
30	10	1,5	1,5	-	-	0,30	3428
30	20	1,5	1,5	-	-	0,38	2558
32	15	1,3	1,3	-	-	0,31	3838
32	24,6	1,8	1,5	2	-	0,47	13235
35	17	2	2	-	-	0,52	17219
35	20	2	2	1	-	0,55	3062
40	20	1,5	1,5	-	-	0,46	1163
40	20	1,5	1,5	3	1,5	0,45	6482
40	20	2	2	-	-	0,60	356
40	20	2	2	3	1	0,59	6483
40	25	1,5	1,5	-	-	0,50	15023
40	25	2,5	2,5	3	2	0,80	2152
42	16	1,5	1,5	2	-	0,44	5974
45	35	5	5	3	2	1,88	766
46	26	3	3	1,5	-	1,06	1391
50	20	1,5	1,5	-	-	0,54	1162
50	25	2	2	1,5	-	0,76	9524
50	30	2	2	-	-	0,82	9096
50	30	2,5	2,5	-	-	1,01	4911
50	40	2,5	2,5	-	-	1,15	11482
50	40	4	4	-	-	1,77	1722
60	20	2	2	-	-	0,82	20074
60	30	2	2	1,5	-	0,92	845
60	40	3	3	-	1,5	1,53	1723
60	40	3	3	3	-	1,50	6484
60	42	5	5	3	-	2,46	6485
65	30	2,5	2,5	-	5	1,27	3203
70	10	1,5	1,5	-	-	0,62	3429
70	50	3	4	2	1	2,08	1383

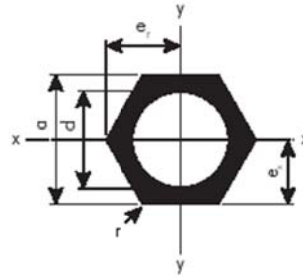
a mm	b mm	s mm	t mm	r mm	r ₁ mm	weight kg/m	profile no
70	50	5	5	5	3	2,93	765
70	60	5,5	5,5	10	4,5	3,35	8004
75	25	3	3	-	-	1,52	3030
75	34	1,7	1,7	3	1,3	0,94	7266
75	41	3	5	3	1	2,14	7393
80	40	3	3	2	1	1,84	7442
80	40	5	5	-	-	2,97	3300
80	48	6	6	3	2	3,75	5336
80	60	4	4	2	1	2,84	2648
80	60	4	5	3	2	3,12	5026
85	65	5	5	2	1	3,78	1382
100	20	2	2	-	-	1,25	1967
100	35	2,5	2,5	-	3	1,78	4064
100	35	4	4	3	2	2,73	3102
100	35	4	4	10	4	2,55	6193
100	45	3	4	-	1,5	2,47	906
100	50	3	3	3	1	2,35	16903
100	50	3	9,5	2	2	3,88	1332
100	60	5	5	-	-	4,05	1724
100	80	6	6	2	2	5,44	1331
110	50	3	3	4	4	2,49	11485
110	60	5	15	2	2	7,02	5107
110	90	6	6	1	1	6,09	9563
115	50	2,25	2,25	-	-	1,95	3697
120	35	7	10	3	-	5,65	2067
120	50	5	5	4	1	4,29	4296
120	80	6	9	2	2	7,19	1883
125	50	2,2	2,2	-	-	2,03	2600
130	90	8	10	2	2	9,61	1884
136	100	5	6	15	10	6,30	7897
150	50	3	3	4	4	3,14	1966
150	50	5	5	4	4	5,13	3275
150	80	3,5	7	8	5	5,50	9105
160	80	8	12	8	5	10,97	3274
165	100	5	9	10	5	8,66	3484
165	125	5,5	10	10	5	10,88	3427
172	124	10	12	4	4	16,03	9317
200	50	5	5	-	-	6,48	19337
200	60	2,8	2,8	1	1	3,85	11175
200	100	7	5	5	2	8,76	16405
209	69	7	7	-	5	10,04	4301
220	115	3,5	3,5	-	-	6,20	7952

OVAL TUBES



a mm	b mm	s mm	weight kg/m	profil nro
20	10	1,5	0,19	2293
25	17	2	0,35	10434
33	18	2	0,43	12655
40	10	1	0,24	6646
40	20	3	0,83	9879
45	13	1,5	0,41	2153
50	20	1,5	0,48	2883

HEXAGONAL TUBES



a mm	d mm	r mm	weight kg/m	profil nro
10	5	-	0,18	6281
13	6,75	-	0,30	6289
17	8,5	-	0,52	9200
17	10,3	-	0,45	4733
21	15,5	-	0,52	426
23	17	-	0,62	148
24	14	-	0,93	7883
24	15	-	0,87	6956
27	14	14,5	1,25	995
29	23	-	0,84	286
31	20	-	1,40	660
31	20	16,5	1,34	993
32	19	17,25	1,58	2137
39	23	-	2,43	662
39	31	-	1,52	570
39	32	-	1,38	9217
41	26,5	-	2,44	9461
48	36	26	2,58	1082