



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**«Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΓΙΑ ΤΟΝ ΜΗ
ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟ ΕΛΕΓΧΟ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΩΝ
ΣΥΝΔΕΣΕΩΝ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ: ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ
ΜΕΤΑΒΛΗΤΩΝ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΚΑΙ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ
ΕΠΑΛΗΘΕΥΣΗ»**



ΦΟΙΤΗΤΗΣ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΪΡΗΣ ΣΤΑΥΡΟΣ
ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ

ΑΘΗΝΑ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Συγκολλήσεις	11
1.1. Γενικά περί συγκολλήσεων	12
1.2. Συγκολλητότητα μετάλλων και κραμάτων	14
1.3. Αυτογενείς συγκολλήσεις	16
1.3.1. Μέθοδος συγκόλλησης τόξου	16
1.3.1.1. Συνήθης εξοπλισμός & τρόποι συγκόλλησης	17
1.3.1.2. Μέθοδος SMAW	20
1.3.1.3. Μέθοδος GMAW/MIG-MAG	21
1.3.1.4. Μέθοδος SAW	22
1.3.1.5. Μέθοδος ESW	23
1.3.1.6. Μέθοδος GTAW/TIG	23
1.3.2. Μέθοδος PAW	24
1.3.3. Μέθοδος EBW...	25
1.3.4. Μέθοδος LBW	26
1.3.5. Μέθοδος OFW	27
1.3.6. Συγκόλληση αντίστασης(Resistance Welding)	29
1.4. Ετερογενείς συγκολλήσεις	29
1.4.1. Μαλακές ετερογενείς συγκολλήσεις	30
1.4.2. Σκληρές ετερογενείς συγκολλήσεις	30
1.5. Συγκολλήσεις στερεάς φάσης ή πίεσης	31
1.5.1. Συγκόλληση σύνδεσης στερεάς κατάστασης	31
1.5.2. Συγκόλληση σφυρηλάτησης	32
1.5.3. Θερμή συγκόλληση στερεάς φάσης	32
1.5.4. Συγκόλληση με τριβή(Friction Welding)	32
1.6. Μηχανική των συγκολλήσεων	32
1.6.1. Καταπονήσεις ραφών	32
1.6.1.1. Εφελκυσμός ή διάτμηση	33
1.6.1.2. Κάμψη	35
1.6.1.3. Στρέψη	36
1.6.1.4. Παραμένουσες τάσεις	37

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σφάλματα Συγκολλήσεων	39
2.1. Έννοια της ποιότητας συγκόλλησης	40
2.2. Ταξινόμηση τυπικών σφαλμάτων συγκόλλησης	42
2.2.1. Ταξινόμηση κατά EN ISO 6520-1	43
2.2.2. Ταξινόμηση κατά A.W.S. (American Welding Society)	43
2.3. Ασυνέχειες γεωμετρίας και διαστάσεων	45
2.4. Περιγραφή, προέλευση, διόρθωση και σημαντικότητα τυπικών ασυνεχειών συγκόλλησης	47
2.4.1. Ρωγμές	47
2.4.1.1. Προέλευση και διόρθωση	49
2.4.1.2. Σημαντικότητα	50
2.4.2. Σπηλαιώσεις	51
2.4.2.1. Προέλευση και διόρθωση	52
2.4.2.2. Σημαντικότητα	53
2.4.3. Στερεά εγκλείσματα	54
2.4.3.1. Προέλευση και διόρθωση	56
2.4.3.2. Σημαντικότητα	56
2.4.4. Ατελής τήξη ή διείδυση	56
2.4.4.1. Προέλευση και διόρθωση	58
2.4.4.2. Σημαντικότητα	59
2.4.5. Ατελές σχήμα ή ανώμαλη όψη	59
2.4.5.1. Προέλευση και διόρθωση	61
2.4.5.2. Σημαντικότητα	62
2.4.6. Διάφορα άλλα σφάλματα	62
2.4.6.1. Προέλευση και διόρθωση	63
2.4.6.2. Σημαντικότητα	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή στους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους	64
3.1. Γενικές αρχές, έννοιες, εφαρμογές	65
3.2. Ιστορική αναδρομή	67
3.3. Περιληπτική παρουσίαση μεθόδων ΜΚΕ	67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι	73
4.1. Μέθοδος Ακουστικών Εκπομπών	74
4.1.1. Τρόπος λειτουργίας	74
4.1.2. Εξοπλισμός	75
4.1.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	76
4.2. Μέθοδος Ελέγχου με Διεσδυτικά Υγρά	76
4.2.1. Τρόπος λειτουργίας	76
4.2.2. Εξοπλισμός	78
4.2.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	78
4.3. Μέθοδος Ελέγχου με Μαγνητικά Σωματίδια	79
4.3.1. Τρόπος λειτουργίας	79
4.3.2. Εξοπλισμός	84
4.3.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	85
4.4. Μέθοδος Οπτικού Ελέγχου	86
4.4.1. Τρόπος λειτουργίας	86
4.4.2. Εξοπλισμός	89
4.4.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	89
4.5. Μέθοδος Ελέγχου με Δινορεύματα	90
4.5.1. Τρόπος λειτουργίας	90
4.5.2. Εξοπλισμός	93
4.5.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	93
4.6. Μέθοδος Ελέγχου με Υπερήχους	94
4.6.1. Τρόπος λειτουργίας	94
4.6.2. Εξοπλισμός	100
4.6.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	101
4.7. Ραδιογραφία Νετρονίων	101
4.7.1. Τρόπος λειτουργίας	101
4.7.2. Εξοπλισμός	103
4.7.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου	105
4.8. Ειδικές τεχνικές ραδιογράφησης	105

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Βιομηχανική Ραδιογραφία Ακτίνων Χ & Γάμα	106
5.1. Ιστορική αναδρομή	107
5.1.1. Ακτίνες Χ	107
5.1.2. Ακτίνες Γάμα	110
5.1.3. Ακτινοπροστασία	111
5.2. Φυσική της μεθόδου	112
5.2.1. Φύση και ιδιότητες της ραδιενέργειας	112
5.2.2. Παραγωγή ακτίνων Χ	114
5.2.3. Παραγωγή ακτίνων Γάμα	115
5.2.3.1. Δραστηριότητα ραδιονουκλεϊδίων	116
5.2.3.2. Χρόνος ημιζωής ραδιοϊσοτόπου	117
5.2.4. Ιονισμός	117
5.2.5. Απορρόφηση των ακτίνων Χ & Γάμα	118
5.2.6. Το φαινόμενο της σκέδασης	119
5.2.6.1. Σκέδαση των ακτίνων Χ & γάμα	119
5.2.6.2. Διευθύνσεις σκέδασης	121
5.3. Ακτίνες Χ	123
5.3.1. Σωλήνες ακτίνων Χ	123
5.3.2. Ηλεκτρικό κύκλωμα της λυχνίας ακτίνων Χ	125
5.3.3. Ανόρθωση του ρεύματος της λυχνίας ακτίνων Χ	126
5.3.4. Χρήσεις λυχνιών ακτίνων Χ	127
5.3.5. Άλλες συσκευές ακτίνων Χ	127
5.3.6. Φάσμα ακτίνων Χ	128
5.4. Ακτίνες γ	130
5.4.1. Φυσική του ατόμου	130
5.4.2. Σωματιδιακή ακτινοβολία	131
5.4.3. Ακτινοβολία γ	131
5.4.4. Βιομηχανικά ισότοπα ακτίνων γ	131
5.4.5. Ιρίδιο 192	132
5.4.6. Κοβάλτιο 60	132
5.4.7. Ενεργότητα πηγής ακτίνων γ	133
5.4.8. Ειδική ενεργότητα πηγής ακτίνων γ	133
5.4.9. Χρόνος υποδιπλασιασμού	133
5.4.10. Πηγές ισοτόπων	134
5.4.11. Συσκευές ακτίνων γ	134

5.5. Πάχος υποδιπλασιασμού ακτίνων X και γ	136
5.6. Σύγκριση συσκευών ακτίνων X και γ	137
5.7. Το ραδιογραφικό φιλμ	138
5.7.1. Κατασκευή του φιλμ	138
5.7.2. Πυκνότητα του φιλμ	139
5.7.3. Παρατήρηση του φιλμ	140
5.7.4. Μέτρηση της πυκνότητας	141
5.7.5. Χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ	141
5.7.6. Κατηγορίες φιλμ	142
5.8. Έννοιες & νόμοι της ραδιογράφησης	144
5.8.1. Αντίθεση ραδιογραφικής εικόνας	144
5.8.2. Εύρος ραδιογραφικής εικόνας	144
5.8.3. Ευκρίνεια ραδιογραφικής εικόνας	144
5.8.4. Έκθεση-Νόμος αντιστοιχίας-Συντελεστής έκθεσης	145
5.8.5. Γεωμετρική δυσκρίνεια	145
5.8.6. Μέτρηση του μεγέθους του εστιακού σημείου	148
5.8.7. Ενυπάρχουσα/Εγγενής δυσκρίνεια-κοκκώδες του φιλμ	148
5.8.8. Ο νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων	149
5.9. Ενισχυτικές πλάκες	150
5.9.1. Χρησιμότητα	150
5.9.2. Μεταλλικές ενισχυτικές πλάκες	151
5.9.3. Φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες	152
5.9.4. Φθορομεταλλικές πλάκες	153
5.10. Άλλες τεχνικές απεικόνισης	153
5.10.1. Φθοροσκοπία	153
5.10.2. Συστήματα ενίσχυσης της εικόνας	155
5.10.3. Ξηροραδιογραφία	156
5.10.4. Απεικόνιση σε χαρτί	156
5.11. Κατεργασία του φιλμ	157
5.11.1. Καθαριότητα	157
5.11.2. Χειρισμός Φιλμ	157
5.11.3. Στάδια Κατεργασίας Φιλμ	158
5.11.3.1. Εμφάνιση	158
5.11.3.2. Λουτρό Διακοπής	159
5.11.3.3. Σταθεροποιητής	159
5.11.3.4. Πλύσιμο	160

5.11.3.5. Στέγνωμα	160
5.11.4. Σκοτεινός θάλαμος	161
5.11.5. Υλικά των δεξαμενών επεξεργασίας	163
5.11.6. Αυτόματη εμφάνιση του φιλμ	163
5.12. Ελαττώματα του ραδιογραφήματος	164
5.12.1. Ελαττώματα που προκαλούνται πριν από την εμφάνιση	164
5.12.2. Ελαττώματα που προξενούνται κατά την εμφάνιση	167
5.13. Επιλογή παραμέτρων ραδιογράφησης	168
5.13.1. Διαγράμματα έκθεσης	168
5.13.2. Συντελεστής ισοδυναμίας	172
5.14. Δείκτες ποιότητας εικόνας-πενετρόμετρα	172
5.14.1. Γενικές αρχές	173
5.14.2. Είδη πενετραμέτρων	174
5.14.2.1. Πενετρόμετρα τύπου σύρματος	174
5.14.2.2. Πενετρόμετρα τύπου πλάκας	175
5.15. Ποιότητα(ευαισθησία) ραδιογραφήματος	179
5.15.1. Παράγοντες ευαισθησίας	179
5.15.2. Ραδιογραφική αντίθεση	179
5.15.3. Ευκρίνεια	181
5.15.4. Προϋποθέσεις αποδοχής ραδιογραφήματος	182
5.16. Τεχνικές ραδιογράφησης συγκολλήσεων	183
5.16.1.Απλού τοιχώματος-απλής εικόνας(single wall-single image, SWSI)	183
5.16.2.Διπλού τοιχώματος-απλής εικόνας(double wall-single image, DWSI)	184
5.16.3.Διπλού τοιχώματος-διπλής εικόνας(double wall-double image, DWDI)	184
5.16.4. Εύρεση του βάθους ατέλειας	187
5.17. Ακτινοπροστασία	187
5.17.1. Προστασία από την ακτινοβολία	187
5.17.2. Βλαπτικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας	188
5.17.3. Σχέση δόσης και βλάβης	189
5.17.4. Επιτρεπτή δόση	190
5.17.5. Ταξινόμηση περιοχών	191
5.17.6. Κανονισμοί ακτινοπροστασίας	191
5.17.7. Παρακολούθηση της αθροιστικής δόσης προσωπικού	191
5.17.8. Μέτρηση ρυθμού δόσης στον χώρο εργασίας	192
5.17.9. Το Ραδόνιο	192

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ραδιογραφία Συγκολλητών Δοκιμίων	194
6.1. Εξοπλισμός πειράματος	195
6.1.1. Δοκίμιο ραδιογράφησης	196
6.1.2. Μηχανή παραγωγής ακτίνων Χ	198
6.1.2.1. Λειτουργία διάταξης παραγωγής ακτίνων Χ	202
6.1.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ERESO 42MF3.1	205
6.1.3. Μολυβδογράμματα	207
6.1.4. Ραδιογραφούμενα φιλμ	209
6.1.5. Μετρητής ραδιενέργειας(Geiger)	211
6.1.6. Image Quality Indicators(IQI)	212
6.1.7. Αυτόματο εμφανιστήριο ραδιογραφιών	213
6.2. Μεταβλητές του πειράματος	214
6.2.1. Επίπεδα ραδιενέργειας(μεταβλητές kV, mA*min)	216
6.2.2. Τύπος ραδιογραφούμενου φιλμ	217
6.2.3. Film Focus Distance, FFD	217
6.3. Περιγραφή, εκτέλεση πειράματος	217
6.4. Αποτελέσματα πειράματος	222
6.4.1. Ραδιογραφίες μεταβλητής έκθεσης mA*min	222
6.4.2. Ραδιογραφίες μεταβλητής ενέργειας kV	224
6.4.3. Ραδιογραφίες διαφορετικών φιλμ	226
6.4.4. Ραδιογραφίες μεταβλητής απόστασης φιλμ-πηγής FFD	227
6.4.5. Ραδιογραφία του προς εφελκυσμό συγκολλητού δοκιμίου	229
6.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	231

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Εφελκυσμός Συγκολλητού Δοκιμίου	233
7.1. Εξοπλισμός πειράματος	234
7.1.1. Ραδιογραφία αρχικού δοκιμίου	234
7.1.2. Δοκίμια εφελκυσμού	235
7.1.3. Μηχανή εφελκυσμού	237
7.2. Μεταβλητές του πειράματος	238
7.3. Περιγραφή, εκτέλεση του πειράματος	238
7.4. Αποτελέσματα πειράματος	240
7.4.1. Εφελκυσμός δοκιμίου No 1	240
7.4.2. Εφελκυσμός δοκιμίου No 2	241
7.4.3. Εφελκυσμός δοκιμίου No 3	243

7.4.4. Εφελκυσμός δοκιμίου Νο 4	244
7.4.5. Εφελκυσμός δοκιμίου Νο 5	246
7.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα	247
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	249
1. Μεγέθη και Μονάδες Ραδιολογίας	250
2. Βρετανικός Κανονισμός Ιονιζουσών Ακτινοβολιών 1999 Νο 3232	254
3. Παρατήρηση και Ερμηνεία του Ραδιογραφήματος	261
4. Γενικά περί Εκπαίδευσης στους ΜΚΕ	264
5. Αμερικάνικος Κώδικας Πιστοποίησης Ελεγκτών Συγκολλήσεων	267
6. Ευρωπαϊκός Κώδικας Πιστοποίησης Ελεγκτών Συγκολλήσεων	274
7. Πρότυπα	282
EN 12517.01 – Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι – Μέρος 1 ^ο : Εκτίμηση συγκολλημένων συνδέσμων σε χάλυβα, νικέλιο, τιτάνιο και των κραμάτων τους με ακτινογραφικό έλεγχο – Επίπεδα αποδοχής	284
EN 1505817 – Συγκολλήσεις – Ενώσεις με αυτογενή συγκόλληση σε χάλυβα, νικέλιο, τιτάνιο και τα κράματα τους (εξαιρείτε συγκόλληση δέσμης) – Επίπεδο ποιότητας και ατέλειες	301
EN 6520.01 – Συγκολλήσεις και συναφείς διεργασίες – Ταξινόμηση γεωμετρικών ατελειών σε μεταλλικά υλικά – Μέρος 1 ^ο : Συγκόλληση τήξης	337
EN 1435 – Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι – Ακτινογραφικός έλεγχος συγκολλημένων συνδέσμων	366
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	403

Πρόλογος

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί η μελέτη της βιομηχανικής ραδιογραφίας και οι μεταβλητές αυτής της μεθόδου, που επηρεάζουν άμεσα το αποτέλεσμα της ραδιογραφίας και κατ' επέκταση την απόφαση του εκάστοτε ελεγκτή συγκολλήσεων για την αποδοχή ή όχι μιας συγκόλλησης.

Πιο συγκεκριμένα, μελετήθηκαν δοκίμια συγκολλήσεων τα οποία περιείχαν συγκεκριμένα σφάλματα κατά μήκος της συγκόλλησης τους. Τα σφάλματα αυτά ήταν γνωστά εκ των προτέρων και στόχος ήταν να μελετηθεί κατά πόσο η αποτύπωση αυτών των σφαλμάτων, στο ραδιογραφικό φιλμ, επηρεάζεται λιγότερο ή περισσότερο από συγκεκριμένες μεταβλητές που σχετίζονται με την μέθοδο του ραδιογραφικού ελέγχου.

Στην συνέχεια, ένα εκ των δοκιμίων που ραδιογραφήθηκαν τεμαχίστηκε βάση συγκεκριμένων κανονισμών και τυποποιήσεων σε 5 άλλα δοκίμια, τα οποία εμπεριείχαν μέρος των σφαλμάτων συγκόλλησης που είχε το αρχικό δοκίμιο. Τα εν λόγω δοκίμια καταπονήθηκαν σε εφελκυσμό ώστε να μελετηθεί το όριο θραύσης τους καθώς και για να διαπιστωθεί εάν αυτά θα αστοχούσαν εντός ή εκτός της συγκόλλησης που περιείχε κάποιο σφάλμα.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Ζαχαριάδη Κώστα ελεγκτή συγκολλήσεων Μηχανολόγο Μηχανικό για τις γνώσεις, την βοήθεια και την υποστήριξη που απλόχερα μου παρείχε, τον κ. Χρηστίδη Θεόδωρο ιδιοκτήτη της εταιρείας «**ACUTECH Ε.Π.Ε.**» για την παροχή του τεχνολογικού εξοπλισμού που απαιτήθηκε για την εκτέλεση των πειραμάτων της παρούσας διπλωματικής, καθώς και για την βοήθεια σε γνώσεις και συγκέντρωση πληροφοριών που έλαβα από μέρους του. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω την εταιρεία ΑΦΟΙ Γκολφινόπουλοι, καθώς και τον κ. Γράψα Βασίλη Μηχανολόγο Μηχανικό για την βοήθεια που μου παρείχαν κατά την εκτέλεση των πειραμάτων.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή κ. Μανωλάκο Δημήτριο, για το ενδιαφέρον και την κατανόηση που έδειξε στο πρόσωπο μου, αλλά και τον διδάκτορα κ. Κουτρομπάκη Στέλιο για την συνεχή βοήθεια και υποδείξεις του.

Σταύρος Λ. Καΐρης
Μάρτιος 2009

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Συγκολλήσεις



1.1. Γενικά περί συγκολλήσεων

Λέγοντας συγκόλληση εννοούμε την μέθοδο, κατά την οποία δύο υλικά, συνήθως μέταλλα, συνδέονται μόνιμα μεταξύ τους μέσω τοπικής πρόσφυσης, που επιτυγχάνεται με κατάλληλο συνδυασμό θερμοκρασίας, πίεσης και μεταλλουργικών συνθηκών. Από την εποχή της αρχαιότητας εμφανίζονταν διαδικασίες συγκόλλησης, που βασίζονταν κυρίως στη μέχρι τότε γνώση των υλικών. Έτσι, η συγκόλληση με χύτευση καθιερώθηκε από τους αρχαίους χρόνους ως η κύρια μορφή σύνδεσης και επισκευής σπασμένων κατασκευών από μπρούντζο ή χυτοσίδηρο. Άλλες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν η συγκόλληση σε κάμινο (καμινοσυγκόλληση), η κασσιτεροκόλληση, που χρησιμοποιείται μέχρι τις μέρες μας, ιδιαίτερα στη λευκοσιδηρουργία, η μπρουτζοκόλληση κ.λπ.. Η πιο κλασική μέθοδος συγκόλλησης, που είναι η συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη, εμφανίστηκε στην αρχή του εικοστού αιώνα. Από τότε πολλές διαφορετικές μέθοδοι έχουν ανακαλυφθεί και προσφέρονται για την πραγματοποίηση πολύπλοκων προϊόντων. Η λίστα με τα αντικείμενα ή προϊόντα, που έχουν συγκολλητά μέρη είναι ατελείωτη και περιλαμβάνει από στοιχεία ηλεκτρονικών κυκλωμάτων μέχρι πλοία, μηχανές αεριοθούμενων, αυτοκίνητα, γέφυρες, μεταλλικά έπιπλα, κτίρια με μεταλλικό σκελετό κ.λπ.. Επειδή ο συνδυασμός θερμοκρασίας και πίεσης μπορεί να κυμαίνεται από υψηλή θερμοκρασία με καθόλου πίεση, μέχρι υψηλή πίεση με χαμηλή θερμοκρασία, η συγκόλληση μπορεί να επιτευχθεί με μεγάλη ποικιλία συνθηκών, με αποτέλεσμα σήμερα να έχει αναπτυχθεί και να χρησιμοποιείτε ευρύτατα στην βιομηχανία μεγάλος αριθμός μεθόδων συγκόλλησης (περίπου 50 διαφορετικές τεχνικές). Οι συγκολλήσεις μπορούν να ταξινομηθούν σε δύο ομάδες :

1. Συγκολλήσεις τήξης : πραγματοποιούνται με πλήρωση της περιοχής σύνδεσης με τηγμένο συγκολλητικό υλικό. Εν συνεχεία οι συγκολλήσεις τήξης ανάλογα την φύση του συγκολλητικού υλικού διακρίνονται σε :
 - Αυτογενείς συγκολλήσεις, όπου η κόλληση και τα συγκολλώμενα τεμάχια αποτελούνται από το ίδιο ή παρόμοιο υλικό.
 - Ετερογενείς συγκολλήσεις, όπου το υλικό κόλλησης των τεμαχίων είναι διαφορετικό.
2. Συγκολλήσεις στερεάς φάσης ή πίεσης : πραγματοποιούνται με διάχυση του υλικού μέσω μιας ενδιάμεσης επιφάνειας σύνδεσης ή μέσω αυτόματης σύνδεσης των επιφανειών που έρχονται σε επαφή.

Οι συγκολλήσεις ως μέσο σύνδεσης αντικατέστησαν όλες τις μεθόδους λυόμενων συνδέσεων (κοχλιοσυνδέσεις, ηλώσεις), εκεί βέβαια που δε χρειαζόταν η σύνδεση να είναι λυόμενη. Για την παραγωγή σύνθετων κατασκευών, οι συγκολλήσεις αντικατέστησαν την πολύ δαπανηρότερη χύτευση. Τα πλεονεκτήματα των συγκολλήσεων απέναντι στη χύτευση είναι : οικονομία στο υλικό, μικρότερο κόστος και δυνατότητα πραγματοποίησης σύνθετων κατασκευών, που με τη χύτευση είναι αδύνατες ή πολύ δύσκολες. Μειονεκτήματα που παρουσιάζουν οι συγκολλήσεις σχετίζονται κυρίως με τη συγκολλητικότητα των υλικών, δηλαδή την ιδιότητα ενός υλικού να μπορεί να συγκολληθεί.

Για να επιτευχθεί πρόσφυση μεταξύ δύο μετάλλων, πρέπει να υπάρχει κατάλληλος συνδυασμός επαρκούς γειννίασης και δραστικότητας μεταξύ των τεμαχίων που θα συγκολληθούν, ώστε να σχηματιστούν κοινοί μεταλλικοί κρύσταλλοι. Παράγοντες που μπορούν να περιορίσουν αυτήν την διαδικασία είναι οι ακόλουθοι :

- Συνήθεις ανωμαλίες των επιφανειών που βρίσκονται σε επαφή
- Στρώματα οξειδίων ή ξένων ρύπων όπως μεταλλικά επιφανειακά στρώματα
- Λεπτό στρώμα απορροφώμενου αερίου στην επιφάνεια οξειδίου

Η τραχύτητα επιφανείας εξουδετερώνεται είτε με επιβολή δύναμης, που προκαλεί πλαστική παραμόρφωση των ανωμαλιών και έτσι τα τεμάχια έρχονται σε πιο άμεση επαφή, είτε με τήξη των δύο επιφανειών.

Στις συγκολλήσεις στερεάς κατάστασης, τα στρώματα των ρύπων μπορούν να απομακρυνθούν με μηχανικό ή χημικό καθαρισμό πριν την συγκόλληση ή προκαλώντας επαρκή ροή μετάλλου διαμέσου μιας εσωτερικής επιφάνειας, έτσι οι ακαθαρσίες να αποβληθούν από την συγκόλληση. Στις συγκολλήσεις τήξης, όπου υπάρχει ροή τηγμένου υλικού, οι ρύποι απομακρύνονται με κατάλληλα χημικά αντιδραστήρια.

Εάν η συγκόλληση γίνεται υπό κενό και στις δύο μεθόδους οι ρύποι απομακρύνονται πιο εύκολα και η πρόσφυση επιτυγχάνεται άμεσα. Σε συνθήκες περιβάλλοντος οι ακαθαρσίες μπορούν να συγκολληθούν μαζί με τα τεμάχια υπό την επίδραση μικρής φόρτισης, αν και κάτι τέτοιο δεν προβλέπεται.

Γίνεται φανερό λοιπόν, ότι οι διάφορες μέθοδοι συγκόλλησης διαφέρουν σημαντικά όχι μόνο στον τρόπο που συνδυάζονται και επιτυγχάνονται θερμοκρασία

και πίεση, αλλά διαφέρουν ακόμα και ως προς την προσοχή που πρέπει να δίνεται στην καθαρότητα των μεταλλικών επιφανειών, πριν την συγκόλληση τους, καθώς και στην πιθανή οξειδωση ή ρύπανση των τεμαχίων κατά την διάρκεια της συγκόλλησης. Όταν χρησιμοποιούνται υψηλές θερμοκρασίες, τα περισσότερα μέταλλα επηρεάζονται δυσμενώς από το άμεσο περιβάλλον και αν συμβαίνει και τήξη, μπορεί να προκληθεί σοβαρή μεταλλαγή του μετάλλου. Ακόμη η μεταλλουργική δομή και ποιότητα του μετάλλου μπορεί να επηρεαστεί, με δυσμενή αποτελέσματα, από την θέρμανση και ψύξη που συνοδεύουν τις περισσότερες μεθόδους συγκόλλησης. Για τον λόγο αυτό οι επιδράσεις αυτές πρέπει να λαμβάνονται σοβαρά υπόψη. Γενικότερα για την επίτευξη καλών συγκολλήσεων είναι απαραίτητο να διατίθεται μια επαρκής πηγή θερμότητας ή πίεσης, μέσα προστασίας και καθαρισμού του μετάλλου καθώς και μέσα αποφυγής ή περιορισμού των δυσάρεστων μεταλλουργικών επιδράσεων.

1.2. Συγκολλητότητα μετάλλων και κραμάτων

Με τον όρο συγκολλητότητα εννοούμε την ικανότητα του μετάλλου να συγκολλάται σε μια κατασκευή, ικανοποιώντας συγχρόνως ορισμένες ιδιότητες και εκπληρώνοντας ορισμένους λειτουργικούς σκοπούς.

Οι μεταβλητές που εκφράζουν την ικανότητα του μετάλλου προς συγκόλληση είναι πολλές, όπως για παράδειγμα η μεταλλουργική δομή του βασικού μετάλλου, οι ακαθαρσίες, η μέθοδος κατεργασίας, η παρουσία αερίων κλπ. Προφανώς η καλή γνώση του διαγράμματος φάσεων και η συμπεριφορά του μετάλλου σε υψηλή θερμοκρασία για μια χρονική περίοδο είναι απαραίτητη.

Οι παράγοντες που έχουν άμεση επίδραση στην συγκολλητότητα ενός υλικού μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής :

1. Μηχανικές ιδιότητες : η σκληρότητα, η αντοχή, το μέτρο ελαστικότητας, το όριο διαρροής, η ολκιμότητα, η ειδική θερμότητα, το σημείο τήξης, ο συντελεστής θερμικής διαστολής, η επιφανειακή τάση σε υψηλές θερμοκρασίες, η τάση προς διάβρωση.
2. Λειτουργικότητα : η προετοιμασία των προς συγκόλληση επιφανειών, οι προστασίες και τα αέρια, τα υλικά κολλήσεων, η ταχύτητα συγκόλλησης, η θέση της ραφής, η ταχύτητα απόψυξης, η προθέρμανση, τα επίπεδα των θερμοκρασιών.

Γενικότερα για τα συνήθη υλικά που συναντάμε στις βιομηχανικές εφαρμογές μπορούν να γίνουν οι εξής παρατηρήσεις :

- Φαιός χυτοσίδηρος : Είναι σκληρός και συγκολλάται δύσκολα. Εφαρμόζεται μόνο αυτογενής συγκόλληση. Συνήθως επιβάλλεται η προθέρμανση των τεμαχίων.
- Μαλακός χυτοσίδηρος : Η συγκολλητότητα του εξαρτάται ανάλογα από τον χρόνο παραμονής του στην υψηλή θερμοκρασία ανόπτησης.
- Χάλυβες και χαλυβοκράματα : Οι συνήθεις χάλυβες έχουν καλή συγκολλητότητα, η οποία αυξάνει, όσο μειώνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα. Συγκολλούνται με αυτογενή συγκόλληση. Σε ανθρακούχους χάλυβες συνίσταται προθέρμανση των τεμαχίων για την αποφυγή οξειδωσης και υπερβολικής σκληρότητας.
- Χαλκός : Συγκολλάται δύσκολα με αυτογενή συγκόλληση, λόγω της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας του.
- Μπρούτζος (κράμα Cu, Sn, Zn) : Συγκολλάται καλά με αυτογενή συγκόλληση σε φλόγα ουδέτερη, ενώ δυσκολότερα με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.
- Ορείχαλκος (κράμα Cu, Zn) : Συγκολλάται σχετικά εύκολα με αυτογενή συγκόλληση και με φλόγα πλούσια σε οξυγόνο.
- Αλουμίνιο και κράματά του : Επιδεκτά αυτογενούς συγκόλλησης με ειδικές μεθόδους. Η συγκόλληση γίνεται με ηλεκτρόδιο τροφοδοτούμενο αποκλειστικά με συνεχές ρεύμα και σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου. Συγκόλληση με φλόγα επιτυγχάνεται δύσκολα..
- Μαγνήσιο και κράματά του : Επιδεκτά συγκολλήσεων με φλόγα υπό ορισμένες προϋποθέσεις, όπως το αλουμίνιο. Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου σε συνήθη ατμόσφαιρα είναι αδύνατη.
- Μόλυβδος : Συγκολλάται συνήθως με φλόγα, σε οριζόντιες πάντα ραφές, λόγω της ρευστότητας του.
- Ευγενή μέταλλα (Eg, Au, Pt) : Συγκολλούνται εύκολα με συγκόλληση με φλόγα. Δυνατή και η ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο από άνθρακα καθώς και η ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης.
- Νικέλιο : Συγκολλάται δύσκολα με οξυγονοκόλληση και ηλεκτροσυγκόλληση τόξου.
- Μέταλλο Monel : Συγκολλάται εύκολα με ηλεκτροσυγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδιο από άνθρακα ή με μεταλλικό ηλεκτρόδιο.

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε έναν πίνακα που μας δίνει την συγκολλητότητα κραμάτων σιδήρου:

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΥΛΙΚΟΥ	ΕΥΚΟΛΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ	ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΕ ΕΙΔΙΚΕΣ ΣΥΝΘΗΚΕΣ
Κοινοί χάλυβες κατασκευών	St33, St34, St37, St42, St44, St46, St52	St50, St60, St70
Χάλυβες επιβελτιώσεως	C22, Ck22, 25CrMo4	-
Χάλυβες επανθράκωσης	C10, Ck10, c15, Ck15	Αυτοί που περιλαμβάνουν προσθήκες σε Cr, Ni, Mo
Χυτοχάλυβες	Πρέπει %C<0.25% και άθροισμα προσθηκών < 10%	Ανοξειδωτοι χυτοχάλυβες
Χυτοσίδηροι	Λευκοί μαλακτικοποιημένοι	Όλοι οι υπόλοιποι χυτοσίδηροι

1.3. Αυτογενείς συγκολλήσεις

Η πηγή θερμότητας στις αυτογενείς συγκολλήσεις είναι :

- Ηλεκτρικό τόξο
- Φλόγα ασετυλίνης
- Δέσμη ηλεκτρονίων
- Ακτίνες laser

Ο αρμός που πρόκειται να συγκολληθεί πρέπει να προετοιμάζεται κατάλληλα. Η πηγή θερμότητας χρησιμεύει για να τήξει είτε το συγκολλούμενο μέταλλο στην περιοχή της σύνδεσης, είτε το συγκολλητικό υλικό μέσα στην σύνδεση. Υπάρχουν δύο βασικοί τύποι συνδέσεων ραφών : η εσωραφή (ραφή άκρων) και η εξωραφή (ραφή αυχένα). Στην συνέχεια παρουσιάζεται μια γενική περιγραφή των διαφόρων μεθόδων αυτογενούς συγκόλλησης.

1.3.1. Μέθοδος συγκόλλησης τόξου

Η συγκόλληση τόξου ή ηλεκτροσυγκόλληση στηρίζεται στη δημιουργία ηλεκτρικού τόξου ανάμεσα στο κομμάτι, που θέλουμε να κολληθεί, και σε ένα ηλεκτρόδιο, που είναι ταυτόχρονα και συγκολλητικό μέσο. Για να γίνει αυτό, το ηλεκτρόδιο και το κομμάτι συνδέονται με τους ακροδέκτες γεννήτριας ηλεκτρικού ρεύματος. Στην πράξη χρησιμοποιούνται ειδικές μηχανές που λέγονται μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, οι οποίες χρησιμοποιούν συνεχές ή εναλλασσόμενο ρεύμα και

παράγουν το ηλεκτρικό τόξο. Λόγω του ηλεκτρικού τόξου, αναπτύσσεται μεγάλη θερμοκρασία στη θέση κόλλησης, γύρω στους 4000 °C. Στη θερμοκρασία αυτή το μέταλλο που συγκολλάται λιώνει, ενώ από πάνω του δημιουργείται ένα στρώμα αερίων, που προέρχονται από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Ταυτόχρονα με τη δημιουργία των αερίων, δημιουργείται πάνω από τη ραφή μία πάστα, επίσης από την επένδυση του ηλεκτροδίου. Η πάστα αυτή βοηθά στην τήξη του μετάλλου και εμποδίζει τη γρήγορη απόψυξη, που θα είχε συνέπεια να βαφεί η ραφή. Η ραφή συγκόλλησης προκύπτει από το λιωμένο μέταλλο που συγκολλάται και από λιωμένο μέταλλο του πυρήνα του ηλεκτροδίου. Ο συγκολλητής, για να ξεκινήσει τη διαδικασία συγκόλλησης, χτυπά ή τρίβει το ηλεκτρόδιο πάνω στο προς συγκόλληση τεμάχιο και στη συνέχεια το σηκώνει, διατηρώντας από κει και πέρα μία σταθερή απόσταση

1.3.1.1. Συνήθης εξοπλισμός & τρόποι συγκόλλησης

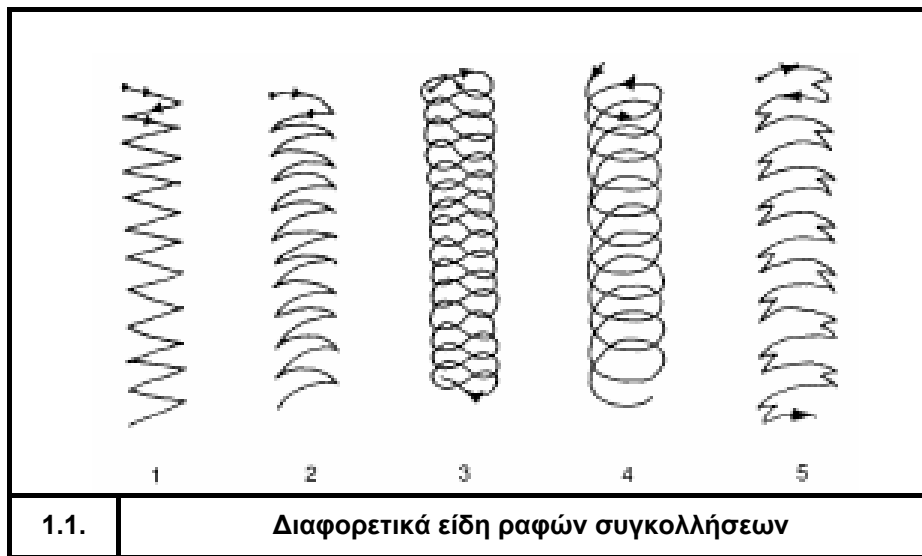
Οι μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης χρησιμοποιούν εναλλασσόμενο ή συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα και χαρακτηρίζονται από την ένταση του ρεύματος, που μπορούν να δώσουν, και την τάση του ρεύματος για το ξεκίνημα του τόξου (τάση εν κενώ). Η ένταση της συγκόλλησης ρυθμίζεται από ροοστάτες που βρίσκονται πάνω στις μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, ενώ για κάθε ένταση ρεύματος προτείνεται και αντίστοιχο ηλεκτρόδιο. Επισημαίνεται ότι, με τη χρήση του ίδιου ηλεκτροδίου, η ένταση του ρεύματος πρέπει να αυξάνεται, όσο το πάχος των ελασμάτων που θα κολληθούν είναι μεγαλύτερο. Τα συνήθη ηλεκτρόδια έχουν επένδυση που είναι κράμα διαφόρων οργανικών και ορυκτών συστατικών, ενώ ο πυρήνας τους είναι από μαλακό χάλυβα. Υπάρχουν και άλλα ηλεκτρόδια με πυρήνες από χαλυβοκράματα, χυτοσίδηρο κ.λπ., αλλά δε χρησιμοποιούνται συχνά και μόνο για ειδικές περιπτώσεις. Τα ηλεκτρόδια κυκλοφορούν σε πολλά μεγέθη με διαφορετικό μήκος και διάμετρο, όπως και με διαφορετικό πάχος επένδυσης. Τα ηλεκτρόδια έχουν τυποποιηθεί ως προς τα χαρακτηριστικά τους σύμφωνα με Ευρωπαϊκά και άλλα διεθνή πρότυπα. Στην ετικέτα των κουτιών, στα οποία είναι συσκευασμένα τα ηλεκτρόδια, αναγράφονται αριθμοί και σύμβολα που χαρακτηρίζουν τις ιδιότητες του ηλεκτροδίου. Ο επόμενος πίνακας συγκεντρώνει ορισμένες από αυτές.

ΔΙΑΜΕΤΡΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ (mm)	ΜΗΚΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΔΙΟΥ (mm)	ΕΝΤΑΣΗ ΡΕΥΜΑΤΟΣ (A)
1,6	250	25
2,0	350	45
2,5	350	65
3,5	450	115
4,0	450	145
5,0	450	215
6,0	450	265
6,3	450	285
7,0	450	320
8,0	450	360

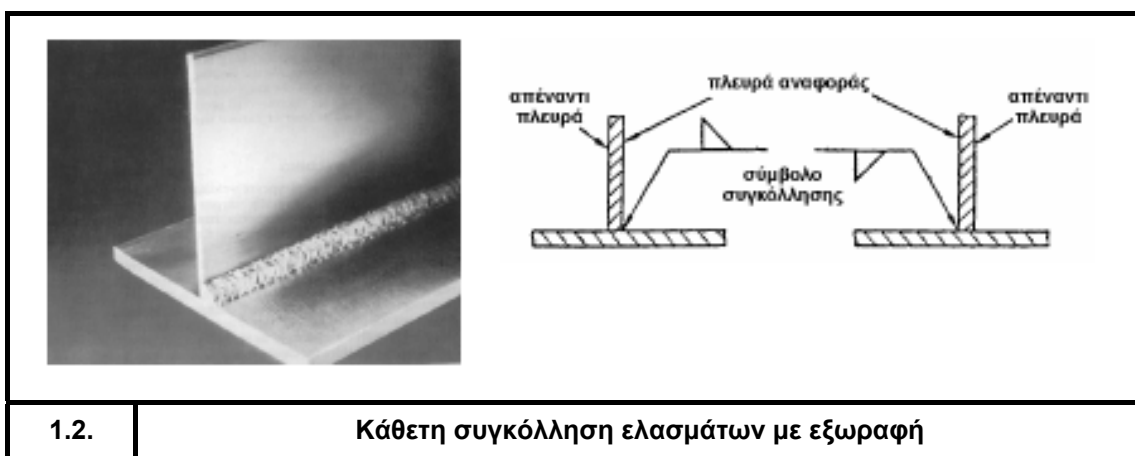
Η ηλεκτροσυγκόλληση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας ορισμένα βασικά εξαρτήματα προστασίας. Αυτά είναι η μάσκα, που προστατεύει τα μάτια από τη λάμψη του ηλεκτρικού τόξου (δηλαδή από τις υπέρυθρες και υπεριώδεις ακτίνες που καταστρέφουν τον αμφιβληστροειδή του ματιού), τα γάντια, που προστατεύουν τα χέρια από πιθανά εγκαύματα και την ακτινοβολία, και η ποδιά που προστατεύει αντίστοιχα το υπόλοιπο σώμα. Στην ακόλουθη εικόνα φαίνονται δύο συγκολλητές να πραγματοποιούν αντίστοιχες συγκολλήσεις, φορώντας τον απαιτούμενο εξοπλισμό.



Εκτός από τον παραπάνω βασικό εξοπλισμό, στην ηλεκτροσυγκόλληση χρησιμοποιούνται περικνημίδες για τα πόδια και μανσέτες για τα χέρια. Επίσης, ιδιαίτερα σημαντικός είναι ο αερισμός που πρέπει να υπάρχει στο χώρο εργασίας, ώστε να μην εισπνέονται από το συγκολλητή τα διάφορα αέρια που προκύπτουν από την συγκόλληση. Κατά τη διάρκεια της ηλεκτροσυγκόλλησης και ανάλογα με το είδος της ραφής που επιθυμούμε, πρέπει να μετακινείται το ηλεκτρόδιο πραγματοποιώντας συγκεκριμένες κινήσεις. Στο ακόλουθο σχήμα φαίνονται μερικά είδη τέτοιων συνηθισμένων κινήσεων. Από τις κινήσεις αυτές, η κίνηση 2 είναι η πιο συνηθισμένη, ενώ γενικά ισχύει ότι κάθε συγκολλητής έχει τη δικιά του κίνηση που προτιμά.



Οι συνηθισμένες συγκολλήσεις, που γίνονται με ηλεκτροσυγκόλληση, είναι οι μετωπικές ραφές και οι εξωραφές. Η προετοιμασία που πρέπει να γίνει στα ελάσματα πριν την ηλεκτροσυγκόλληση διαφέρει ανάμεσα στα δύο είδη, ενώ εξαρτάται και από τα πάχη των ελασμάτων. Οι εξωραφές είναι συγκολλήσεις ελασμάτων κάθετα μεταξύ τους σε αντίθεση με τις μετωπικές ραφές, που, όπως το λέει και η λέξη, είναι συγκολλήσεις κατά πρόσωπο. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται μία εξωραφή, καθώς και ο τρόπος συμβολισμού της στο Μηχανολογικό σχέδιο. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το σύμβολο της συγκόλλησης τοποθετείται με το βέλος να δείχνει τη θέση συγκόλλησης. Σε περίπτωση που η συγκόλληση είναι από την απέναντι πλευρά, από αυτή που δείχνει το βέλος, το σύμβολο του είδους της συγκόλλησης τοποθετείται αντεστραμμένο, όπως φαίνεται στη δεύτερη περίπτωση εξωραφής του σχήματος.

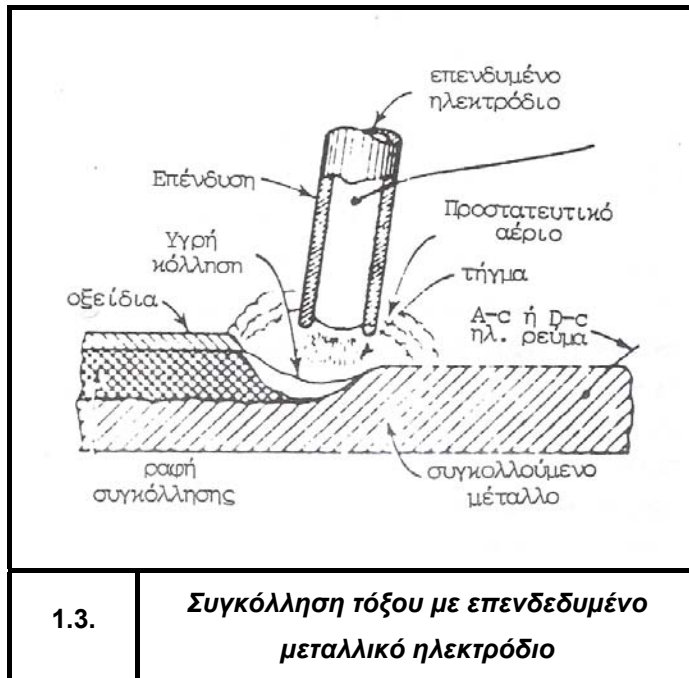


1.2.

Κάθετη συγκόλληση ελασμάτων με εξωραφή

1.3.1.2. Μέθοδος SMAW (Shield Metal Arc Welding)

Η πιο γνωστή μέθοδος συγκόλλησης τόξου είναι η τεχνική του επενδεδυμένου ηλεκτροδίου (SMAW) ή αλλιώς συγκόλληση με το χέρι. Μια τυπική γεννήτρια συγκόλλησης τροφοδοτεί με εναλλασσόμενη ή συνεχή τάση το ηλεκτρόδιο το οποίο τοποθετείτε κοντά στην σύνδεση. Μολονότι η ολική πτώση τάσης είναι της τάξης των 20-40V(αρχικά ήταν 80V), είναι πιθανή η εμφάνιση πεδίων υψηλών τάσεων,



περίπου στα 1000V/cm σε διάφορα σημεία του τόξου. Έτσι προκαλείται ιοντική κάθοδος στον ατμοσφαιρικό αέρα που υπάρχει στο διάκενο μεταξύ του ηλεκτροδίου και των προς συγκόλληση τεμαχίων. Θετικά ιόντα οδεύουν προς την αρνητικά φορτισμένη πλευρά του πεδίου, ενώ ηλεκτρόνια οδεύουν προς την θετικά φορτισμένη πλευρά.

Το ηλεκτρόδιο μπορεί να είναι είτε ευθείας πολικότητας είτε ,ανάστροφης πολικότητας ή μπορεί να αλλάζει πολικότητα μέχρι 60 φορές το δευτερόλεπτο. Τα ιόντα και τα ηλεκτρόνια επιταχύνονται από το πεδίο στην περιοχή του τόξου και αποκτούν κινητική ενέργεια. Όταν όμως προσκρούσουν είτε στο ηλεκτρόδιο είτε στο βασικό μέταλλο, χάνουν αυτή την ενέργεια που μετατρέπεται σε θερμότητα. Έτσι τόσο το ηλεκτρόδιο όσο και το προς συγκόλληση μέταλλο τήκονται μέσα στην σύνδεση της συγκόλλησης. Τα ηλεκτρόνια μεταφέρουν μεγαλύτερη ενέργεια από τα ιόντα και επομένως είναι δυνατή μεγαλύτερη διείσδυση στην περιοχή της ραφής με ευθεία πολικότητα, ενώ με ανάστροφη πολικότητα επιτυγχάνεται εναπόθεση περισσότερου υλικού πλήρωσης. Επειδή το ηλεκτρόδιο εναποτίθεται μέσα στην ραφή, πρέπει να κατασκευάζεται από υλικό ανάλογο με τα συγκολλούμενα τεμάχια. Συνήθως για βασικό μέταλλο χάλυβα χρησιμοποιείτε ηλεκτρόδιο από μαλακό χάλυβα, ενώ για βασικό μέταλλο αλουμίνιο το ηλεκτρόδιο κατασκευάζεται από κράμα αλουμινίου. Το τηγμένο μέταλλο οξειδώνεται ταχύτατα και πρέπει να προστατεύεται, ώστε να αποφεύγεται υπερβολικό ποσοστό ακαθαρσιών στο εναπόθεμα. Στην

μέθοδο SMA το ηλεκτρόδιο έχει εύτηκτη επένδυση, η οποία είτε καταπίπτει και σχηματίζει αεριώδη CO₂ προστασία(κυτταρινικές επενδύσεις), είτε στρώμα σκουριάς(μεταλλική επένδυση) στην κορυφή του συγκολληματος.

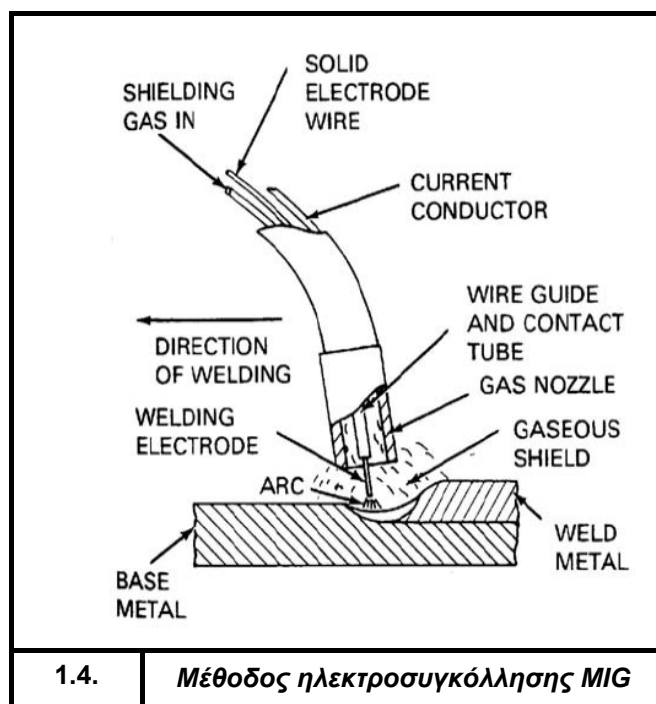
Αν και η συγκόλληση με το χέρι είναι η πιο γνωστή τεχνική είναι περισσότερο εργαστηριακή μέθοδος, ενώ οι αυτόματες ή ημιαυτόματες μέθοδοι είναι πιο συνηθισμένες σε βιομηχανική χρήση. Σε μια πλήρως αυτόματη διαδικασία, είτε λειτουργία, η πηγή θερμότητας ρυθμίζεται με μηχανικό τρόπο, το τόξο ρυθμίζεται αυτόματα και το ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται στην περιοχή συγκόλλησης με προκαθορισμένο ρυθμό από το ρολό σύρματος.

1.3.1.3. Μέθοδος GMAW/MIG-MAG

(Gas Metal Arc Welding/Metal Inert Gas-Metal Active Gas)

Σε μια ημιαυτόματη διαδικασία το ηλεκτρόδιο τροφοδοτείται ημιαυτόματα και το τόξο αυτορυθμίζεται, αλλά η πηγή θερμότητας κινείται στην περιοχή σύνδεσης με το χέρι. Οι συνήθεις αυτόματες ή ημιαυτόματες μέθοδοι είναι :

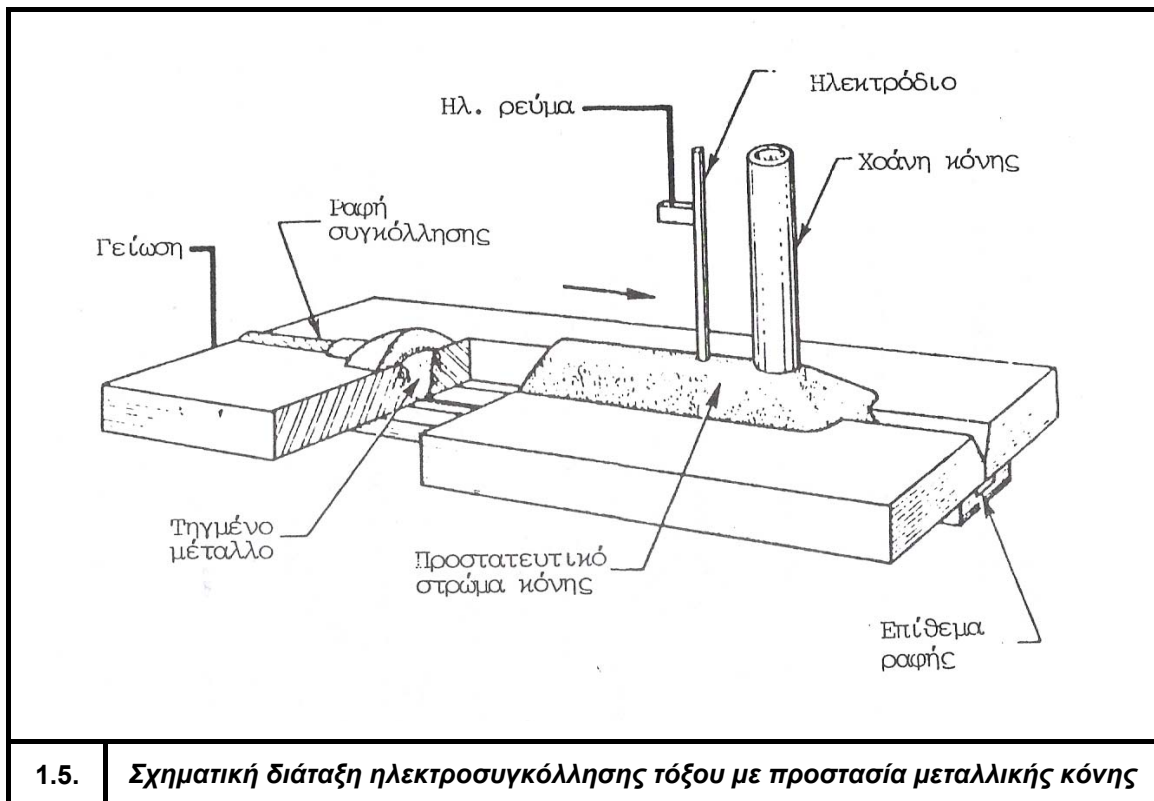
- **MIG** : Ηλεκτροσυγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου(MIG)
- **MAG** : Ηλεκτροσυγκόλληση ηλεκτροδίου σε ατμόσφαιρα CO₂ ή μίγματος αερίων



Αυτές οι μέθοδοι χρησιμοποιούν είτε αδρανές αέριο He ή Ar ή CO₂ σαν προστασία για την συγκόλληση αντί να γίνεται χρήση στρώματος σκουριάς ή κυτταρινικών αερίων προϊόντων που χρησιμοποιούνται στην χειροκίνητη μέθοδο. Με αυτό τον τρόπο εξασφαλίζονται υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις, με λιγότερες ακαθαρσίες, γεγονός σημαντικό για την συγκόλληση ειδικών χαλυβοκατασκευών και κραμάτων αλουμινίου, όπου η παρουσία οξειδίων αποτελεί μεγάλο πρόβλημα.

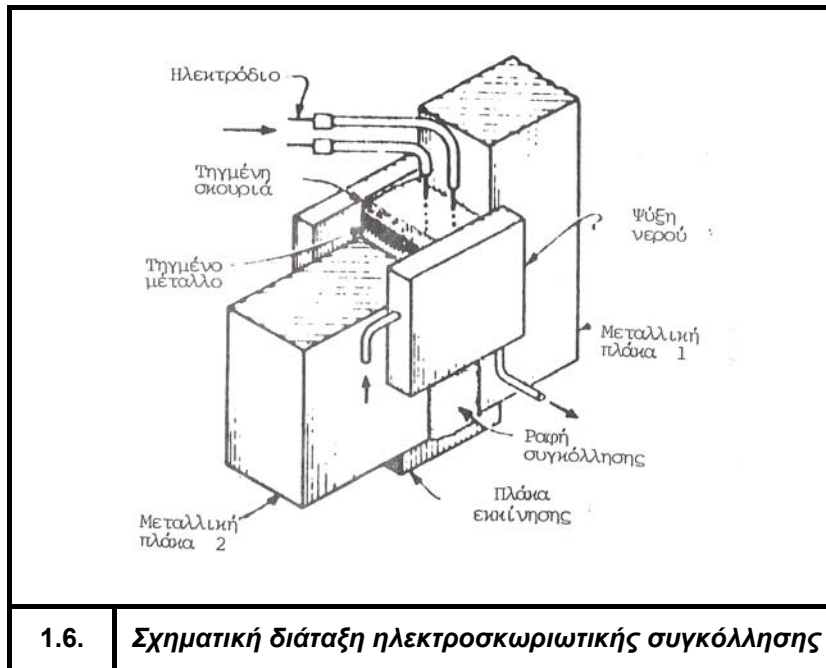
1.3.1.4. Μέθοδος SAW (Submerged Arc Welding)

Η μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου με προστασία μεταλλικής κόνης είναι μια άλλη αυτόματη μέθοδος που χρησιμοποιείτε κυρίως για την σύνδεση βαρέων εξαρτημάτων. Ενώ η χειροκίνητη μέθοδος και η μέθοδος MIG/MAG περιορίζονται πρακτικά στα 300Α, η μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης τόξου με προστασία μεταλλικής κόνης έχει ικανότητα μέχρι 1000Α σε απλό τόξο. Στην μέθοδο αυτή το τόξο δημιουργείται κάτω από αραιό νέφος κόνης. Άρα γίνεται εύκολα κατανοητό πως αυτή η μέθοδος μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο σε οριζόντιες συγκολλήσεις.



1.3.1.5. Μέθοδος ESW (Electro Slag Welding)

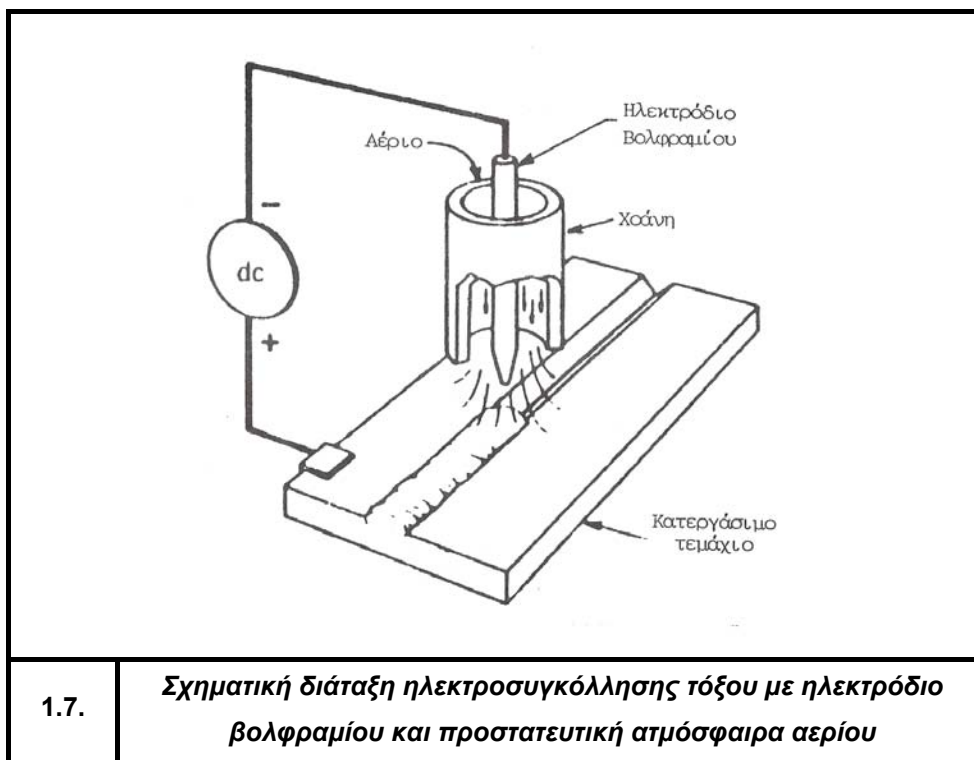
Για την περίπτωση των κατακόρυφων συγκολλήσεων χρησιμοποιείται η μέθοδος της ηλεκτροσκωρίωσης. Και σε αυτή την μέθοδο η θερμότητα παρέχεται κάτω από αραιό νέφος κόνης, αλλά σε αυτή την περίπτωση η θερμότητα οφείλεται στην αντίσταση του ρεύματος στο στρώμα της σκουριάς.



1.3.1.6. Μέθοδος GTAW/TIG

(Gas Tungsten Arc Welding/Tungsten Inert Gas)

Μια άλλη μέθοδος ηλεκτροσυγκόλλησης είναι η μέθοδος με ηλεκτρόδιου βολφραμίου και αδρανές αέριο(TIG). Η μέθοδος αυτή μοιάζει αρκετά με την μέθοδο MIG, μόνο που σε αυτή την περίπτωση το αναλώσιμο μεταλλικό σύρμα αντικαθίσταται από ένα μη αναλώσιμο ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Λόγω του υψηλού σημείου τήξης του βολφραμίου, το ηλεκτρόδιο δεν φθείρεται καθ'όλη την διάρκεια της συγκόλλησης. Το συγκολλητικό υλικό τροφοδοτείται εξωτερικά στην ραφή της συγκόλλησης. Η TIG είναι κατά κύριο λόγο χειροκίνητη μέθοδος όμως μπορεί και αυτή να αυτοματοποιηθεί.

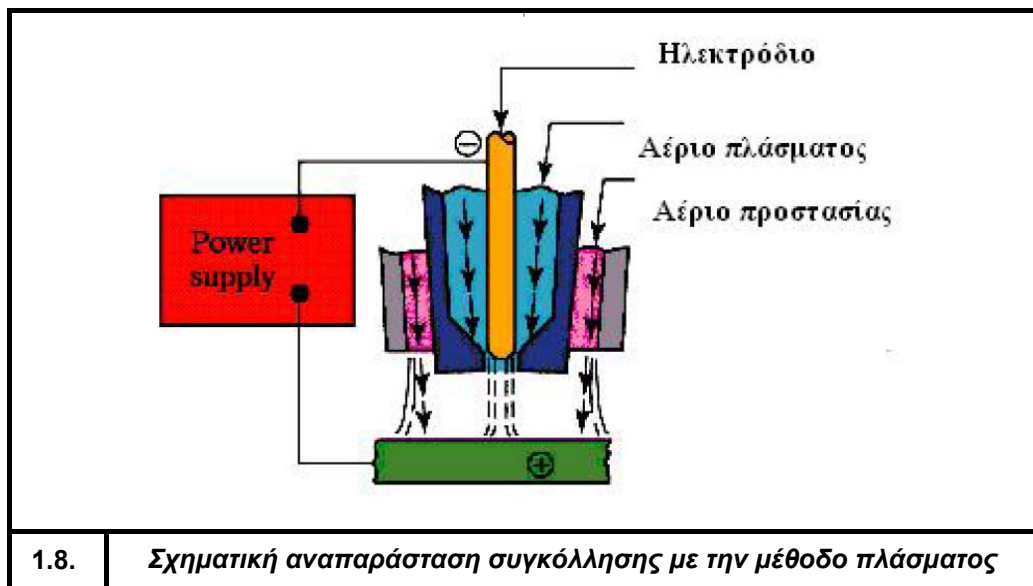


1.3.2. Μέθοδος PAW (Plasma Arc Welding)

Για την παραγωγή πλάσματος χρησιμοποιείται η αρχή του ηλεκτρικού τόξου. Το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων τα οποία ψύχονται εσωτερικά με νερό. Στο χώρο μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων διοχετεύεται η κύρια παροχή αερίου συνήθως αργού ή αζώτου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μια δέσμη αερίου υψηλής θερμοκρασίας σε κατάσταση ιονισμού. Το ηλεκτρόδιο περιβάλλεται από ένα κέλυφος ηλεκτρικά μονωμένο. Στο χώρο μεταξύ των δύο διοχετεύεται η δευτερεύουσα παροχή αερίου, η οποία συμπαρασύρει και το μέταλλο της κόλλησης σε μορφή σκόνης. Το μέταλλο αυτό ερχόμενο σε επαφή με την κύρια δέσμη του ιονισμένου αερίου τήκεται, ιονίζεται και εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα από το στόμιο του όπλου. Για την συγκράτηση της δέσμης του πλάσματος χρησιμοποιείται το κέλυφος, στο οποίο διοχετεύεται το αέριο προστασίας. Το όπλο πλάσματος μπορεί να χρησιμοποιηθεί με δύο τρόπους :

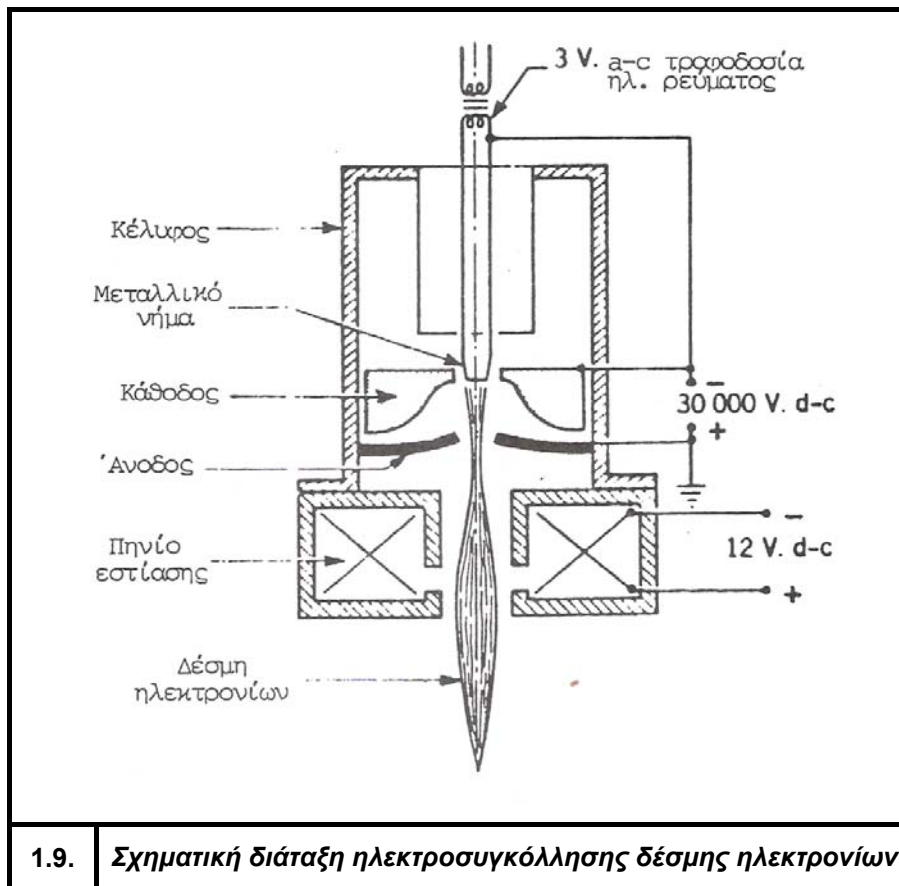
1. Για κοπή και συγκόλληση υλικών.
2. Για την επιμετάλλωση υλικών

Με το όπλο πλάσματος είναι δυνατή η δημιουργία υψηλής ποιότητας επιμεταλλώσεων σε μέταλλα ή κεραμικά, αλλά είναι επίσης δυνατή η συγκόλληση διστήκτων μετάλλων.



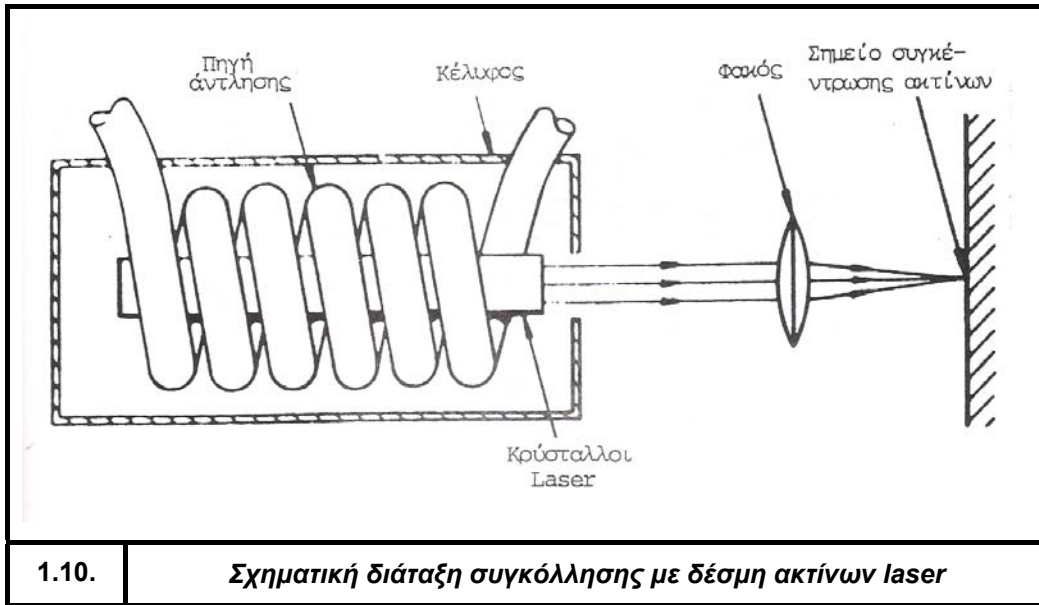
1.3.3. Μέθοδος EBW (Electron Beam Welding)

Στην μέθοδο αυτή η θερμότητα τήξης προέρχεται από την μετατροπή σε θερμότητα της κινητικής ενέργειας δέσμης ηλεκτρονίων. Η δέσμη ηλεκτρονίων παράγεται από την υψηλή διαφορά δυναμικού μεταξύ της θερμαινόμενης καθόδου και του προς συγκόλληση αντικειμένου. Το κενό αυτό δημιουργεί ιδανικές συνθήκες συγκόλλησης για μέταλλα όπως το βολφράμιο, το βηρύλλιο, το τιτάνιο κλπ, τα οποία είναι πολύ δύσκολο να συγκολληθούν με άλλες μεθόδους. Πάντως αυτή η μέθοδος συγκόλλησης είναι ιδιαίτερα δαπανηρή αφού χρησιμοποιούνται τάσεις της τάξεως των 15.000V-150.000V.



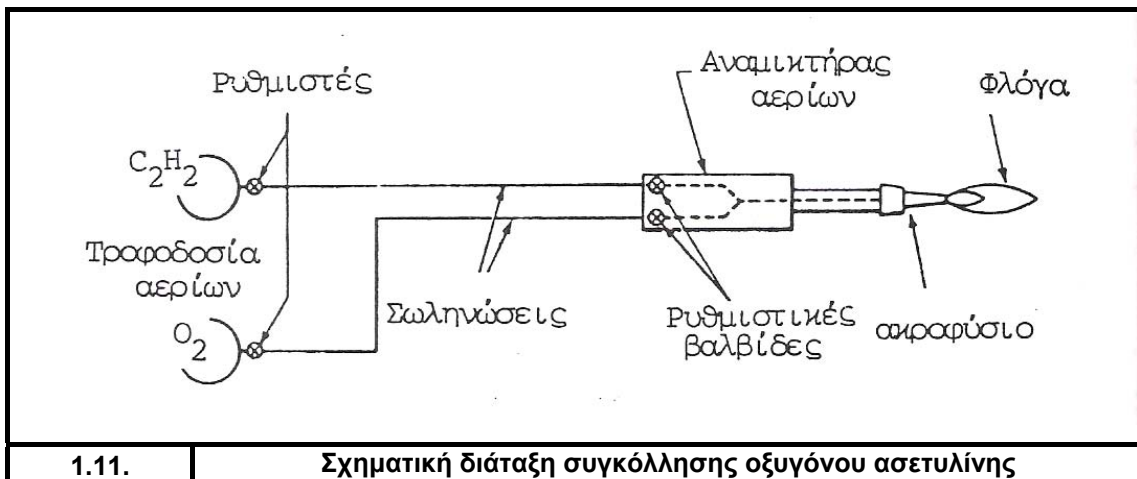
1.3.4. Μέθοδος LBW (Laser Beam Welding)

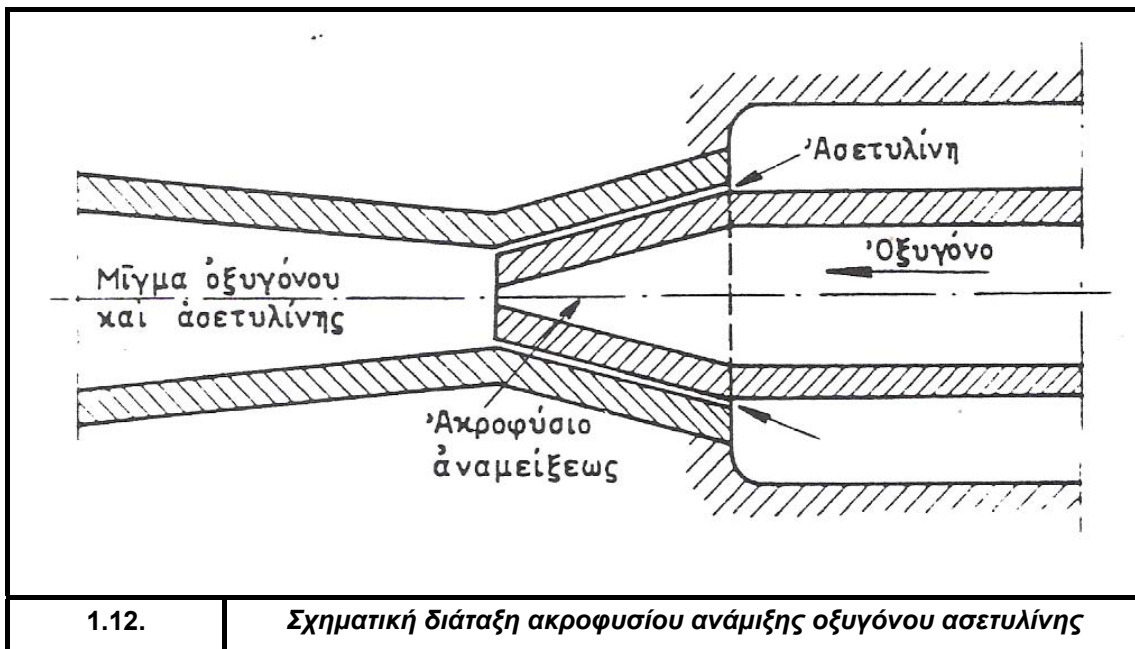
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί για την τήξη του μετάλλου την ακτίνα που παράγεται από laser CO₂. Το CO₂ χρησιμοποιείται σε μείγμα με He, N₂, με αναλογίες 4.5%, 13.5% και 82% αντίστοιχα. Τα αέρια αυτά λαμβάνονται συνήθως από φιάλες πεπιεσμένων αερίων και αναμειγνύονται πριν από την είσοδο τους στην κοιλότητα του laser. Η κοιλότητα αυτή λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της, ψύχεται εξωτερικά από κλειστό κύκλωμα απιονισμένου νερού. Οι συσκευές βιομηχανικών laser είναι συνήθως εφοδιασμένες με μονάδα αριθμητικού ελέγχου με την οποία επιτυγχάνεται ο έλεγχος της θέσης της ακτίνας. Η μέθοδος αυτή λόγω του υψηλού της κόστους και του μικρού βαθμού απόδοσης της ακτίνας, χρησιμοποιείται σε ειδικές περιπτώσεις που δεν είναι δυνατή η χρήση άλλων μεθόδων.



1.3.5. Μέθοδος OFW (Oxygen Fuel Welding)

Η συγκόλληση αερίου ή αλλιώς οξυγονοκόλληση είναι η πιο γνωστή μέθοδος συγκόλλησης. Ο μηχανισμός λειτουργίας αυτής της μεθόδου έχει ως εξής : το οξυγόνο και η ασετυλίνη αποθηκεύονται σε κυλίνδρους από υψηλή πίεση και τροφοδοτούνται μέσω ακροφυσίου ανάμιξης, οπότε και αναφλέγονται.





Μια τυπική φλόγα αποτελείται από την εσωτερική και εξωτερική ζώνη καύσης. Το οξυγόνο ενώνεται με την ασετυλίνη και παράγεται μονοξείδιο του άνθρακα και υδρογόνο στην εσωτερική ζώνη. Η εκλυόμενη ενέργεια από αυτή την αντίδραση παρέχει σημαντική θερμότητα, αναγκαία για την τήξη του υλικού στην περιοχή της συγκόλλησης. Αν η τροφοδοσία του οξυγόνου στην φλόγα περιοριστεί τότε παράγονται σημαντικά ποσά διοξειδίου του άνθρακα και υδρογόνου. Τα αέρια αυτά μειώνουν τα αίτια που υποβοηθούν να διατηρηθεί η συγκόλληση καθαρή, αλλά μπορεί να αποσπάσει άνθρακα από τον χάλυβα με την μορφή μονοξειδίου ή διοξειδίου του άνθρακα. Συγκολλητικό υλικό χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα έχει χαμηλή αντοχή. Από την άλλη πλευρά η παρουσία υπερβολικού οξυγόνου στην φλόγα προκαλεί οξείδωση του τηγμένου μετάλλου. Σε γενικές γραμμές η ουδέτερη φλόγα θεωρείται η πιο ενδεδειγμένη.

Χρήση φλόγας ακετυλενίου για προθέρμανση χάλυβα, ακολουθούμενη από ρεύμα οξυγόνου, μπορεί να εφαρμοστεί και σαν μέθοδος κοπής. Οξυγόνο-ακετυλιδική κοπή πρέπει να πούμε πως χρησιμοποιείτε ευρύτατα. Η αναγκαία για την κοπή θερμότητα δεν παράγεται από την αντίδραση του ακετυλενίου, αλλά από την οξείδωση του χάλυβα στην περιοχή κοπής.

1.3.6. Συγκόλληση αντίστασης(Resistance Welding)

Όταν ένα σχετικά μεγάλο ηλεκτρικό ρεύμα διέλθει από μια σύνδεση, συναντά εσωτερική αντίσταση διέλευσης, αναπτύσσοντας έτσι θερμότητα λόγω αντίστασης, που είναι σχετικά τοπική στην περιοχή της συγκόλλησης. Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι αυτογενής συγκόλληση, η οποία δε χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό. Τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται συμπιεζόμενα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και συγκολλώνται. Για τη συγκόλληση με αντίσταση σημαντικό ρόλο παίζουν ο χρόνος συγκόλλησης και η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια. Ανάλογα με τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και το πάχος τους, επιλέγονται και οι συνθήκες της συγκόλλησης. Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μηχανή για ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση είναι η ηλεκτροπόντα. Οι ηλεκτροπόντες που κυκλοφορούν είναι συνήθως σταθερές και ποδοκίνητες, ενώ υπάρχουν και φορητές.

1.4. Ετερογενείς συγκολλήσεις

Το κύριο χαρακτηριστικό των ετερογενών συγκολλήσεων είναι η διαφορετική χημική σύνθεση του συγκολλητικού υλικού από εκείνη του βασικού μετάλλου. Η σύνδεση των τεμαχίων στην ετερογενή συγκόλληση επιτυγχάνεται κυρίως με την διείσδυση της ρευστοποιημένης κόλλησης μέσα στους πόρους των συγκολλημένων μεταλλικών επιφανειών και την ανάπτυξη μοριακών δυνάμεων με τον σχηματισμό κραμάτων στην περιοχή της σύνδεσης. Απαραίτητη προϋπόθεση για την επιτυχία μιας ετερογενούς συγκόλλησης είναι ο απόλυτος καθαρισμός των επιφανειών συγκόλλησης και η αποφυγή εισόδου αέρα στην ραφή, για να επιτευχθεί κάτι τέτοιο πρέπει να γίνει χρήση κατάλληλου υλικού καθαρισμού. Ανάλογα με το σημείο τήξης του συγκολλητικού υλικού οι ετερογενείς συγκολλήσεις διακρίνονται σε :

- Μαλακές συγκολλήσεις με σημείο τήξης να μην υπερβαίνει τους 500 °C
- Σκληρές συγκολλήσεις με σημείο τήξης άνω των 500 °C

Επίσης ανάλογα με την χημική σύνδεση του βασικού μετάλλου οι ετερογενείς συγκολλήσεις διακρίνονται σε :

- Συγκολλήσεις βαρέων μετάλλων(χαλύβων, κραμάτων χαλκού)
- Συγκολλήσεις ελαφρών μετάλλων(αργιλίου, κραμάτων ελαφρών μετάλλων)

Συνήθως οι ετερογενείς συγκολλήσεις χρησιμοποιούνται για :

- Όταν για διάφορους λόγους αποκλείεται η αυτογενής συγκόλληση
- Όταν επιδιώκεται θέρμανση των τεμαχίων σε θερμοκρασίες μικρότερες από το σημείο τήξης τους
- Την περίπτωση μαζικής παραγωγής όταν η αντοχή της ετερογενούς συγκόλλησης είναι ικανοποιητική
- Όταν χρειάζεται να πληρωθούν μεταλλικές κοιλότητες

1.4.1. Μαλακές ετερογενείς συγκολλήσεις

Η πιο τυπική περίπτωση μαλακής ετερογενούς συγκόλλησης είναι η κασσιτεροκόλληση. Το υλικό της συγκόλλησης είναι κράμα κασσίτερου και μολύβδου σε διάφορες αναλογίες, με μικρή ποσότητα αντιμονίου, που καθιστά την κόλληση πιο ανθεκτική και την κάνει ταυτόχρονα πιο σκληρή. Τα κριτήρια που οδηγούν στην εκλογή της κασσιτεροκόλλησης ως μέθοδος συγκόλλησης είναι η ευχερή εξάπλωση της κόλλησης πάνω στα τεμάχια και η οικονομική χρήση του κασσίτερου μιας και είναι πιο ακριβός από τον μολύβδο. Η αντοχή των κασσιτεροκολλήσεων φθάνει το πολύ τα 45N/mm^2 και εξαρτάται αντιστρόφως ανάλογα από την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και την διάρκεια της φόρτισης. Αντί για κασσίτερο άλλα μέταλλα τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι το κάδμιο το βισμούθιο και άργυρος. Τα υλικά καθαρισμού των μαλακών συγκολλήσεων διακρίνονται σε όξινα και ουδέτερα. Βασικό εξάρτημα εκτέλεσης των κασσιτεροκολλήσεων είναι ο συγκολλητήρας, που παρέχει την απαραίτητη θερμότητα για την θέρμανση των μετάλλων και την τήξη της κόλλησης στην περιοχή σύνδεσης είτε άμεσα με φλόγα ή με ηλεκτρική αντίσταση

1.4.2. Σκληρές ετερογενείς συγκολλήσεις

Οι σπουδαιότερες σκληρές κολλήσεις είναι κράματα χαλκού και ψευδάργυρου, με μικρή περιεκτικότητα σε κασσίτερο, άργυρο, και νικέλιο. Ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε άργυρο οι σκληρές συγκολλήσεις διακρίνονται σε :

- Μπρουτζοκολλήσεις με περιεκτικότητα σε άργυρο < 8%
- Ασημοκολλήσεις με περιεκτικότητα σε άργυρο > 8%

Γενικότερα για αυτό το είδος συγκολλήσεων έχουμε να κάνουμε τις εξής παρατηρήσεις :

- Υψηλή περιεκτικότητα σε κασσίτερο δίνει πολύ σκληρές κολλήσεις.
- Η παρουσία ψευδαργύρου δημιουργεί προβλήματα λόγω της συνολικής εξάτμισης του.
- Κολλήσεις που περιέχουν φώσφορο παρουσιάζουν χαμηλό σημείο τήξης και σε συνήθεις θερμοκρασίες είναι σκληρές σαν γυαλί. Αποφεύγονται στην συγκόλληση σιδηρούχων μετάλλων, ενώ σε συγκολλήσεις χαλκού χρησιμεύουν και σαν υλικό καθαρισμού.
- Κολλήσεις νεαργύρου έχουν σημείο τήξης παραπλήσιο των μπρουτζοκολλήσεων και αντοχή μεγαλύτερη από αυτές.
- Όσο μεγαλύτερη είναι η περιεκτικότητα μιας ασημοκόλλησης σε άργυρο, τόσο πιο εύχρηστη καθίσταται η κόλληση.
- Ασημοκολλήσεις με περιεκτικότητα σε φώσφορο πάνω από 15% είναι ακατάλληλες για συγκολλήσεις νικελίου και κραμάτων σιδήρου, γιατί παρέχουν πολύ σκληρά κράματα.
- Ασημοκολλήσεις που περιέχουν μαγγάνιο χρησιμοποιούνται σε συγκολλήσεις σκληρομετάλλων.

Για σκληρές ετερογενείς συγκολλήσεις ως υλικά καθαρισμού χρησιμοποιούνται ο βόρακας, το βορικό οξύ, χλωρίδια και φθορίδια με ή χωρίς βόρακα και ενώσεις φωσφόρου αλλά και αέρια.

1.5. Συγκολλήσεις στερεάς φάσης ή πίεσης

1.5.1. Συγκόλληση σύνδεσης στερεάς κατάστασης

Όλα τα μέταλλα και τα κράματα, πλην του χρυσού, περιέχουν επιφανειακό στρώμα οξειδίου. Στην πραγματικότητα το στρώμα οξειδίου αποτελεί προστασία έναντι του περιβάλλοντος. Όσα μέταλλα έχουν ισχυρά προσφυόμενα οξείδια, όπως το αλουμίνιο, προστατεύονται ικανοποιητικά, ενώ όσα παρέχουν χαλαρά προσφυόμενα στρώματα οξειδίου, υπόκεινται σε μεγαλύτερη φθορά από το περιβάλλον. Τα οξείδια μπορούν να απομακρυνθούν αλλά σχηματίζονται σχεδόν αμέσως. Αν δύο επιφάνειες απαλλαγμένες από οξείδια έλθουν σε επαφή μεταξύ τους, τότε συγκολλώνται αυτόματα. Αυτή είναι στην ουσία η αρχή της σύνδεσης στερεάς κατάστασης.

1.5.2. Συγκόλληση σφυρηλάτησης

Με σφυρηλάτηση θραύονται τα επιφανειακά οξειδία και η επιπλέον πλαστική παραμόρφωση φέρνει σε επαφή τις δύο επιφάνειες, πρόκειται δηλαδή για εν ψυχρώ συγκόλληση.

1.5.3. Θερμή συγκόλληση στερεάς φάσης

Σε αυτή την περίπτωση συνδυάζεται θερμότητα και πίεση για να προκαλέσουν μεταφορά με διάχυση του υλικού μέσω της ενδιάμεσης επιφάνειας. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν :

- Η συγκόλληση διάχυσης
- Η συγκόλληση θερμής σφυρηλάτησης
- Η συγκόλληση αντίστασης με υψίσυχο ρεύμα

1.5.4. Συγκόλληση με τριβή(Friction Welding)

Η συγκόλληση με τριβή αποτελεί μια παραλλαγή των μεθόδων θερμής στερεάς φάσης. Στην ουσία, τα προς συγκόλληση τεμάχια περιστρέφονται με μεγάλη ταχύτητα σε αντίθετες κατευθύνσεις, όταν έλθουν σε επαφή, η αναπτυσσόμενη τριβή παράγει θερμότητα και δυνάμεις μηχανικής παραμόρφωσης, ικανές να προκαλέσουν την σύνδεση.

1.6. Μηχανική των συγκολλήσεων

1.6.1. Καταπονήσεις ραφών

Θεωρώντας ότι μια ραφή συγκόλλησης έχει αντοχή σε εφελκυσμό τουλάχιστον ίση με την αντίστοιχη του βασικού μετάλλου, συνηθίζεται να εξετάζεται η αντοχή της σε διάφορες καταπονήσεις σύμφωνα με τις ιδιότητες του βασικού μετάλλου.

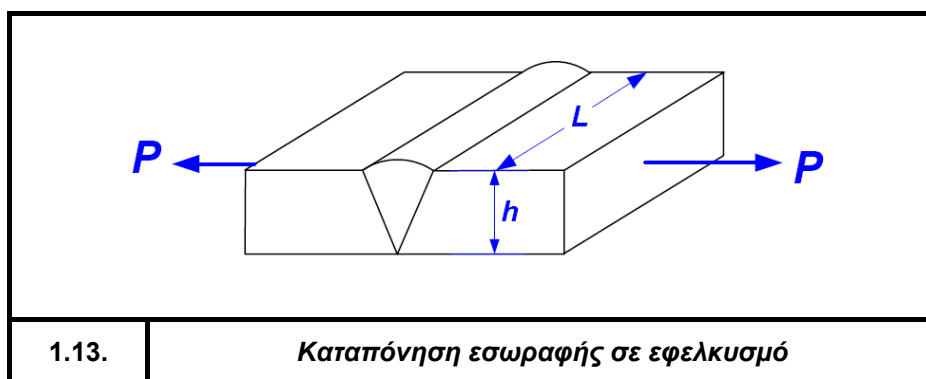
Η συγκόλληση είναι το δαπανηρό μέρος κάθε κατασκευής και ενώ είναι απαραίτητο να εναποτίθεται αρκετή ποσότητα συγκολλητικού υλικού, ώστε η κατασκευή να αντέχει στις φορτίσεις που υπόκειται, εν τούτοις δεν είναι οικονομικά

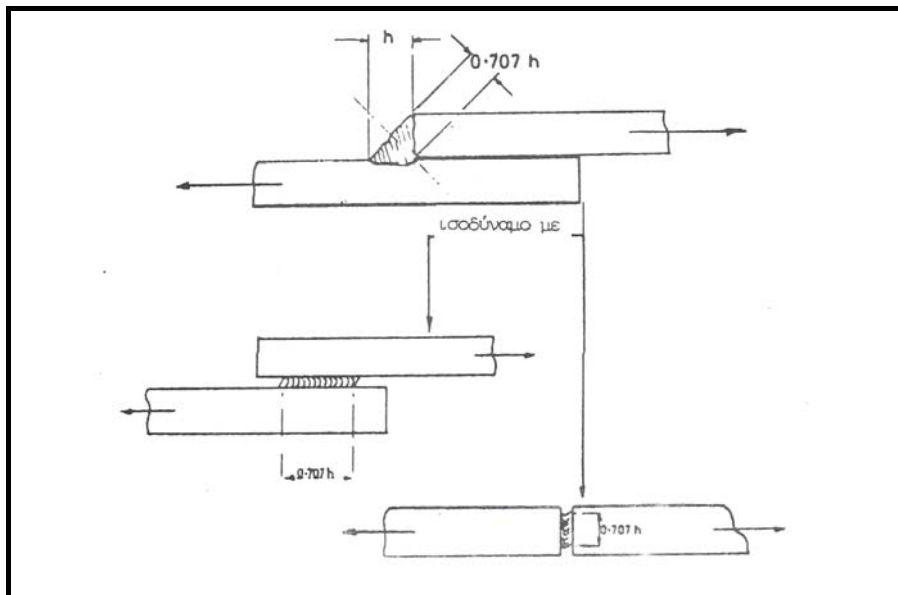
επωφελές να ξοδεύεται μέταλλο περισσότερο από το αναγκαίο. Επίσης υπερβολική ποσότητα συγκολλητικού υλικού μπορεί να γίνει η αιτία δημιουργίας στρέβλωσης και ανάπτυξης παραμενουσών τάσεων, που μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα θραύσης και διάβρωσης αντί να εξασφαλίσουν κάποιο βαθμό ασφάλειας στην κατασκευή.

Για να ελεγχθεί αν μια ραφή συγκόλλησης είναι ικανοποιητική πρέπει να υπολογιστούν οι μέγιστες ορθές, διατμητικές, καμπτικές και στρεπτικές τάσεις, που αναπτύσσονται στην σύνδεση από την εξωτερικά επιβαλλόμενη φόρτιση. Στην συνέχεια, αυτές οι τάσεις συγκρίνονται είτε με την αντοχή σε διάτμηση(διατμητικές και στρεπτικές τάσεις) ή με αντοχή σε μοναξονικό εφελκυσμό(ορθές και καμπτικές τάσεις).

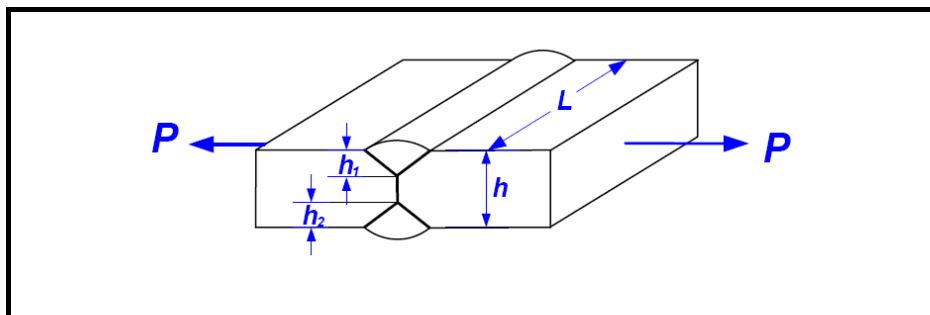
1.6.1.1. Εφελκυσμός ή διάτμηση

Μια εσωραφή πλήρους διείσδυσης, φορτιζόμενη με φορτία P θα εμφανίσει μέση τάση στην ραφή ίση με $\sigma = P/(h \cdot l)$, όπου σ η ορθή τάση, h το ύψος της ραφής, l το μήκος της ραφής. Στην παραπάνω σχέση δεν λαμβάνεται υπόψη η ενίσχυση που επιπροστίθεται συνήθως, ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρης σύνδεση και τυχόν συγκέντρωση τάσεων που εμφανίζεται λόγω της αλλαγής των διαστάσεων της διατομής στην περιοχή αυτή.

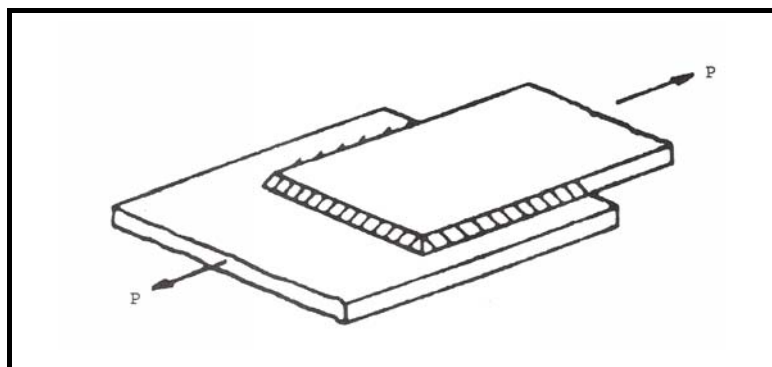




1.14. Καταπόνηση εξωραφής σε καθαρή διάτμηση



1.15. Καταπόνηση τμηματικής συγκόλλησης σε εφελκυσμό



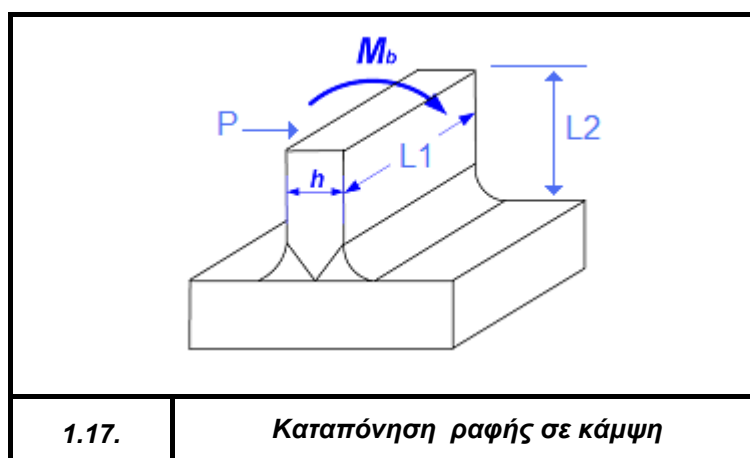
1.16. Καταπόνηση περιμετρικής ραφής σε εφελκυσμό

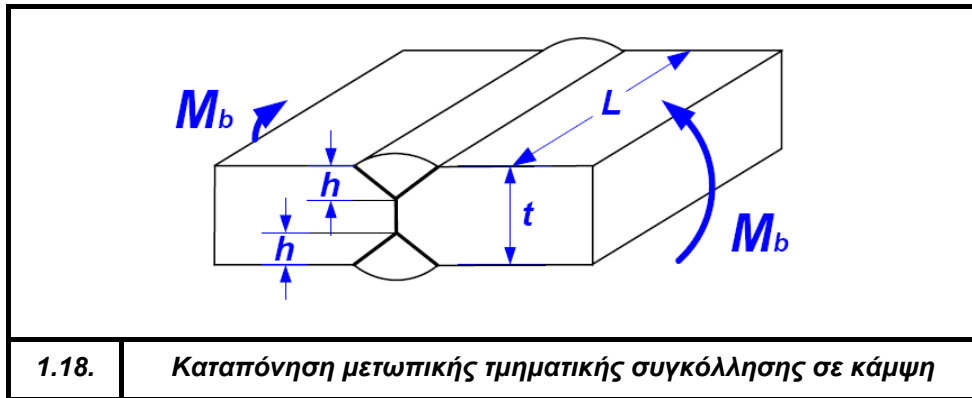
Μια εξωραφή φορτιζόμενη με φορτίο P οδηγεί στην διαπίστωση ότι η σύνδεση υπόκειται σε καθαρή διάτμηση αν οι καμπτικές επιδράσεις είναι μικρές. Όμως η αλλαγή των διαστάσεων της διατομής και της μορφής γύρω από την σύνδεση προκαλεί την επίδραση μεγάλων συγκεντρώσεων τάσεων, που περιπλέκουν σημαντικά την κατάσταση. Στην πραγματικότητα η ακριβής τασική κατάσταση δεν είναι αρκετά γνωστή. Όμως στην πράξη οι εξωραφές συνήθως αστοχούν σε διάτμηση με ισοδύναμη επιφάνεια της ραφής ίση με $A=0,707 \cdot h$. Ο αρμός θεωρείται διπλός, ένας καταπονούμενος σε καθαρή διάτμηση και ένας καταπονούμενος σε εφελκυσμό. Η επιφάνεια A της ραφής υποτίθεται ότι φέρει εξ'ολοκλήρου το φορτίο P , οπότε η διατμητική τάση δίνεται από την σχέση $\tau=(P \cdot 0,707)/(h \cdot L)$. Η σύνδεση θεωρείται επίσης ότι υπόκειται σε ορθή τάση του ίδιου μεγέθους $\sigma=\tau$. Όμως επειδή η αντοχή σε διάτμηση ενός τυπικού υλικού είναι μόνο το 60% της αντοχής σε εφελκυσμό, πρέπει να αναμένεται καταστροφική καταπόνηση σε διάτμηση σύμφωνα με την εξίσωση $\tau=(P \cdot 0,707)/(h \cdot L)$. Οπότε σύμφωνα με τα προηγούμενα η διατμητική τάση μιας περιμετρικής εξωραφής υπολογίζεται από την σχέση $\tau=(P \cdot 0,707)/(\Sigma(h \cdot L))$.

1.6.1.2. Κάμψη

Ας υποθέσουμε ότι ένα ζεύγος ραφών χρησιμοποιείτε για την κατασκευή μιας διατομής μορφής T. Αστοχία ή καταστροφή του δοκιμίου μπορεί να οφείλεται σε:

- Σε διάτμηση στις ραφές όπου $\tau=P/(h \cdot L_1)$
- Σε κάμψη με την εμφάνιση εφελκυστικών τάσεων στις ίνες $\sigma=(M \cdot y)/I$, όπου $M=P \cdot L_2$ η ροπή στις ραφές, I η ροπή αδράνειας της διατομής της ραφής και y η απόσταση του άξονα της ραφής από την εξωτερική ίνα.

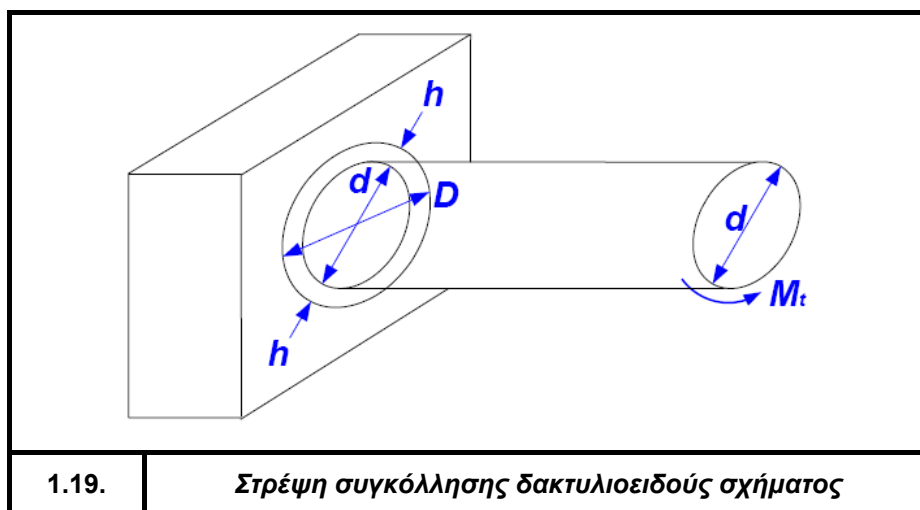




Επειδή είτε διάτμηση είτε κάμψη μπορούν να προκαλέσουν την αστοχία του δοκιμίου, πρέπει να υπολογίζονται και οι δύο περιπτώσεις και να συγκρίνονται προς την αντοχή του υλικού σε διάτμηση και εφελκυσμό αντίστοιχα

1.6.1.3. Στρέψη

Μια εξωραφή που καταπονείται σε στρέψη εμφανίζει ροπή που δρα στην κυκλική διατομή και ισορροπείται από μια αντίθετη ροπή στην ραφή ίση με $M_t = P \cdot r$, όπου r η ακτίνα της κυκλικής διατομής. Συγχρόνως η τάση αντίδρασης είναι όπου $D = \tau = (M_t / J_p) \cdot (d/2)$, όπου d η διάμετρος της δοκού και J_p η πολική ροπή αδράνειας. Βέβαια ο τύπος ανάλογα το είδος της συγκόλλησης και την γεωμετρία του αντικειμένου αλλάζει.



Αφού υπολογιστεί η μέγιστη τάση, μπορεί να καθοριστεί το μέγεθος της ραφής συγκόλλησης. Καταρχάς η διατμητική τάση και οι κύριες εφελκυστικές τάσεις συγκρίνονται προς την αντοχή του συγκολλητικού υλικού σε διάτμηση και εφελκυσμό

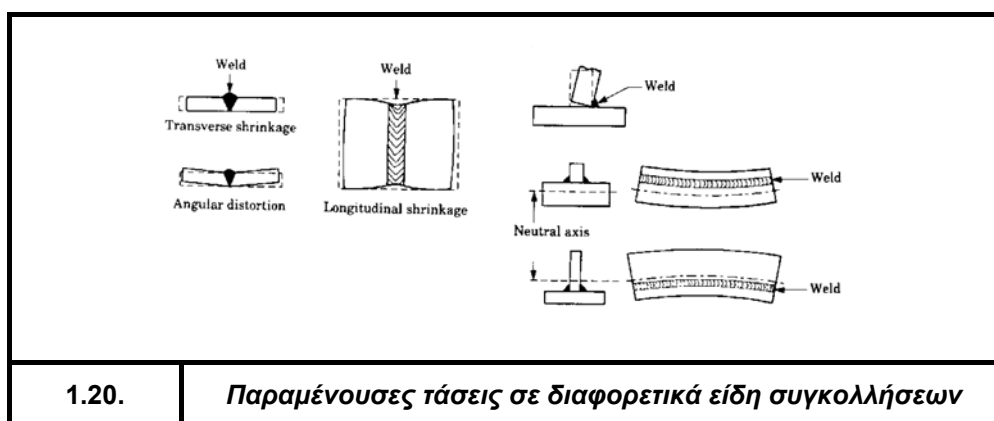
αντίστοιχα. Αν η αντοχή του υλικού είναι μεγαλύτερη από την υπολογισθείσα τάση, η ραφή είναι αποδεκτή, ενώ σε αντίθετη περίπτωση πρέπει να γίνει επανεκτίμηση.

Στην πράξη η επιτρεπόμενη τάση σε μια ραφή είναι σημαντικά χαμηλότερη από την αντοχή του υλικού. Για παράδειγμα οι κανονισμοί συγκολλήσεων του American Institute of Steel Construction(AISC) επιτρέπουν επίπεδα διατμητικών τάσεων για ραφές συγκολλητών κατασκευών μόνο 105Μρα, ενώ η αντοχή σε διάτμηση του συγκολλητικού υλικού είναι περίπου 155Μρα. Τα χαμηλά επίπεδα επιτρεπόμενων τάσεων εξασφαλίζουν έναν ικανό «συντελεστή ασφάλειας» της κατασκευής.

1.6.1.4. Παραμένουσες τάσεις

Ο μηχανικός που χρησιμοποιεί την συγκόλληση σαν τεχνική κατασκευής πρέπει να ασχολείται ιδιαίτερα με τις παραμένουσες τάσεις πρώτα γιατί προκαλούν πλαστική στρέβλωση του κατεργάσιμου τεμαχίου και οι ανοχές επιτυγχάνονται δύσκολα, και δεύτερο γιατί μπορεί να σχηματιστούν ρωγμές μέσα και γύρω από την συγκόλληση, όταν υπάρχει ανεπαρκής πλαστικότητα που να εξομαλύνει τις παραμένουσες τάσεις.

Οι παραμένουσες τάσεις γύρω από μια συγκόλληση οφείλονται στην θερμική συστολή. Καθώς η συγκόλληση ψύχεται, η συστολή που συμβαίνει στην ζώνη τήξης παρεμπδίζεται από την σχετική ακαμψία του υπόλοιπου βασικού μετάλλου. Με τον τρόπο αυτό η συστολή της ζώνης συγκόλλησης εμφανίζεται σαν ελαστική παραμόρφωση στην περιοχή αυτή. Οι αναπτυσσόμενες τάσεις εξισορροπούνται από αντιδρώσες θλιπτικές τάσεις στο βασικό μέταλλο. Αναπτύσσονται διαμήκεις και εγκάρσιες παραμένουσες τάσεις.



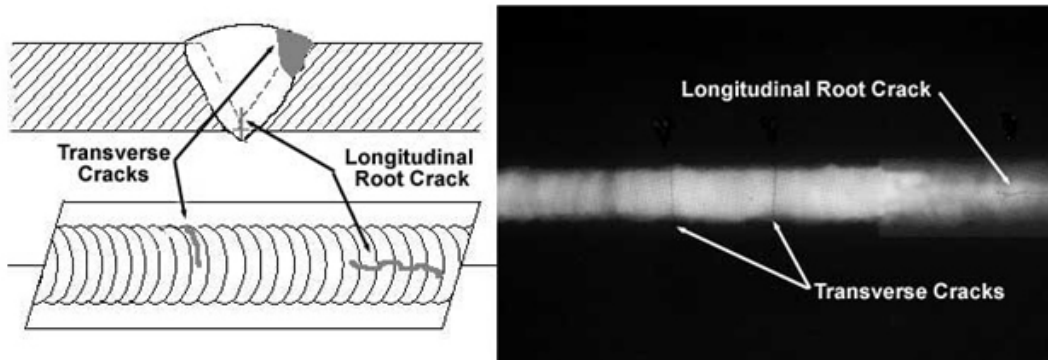
Πρέπει να σημειωθεί ότι η εφελκυστική συστολή εμφανίζεται σε μια επιφάνεια δεκαπλάσια περίπου από την επιφάνεια συγκόλλησης. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή γύρω από την ραφή υπόκειται σε τοπική πλαστική παραμόρφωση μετά την απομάκρυνση της πηγής θερμότητας. Το υλικό που περικλείεται στην γραμμοσκιασμένη περιοχή της εικόνας διαστέλλεται λόγω θερμότητας. Η πλαστική διαστολή είναι μάλλον εγκάρσια προς την ραφή, περιορίζεται δε κατά μήκος από το ψυχρό βασικό μέταλλο. Στην πραγματικότητα το μέταλλο στην περιοχή αυτή συστέλλεται κατά μήκος και διαστέλλεται κατά την εγκάρσια κατεύθυνση. Όταν το υλικό ψυχθεί, η διαμήκης συστολή έχει σαν συνέπεια την ανάπτυξη εφελκυστικών παραμενουσών τάσεων.

Η διανομή των εγκάρσιων παραμενουσών τάσεων, που εμφανίζονται σε συγκολλημένο έλασμα φαίνεται στο πιο κάτω σχήμα. Αυτές οι τάσεις όπως και οι διαμήκης παραμένουσες τάσεις, είναι αποτέλεσμα της ανομοιόμορφης συστολής γύρω από την συγκόλληση, ο μηχανισμός όμως δημιουργίας αυτών διαφέρει σε σχέση με τον προηγούμενο. Βασικά η εγκάρσια διανομή τάσεων είναι αποτέλεσμα των καμπτικών ροπών που αναπτύσσονται στο επίπεδο της συγκολλούμενης διατομής λόγω της διαμήκου συστολής. Σε κάποια έκταση η διαμήκης συστολή προκαλεί την δημιουργία μιας βαρελοειδούς μορφής του αρχικού ελάσματος, με συνέπεια την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στις κεντρικές περιοχές και θλιπτικές τάσεις στα άκρα της ραφής.

Σε συγκολλημένα ελάσματα χωρίς εξωτερικές πακτώσεις οι τιμές των εγκάρσιων παραμενουσών τάσεων είναι συνήθως μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές των διαμήκων. Όμως, αν το έλασμα είναι πακτωμένο, πρέπει να προστίθεται στις εγκάρσιες παραμένουσες τάσεις μια αντιδρώσα τάση αναπτύσσοντας έτσι υψηλότερες τιμές. Επίσης σε πολύπλοκες διατομές, όπου υπάρχει υψηλή τρισδιάστατη ακαμψία και πιθανή ύπαρξη ανυψωτών τάσεων του ενός ή του άλλου είδους, παραμένουσες τάσεις κατά την έννοια του πάχους και εγκάρσιες παραμένουσες τάσεις μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τις αντίστοιχες διαμήκεις παραμένουσες τάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Σφάλματα συγκολλήσεων



2.1. Έννοια της ποιότητας συγκόλλησης

Τα τελευταία χρόνια, οι απαιτήσεις που επιβάλλει το κοινωνικό σύνολο για πιο αξιόπιστες κατασκευές, μαζί με τη ταυτόχρονη αύξηση της πολυπλοκότητας της τεχνολογίας και την ανάγκη για την όσο το δυνατό καλύτερη χρήση των πρώτων υλών, έχουν ωθήσει στο να δοθεί μεγάλη έμφαση στη ποιότητα των συγκολλήσεων. Παρόλα αυτά, δεν είναι σαφές σε πολλές περιπτώσεις τι σημαίνει ο όρος «ποιότητα συγκόλλησης».

Σε γενικές γραμμές μπορεί να αναφερθεί ότι για να έχει μια συγκολλητή κατασκευή την απαιτούμενη αξιοπιστία κατά τη διάρκεια της ζωής της, πρέπει να έχει ικανοποιητική ποιότητα. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει:

1. Να έχει σχεδιαστεί κατά τρόπο ώστε να είναι κατάλληλη για την επιδιωκόμενη χρήση της σε όλη τη διάρκεια της υπολογισθείσας ζωής της.
2. Να έχει κατασκευαστεί από υλικά και μεθόδους συγκόλλησης σύμφωνα με τις απαιτήσεις.
3. Να χρησιμοποιείται και να συντηρείται σωστά.

Η ποιότητα, βέβαια, είναι ένας σχετικός όρος, γι' αυτό και δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει καλύτερη ποιότητα από αυτή που απαιτείται για τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Το αντίθετο μπορεί να αυξήσει υπερβολικά το κόστος κατασκευής. Για τον λόγο αυτό, έχει επικρατήσει τα τελευταία χρόνια η φιλοσοφία της λεγόμενης «καταλληλότητας για την επιδιωκόμενη χρήση». Δηλαδή επιτρέπεται η διακύμανση του επιπέδου ποιότητας ανάμεσα σε διάφορες συγκολλήσεις, ακόμα και της ίδιας κατασκευής, με κριτήριο τις απαιτήσεις της υπηρεσιακής ζωής τους.

Στη περίπτωση της ποιότητας συγκόλλησης, η καταλληλότητα για την επιδιωκόμενη χρήση συνδέεται άμεσα με τη φιλοσοφία της αποδοχής ορισμένων σφαλμάτων, με βάση συγκεκριμένα κριτήρια. Τα κριτήρια αυτά μπορούν να περιέχονται σε κώδικες και προδιαγραφές ή να προκύπτουν από την εφαρμογή της μηχανικής θεωρίας της θραύσης.

Επίσης πρέπει να τονιστεί, ότι με τον όρο ποιότητα συγκόλλησης, δεν εννοείται μόνο η παρουσία ή όχι σφαλμάτων γεωμετρικής μορφής, αλλά ότι περιλαμβάνονται και άλλα χαρακτηριστικά, όπως σκληρότητα, χημική σύνθεση και δυσθραυστότητα της συγκόλλησης. Συνδυάζοντας κανείς όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και εκτιμώντας τους πιθανούς τρόπους αστοχίας μιας συγκόλλησης,

μπορεί κανείς να καταλήξει στο συμπέρασμα του κατά πόσο η συγκόλληση αυτή είναι κατάλληλη για την επιδιωκόμενη χρήση.

Ο καθορισμός των συνολικών απαιτήσεων ποιότητας μιας συγκολλητής κατασκευής είναι μια πολύ σημαντική προσπάθεια στην οποία παίρνουν μέρος ομάδες μελετητών και μηχανικών. Σκοπός της όλης προσπάθειας είναι η καταγραφή των απαιτήσεων που θα οδηγήσουν στο να καταστεί το προϊόν κατάλληλο για την επιδιωκόμενη χρήση. Οι απαιτήσεις αυτές δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ αυστηρές, γιατί έτσι θα αυξηθεί το κόστος παραγωγής χωρίς λόγο, ούτε πολύ χαλαρές, γιατί αυτό μπορεί να οδηγήσει σε υψηλό κόστος συντήρησης και σε ελάττωση της χρήσιμης ζωής του προϊόντος.

Βάση των οδηγιών που παρέχονται από τους κώδικες και τις προδιαγραφές πρέπει για τον σκοπό αυτό να ληφθούν υπόψη οι ακόλουθοι βασικοί παράγοντες:

1. Συνθήκες Υπηρεσίας
 - A. Εντατική κατάσταση. Πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατάλληλα μεγέθη συγκολλήσεων, ώστε να μη δημιουργούνται υπερβολικά υψηλές τάσεις.
 - B. Είδος τάσεων. Όπου υπάρχουν δυναμικές ή εναλλασσόμενες φορτίσεις, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η κόπωση.
 - Γ. Θερμοκρασίες υπηρεσίας. Χαμηλές και υψηλές θερμοκρασίες απαιτούν μελέτη έναντι ψαθυρής θραύσης και ερπυσμού αντίστοιχα.
 - Δ. Διάβρωση και φθορά.
2. Ιδιότητες Υλικών. Πρέπει να επιλέγεται υλικό με τις κατάλληλες ιδιότητες αντοχής, δυσθραυστότητας, αντοχής σε διάβρωση κλπ. Ακόμη, ο κατασκευαστής δεν πρέπει να χρησιμοποιεί κατεργασίες που χειροτερεύουν τις ιδιότητες αυτές, π.χ. ψυχρή και θερμή διαμόρφωση, θερμικές κατεργασίες μετά τη συγκόλληση, υπερβολική ή ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας.
3. Γεωμετρικές Ατέλειες. Η μελέτη πρέπει να περιορίζει τις γεωμετρικές ατέλειες, έτσι ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος ρηγμάτωσης. Ο κατασκευαστής πρέπει να χρησιμοποιεί μεθόδους που να μην επιτρέπουν τη δημιουργία τους στις συγκολλήσεις.
4. Κίνδυνος Δημιουργίας Σφαλμάτων Συγκόλλησης. Ο κίνδυνος δημιουργίας σφαλμάτων είναι μεγάλος όταν, μέταλλα που συγκολλούνται δύσκολα συγκολλούνται σε ακατάλληλες θέσεις ή σε μέρη που είναι δύσκολη η εφαρμογή ποιοτικού ελέγχου.
5. Κίνδυνος Μη Εντοπισμού Σφαλμάτων Συγκόλλησης. Οι αυχενικές συγκολλήσεις (σχήματος «T») είναι γενικά δύσκολο να ελεγχθούν εσωτερικά.

Επιπτώσεις Πιθανής Αστοχίας. Όπου η πιθανότητα αστοχίας του προϊόντος είναι αυξημένη, εκεί απαιτείται καλύτερη ποιότητα και αυξημένες ανάγκες ελέγχου.

2.2. Ταξινόμηση τυπικών σφαλμάτων συγκόλλησης

Μια ασυνέχεια αποτελεί μια διακοπή της τυπικής δομής μιας συγκόλλησης όπως για παράδειγμα είναι η ανομοιογένεια στις μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού ή μιας συγκόλλησης ή ακόμα και ανομοιογένεια στις μεταλλουργικές και φυσικές ιδιότητες αυτού. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως μια ασυνέχεια δεν αποτελεί απαραίτητα και σφάλμα.

Μια συγκόλληση η οποία δεν πληροί τις ελάχιστες προϋποθέσεις κάποιας συγκεκριμένης τυποποίησης ή ενός κώδικα θεωρείται ως ελαττωματική συγκόλληση. Ταυτόχρονα η αποτίμηση μιας ελαττωματικής συγκόλλησης δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί αν δεν γίνει με αναφορά κάποια τυποποίηση ή κώδικα σχετικό με την χρήση για την οποία προορίζεται η εκάστοτε συγκόλληση. Όπως αναφέραμε και παραπάνω μια ασυνέχεια σε κάποια συγκόλληση δεν αποτελεί απαραίτητα και ελάττωμα. Κάποιες κατηγορίες και υποκατηγορίες ασυνεχειών είναι οι ακόλουθες :

1. Ασυνέχειες που σχετίζονται με τις γεωμετρικές και σχεδιαστικές απαιτήσεις μιας συγκόλλησης.
 - I. Παραμορφώσεις/Διαστρεβλώσεις
 - II. Ανακριβές μέγεθος συγκόλλησης
 - III. Ανακριβές προφίλ/κατατομή συγκόλλησης
 - IV. Ανακριβείς τελικές διαστάσεις
 - V. Υπερβολική ενίσχυση της συγκόλλησης ή αλλιώς υπερβολική χρήση συγκολλητού υλικού
2. Ασυνέχειες που σχετίζονται με την ίδια την συγκόλληση και την εσωτερική δομή αυτής.
 - I. Πόροι/Σπηλαιώσεις
 - II. Εγκλείσματα σκουριάς
 - III. Εγκλείσματα βολφραμίου
 - IV. Ατελής πήξη
 - V. Ανεπαρκής διείδυση
 - VI. Υποκοπή
 - VII. Ρωγμές

VIII. Επιφανειακές ανωμαλίες

IX. Λοιπές ανωμαλίες

3. Ασυνέχειες που σχετίζονται με τις μηχανικές και χημικές ιδιότητες των συγκολληθέντων μετάλλων και των υλικών που χρησιμοποιούνται για συγκόλληση.

2.2.1. Ταξινόμηση κατά EN ISO 6520.01

Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή Προτύπων κατατάσσει τις ασυνέχειες σε έξι μεγάλες κατηγορίες. Σε κάθε μια από τις κατηγορίες αυτές, που περιλαμβάνει αριθμό ομοειδών σφαλμάτων δίνεται και ένας αριθμός σειράς ως εξής:

Σειρά 100, Ρωγμές.

Περιλαμβάνει τις διαμήκεις, εγκάρσιες, κρατήρα κλπ.

Σειρά 200, Σπηλαιώσεις.

Περιλαμβάνει τις φυσαλίδες αερίων, τους εσωτερικούς και επιφανειακούς πόρους, τη συστολή κλπ.

Σειρά 300, Στερεά Εγκλείσματα.

Περιλαμβάνει τα εγκλείσματα σκουριάς, βολφραμίου, οξειδίων, ξένων ουσιών κλπ.

Σειρά 400, Ατελής Τήξη, ή Διείσδυση.

Περιλαμβάνει την ατελή τήξη, την ατελή διείσδυση κλπ.

Σειρά 500, Ατελές Σχήμα ή Ανώμαλη Όψη ραφής.

Περιλαμβάνει την υποκοπή, την υπερβολική ενίσχυση όψης, το ανεπαρκές γέμισμα, το ακατάλληλο σχήμα αυχενικής συγκόλλησης, την υπερκάλυψη κλπ.

Σειρά 600, Διάφορα άλλα σφάλματα.

Περιλαμβάνει τα ανάμματα τόξου, την εκτόξευση μετάλλου, την ανώμαλη επιφάνεια κλπ.

**Το πρότυπο EN ISO 6520.01 βρίσκεται στα παραρτήματα της παρούσας διπλωματικής εργασίας*

2.2.2. Ταξινόμηση κατά A.W.S. (American Welding Society)

Η American Welding Society διακρίνει τρεις μεγάλες κατηγορίες σφαλμάτων συγκόλλησης:

- I. Σφάλματα που οφείλονται στη μέθοδο και την εκτέλεση της συγκόλλησης.

- II. Μεταλλουργικά Σφάλματα.
- III. Σφάλματα που οφείλονται στη μελέτη.

Στην συνέχεια παραθέτουμε σε ποια από τις μεγάλες αυτές κατηγορίες κατατάσσεται κάθε ένα από τα επιμέρους τυπικά σφάλματα συγκολλήσεων. Η επιμέρους αυτή κατάταξη δεν είναι απόλυτη, μια και μερικά από αυτά τα σφάλματα έχουν και δευτερογενείς αιτίες δημιουργίας και σε κάποια άλλη από τις αναφερόμενες ομάδες.

I. Σφάλματα οφειλόμενα στην εκτέλεση συγκόλλησης.

A. Γεωμετρικά.

1. Ελαττωματική ευθυγράμμιση ελασμάτων.
2. Υποκοπή.
3. Υπερβολική κυρτότητα επιφάνειας.
4. Υπερβολική ενίσχυση όψης.
5. Ανεπαρκής ενίσχυση όψης.
6. Υπερκάλυψη.
7. Τρέξιμο μετάλλου.
8. Ατελής διείσδυση.
9. Ατελής τήξη.
10. Συστολή.
11. Ανώμαλη επιφάνεια όψης ραφής

B. Άλλα.

1. Ανάματα τόξου.
2. Εγκλείσματα σκουριάς.
3. Εγκλείσματα βολφραμίου.
4. Στρώματα οξειδίων.
5. Εκτοξεύσεις μετάλλου.

II. Μεταλλουργικά σφάλματα.

A. Ρωγμές.

1. Θερμές.
2. Ψυχρές ή καθυστερημένες.
3. Αναθέρμανση
4. Σχάση κατά φυλλώσεις

B. Πόροι.

1. Σφαιρικοί.
2. Επιμήκεις.

Γ. Αλλαγή δομής στην θερμαινόμενη περιοχή.

III. Σφάλματα οφειλόμενα στην μελέτη.

A. Περιοχές συγκέντρωσης τάσεων.

B. Λανθασμένη διαμόρφωση ακμών.

Γενικά, πρέπει να αναφερθεί ότι το κατά πόσο κάποιο σφάλμα είναι επικίνδυνο ή όχι δεν εξαρτάται μόνο από το είδος του, αλλά και από το σχήμα του, δηλαδή το αν είναι επίπεδο ή τρισδιάστατο. Επομένως θα πρέπει να εξετάζονται και τα ακόλουθα χαρακτηριστικά των σφαλμάτων:

1. Μέγεθος.
2. Αμβλύτητα.
3. Κατεύθυνση ως προς τις κύριες εξωτερικές και παραμένουσες τάσεις.
4. Θέση σε σχέση με τη συγκόλληση και τις εξωτερικές επιφάνειές της.

Ατέλειες που βρίσκονται σε θέση ή κατεύθυνση τέτοια ώστε οι υπάρχουσες τάσεις να τείνουν να τις μεγαλώσουν, είναι πιο επικίνδυνες από άλλες παρόμοιες που δεν υπόκεινται σε τάσεις διεύρυνσης τους. Επίσης σφάλματα που βρίσκονται επάνω ή κοντά στην επιφάνεια συγκόλλησης μπορεί να είναι πιο επικίνδυνα από άλλα σφάλματα παρόμοιου σχήματος που βρίσκονται όμως στο εσωτερικό της συγκόλλησης. Ένας άλλος τρόπος κατάταξης των σφαλμάτων συγκόλλησης βασίζεται στο τμήμα της συγκολλητής κατασκευής που εμφανίζονται. Διακρίνονται έτσι σφάλματα που εμφανίζονται στο υλικό συγκόλλησης, στη θερμαινόμενη περιοχή, και στο βασικό μέταλλο.

2.3. Ασυνέχειες γεωμετρίας και διαστάσεων

Η δημιουργία μιας αποδεκτής συγκόλλησης απαιτεί την τήρηση συγκεκριμένων μεγεθών και σχημάτων που βρίσκονται σε εναρμόνιση με τα σχέδια της συγκόλλησης. Προφανώς όμως και μπορούν να υπάρξουν κάποιες ανοχές για τις διαστάσεις και τα σχήματα κάποιας συγκόλλησης βάση πάντα κάποια τυποποίηση ή κάποιον κώδικα.

- I. Παραμορφώσεις/Στρεβλώσεις :** Κατά την διάρκεια μιας συγκόλλησης απαιτείται η θέρμανση και η τήξη του μετάλλου με το οποίο θα πραγματοποιηθεί η συγκόλληση. Η εμφάνιση υψηλών τάσεων είναι αποτέλεσμα θερμικών συστολών και διαστολών αλλά και αποτέλεσμα της

στερεοποίησης του μετάλλου συγκόλλησης. Αυτές οι τάσεις θα παραμείνουν στην δομή της συγκόλλησης ακόμα και μετά την απόψυξη. Τέτοιες τάσεις έχουν σαν αποτέλεσμα να προκαλούν παραμορφώσεις. Για να αποφευχθούν θα πρέπει τα τεμάχια που θα συγκολληθούν θα πρέπει να σταθεροποιούνται από άκαμπτα εξαρτήματα, ενώ ταυτόχρονα θα πρέπει να γίνεται κατάλληλη επιλογή διαδικασιών συγκόλλησης. Στις περιπτώσεις που οι παραμορφώσεις δεν αποφεύγονται μπορούν να διορθωθούν ως ακολούθως :

- εφαρμόζεται κατάλληλη διαδικασία σφυρηλάτησης όταν βέβαια αυτή επιτρέπεται από την εκάστοτε τυποποίηση που ακολουθείται
- επαναφορά της συγκόλλησης στην σωστή διεύθυνση με ή χωρίς την εφαρμογή κατεργασιών θερμότητας
- αφαίρεση των μερών της συγκόλλησης που προκαλούν την παραμόρφωση
- επιπρόσθετη συγκόλληση σε συγκεκριμένα σημεία με σκοπό την ανάπτυξη αντίθετων τάσεων από αυτές που παραμόρφωσαν προηγουμένως την κατασκευή

II. **Ανακριβές μέγεθος συγκόλλησης :** Συγκολλήσεις που δεν διαθέτουν το σωστό μέγεθος, δηλαδή είναι είτε πολύ μεγάλες είτε πολύ μικρές και δεν ακολουθούν τις τυποποιήσεις με αποτέλεσμα οι μηχανικές τους ιδιότητες να διαφέρουν από αυτές που η χρήση τους απαιτεί. Συγκολλήσεις εσφαλμένου μεγέθους εντοπίζονται συνήθως είτε με οπτικό τρόπο είτε με την σύγκριση τους με πρότυπα δείγματα.

III. **Ανακριβές προφίλ/κατατομή συγκόλλησης :** Το προφίλ μιας συγκόλλησης μπορεί να επηρεάσει με αξιοσημείωτο τρόπο την απόδοση αυτής σε διάφορες φορτίσεις. Το προφίλ ενός στρώματος μιας συγκόλλησης που αποτελείται από πολλές στρώσεις μπορεί να έχει μεγάλη σχέση με την εμφάνιση διαφόρων άλλων ασυνεχειών όπως είναι τα εγκλείσματα και η ατελής τήξη. Ένα τέτοιο σφάλμα ανακριβούς προφίλ αποτελεί η λεγόμενη υπερκάλυψη. Η υπερκάλυψη είναι μια κατάσταση στην οποία το μέταλλο συγκόλλησης ξεπερνά τα όρια που οριστεί για αυτή με αποτέλεσμα να υπερκαλύπτει άλλα μέρη του προς συγκόλληση αντικειμένου. Σε αυτή την περίπτωση δημιουργούνται εγκοπές που είναι επικίνδυνες σε διάφορες συγκεντρώσεις τάσεων και φορτίσεων. Τέτοια σφάλματα προκαλούνται λόγω εσφαλμένων διαδικασιών και τεχνικών συγκόλλησης.

IV. **Ανακριβείς τελικές διαστάσεις :** Οι συγκολλήσεις όταν κατασκευάζονται ακολουθούν συγκεκριμένες τυποποιήσεις και σχέδια με σκοπό να έχουν

συγκεκριμένα μεγέθη και διαστάσεις. Όταν οι διαστάσεις αυτές για διάφορους λόγους, που συνήθως έχουν να κάνουν με την χρήση μη κατάλληλων διαδικασιών και τεχνικών, δεν επιτευχθούν τότε οι ιδιότητες της συγκολλητής κατασκευής δεν θα είναι οι αποδεκτές, είτε διότι δεν θα καλύπτονται οι απαιτήσεις σε φορτίσεις διαφόρων τάσεων, είτε λόγω διαφορετικού τελικού μεγέθους θα είναι αδύνατο να χρησιμοποιηθεί για τον σκοπό που σχεδιάστηκε.

2.4. Περιγραφή, προέλευση, διόρθωση και σημαντικότητα τυπικών ασυνεχειών συγκόλλησης.

2.4.1. Ρωγμές

Οι ρωγμές αποτελούν τη πρώτη βασική κατηγορία σφαλμάτων συγκόλλησης. Η ρωγμή ορίζεται σαν μία ασυνέχεια υλικού οφειλόμενη σε θραύση και χαρακτηρίζεται από οξύ άκρο και μεγάλους λόγους μήκους και πλάτους προς το άνοιγμά της. Οι ρωγμές αποτελούν τη πιο επικίνδυνη μορφή σφάλματος σε συγκολλητές κατασκευές, γιατί κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να επεκταθούν με μεγάλη ταχύτητα και να προκαλέσουν τη κατάρρευση της κατασκευής. Ρωγμές σε συγκολλήσεις συμβαίνουν όταν μια ή και οι δύο ακόλουθες καταστάσεις συμβαίνουν:

1. το υλικό είναι ψαθυρό,
2. εφελκυστικές τάσεις υψηλής έντασης είναι παρούσες.

Όλες οι ρωγμές που εμφανίζονται σε συγκολλητές κατασκευές μπορούν να ταξινομηθούν κατά δύο τρόπους ανάλογα με τη θέση τους, και ανάλογα με τις συνθήκες δημιουργίας τους.

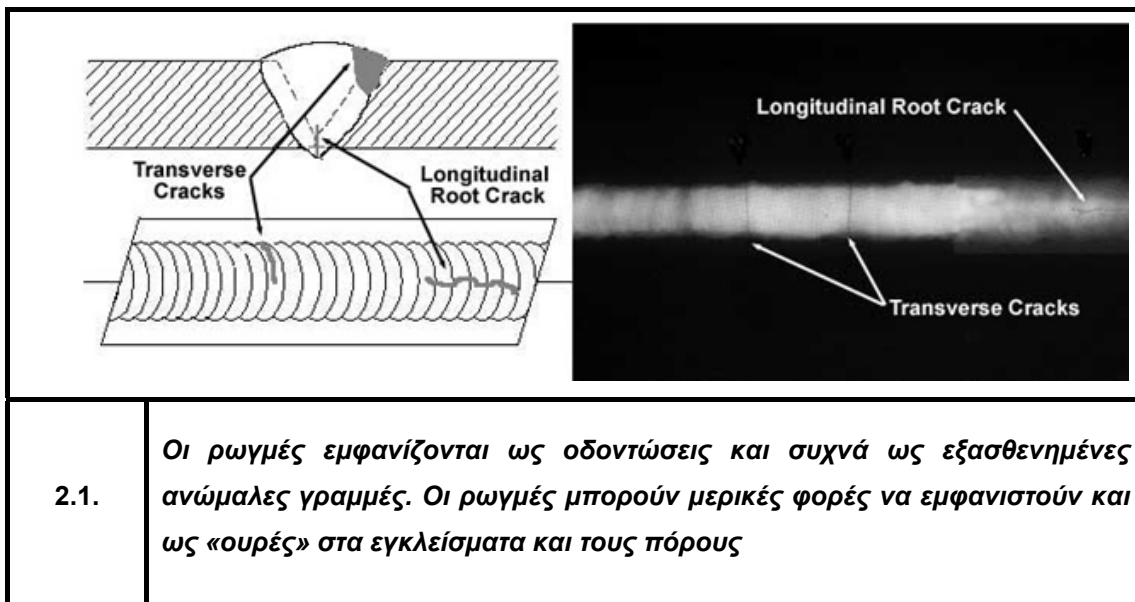
Ταξινόμηση ρωγμών με κριτήριο την εμφάνιση και τη θέση:

1. Εγκάρσιες Ρωγμές, που είναι σχεδόν κάθετες στον άξονα συγκόλλησης. Σε μερικές περιπτώσεις έχει παρατηρηθεί επέκταση των ρωγμών αυτών και στο βασικό μέταλλο.

2. Διαμήκειες Ρωγμές, που εκτείνονται παράλληλα προς τον άξονα της συγκόλλησης και που βρίσκονται συνήθως στο μέσο του μετάλλου συγκόλλησης. Αυτές οι ρωγμές δημιουργούνται είτε σαν επέκταση ρωγμών κρατήρα είτε σαν επέκταση ρωγμής προηγούμενης στρώσης που δεν αφαιρέθηκε.
3. Ρωγμές Κρατήρα, που εμφανίζονται όταν γίνει λανθασμένη διακοπή της διαδικασίας συγκόλλησης. Οι ρωγμές αυτές έχουν συνήθως αστεροειδές σχήμα. Διακρίνονται επίσης δύο είδη ρωγμών στο βασικό μέταλλο:
 - I. Εγκάρσιες Ρωγμές, που παρουσιάζονται συνήθως σε αυχενικές συγκολλήσεις χαλύβων υψηλής σκληρότητας όπου η απόσταση μεταξύ της άκρης της συγκόλλησης και της ελεύθερης ακμής του ενός ελάσματος είναι σχετικά μικρή.
 - II. Διαμήκειες Ρωγμές, που είναι παράλληλες προς τη συγκόλληση, αλλά βρίσκονται στο βασικό μέταλλο μπορεί να είναι επεκτάσεις ρωγμών κάτω από την απόθεση. Στη περίπτωση αυχενικών συγκολλήσεων διακρίνουμε τους ακόλουθους δύο τύπους:
 - A. Ρωγμές Βάσης, που εκτείνονται από τη βάση της αυχενικής συγκόλλησης προς το βασικό μέταλλο. Συνήθως ξεκινούν από υποκοπές.
 - B. Ρωγμές Ρίζας, που ξεκινούν από τη ρίζα της αυχενικής συγκόλλησης και εκτείνονται στο βασικό μέταλλο.

Ταξινόμηση ρωγμών με κριτήριο τις συνθήκες δημιουργίας :

Ρωγμές που δημιουργούνται σε υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης του μετάλλου κοντά στη θερμοκρασία τήξης, ονομάζονται θερμές. Ανάλογα οι ψυχρές ρωγμές, δημιουργούνται μετά τη στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης και είναι αποτέλεσμα υψηλών τάσεων. Στη περίπτωση του χάλυβα, ονομάζονται και καθυστερημένες ρωγμές, γιατί εμφανίζονται αρκετή ώρα μετά την απόψυξη της συγκόλλησης, με κύριο αίτιο τη συσσώρευση υδρογόνου.



2.4.1.1. Προέλευση και διόρθωση

Οι δύο βασικοί λόγοι δημιουργίας ρωγμών σε συγκολλήσεις είναι η ψαθυρότητα του υλικού και η ύπαρξη εφελκυστικών τάσεων. Εξαιτίας των λόγων αυτών είναι δυνατή η πρόληψη μεγάλου μέρους των ρωγμών τόσο στο μέταλλο συγκόλλησης (Α) όσο και στο βασικό μέταλλο (Β).

- A. Στη περίπτωση του μετάλλου συγκόλλησης, οι ρωγμές μπορεί να αποφευχθούν αν ακολουθηθούν μια ή περισσότερες από τις ακόλουθες διαδικασίες:
1. Αλλαγή στον χειρισμό του ηλεκτροδίου ή στις συνθήκες συγκόλλησης, ώστε να βελτιωθεί η σύνθεση του υλικού απόθεσης.
 2. Ελάττωση της ταχύτητας συγκόλλησης ώστε να αυξηθεί το πάχος του υλικού απόθεσης και, έτσι να δημιουργηθεί περισσότερο μέταλλο συγκόλλησης που να μπορεί να αντέξει στις αναπτυσσόμενες τάσεις.
 3. Χρήση προθέρμανσης, ώστε να ελαττωθούν οι θερμικές τάσεις.
 4. Χρήση ηλεκτροδίων μικρής περιεκτικότητας σε υδρογόνο.
 5. Κατάλληλη διαδικασία συγκόλλησης ώστε να ελαττωθούν οι τάσεις συστολής.
 6. Αποφυγή συνθηκών ταχείας απόψυξης της συγκόλλησης, ώστε να αποφευχθεί η ψαθυροποίησή της.
- B. Στη περίπτωση των ρωγμών που εμφανίζονται στο βασικό μέταλλο, και κυρίως στη θερμαινόμενη ζώνη, κύρια αίτια είναι τα μεταλλουργικά χαρακτηριστικά του

υλικού (έλλειψη ολκιμότητας). Επομένως η δημιουργία αυτών των ρωγμών μπορεί να αποφευχθεί με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Χρήση προθέρμανσης ώστε να υπάρχει έλεγχος της ταχύτητας απόψυξης.
2. Ελεγχόμενη πρόσδοση θερμότητας.
3. Χρήση του κατάλληλου ηλεκτροδίου.
4. Σωστός έλεγχος των υλικών συγκόλλησης.

Για τη περίπτωση των καθυστερημένων ρωγμών που εμφανίζονται συνήθως στους χάλυβες υψηλής αντοχής και που οφείλονται στο υδρογόνο, αποφυγή της δημιουργίας τους μπορεί να γίνει με τους ακόλουθους τρόπους:

1. Χρήση μεθόδου συγκόλλησης ή ηλεκτροδίου που παρέχει λίγο ή καθόλου υδρογόνο.
2. Συνδυασμός διαδικασιών συγκόλλησης και θερμικών κατεργασιών που προκαλούν τη διάχυση του υδρογόνου έξω από το μέταλλο, ή που οδηγούν στη δημιουργία κρυσταλλικών δομών μη ευαίσθητων σε αυτό.
3. Χρήση διαδικασιών συγκόλλησης που περιορίζουν την ανάπτυξη μεγάλων τάσεων

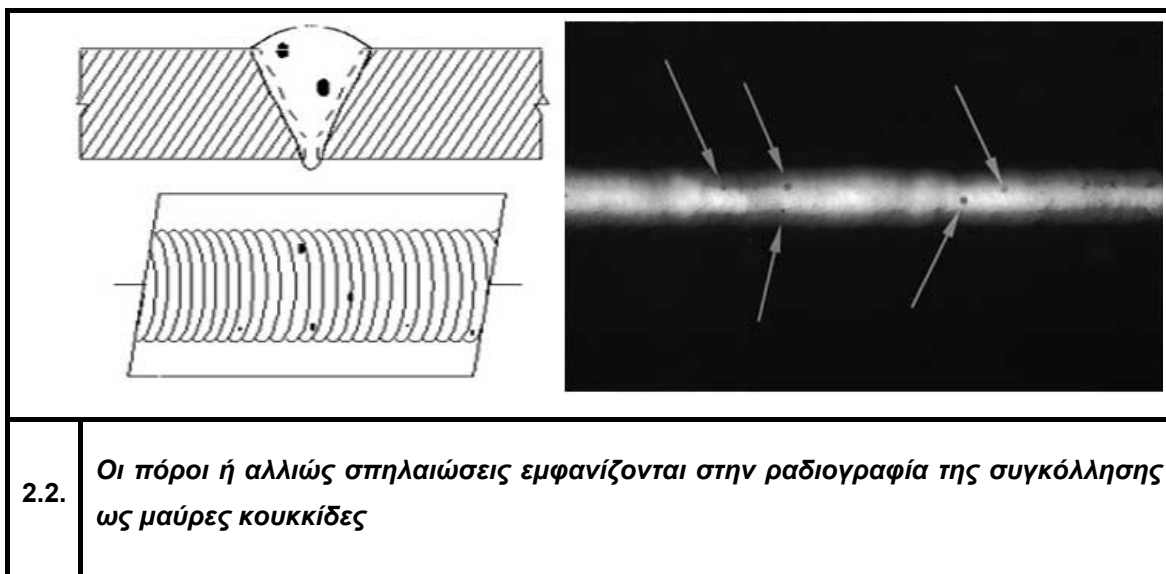
2.4.1.2. Σημαντικότητα

Οι ρωγμές σε όλες τους τις μορφές, αποτελούν το πιο σημαντικό από όλα τα άλλα σφάλματα συγκολλήσεων. Από τη φύση της η ρωγμή έχει πολύ αιχμηρά άκρα που δρουν σα σημεία υψηλής συγκέντρωσης τάσεων. Για τον λόγο αυτό, όλοι οι διεθνείς και εθνικοί κανονισμοί που διέπουν συγκολλητές κατασκευές δεν επιτρέπουν την ύπαρξη ρωγμών, ανεξαρτήτου μεγέθους, σε συγκολλήσεις. Όλες οι ρωγμές που εντοπίζονται με οποιαδήποτε μέθοδο μη καταστρεπτικού ελέγχου πρέπει να επιδιορθώνονται.

Με τη σημερινή εξέλιξη της θεωρίας της θραύσης (fracture mechanics) είναι δυνατή η αξιολόγηση της σημασίας των ρωγμών σε συγκολλητές κατασκευές. Έτσι όταν ακολουθείται η φιλοσοφία της καταλληλότητας για την επιδιωκόμενη χρήση, είναι δυνατό να επιτρέπεται η ύπαρξη ορισμένων ρωγμών δεδομένου μεγέθους, κατεύθυνσης και θέσης.

2.4.2. Σπηλαιώσεις

Οι σπηλαιώσεις αποτελούν τη δεύτερη πιο μεγάλη κατηγορία των σφαλμάτων συγκόλλησης. Το πιο συνηθισμένο τέτοιο σφάλμα είναι οι πόροι που ορίζονται σαν «σπηλαιώδεις ασυνέχειες που δημιουργούνται από τη παγίδευση αερίων κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης». Οι πόροι είναι συνήθως σφαιρικοί αν και μερικές φορές μπορεί να είναι και επιμήκεις.



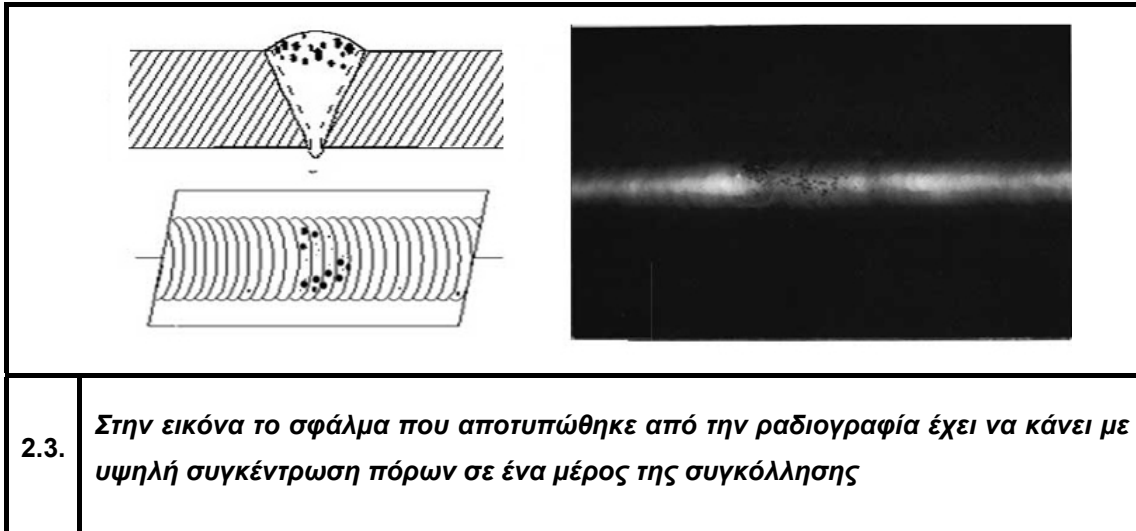
2.2.

Οι πόροι ή αλλιώς σπηλαιώσεις εμφανίζονται στην ραδιογραφία της συγκόλλησης ως μαύρες κουκκίδες

Οι πόροι μπορεί να είναι επιφανειακοί ή εσωτερικοί. Τους πρώτους μπορούμε να τους δούμε με γυμνό μάτι και να τους προσδιορίσουμε με οπτικές τεχνικές. Για τους εσωτερικούς όμως πόρους, απαιτούνται τεχνικές εσωτερικού προσδιορισμού (π.χ. ραδιογραφία).

Ανάλογα με τη κατανομή και τη μορφή των πόρων, διακρίνονται οι ακόλουθες υποκατηγορίες:

1. Ομοιόμορφα κατανεμημένοι πόροι (uniformly scattered porosity), που βρίσκονται σε συγκολλήσεις μιας ή πολλαπλών στρώσεων, και που οφείλονται γενικά σε λανθασμένη διαδικασία συγκόλλησης ή σε ακατάλληλα υλικά, ή και στα δύο.
2. Συγκεντρωμένοι πόροι (cluster porosity), που οφείλονται σε λανθασμένη ένωση άναμμα ή σβήσιμο του ηλεκτρικού τόξου.



2.3.

Στην εικόνα το σφάλμα που αποτυπώθηκε από την ραδιογραφία έχει να κάνει με υψηλή συγκέντρωση πόρων σε ένα μέρος της συγκόλλησης

3. Γραμμική κατανομή πόρων (linear porosity), που συναντάται κατά μήκος της άκρης της συγκόλλησης, της ρίζας, ή μεταξύ διαδοχικών στρώσεων. Οφείλεται σε απελευθέρωση αερίων από ξένες ουσίες κατά μήκος μιας συγκεκριμένης επιφάνειας.
4. Σωληνοειδείς πόροι (ripping porosity), όρος που αναφέρεται για τους επιμήκεις πόρους. Στη περίπτωση των αυχενικών συγκολλήσεων, οι πόροι αυτοί εκτείνονται συνήθως από τη ρίζα της συγκόλλησης προς την όψη της.

2.4.2.1. Προέλευση και διόρθωση

Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, υπάρχουν πάντοτε διαλυμένα αέρια στο τηγμένο μέταλλο. Καθώς το μέταλλο συγκόλλησης στερεοποιείται, πόροι δημιουργούνται όταν τα διαλυμένα αυτά αέρια εξακολουθούν να υπάρχουν σε ποσότητες μεγαλύτερες από αυτές που τους επιτρέπει η διαλυτότητά τους στο στερεό πια μέταλλο. Οι βασικοί λόγοι για τη παγίδευση των αερίων έχουν σχέση με τη μέθοδο και διαδικασία της συγκόλλησης, και μερικές φορές με αυτή τη χημική σύσταση του μετάλλου. Συγκεκριμένα οι δύο πρώτοι λόγοι είναι και οι σημαντικότεροι γιατί είναι εκείνοι που ελέγχουν τον ρυθμό απόψυξης, άρα και στερεοποίησης του μετάλλου.

Τα αέρια που βρίσκονται συνήθως διαλυμένα στο τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης είναι τα εξής:

- Υδρογόνο (H_2)
- Οξυγόνο (O_2)

- Άζωτο (N₂)
- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Διοξείδιο του άνθρακα (CO₂)
- Υδρατμοί
- Αργό (Ar)
- Ήλιο (He)

Από αυτά το υδρογόνο (H₂) θεωρείται σαν η κυριότερη αιτία της δημιουργίας πόρων σε συγκολλήσεις, μια και μπορεί να εισέλθει στο τηγμένο μέταλλο από πολλές πηγές π.χ. ατμοσφαιρικό αέρα, επένδυση ηλεκτροδίων, υγρασία, κλπ. Το άζωτο (N) μπορεί να δημιουργήσει πόρους σε συγκολλήσεις χάλυβα και κραμάτων νικελίου (Ni). Προέρχεται από την ατμόσφαιρα ή από μόλυνση του αερίου προστασίας. Τέλος το διαλυμένο στο τηγμένο μέταλλο οξυγόνο μπορεί επίσης να προκαλέσει πόρους. Το οξυγόνο αυτό προέρχεται από οξείδια των ηλεκτροδίων και της επιφάνειας του μετάλλου και από την ατμόσφαιρα.

2.4.2.2. Σημαντικότητα

Η σπουδαιότητα των πόρων σαν σφάλμα συγκολλήσεων έχει ερευνηθεί σε μεγάλο βάθος τόσο θεωρητικά όσο και πειραματικά. Έχει αποδειχθεί ότι η ύπαρξη πόρων σε ποσοστό 2 έως 3%, ποσοστό γενικά μεγαλύτερο από αυτό που επιτρέπουν οι διάφοροι κανονισμοί, έχει ασήμαντη επίδραση στη στατική αντοχή των συγκολλήσεων. Το ίδιο ισχύει και για την ολκιμότητα αν και η επίδραση εδώ αυξάνει όσο αυξάνει η αντοχή του υλικού.

Όσον αφορά τη ψαθυρή θραύση, η επίδραση των πόρων είναι γενικά μικρή. Στη περίπτωση αυτή πρέπει να δοθεί έμφαση στο γεγονός ότι δεν έχει σημασία τόσο ο αριθμός των πόρων όσο το μέγεθος και το σχήμα τους.

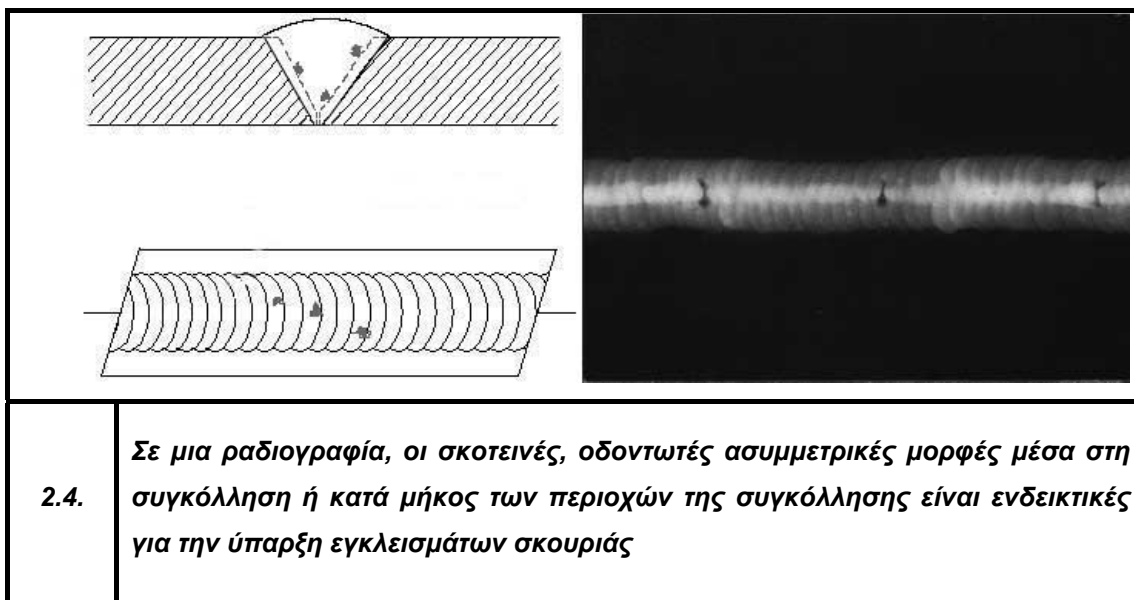
Η επίδραση των πόρων στην αντοχή σε θραύση από κόπωση συγκολλητών κατασκευών έχει ερευνηθεί σε μεγάλο βάθος λόγω της σημαντικότητάς της, κυρίως στη περίπτωση συγκολλήσεων κατά συμβολή με ή χωρίς ενίσχυση όψης. Το γενικό συμπέρασμα είναι ότι η ύπαρξη ενίσχυσης όψης δημιουργεί σημεία συγκέντρωσης τάσεων κάτι που υπερκαλύπτει οποιαδήποτε επίδραση που μπορεί να έχουν οι πόροι. Εάν όμως, αποξεστεί η ενίσχυση όψης, τότε, οι πόροι που εμφανίζονται στην επιφάνεια είναι δυνατόν να οδηγήσουν σε θραύση από κόπωση, μια και είναι γνωστό

ότι το είδος αυτής της θραύσης ξεκινά από επιφανειακά σφάλματα. Από την άλλη μεριά, η ύπαρξη πόρων, μέσα σε λογικά όρια, σε αυχενικές συγκολλήσεις, δεν φαίνεται να έχει σημαντική επίδραση, στην αντοχή τους σε κόπωση.

2.4.3. Στερεά εγκλείσματα

Τα στερεά εγκλείσματα, η 3^η κατηγορία σφαλμάτων κατά την EN εμφανίζονται κυρίως στο εσωτερικό των συγκολλήσεων και περιλαμβάνουν κάθε ξένη ουσία που παγιδεύεται στο μέταλλο συγκόλλησης.

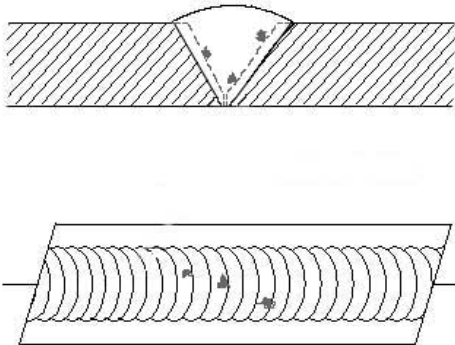

Το πιο συνηθισμένο είδος 3^{ου} σφάλματος είναι τα εγκλείσματα σκουριάς, που ορίζονται σαν μη μεταλλικές στερεές ουσίες που παγιδεύονται στο μέταλλο συγκόλλησης, ή μεταξύ μετάλλου συγκόλλησης και βασικού μετάλλου. Άλλο είδος εγκλείσματος είναι το έγκλεισμα σκόνης που προέρχεται από τη παγίδευση σκόνης από την επένδυση των ηλεκτροδίων, ή σκόνης της μεθόδου συγκόλλησης με βυθισμένο τόξο, και τα δύο αυτά είδη εγκλεισμάτων μπορεί να έχουν μορφή συνεχή, διακεκομένη, ή να έχουν τυχαία κατανομή. Σε όλες τις περιπτώσεις έχουν στρογγυλευμένα άκρα.

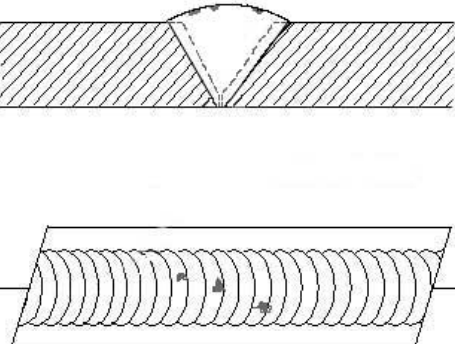
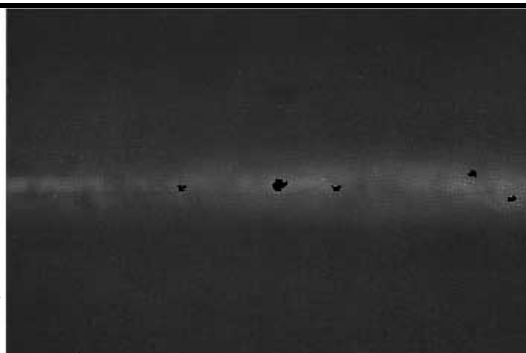


Σε ορισμένα μέταλλα, και κυρίως σε αυτά που σχηματίζουν οξειδικές επιστρώσεις υψηλής θερμοκρασίας, υπάρχει η πιθανότητα δημιουργίας εγκλεισμάτων οξειδίου στο μέταλλο συγκόλλησης. Η περίπτωση της συγκόλλησης αλουμινίου είναι χαρακτηριστική. Το οξείδιο του αλουμινίου δημιουργείται πολύ

γρήγορα στην ατμόσφαιρα και μπορεί να παγιδευτεί πολύ εύκολα στο μέταλλο της συγκόλλησης αν δεν παρθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις.

Τέλος στη κατηγορία αυτή περιλαμβάνονται και τα εγκλείσματα βολφραμίου, υπό μορφή σωματιδίων παγιδευμένων στο μέταλλο συγκόλλησης που έχει εναποτεθεί με συγκόλληση σε αδρανές αέριο με ηλεκτρόδιο βολφραμίου. Το σφάλμα αυτό συμβαίνει εάν το ηλεκτρόδιο βολφραμίου ακουμπήσει το τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης, ή εάν το ρεύμα συγκόλλησης είναι υπερβολικά υψηλό, ώστε να προκαλέσει τήξη και μεταφορά σταγόνων βολφραμίου από το ηλεκτρόδιο στο τηγμένο μέταλλο συγκόλλησης.

	
2.5.	<p><i>Το βολφράμιο είναι πιο πυκνό από το αργίλιο ή τον χάλυβα, επομένως σε μια ραδιογραφία εγκλείσματα βολφραμίου παρουσιάζονται ως ασυμετρικές περιοχές που εμφανίζουν υψηλή απορρόφηση ακτινοβολίας και για αυτό έχουν αμαυρωθεί λιγότερο</i></p>

	
2.6.	<p><i>Τα εγκλείσματα οξειδίων είναι λιγότερο πυκνά από το περιβάλλον υλικό, επομένως στην ραδιογραφία εμφανίζονται ως σκοτεινές ακανόνιστα διαμορφωμένες ασυνέχειες</i></p>

2.4.3.1. Προέλευση και διόρθωση

Η σκουριά που δημιουργείται σε αρκετές μεθόδους συγκόλλησης και που είναι αποτέλεσμα χημικών αντιδράσεων, κανονικά επιπλέει στην επιφάνεια του τηγμένου μετάλλου συγκόλλησης λόγω χαμηλότερης ειδικής πυκνότητάς της, καθώς και για ενεργειακούς λόγους. Υπάρχει όμως μια σειρά παραγόντων που μπορεί να εμποδίσουν την επίπλευση της σκουριάς, με αποτέλεσμα τη παγίδευσή της. Τέτοιοι παράγοντες είναι το υψηλό ιξώδες του μετάλλου συγκόλλησης, πολύ γρήγορη στερεοποίηση του μετάλλου συγκόλλησης, υπερβολικά χαμηλή θερμοκρασία, λανθασμένος χειρισμός του ηλεκτροδίου, υποκοπή σε προηγούμενες στρώσεις, ακατάλληλη γεωμετρική διαμόρφωση των ακμών για συγκόλληση κλπ.

Γενικά παρατηρείται, ότι η ύπαρξη εγκλεισμάτων σκουριάς προέρχεται από λανθασμένη εφαρμογή της μεθόδου συγκόλλησης. Τα κυριότερα αυτά λάθη είναι:

1. Ατελής τεχνική του χειρισμού του ηλεκτροδίου.
2. Η σκουριά να τρέχει μπροστά από τη συγκόλληση, λόγω λανθασμένης τοποθέτησης του προϊόντος που συγκολλάται.
3. Ατελής αφαίρεση της σκουριάς από προηγούμενα στρώματα στη περίπτωση συγκόλλησης πολλαπλών στρώσεων.
4. Ακατάλληλο σχήμα ενδιάμεσης στρώσης σε συγκόλληση πολλαπλών στρώσεων.
5. Παρουσία σκουριάς στο βασικό μέταλλο.
6. Χρήση ηλεκτροδίων με χαλαρή επένδυση.

Η αποφυγή των ανωτέρω λαθών αποτελεί σημαντική εγγύηση και για την αποφυγή δημιουργίας εγκλεισμάτων σκουριάς.

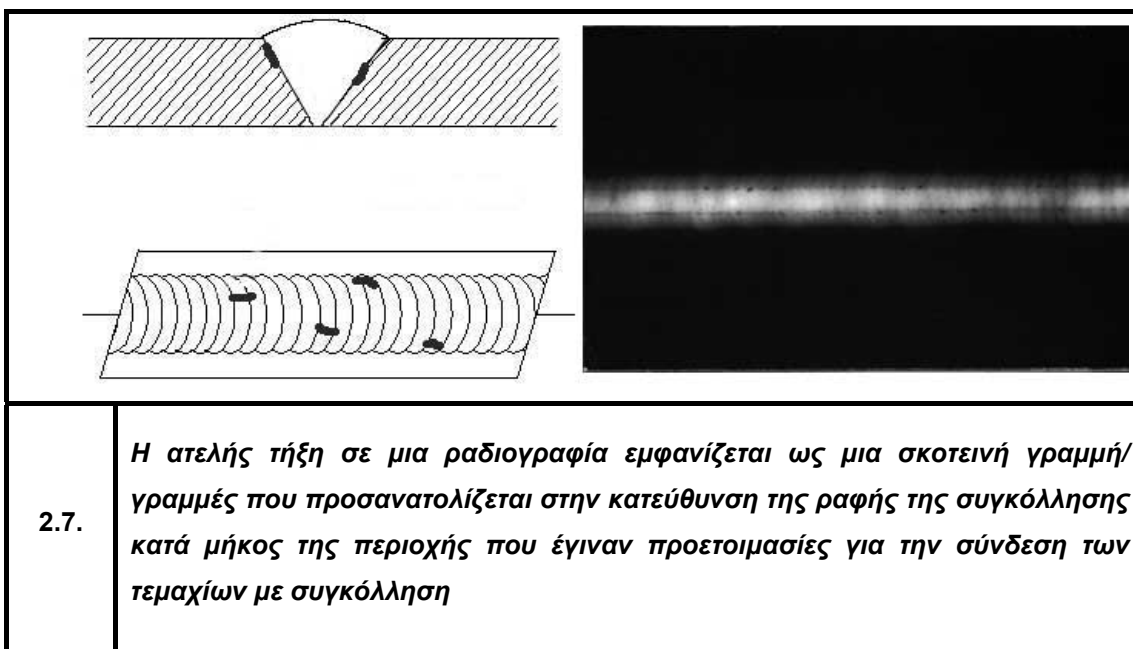
2.4.3.2. Σημαντικότητα

Η επίδραση των στερεών εγκλεισμάτων στη συμπεριφορά των συγκολλητών κατασκευών είναι παρόμοια με εκείνη που αναφέρθηκε πιο πριν και για τους πόρους.

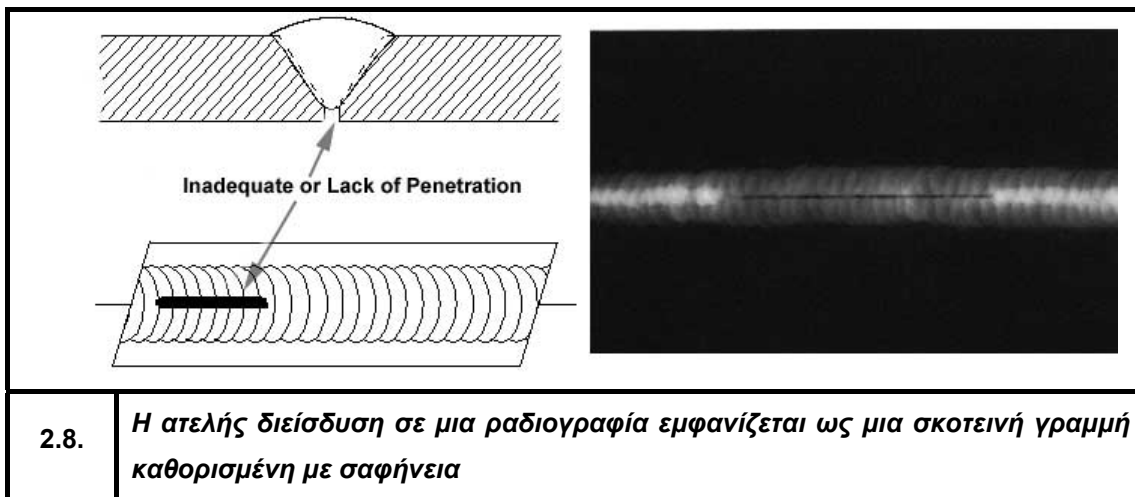
2.4.4. Ατελής τήξη ή διείσδυση

Η 4^η κατηγορία σφαλμάτων κατά I.I.W. (International Institute of Welding) περιλαμβάνει δύο πολύ σημαντικά και διαφορετικά σφάλματα, τα οποία δυστυχώς

πολλές φορές συγχέονται μεταξύ τους. Με τον όρο ατελής τήξη (incomplete fusion) εννοείται η μη επίτευξη πλήρους τήξης του μετάλλου συγκόλλησης με το βασικό μέταλλο, ή των στρώσεων μετάλλου συγκόλλησης μεταξύ τους. Το σφάλμα αυτό μπορεί να συμβεί σε οποιοδήποτε σημείο της συγκόλλησης. Συνεπώς, ατελής τήξη σημαίνει ότι είτε το απόθεμα συγκόλλησης δεν γέμισε τελείως όλο τον χώρο μεταξύ των διαμορφωμένων ακμών, είτε ότι υπάρχει κενό μεταξύ αποθεμάτων ή στρώσεων, ή τέλος ότι υπάρχει κενό στη ρίζα της συγκόλλησης.



Από την άλλη μεριά, ατελής διείσδυση (inadequate joint penetration) σημαίνει ότι η διείσδυση που επιτεύχθηκε είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, και επομένως η συγκόλληση δεν είναι επαρκής για τη προοριζόμενη εφαρμογή. Από καθαρά τεχνική σκοπιά, το σφάλμα αυτό μπορεί να συμβεί μόνο στη περίπτωση που η προδιαγραφή της συγκόλλησης απαιτεί διείσδυση του μετάλλου εναπόθεσης πέραν της αρχικής διαμόρφωσης των ακμών των υπό συγκόλληση ελασμάτων. Όταν η συγκόλληση αποτύχει στο να διεισδύσει στη περιοχή της ένωσης, που για τη τήξη της απαιτεί διείσδυση, τότε η περιοχή αυτή λέγεται ότι έχει ατελή διείσδυση.



2.4.4.1. Προέλευση και διόρθωση

Το σφάλμα της ατελούς τήξης, συμβαίνει σχεδόν πάντα, σαν αποτέλεσμα λανθασμένης εφαρμογής της διαδικασίας για δεδομένη γεωμετρία και μέθοδο συγκόλλησης. Τα σημαντικότερα από τα λάθη αυτά είναι:

1. Ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος, ή υψηλής ταχύτητας συγκόλλησης.
2. Λανθασμένη τοποθέτηση του ηλεκτροδίου.
3. Τρέξιμο τηγμένου μετάλλου μπροστά από τη συγκόλληση λόγω κακής τοποθέτησης των συνδεόμενων τεμαχίων.
4. Μη απομάκρυνση οξειδίων ή σκουριάς από την επιφάνεια της ραφής ή από προηγούμενες στρώσεις.
5. Λανθασμένος τύπος ή μέγεθος ηλεκτροδίου.
6. Ακατάλληλη διαμόρφωση ακμών.
7. Ανεπαρκής προστασία με αέριο.

Η αποφυγή των ανωτέρω λαθών ελαχιστοποιεί τη πιθανότητα για τη δημιουργία ατελούς τήξης.

Στη περίπτωση της ατελούς διείσδυσης, οι σημαντικότερες πηγές προέλευσης είναι η λανθασμένη τεχνική συγκόλλησης και η γεωμετρική διαμόρφωση των ακμών. Πιο συγκεκριμένα, τα κυριότερα λάθη που οδηγούν στο σφάλμα αυτό είναι:

1. Υπερβολικά παχιά όψη της ρίζας, ή ανεπαρκές άνοιγμα ρίζας.
2. Χρήση ακατάλληλης ακολουθίας στρώσεων ή ραφών.

3. Ανεπαρκής πρόσδοση θερμότητας λόγω χαμηλής έντασης ρεύματος, ή υψηλής ταχύτητας μετατόπισης ηλεκτροδίου.
4. Μεγάλη διάμετρος ηλεκτροδίου.
5. Υπερβολικά υψηλή αυτεπαγωγή στο ηλεκτρικό κύκλωμα κατά τη διάρκεια της μεταφοράς μετάλλου με βραχυκύκλωση στη μέθοδο συγκόλλησης GMAW.

Πολλές από τις ανωτέρω αιτίες μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση μιας μεθόδου συγκόλλησης που εγγυάται μεγάλη διείσδυση.

2.4.4.2. Σημαντικότητα

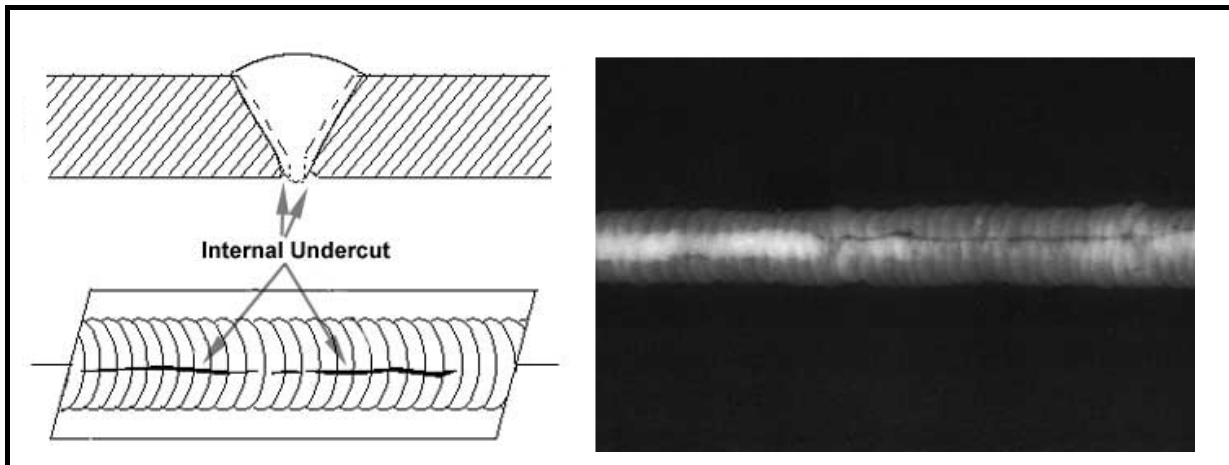
Ο τρόπος με τον οποίο το σφάλμα της ατελούς τήξης επηρεάζει τη συμπεριφορά των συγκολλητών κατασκευών είναι σχεδόν ίδιος με εκείνο των πόρων και των στερεών εγκλεισμάτων.

Από την άλλη μεριά το σφάλμα της ατελούς διείσδυσης είναι πολύ σημαντικό, γιατί οι περιοχές που δεν έχουν υποστεί διείσδυση, και κυρίως η ρίζα, επιτρέπουν την ανάπτυξη συγκέντρωσης τάσεων που μπορούν να προκαλέσουν κατάρρευση. Το φαινόμενο αυτό είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο στη περίπτωση που η συγκόλληση πρόκειται να καταπονηθεί με δυναμικά φορτία, ευνοώντας την δημιουργία ρωγμών που οδηγούν σε ταχεία κατάρρευση.

2.4.5. Ατελές σχήμα ή ανώμαλη όψη

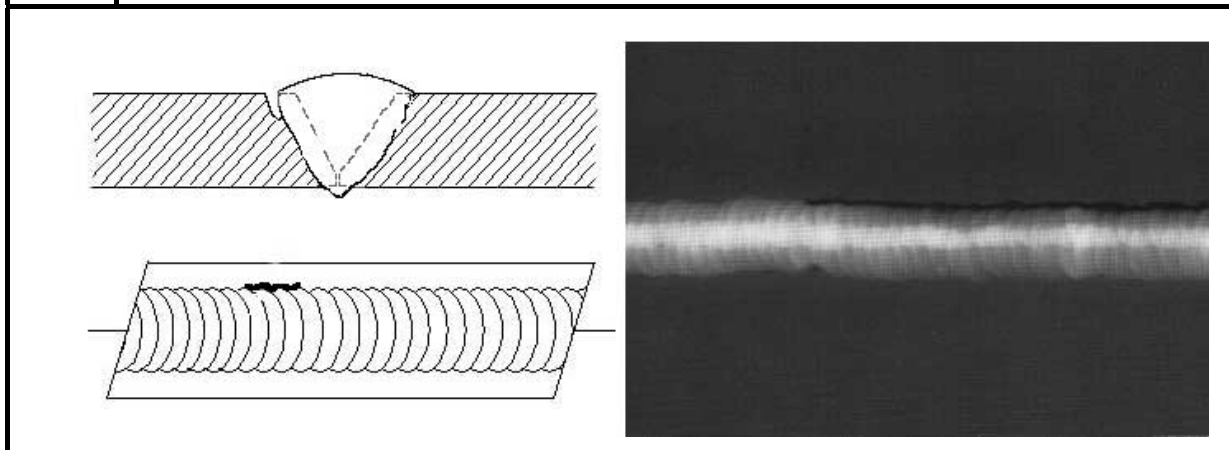
Στην 5^η κατηγορία σφαλμάτων συγκόλλησης κατά την I.I.W. περιλαμβάνονται μεγάλος αριθμός σφαλμάτων που έχουν σχέση με τη γεωμετρία της ραφής. Τα κυριότερα από αυτά τα σφάλματα είναι τα εξής:

1. **Υποκοπή (undercut)**, είναι ένα από τα σημαντικότερα σφάλματα αυτής της κατηγορίας. Συνήθως συναντάται στη ρίζα ή στο πρόσωπο της συγκόλλησης παράλληλα προς την ένωση του μετάλλου συγκόλλησης και του βασικού μετάλλου.



2.9.

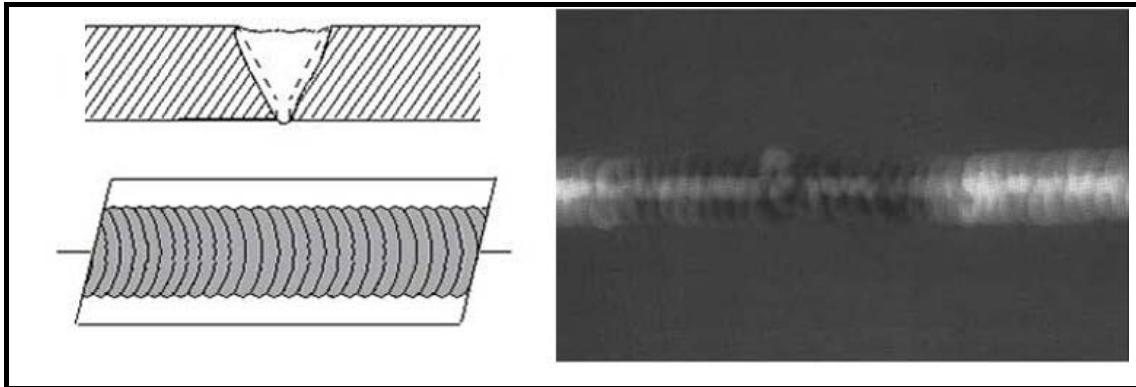
Η «εσωτερική» υποκοπή εμφανίζεται στην ραδιογραφία ως μια σκοτεινή ανώμαλη γραμμή που αντισταθμίζεται από την κεντρική γραμμή της συγκόλλησης



2.10.

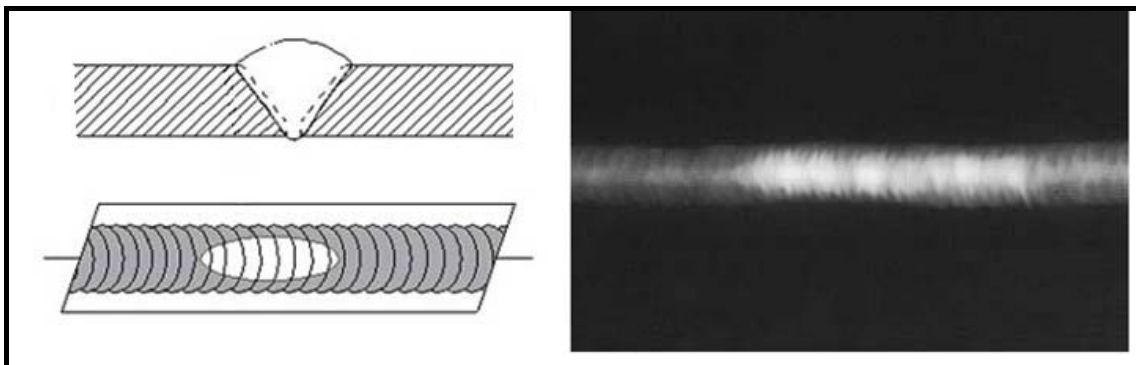
Στην ραδιογραφία η «εξωτερική» υποκοπή, εμφανίζεται ως μια σκοτεινή ανώμαλη γραμμή κατά μήκος του εξωτερικού άκρου της περιοχής της συγκόλλησης

2. **Υπερκάλυψη (overlap)**, παράλληλα προς τον άξονα της συγκόλλησης.
3. **Ανεπαρκές γέμισμα (underfill)**, που ορίζεται σαν την εσοχή, στην όψη ή στη ρίζα της συγκόλλησης, που είναι χαμηλότερη από το επίπεδο του βασικού μετάλλου.



- 2.11. Στην ραδιογραφία εάν η συγκόλληση εμφανίζει ανεπαρκές γέμισμα, τότε η αμαύρωση στο κομμάτι της συγκόλλησης που έγινε ανεπαρκές γέμισμα θα είναι μεγαλύτερη

4. Υπερβολική ενίσχυση όψης (excessive reinforcement), ΠΟΥ ΕΙΝΑΙ ΤΟ αντίθετο του προηγούμενου σφάλματος.



- 2.12. Η εμφάνιση του σφάλματος υπερβολικής ενίσχυσης, σε μια ραδιογραφία είναι μια εντοπισμένη περιοχή στη συγκόλληση που εμφανίζει χαμηλή αμαύρωση σε σχέση με την υπόλοιπη συγκόλληση

5. Ανεπαρκής διάσταση ραφής (insufficient leg).
6. Υπερβολική κυρτότητα όψης (excessive convexity).

2.4.5.1. Προέλευση και διόρθωση

Η υποκοπή προέρχεται συνήθως είτε από λανθασμένες τεχνικές συγκόλλησης, είτε από υπερβολικά υψηλή ένταση ρεύματος.

Για την υπερκάλυψη, οι βασικές αιτίες είναι λανθασμένες τεχνικές συγκόλλησης, λανθασμένη επιλογή των υλικών πλήρωσης, ή ακατάλληλη προετοιμασία του βασικού μετάλλου πριν τη συγκόλληση.

Το ανεπαρκές γέμισμα οφείλεται στο ότι ο συγκολλητής παρέλειψε να κάνει όλες τις στρώσεις, όπως απαιτούν οι προδιαγραφές. Συνήθως το σφάλμα αυτό, διορθώνεται με τη προσθήκη μιας ή περισσοτέρων στρώσεων μετάλλου συγκόλλησης.

Για τα υπόλοιπα σφάλματα της κατηγορίας αυτής, αναφέρεται ότι προέρχονται από λανθασμένη εφαρμογή των προδιαγραφόμενων συνθηκών συγκόλλησης όπως τάση, ένταση ρεύματος, ταχύτητα συγκόλλησης, τύπος ηλεκτροδίου κλπ.

2.4.5.2. Σημαντικότητα

Τα σφάλματα της υποκοπής, της υπερκάλυψης και της υπερβολικής ενίσχυσης όψης δημιουργούν οξείς εγκοπές στην επιφάνεια των συγκολλήσεων. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούνται περιοχές υψηλής συγκέντρωσης τάσεων, με αποτέλεσμα τη πιθανότητα έναρξης ρηγματώσεων που μπορούν να οδηγήσουν σε αστοχία.

Το σφάλμα της ανεπαρκούς διάστασης ραφής σημαίνει ελάττωση της αντοχής της σύνδεσης έτσι ώστε να αυξάνεται η πιθανότητα αστοχίας της κατασκευής.

2.4.6. Διάφορα άλλα σφάλματα

Στην 6^η κατηγορία σφαλμάτων συγκόλλησης κατά την I.I.W. περιλαμβάνονται εκείνα τα σφάλματα που δεν ανήκουν σε καμία από τις προηγούμενες κατηγορίες. Τα κυριότερα από αυτά είναι:

1. **Ανάματα τόξου (arc strikes)**, που συμβαίνουν όταν ο συγκολλητής ανάψει κατά λάθος το τόξο πάνω στο βασικό μέταλλο που γειτονεύει με το μέταλλο της συγκόλλησης με αποτέλεσμα τη προσωρινή τήξη μικρού όγκου από το βασικό μέταλλο.
2. **Υπερβολικό πιτσίλισμα μετάλλου (excessive spatter)**, που συμβαίνει στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου κοντά στη συγκόλληση.
3. **Διάφορα διασταστικά σφάλματα**, όπως μη ευθυγράμμιση ελασμάτων (misalignment), λανθασμένη προετοιμασία ακμών κλπ.

2.4.6.1. Προέλευση και διόρθωση

Τα ανάματα τόξου γίνονται κατά λάθος. Για το λόγο αυτό, σε ορισμένες συγκολλήσεις τοποθετείται προστατευτικό κάλυμμα στη περιοχή γύρω από τη συγκόλληση.

Το υπερβολικό πισίλισμα μετάλλου μπορεί να οφείλεται σε μαγνητικό φύσημα (arc blow), σε λανθασμένη επιλογή ηλεκτροδίου ή έντασης ρεύματος, ή σε υπερβολικά μεγάλο μήκος του τόξου συγκόλλησης. Μπορεί να διορθωθεί με χρήση εναλλασσόμενου ρεύματος, με ρύθμιση της έντασης ρεύματος στη σωστή τιμή για το χρησιμοποιούμενο ηλεκτρόδιο κλπ.

2.4.6.2. Σημαντικότητα

Τα ανάματα τόξου είναι ανεπίτρεπτα σε ορισμένες συγκολλητές κατασκευές, γιατί το τηγμένο βασικό μέταλλο μπορεί να υποστεί ρηγμάτωση από τη ταχεία απόψυξη, ή γιατί μπορεί να δημιουργηθεί επιφανειακός πόρος σε αυτή τη περιοχή. Οι ασυνέχειες αυτές μπορούν, κάτω από κατάλληλες συνθήκες, να οδηγήσουν σε ρηγματώσεις μεγάλης έκτασης.

Το υπερβολικό πισίλισμα μετάλλου μπορεί να μη θεωρηθεί ότι είναι σημαντικό σφάλμα, αποτελεί όμως ένδειξη λανθασμένης τεχνικής συγκόλλησης, που κατά πάσα πιθανότητα, κρύβει την ύπαρξη άλλων σημαντικότερων σφαλμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Εισαγωγή στους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους



3.1. Γενικές αρχές, έννοιες, εφαρμογές.

Ο γενικός όρος «Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι» (ΜΚΕ) χρησιμοποιείται για να προσδιορίσει όλες εκείνες τις μεθόδους επιθεώρησης που επιτρέπουν την αξιολόγηση των συγκολλήσεων και των σχετικών υλικών, χωρίς αυτές να καταστρέφονται. Τα βασικά στοιχεία τα οποία είναι κοινά σε όλες τις μεθόδους ΜΚΕ περιλαμβάνουν :

1. Μια αξιόπιστη πηγή ενέργειας
2. Ένα δείγμα ελέγχου το οποίο, σε συνδυασμό με την αντίστοιχη πηγή ενέργειας που θα χρησιμοποιηθεί θα δείξει τις πιθανές ασυνέχειες που υπάρχουν.
3. Έναν ανιχνευτή (δηλαδή μια συσκευή) ικανό να μετρήσει τις διαφορές που θα εμφανιστούν από την πηγή της ενέργειας ή την κατανομή αυτής εντός του προς εξέταση δείγματος.
4. Μια τεχνική με την βοήθεια της οποίας θα γίνεται καταγραφή και θα αναδεικνύονται οι πληροφορίες που λήφθηκαν από τον ανιχνευτή. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που πάρθηκαν.
5. Έναν χειριστή (ελεγκτής συγκολλήσεων) ο οποίος θα είναι εκπαιδευμένος να κατανοεί και να αξιολογεί τα αποτελέσματα που θα του δίνει η εκάστοτε μέθοδος.

Οι πιο συχνές μέθοδοι ΜΚΕ που συναντούνται σήμερα στην βιομηχανία είναι οι ακόλουθες :

1. Οπτική επιθεώρηση
2. Ραδιογραφία (ακτίνες Χ, ακτίνες γ, δέσμη νετρονίων)
3. Υπέρηχοι
4. Μέθοδος μαγνητικών σωματιδίων
5. Μέθοδος διεισδυτικών υγρών
6. Μέθοδος ρεύματος αυτεπαγωγής (δινορεύματα)
7. Μέθοδος Ακουστικών εκπομπών
8. Προσδιορισμός φερρίτη

Οι ΜΚΕ δεν δημιουργήθηκαν με σκοπό να αντικαταστήσουν τις Καταστροφικές Μεθόδους Ελέγχου. Ο εκάστοτε ελεγκτής συγκολλήσεων θα πρέπει να γνωρίζει ότι αρκετές φορές οι Καταστροφικοί Έλεγχοι χρησιμοποιούνται σαν συμπλήρωμα των ΜΚΕ και πως κάθε μέθοδος ελέγχου μπορεί να συμπληρώσει κάποια άλλη. Εξάλλου δεν είναι ασύνηθες τα κριτήρια αποδοχής ή απόρριψης για μια

μέθοδο ΜΚΕ να αναπτύχθηκαν από έρευνες που σχετίζονται με τα αποτελέσματα Καταστροφικών Ελέγχων.

Κάθε μέθοδος ΜΚΕ έχει διαφορετικό βαθμό ακριβείας που όμως ποτέ δεν φτάνει την απόλυτη ακρίβεια ενός Καταστροφικού Ελέγχου. Όμως, οι ΜΚΕ είναι πολύ οικονομικότερες από τον καταστροφικό έλεγχο καθώς αφήνουν την κατασκευή άθικτη και διαθέσιμη για περαιτέρω έλεγχο ή λειτουργία. Καταστροφικοί και Μη έλεγχοι εφαρμόζονται σε συνδυασμό κατά τον έλεγχο της αξιοπιστίας μιας μεθόδου, οπότε τυχαία δείγματα ή δοκίμια ελέγχονται πρώτα με ΜΚΕ και στη συνέχεια με ΚΕ ώστε να συγκριθούν τα αποτελέσματά τους και να οριστεί ή να ρυθμιστεί καλύτερα η ακρίβεια της μεθόδου.

Πολλές κατασκευές, κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους, χρειάζονται περιοδικούς Μη-Καταστροφικούς Ελέγχους ώστε να εντοπιστούν πιθανές ζημιές που δεν θα γίνονταν αντιληπτές με τις απλές καθημερινές μεθόδους. Παραδείγματα τέτοιων κατασκευών είναι:

- ο σκελετός ή η επένδυση των αεροσκαφών
- οι υπόγειες σωληνώσεις
- οι κατασκευές από σκυρόδεμα και στον οπλισμό τους
- τα πιεστικά δοχεία χημικών αντιδραστηρίων
- τα συρματόσχοινα γεφυρών ή ανυψωτικών μηχανημάτων

Οι εφαρμογές των ΜΚΕ, σήμερα, καλύπτουν ένα τεράστιο φάσμα βιομηχανικών και κατασκευαστικών δραστηριοτήτων και τις συναντάμε σχεδόν παντού:

- στην αυτοκινητοβιομηχανία (μηχανή, πλαίσιο)
- στην αεροδιαστημική (Πλαίσια αεροπλάνων & διαστημοπλοίων, πύραυλοι, κινητήρες τζετ)
- στις κατασκευές (κτίρια, γέφυρες)
- στη βιομηχανία (μηχανικά εξαρτήματα, καλούπια, πρέσες)
- σε εγκαταστάσεις πετροχημικές, πυρηνικές, παραγωγής ρεύματος, ορυχεία (πιεστικά δοχεία, δεξαμενές, λέβητες, εναλλάκτες, τουρμπίνες, σωληνώσεις, συγκολλήσεις)
- στο σιδηρόδρομο (σιδηροτροχιές, τροχοί και άξονες)
- σε αγωγούς αερίου και πετρελαιαγωγούς
- στα πάρκα αναψυχής (παιχνίδια και τραίνα μεγάλης ταχύτητας)

- στην ιατρική (τομογραφίες, υπέρηχοι, ακτινογραφίες, καρδιογραφήματα, εγκεφαλογραφήματα, κλπ.)

3.2. Ιστορική αναδρομή

Οι μέθοδοι ΜΚΕ αναπτύχθηκαν τα τελευταία 100 χρόνια. Μερικά αξιολογούμενα γεγονότα που άνοιξαν το δρόμο για την ανάπτυξη τους ήταν:

- 1854. Δυστύχημα από αστοχία πιεστικού δοχείου με 21 θύματα και 50 τραυματίες στο Hartford του Connecticut. 10 χρόνια μετά ψηφίζεται νόμος για υποχρεωτικούς ετήσιους ελέγχους.
- 1895. Ο Wilhelm Conrad Röntgen ανακαλύπτει τις γνωστές πλέον Ακτίνες-Χ και στην ανακοίνωσή του αναφέρει τη δυνατότητα εντοπισμού ελαττωμάτων.
- 1880-1920. Εφαρμόζεται ο πρόδρομος της μεθόδου ελέγχου με Διεισδυτικό Υγρό με τη χρήση λαδιού και λευκού χρώματος (το εξάρτημα βυθίζεται σε λεπτόρρευστο λάδι και μετά βάφεται με λευκό χρώμα το οποίο μετατρέπεται σε καφέ όταν το λάδι που παράμεινε σε τυχόν ρωγμές βγαίνει προς τα έξω).
- 1920. Ο Δρ. H.H. Lester αναπτύσσει την Βιομηχανική Ραδιογραφία των μετάλλων
- 1926: Διατίθεται το πρώτο όργανο Ρευμάτων Eddy που μετρά το πάχος υλικού.
- 1927-1928. Το πρώτο σύστημα Μαγνητικής Επαγωγής εφαρμόζεται σε σιδηροδρομικές γραμμές.
- 1940-1944. Αναπτύσσεται η μέθοδος Υπερήχων από τον Δρ. Floyd Firestone.
- 1950. Ο J. Kaiser εισάγει την μέθοδο ΜΚΕ των Ακουστικών Εκπομπών.

3.3. Περιληπτική παρουσίαση μεθόδων ΜΚΕ

Στην συνέχεια ακολουθεί ένας πίνακας που περιέχει περιληπτικά τις τυπικές θεωρήσεις που γενικά χρησιμοποιούνται κατά την επιλογή κάποιου μεθόδου ΜΚΕ για συγκολλήσεις.

ΟΠΤΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Οπτικούς μεγεθυντές, τονισμό χρωμάτων, προβολέα, πηγή φωτός, οπτικούς συγκριτές χάρακες, μικρόμετρα και λοιπό εξοπλισμό μετρήσεων.	Συγκολλήσεις που έχουν επιφανειακά ελαττώματα.	Οικονομική μέθοδος, σχετικά αξιόπιστη, απαιτεί σχετικά μικρή εκπαίδευση και σχετικά μικρό εξοπλισμό για τις περισσότερες εφαρμογές	Περιορίζεται σε εξωτερικούς ή επιφανειακούς ελέγχους μόνο. Περιορίζεται στην οπτική οξυδέρκεια τους παρατηρητή-ελεγκτή
ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ (ακτίνες γάμμα)			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Πηγές ακτίνων γάμμα, κάμερες και προβολείς ακτίνων γάμμα, φιλμ για καγραφή της ακτινοβολίας, εξοπλισμός για την επεξεργασία φιλμ, εικονοσκόπια, εξοπλισμός παρακολούθησης ραδιενέργειας, εγκαταστάσεις στις οποίες θα γίνει η ραδιογραφία με ασφάλεια.	Πλειονότητα των διάφορων ασυνεχειών των συγκολλήσεων όπως ρωγμές, παρουσία πόρων, ελλειπής τήξη κλπ.	Η τήρηση αρχείων (υπό την μορφή φιλμ) επιτρέπει την επανεξέταση των αντικειμένων. Ενεργειακά αποδοτική πηγή που δεν απαιτεί ηλεκτρική ενέργεια για την παραγωγή των ακτίνων γάμμα. Δίνει την δυνατότητα να αξιολογηθούν σημεία τα οποία είναι δύσκολο να προσεγγιστούν.	Λόγω χρήσης ραδιενέργειας απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις αλλά και όργανα μέτρησης των επιπέδων της ραδιενέργειας καθώς και των επιπέδων έκθεσης του προσωπικού σε αυτή. Οι πηγές ακτίνων γάμμα εξασθενούν με τον χρόνο οπότε και αυτές θα πρέπει να αντικαθιστούνται περιοδικά. Οι πηγές ακτίνων γάμμα έχουν μια σταθερή ενεργειακή απόδοση η οποία δεν μπορεί να ρυθμιστεί. Οι πηγές ακτίνων γάμμα αλλά και η άδειες λειτουργίας που απαιτούνται είναι ιδιαίτερα ακριβές. Η ραδιογραφία απαιτεί προσωπικό με ικανότητες χειρισμού των περίπλοκων μηχανημάτων που απαιτούνται αλλά και ικανότητα να κατανοούν τα αποτελέσματα.

ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ (ακτίνες Χ)			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
<p>Πηγές ακτίνων Χ, πηγές ηλεκτρικής ενέργειας, ο υπόλοιπος εξοπλισμός που απαιτείται είναι παρόμοιος με αυτόν που χρησιμοποιείται για την ραδιογραφία με ακτίνες γάμμα.</p>	<p>Πλειονότητα των διάφορων ασυνεχειών των συγκολλήσεων όπως ρωγμές, παρουσία πόρων, ελλιπής τήξη κλπ.</p>	<p>Προσαρμόσιμα ενεργειακά επίπεδα, γενικότερα παράγονται ραδιογραφίες υψηλότερης ποιότητας σε σχέση με αυτές των ακτίνων γάμμα. Τήρηση μόνιμων αρχείων για μελλοντική επανεξέταση.</p>	<p>Υψηλό αρχικό κόστος για τον εξοπλισμό που απαιτείται. Λόγω χρήσης ραδιενέργειας απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις αλλά και όργανα μέτρησης των επιπέδων της ραδιενέργειας καθώς και των επιπέδων έκθεσης του προσωπικού σε αυτή. Η ραδιογραφία απαιτεί προσωπικό με ικανότητες χειρισμού των περίπλοκων μηχανημάτων που απαιτούνται αλλά και ικανότητα να κατανοούν τα αποτελέσματα.</p>
ΥΠΕΡΗΧΟΙ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
<p>Όργανο παλμών ικανό να παράγει υπερηχητική ενέργεια μέσα στο προς έλεγχο αντικείμενο, κατάλληλος σωλήνας καθοδικών ακτίνων ικανός να απεικονίζει τα μεγέθη της ηχητικής ενέργειας που λαμβάνονται. Μέτρα βαθμονόμησης.</p>	<p>Πλειονότητα των διάφορων ασυνεχειών των συγκολλήσεων όπως ρωγμές, σκουριά, ελλιπής τήξη κλπ.</p>	<p>Μέθοδος πιο ευαίσθητη σε διασδιάστατα ελαττώματα. Τα αποτελέσματα των ελέγχων γίνονται γνωστά αμέσως. Φορητός εξοπλισμός. Η πλειονότητα του εξοπλισμού υπερήχων δεν απαιτεί ηλεκτρική παροχή από το δίκτυο. Ικανότητες υψηλής διεισδυτικότητας.</p>	<p>Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί το μηχάνημα του υπερήχου θα πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένη ,απαιτείται ειδικό υγρό. Μικρές ή λεπτές συγκολλήσεις είναι δύσκολο να ελεγχθούν με ακρίβεια. Απαιτούνται εφαρμοσμένα μέτρα αναφοράς. Απαιτείται ικανός χειριστής των μηχανημάτων.</p>

ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Απαιτούνται δεσμοί, πηνία ικανά να εισάγουν μαγνητισμό στο αντικείμενο ελέγχου. Απαιτείται ηλεκτρική πηγή ενέργειας, μαγνητική σκόνη. Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις και φώτα υπεριώδους ακτινοβολίας.	Πλειονότητα των διάφορων ασυνεχειών των συγκολλήσεων, επιφανειακά ανοιχτές. Μέθοδος ιδιαίτερα κατάλληλη για ρωγμές.	Σχετικά οικονομική και αξιόπιστη μέθοδος. Ο εξοπλισμός είναι φορητός. Αντίθετα από τις διεισδυτικές βαφές, τα μαγνητικά σωματίδια είναι ικανά να εντοπίσουν ασυνέχειες που βρίσκονται σε μικρό βάθος από την επιφάνεια.	Εφαρμόζεται μόνο σε φερομαγνητικά υλικά. Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να είναι καθαρά πριν και μετά από την χρήση. Πυκνές επικαλύψεις μπορούν να καλύψουν σημαντικές ενδείξεις. Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτείται απομαγνητισμός των διάφορων μερών μετά την επιθεώρηση. Απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τις περισσότερες εφαρμογές.
ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Διεισδυτικές βαφές ή φθορίζων διεισδυτικά υγρά, καθαριστικοί διαλύτες, εμφανιστικά υγρά. Κατάλληλο για καθαρισμό εξοπλισμό. Πηγή υπεριώδους φωτός σε περίπτωση χρήσης φθορίζουσας βαφής.	Ασυνέχειες συγκολλήσεων που φτάνουν στην επιφάνεια όπως ρωγμές, πόροι, ραφές κλπ.	Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μη πορώδη υλικά. Φορητότητα εξοπλισμού. Σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού. Αξιόπιστα αποτελέσματα των ελέγχων. Αποτελέσματα που μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα κατανοητά. Δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια εκτός από αυτή που χρειάζεται για τις πηγές φωτός. Οι όποιες ενδείξεις μπορούν να εξετασθούν περαιτέρω με οπτική μέθοδο.	Επιφανειακά φιλμ όπως, στρώματα επικάλυψης, φύλλα, αλοιφές μετάλλων, σκεπάζουν ή κρύβουν πιθανές αστοχίες. Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να καθαρίζονται πριν και μετά από τον έλεγχο.

ΡΕΥΜΑ ΑΥΤΕΠΑΓΩΓΗΣ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Όργανα ικανά να εισάγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο εσωτερικό του ελεγχόμενου αντικειμένου, αλλά ικανά και να καταγράψουν τα δημιουργούμενα ηλεκτρικά ρεύματα. Μέτρα βαθμονόμησης.	Ασυνέχειες συγκολλήσεων ανοιχτές στην επιφάνεια αλλά και ορισμένες μη επιφανειακές ασυνέχειες. Αναλογία μεταλλικών κραμάτων, απόκλιση θερμοχωρητικότητας, πάχος.	Σχετικά αξιόπιστη, χαμηλού κόστους εφαρμογή. Είναι δυνατή η αυτοματοποίηση των εργασιών σε περίπτωση που προς έλεγχο έχουμε συμμετρικά κομμάτια. Δεν χρειάζονται ηλεκτρικές ενώσεις. Ο εξοπλισμός δεν είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε απευθείας επαφή με το ελεγχόμενο κομμάτι.	Η μέθοδος περιορίζεται σε αγώγιμα υλικά. Μικρό βάθος σάρωσης. Ορισμένες ένδειξης ενδεχομένως να μη φανούν λόγω γεωμετρίας. Απαιτείται αναγνωρισμένος κώδικας αναφοράς.
ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ			
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Αισθητήρες ανίχνευσης εκπομπών, ηλεκτρονικά ενίσχυσης, ηλεκτρονικά επεξεργασίας σήματος συμπεριλαμβανομένου φίλτρων και πύλες συχνότητας. Κατάλληλη συσκευή καταγραφής και αναπαράστασης των ακουστικών σημάτων.	Εσωτερικές ρωγμές συγκολλήσεων.	Έλεγχος και παρακολούθηση του ελεγχόμενου αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο. Ο έλεγχος μπορεί να γίνει και εξ αποστάσεως. Φορητότητα εξοπλισμού.	Απαιτεί διατάξεις μετατροπής συνδεδεμένες με την επιφάνεια του ελεγχόμενου αντικειμένου. Πιθανός "θόρυβος" θα πρέπει να απομακρυνθεί από το σύστημα ελέγχου με φίλτρα. Μαλακά υλικά αποδίδουν εκπομπές μικρού πλάτους.

ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΙΑΡΡΟΩΝ

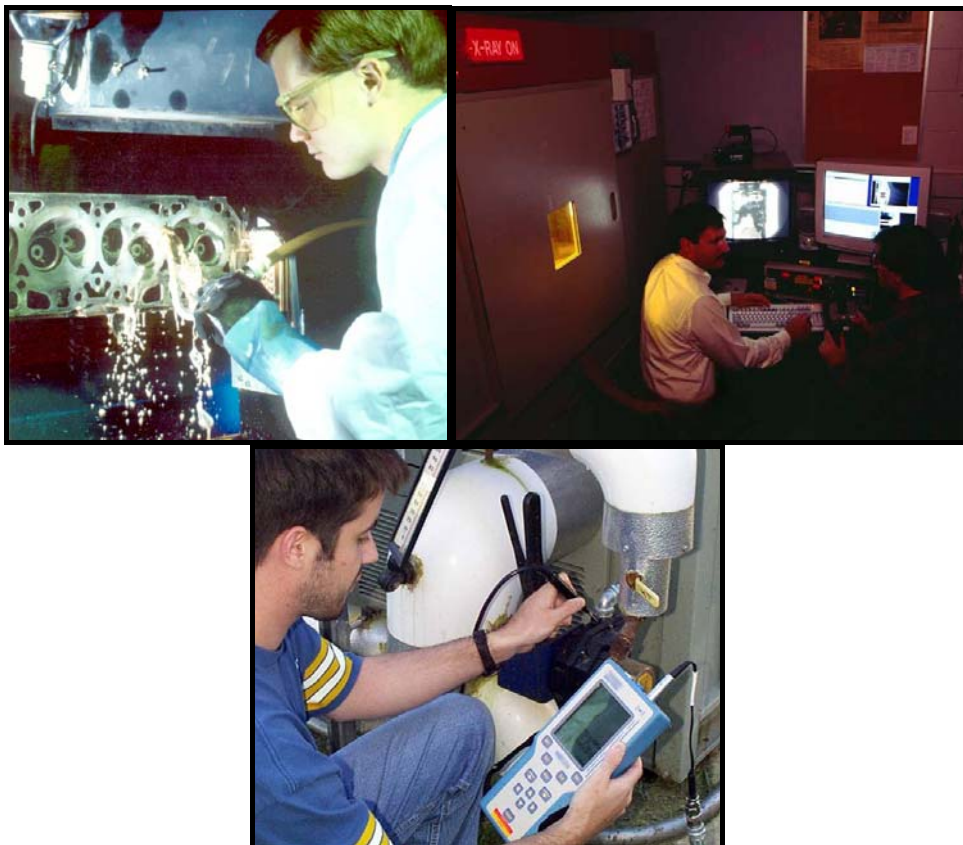
Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Ο εξοπλισμός εξαρτάται από την μέθοδο ελέγχου διαρροής που θα χρησιμοποιηθεί. Γενικά ο εξοπλισμός που απαιτείτε πρέπει να εισάγει πιέσεις και να διαθέτει συσκευές εντοπισμού ικανές να καταγράψουν την διαρροή.	Συγκολλήσεις οι οποίες έχουν ελαττώματα που εκτείνονται σε όλο τον όγκο της συγκόλλησης.	Σε ορισμένες εφαρμογές δεν απαιτείται ιδιαίτερη εκπαίδευση. Τα αποτελέσματα είναι συνήθως αξιόπιστα.	Ορισμένες μέθοδοι απαιτούν ειδικές εγκαταστάσεις αλλά είναι και ιδιαίτερα χρονοβόρες. Εφαρμογές οι οποίες απαιτούν υψηλά επίπεδα ευαισθησίας είναι συνήθως αντικοινομικά και απαιτούν προσωπικό με εκτενή εκπαίδευση στο αντικείμενο.

ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ (ακτίνες νετρονίων)

Απαραίτητος Εξοπλισμός	Εφαρμογές	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Πηγές νετρονίων, κάμερες και προβολείς ακτίνων γάμμα, φιλμ για καγραφή της ακτινοβολίας, εξοπλισμός για την επεξεργασία φιλμ, εικονοσκόπια, εξοπλισμός παρακολούθησης ραδιενέργειας, εγκαταστάσεις στις οποίες θα γίνει η ραδιογραφία με ασφάλεια.	Πλειονότητα των διάφορων ασυνεχειών των συγκολλήσεων όπως ρωγμές, παρουσία πόρων, ελλιπής τήξη κλπ, καθώς και σε πολλές άλλες βιομηχανικές εφαρμογές	Η ραδιογράφιση αντικειμένων που περιέχουν υγρά, αλλά και αντικείμενα από υλικά όπως πλαστικό παράγει ραδιογραφίες υψηλής ποιότητας. Τήρηση μόνιμων αρχείων για μελλοντική επανεξέταση.	Υψηλό αρχικό κόστος για τον εξοπλισμό που απαιτείται. Ο εξοπλισμός δεν είναι φορητός. Λόγω χρήσης ραδιενέργειας απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις αλλά και όργανα μέτρησης των επιπέδων της ραδιενέργειας καθώς και των επιπέδων έκθεσης του προσωπικού σε αυτή. Η ραδιογραφία απαιτεί προσωπικό με ικανότητες χειρισμού των περίπλοκων μηχανημάτων που απαιτούνται αλλά και ικανότητα ερμηνείας των αποτελεσμάτων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι



4.1. Μέθοδος Ακουστικών Εκπομπών

4.1.1. Τρόπος λειτουργίας

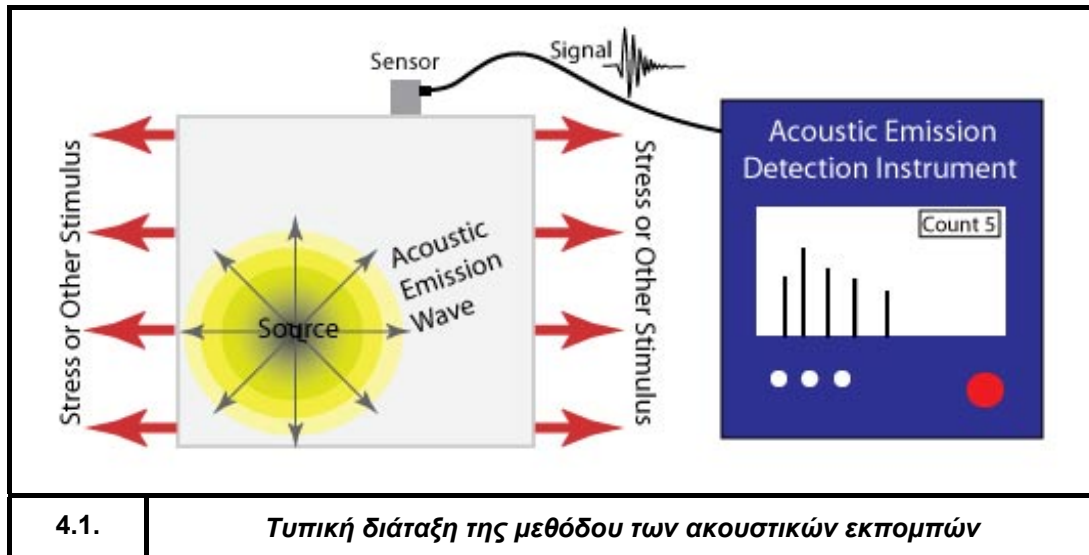
Η μέθοδος των ακουστικών εκπομπών αποτελεί κατά κύριο λόγο μια βοηθητική-συμπληρωματική μέθοδο για τον εντοπισμό ασυνεχειών. Η ακουστική εκπομπή (Acoustic Emission Testing) αναφέρεται στην παραγωγή παροδικών ελαστικών ηχητικών κυμάτων που παράγονται από μια ξαφνική ανακατανομή της πίεσης σε ένα υλικό. Όταν μια δομή υποβάλλεται σε ένα εξωτερικό ερέθισμα (ή αλλαγή σε πίεση, φόρτιση ή θερμοκρασία), τότε πραγματοποιείται έκκλιση ενέργειας, υπό μορφή κυμάτων πίεσης, τα οποία διαδίδονται στην επιφάνεια και καταγράφονται από αισθητήρες. Με τον σωστό εξοπλισμό, οι κινήσεις και η διάδοση των κυμάτων μπορούν να προσδιοριστούν. Η μέθοδος των ακουστικών εκπομπών μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εποπτεία κατασκευών που βρίσκονται υπό λειτουργία προσφέροντας έτσι πολλά πλεονεκτήματα.

Η ανίχνευση και η ανάλυση των σημάτων Ακουστικών Εκπομπών μπορούν να παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες σχετικά με την προέλευση και τη σημασία μιας ασυνέχειας σε ένα υλικό. Λόγω της μεταβλητότητας της ακουστικής εκπομπής η μέθοδος αυτή έχει πολλές βιομηχανικές εφαρμογές (π.χ. αξιολόγησης δομικής ακεραιότητας, ανίχνευση ρωγμής κλπ) και χρησιμοποιείται εκτενώς ως ερευνητικό εργαλείο.

Η μέθοδος των ακουστικών εκπομπών διαφέρει από τις υπόλοιπες μεθόδους Μη Καταστρεπτικού Ελέγχου στα εξής :

- Η πρώτη διαφορά έχει να κάνει με την προέλευση του σήματος. Αντί να παρέχεται ενέργεια στο υπό εξέταση αντικείμενο, σε αυτή την περίπτωση λαμβάνεται η ενέργεια που απελευθερώνεται από το αντικείμενο με την μορφή ηχητικών κυμάτων. Οι δοκιμές Ακουστικών Εκπομπών εκτελούνται συχνά σε υλικά τα οποία βρίσκονται σε χρήση διότι με αυτό τον τρόπο παρέχετε επαρκή φόρτιση για τη διάδοση ακουστικών σημάτων που προκαλούνται από τις διάφορες ατέλειες.
- Η δεύτερη διαφορά είναι ότι η μέθοδος των Ακουστικών Εκπομπών εξετάζει τις δυναμικές αλλαγές που πραγματοποιούνται σε ένα υλικό. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό επειδή εντοπίζονται ενεργά χαρακτηριστικά γνωρίσματα (π.χ. αύξηση ρωγμών). Η δυνατότητα να γίνει διάκριση μεταξύ στάσιμων και

αναπτυσσόμενων ατελειών είναι μεγάλη. Επιπλέον, η δοκιμή AET παρέχει συνήθως μια άμεση ένδειξη σχετικά με τον κίνδυνο αστοχίας ενός υλικού. Άλλα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου περιλαμβάνουν τη γρήγορη και πλήρη ογκομετρική επιθεώρηση χωρίς να γίνεται χρήση κάποιου αισθητήρα.



4.1.2. Εξοπλισμός

Η μέθοδος ακουστικών εκπομπών μπορεί να εκτελεσθεί είτε με φορητά όργανα ή εντός κάποιου εργαστηρίου. Πιο συγκεκριμένα, τα συστήματα περιέχουν αισθητήρες, ενισχυτές, φίλτρα, μαζί με όργανα μέτρησης και απεικόνισης των αποτελεσμάτων, αλλά και τον εξοπλισμό αποθήκευσης (π.χ. παλμογράφοι, βολτόμετρα, και προσωπικοί Η/Υ). Οι ακουστικοί αισθητήρες αποκρίνονται στη δυναμική κίνηση που προκαλείται από κάποιο γεγονός. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω μετατροπών που μετατρέπουν τη μηχανική ενέργεια του ακουστικού σήματος σε ένα ηλεκτρικό σήμα. Βασικό στοιχείο των μετατροπών σε έναν αισθητήρα AET είναι σχεδόν πάντα ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. Οι μετατροπείς επιλέγονται ανάλογα με τη συχνότητα λειτουργίας, την ευαισθησία και κάποια άλλα χαρακτηριστικά.. Η πλειοψηφία του εξοπλισμού AET ανταποκρίνεται σε ένα φάσμα συχνότητας από 30 KHz έως 1 MHz.

4.1.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Έλεγχος και παρακολούθηση του ελεγχόμενου αντικειμένου σε πραγματικό χρόνο.
- Ο έλεγχος μπορεί να γίνει και εξ αποστάσεως.
- Φορητότητα εξοπλισμού.

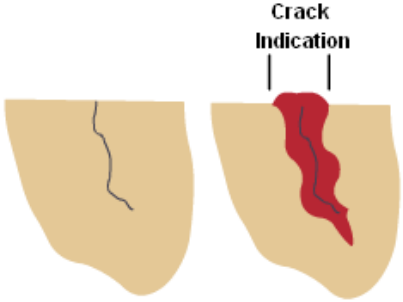

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαιτεί διατάξεις μετατροπής συνδεδεμένες με την επιφάνεια του ελεγχόμενου αντικειμένου.
- Πιθανός "θόρυβος" θα πρέπει να απομακρυνθεί από το σύστημα ελέγχου με φίλτρα.
- Μαλακά υλικά αποδίδουν εκπομπές μικρού πλάτους.

4.2. Μέθοδος Ελέγχου με Διεισδυτικά Υγρά

4.2.1. Τρόπος λειτουργίας

Η μέθοδος ελέγχου με διεισδυτικά υγρά βασίζεται στην ικανότητα ορισμένων υγρών να εισέρχονται σε χαραμάδες ή ρωγμές και να παραμένουν εκεί ακόμα και όταν η επιφάνεια του υλικού καθαριστεί από αυτά τα υγρά. Οπότε είναι εύκολα κατανοητό πως αυτή η μέθοδος είναι κατάλληλη στο να αναδεικνύει ασυνέχειες οι οποίες ξεκινούν από την επιφάνεια. Υπάρχουν διάφορες παραλλαγές αυτής της μεθόδου, με την κάθε μια να παρουσιάζει συγκεκριμένα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

	
<p>4.2.α. Στην μέθοδο των διεισδυτικών υγρών βασική αρχή αποτελεί η ικανότητα των υγρών να διεισδύουν σε μικρορωγμές.</p>	<p>4.2.β. Χρήση ειδικού λουτρού για την απομάκρυνση των υγρών που χρησιμοποιήθηκαν κατά την μέθοδο.</p>

Ο έλεγχος με διεισδυτικά υγρά μπορεί να χωριστεί σε δύο βασικές κατηγορίες:

- **Τύπου Α** με χρήση φθορίζουσών ουσιών που έχουν την ιδιότητα να προσφέρουν πολύ καλή ανάλυση των αποτελεσμάτων των διάφορων ενδείξεων. Ο έλεγχος με φθορίζουσες ουσίες περιλαμβάνει υγρά τα οποία όταν εκτεθούν σε υπεριώδη ακτινοβολία έχουν την ικανότητα να παράγουν φθορισμό, οπότε γίνεται εύκολα κατανοητό πως στον βασικό εξοπλισμός αυτής της μεθόδου θα πρέπει να περιλαμβάνονται και λάμπες που εκπέμπουν υπεριώδη ακτινοβολία. Επίσης η συγκεκριμένη μέθοδος για να θεωρηθεί αποτελεσματική θα πρέπει να διενεργείται σε περιβάλλοντα χαμηλού φωτισμού. Οι φθορίζουσες ουσίες μπορούν να αφαιρεθούν από την επιφάνεια του υπό εξέταση υλικού είτε με απλό νερό είτε, ανάλογα την ουσία πάντα, προσαρμόζοντας ειδικά γαλακτώματα στην επιφάνεια του υλικού.
- **Τύπου Β** με χρήση χρωστικών ουσιών ορατών με το ανθρώπινο μάτι. Σε αυτή την περίπτωση οι ουσίες μπορούν να αφαιρεθούν από την επιφάνεια του εξεταζόμενου είτε με νερό, είτε προσθέτοντας ειδικά γαλακτώματα στο νερό, είτε κάνοντας χρήση συγκεκριμένων διαλυμάτων.

Ασχέτως την κατηγορία που θα διαλέξει να χρησιμοποιήσει ο εκάστοτε ελεγκτής, η διαδικασία που θα πρέπει να ακολουθηθεί περιγράφεται σε 7 βασικά βήματα τα οποία είναι :

1. Καθαρισμός της υπό εξέταση επιφάνειας.
2. Εφαρμογή του διεισδυτικού υγρού.
3. Αναμονή συγκεκριμένου χρόνου μέσα στον οποίο το υγρό θα αρχίσει να δρα.

4. Αφαίρεση περισσευούμενου υγρού από την εξεταζόμενη επιφάνεια.
5. Εφαρμογή του εμφανιστή
6. Εξέταση και έλεγχος του υλικού και των αποτελεσμάτων.
7. Περαιτέρω καθαρισμός του υλικό εφόσον αυτό κριθεί απαραίτητο.

Κατά την διάρκεια του ελέγχου οι όποιες ασυνέχειες μπορεί να υπάρχουν στο υπό εξέταση υλικό θα φανούν από το υγρό το οποίο θα έχει συγκεντρωθεί εκεί. Παρόλα αυτά επιφανειακές ανωμαλίες μπορεί να δώσουν την εντύπωση ασυνεχειών οι οποίες όμως δεν υφίσταται.

4.2.2. Εξοπλισμός

Για να είναι δυνατή η εκτέλεση των διαφόρων τύπων της μεθόδου των Διεισδυτικών Υγρών ο απαραίτητος εξοπλισμός πρέπει να περιλαμβάνει διεισδυτικές βαφές ή φθορίζων διεισδυτικά υγρά, καθαριστικούς διαλύτες, καθώς και συγκεκριμένα υγρά εμφάνισης. Επίσης απαιτείται κατάλληλος εξοπλισμός καθαρισμού της επιφάνειας του δοκιμίου πάνω στο οποίο εφαρμόστηκαν τα διεισδυτικά υγρά. Απαραίτητη είναι και μια πηγή υπεριώδους φωτός σε περίπτωση χρήσης φθορίζουσας βαφής.

4.2.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μη πορώδη υλικά.
- Φορητότητα εξοπλισμού.
- Σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού.
- Αξιόπιστα αποτελέσματα των ελέγχων.
- Αποτελέσματα που μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα κατανοητά.
- Δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια εκτός από αυτή που χρειάζεται για τις πηγές φωτός.
- Οι όποιες ενδείξεις μπορούν αν εξετασθούν περαιτέρω με την βοήθεια της οπτικής μεθόδου.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Επιφανειακά φιλμ όπως, στρώματα επικάλυψης, φύλλα, αλοιφές μετάλλων, σκεπάζουν ή κρύβουν πιθανές αστοχίες.

- Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να καθαρίζονται πριν και μετά από τον έλεγχο.
- Θα πρέπει να τηρούνται αυστηροί κανόνες ασφαλείας για την διαχείριση των υγρών και των διαφόρων χημικών που χρησιμοποιούνται στην μέθοδο.
- Η μέθοδος των διεισδυτικών υγρών δεν μπορεί να εντοπίσει και να αναδείξει ατέλειες και σφάλματα που υπάρχουν εντός του υλικού.

4.3. Μέθοδος Ελέγχου με Μαγνητικά Σωματίδια

4.3.1. Τρόπος λειτουργίας

Ο Έλεγχος Μαγνητικών Σωματιδίων αποτελεί μια μέθοδο ΜΚΕ που μπορεί να εντοπίσει ασυνέχειες και σφάλματα σε μαγνητικά υλικά. Με αυτή την μέθοδο εντοπίζονται επιφανειακές ασυνέχειες όπως αυτές που δεν είναι δυνατό να γίνουν διακριτές με γυμνό μάτι ή ασυνέχειες που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια αλλά δεν είναι επιφανειακές. Επίσης με συγκεκριμένο εξοπλισμό μπορούν να εντοπιστούν και ασυνέχειες που είναι βαθιά μέσα στο υπό εξέταση υλικό.



Σε κάποιο μέταλλο δεν είναι απαραίτητο οι όποιες ασυνέχειες που μπορεί να υπάρχουν εντός αυτού να έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση της ικανοποιητικής απόδοσης του κατά την χρήση αυτού. Για αυτό τον λόγο όταν γίνεται χρήση της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων ο ελεγκτής πρέπει να βρίσκεται σε θέση να κρίνει από τις ασυνέχειες που θα ανακαλύψει, ποιες από αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως ελαττώματα. Έτσι γίνεται εύκολα κατανοητό ότι μέσω αυτής της μεθόδου μπορεί να υπάρξει ευρεία παραλλαγή στα διάφορα αποτελέσματα ανάλογα

την κρίση του ελεγκτή. Για αυτό τον λόγο πριν από τον έλεγχο θα πρέπει να ξεκαθαριστούν τα ακόλουθα σημεία :

1. Τι συγκολλήσεις ή ποια κομμάτια των συγκολλήσεων θα ελεγχτούν.
2. Ποιες τεχνικές της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων θα χρησιμοποιηθούν.
3. Ποιοι τύποι ατελειών θα θεωρηθούν «αποδεκτές», δηλαδή ποιες ατέλειες θα θεωρηθούν πως δεν έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην χρήση για την οποία το υλικό προορίζετε.
4. Ποιοι τύποι ατελειών θα απορρίπτονται.
5. Προσδιορισμός πιθανής διόρθωσης κάποιας ατέλειας και καθορισμός της επανάληψης και του επόμενου επιτρεπτού επανελέγχου.

Εδώ πρέπει να τονιστεί το πόσο σημαντική είναι η σωστή εφαρμογή της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων, έτσι ώστε τα αποτελέσματα που θα προκύψουν και οι πληροφορίες που αυτά θα δίνουν να είναι σωστά και συγκεκριμένα. Με αυτή την μέθοδο μπορούν να ελεγχτούν συγκολλήσεις αλλά και τα άκρα των προς συγκόλληση μετάλλων(δηλαδή πριν γίνει κάποια συγκόλληση), επίσης μπορούν να ελεγχτούν και συγκολλητές επισκευές. Ελαττώματα τα οποία μπορούν να εντοπιστούν με αυτή την μέθοδο είναι επιφανειακές ρωγμές όλων των ειδών τόσο σε συγκολλήσεις όσο και σε συμπαγή υλικά, ελαττώματα στα προς συγκόλληση άκρα κάποιου μετάλλου, επίσης είναι δυνατός ο έλεγχος ατελής τήξης, εσωτερικών ρωγματώσεων αλλά και ανεπαρκούς διείδυσης.

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων δεν είναι δυνατό να αντικαταστήσει την μέθοδο των υπερήχων ή της ραδιογραφίας στον εντοπισμό εσωτερικών-μη επιφανειακών σφαλμάτων, αλλά κατά περιπτώσεις εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την ραδιογραφία στην ικανότητα της να εντοπίζει στενές ρωγμές και πολλά επιφανειακά ελαττώματα. Βέβαια η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων μπορεί να υποκαταστήσει κατά περίπτωση την μέθοδο της ραδιογραφίας ή των υπερήχων, τέτοιες περιπτώσεις είναι όταν δεν είναι διαθέσιμες οι δύο προαναφερθείσες μέθοδοι ή όταν η εφαρμογή τους δεν είναι πρακτικά εφικτή λόγω του σχήματος της συγκόλλησης ή λόγω της τοποθεσίας της συγκόλλησης.

Ο έλεγχος υλικών και συγκολλήσεων με την μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων είναι εφικτός και εφαρμόσιμος μόνο σε φερομαγνητικά υλικά στα οποία το υλικό της συγκόλλησης είναι επίσης φερομαγνητικό. Έτσι γίνετε κατανοητό πως αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μη φερίτικα υλικά ή σε μέταλλα

ωστενίτη, καθώς επίσης είναι πολύ πιθανό να εμφανιστούν σημαντικές δυσκολίες στον έλεγχο συγκολλήσεων όπου τα μαγνητικά χαρακτηριστικά του υλικού με το οποίο θα γίνει η συγκόλληση είναι αρκετά διαφορετικά από αυτά του προς συγκόλληση μετάλλου. Ενώσεις ανάμεσα σε μέταλλα με διαφορετικές μαγνητικές ιδιότητες θα έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μαγνητικών ασυνεχειών που με την σειρά τους θα δίνουν ενδείξεις ελαττωμάτων ακόμα και εάν οι ενώσεις δεν έχουν τέτοια ελαττώματα στην πραγματικότητα. Επίσης ελαττώματα όπως πόροι εντός του υλικού ή εγκλείσματα σκουριάς έχουν σαν αποτέλεσμα να μην δίνουν καθαρές ενδείξεις για το είδος του ελαττώματος.

Ο βαθμός ευαισθησίας της παρούσας μεθόδου εξαρτάται από συγκεκριμένους παράγοντες. Η ευαισθησία της μεθόδου, η ικανότητα της δηλαδή να εντοπίζει και να αναδεικνύει σφάλματα, μειώνεται ανάλογα με το μέγεθος της ασυνέχειας. Με άλλα λόγια ασυνέχειες μικρού μεγέθους δεν είναι δυνατό να εντοπιστούν εύκολα. Η ευαισθησία μειώνεται επίσης όταν αυξάνεται όταν τα σφάλματα είναι αρκετά βαθιά στο υλικό. Ένας άλλος παράγοντας μείωσης της ικανότητας της μεθόδου να εντοπίσει σφάλματα είναι όταν οι ασυνέχειες είναι σφαιρικού σχήματος. Η μέγιστη ευαισθησία σε αυτή την μέθοδο παρατηρείται όταν τα ελαττώματα είναι κάθετα προς την επιφάνεια που ελέγχεται.

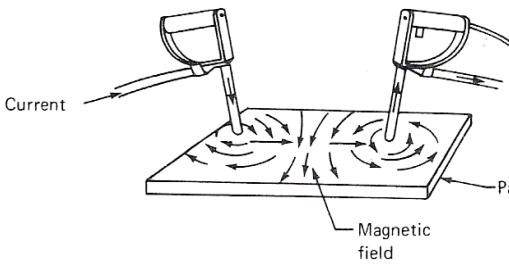
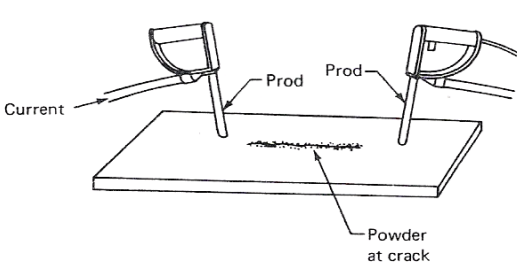
Μια ασυνέχεια στο υπό εξέταση υλικό θα πρέπει να αποκόπτει ή να διαστρέφει επαρκώς το μαγνητικό πεδίο ώστε αυτό με τη σειρά του να εμφανίζει μέσω των μαγνητικών σωματιδίων κάποια εξωτερική διαρροή. Λεπτές επιμηκυμένες ασυνέχειες, όπως είναι οι «φλέβες», τα εγκλείσματα ή οι λεπτές ρωγμές δεν πρόκειται να αποκόψουν ένα μαγνητικό πεδίο που είναι παράλληλο προς την κατεύθυνση της ασυνέχειας. Σε τέτοιες περιπτώσεις δεν εμφανίζεται κάποια ένδειξη που να υποδουλώνει την ύπαρξη κάποιου σφάλματος. Παρόλα αυτά τέτοιες ασυνέχειες μπορούν να εντοπιστούν χρησιμοποιώντας ένα μαγνητικό πεδίο που δεν είναι παράλληλο ως προς την ασυνέχεια.

Με το παραπάνω σκεπτικό και εφόσον δεν είναι γνωστή η κατεύθυνση των πιθανών ασυνεχειών, καθίσταται απαραίτητη η διεξαγωγή της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων εφαρμόζοντας ένα μαγνητικό πεδίο σε διάφορες διευθύνσεις.

Οι κατάσταση της επιφάνειας του υπό εξέταση υλικού αποτελεί έναν ακόμα παράγοντα που μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα και την ευαισθησία της

μεθόδου. Για αυτό τον λόγο η επιφάνεια του υλικού θα πρέπει να είναι καθαρή, στεγνή και απαλλαγμένη από συσσωρεύσεις στοιχείων όπως νερό, λάδια, σκουριά κλπ που θα μπορούσαν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα της μεθόδου. Τέλος πρέπει να επισημανθεί πως ένα ακόμα στοιχείο το οποίο μπορεί να επηρεάσει το μαγνητικό πεδίο αλλά και την συγκέντρωση των μαγνητικών σωματιδίων οπότε και κατ' επέκταση τα αποτελέσματα του ελέγχου είναι η τραχύτητα της επιφάνειας του υλικού.

Η βασική αρχή της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων είναι πως όταν δημιουργείται ένα μαγνητικό πεδίο σε ένα κομμάτι φερομαγνητικού υλικού, στο οποίο εμπεριέχονται μια ή περισσότερες ασυνέχειες σε σημεία του υλικού από τα οποία διέρχεται η μαγνητική ροή, τότε δημιουργούνται μικροί πόλοι στις ασυνέχειες αυτές. Οι πόλοι αυτοί έχουν το χαρακτηριστικό να ελκύουν περισσότερο τα μαγνητικά σωματίδια απ' ότι η επιφάνεια του υλικού.

			
<p>4.4.α.</p>	<p>Δημιουργία μαγνητικών πεδίων σε υπό εξέταση αντικείμενο.</p>	<p>4.4.β.</p>	<p>Αφού γίνει χρήση των μαγνητικών σωματιδίων τότε αυτά αντιδρώντας με τα μαγνητικά πεδία. αναδεικνύει το εκάστοτε σφάλμα.</p>

Το προς εξέταση υλικό μαγνητίζεται εισάγοντας σε αυτό υψηλή τάση, ή τοποθετώντας το υλικό μέσα ένα πηνίο το οποίο διαρρέεται από υψηλή τάση, ή τοποθετώντας το υλικό σε επαφή με τους πόλους ενός ισχυρού μαγνήτη. Το μαγνητικό πεδίο όπου διακόπτεται από τις ασυνέχειες του υλικού παράγει ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο(leakage field) στην επιφάνεια του υλικού. Οι περιοχές του υλικού οι οποίες πρόκειται να ελεγχθούν καλύπτονται από λεπτά μαγνητικά σωματίδια που αντιδρούν με το μαγνητικό πεδίο που έχει σχηματιστεί στην επιφάνεια ως αποτέλεσμα κάποιας ασυνέχειας. Με αυτό τον τρόπο τα μαγνητικά σωματίδια δημιουργούν σχέδια στην επιφάνεια του υλικού ανάλογα την μορφή της ασυνέχειας. Έτσι εάν το υπό εξέταση υλικό δεν έχει ασυνέχειες τότε το μαγνητικό πεδίο που θα έχει δημιουργηθεί θα παραμείνει αμετάβλητο. Εάν όμως υπάρχουν ασυνέχειες στο

υλικό το μαγνητικό πεδίο διασπάτε δημιουργώντας άλλα μαγνητικά πεδία στην επιφάνεια του υλικού.

<p>4.5.α. <i>Ανάδειξη σφάλματος με δημιουργία μαγνητικού πεδίου κάθετα στην διεύθυνση του σφάλματος.</i></p>	<p>4.5.β. <i>Εφαρμογή κυκλικού μαγνητικού πεδίου.</i></p>

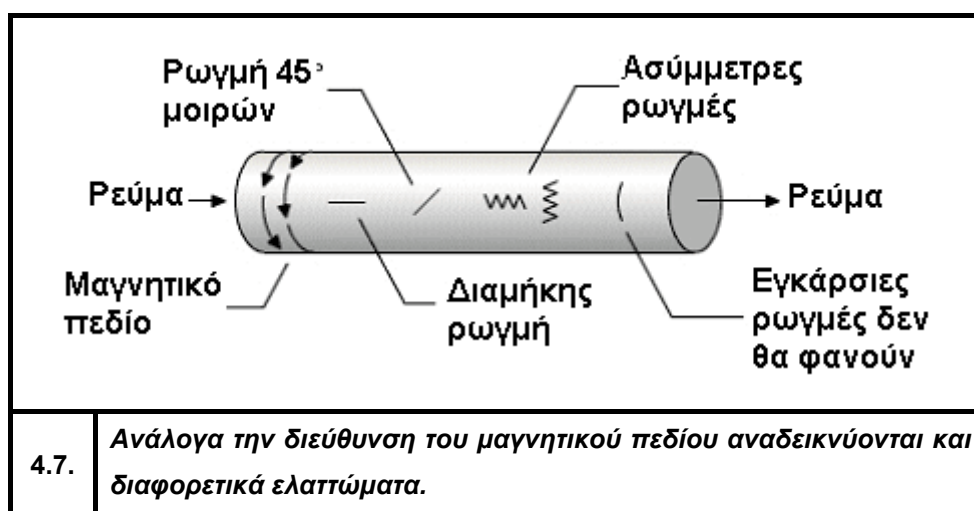
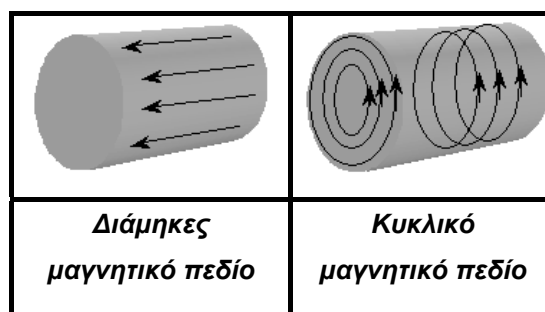
<p>4.6.</p>	<p>Ανάδειξη σφάλματος σε κυλινδρικό αντικείμενο με χρήση μαγνητικών σωματιδίων.</p>

Το μαγνητικό πεδίο θα πρέπει να βρίσκεται σε σωστή διεύθυνση έτσι ώστε να παράγει σωστές ενδείξεις στην περίπτωση που υπάρχουν ασυνέχειες εντός του υλικού. Όταν το μαγνητικό πεδίο είναι παράλληλο προς την ασυνέχεια τότε τα αποτελέσματα του ελέγχου μπορεί να μην είναι ξεκάθαρα. Έτσι τα αποτελέσματα της μεθόδου των μαγνητικών σωματιδίων είναι πιο σαφή όταν το μαγνητικό πεδίο βρίσκεται στις κατάλληλες γωνίες ως προς τις ασυνέχειες που πιθανόν να εμπεριέχει το υπό εξέταση υλικό. Αυτό για να συμβεί θα πρέπει το ρεύμα να βρίσκεται σε παράλληλη διεύθυνση με τις ασυνέχειες.

Έτσι υπάρχουν διάφοροι τρόποι χρήσης της μεθόδου ανάλογα την διεύθυνση που έχουν οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου που δημιουργείτε.

Τέτοια πεδία είναι :

1. Διάμηκες μαγνητικό πεδίο.
2. Πλάγιο-κυκλικό μαγνητικό πεδίο



4.3.2. Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που απαιτείτε για την μέθοδο των μαγνητικών σωματιδίων είναι σχετικά απλός. Περιλαμβάνει συσκευές και εγκαταστάσεις που σκοπό έχουν να δημιουργούν πεδία με υψηλές εντάσεις και στις σωστές διευθύνσεις. Επίσης απαραίτητες είναι συσκευές που μπορούν να αυξομειώνουν το ρεύμα αλλά και αμπερόμετρα έτσι ο ελεγκτής που κάνει χρήση της εν λόγω μεθόδου να μπορεί να γνωρίζει την ακριβή δύναμη του μαγνητικού πεδίου που εφαρμόζεται ανάλογα την περίπτωση. Συγκεκριμένα απαιτούνται δεσμοί και πηνία ικανά να εισάγουν μαγνητισμό στο αντικείμενο ελέγχου, καθώς και ηλεκτρική πηγή ενέργειας αλλά και μαγνητική σκόνη. Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτούνται ειδικές εγκαταστάσεις και φώτα υπεριώδους ακτινοβολίας.



4.3.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η μέθοδος δίνει γρήγορα αποτελέσματα
- Σχετικά οικονομική και αξιόπιστη μέθοδος.
- Ο εξοπλισμός είναι φορητός.
- Αντίθετα από τις διεισδυτικές βαφές, τα μαγνητικά σωματίδια είναι ικανά να εντοπίσουν ασυνέχειες που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Εφαρμόζεται μόνο σε φερο-μαγνητικά υλικά.
- Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να είναι καθαρά πριν και μετά από την χρήση.
- Πυκνές επικαλύψεις μπορούν να καλύψουν σημαντικές ενδείξεις.
- Σε ορισμένες εφαρμογές απαιτείται απομαγνητισμός των διάφορων μερών μετά την επιθεώρηση.
- Απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια για τις περισσότερες εφαρμογές.
- Σφάλματα και ασυνέχειες που βρίσκονται βαθιά εντός του υλικού δεν είναι δυνατόν να αναδειχθούν.
- Δεν είναι εύκολη η διατήρηση των αποτελεσμάτων σε μορφή αρχείων ώστε να μπορεί ο ελεγκτής να ανατρέξει στα αποτελέσματα σε άλλη χρονική στιγμή.

4.4. Μέθοδος Οπτικού Ελέγχου

4.4.1. Τρόπος λειτουργίας

Για πολλούς τύπους συγκολλήσεων, η ακεραιότητα των συγκολλήσεων επιβεβαιώνεται για αρχή με οπτικό έλεγχο. Ακόμα και για συγκολλητές ενώσεις οι οποίες πρέπει απαραίτητα να ελέγχονται με ΜΚΕ, ο οπτικός έλεγχος αποτελεί ένα σημαντικό κομμάτι του ποιοτικού ελέγχου. Κατ' επέκταση ο οπτικός έλεγχος έχει σημασία πρώτης τάξης στον γενικότερο έλεγχο μιας συγκόλλησης.

Από όλες τις μεθόδους ΜΚΕ που χρησιμοποιούνται, ο οπτικός έλεγχος είναι ο πιο εύκολος στην εφαρμογή του, ο πιο γρήγορος, σχετικά μικρού κόστους και δεν χρειάζεται κάποιο ειδικό εξοπλισμό εκτός από την καλή όραση του ελεγκτή. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι ο οπτικός έλεγχος δίνει αρκετά σημαντικές πληροφορίες που συμφωνούν με τις προδιαγραφές συγκολλήσεων που υπάρχουν.

Ο ελεγκτής θα πρέπει να γνωρίζει τα σχετικά έγγραφα που απαιτούνται, τα «στάνταρ» της τεχνικής εργασίας που θα γίνει αλλά και όλες της φάσης της εργασίας. Η συγκόλληση που θα ελεγχθεί θα πρέπει να φωτίζεται επαρκώς, πιθανόν και ανάλογα με την περίπτωση να απαιτείται και κάποιο είδος φακού. Επίσης, σε περίπτωση που ζητηθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κάποιος μεγεθυντικός φακός χαμηλής ενέργειας. Ο μεγεθυντικός φακός πρέπει να χρησιμοποιηθεί με προσοχή αφού μπορεί να οδηγήσει σε αποτελέσματα, λόγω της μεγέθυνσης, αμφισβητήσιμα τα οποία δεν θα δίνουν άμεσες και γρήγορες απαντήσεις.

Συγκολλήσεις οι οποίες δεν μπορούν να ελεγχθούν οπτικά σε κάποιο προϊόν του οποίου η κατεργασία έχει τελειώσει, θα πρέπει να ελέγχονται κατά την διάρκεια της παραγωγής του προϊόντος. Χάρακες και διάφοροι άλλα όργανα μέτρησης χρησιμοποιούνται για να μετρούνται οι διαστάσεις της συγκόλλησης. Παρόλο που η οπτική μέθοδος είναι η πιο απλή μέθοδος Μη Καταστροφικού Ελέγχου, για την εξασφάλιση σωστών αποτελεσμάτων θα πρέπει να γίνεται χρήση και άλλων μεθόδων. Ένας σωστός Οπτικός Έλεγχος θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής τρία στάδια :

1. Έλεγχος πριν την συγκόλληση

Ο έλεγχος ξεκινά με την εξέταση του υλικού πριν την επεξεργασία του, με αυτό τον τρόπο δύναται η πρόληψη ελαττωμάτων που μπορεί να υπάρχουν. Κόκκοι, μικροραφές και άλλες επιφανειακές ατέλειες μπορούν να εντοπιστούν με

την μέθοδο του οπτικού ελέγχου. Οι ελασματοποιήσεις της πλάκας μπορούν να παρατηρηθούν με οπτικό έλεγχο. Οι διαστάσεις της πλάκας μπορούν να καθοριστούν με τυπικές μετρήσεις. Επίσης θα πρέπει να γίνει αναγνώριση του τύπου του υλικού που ελέγχεται.

Αφού τα διάφορα μέρη, στα οποία θα γίνει συγκόλληση, συναρμολογηθούν, ο ελεγκτής θα πρέπει να ελέγξει για πιθανά ανοίγματα της ρίζας της συγκόλλησης, επίσης θα πρέπει να γίνει και έλεγχος των σημείων πάνω στα οποία θα γίνει η συγκόλληση τα οποία θα μπορούσαν να επηρεάσουν την ποιότητα αυτής. Επίσης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη και οι κατασκευαστικές ανοχές του υλικού και των διαφόρων μερών του. Ακόμα ο ελεγκτής θα πρέπει να ελέγξει ότι οι ακόλουθες συνθήκες βρίσκονται σε συμφωνία με τις προδιαγραφές που εφαρμόζονται :

- Διείσδυση συνδέσμων, διαστάσεις, «τελειώματα»
- Ευθυγράμμιση και σωστή τοποθέτηση των κομματιών που θα χρησιμοποιηθούν
- Εξακρίβωση καθαριότητας

2. Έλεγχος κατά την διάρκεια της συγκόλλησης

Κατά την διαδικασία της κατασκευής-επεξεργασίας, ο οπτικός έλεγχος ελέγχει τις ακόλουθες λεπτομέρειες :

1. Διαδικασία συγκόλλησης και συνθήκες συγκόλλησης
2. Μέταλλο που χρησιμοποιείται για την συγκόλληση
3. Ροή συγκόλλησης ή αέρια συγκόλλησης
4. Θερμοκρασία προθέρμανσης
5. Έλεγχος διαστρέβλωσης
6. Διαστήματα επιθεωρήσεων

Ο ελεγκτής θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με όλα τα αντικείμενα που σχετίζονται με μια συγκόλληση που ακολουθεί πιστοποιημένες διαδικασίες και προδιαγραφές. Ο έλεγχος των διαδοχικών στρωμάτων συγκολλήσεων θα πρέπει ορισμένες φορές να γίνεται με την βοήθεια ενός κώδικα εργασίας. Θα πρέπει όμως ο ελεγκτής να γνωρίζει ότι με την βοήθεια ενός τέτοιου κώδικα εργασίας μπορεί να καλύπτονται ορισμένες ιδανικές συνθήκες, που παρουσιάζονται, οι οποίες ίσως να μην αντιπροσωπεύουν τις πραγματικές συνθήκες της εργασίας,

για αυτό τον λόγο θα πρέπει να υπάρχουν παραδοχές για τις ανοχές της παραγωγής.

Το πρώτο πέρασμα ή αλλιώς η ρίζα της συγκόλλησης, είναι και το πιο σημαντικό σημείο για το τελικό αποτέλεσμα της συγκόλλησης. Λόγω της γεωμετρίας της ένωσης, του μεγάλου όγκου του μετάλλου βάσης σε σχέση με το μέταλλο του πρώτου στρώματος, καθώς η πιθανότητα το τόξο συγκόλλησης να μην «χτυπήσει» ακριβώς στην ρίζα της συγκόλλησης, θα έχει ως αποτέλεσμα η ρίζα της συγκόλλησης να παγώσει γρήγορα. Με αυτό τον τρόπο παγιδύεται σκουριά ή αέρια που δεν είναι εύκολο να απομακρυνθούν στα επόμενα περάσματα του τόξου κατά την διάρκεια της συγκόλλησης. Έτσι το μέταλλο που προστέθηκε σε ένα τέτοιο στρώμα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητο σε ραγίσματα. Τέτοια ραγίσματα μπορούν να επεκταθούν και στα επόμενα στρώματα της συγκόλλησης. Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω γίνεται σαφές πως ο έλεγχος τέτοιων στρωμάτων θα πρέπει να είναι λεπτομερής και ακριβής, πράγμα που απαιτεί υψηλό επίπεδο εμπειρίας.

Ο έλεγχος κατά την διάρκεια του πρώτου στρώματος είναι αυτός που δίνει την ικανότητα να εντοπιστούν και διάφορες ελασματοποιήσεις, μιας και αυτές τείνουν να ανοίγουν προς τα πάνω λόγω επιδράσεων της θερμότητας κατά την διαδικασία της συγκόλλησης.

Το πέρασμα της ρίζας της συγκόλλησης, δηλαδή του πρώτου στρώματος, θα πρέπει να παρακολουθείται καθώς η διαδικασία της συγκόλλησης προχωράει. Ιδιαίτερη προσοχή θα πρέπει να δίνεται στην επάρκεια συγκόλλησης καρφιών και σφιγκτήρων ή στηριγμάτων με σκοπό να διατηρήσουν το άνοιγμα της ρίζας, ώστε να διασφαλιστεί επαρκή διείσδυση και ευθυγράμμιση.

3. Έλεγχος μετά την συγκόλληση

Μετά το πέρας της διαδικασίας της συγκόλλησης μπορούν να πραγματοποιηθούν η ακόλουθοι έλεγχοι :

1. Έλεγχος ακρίβειας των διαστάσεων της συγκόλλησης.
2. Έλεγχος για ανταπόκριση της συγκόλλησης με τις αρχικές σχεδιαστικές απαιτήσεις.
3. Έλεγχος για αποδοχή των συγκολλήσεων υπό την σκοπιά της εμφάνισης(π.χ. τραχύτητα επιφανείας ή λεκέδες κλπ).

4. Έλεγχος για την παρουσία μη γεμισμένων κρατήρων, χτυπήματα, επικαλύψεις, σημάδια αλλά και ρωγμές.
5. Έλεγχος για την ύπαρξη υπερβολικής λείανσης.
6. Έλεγχος θερμικής επεξεργασίας και θερμοκρασίας μετά την συγκόλληση

Για τον ακριβή εντοπισμό διαφόρων ατελειών όπως ρωγμές, χτυπήματα, επικαλύψεις, υπερβολική ανομοιογένεια συγκόλλησης ή ανακρίβειες διαστάσεων θα πρέπει η επιφάνεια συγκόλλησης να είναι επιμελώς καθαρισμένη.

Εν κατακλείδι η μέθοδος οπτικού ελέγχου των συγκολλήσεων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη, παρά ταύτα τα όποια συμπεράσματα βγουν θα πρέπει να είναι αποτέλεσμα ιδιαίτερα προσεκτικής μελέτης. Για παράδειγμα η εμφάνιση καλής επιφανείας σε μια συγκόλληση συνήθως θεωρείται ενδεικτική καλής δουλειάς και υψηλής ποιότητας συγκόλλησης, όμως η εμφάνιση της επιφάνειας μιας συγκόλλησης από μόνη της δεν είναι απόδειξη καλής εργασίας και δεν δίδει καμία αξιόπιστη ένδειξη για την κατάσταση της συγκόλλησης στα εσωτερικά της στρώματα. Έτσι θεωρείτε πρόπον ο οπτικός έλεγχος να γίνεται σε όλη την διαδικασία της συγκόλλησης έτσι ώστε τα συμπεράσματα που θα βγουν να είναι όσο πιο αξιόπιστα γίνεται στο βαθμό που η μέθοδος οπτικού ελέγχου μας επιτρέπει.

4.4.2. Εξοπλισμός

Ο εξοπλισμός που απαιτείται για την διενέργεια ενός οπτικού ελέγχου είναι μεν απαραίτητος αλλά δεν αποτελείται από συσκευές μεγάλης ειδικευσης. Πιο συγκεκριμένα ο εξοπλισμός του Οπτικού Ελέγχου περιλαμβάνει οπτικούς μεγεθυντές, εξοπλισμό τονισμού χρωμάτων, προβολέα, διάφορες πηγές φωτός, αλλά και οπτικούς συγκριτές όπως χάρακες και μικρόμετρα.

4.4.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Οικονομική μέθοδος,
- Σχετικά αξιόπιστη,

- Απαιτεί σχετικά μικρή εκπαίδευση
- Απαιτεί σχετικά μικρό εξοπλισμό για τις περισσότερες εφαρμογές

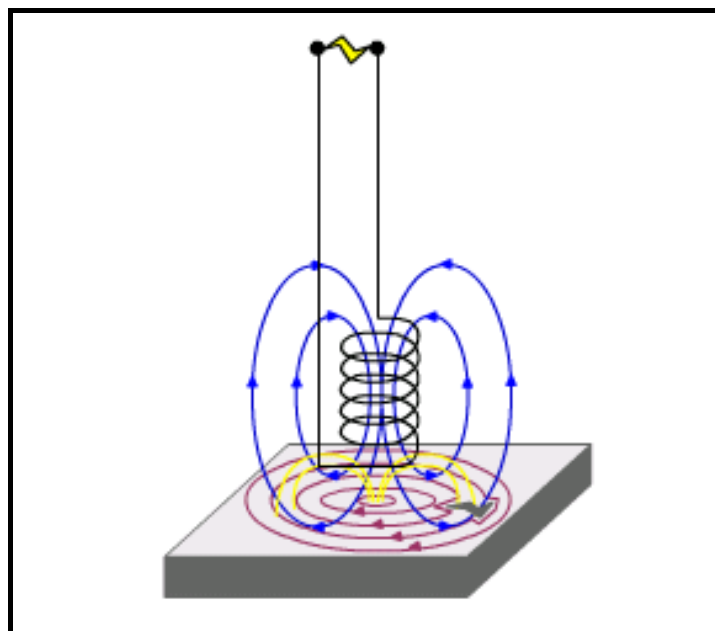
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η μέθοδος περιορίζεται σε εξωτερικούς ή επιφανειακούς ελέγχους μόνο.
- Η μέθοδος βασίζεται στην οπτική οξυδέρκεια τους παρατηρητή-ελεγκτή.

4.5. Μέθοδος Ελέγχου με Δινορεύματα

4.5.1. Τρόπος λειτουργίας

Ο Μη Καταστροφικός Έλεγχος με την μέθοδο του Ρεύματος Αυτεπαγωγής βασίζεται στην αρχή πως το ηλεκτρικό ρεύμα θα διέλθει μέσα από οποιονδήποτε αγωγό ο οποίος υπόκειται σε εναλλασσόμενα μαγνητικά πεδία. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για τον έλεγχο συγκολλήσεων τόσο σε μαγνητικά όσο και σε μη μαγνητικά υλικά. Η συχνότητα του μαγνητικού πεδίου μπορεί να ξεκινά από 50 Hz και να φθάνει το 1 MHz, ανάλογα τον τύπο του υλικού και το πάχος αυτού.



4.9.

Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων μέσω ρεύματος αυτεπαγωγής, οι διάφορες ασυνέχειες του υλικού θα έχουν ως αποτέλεσμα να αποθηκευτούν στα πηλικά διαφορετικά ποσά ενέργειας που μαρτυρούν την ύπαρξη των ασυνεχειών.

Ο έλεγχος με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείτε από το ρεύμα αυτεπαγωγής έχει να κάνει με την παρατήρηση των αλληλεπιδράσεων ανάμεσα στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που έχουν δημιουργηθεί και τα υπό εξέταση μεταλλικά υλικά. Τρία πράγματα απαιτούνται για αυτή την μέθοδο :

1. Ένα ή περισσότερα πηνία από τα οποία θα διέρχεται εναλλασσόμενο ρεύμα.
2. Τα μέσα τα οποία θα μας δώσουν την ικανότητα να μετρήσουμε τις ηλεκτρικές ιδιότητες των πηνίων.
3. Το προς εξέταση υλικό.

Η μέθοδος ελέγχου με ρεύμα αυτεπαγωγής που δημιουργεί ηλεκτρομαγνητικά πεδία εμπλέκει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία που προκλήθηκαν και εφαρμόστηκαν αλλά και την εισαγωγή του κατάλληλου ποσού ενέργειας στο εξεταζόμενο υλικό. Όταν η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια που παράχθηκε από τα πηνία εισέρχεται στο υπό εξέταση υλικό μετατρέπεται κατά ένα μέρος σε θερμότητα ενώ η υπόλοιπη ενέργεια αποθηκεύεται υπό την μορφή ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι να διαφοροποιηθούν οι ηλεκτρικές ιδιότητες του πηνίου ανάλογα με τις ηλεκτρικές ιδιότητες του υπό εξέταση υλικού. Με αυτό τον τρόπο το ρεύμα που διαρρέει το πηνίο κατά μια έννοια μεταφέρει πληροφορίες που έχουν να κάνουν με το υλικό που εξετάζεται, πληροφορίες όπως οι διαστάσεις του, οι μηχανικές, μεταλλικές και χημικές ιδιότητές του, αλλά φυσικά πληροφορίες για τυχόν ασυνέχειες και σφάλματα.

Ο χαρακτήρας της αλληλεπίδρασης ανάμεσα στα εφαρμοσμένα και τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά πεδία, καθορίζεται από δύο ξεχωριστά φαινόμενα εντός του υλικού :

- Η εισαγωγή του ρεύματος αυτεπαγωγής εντός του μεταλλικού υλικού από τα εφαρμοσμένα ηλεκτρομαγνητικά πεδία.
- Η δράση του εφαρμοσμένου πεδίου πάνω στις μαγνητικές περιοχές του υλικού.

Προφανώς μοναχά το πρώτο φαινόμενο μπορεί να έχει εφαρμογή στην περίπτωση των μη φερομαγνητικών μετάλλων. Στην περίπτωση των φερομαγνητικών μετάλλων παρουσιάζονται και τα δύο φαινόμενα. Μεταβλητές οι οποίες μπορούν να επηρεάσουν τα αποτελέσματα αυτής της μεθόδου ανάλογα το υλικό είναι :

1. Το σχήμα, οι εξωτερικές διαστάσεις και το πάχος του υλικού.

2. Απόσταση ανάμεσα στο πηνίο που παράγει το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και το προς εξέταση υλικό.
3. Πάχος στρωμάτων επικάλυψης.
4. Χημική σύνθεση του υλικού.
5. Κατανομή των ατόμων του υλικού ανάλογα την επεξεργασία που του έχει γίνει.
6. Ατέλειες στην κρυσταλλική δομή του υλικού.
7. Θερμοκρασία του υλικού.
8. Ασυνέχειες και ανομοιογένειες εντός του υλικού.
9. Στα φερομαγνητικά υλικά οι παραμένουσες και εφαρμόσιμες τάσεις.

Όπως γίνεται κατανοητό από τα παραπάνω το αποτέλεσμα της μέτρησης του «βολτάζ», που αποτελεί και την μεταβλητή που συνήθως καταγράφει ο εξοπλισμός αυτής της μεθόδου, θα πρέπει να αναλύεται πολύ προσεκτικά ώστε να απομονώνονται από τα αποτελέσματα του ελέγχου μετρήσεις που προκλήθηκαν από αιτίες που δεν έχουν να κάνουν με ασυνέχειες ή σφάλματα εντός του υλικού.

Ιδιαίτερα σημαντικά για τον ηλεκτρομαγνητικό έλεγχο είναι και τα ακόλουθα τρία χαρακτηριστικά :

- Πλάτος.
- Φάση.
- Συχνότητα.

Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται σε μια σειρά από τεχνικές που σκοπό έχουν να βοηθήσουν τον μηχανικό να βγάλει πιο ασφαλή συμπεράσματα. Τέτοιες τεχνικές και διαδικασίες είναι η διάκριση πλάτους και φάσης, η ανάλυση συχνοτήτων, επιλογή της κατάλληλης συχνότητας, ο μαγνητικός κορεσμός κλπ.

Κατά τους ελέγχους σε μέταλλα με ηλεκτρομαγνητικά πεδία που δημιουργούνται από ρεύμα αυτεπαγωγής, ιδιαίτερα σημαντικό είναι να υπάρχουν επαρκείς τυποποιήσεις που σκοπό έχουν να διασφαλίσουν την αξιοπιστία του υλικού και την σωστή του λειτουργία, σκοπός αυτών των τυποποιήσεων είναι η εξακρίβωση για το αν η όποιες ασυνέχειες εντοπιστούν είναι επαρκείς ώστε το υλικό να απορριφτεί από την όποια χρήση προορίζεται. Εδώ πρέπει να τονισθεί πως τροποποιήσεις που πραγματοποιούνται στα ηλεκτρομαγνητικά πεδία και μετρούνται από τον εξοπλισμό της μεθόδου, υποδουλώνουν την πιθανή ύπαρξη ασυνεχειών. Για αυτόν ακριβώς τον λόγο είναι απαραίτητη η ύπαρξη τυποποιήσεων που συνδέουν τις

όποιες μετρούμενες αλλαγές σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με συγκεκριμένες ασυνέχεις και πιθανά ελαττώματα. Εκτός των παραπάνω τυποποιήσεων υπάρχουν και τυποποιήσεις που εξασφαλίζουν αν μια ασυνέχεια πληροί τις προϋποθέσεις ώστε να ονομαστεί αστοχία-σφάλμα, αφού όπως έχουμε αναφέρει και αλλού μια ασυνέχεια δεν αποτελεί απαραίτητα και αστοχία υλικού.

4.5.2. Εξοπλισμός

Ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση Μη Καταστροφικού Ελέγχου με την μέθοδο του Ρεύματος Αυτεπαγωγής περιλαμβάνει όργανα ικανά να εισάγουν ηλεκτρομαγνητικά πεδία στο εσωτερικό του ελεγχόμενου αντικειμένου, αλλά και ικανά να καταγράψουν τα δημιουργούμενα ηλεκτρικά ρεύματα. Τέτοια όργανα είναι οι πηγές εναλλασσόμενων ρευμάτων, σπείρες καλωδίων που συνδέονται με την πηγή, αλλά επίσης και βολτόμετρα έτσι ώστε να μετρηθεί η αλλαγή τάσης που θα προκύψει.



4.5.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Σχετικά αξιόπιστη και χαμηλού κόστους μέθοδος.
- Μπορεί να αυτοματοποιηθεί σαν μέθοδος στην περίπτωση που γίνεται έλεγχος σε συμμετρικά κομμάτια.
- Δεν χρειάζονται ηλεκτρικές ενώσεις.

- Ο εξοπλισμός δεν είναι απαραίτητο να βρίσκεται σε απευθείας επαφή με το ελεγχόμενο κομμάτι.
- Υπό συγκεκριμένες συνθήκες οι ενδείξεις που καταγράφονται από τα όργανα είναι ανάλογες του πραγματικού μεγέθους του ελαττώματος.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

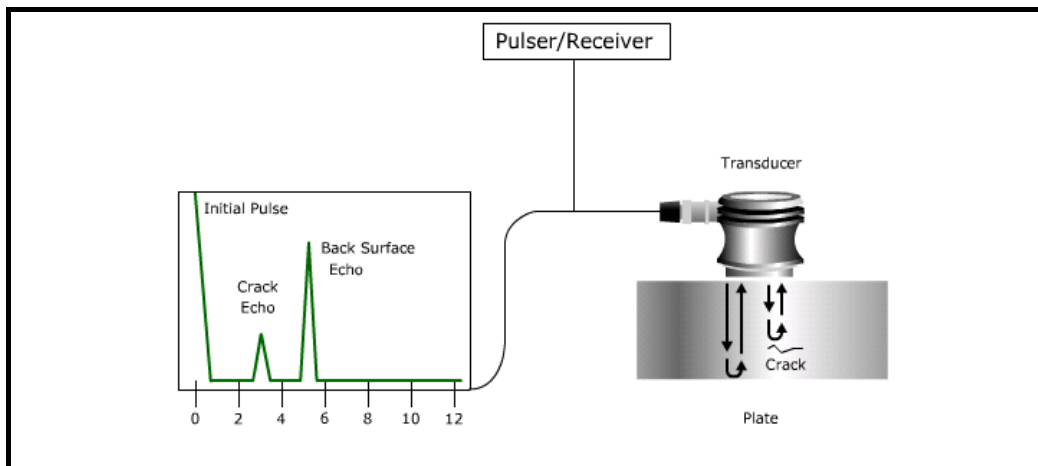
- Η μέθοδος περιορίζεται σε αγώγιμα υλικά.
- Μικρό βάθος σάρωσης.
- Ορισμένες ενδείξεις ενδεχομένως να μη φανούν λόγω γεωμετρίας.
- Απαιτείται αναγνωρισμένος κώδικας αναφοράς για την χρήση της μεθόδου.

4.6. Μέθοδος Ελέγχου με Υπερήχους

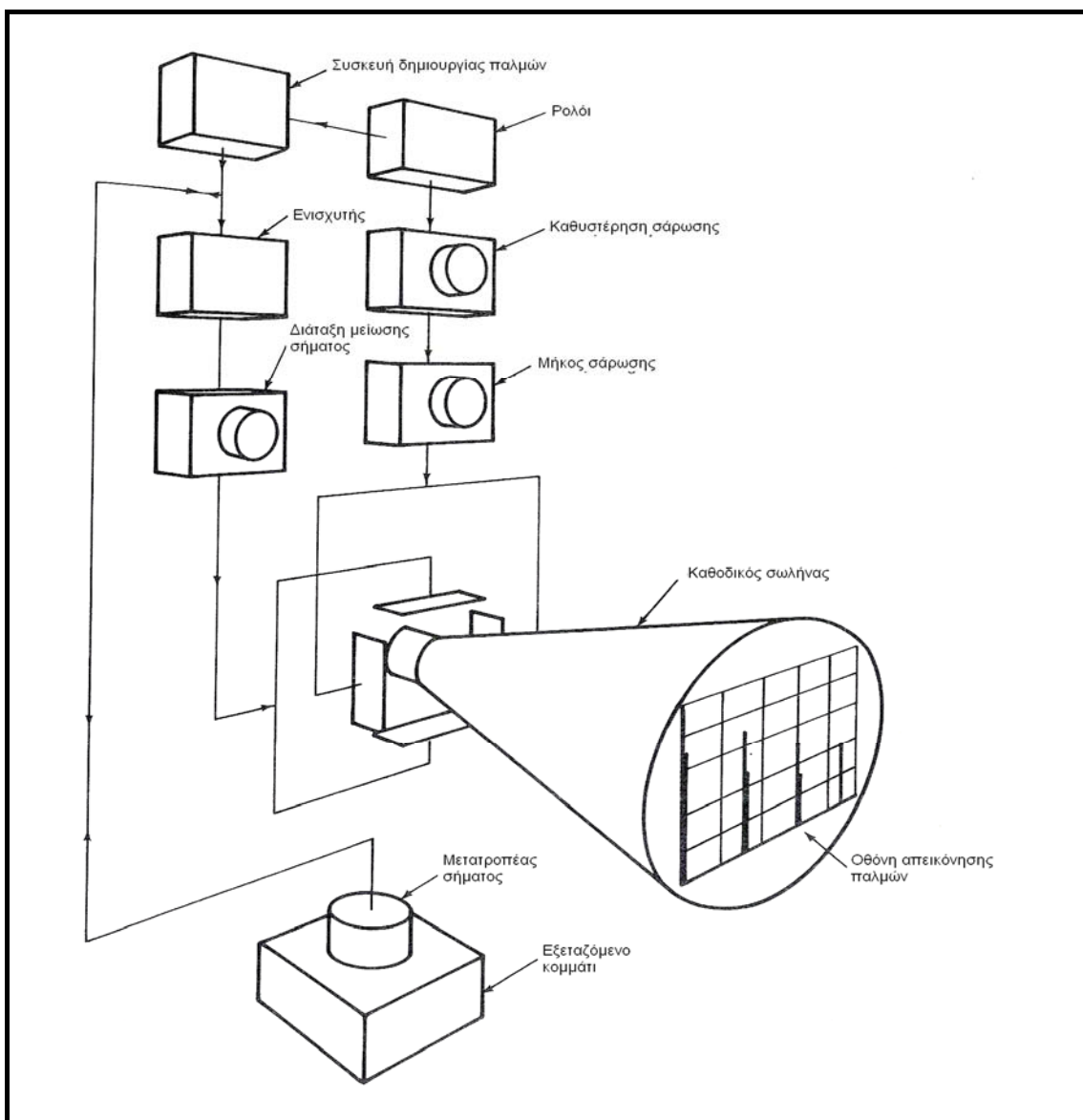
4.6.1. Τρόπος λειτουργίας

Ο έλεγχος με υπερήχους αποτελεί έναν Μη Καταστροφικό Έλεγχο που χρησιμοποιείτε για τον εντοπισμό, τον έλεγχο και την αξιολόγηση εσωτερικών ασυνεχειών σε μέταλλα και άλλα υλικά. Η βασική αρχή αυτής της μεθόδου είναι η παραγωγή μιας δέσμης ήχου υψηλής συχνότητας με κατεύθυνση προς το υπό έλεγχο υλικό, το οποίο σε περίπτωση εσωτερικών ασυνεχειών ανακλά την εν λόγω δέσμη. Αυτή η ασυνέχεια εμφανίζεται σαν μια απότομη κάθετη κατακόρυφη γραμμή σε μια CRT οθόνη. Η εύρεση, ο εντοπισμός και η αξιολόγηση εσωτερικών ασυνεχειών κάποιου υλικού με την μέθοδο των υπερήχων βασίζεται στις ακόλουθες αρχές :

1. η ταχύτητα του ήχου εντός ενός υλικού δεδομένης πυκνότητας και σχήματος είναι σταθερή, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η μέτρηση αποστάσεων.
2. το σχετικό εύρος ενός απεικονιζόμενου παλμού είναι ανάλογο του μεγέθους του ανακλαστήρα.



4.11. Απλοποιημένο σχήμα τρόπου λειτουργίας της μεθόδου των υπερήχων



4.12. Διάγραμμα λειτουργίας διάταξης υπερήχων

Η συμπεριφορά των υψηλών συχνοτήτων του ήχου εμφανίζει πολλές ομοιότητες με αυτές του ορατού φωτός κατά τον εξής τρόπο :

1. Η απόκλιση μιας ηχητικής δέσμης μπορεί να ελεγχθεί εστιάζοντας την.
2. Η ηχητική δέσμη θα ανακλαστεί με προβλέψιμο τρόπο σε επιφάνειες διαφορετικής πυκνότητας.
3. Η ηχητική δέσμη θα διαθλαστεί στην περίπτωση που συναντήσει υλικά διαφορετικής πυκνότητας.

Όταν η συσκευή παραγωγής υπερήχων τοποθετηθεί σε μια επιφάνεια σταθερού πάχους , τότε, μόνο ένα πολύ μικρό ποσοστό της ανακλώμενης ηχητικής ενέργειας απορροφάται από τον μετατροπέα υπερήχων, ενώ η εναπομείνουσα ενέργεια θα ανακλαστεί πίσω στο δοκίμιο, αντηχώντας ανάμεσα στις παράλληλες επιφάνειες του δοκίμιου, δημιουργώντας έτσι μια ακόμα ένδειξη στην οθόνη απεικόνισης. Αυτό θα συμβαίνει σε κάθε επιστροφή της ηχητικής δέσμης στην αρχική επιφάνεια. Σε αντίθεση με τις συχνότητες του ήχου που μπορεί να αντιληφθεί το ανθρώπινο αυτί, οι ήχοι υψηλών συχνοτήτων είναι εύκολο να χάσουν την ενέργεια τους και να φθαρούν όταν διέρχονται από αέρα, αλλά παρ' όλα αυτά μπορούν να ταξιδέψουν ελεύθερα σε ομογενοποιημένες συμπαγής επιφάνειες ή υγρά. Έτσι γίνεται εύκολα αντιληπτό πως τα οποιαδήποτε εγκλείσματα αέρα ανάμεσα στην επιφάνεια του δοκίμιου και της πηγής παραγωγής υπερήχων θα πρέπει να απομακρυνθούν.

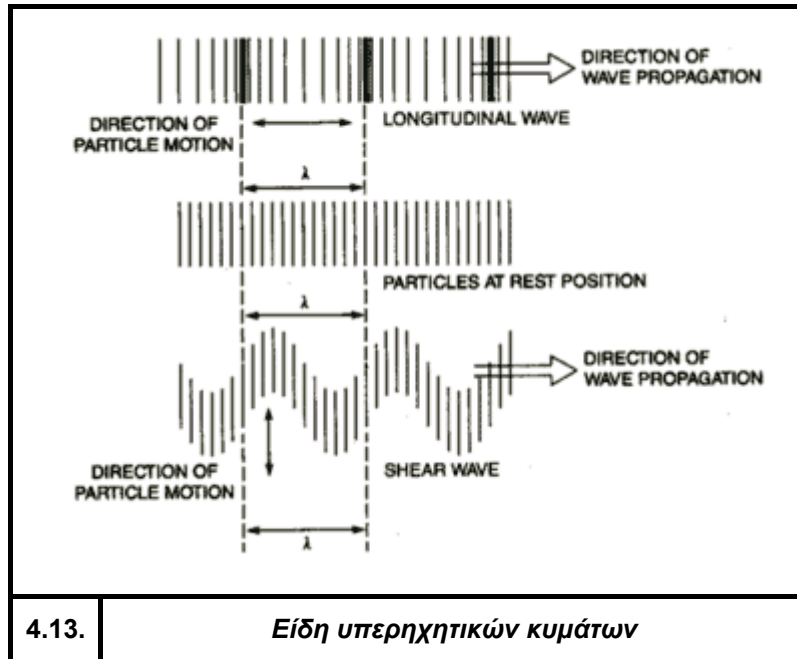
Η εξασθένηση ενός υπέρηχου είναι ένας συνδυασμός της ελάττωσης του ήχου λόγω του νόμου των αντίστροφων τετραγώνων στην αναλογία εύρος προς απόσταση, αλλά και λόγω των απωλειών που υφίσταται το υπερηχητικό κύμα από την διασπορά αυτού λόγω των κόκκων του υλικού αλλά και λόγω διαφόρων εγκλεισμάτων εντός του.

Οι υπέρηχοι δεν διαπερνούν κάποιο υλικό πάντα με τον ίδιο τρόπο. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι διάδοσης των υπερηχητικών κυμάτων που έχουν σχέση με τις συγκολλήσεις:

- Ο πιο απλός τρόπος είναι αυτός των διαμήκων κυμάτων. Με αυτόν τον τρόπο η δόνηση των μορίων του υλικού είναι σε κατεύθυνση παράλληλη με την κατεύθυνση των υπερήχων.
- Ένας άλλος τρόπος είναι αυτός των εγκάρσιων κυμάτων, όπου εδώ η δόνηση των μορίων του υλικού είναι σε κατεύθυνση κάθετη προς αυτή που διαδίδονται τα ηχητικά κύματα.

- Ο τελευταίος τρόπος είναι αυτός των επιφανειακών κυμάτων που είναι εγκάρσιας μορφής και διατρέχουν τις επιφάνειες των υλικών

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως τα εγκάρσια και τα επιφανειακά κύματα δεν διαδίδονται στα υγρά.



Η μέθοδος των υπερήχων με διαμήκη κύματα περιορίζεται γενικά στην ανίχνευση και τον εντοπισμό εγκλεισμάτων και ασυνεχειών διαστρωμάτωσης ασυνέχειες στα υλικά. Τα εγκάρσια κύματα είναι ιδιαίτερα σημαντικά στον εντοπισμό ασυνεχειών σε μία συγκόλληση. Αυτό συμβαίνει διότι τα κύματα τέτοιου τύπου έχουν την ικανότητα να παρέχουν τρισδιάστατες συντεταγμένες για την τοποθεσία, την κατεύθυνση και τα χαρακτηριστικά των ασυνεχειών. Η ευαισθησία των εγκάρσιων κυμάτων είναι διπλάσια από αυτή των διαμήκη κυμάτων για την ίδια συχνότητα σήματος και για το ίδιο προς μελέτη αντικείμενο. Έτσι είναι προτιμότερο να γίνετε ένας πρώτος έλεγχος με διαμήκη κύματα ώστε να εξασφαλίζεται πως στο υλικό της συγκόλλησης δεν περιέχονται εγκλείσματα που θα μπορούσαν να αλλοιώσουν τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από την χρήση εγκάρσιων κυμάτων.

Όσον αφορά την απεικόνιση των κυμάτων στην CRT οθόνη, από την στιγμή που τόσο οι οριζόντιες (χρόνος) όσο και οι κάθετες (πλάτους) διαστάσεις-γραμμές δεν σχετίζονται από άποψη μεγέθους ή μετρούμενου διαστήματος τότε δεν μπορούν να συσχετιστούν και με κάποιο κοινό αρχικό μηδενικό σημείο. Για αυτόν τον λόγο είναι απαραίτητο να πραγματοποιείτε βαθμονόμηση της μονάδας παραγωγής

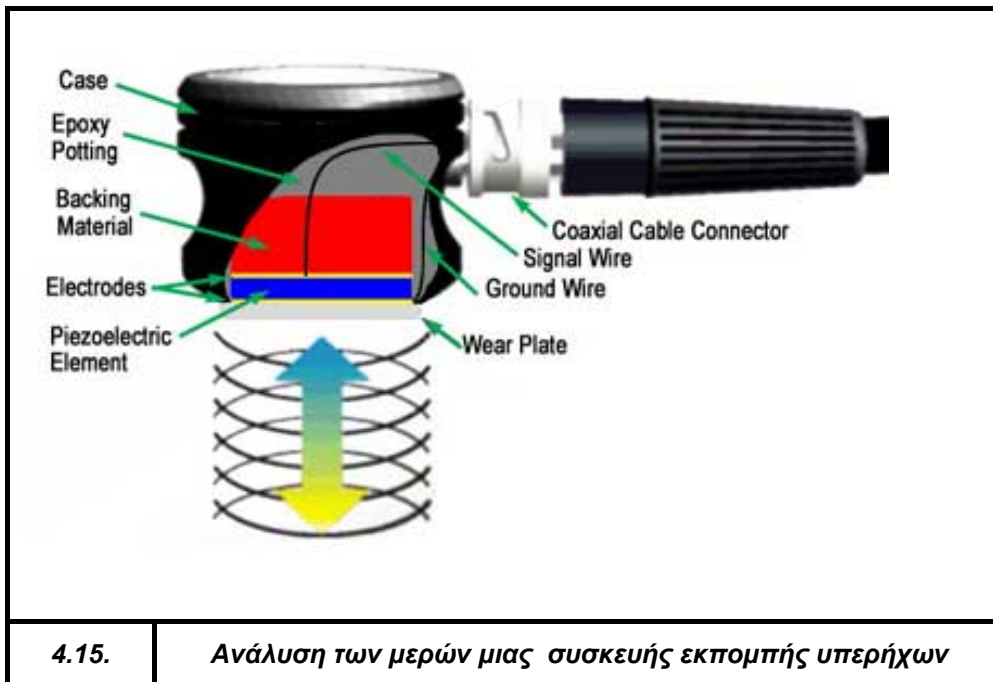
υπερήχων σύμφωνα με κάποια τυποποίηση πριν από την διεξαγωγή κάποιου ελέγχου. Διάφοροι τύποι ανακλαστήρων μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την βαθμονόμηση του εξοπλισμού ως προς τις μετρούμενες αποστάσεις και το μετρούμενο εύρος. Αυτό γίνεται με ανακλαστήρες που έχουν παρόμοιες ακουστικές ικανότητες με αυτές του ελεγχόμενου υλικού. Άλλος τρόπος βαθμονόμησης του εξοπλισμού αποτελεί το άνοιγμα οπών δημιουργώντας ατέλειες γνωστών διαστάσεων στους ανακλαστήρες παρέχοντας έτσι σωστά επίπεδα τυποποίησης και αποδοχής εύρους.



Σχετικά με τον τρόπο απεικόνισης των διαφόρων μετρήσεων ο εξοπλισμός που χρησιμοποιείται στη μέθοδο παλμού-ανάκλασης (μέθοδος απεικόνισης A-scan) που συνοδεύεται με εικονική παρουσίαση του παλμού είναι και ο πιο συνηθισμένος για τον χειροκίνητο έλεγχο με φορητές συσκευές συγκολλήσεων ή άλλων υλικών. Ο εξοπλισμός τύπου παλμού-ανάκλασης παράγει επαναλαμβανόμενους ήχους υψηλών συχνοτήτων με παύσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικούς ήχους συγκεκριμένης χρονικής διάρκειας έτσι ώστε να επιτρέπεται η επιστροφή των σημάτων από τους ανακλαστήρες ήχου. Αυτές οι παύσεις ανάμεσα σε δύο διαδοχικά ηχητικά σήματα, που ονομάζονται ρυθμοί παλμού(pulse rate), συνήθως λαμβάνουν χώρα στους 500 παλμούς/δευτερόλεπτο, ανάλογα βέβαια από τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται.

Στην απεικόνιση των παλμών, η γραμμή που αντιπροσωπεύει το χρόνο βρίσκεται στο οριζόντιο κάτω μέρος της οθόνης απεικόνισης. Στο αριστερό μέρος της γραμμής που απεικονίζει το χρόνο βρίσκεται μια άλλη κάθετη γραμμή που απεικονίζει τον αρχικό παλμό. Το A scan δείχνει ότι το χρονικό διάστημα ανάμεσα

στους παλμούς αναπαριστάται στην οριζόντια διεύθυνση, καθώς και ότι το σχετικό εύρος του σήματος αναπαριστάται από τον βαθμό της κάθετης ανύψωσης της γραμμής στην οθόνη απεικόνισης. Η οθόνη είναι συνήθως βαθμονομημένη τόσο σε οριζόντια όσο και σε κάθετη διεύθυνση ώστε να διευκολυνθεί η μέτρηση των παλμών που απεικονίζονται. Η οριζόντια γραμμή της χρονικής περιοδικότητας (μήκος σάρωσης) μπορεί να προσαρμοστεί ανάλογα, μέσω ενός διακόπτη ελέγχου με αποτέλεσμα να δίνεται η δυνατότητα να μεταφραστεί η χρονική περιοδικότητα των ανακλάσεων του ήχου σε απόσταση υλικού. Για να μπορεί ο ηχητικός παλμός να κατευθυνθεί πάνω σε κάποιο υλικό, υπάρχει και η αντίστοιχη συσκευή από την οποία οι παλμοί κατευθύνονται πάνω στο υλικό. Αυτή η συσκευή αποτελείται από δύο μέρη, το ένα μέρος δίνει την δυνατότητα στον ελεγκτή να κρατήσει την συσκευή και το άλλο μέρος είναι ο μετατροπέας υπερήχων. Ο μετατροπέας υπερήχων είναι συνήθως ένας πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος. Όταν ο μετατροπέας υπερήχων διεγείρεται από ηλεκτρική ενέργεια υψηλής συχνότητας, που παράγεται από την πηγή παροχής ενέργειας, τότε παράγει μια μηχανική δόνηση αντίστοιχης συχνότητας ανάλογα από το υλικό που είναι φτιαγμένος. Όμως ο μετατροπέας υπερήχων έχει επίσης την ικανότητα να λαμβάνει φυσικές δονήσεις και να τις μετατρέπει σε χαμηλής ενέργειας ηλεκτρικούς παλμούς. Με αυτό τον τρόπο η μονάδα υπερήχων λαμβάνει τους παλμούς που επιστρέφονται, τους ενισχύει και τους παρουσιάζει ως κορυφές (ανακλάσεις) στην οθόνη απεικόνισης. Η θέση στην οριζόντια γραμμή της οθόνης απεικόνισης του ανακλώμενου ελαττώματος είναι αντίστοιχη της απόστασης που διήνυσε ο ήχος στο υλικό που ελέγχθηκε. Με αυτόν τον τρόπο καθίσταται δυνατός ο προσδιορισμός της θέσης των ανακλάσεων χρησιμοποιώντας την οριζόντια βαθμονόμηση της οθόνης σαν μετρητή αποστάσεων. Οι κάθετες απεικονίσεις μπορούν να προσαρμοστούν με ενίσχυση της ενέργειας καθιστώντας έτσι δυνατή την απεικόνιση του σχετικού ύψους των ανακλώμενων ενδείξεων.



Οι περισσότεροι έλεγχοι συγκολλήσεων με την μέθοδο των υπερήχων πραγματοποιούνται με τη συχνότητα του μετατροπέα να βρίσκεται στα 2.25MHz. Αυτή η συχνότητα συνήθως αρκεί για έλεγχο συγκολλήσεων τόσο με εγκάρσια όσο και με διαμήκη κύματα. Όταν ο έλεγχος πραγματοποιείται από μονάδες μικρότερου μεγέθους τότε είναι απαραίτητο να χρησιμοποιείτε μετατροπέας με υψηλότερη συχνότητα έτσι ώστε με τον τρόπο αυτό να ελαττώνεται η όποια απόκλιση των υπερηχητικών παλμών που αυξάνεται λόγω του μικρού μεγέθους της μονάδας από την οποία εκπέμπονται οι υπέρηχοι. Οι πλειονότητα των ελέγχων που χρησιμοποιούν την μέθοδο των υπερήχων ακολουθούν συγκεκριμένες τυποποιημένες διαδικασίες όπως είναι η AWS D1.1 που εφαρμόζεται για αυλακωτές συγκολλήσεις πάχους από 5/16 της ίντσας έως 8 ίντσες, η οποία αποτελεί μια πλήρη τυποποιημένη διαδικασία που καθοδηγεί τον ελεγκτή βήμα προς βήμα. Υπάρχουν και άλλοι κώδικες και προδιαγραφές που αφορούν τον έλεγχο συγκολλήσεων, που αφήνουν μια σχετική ελευθερία για κάποιες από τις διαδικασίες που θα πρέπει να ακολουθήσει ο ελεγκτής.

4.6.2. Εξοπλισμός

Ο απαραίτητος εξοπλισμός αυτής της μεθόδου περιλαμβάνει κάποιο όργανο παλμών ικανό να παράγει υπερήχους μέσα στο προς έλεγχο αντικείμενο, επίσης

απαιτείται μια οθόνη CRT ικανή να απεικονίζει τα μεγέθη της ηχητικής ενέργειας που λαμβάνονται. Ακόμα ιδιαίτερα απαραίτητα είναι και τα διάφορα μέτρα βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται για λόγους που αναλύθηκαν παραπάνω

4.6.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μέθοδος πιο ευαίσθητη σε δισδιάστατα ελαττώματα.
- Τα αποτελέσματα των ελέγχων γίνονται γνωστά αμέσως.
- Φορητός εξοπλισμός.
- Η πλειονότητα του εξοπλισμού υπερήχων δεν απαιτεί ηλεκτρική παροχή από το δίκτυο.
- Ικανότητες υψηλής διεισδυτικότητας.
- Είναι δυνατός ο προσδιορισμός του μεγέθους και του είδους του σφάλματος.
- Ασφαλής μέθοδος που δεν απαιτεί εξειδικευμένα μέτρα ασφαλείας για το προσωπικό.
- Ευέλικτη μέθοδος αφού απαιτείται πρόσβαση μόνο της μιας πλευράς του υπό εξέταση αντικειμένου.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Η επιφάνεια πάνω στην οποία θα τοποθετηθεί το μηχάνημα του υπερήχου θα πρέπει να είναι κατάλληλα προετοιμασμένη και απαιτείται η χρήση ειδικού υγρού.
- Συγκολλήσεις ελασμάτων μικρού πάχους είναι δύσκολο να ελεγχθούν.
- Απαιτούνται συγκεκριμένα τυποποιημένα πρότυπα-δοκίμια βαθμονόμησης του οργάνου.
- Απαιτείται ικανός χειριστής του εξοπλισμού.

4.7. Ραδιογραφία Νετρονίων

4.7.1. Τρόπος λειτουργίας

Η ραδιογραφία νετρονίων παρέχει ένα πολύ αποδοτικό εργαλείο για τις έρευνες στον τομέα της Μη Καταστρεπτικού Ελέγχου καθώς επίσης βρίσκει πολλές εφαρμογές στη βασική έρευνα.

Η ραδιογραφία νετρονίων έχει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών και έρευνας, αλλά βρίσκει επίσης εφαρμογές και στον τομέα του ποιοτικού ελέγχου. Μερικά τέτοια παραδείγματα εφαρμογής περιλαμβάνουν ελέγχους για εσωτερικές ρωγμές και ασυνέχειες, εξέταση-έλεγχος εκπυρσοκροτητών και πυρομαχικών, ραδιογραφίες αρχαίων αντικειμένων αλλά και έλεγχο ραδιενεργών πηγών ακτίνων γάμα(που είναι τοποθετημένες εντός ειδικών περιβλημάτων).

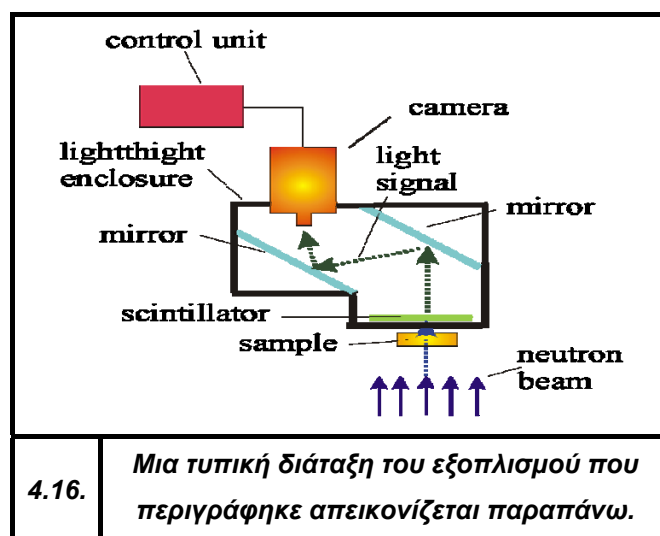
Η ραδιογραφία νετρονίων χρησιμοποιεί την βασική αρχή σύμφωνα με την οποία μια ακτίνα βασικών σωματιδίων του πυρήνα ενός ατόμου, τα νετρόνια στην παρούσα περίπτωση, μπορεί να διαπεράσει τα μόρια ενός υλικού, και να «δει» την εσωτερική δομή του αντικειμένου. Για την ραδιογραφία νετρονίων μόνο τα λεγόμενα «θερμικά» νετρόνια μπορούν να χρησιμοποιηθούν επειδή τα «γρήγορα» νετρόνια θα περνούσαν εξ ολοκλήρου τόσο δια μέσω του αντικειμένου εξέτασης όσο και δια μέσου του φιλμ της ραδιογραφίας. Τα θερμικά νετρόνια υπολογίζεται ότι εμφανίζουν κατά μέσω όρο ενέργειες γύρω στα 0.025eV και κατευθύνονται προς το στόχο με μια πυκνότητα της τάξεως των $2 \cdot 10^9$ νετρονίων/cm². Τέτοιες τιμές είναι κατάλληλες για μη ζωντανά δείγματα, εντούτοις, είναι θανατηφόρες για ζωντανούς οργανισμούς. Σε μια ραδιογραφία τα περισσότερα από τα νετρόνια περνούν αμέσως δια μέσω του αντικειμένου, εντούτοις, πολλά επιβραδύνονται ή σταματούν μέσω μιας διαδικασίας αποκαλούμενης εξασθένιση(attenuation). Η μείωση των νετρονίων εμφανίζεται μέσω της ελαστικής διασποράς, της ανελαστικής διασποράς (που αναπηδούν μακριά), της απορρόφησης νετρονίων, και των πυρηνικών αντιδράσεων. Για τα «θερμικά» νετρόνια που χρησιμοποιούνται στην ραδιογραφία νετρονίων, η απορρόφηση τους είναι η αρχική αλληλεπίδραση, εντούτοις, εμφανίζεται και κάποια διασπορά. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε πως ορισμένα στοιχεία απορροφούν τα νετρόνια καλύτερα από άλλα. Πιο συγκεκριμένα ισότοπα όπως τα hydrogen1, nitrogen14, chlorine35, boron10, και lithium6 είναι κατάλληλα να απορροφήσουν τα νετρόνια, και κατά συνέπεια εμφανίζονται άσπρα στην τελική εικόνα του ραδιογραφικού φιλμ. Τα νετρόνια είναι σε θέση να κάνουν σαφή διαχωρισμό μεταξύ των διαφορετικών ισοτόπων και η ραδιογραφία νετρονίων είναι ένα σημαντικό εργαλείο για τις μελέτες των ραδιενεργών υλικών. Η εικόνα της ραδιογραφίας παράγεται με διάφορες μεθόδους. Στην ραδιογραφία νετρονίων (NR), μια ακτίνα νετρονίων καταγράφεται σε έναν δισδιάστατο ευαίσθητο ανιχνευτή θέσης(two dimensional integrating position sensitive detector) αφού πρώτα έχει διαπεράσει το υπό εξέταση δείγμα. Το αποτέλεσμα που μας δίνει ο ανιχνευτής είναι μια εικόνα που αντιπροσωπεύει τη μακροσκοπική δομή του εσωτερικού των δειγμάτων. Εδώ πρέπει να σημειώσουμε

πως η ακτίνα νετρονίων μειώνεται ανάλογα με το υλικό και τη γεωμετρία των δειγμάτων ακολουθώντας τον νόμο της μείωσης της ακτινοβολίας $F(x,y,E)=F_0(x,y,E)*e^{S(x,y,E)*d}$. Ένα είδος εξοπλισμού μπορεί να χρησιμοποιηθεί είναι μια ειδικά κατασκευασμένη οθόνη από γαδολίνιο που απορροφά τα νετρόνια και γίνεται ραδιενεργή και έπειτα εκπέμπει ακτίνες γάμμα. Στην συνέχεια με την βοήθεια των ακτίνων γάμμα που παράχθηκαν η εικόνα αποτυπώνεται σε ένα τυπικό ραδιογραφικό φιλμ ακτίνων Χ.

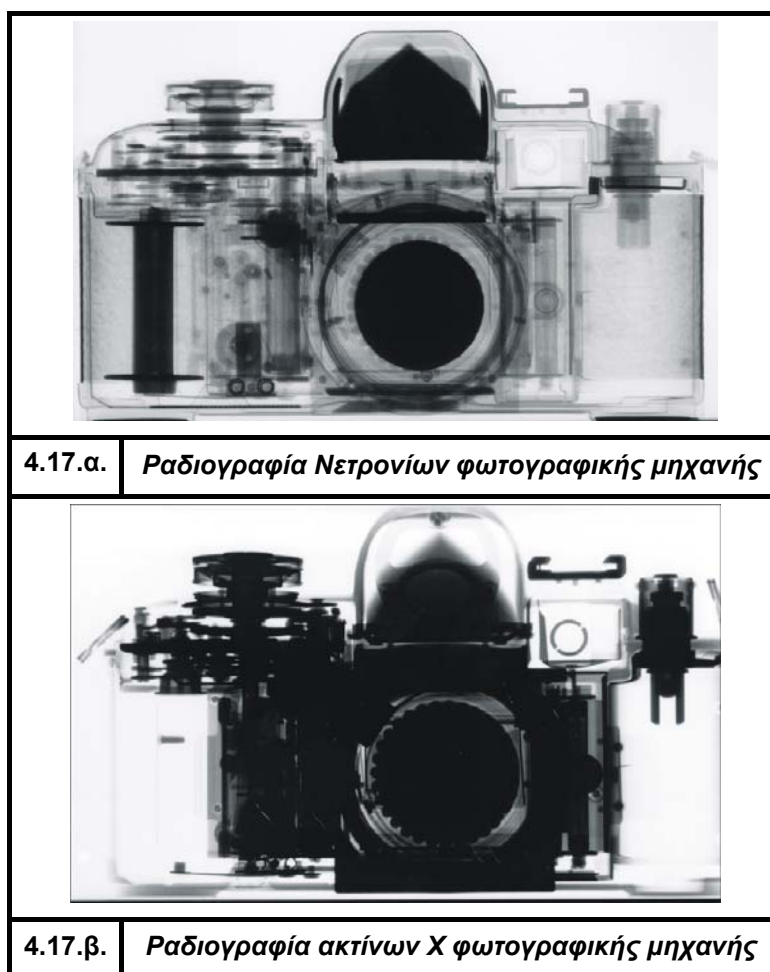
Τα νετρόνια που χρησιμοποιούνται για την ραδιογραφία νετρονίων έχουν μήκη κύματος 1-4 angstroms ενώ το ορατό φως είναι μήκους κύματος από 3800 έως 7500 angstroms. Αυτό επιτρέπει να δημιουργηθούν αναλύσεις 1000 φορές μεγαλύτερες και επιτρέπει να καθοριστούν ακόμη και οι θέσεις των ατόμων εντός του υπό εξέταση υλικού. Παρόλα αυτά η τελική ανάλυση περιορίζεται από τη μέθοδο που χρησιμοποιείται για να αναπαραχθεί η εικόνα της ραδιογραφίας νετρονίων.

4.7.2. Εξοπλισμός

Περίληπτικά ο εξοπλισμός που απαιτείται για την ραδιογραφία νετρονίων αποτελείται από μια συσκευή παραγωγής ακτίνων νετρονίων και από μια συσκευή καταγραφής της ραδιογραφίας που θα δημιουργηθεί. Στις σταθερές εγκαταστάσεις ραδιογραφίας νετρονίων, οι πηγές νετρονίων είναι συνήθως αντιδραστήρες διάσπασης ή επιταχυντές, συμπεριλαμβανομένων των πηγών νετρονίων. Σε όλες αυτές τις πηγές, τα νετρόνια παράγονται με υψηλές αρχικές ενέργειες, μεταξύ 2MeV (μέση τιμή στους πυρηνικούς αντιδραστήρες) και 100MeV (στις πηγές νετρονίων). Λόγω της χαμηλής διατομής των γρήγορων νετρονίων, μερικές εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν εξαιρετικά υψηλή συγκέντρωση νετρονίων (δηλ. πυκνά δείγματα χάλυβα) μπορούν να ραδιογραφηθούν μόνο από τα λεγόμενα «γρήγορα» νετρόνια. Για άλλα υλικά η χρήση των «κρύων» νετρονίων παρέχει την καταλληλότερη τεχνική. Παρόλα αυτά, η ρήση «θερμών» νετρονίων είναι η συχνότερη τεχνική επειδή τα «θερμικά» νετρόνια παρέχουν καλές αντιθέσεις σε έναν μεγάλο αριθμό στοιχείων, και είναι ευκολότερα διαθέσιμες στις περισσότερες μεγάλες πηγές νετρονίων (σε έναν θερμικό αντιδραστήρα τα νετρόνια πρέπει να συγκρατηθούν για να διατηρήσουν τη αλυσωτή αντίδραση). Για την καταγραφή της ραδιογραφίας νετρονίων χρησιμοποιούνται συσκευές η οποίες λαμβάνουν τα νετρόνια που διαπέρασαν το υπό εξέταση υλικό και στην συνέχεια με διάφορους τρόπους καταγράφουν τα αποτελέσματα πάνω στο ραδιογραφικό φιλμ.



Στην παρακάτω εικόνα γίνεται εμφανής η διαφορά στην απεικονιστική ικανότητα συγκεκριμένων υλικών ανάλογα με το είδος ραδιογραφίας που χρησιμοποιήθηκε.



4.7.3. Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα της μεθόδου

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγάλη διεισδυτικότητα σε πλήθος διαφορετικών υλικών.
- Υψηλή αντίθεση στην αναπαράσταση λεπτών υποστρωμάτων και υλικών που περιέχουν υδρογόνο.
- Μεγάλη και ευκρινής ανάλυση σε πολύπλοκα τρισδιάστατα αντικείμενα

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Για την εκτέλεση της μεθόδου απαιτείται πυρηνικός αντιδραστήρας, ώστε να αποσπαστούν τα κατάλληλα νετρόνια
- Απαιτείται αυστηρή τήρηση των κανόνων ασφαλείας εξαιτίας της επικινδυνότητας των ακτίνων νετρονίων σε ζωντανούς ιστούς.
- Απαιτείται ακριβός και εξειδικευμένος εξοπλισμός.
- Η ποιότητα της ραδιογραφίας εξαρτάται άμεσα από το μέσο αποτύπωσης ακόμα και αν η διαδικασία της ραδιογραφίας έχει εκτελεστεί άψογα.

4.8. Ειδικές τεχνικές ραδιογράφησης

Στις ειδικές τεχνικές συγκαταλέγονται η ραδιογραφία υψηλής ταχύτητας (high speed/flash radiography), κυρίως για αντικείμενα κινούμενα με υψηλή ταχύτητα, η μικροραδιογραφία (microradiography) για πολύ λεπτά δοκίμια, που απαιτεί παρατήρηση με μικροσκόπιο, η κρυσταλλογραφία ακτίνων Χ (X Ray Crystallography), για την απεικόνιση του κρυσταλλικού πλέγματος υλικών μέσω περίθλασης των ακτίνων Χ, η στερεοραδιογραφία (Stereoradiography), που επιτρέπει στερεοσκοπική εικόνα του ραδιογραφήματος με δύο λήψεις και παρατήρηση μέσω ειδικής συσκευής (stereoscope), η ραδιογραφία κινουμένων αντικειμένων (in motion radiography), που δεν πρέπει να συγχέεται με την απλή φθοροσκοπία και η τομογραφία (tomography/laminography), εξεζητημένη μέθοδος παρατήρησης ενός μόνο επιπέδου συνήθως παράλληλου προς την ακτινοβολία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Βιομηχανική ραδιογραφία ακτίνων

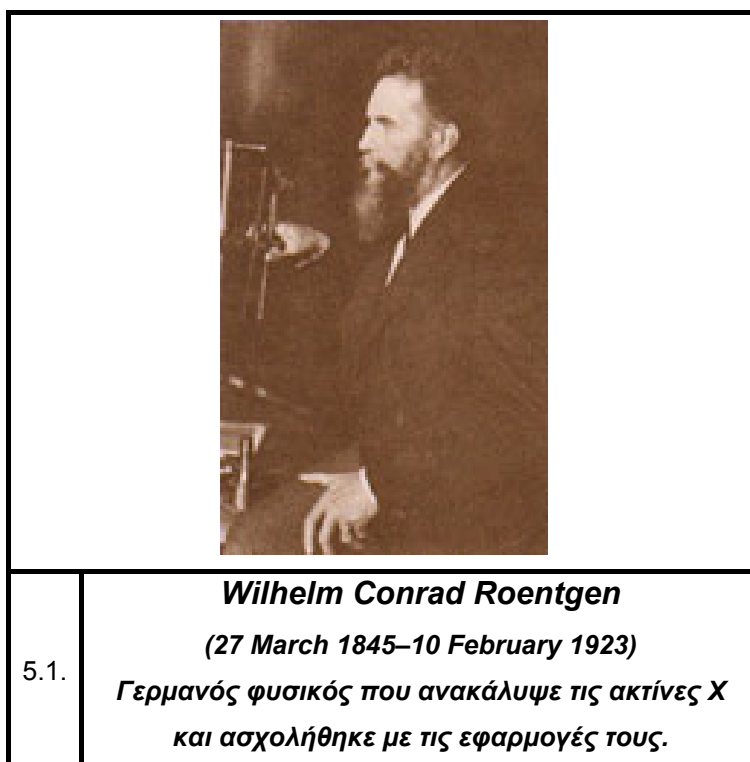
X και γ



5.1. Ιστορική αναδρομή

5.1.1. Ακτίνες Χ

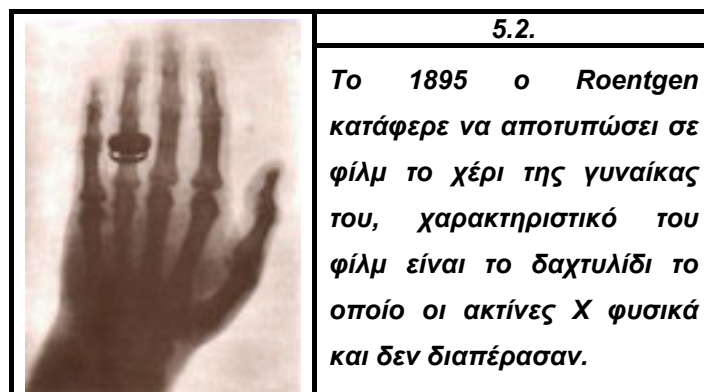
Οι ακτίνες Χ ανακαλύφθηκαν το 1895 από τον Wilhelm Conrad Roentgen (1845-1923) που ήταν καθηγητής στο πανεπιστήμιο Wuerzburg στη Γερμανία. Κάνοντας πειράματα με έναν σωλήνα καθοδικών ακτίνων στο εργαστήριό του, ο Roentgen παρατήρησε μια φθορίζουσα πυράκτωση των κρυστάλλων σε έναν πίνακα κοντά στο σωλήνα του. Ο σωλήνας του Roentgen λειτουργούσε αποτελούμενος από γυαλί (βολβός) με τα θετικά και αρνητικά ηλεκτρόδια τοποθετημένα εντός. Ο αέρας στο σωλήνα εκκενώθηκε, και όταν εφαρμόστηκε υψηλή τάση, ο σωλήνας παρήγαγε μια φθορίζουσα πυράκτωση. Στην συνέχεια ο Roentgen προστάτευσε το σωλήνα με ένα «βαρύ» μαύρο χαρτί, και ανακάλυψε ένα πράσινο φθορίζον φως που παρήχθη από ένα υλικό που βρέθηκε μερικά πόδια μακριά από το σωλήνα.



Έτσι κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ένας νέος τύπος ακτίνας εκπεμπόταν από το σωλήνα. Αυτή η ακτίνα ήταν σε θέση να διαπερνά το χαρτί που κάλυπτε τον σωλήνα και να διεγείρει φωσφορίζοντα υλικά που βρίσκονται εντός του δωματίου. Στην συνέχεια διαπίστωσε ότι αυτή η νέα ακτίνα μπορούσε να διαπεράσει μέσα από τα περισσότερα υλικά. Ο Roentgen επίσης ανακάλυψε ότι η ακτίνα μπορούσε να

περάσει και δια μέσω του ανθρώπινου ιστού, αλλά όχι τα κόκαλα και τα μεταλλικά αντικείμενα.

Σε ένα από τα πρώτα πειράματα του, ο Roentgen στα τέλη του 1895, κατάφερε να αποτυπώσει το χέρι τις συζύγου του Bertha πάνω σε φιλμ. Επίσης είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον ότι η πρώτη χρήση των ακτίνων X ήταν για μια βιομηχανική (μη ιατρική) εφαρμογή, καθώς ο Roentgen παρήγαγε μια ακτινογραφία ενός κουτιού στο εσωτερικό του οποίου βρισκόντουσαν διαφορετικές μονάδες μέτρησης βαρών.



Η ανακάλυψη του Roentgen ήταν μια επιστημονική βόμβα, πάνω στην οποία έδειξε εξαιρετικό ενδιαφέρον τόσο ο απλός κόσμος όσο και ο επιστημονικός τομέας. Πλέον οι επιστήμονες θα μπορούσαν παντού να αναπαραγάγουν το πείραμά μιας και ο καθοδικός σωλήνας ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένος κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου.

Πολλοί επιστήμονες άρχισαν να ασχολούνται με αυτές τις νέες «μυστηριώδης» ακτίνες. Οι εφημερίδες και τα περιοδικά της εποχής παρείχαν στο κοινό πολυάριθμες ιστορίες, κάποιες αληθινές, άλλες πάλι ψεύτικες, σχετικά με τις ιδιότητες των πρόσφατα ανακαλυφθέντων ακτίνων.

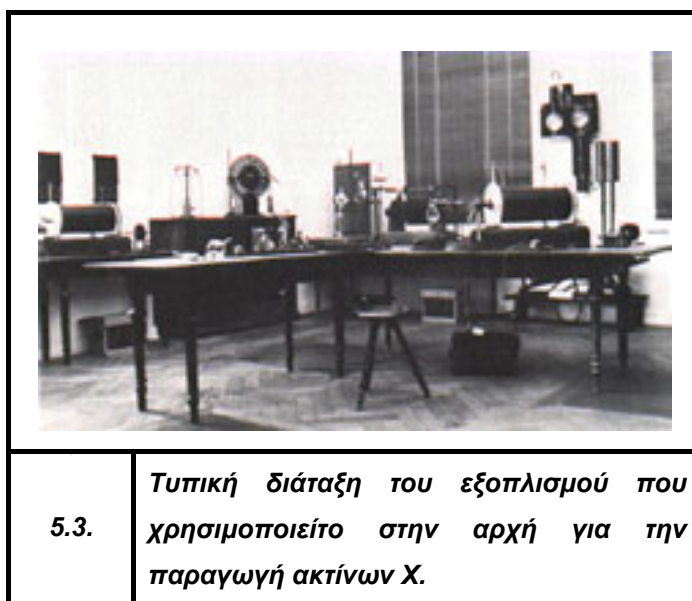
Έτσι η λαϊκή φαντασία κάλπαζε σε ότι είχε σχέση με αυτή την νέα μαγική ακτίνα που είχε την ικανότητα να διαπερνά αντικείμενα και να εμφανίζει τι κρύβουν στο εσωτερικό τους πάνω σε ένα φιλμ. Αντίθετα την επιστημονική κοινότητα την εξέπληττε το γεγονός πως υπήρχε μια ακτίνα με μήκος κύματος μικρότερο από αυτό του φωτός.

Ταυτόχρονα μεγάλος ενθουσιασμός εκδηλώθηκε από τις πιθανές εφαρμογές της ραδιογραφίας στην ιατρική. Μέσα σε έναν μήνα από την ανακοίνωση της ανακάλυψης, διάφορες ιατρικές ακτινογραφίες είχαν πραγματοποιηθεί στην Ευρώπη

και τις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν από τους χειρουργούς ώστε να διευκολυνθούν στην εργασία τους.

Τον Ιουνίου του 1896, μόνο 6 μήνες αφότου ανήγγειλε ο Roentgen την ανακάλυψή του, οι ακτίνες X χρησιμοποιούνταν ήδη από τους στρατιωτικούς ιατρούς για να εντοπίσουν σφαίρες στους πληγωμένους στρατιώτες.

Πριν από το 1912, οι ακτίνες X χρησιμοποιήθηκαν ελάχιστα στην βιομηχανία, σε αντίθεση με τα πεδία της ιατρικής και της οδοντιατρικής όπου διαδόθηκαν αμέσως, παρόλα αυτά υπήρχαν μερικές εικόνες παραγμένες από ακτίνες X για την ακτινογράφιση μετάλλων. Ο λόγος για τον οποίο οι ακτίνες X δεν χρησιμοποιήθηκαν σε βιομηχανικές εφαρμογές ήταν επειδή μέχρι τότε δεν ήταν δυνατόν να παραχθούν καθοδικοί σωλήνες που θα μπορούσαν να παράγουν αρκετά δεισδυτικές ακτίνες, άρα δεν ήταν ακόμα δυνατή η κατασκευή εξοπλισμού που θα παρήγαγε επαρκή ενέργεια για την ακτινογράφιση μετάλλων.



Εντούτοις, αυτό άλλαξε το 1913 όταν οι δημιουργήθηκαν σωλήνες κενού που σχεδιάστηκαν από τον Coolidge. Οι σωλήνες κενού ήταν μια αξιόπιστη πηγή που μπορούσε να λειτουργεί μέχρι 100.000 βολτ.

Το 1922, η βιομηχανική ακτινογραφία έκανε άλλο ένα βήμα με την εμφάνιση ενός σωλήνα ακτίνων X που λειτουργούσε στα 200.000 βολτ και επέτρεψε την ακτινογράφιση κομματιών χάλυβα μεγάλου πάχους. Το 1931, η General Electric ανέπτυξε γεννήτριες ακτίνων X της τάξεως των 1.000.000 βολτ, παρέχοντας έτσι ένα αποτελεσματικό εργαλείο για την βιομηχανική ακτινογραφία.

5.1.2. Ακτίνες Γάμα

Αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων Χ, μια άλλη μορφή διεισδυτικών ακτίνων ανακαλύφθηκε. Το 1896, ο γάλλος επιστήμονας Henri Becquerel ανακάλυψε την ραδιενέργεια που εκλύεται με φυσικό τρόπο από διάφορα υλικά. Πολλοί επιστήμονες της περιόδου εργάζονταν με τις ακτίνες καθοδικού σωλήνα, και άλλοι επιστήμονες συγκέντρωναν τα στοιχεία που έδειχνα πως το άτομο μπορεί να διαιρεθεί. Μερικές νέες έρευνες έδειξαν πως ορισμένα είδη ατόμων αποσυντίθεντο μόνα τους. Ήταν ο Henri Becquerel που ανακάλυψε αυτό το φαινόμενο ερευνώντας τις ιδιότητες φθορισμού μεταλλευμάτων.

Ο Becquerel ερευνούσε τις αρχές του φθορισμού, όπου ορισμένα μεταλλεύματα παρουσιάζουν ιδιότητες φθορισμού όταν εκτίθεται στο φως του ήλιου. Για αυτόν τον λόγο έκανε χρήση φωτογραφικών πλακών.

Ένα από τα μεταλλεύματα που εργάστηκε ο Becquerel ήταν μια ένωση ουράνιου. Μια ημέρα με αρκετή συννεφιά ώστε να εκθέσει της φωτογραφικές του πλάκες στο άμεσο ηλιακό φως, χωρίς αυτές να καταστραφούν, ο Becquerel αποθήκευσε μερικές από της πλάκες σε ένα συρτάρι. Αργότερα όταν ανέπτυξε αυτές της φωτογραφικές πλάκες, ανακάλυψε ότι είχαν θολώσει. Έτσι ο Becquerel βρέθηκε να διερωτάται τι ήταν αυτό που είχε κάνει τις πλάκες να θολώσουν.

Ήξερε ότι είχε τυλίξει τις πλάκες πριν τις χρησιμοποιήσει, οπότε η θολούρα δεν μπορούσε να αποδοθεί σε «περιπλανώμενο» φως. Επιπλέον, παρατήρησε ότι μόνο οι πλάκες που ήταν στο συρτάρι με την ένωση ουράνιου θολώθηκαν. Έτσι ο Becquerel κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η ένωση ουράνιου εξέπεμπε έναν τύπο ακτινοβολίας που θα μπορούσε να διαπεράσει το χαρτί και έτσι να δημιουργήσει θολούρα στις φωτογραφικές πλάκες.

Ο Becquerel συνέχισε να εξετάζει τα δείγματα των ενώσεων ουράνιου και καθόρισε ότι η πηγή ακτινοβολίας ήταν το ουράνιο. Η ανακάλυψη του Becquerel πέρασε, αντίθετα από αυτήν των ακτίνων Χ, απαρατήρητη από τους επιστήμονες και τον απλό κόσμο. Σχετικά λίγοι επιστήμονες ενδιαφέρθηκαν για τα συμπεράσματα του Becquerel. Πριν από την ανακάλυψη του ραδίου από τους Curie δύο χρόνια αργότερα δεν είχε εκδηλωθεί ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις ανακαλύψεις του Becquerel.

Εργαζόμενος στη Γαλλία παράλληλα με την ανακάλυψη του Becquerel, ο πολωνός επιστήμονας Curie εκδήλωσε μεγάλο ενδιαφέρον για τις ανακαλύψεις του Becquerel. Υποψιάστηκε ότι ένα μέταλλευμα ουρανίου γνωστό ως πισσουρανίτης περιλαμβάνει και άλλα ραδιενεργά στοιχεία.

Το 1898, οι Curie ανακάλυψαν ένα άλλο ραδιενεργό στοιχείο στον πισσουρανίτη, και το ονόμασαν «πολώνιο» προς τιμή της πατρίδας τους της Πολωνίας. Αργότερα τον ίδιο χρόνο, οι Curie ανακάλυψαν ένα άλλο ραδιενεργό στοιχείο που το ονόμασαν ράδιο. Τόσο το πολώνιο όσο και το ράδιο ήταν περισσότερο ραδιενεργά από το ουράνιο. Έπειτα από αυτές τις ανακαλύψεις, πολλά άλλα ραδιενεργά στοιχεία έχουν ανακαλυφθεί ή έχουν παραχθεί με τεχνητό τρόπο.

Το ράδιο αποτέλεσε την αρχική βιομηχανική πηγή ακτίνων γάμμα. Κατά τη διάρκεια του Δεύτερου Παγκόσμιου Πολέμου, η βιομηχανική ακτινογραφία διαδόθηκε σαν αντικείμενο ως τμήμα του προγράμματος ναυπηγικής του πολεμικού ναυτικού.

Το 1946, πηγές ακτίνων γάμμα όπως το κοβάλτιο και το ιρίδιο είχαν ήδη παραχθεί. Αυτές οι νέες πηγές ήταν πολύ ισχυρότερες από το ράδιο και ταυτόχρονα ήταν φθηνότερες. Αυτές οι ακτίνες αντικατέστησαν γρήγορα το ράδιο, και η χρήση των ακτίνων γάμμα αυξήθηκε στη βιομηχανική ακτινογραφία.

5.1.3. Ακτινοπροστασία

Η επιστήμη της ακτινοπροστασίας δημιουργήθηκε και αναπτύχθηκε παράλληλα με τις ανακαλύψεις που τελέστηκαν στα πεδία των ακτίνων X και των ραδιενεργών υλικών τα τελευταία χρόνια του 19^{ου} αιώνα. Τα πρώτα χρόνια της ανακάλυψης των ακτίνων X οι επιστήμονες και οι φυσικοί πραγματοποιούσαν τα πειράματά τους χωρίς να γνωρίζουν τους πιθανούς κινδύνους και τα αποτελέσματά τους. Κάτι τέτοιο ήταν απολύτως φυσικό αφού δεν υπήρχε παλαιότερη γνώση πάνω σε τέτοια θέματα, καθώς επίσης, για τους τότε επιστήμονες, ήταν αδιανόητο πως μια ακτινοβολία με μήκος κύματος μικρότερο από αυτό του φωτός που δεν προκαλούσε πόνο κατά την έκθεση σε αυτή θα μπορούσε να έχει αρνητικές παρενέργειες. Υπήρχαν δε και απόψεις πως οι ακτίνες X μπορούσαν να έχουν θετικά αποτελέσματα για το ανθρώπινο σώμα.

Αναπόφευκτα η μεγάλη διάδοση και χρήση χωρίς μέτρα ασφαλείας των ακτίνων X είχε ως αποτέλεσμα να υπάρξουν πολλοί τραυματισμοί και ανεπιθύμητες

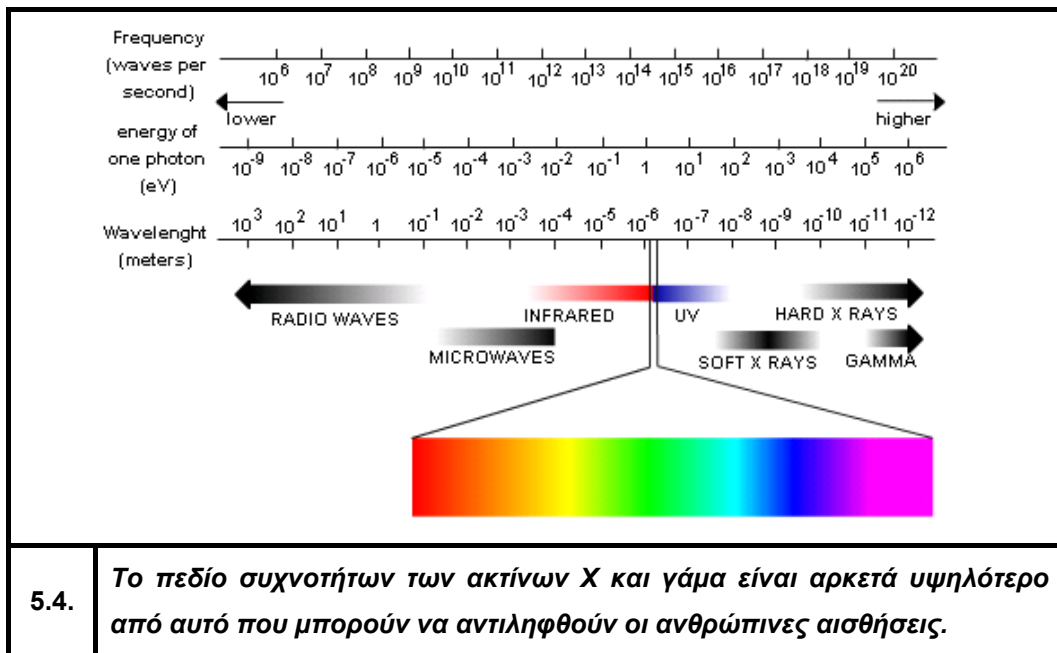
παρενέργειες. Αλλά όπως ήταν επόμενο και λόγω της άγνοιας που επικρατούσε την εποχή, αυτές οι παρενέργειες και τραυματισμοί δεν αποδίδονταν στις ακτίνες X αφού κανείς δεν τις υποπτεύονταν. Οι πρώτες προειδοποιήσεις για πιθανές αρνητικές παρενέργειες από την χρήση των ακτίνων X καταγράφηκαν από τους Thomas Edison, William J. Morton, και Nikola Tesla οι οποίοι έκαναν λόγω για ενοχλήσεις στα μάτια μετά από πειράματά τους με ακτίνες X και διάφορες φθορίζουσες ουσίες.

Την σημερινή εποχή όμως τα πράγματα δεν είναι έτσι αφού η ραδιενέργεια θεωρείται ιδιαίτερα επιβλαβείς και είναι αποδεδειγμένο επιστημονικά πως μπορεί να προκαλέσει θάνατο. Παρόλο που το πεδίο διερεύνησης παραμένει ευρύ πολλά έχουν ανακαλυφθεί και μελετηθεί σχετικά με τις καταστροφικές δυνατότητες της ραδιενέργειας σε μοριακό, κυτταρικό και οργανικό επίπεδο. Μέσα από αυτή την γνώση και τις πληροφορίες που έχουν συγκεντρωθεί με τα χρόνια, έχουν οριστεί τυποποιήσεις και κώδικες οι οποίοι ορίζουν ανεκτά επίπεδα ραδιενέργειας για τις διάφορες χρήσεις της.

5.2. Φυσική της μεθόδου

5.2.1. Φύση και ιδιότητες της ραδιενέργειας

Οι ακτίνες γάμα διαφέρουν από τις ακτίνες X μόνο στο γεγονός πως δημιουργήθηκαν από διαφορετικές πηγές. Οι ακτίνες X παράγονται από μια γεννήτρια ακτίνων X ενώ οι ακτίνες γάμα παράγονται από ραδιοϊσότοπα υλικά. Ανήκουν και οι δύο στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Πιο συγκεκριμένα οι ακτίνες X και γάμα είναι κυματομορφές όπως το ορατό φως, τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα, οπότε τις ακτίνες X και γάμα δεν μπορούμε ούτε να της δούμε με το ανθρώπινο μάτι ούτε να νιώσουμε άμεσα την επίδρασή τους πάνω μας, αλλά ούτε και να τις ακούσουμε. Συνήθως οι ακτίνες X ή γάμα «ταξιδεύουν» σε ευθεία γραμμή και δεν επηρεάζονται από ηλεκτρομαγνητικά πεδία. Παρόλα αυτά πρέπει να σημειώσουμε εδώ πως μπορούν να σκεδαστούν με τρόπο παρόμοιο με αυτό που σκεδάζετε το ορατό φως.

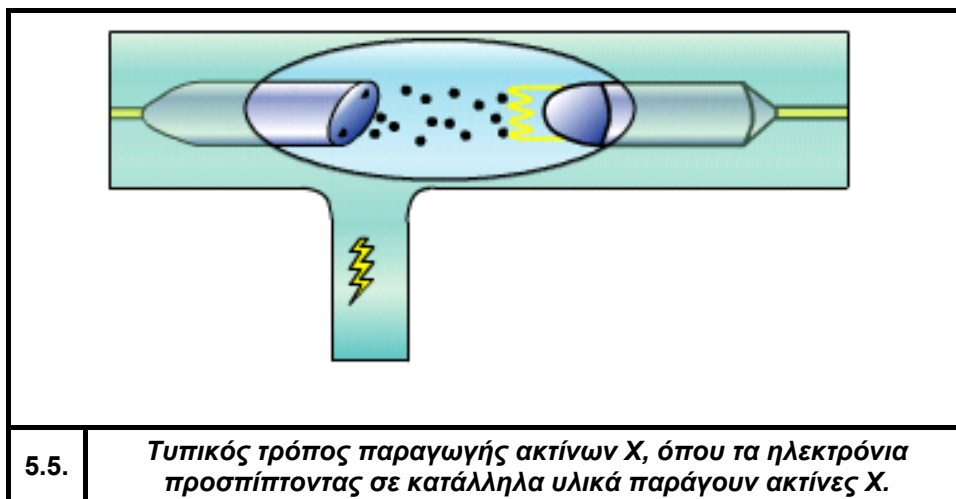


Χαρακτηριστικά των ακτίνων X και γάμα είναι η συχνότητα, το μήκος κύματος και η ταχύτητα. Επίσης πρέπει να αναφέρουμε πως δρουν ορισμένες φορές σαν μικροσωματίδια και τότε ονομάζονται φωτόνια. Λόγω του γεγονότος πως διαθέτουν μικρό μήκος κύματος μπορούν και μεταφέρουν μεγαλύτερα ποσά ενέργειας μέσω της ύλης σε σχέση με άλλες ακτινοβολίες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έτσι οι ακτίνες καθώς διαπερνούν κάποιο υλικό σκεδάζονται, απορροφώνται από αυτό και ένα μέρος καταφέρνει να διαπεράσει εξ ολοκλήρου το υλικό, βέβαια όλα αυτά εξαρτώνται άμεσα από την φύση του υλικού και από τα επίπεδα ενέργειας της ακτίνας. Ορισμένες βασικές ιδιότητες των ακτίνων X και των ακτίνων γάμα είναι οι ακόλουθες :

- Δεν εντοπίζονται από τις ανθρώπινες αισθήσεις.
- «Ταξιδεύουν» σε ευθείες γραμμές με την ταχύτητα του φωτός.
- Η πορεία τους δεν αλλάζει από κάποιο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο.
- Μπορούν να σκεδαστούν όπως το ορατό φως όταν περνούν από ένα υλικό σε κάποιο άλλο.
- Ο βαθμός διεισδυτικότητας τους εξαρτάται από το επίπεδο της ενέργειας τους και από τη φύση του υλικού που διεισδύουν.
- Διαθέτουν επαρκή ενέργεια ώστε να προκαλέσουν φαινόμενα ιονισμού στην ύλη αλλά και να καταστρέψουν κύτταρα οργανισμών.

5.2.2. Παραγωγή ακτίνων Χ

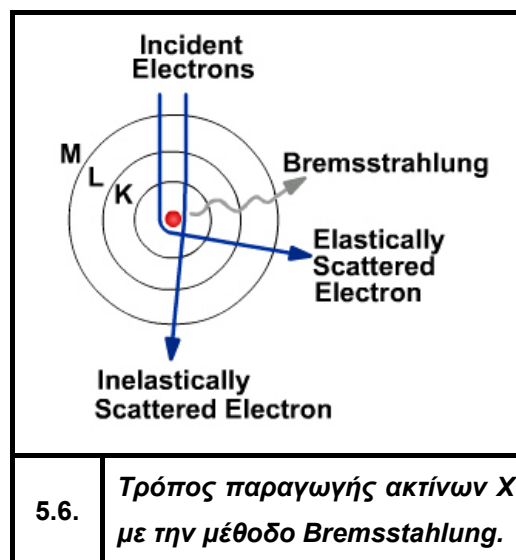
Οι ακτίνες Χ έχουν πολλές ομοιότητες με οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Δημιουργούνται από «δέματα» ενέργειας που ονομάζονται φωτόνια.



Υπάρχουν δύο διαφορετικές διαδικασίες οι οποίες μπορούν να μας δώσουν φωτόνια για την παραγωγή ακτίνων Χ :

- **Η μια μέθοδος έχει να κάνει με την διάσπαση ραδιενέργειας «Bremsstrahlung».**

Σύμφωνα με αυτή την μέθοδο οι σωλήνες παραγωγής ακτίνων Χ παράγουν φωτόνια επιταχύνοντας ηλεκτρόνια τα οποία φτάνουν σε επίπεδα ενέργειας της τάξεως των μερικών εκατοντάδων kilovolt με ταχύτητες μερικών εκατοντάδων χιλιομέτρων ανά ώρα. Στην συνέχεια αυτά τα ηλεκτρόνια προσκρούουν σε υλικά όπως είναι το βολφράμιο. Αυτή η απότομη επιτάχυνση των ηλεκτρονίων παράγει φωτόνια τύπου «Bremsstrahlung». Έτσι παράγονται ακτίνες Χ συγκεκριμένων ενεργειακών επιπέδων.



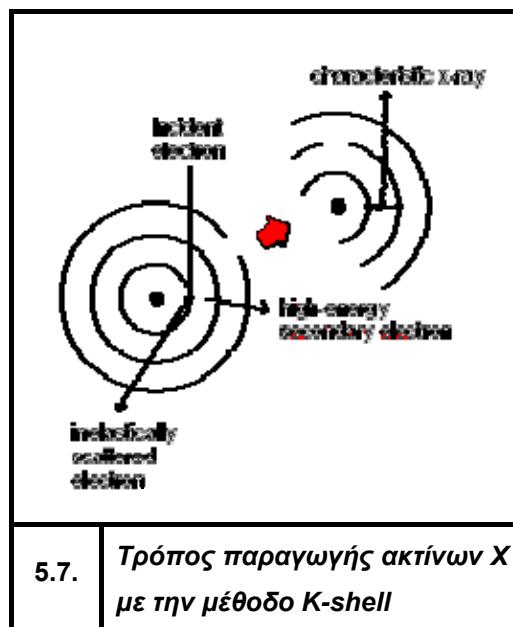
Τα φωτόνια που παράγονται μέσα στο υλικό μειώνονται καθώς περνούν μέσα από 50 μικρά του υλικού αυτού. Επίσης αυτή η δέσμη φωτονίων μειώνεται περαιτέρω

από υλικά που βρίσκονται εντός του σωλήνα όπως είναι το αλουμίνιο και το βηρύλιο. Αποτέλεσμα όλων των παραπάνω είναι η εξάλειψη φωτονίων χαμηλής ενέργειας (1-15 keV), ενώ επίσης μειώνεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Περαιτέρω φίλτρα μπορούν να μορφοποιήσουν ακόμα περισσότερο τις παραγόμενες ακτίνες X.

➤ **Η δεύτερη μέθοδος ονομάζεται K-shell emission.**

Όπως όλοι γνωρίζουμε τα ηλεκτρόνια ενός ατόμου είναι κατανομημένα σε κάποιες στιβάδες ηλεκτρονίων με διαφορετικά επίπεδα ραδιενέργειας. Η K-shell είναι η χαμηλότερη ενέργεια στην οποία μπορεί να βρεθεί ένα άτομο. Ένα διερχόμενο ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταφέρει αρκετή ενέργεια ώστε να αλλάξει τα επίπεδα ενέργειας του ατόμου. Με αυτό τον τρόπο παράγεται κάποιο ποσό θερμότητας.

Εν συνεχεία κάποιο ηλεκτρόνιο μπορεί να μεταφερθεί από κάποιο εξωτερική στιβάδα στην K-shell. Η ενέργεια που χάθηκε από το ηλεκτρόνιο που άλλαξε στιβάδα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή ενός φωτονίου ακτίνων X. Βέβαια αυτό έχει ως αποτέλεσμα και άλλα ηλεκτρόνια στην συνέχεια να συμπληρώνουν της κενές θέσης των ηλεκτρονίων που μετατοπίστηκαν παράγοντας έτσι και άλλα φωτόνια ακτίνων X. Εδώ πρέπει να σημειωθεί πως με αυτή την μέθοδο παράγονται εντονότερες ακτίνες X.



Και με τις δύο αυτές μεθόδους μπορεί να παραχθεί ραδιενέργεια ακτίνων X από τα βαριά άτομα βολφραμίου. Επίσης συνήθως η άνοδο ενός σωλήνα παραγωγής ακτίνων X είναι κατασκευασμένη από βολφράμιο.

5.2.3. Παραγωγή ακτίνων Γάμα

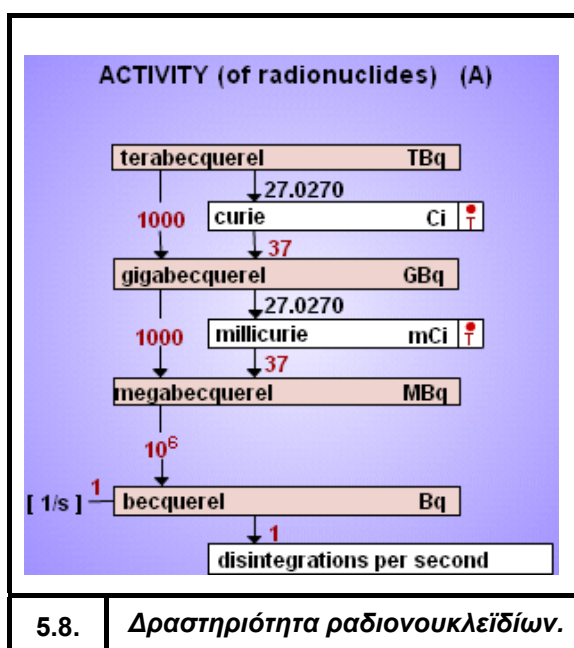
Οι ακτίνες γάμα είναι μια από τους τρεις τύπους ραδιενέργειας που παράγεται με φυσικό τρόπο, οι άλλοι δύο τύποι είναι οι ακτίνες άλφα και βήτα. Οι ακτίνες γάμα όπως και οι ακτίνες X ανήκουν στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα των ακτινοβολιών. Οι ακτίνες γάμα είναι η πιο «ενεργητική» ακτινοβολία από τις υπόλοιπες

ηλεκτρομαγνητικές ακτινοβολίες. Διαθέτει μήκος κύματος μικρότερο από το 1/10 του νανομέτρου.

Οι ακτίνες γάμα είναι προϊόν ραδιενεργών ατόμων. Κάποιο ραδιοϊσότοπο ανάλογα με την αναλογία νετρονίων και πρωτονίων στον πυρήνα του ατόμου μπορεί από σταθερό να υποπέσει σε κατάσταση αστάθειας. Ασταθές είναι ο πυρήνας ενός ατόμου στον οποίο δεν υπάρχει επαρκής ενέργεια ώστε να κρατήσει την συνοχή του πυρήνα. Άτομα με ασταθή πυρήνα αλλάζουν συνεχώς μορφή λόγω των εναλλαγών και της αστάθειας της ενέργειας. Με τον καιρό ο πυρήνας των ασταθών ισοτόπων φθείρεται μέσα από μια διαδικασία που ονομάζεται ραδιενεργός αποσύνθεση. Μέσα από αυτή την διαδικασία εκλύεται από τον πυρήνα του ατόμου και τα γύρω ηλεκτρόνια ραδιενέργεια.

5.2.3.1. Δραστηριότητα ραδιονουκλεϊδίων

Ραδιενεργή δραστηριότητα ονομάζουμε την ποσότητα που εκφράζει τον βαθμό της ραδιενέργειας ή την ικανότητα παραγωγής ραδιενέργειας ενός συγκεκριμένου ραδιενεργού υλικού. Η μονάδα μέτρηση curie (προς τιμή των επιστημόνων) ορίστηκε ως εκείνο το ποσό οποιουδήποτε ραδιενεργού υλικού που αποσυντίθεται στον ίδιο ρυθμό με ένα γραμμάριο καθαρού ραδίου. Πιο συγκεκριμένα η μονάδα μέτρησης curie ορίστηκε ως η ποσότητα ενός ραδιενεργού υλικού στο οποίο 3.7×10^{10} άτομα αποσυντίθενται ανά δευτερόλεπτο. Η διεθνής μονάδα μέτρησης που ορίζει την ραδιενεργή δραστηριότητα είναι το Becquerel (Bq) ορίζοντας την ποσότητα του ραδιενεργού υλικού εντός της οποίας μετασχηματίζετε ένα άτομο το δευτερόλεπτο. Η ραδιενεργή δραστηριότητα ενός ραδιενεργού υλικού δεν εξαρτάται από την μάζα του υλικού αυτού. Για παράδειγμα δυο πηγές Cs-137 του ενός curie μπορεί να έχουν διαφορετική μάζα, ανάλογα με την διαφορετική αναλογία μη ραδιενεργών ατόμων που βρίσκονται στην κάθε πηγή. Η



5.8. Δραστηριότητα ραδιονουκλεϊδίων.

ραδιενεργή δραστηριότητα ορίζεται ως ο αριθμός των curies ή των becquerels ανά μονάδα μάζας ή όγκου.

Η συγκέντρωση της ραδιενεργούς δραστηριότητας, ή η σχέση ανάμεσα στην μάζα του ραδιενεργού υλικού και της δραστηριότητας του ονομάζεται «ειδική δραστηριότητα». Η συγκεκριμένη ραδιενεργός δραστηριότητα εκφράζεται ως ο αριθμός των curies ή των becquerels ανά μονάδα μάζας ή όγκου. Κάθε γραμμάριο κοβάλτιου-60 εμπεριέχει περίπου 50 curies, ενώ ένα γραμμάριο ιρίδιου-192 εμπεριέχει 350 curies. Όσο μικρότερος είναι ο χρόνος ημιζωής τόσο μικρότερο είναι το ποσό του υλικού που θα απαιτείται ώστε να παραχθεί συγκεκριμένη ραδιενεργή δραστηριότητα. Η υψηλή «συγκεκριμένη δραστηριότητα» του ιρίδιου έχει ως αποτέλεσμα μικρότερες σε μέγεθος πηγές ραδιενέργειας του εν λόγω υλικού. Αυτό επιτρέπει στους τεχνικούς μιας ραδιογραφίας να τοποθετούν την πηγή σε πιο κοντινή απόσταση με το φιλμ ενώ ταυτόχρονα βρίσκονται εντός των ορίων που απαιτείτε ώστε να τηρηθεί η σωστή γεωμετρία του ραδιογραφικού ειδώλου.

5.2.3.2. Χρόνος ημιζωής ραδιοϊσοτόπου

Κάθε ραδιονουκλεΐδιο αποσυντίθεται με τον δικό του συγκεκριμένο ρυθμό ο οποίος δεν μπορεί να μεταβληθεί με κάποιο χημικό ή φυσικό τρόπο. Για να μετρηθεί αυτή η διαδικασία αποσύνθεσης έχει ορισθεί ως μονάδας μέτρησης ο χρόνος ημιζωής. Ως χρόνος ημιζωής ορίζεται ο χρόνος που απαιτείται για την δραστηριότητα οποιουδήποτε ραδιονουκλεΐδιου να μειωθεί στο μισό της αρχικής της αξίας. Με άλλα λόγια ο χρόνος που απαιτείται ώστε να σταθεροποιηθούν τα μισά άτομα του υλικού. Ο χρόνος ημιζωής ενός ραδιενεργού υλικού μπορεί να κυμαίνεται από ορισμένα μικροδευτερόλεπτα μέχρι κάμποσα εκατομμύρια χρόνια. Για το ιρίδιο-192 ο χρόνος ημιζωής είναι 74 ημέρες ενώ για το κοβάλτιο-60 ο χρόνος ημιζωής είναι 5.3 χρόνια.

5.2.4. Ιονισμός

Μια ραδιενεργή ακτινοβολία με διεισδυτικές ικανότητες καθώς διέρχεται μέσα από κάποιο υλικό χάνει μέρος της ενέργειάς της λόγω των διαφόρων αλληλεπιδράσεων αυτής με τα άτομα του υλικού που συναντά. Ο ρυθμός με τον οποίο χάνεται η ενέργεια μιας ραδιενεργούς ακτινοβολίας έχει να κάνει με τον τύπο

και τα επίπεδα της ραδιενέργειας αλλά και με την ατομική σύνθεση του υλικού μέσα από το οποίο διέρχεται.

Επίσης μια ραδιενεργή ακτινοβολία μπορεί να χάσει μέρος της ενέργειας της λόγω της διέγερσης και του ιονισμού των ηλεκτρονίων που βρίσκονται στις εξωτερικές στοιβάδες ενός ατόμου. Τα διεγερμένα ηλεκτρόνια εκπέμπουν ενέργεια υπό την μορφή των ακτίνων X καθώς αυτά επιστρέφουν στα επίπεδα χαμηλής ενέργειας που είχαν πριν διεγερθούν, με τα παραπάνω μπορούμε να πούμε ότι περιγράφουμε τον όρο διέγερση. Ενώ με τον όρο ιονισμό αναφερόμαστε στην ολοκληρωτική απομάκρυνση ενός ηλεκτρονίου από κάποιο άτομο που προκλήθηκε από κάποιο σωματίδιο που πέρασε κοντά από το ηλεκτρόνιο και του μετέφερε μέρος της ενέργειας του. Για τον καθορισμό της περιγραφής του φαινομένου του ιονισμού χρησιμοποιείται ο όρος «ειδικός ιονισμός», αυτός ορίζεται ως ο αριθμός ιονισμένων ζευγαριών που διαμορφώνονται ανά μήκος μονάδας για έναν δεδομένο τύπο ακτινοβολίας.

Οι ακτίνες γάμα και οι ακτίνες X αλλά και τα νετρόνια μπορούν και προκαλούν ιονισμό στην ύλη, όχι όμως άμεσα όπως κάνουν τα σωματίδια ακτινοβολίας άλφα και βήτα. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διέρχεται μέσα από την ύλη μέχρι κάποια στιγμή να αλληλεπιδράσει με κάποιο σωματίδιο της ύλης. Αν αυτό το σωματίδιο είναι κάποιο ηλεκτρόνιο, τότε αυτό μπορεί να απορροφήσει αρκετή ενέργεια ώστε να ιονιστεί, και το ίδιο ηλεκτρόνιο με την σειρά του προκαλεί περαιτέρω ιονισμό από άμεσες αλληλεπιδράσεις με άλλα ηλεκτρόνια. Αποτέλεσμα των παραπάνω είναι πως οι ραδιενεργές ακτινοβολίες μη άμεσου ιονισμού μπορούν να προκαλέσουν την απελευθέρωση ιονισμένων σωματιδίων(ηλεκτρόνια) αρκετά βαθιά μέσα στο υλικό. Επειδή αυτές οι «ουδέτερες» ακτινοβολίες στηρίζονται στην τυχαία αλληλεπίδραση με την ύλη, μειώνονται εκθετικά και όχι σταδιακά. Με άλλα λόγια μια δεδομένη ακτίνα γάμμα έχει καθορισμένη πιθανότητα διείσδυσης διαμέσου κάποιου υλικού.

5.2.5. Απορρόφηση των ακτίνων X & Γάμα

Οι ακτίνες X και γ απορροφώνται από την ύλη που διασχίζουν κατά την ακόλουθη εξίσωση : $I_t = I_0 \cdot \exp(-\mu \cdot t)$, είτε $I_t = I_0 \cdot X \cdot e^{(-\mu \cdot t)}$, όπου I_t η ένταση της εξερχόμενης ακτινοβολίας, I_0 η ένταση της προσπίπτουσας, t το πάχος του υλικού και μ ο συντελεστής γραμμικής απορρόφησης (σταθερός για δεδομένο μήκος κύματος, ατομικό αριθμό υλικού και πυκνότητα του υλικού).

Ο νόμος της απορρόφησης είναι εκθετικός, που σημαίνει ότι μικρή διαφορά πάχους στο ραδιογραφούμενο αντικείμενο μπορεί να δώσει σημαντική διαφορά στην ένταση της εξερχόμενης ακτινοβολίας. Αυτό το γεγονός σε συνδυασμό με την ευθεία μετάδοση της ακτινοβολίας, καθιστά δυνατή την μέθοδο της ραδιογραφίας.

Επομένως η ραδιογραφική εικόνα μπορεί να δείξει διαφορές πάχους είτε ύπαρξη διαφορετικού υλικού κατά την διεύθυνση και μόνο της ακτινοβολίας.

Αυτό καθιστά την μέθοδο εξαιρετικά ευαίσθητη σε τρισδιάστατα(ογκομετρικά) σφάλματα υλικών(π.χ. πόροι/αέρια, εγκλείσματα/ξένες ύλες, διακενώσεις/κενό) αλλά και στην περίπτωση επίπεδων σφαλμάτων που η διεύθυνση τους δεν αποκλίνει σημαντικά από την διεύθυνση της ακτινοβολίας (π.χ. ατελής τήξη συγκόλλησης και ρωγμές κατάλληλου προσανατολισμού).

Η μέθοδος όμως είναι προβληματική στην περίπτωση επίπεδων σφαλμάτων (πρακτικά πάνω από 8 μοίρες) από την διεύθυνση της ακτινοβολίας.

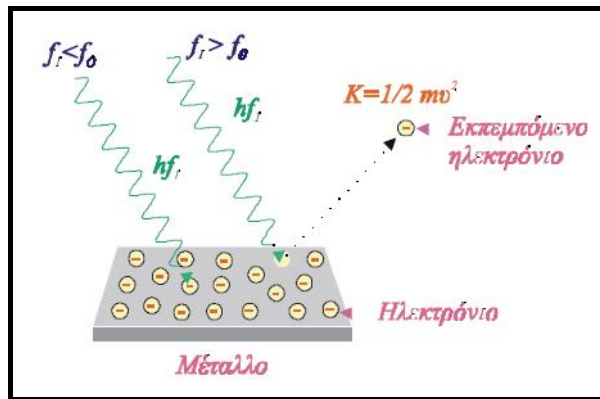
Μια σημαντική επομένως «παρεξήγηση» είναι η προτίμηση της χρήσης της ραδιογραφίας για ανεύρεση ατελούς τήξης συγκολλήσεων(σε αυτή την περίπτωση ενδείκνυται ο υπέρηχος) αλλά και ρηγμάτων(σε αυτή την περίπτωση συνίσταται είτε υπέρηχος είτε μαγνητικά σωματίδια και διεισδυτικά υγρά για επιφανειακές ρωγμές).

5.2.6. Το φαινόμενο της σκέδασης

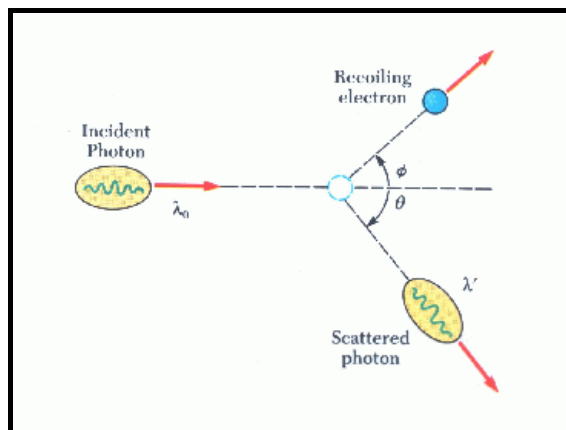
5.2.6.1. Σκέδαση των ακτίνων X & γάμα

Οι ακτίνες X και γάμα καθώς διασχίζουν την ύλη, απορροφώνται προκαλώντας ένα ή περισσότερα από τα παρακάτω φαινόμενα :

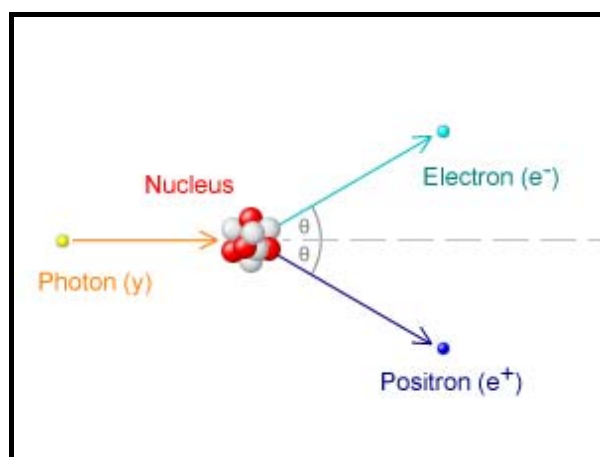
- Φωτοηλεκτρικό φαινόμενο ή αλλιώς φωτοηλεκτρική απορρόφηση. Εμφανίζεται σε ακτίνες χαμηλής ενέργειας.



- Σκέδαση ή αλλιώς φαινόμενο Compton. Απορροφάται ένα φωτόνιο και εκπέμπεται ένα φωτόνιο μικρότερης ενέργειας και ένα ηλεκτρόνιο. Εμφανίζεται σε ακτίνες μέσης ενέργειας και η δευτερογενής ακτινοβολία έχει διεύθυνση διαφορετική από την προσπίπτουσα.



- Δίδυμη γένεση ή αλλιώς παραγωγή ζευγών. Παρουσιάζεται σε ακτίνες υψηλής ενέργειας και η απορρόφηση ενός ποζιτρονίου (ίδιο σωματίδιο με το ηλεκτρόνιο αλλά με θετικό φορτίο). Τα εκπεμπόμενα ποζιτρόνια σχεδόν ακαριαία αντιδρούν με άλλα ηλεκτρόνια και αλληλοεξουδετερώνονται εξαυλώνοντας παράγοντας φωτόνια.



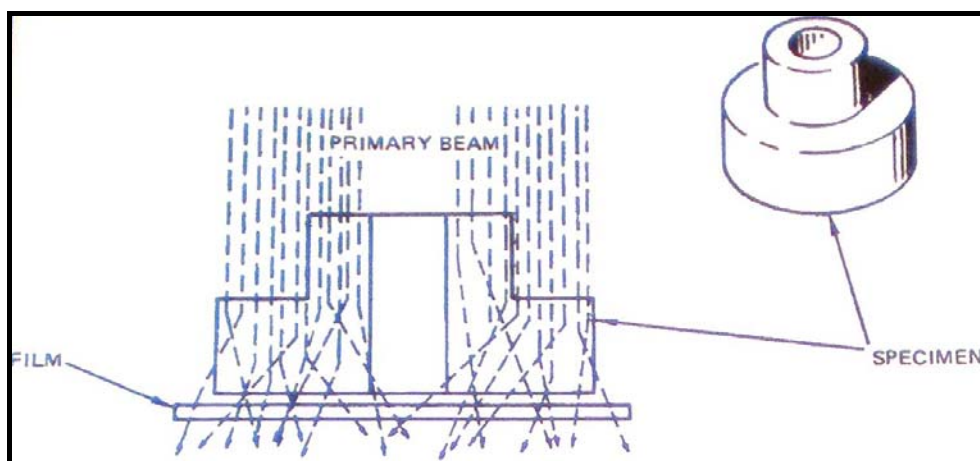
Στην βιομηχανική ραδιογραφία το συχνότερο φαινόμενο είναι το φαινόμενο Compton. Οι ανωτέρω μηχανισμοί είναι οι βασικοί μηχανισμοί απορρόφησης των ακτίνων X και γάμα από την ύλη και συνεπώς τα εξής:

- Αλλαγή της διεύθυνσης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Γι' αυτό τον λόγο ονομάζονται συνοπτικά «σκέδαση».
- Παραγωγή ιόντων λόγω της απελευθέρωσης ηλεκτρονίων από τα άτομα στα οποία προσπίπτει η αρχική ακτίνα X ή γάμα. Για αυτό τον λόγο οι ακτίνες X και γάμα ονομάζονται ιονίζουσες ακτινοβολίες. Όλα τα φαινόμενα που σχετίζονται με την ραδιογραφία έχουν να κάνουν με τον ιονισμό που προκαλούν, κατά την απορρόφηση τους από την ύλη.

5.2.6.2. Διευθύνσεις σκέδασης

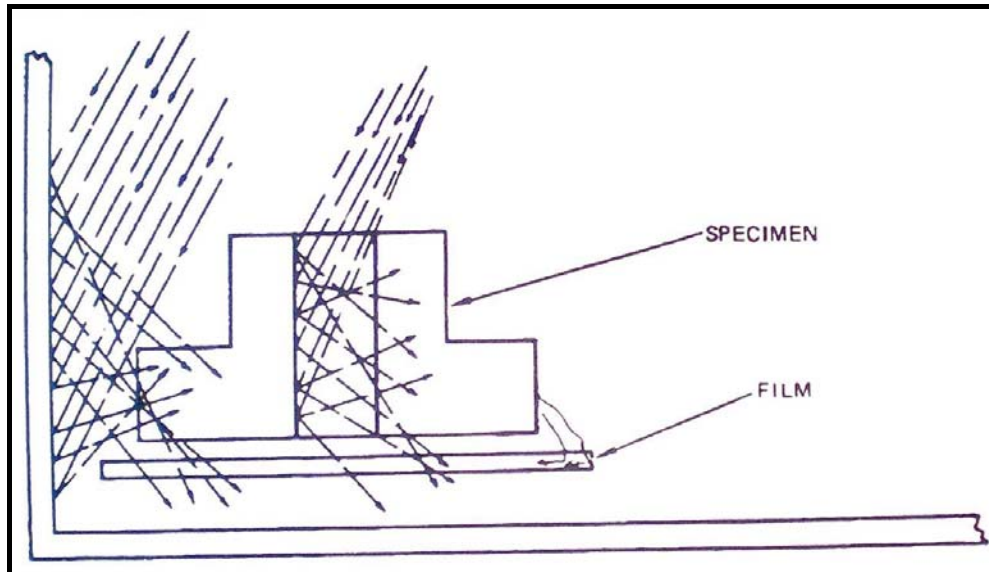
Σκεδαζόμενη ακτινοβολία μπορούμε να έχουμε από διάφορες πηγές όπως :

- Το ίδιο το ραδιογραφούμενο αντικείμενο ή ότι βρίσκεται μπροστά από το φιλμ. Ονομάζεται εσωτερική ή πρόσθια σκέδαση και προκαλεί την ελάττωση της ευκρίνειας και αντίθεσης της εικόνας, παρότι αυξάνει σημαντικά την αμαύρωση του φιλμ. Προλαμβάνεται με την τοποθέτηση φίλτρου μεταξύ πηγής και αντικειμένου και αυτό σημαίνει σκλήρυνση της ακτινοβολίας και επομένως χειρότερη αντίθεση.

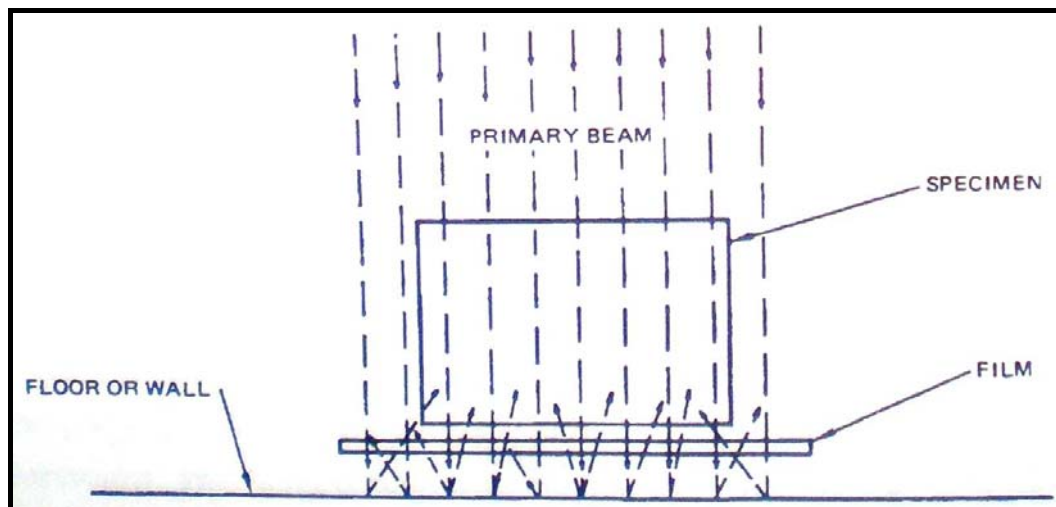


- Πλευρική σκέδαση. Προκαλείται από τους πλαϊνούς τοίχους και υλικά αλλά και από τα ίδια τα άκρα του ραδιογραφούμενου αντικειμένου. Μπορεί να χαλάσει την ευκρίνεια και αντίθεση της εικόνας, ιδιαίτερα μάλιστα εάν το φιλμ δεν είναι ακριβώς κομμένο στα μέτρα του δοκιμίου και βγαίνει έξω από αυτό.

Προλαμβάνεται τοποθετώντας σκάγια μολύβδου ή πηλό βαρίου ή χοντρά φύλλα μολύβδου γύρω από το υλικό είτε στις οπές του.



- Οπίσθια σκέδαση που προξενείται από τα υλικά πίσω από το φίλμ και είναι πολύ σημαντικός εχθρός της αντίθεσης. Οι σχετικές προδιαγραφές ορίζουν ότι πρέπει να τοποθετείται ένα μολύβδινο γράμμα Β συγκεκριμένων διαστάσεων και ιδίως πάχους(συνήθως 1,5-1,6mm τουλάχιστον και ενίοτε έως 3,2mm), πίσω από το φίλμ ή την κασέτα. Η εμφάνιση ενός φωτεινού «B» στο ραδιογράφημα σημαίνει ότι ραδιογραφήθηκε το μολύβδινο γράμμα από την αντίθετη διεύθυνση από ότι η προσπίπτουσα ακτινοβολία και επομένως η ραδιογραφία απορρίπτεται λόγω υπερβολικής οπίσθιας σκέδασης(backscatter). Προλαμβάνεται σχετικά εύκολα, με την τοποθέτηση μολύβδινου φύλλου πάχους 3-6mm πίσω από το φίλμ ή την κασέτα.



5.3. Ακτίνες Χ

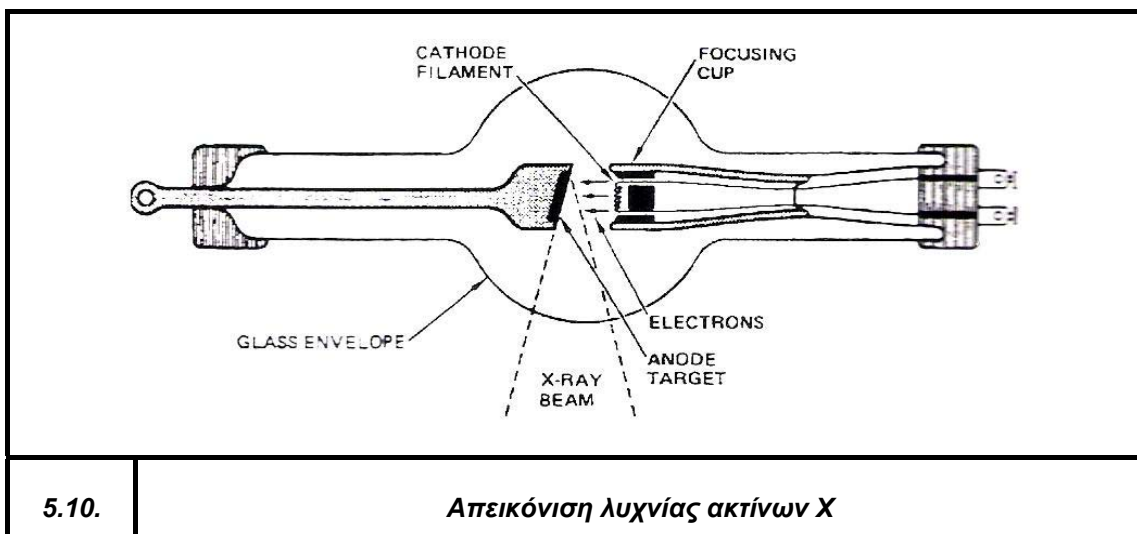
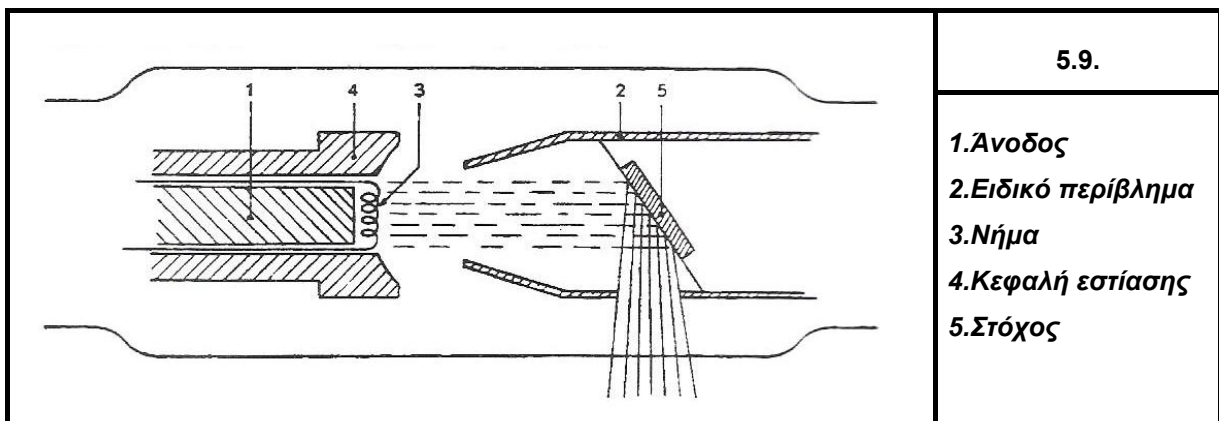
5.3.1. Σωλήνες ακτίνων Χ

Οι ακτίνες Χ παράγονται όταν ηλεκτρόνια με μεγάλη ταχύτητα προσπίπτουν σε υλικά υψηλού ατομικού αριθμού. Κατά συνέπεια. Για την παραγωγή ακτίνων σε κλασσικούς σωλήνες Χ απαιτούνται τρία πράγματα:

- I. Παραγωγή ελεύθερων ηλεκτρονίων. Αυτό επιτυγχάνεται με θέρμανση ενός νήματος βολφραμίου(filament), καθώς περνά ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από αυτό, της τάξεως μερικών ampere και τάσεως λίγων volt. Είναι όμως απαραίτητο να προσανατολιστούν τα ηλεκτρόνια προς την πλευρά του υλικού όπου θα προσπεράσουν και αυτό επιτυγχάνεται με την κεφαλή εστίασης(focusing cup), που ενεργεί σαν ηλεκτροστατικός φακός εστίασης. Το σύστημα νήματος-κεφαλής εστίασης αποτελεί την κάθοδο του σωλήνα ακτίνων Χ. Η ποσότητα των παραγόμενων ελεύθερων ηλεκτρονίων ρυθμίζεται μέσω της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που περνά από το νήμα, μέσω ενός ροοστάτη. Η ροή ηλεκτρονίων που φεύγει από την κάθοδο και οδηγείται προς το υλικό με το οποίο θα συγκρουστεί(στόχος), αντιστοιχεί σε ένα ηλεκτρικό ρεύμα (ένταση) που μετράται σε mA.
- II. Η ύπαρξη ενός «στόχου» με τον οποίο θα συγκρουστούν τα ηλεκτρόνια. Στους κλασσικούς σωλήνες ακτίνων Χ ο στόχος(άνοδος) είναι πάλι από βολφράμιο(διότι έχει μεγάλο ατομικό αριθμό και είναι δύστηκτος), παρότι ενδεχομένως χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά. Ο μικρός δίσκος βολφραμίου περιβάλλεται από χαλκό, για να επιτυγχάνεται άμεση απομάκρυνση της παραγόμενης θερμότητας, που αντιστοιχεί στο 99% της προσφερόμενης ενέργειας(άρα η απόδοση μιας λυχνίας ακτίνων Χ είναι απόδοσης της τάξεως του 1%). Η πλήρης απαγωγή της θερμότητας επιτυγχάνεται με κύκλωμα νερού ή λαδιού γύρω από τον χαλκό ή και με ρεύμα αέρα που απαγάγει θερμότητα στο μονωτικό λάδι που περιβάλλει τον σωλήνα. Ο στόχος τοποθετείται απέναντι από το νήμα της καθόδου αλλά υπό γωνία ως προς τον άξονα της λυχνίας, συνήθως 70 μοιρών. Μέρος της παραγόμενης ακτινοβολίας, μέσω κατάλληλης θωράκισης της λυχνίας, αφήνεται να περνά κάθετα προς τον άξονα της λυχνίας. Αυτό γίνεται για να επιτύχουμε προβαλλόμενο μέγεθος στόχου αρκετά μικρότερο από το πραγματικό, βελτιώνοντας έτσι την ευκρίνεια της εικόνας χωρίς να μειώσουμε την

επιφάνεια που δέχεται την παραγόμενη θερμότητα. Το προβαλλόμενο μέγεθος του στόχου βρίσκεται με την μέθοδο της κάμερας οπής καρφίτσας (pinhole camera) και ποικίλει από 1,5*1,5mm έως 6*6mm.

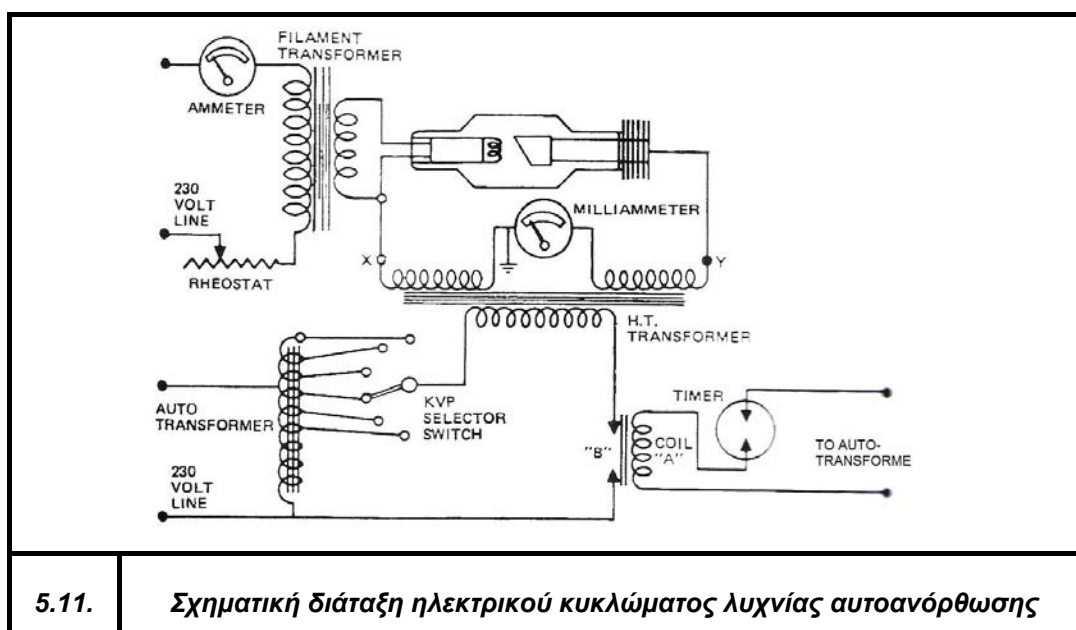
III. Επιτάχυνση (στο κενό) των ηλεκτρονίων που παράγονται στο νήμα της καθόδου, ώστε να επιτύχουμε υψηλή ταχύτητα κατά την ώρα της πρόσκρουσης με το στόχο, διότι ουσιαστικά είναι η κινητή ενέργεια των ηλεκτρονίων που θα μετατραπεί σε ενέργεια ακτινοβολίας X (και θερμότητα). Αυτό επιτυγχάνεται με την εφαρμογή υψηλής τάσης (τάξεως μερικών δεκάδων ή εκατοντάδων kV) μεταξύ της καθόδου (αρνητικό ηλεκτρόδιο) και στόχου ανόδου/καθόδου (θετικό ηλεκτρόδιο). Όσο μεγαλύτερη είναι η τάση αυτή, τόσο περισσότερο επιταχύνονται τα ηλεκτρόνια, άρα έχουμε παραγωγή ακτίνων X και μικρότερων μηκών κύματος αλλά και δραστική αύξηση της ποσότητας (έντασης) της παραγόμενης ακτινοβολίας. Αντίθετα η αύξηση των mA δεν επηρεάζει τα παραγόμενα μήκη κύματος, αυξάνει όμως κατά ένα βαθμό την ένταση της παραγόμενης ακτινοβολίας.



5.3.2. Ηλεκτρικό κύκλωμα της λυχνίας ακτίνων X

Το ηλεκτρικό κύκλωμα της λυχνίας αποτελείται κυρίως από ένα αυτο-μετασχηματιστή(auto-transformer), ένα μετασχηματιστή υψηλής τάσης(step-up) και έναν χαμηλής τάσης(step-down). Η τροφοδοσία γίνεται με εναλλασσόμενο μονοφασικό ρεύμα 110/220 Volt προς το πρωτεύον του αυτό-μετασχηματιστή. Ο αυτο-μετασχηματιστής είναι ένας ειδικός τύπος μετασχηματιστή που επιτρέπει την εύκολη ρύθμιση της τάσεως σε συγκεκριμένο εύρος.

Το δευτερεύον του αυτό-μετασχηματιστή τροφοδοτεί το πρωτεύον του μετασχηματιστή υψηλής τάσης. Το δευτερεύον αυτού του μετασχηματιστή τροφοδοτεί με τάση χιλιάδων Volt (kV) την λυχνία ακτίνων X, μεταξύ καθόδου και ανόδου. Η ρύθμιση των kilo Volt επιτυγχάνεται με κατάλληλη επιλογή στον αυτο-μετασχηματιστή (που μετρώνται στο δευτερεύον του αυτο-μετασχηματιστή). Το νήμα τροφοδοτείται με χαμηλή τάση (περίπου 12 Volt) από το δευτερεύον του μετασχηματιστή χαμηλής τάσης (step-down). Το πρωτεύον αυτού του μετασχηματιστή τροφοδοτείται είτε απευθείας από την εξωτερική πηγή είτε από το κύκλωμα του αυτο-μετασχηματιστή. Η ρύθμιση των mA (όταν αυτή είναι διαθέσιμη και η λυχνία δεν δίνει σταθερά mA , συνήθως 5mA), επιτυγχάνεται με ένα ρεοστάτη στο κύκλωμα τροφοδοσίας του νήματος. Τα mA μετρώνται συνήθως με ένα κατάλληλα βαθμονομημένο αμπερόμετρο στο (γειωμένο) δευτερεύον του μετασχηματιστή υψηλής τάσης (step-up transformer).



5.11.

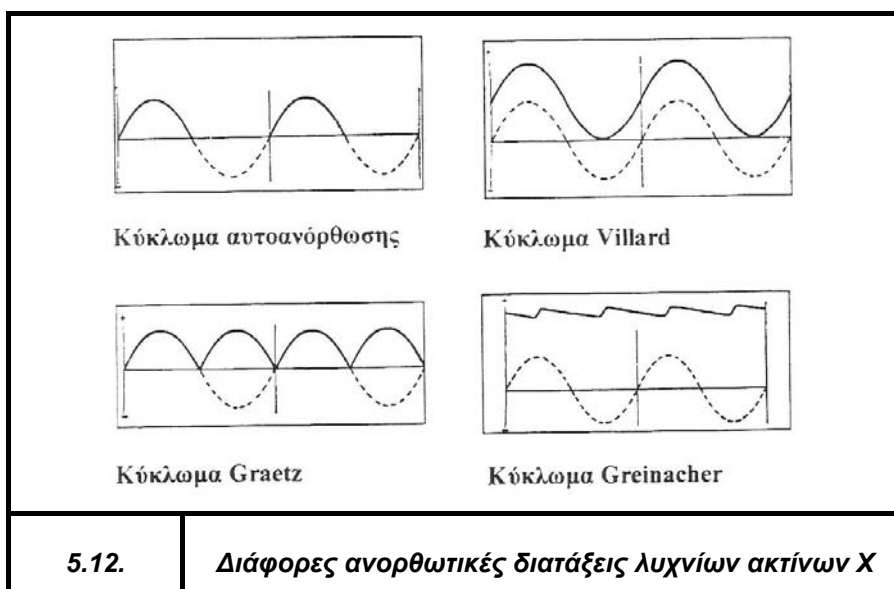
Σχηματική διάταξη ηλεκτρικού κυκλώματος λυχνίας αυτοανόρθωσης

5.3.3. Ανόρθωση του ρεύματος της λυχνίας ακτίνων Χ

Καθώς τα ηλεκτρόνια έχουν πάντοτε αρνητικό φορτίο, προκειμένου να οδηγηθούν προς τον στόχο, πρέπει αυτός να είναι συνδεδεμένος με το θετικό ηλεκτρόδιο(άνοδος). Στο κύκλωμα όμως που περιγράψαμε, η τροφοδοσία γίνεται με εναλλασσόμενο ρεύμα. Επομένως το κύκλωμα θα κλείνει μόνο στο μισό του συνολικού χρόνου(και η παραγωγή ακτίνων Χ θα γίνεται σε ακόμη μικρότερο χρόνο). Ένα παρόμοιο κύκλωμα ονομάζεται «λυχνία αυτο-ανόρθωσης» (self rectified).

Εναλλακτικά, είναι δυνατόν να τοποθετήσουμε ανορθωτική διάταξη μετά τον μετασχηματιστή υψηλής τάσης ώστε η κάθοδος και η άνοδος να τροφοδοτούνται σταθερά με (-) και (+) αντίστοιχα. Μπορούμε να έχουμε ανόρθωση μισού κύματος(half wave) (όπως και στην αυτο-ανόρθωση), πλήρους κύματος(full wave) ή πλήρη ανόρθωση και ταυτόχρονο διπλασιασμό της τάσης(κύκλωμα Villard). Στις ανωτέρω περιπτώσεις η τάση ανόδου-καθόδου ορίζεται σαν kilovolt peak(συμβολισμός kVp) και αντιστοιχεί στην μέγιστη τάση τροφοδοσίας. Ορισμένα όμως κυκλώματα ανόρθωσης επιτυγχάνουν σχεδόν σταθερή τάση ανόδου-καθόδου(μηχανές ακτίνων Χ σταθερού δυναμικού, constant potential, συνήθως μεγάλου μεγέθους και έντασης) και έχουν απόδοση πολύ μεγαλύτερη από τις προηγούμενες.

Εδώ πρέπει να σημειώσουμε ότι οι περιγραφείσες λυχνίες ακτίνων Χ είναι χαμηλής ή μέσης τάσης (5-50 και 50-400 kV αντίστοιχα) ενώ υπάρχουν και συσκευές ακτίνων Χ υψηλής (έως 1600 kV) και υπέρ υψηλής τάσης(άνω των 1600 kV).



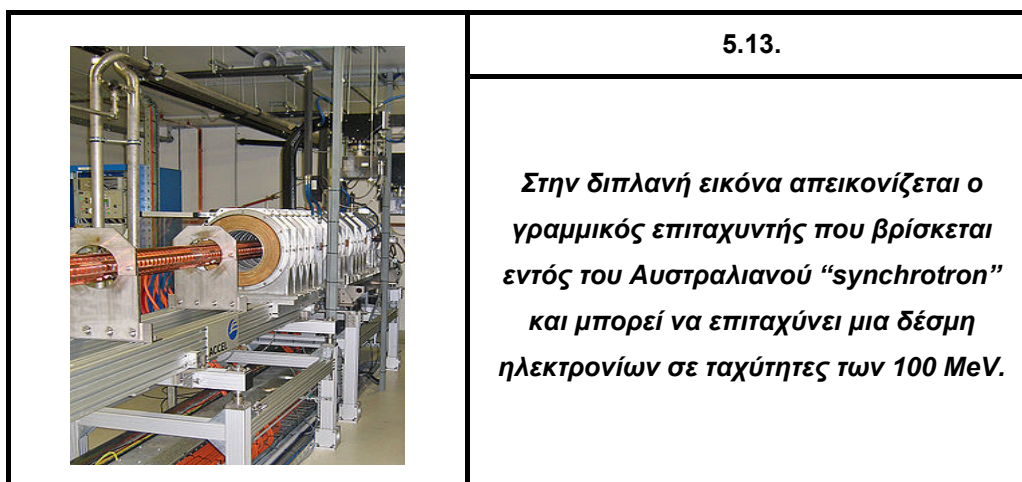
5.3.4. Χρήσεις λυχνιών ακτίνων X

Ανάλογα με το μέγιστο kiloVoltage οι λυχνίες ακτίνων X μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ραδιογράφιση των κατωτέρω υλικών :

- **50 kV** : εξαιρετικά λεπτά μέταλλα, πλαστικό, ξύλο, βιολογικά υλικά.
- **150 kV** : ελαφρά κράματα, έως 4" αλουμινίου και 1" - 1,5" χάλυβα.
- **250 kV** : 2" - 3" χάλυβα
- **400 kV** : 3" - 4" χάλυβα
- **1.000 kV** : 5" – 6" χάλυβα
- **2.000 kV** : 6" – 8" χάλυβα
- **5.000 – 30.000 kV** : (Γραμμικοί επιταχυντές, Βήτατρον) : 12" χάλυβα και άνω.

5.3.5. Άλλες συσκευές ακτίνων X

- **Γραμμικός επιταχυντής (Linear accelerator - linac)** : Παράγει ακτίνες X αντίστοιχες(σε διεισδυτική ικανότητα) 1.000 έως 2.000 kV αλλά ορισμένοι έως και 12.000 kV.



- **Βήτατρον (Betatron)** : Οι ακτίνες X αντιστοιχούν σε 1.000 έως 30.000 kV και παράγονται από ηλεκτρόνια επιταχυνόμενα σε σπειροειδή τροχιά, μέσω ισχυρών μαγνητικών πεδίων.



5.14. Στην παραπάνω φωτογραφία απεικονίζεται ο καθηγητής *Donald W. Kerst* πλάι στο πρώτο Βήτατρον που κατασκευάστηκε στο πανεπιστήμιο το Ιλινόις της Αμερικής το 1940.

Υπάρχουν ακόμη ηλεκτροστατικές συσκευές ακτίνων Χ (Van de Graaf) αλλά και επιταχυντές σωματιδίων(π.χ. πυρήνων υδρογόνου και ηλίου), που χρησιμοποιούνται σπανιότερα.

5.3.6. Φάσμα ακτίνων Χ

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα που παράγεται από της λυχνίες ακτίνων Χ εξαρτάται κατά κύριο λόγο από την τάση(kV) μεταξύ ανόδου και καθόδου. Το ελάχιστο μήκος κύματος που παράγεται δίνεται από την σχέση $\lambda_{\min}=12,35/V$ (σε Angstrom) ή $\lambda_{\min}=1,235/V$ (σε nm).

Όταν οι ακτίνες Χ παράγονται από την σύγκρουση ηλεκτρονίου και πυρήνα ατόμου του στόχου, το φαινόμενο ονομάζεται «πέδηση» (Bremsstahlung) και οδηγεί όπως έχουμε ήδη αναφέρει πιο πάνω σε παραγωγή φωτονίου συχνότητας (άρα μήκους κύματος ακτινοβολίας) ανάλογης προς της συνθήκης σύγκρουσης. Το φαινόμενο πέδησης παράγει λοιπόν ακτινοβολία διαφόρων μηκών κύματος(«μείγμα», για αυτό ονομάζεται και λευκή ακτινοβολία).

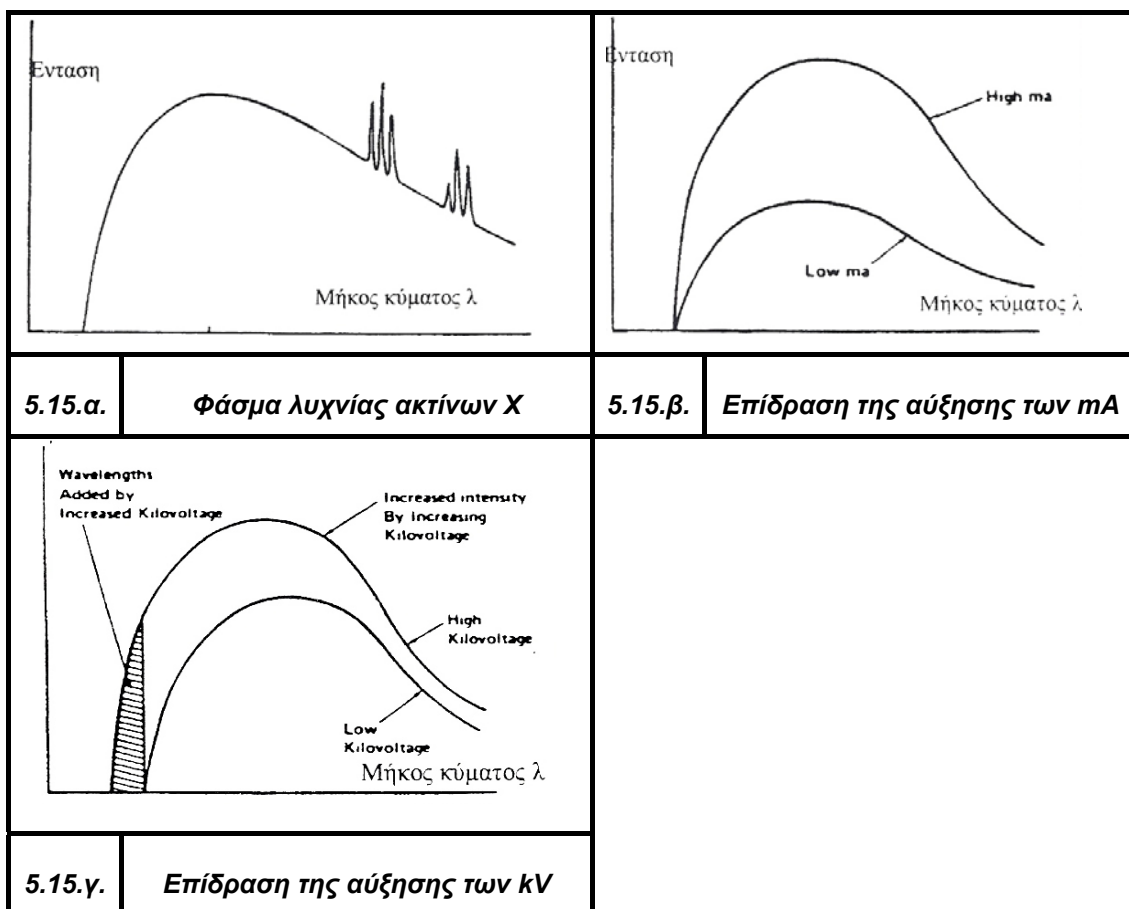
Αύξηση της τάσεως ανόδου-καθόδου προκαλεί σημαντική αύξηση της έντασης της ακτινοβολίας αλλά και προσθήκη μικρότερων μηκών κύματος (αμφότερα

λόγω αύξησης της ταχύτητας των ηλεκτρονίων). Αυτό σημαίνει και αλλαγή της «ποιότητας» (αύξηση της διεισδυτικότητας) της ακτινοβολίας.

Αύξηση του ρεύματος ηλεκτρονίων που παράγονται στην κάθοδο (αύξηση των mA) δεν έχει επίδραση στην ποιότητα(μήκη κύματος) της ακτινοβολίας, αυξάνει όμως την ένταση (όχι τόσο δραστικά όσο η αύξηση των kV).

Εκτός από το φαινόμενο πέδησης και το παραγόμενο συνεχές φάσμα, παράγονται και ακτίνες X συγκεκριμένων μηκών κύματος (χαρακτηριστική ακτινοβολία) που προέρχονται από την σύγκρουση των ηλεκτρονίων με περιφερειακά ηλεκτρόνια του ατόμου του στόχου (και άρα διέγερσή τους, με αποτέλεσμα την εκπομπή ακτινοβολίας μήκους κύματος αντίστοιχου με την τροχιακή στάθμη στην οποία βρίσκονται και ανάλογου με το υλικό του στόχου).

Η απόδοση μιας λυχνίας ακτίνων X (παραγόμενη ακτινοβολία σε σχέση με προσφερόμενη ενέργεια) αυξάνεται όσο αυξάνεται το kilo Voltage και ο ατομικός αριθμός του στόχου, είναι όμως γενικά μικρή (της τάξης του 1%).



5.4. Ακτίνες γ

5.4.1. Φυσική του ατόμου

Το άτομο αποτελεί την μικρότερη ενότητα ενός υλικού(στοιχείου), που διατηρεί τις χημικές ιδιότητες του στοιχείου. Αποτελείται από τον πυρήνα και τα περιφερειακά ηλεκτρόνια διατεταγμένα σε τροχιές συγκεκριμένης ενεργειακής στάθμης γύρω από τον πυρήνα(K-L-M-N κλπ). Κάθε ηλεκτρόνιο έχει ένα αρνητικό φορτίο.

Ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια(με ένα θετικό φορτίο το καθένα) και νετρόνια(ουδέτερα σωματίδια λίγο μεγαλύτερης μάζας από τα πρωτόνια). Τα ηλεκτρόνια βρίσκονται πολύ μακριά από τον πυρήνα(σε σχέση με τις διαστάσεις του) για αυτό το στερεό περιεχόμενο του ατόμου είναι μόνο 1% ή και πολύ λιγότερο (η ύλη, όπως και το σύμπαν είναι κατά κύριο λόγο κενό διάστημα). Ο αριθμός πρωτονίων ενός ατόμου καθορίζει και το στοιχείο. Ονομάζεται ατομικός αριθμός και συμβολίζεται με το γράμμα Z. Ο αριθμός νετρονίων και πρωτονίων μαζί καθορίζει το ισότοπο του στοιχείου, ονομάζεται μαζικός αριθμός και συμβολίζεται με A.

Το στοιχείο $1\text{H}1$ αποτελείται από ένα πρωτόνιο(και άρα ένα περιφερειακό ηλεκτρόνιο, για να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο) και 0 νετρόνια. Το στοιχείο $2\text{He}4$ αποτελείται από δύο πρωτόνια (και άρα δύο ηλεκτρόνια) και 2 νετρόνια. Τα στοιχεία στην φύση βρίσκονται συχνά σε μορφή «μείγματος» διαφόρων ισωτόπων τους (π.χ. $1\text{H}1$, $1\text{H}2$, $1\text{H}3$).

Ορισμένα φυσικά ισότοπα (συνήθως αυτά με ατομικό αριθμό μεγαλύτερο από 83 και μεγάλο αριθμό νετρονίων στον πυρήνα) είναι ασταθή (ραδιενεργά) και εκπέμπουν είτε σωματίδια(σωματιδιακή ακτινοβολία) είτε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία(ακτίνες γ), ενδεχόμενα μεταστοιχειούμενα (π.χ. το Ουράνιο καταλήγει, με ενδιάμεσα στάδια, σε Ραδόνιο). Τα ραδιενεργά υλικά ανακαλύφθηκαν το 1896 από τον Becquerel(σε φυσικά ορυκτά Ουρανίου) και μελετήθηκαν διεξοδικά από το ζεύγος Curie.

Άτομα που έχουν ηλεκτρόνια περισσότερα ή λιγότερα από τον «κανονικό» αριθμό (δηλαδή τον αριθμό πρωτονίων), δεν είναι ηλεκτρικά ουδέτερα και ονομάζονται ιόντα (αρνητικό Ιόν εάν υπάρχει περίσσεια ηλεκτρονίων, θετικό στην περίπτωση έλλειψης).

5.4.2. Σωματιδιακή ακτινοβολία

Πρόκειται για εκπομπή σωματιδίων του ατόμου είτε από ραδιενεργά στοιχεία είτε σαν αποτέλεσμα ανθρώπινου σχεδιασμού.

- **Ακτίνες α** : Πυρήνες ηλίου ($2\text{He}4$), δηλαδή πυρήνες 2 πρωτονίων και 2 νετρονίων. Είναι εξαιρετικά ιονίζουσες και επιβλαβείς, αλλά η ανθρώπινη επιδερμίδα (όπως και ένα φύλο χαρτιού) μπορεί να τις απορροφήσει.
- **Ακτίνες β** : Ηλεκτρόνια πολύ υψηλής ταχύτητας (έως 99% εκείνης του φωτός). Περισσότερο διεισδυτικές από τις ακτίνες (αλλά λιγότερο ιονίζουσες), σταματούν σε φύλλο αλουμινίου πάχους λίγων χιλιοστών ή σε μαλακό ιστό λίγων εκατοστών.
- **Ακτίνες πρωτονίων** : Τα πρωτόνια έχουν μάζα περίπου 1836 φορές μεγαλύτερη από το ηλεκτρόνιο. Προκαλούν επίσης έντονο ιονισμό και έχουν διεισδυτική ικανότητα μικρότερη από εκείνη των ακτίνων α και β.
- **Ακτίνες νετρονίων** : Παρότι δεν φέρουν ηλεκτρικό φορτίο είναι ιονίζουσα ακτινοβολία (προκαλεί ιόντα στο μέσο που διασχίζει). Πρόκειται επίσης για επικίνδυνη για τον άνθρωπο ακτινοβολία, αν και απορροφάται από ελαφρά υλικά (κυρίως υδρογονούχα).

5.4.3. Ακτινοβολία γ

Εξ ορισμού, πρόκειται για ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που εκπέμπεται από ραδιενεργά υλικά. Ακολουθεί συνήθως την εκπομπή ακτίνων α ή β και έχει υψηλή διεισδυτική ικανότητα (ανάλογη με τις ακτίνες X υψηλών και πολύ υψηλών kV) και υψηλή δράση ιονισμού στο μέσο που διαδίδεται. Η ενέργεια της ακτινοβολίας γ (όπως και των ακτίνων υψηλών kV) δίνεται σε eV. 500 keV ακτίνες γ (ή X) έχουν περίπου την ίδια διεισδυτική ικανότητα ακτίνων X τάσεως 500 kV.

5.4.4. Βιομηχανικά ισότοπα ακτίνων γ

Αν και αρχικά χρησιμοποιήθηκαν φυσικά ραδιενεργά υλικά, σήμερα χρησιμοποιούνται τεχνητά ασταθή ισότοπα, παραγόμενα με μια εκ των δύο κατωτέρων μεθόδων.

- A. Με βομβαρδισμό βαρέων πυρήνων φυσικών υλικών με νετρόνια μέσα σε πυρηνικούς αντιδραστήρες. Το ραδιενεργό ισότοπο $^{27}\text{Co}60$ παράγεται από το φυσικό μη ραδιενεργό $^{27}\text{Co}59$ (περίπου μετά από έναν χρόνο συνεχούς βομβαρδισμού) και το $\text{Ir}192$ από το επίσης φυσικό και μη ραδιενεργό $\text{Ir}191$ (μέσα σε λίγους μήνες).
- B. Με διάσπαση ραδιενεργών υλικών. Το $\text{Cs}137$ και το $\text{Tm}170$ παράγονται από την διάσπαση $\text{U}235$.

Τα ραδιενεργά υλικά κατασκευάζονται σε σφαιρίδια-pellets συνήθως κυλινδρικής μορφής με μήκος ίσο προς την διάμετρο (συχνότατα 2*2 και 4*4 mm).

5.4.5. Ιρίδιο 192

Το $\text{Ir}192$ εκπέμπει 12 χαρακτηριστικές ακτινοβολίες (12 διαφορετικά μήκη κύματος) ενέργειας 0,137 έως 0,651 MeV και άρα αντιστοιχεί σε δεισδυτική ικανότητα με ακτίνες X 500 έως 600 kV. Εκτός από ακτινοβολία γ εκπέμπει και β . Έχει ημιπερίοδο ζωής 74,3 ημέρες (πρακτικά 74) και πάχος υποδιπλασιασμού 4,8 mm μολύβδου και 48 mm σκυροδέματος (μπετόν).

Ο ρυθμός δόσης στο 1 μέτρο απόστασης από την πηγή είναι 0,55 R/Ci/h (Roentgens ανά Curie ανά Ώρα). Συνίσταται για ραδιογράφηση χάλυβα πάχους $\frac{1}{4}$ έως 3 $\frac{1}{2}$ ίντσες, αν και πολλές προδιαγραφές απαγορεύουν την χρήση του για χάλυβα πάχους μικρότερου από $\frac{3}{4}$ της ίντσας (19 mm), λόγω κακής αντίθεσης της εικόνας. Έχει πολύ υψηλή ειδική ενεργότητα (Ci/gr) και συνήθως παράγεται με αρχική ενεργότητα πηγής 50 Ci (στην Ελλάδα φτάνει έχοντας «πέσει» στα 40 Ci ή λιγότερο).

5.4.6. Κοβάλτιο 60

Το $\text{Co}60$ εκπέμπει δύο χαρακτηριστικές ακτινοβολίες ενέργειας 1,17 και 1,33 MeV (που αντιστοιχούν σε δεισδυτική ικανότητα αντίστοιχη με ακτίνες X 2.000 kV περίπου).

Η ημιπερίοδος ζωής του είναι μεγάλη 5,3 χρόνια και το πάχος υποδιπλασιασμού του είναι 12,45mm μολύβδου και 66mm σκυροδέματος. Ο ρυθμός δόσης στο 1 μέτρο είναι 1,35 R/Ci/h.

Συνίσταται για ραδιογράφιση χάλυβα πάχους 2 έως 8 ίντσες και πολλές προδιαγραφές απαγορεύουν την χρήση του για πάχη μικρότερα από 1 ½ ίντσα (38 mm), λόγω κακής αντίθεσης τη ραδιογραφικής εικόνας.

Στην Ελλάδα δεν επιτρέπεται η χρήση του από ιδιώτες για συνήθης βιομηχανικές ραδιογραφικές εφαρμογές.

5.4.7. Ενεργότητα πηγής ακτίνων γ

Ως ενεργότητα πηγής ακτίνων γ (activity) ορίζεται ο αριθμός διασπάσεων του ραδιενεργού υλικού στην μονάδα του χρόνου. Η παλιά μονάδα ήταν το Curie (Ci), που αντιστοιχεί σε $37 \cdot 10^9$ διασπάσεις ανά δευτερόλεπτο. Η μονάδα του SI είναι το Bq-Becquerel που αντιστοιχεί σε μια διάσπαση ανά δευτερόλεπτο.

5.4.8. Ειδική ενεργότητα πηγής ακτίνων γ

Είναι η ενεργότητα της πηγής ανά μονάδα μάζας του ραδιενεργού υλικού και εκφράζεται συνήθως σε Ci/gr. Μειώνεται με τον χρόνο με τον ίδιο τρόπο που μειώνεται η ενεργότητα (Ci) της πηγής (διότι η μάζα του υλικού παραμένει πρακτικά σταθερή). Από τα συνήθη ισότοπα το Ir192 παρουσιάζει την μεγαλύτερη ειδική ενεργότητα.

5.4.9. Χρόνος υποδιπλασιασμού

Το ραδιενεργό υλικό διασπάται στον χρόνο σε εκθετικό ρυθμό και ισχύει η μαθηματική έκφραση $N_t = N_0 \cdot \exp(-\lambda t)$ ή $N_t = N_0 \cdot e^{(-\lambda t)}$ όπου N_t η ενεργότητα της πηγής μετά την παρέλευση χρόνου t (από την στιγμή της αρχικής ενεργότητας N_0) και λ η σταθερά διάσπασης.

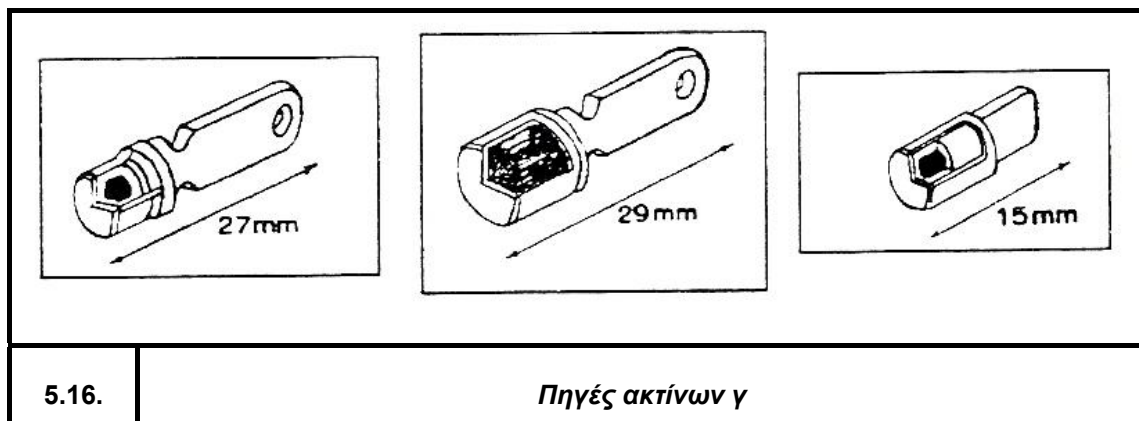
Επειδή ο νόμος είναι εκθετικός, σε κάθε σταθερό χρονικό διάστημα ο λόγος τελικής προς αρχική ενεργότητα είναι επίσης σταθερός. Έτσι προκειμένου να έχουμε υποδιπλασιασμό της ενεργότητας (κάθε φορά) απαιτείται χρονικό διάστημα ίσο με $T = 0,693/\lambda$ (όπου 0,693 ο φυσικός λογάριθμος του 2).

Ο χρόνος αυτός ονομάζεται χρόνος υποδιπλασιασμού είτε ημιπερίοδος ζωής (Half Life) και είναι ίσος με 74 περίπου ημέρες για το Ir192, 5,3 χρόνια για το Co60 και 30,1 χρόνια για Cs137.

Ο νόμος της διάσπασης στον χρόνο μπορεί να γραφεί και ως $N_0/N_t=2^{t/T}$, όπου T η ημιπερίοδος ζωής του ισοτόπου.

5.4.10. Πηγές ισοτόπων

Τα σφαιρίδια(pellet) ισοτόπου τοποθετούνται από τον προμηθευτή του ισοτόπου σε μια στεγανή κάψουλα, συνήθως από ανοξείδωτο χάλυβα. Η κάψουλα δεν παρέχει προστασία από ακτινοβολία και προκειμένου να μεταφερθεί πρέπει να τοποθετείτε μέσα σε άλλο υλικό ή δοχείο. Η κάψουλα με το σφαιρίδιο ισοτόπου ονομάζεται «Πηγή»(Source).



5.4.11. Συσκευές ακτίνων γ

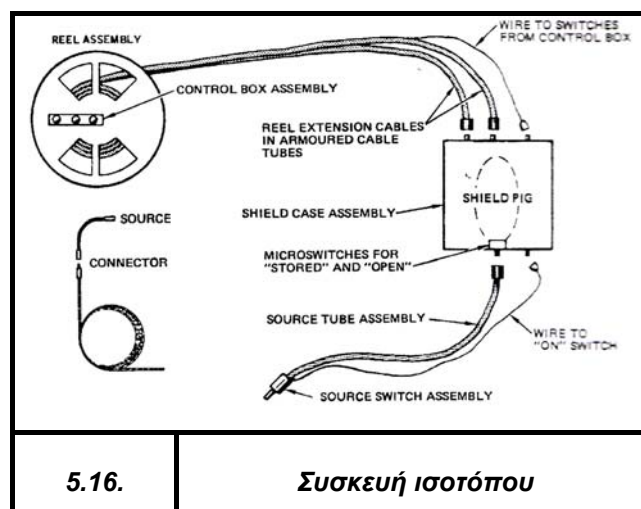
Οι συσκευές ακτίνων γ (κάμερες) πρέπει αφενός να παρέχουν ασφάλεια, εφόσον δεν χρησιμοποιούνται για ραδιογράφιση και αφετέρου να επιτρέπουν τον χειρισμό από αρκετή απόσταση.

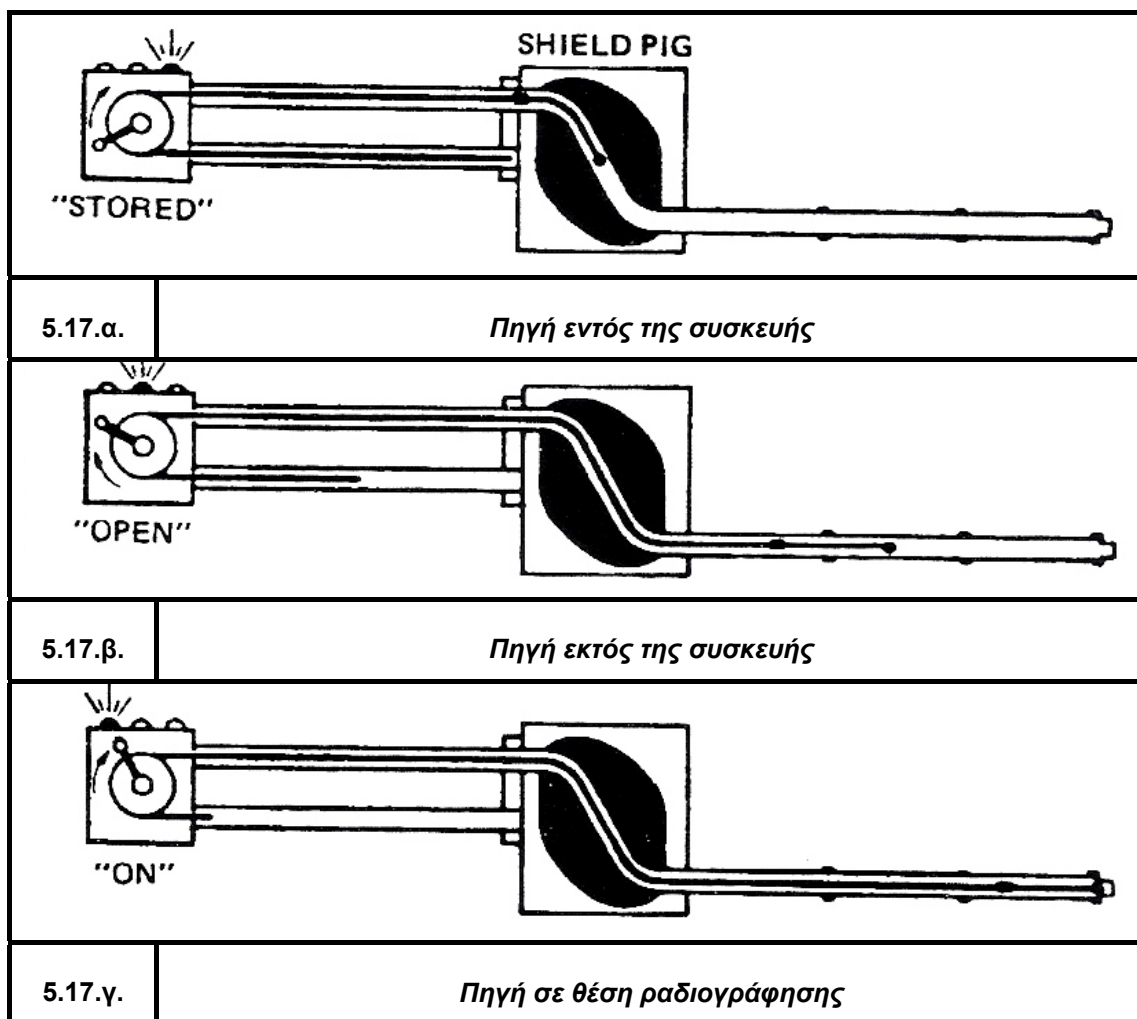
Οι συσκευές παρέχουν ασφάλεια μέσω θωράκισης με υλικό υψηλής απορρόφησης(μόλυβδος, κράμα βολφραμιού ή συνηθέστερα αδρανές ουράνιο-depleted uranium, δηλαδή ουράνιο από το οποίο έχει αφαιρεθεί σχεδόν όλο το ραδιενεργό U235 και έχει μείνει σχεδόν καθαρό U238). Το αδρανές ουράνιο είναι ελαφρά ραδιενεργό και επομένως η συσκευή εκπέμπει μια χαμηλή δόση ακτινοβολίας ακόμα και όταν δεν περιέχει πηγή ισοτόπου. Όταν περιέχεται ισότοπο στην συσκευή, ενδέχεται να επιτρέπεται ρυθμός δόσεως έως 200mR/h πάνω σε αυτήν είτε 10mR/h σε απόσταση ενός μέτρου.

Υπάρχουν τέσσερις βασικοί τύποι κάμερας ισοτόπων, ανάλογα με το πώς επιτυγχάνεται η αποκάλυψη της πηγής, ώστε να επιτραπεί η ραδιογράφιση.

- I. Συσσκευές από τις οποίες απομακρύνεται ένα μέρος της θωράκισης(μπροστά από την πηγή). Η πηγή μπορεί επίσης να βγει τελείως από την θωράκιση, ώστε να υπάρχει πανοραμική λήψη.
- II. Συσσκευές όπου ένα μέρος της θωράκισης(που περιέχει και την πηγή) απομακρύνεται από την υπόλοιπη θωράκιση και μεταφέρεται στο ακριβές σημείο έκθεσης.
- III. Συσσκευές που περιλαμβάνουν ένα άνοιγμα στην εξωτερική θωράκιση. Η πηγή είναι προσαρμοσμένη σε έναν κύλινδρο από υλικό θωράκισης που μπορεί να περιστραφεί, φέροντας την πηγή στην θέση του ανοίγματος.
- IV. Οι πλέον χρησιμοποιούμενες κάμερες είναι αυτές με εύκαμπτο καλώδιο προέκτασης, του οποίου το ένα άκρο είναι συνδεδεμένο με την πηγή και το άλλο τυλίσσεται σε ειδικό «καρούλι». Εκτυλίσσοντας το καλώδιο, απομακρύνεται η πηγή από την θωρακισμένη συσκευή και οδηγείται στο άκρο ενός σωλήνα, που έχει ήδη τοποθετηθεί στο σημείο έκθεσης. Τυλίσσοντας το καλώδιο, η πηγή επιστρέφει στην συσκευή. Εναλλακτικά, η απομάκρυνση και επιστροφή της πηγής από την συσκευή μπορεί να γίνει με πνευματικό ή ηλεκτρικό τρόπο.

Είναι απαραίτητο η συσκευή να περιλαμβάνει τουλάχιστον τρεις φωτεινές σηματοδοτήσεις, μια ως ένδειξη ότι η πηγή βρίσκεται μέσα στην συσκευή, μια ότι βρίσκεται εκτός και μια ότι βρίσκεται στο άκρο του σωλήνα. Σύγχρονες συσκευές προσφέρουν απευθείας ανάγνωση της απόστασης της πηγής από την συσκευή.





5.5. Πάχος υποδιπλασιασμού ακτίνων X και γ

Το πάχος υποδιπλασιασμού (πάχος ημίσειας τιμής, Half Value Layer) αντιστοιχεί στο πάχος ενός υλικού που χρειάζεται για να απορροφηθεί η μισή από την προσπίπτουσα ακτινοβολία.

Είναι σταθερό για κάθε μήκος κύματος και για κάθε υλικό, καθώς ο νόμος της απορρόφησης της ακτινοβολίας X και γ από την ύλη είναι εκθετικός.

Ο νόμος της απορρόφησης, εκτός από την γνωστή έκφραση $I_t = I_0 \cdot \exp(-\mu t)$, όπου μ ο συντελεστής γραμμικής απορρόφησης και t το πάχος του υλικού, μπορεί να γραφεί και ως $I_0/I_t = 2^{t/HVL}$, όπου HVL το πάχος ημίσειας τιμής του υλικού.

Για το Ir192 το πάχος ημίσειας τιμής είναι 4,82mm μολύβδου ή 48,2mm σκυροδέματος και για το Co60 αντίστοιχα 12,45mm και 66mm.

Προκειμένου για ακτίνες X, τα πάχη υποδιπλασιασμού μολύβδου και σκυροδέματος έχουν ως κατωτέρω:

- **100kV** : 0,24mm και 18mm
- **200kV** : 0,5mm και 25,4mm
- **250kV** : 0,8mm και 28mm
- **300kV** : 1,5mm και 30,5mm
- **400kV** : 2,2mm και 33mm

Το πάχος ενός υλικού που απορροφά το 1/10 από την προσπίπτουσα ακτινοβολία, καλείται «πάχος τιμής 1/10».

5.6. Σύγκριση συσκευών ακτίνων X και γ

Εφόσον το πάχος ενός υλικού βρίσκεται μέσα στο εύρος της ραδιογράφησης με την συγκεκριμένη συσκευή ακτίνων X, η ραδιογραφία ακτίνων X θα έχει πολύ μεγαλύτερη ευαισθησία(λόγω κυρίως μεγαλύτερης αντίθεσης) από την αντίστοιχη ακτίνα γ. Αντίθετα, οι ακτίνες γ(ακόμα και από Ir192) μπορούν να ραδιογραφήσουν πάχη μεγαλύτερα από ότι οι ακτίνες X, έστω και αν χρειαστεί έκθεση αρκετών ωρών προκειμένου να επιτευχθεί η απαιτούμενη πυκνότητα(αμαύρωση) του φιλμ. Οι ακτίνες γ δεν μπορούν όμως να χρησιμοποιηθούν ικανοποιητικά για ραδιογράφιση λεπτών δοκιμών χάλυβα ή λεπτών και μεσαίου πάχους δοκιμών από ελαφρά κράματα(π.χ. αλουμινίου και τιτανίου).

Οι συσκευές ακτίνων γ είναι συνήθως πολύ ελαφρότερες από τις συσκευές ακτίνων X(εκτός από ορισμένες σύγχρονες μικρές συσκευές ακτίνων X) και δεν χρειάζονται πηγή ηλεκτρισμού για να ενεργοποιηθούν.

Άρα λόγω μικρού βάρους και πλήρους αυτοδυναμίας είναι ιδανικές για εργοταξιακές χρήσεις.

Ένα ακόμα πλεονέκτημα των συσκευών ακτίνων γ είναι η δυνατότητα πανοραμικής λήψης που προσφέρουν παρότι υπάρχουν και πανοραμικές συσκευές ακτίνων X. Επίσης, αγορά μιας συσκευής ακτίνων γ σημαίνει εν γένει μικρότερη

δαπάνη από την αγορά μιας συσκευής ακτίνων Χ. Όμως, εκτός από την βασική διαφορά στην ποιότητα του ραδιογραφήματος, οι συσκευές ακτίνων Χ παρέχουν και καλύτερο έλεγχο της ραδιογράφησης.

Ελέγχουμε τα kV της συσκευής, άρα το παραγόμενο μικρότερο μήκος κύματος και επομένως την διεισδυτικότητα της ακτινοβολίας, ενώ στις πηγές ακτίνων γ τα προηγούμενα καθορίζονται από το είδος του ισότοπου. Ελέγχουμε επίσης πολύ καλά την ένταση της ακτινοβολίας, ελέγχοντας τα mA της συσκευής, ενώ στην συσκευή ακτίνων γ το αντίστοιχο μέγεθος(Curie του ισότοπου) δεν μπορεί να ελεγχθεί, διότι εξαρτάται μόνο από τον χρόνο.

Στην περίπτωση της συσκευής ακτίνων γ τα μόνα που μπορούν να ρυθμιστούν είναι η απόσταση πηγής-φιλμ(συνήθως μικρότερη από ότι στην περίπτωση της ακτίνας Χ) και ο χρόνος έκθεσης(συνήθως πολύ μεγαλύτερος από ότι στις ακτίνες Χ).

Ένα ακόμα μειονέκτημα των συσκευών ακτίνων γ είναι η ανάγκη συνεχούς αλλαγής της πηγής ειδικά στο Ir192 που ο χρόνος ημίσειας ζωής είναι πολύ μικρός.

Παρόλη την εκτεταμένη χρήση των ακτίνων γ ιδίως σε εργοταξιακές εφαρμογές είναι σημαντικό να θυμόμαστε ότι οι απαιτήσεις μας για την ποιότητα του ραδιογραφήματος πρέπει να είναι μικρότερες σε σχέση με την αντίστοιχη ραδιογράφιση με ακτίνες Χ. Είναι εξαιρετικά συνηθισμένο λάθος να δεχόμαστε ραδιογράφιση με ακτίνες γ αλλά να ζητούμε ευαισθησία πενετραμέτρου και αντίθεση εικόνας σαν να ραδιογραφούμε με ακτίνες Χ, προκαλώντας έτσι τριβές και δυσαρέσκειες με τον ραδιογράφο χωρίς αυτός να φέρει ευθύνη.

5.7. Το ραδιογραφικό φιλμ

5.7.1. Κατασκευή του φιλμ

Τα σύγχρονα ραδιογραφικά φιλμ αποτελούνται από μια λεπτή εύκαμπτη και διαφανή πλαστική βάση, συνήθως μπλέ απόχρωσης κυρίως για αισθητικούς παρά για τεχνικούς λόγους. Η βάση επιστρώνεται με πολύ λεπτό στρώμα συγκολλητικής ουσίας πάνω στην οποία, τοποθετείται στρώμα αιωρήματος αλογονούχου συνήθως(συνήθως βρωμιούχου) αργύρου σε ζελατίνη(το λεγόμενο γαλάκτωμα-emulsion). Επιστρώνεται γαλάκτωμα και στις δύο πλευρές της βάσης, προκειμένου

να επιτυγχάνονται μικρότεροι χρόνοι έκθεσης για την ίδια αμαύρωση(πυκνότητα) του φιλμ.

Τέλος τοποθετείται ένα λεπτό προστατευτικό επίστρωμα ζελατίνης και στις δύο πλευρές του φιλμ. Το πάχος της πλαστικής βάσεως είναι συνήθως 0,007” ενώ το συνολικό πάχος επιστρώσεων σε κάθε πλευρά(συγκολλητική ουσία, γαλάκτωμα και προστατευτικό στρώμα ζελατίνης) δεν υπερβαίνει το 0,001”.

Όταν το γαλάκτωμα εκτεθεί είτε σε ακτίνες X και γ είτε φως, συμβαίνει μια αλλαγή στους κρυστάλλους του φιλμ και σχηματίζεται η λεγόμενη «λανθάνουσα εικόνα»(latent image). Η λανθάνουσα εικόνα δεν μπορεί να ανιχνευθεί με την όραση ούτε με καμία άλλη συνήθη φυσική μέθοδο.

Όταν το φιλμ τοποθετηθεί σε λουτρό εμφάνισης, μέσω χημικής αλλαγής η εκτεθειμένοι κρύσταλλοι βρωμιούχου αργύρου διασπώνται και δίνουν μαύρο μεταλλικό άργυρο, ο οποίος σχηματίζει την εικόνα πάνω στο φιλμ-ραδιογράφημα.

Τα ραδιογραφικά φιλμ διαφέρουν αρχικά από τα φωτογραφικά φιλμ παρότι οι φυσικές αρχές είναι ακριβώς οι ίδιες.

5.7.2. Πυκνότητα του φιλμ

Ως πυκνότητα(Density-D) ραδιογραφικού φιλμ ονομάζεται ο δεκαδικός λογάριθμος του λόγου προσπίπτοντος ορατού φωτός προς το εξερχόμενο ορατό φως, όταν το(εμφανισμένο) φιλμ τοποθετηθεί μπροστά από μια πηγή φωτός, όπως π.χ. είναι η οθόνη ραδιογραφημάτων(viewer).

$D = \log(I_0/I_1)$, όπου I_0 η ένταση του φωτός που προσπίπτει στο φιλμ και I_1 η ένταση του φωτός που εξέρχεται από το φιλμ.

Η πυκνότητα ενός φιλμ είναι παράγοντας που καθορίζει την ποιότητα του ραδιογραφήματος. Για τις ίδιες συνθήκες ραδιογράφησης, μεγαλύτερη πυκνότητα σημαίνει και μεγαλύτερη ευαισθησία(καλύτερη ποιότητα). Για αυτό τον λόγο όλες οι σχετικές προδιαγραφές ορίζουν κατώτερο αποδεκτό όριο πυκνότητας ραδιογραφήματος(συνήθως 1,8 για ραδιογραφίες συγκολλήσεων με ακτίνες X και 2,0 για ραδιογραφίες συγκολλήσεων με ακτίνες γ).

Το ανώτερο όριο πυκνότητας καθορίζεται επίσης από τις προδιαγραφές(συνήθως 4,0) αλλά έχει κυρίως να κάνει με τα χαρακτηριστικά της οθόνης ραδιογραφημάτων(viewer).

Πυκνότητα φιλμ ίση με 3,0 σημαίνει ένταση προσπίπτοντος φωτός κατά 1.000 φορές πολλαπλάσια της ελάχιστης έντασης που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι, κατά συνέπεια υπάρχουν δύο προβλήματα :

- I. Παραγωγή εξαιρετικά έντονου αλλά ομοιόμορφου φωτός.
- II. Απαγωγή της παραγόμενης θερμότητας, ώστε να μην βλαφτεί το φιλμ(αλλά και το ηλεκτρικό κύκλωμα της οθόνης).

Εάν λάβουμε υπόψη μας την σχετική σύσταση για λαμπρότητα φωτισμένου φιλμ ίση με 30cd/m^2 , φιλμ πυκνότητας 3,0 απαιτεί λαμπρότητα οθόνης 30.000cd/m^2 .

5.7.3. Παρατήρηση του φιλμ

Η παρατήρηση του ραδιογραφικού φιλμ γίνεται μέσα σε σκοτεινό θάλαμο. Για λόγους ασφαλείας(αλλά και ευαισθησίας του ανθρώπινου οφθαλμού, όπως έχει δείξει η εμπειρία), συνιστάται ένας διάχυτος λευκός φωτισμός χαμηλής έντασης(της τάξεως του εξερχόμενου από την ραδιογραφία φωτός ή μικρότερης).

Πριν από την παρατήρηση του φιλμ πρέπει να προηγηθεί χρόνος προσαρμογής των ματιών μας(συνήθως έως 5 με 10 λεπτά) και βέβαια να αποφεύγεται η απευθείας όραση(έστω και μέρους) της ακάλυπτης από το ραδιογράφημα οθόνης(ειδιάλλως χρειάζεται πάλι χρόνος προσαρμογής και εξάλλου επέρχεται κόπωση των ματιών). Απαιτείται καλή όραση από τον παρατηρητή και πάντως είναι γεγονός ότι διαφορετικοί άνθρωποι(της ίδιας εμπειρίας), βλέπουν τις λεπτομέρειες σε διαφορετικό βαθμό.

Είναι εξαιρετικά αποτελεσματικό να χρησιμοποιούμε μεγενθυτικό φακό(x4 έως x8) για την παρατήρηση των λεπτομερειών. Είναι επίσης καλή τεχνική η ελαφρά μετακίνηση του φιλμ(δεξιά-αριστερά ή κοντά-μακριά), όταν παρατηρούμε κάποια λεπτομέρεια.

5.7.4. Μέτρηση της πυκνότητας

Η πυκνότητα μετράται με ειδικά όργανα(πυκνόμετρα/ντενσιτομετρα, densitometer), αναλογικά ή ψηφιακά. Τα πλέον σύγχρονα είναι τύπου μολυβιού(pencil type). Το πυκνόμετρο πρέπει να ελέγχεται τακτικά με σύγκριση πιστοποιημένου φιλμ κλιμακωτού σφήνα(certificated step-wedged density strip) και να βαθμονομείται κανονικά όποτε παρουσιάζει σημαντική απόκλιση(συνήθως $\pm 10\%$) και πάντως τουλάχιστον μια φορά κάθε δώδεκα μήνες, από εξουσιοδοτημένο άτομο ή εταιρεία. Η μέτρηση της πυκνότητας μπορεί επίσης να γίνει έμμεσα με σύγκριση πυκνοτήτων, χρησιμοποιώντας φιλμ κλιμακωτού σφήνα.

5.7.5. Χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ

Για κάθε συγκεκριμένο τύπο(και κατασκευαστή) ραδιογραφικού φιλμ, υπάρχει και μια καμπύλη που συνδέει την έκθεση($\text{mA} \cdot \text{min}$ είτε $\text{Ci} \cdot \text{min}$) με την πυκνότητα που επιτυγχάνεται με συγκεκριμένες συνθήκες εμφάνισης του φιλμ. Ο κάθετος άξονας(τεταγμένη) απεικονίζει την πυκνότητα D και ο οριζόντιος(τετμημένη) τον δεκαδικό λογάριθμο της σχετικής έκθεσης($\log \text{rel exposure}$). Χρησιμοποιούμε την σχετική και όχι την απόλυτη έκθεση για να έχουμε την ίδια καμπύλη ανεξάρτητα από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας.

Χρησιμοποιούμε λογαριθμική κλίμακα πρώτον διότι είναι πιο «πυκνή» από την απλή αριθμητική και δεύτερον λόγο της βασικής ιδιότητας της λογαριθμικής κλίμακας : Σταθερή απόσταση μεταξύ σημείων της λογαριθμικής γραμμής σημαίνει σταθερό λόγο πραγματικών τιμών. Επομένως, αν διπλασιάσουμε την απόσταση X_1 , X_2 της λογαριθμικής γραμμής και ορίσουμε έτσι το σημείο X_3 , ο λόγος $10^{X_3}/10^{X_2}$ είναι ίσος με τον λόγο $10^{X_2}/10^{X_1}$. Αντίστροφα, το μέσον X_2 μιας αποστάσεως X_1 , X_3 ορίζει το γεωμετρικό μέσο των τιμών 10^{X_1} και 10^{X_3} ($\text{sqrt}(10^{X_1} \cdot 10^{X_3})$).

Η χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ(είτε καμπύλη H και D , από τους Harter και Driffield που μελέτησαν το φωτογραφικό φιλμ το 1890) δίνει πολύ βασικές πληροφορίες για το ίδιο το φιλμ.

- Όσο πιο «απότομη» είναι η καμπύλη, τόσο το φιλμ είναι υψηλότερης αντίθεσης, υπό τις ίδιες συνθήκες ραδιογράφησης. Ως αντίθεση του φιλμ ορίζεται ο λόγος $C=(D_2-D_1)/\log(E_2/E_1)$ είτε $C=(D_2-D_1)/(X_2-X_1)$, όπου X_1 και X_2 οι τετμημένες(λογάριθμοι σχετικής έκθεσης) που αντιστοιχούν στις

τεταγμένες(πυκνότητες) D_1 και D_2 . Η αντίθεση δεν είναι σταθερή σε όλα τα σημεία του φιλμ και μικραίνει δραματικά στον πόδα(κάτω άκρο) και στο άνω άκρο του φιλμ, για αυτό και οι περιοχές αυτές δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται.

- Όσο πιο «αριστερά» η χαρακτηριστική καμπύλη ενός φιλμ τόσο το φιλμ είναι πιο «γρήγορο», δηλαδή μπορεί να δώσει συγκεκριμένη πυκνότητα με χρήση μικρότερης έκθεσης. Η ταχύτητα ενός φιλμ έχει σχέση και με την αντίθεση του(συνήθως «γρήγορα» φιλμ έχουν και μικρότερη αντίθεση) αλλά και με την εν γένει δυσκρίνια ή φαινόμενο κοκκώδες(γρήγορα φιλμ παρουσιάζουν μεγαλύτερο φαινόμενο κοκκώδες).

Η χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ(άρα και ταχύτητα, ή αντίθεση αλλά και το κοκκώδες) εξαρτώνται επίσης από τις συνθήκες εμφάνισης(ιδιαίτερα τον χρόνο τοποθέτησης στο λουτρό εμφάνισης) και την χρήση ενισχυτικών πλακών(οι οποίες εν γένει αυξάνουν την πυκνότητα, άρα και την ταχύτητα του φιλμ αλλά και χαλούν την ευκρίνεια : οι μεν μεταλλικές ανεπαίσθητα ενώ οι φθορίζουσες δραστικότερα).

Αν έχουμε επιτύχει ραδιογραφική εικόνα αλλά η πυκνότητα της δεν είναι ικανοποιητική, μπορούμε να πάρουμε εικόνα με την επιθυμητή πυκνότητα, χωρίς να αλλάξουμε κανένα άλλο παράγοντα της ραδιογράφισης(kV, ενισχυτικές πλάκες, συνθήκες γεωμετρίας, συνθήκες εμφάνισης κλπ), χρησιμοποιώντας τον τύπο $E_2/E_1=10^{X_2-X_1}$, όπου X_1 η τετμημένη που αντιστοιχεί σε τεταγμένη(πυκνότητα) D_1 , E_1 η χρησιμοποιηθείσα έκθεση X_2 η τετμημένη που αντιστοιχεί στην επιθυμητή πυκνότητα D_2 και E_2 η έκθεση που πρέπει να χρησιμοποιήσουμε.

Αύξηση το χρόνου(ή θερμοκρασίας) εμφάνισης, συνεπάγεται μετακίνηση της χαρακτηριστικής καμπύλης προς τα αριστερά(ταχύτερο φιλμ) και ταυτόχρονα πιο απότομη καμπύλη(αύξηση της αντίθεσης).

5.7.6. Κατηγορίες φιλμ

Τα ραδιογραφικά φιλμ χωρίζονται σε δύο γενικές κατηγορίες :

- I. Εκείνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ή χωρίς χρήση μεταλλικών ενισχυτικών πλακών.
- II. Εκείνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με ταυτόχρονη χρήση φθορίζουσών ενισχυτικών πλακών(screen είτε salt type).

Ανάλογα με την σχετική «ταχύτητα», τα φιλμ μεταλλικών πλακών συνήθως χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες :

- I. Πολύ αργά, πολύ λεπτόκοκκα. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το Microtex της Kodak και το Structurix D2 της Agfa Gevaert.
- II. Αργά, λεπτόκοκκα. Όπως το Crystalex της Kodak και τα Structurix D4 και D5 της Agfa Gevaert.
- III. Μεσαίας ταχύτητας, μεσαίου κοκκώδους. Όπως το Industrex-type D της Kodak και το Structurix D7 της Agfa Gevaert.
- IV. Γρήγορα, χονδροκόκκα. Όπως το Kodirex της Kodak και το Structurix D10 της Agfa Gevaert.

Ενδέχεται η κατασκευάστριες εταιρείες να κατασκευάζουν περισσότερους τύπους φιλμ, προσφέροντας μεγαλύτερη ποικιλία αλλά και καταλληλότητα για συγκεκριμένες χρήσεις.

Φιλμ για χρήση με φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες είναι π.χ. το Industrex-type S της Kodak και το Structurix RCF της Agfa Gevaert.

Το ευρωπαϊκό πρότυπο EN5841 καθορίζει την ταξινόμηση των ραδιογραφικών φιλμ σε διάφορες κλάσεις, ενώ το EN25580(ISO 5580:1985) παραθέτει τις ελάχιστες απαιτήσεις για της οθόνες των φιλμ(viewer, illuminator).

<p>5.18.α. Χαρακτηριστικές καμπύλες φιλμ διαφορετικών ταχυτήτων</p>	<p>5.18.β. Χρήση διαγραμμάτων</p>

5.8. Έννοιες & νόμοι της ραδιογράφισης

5.8.1. Αντίθεση ραδιογραφικής εικόνας

Ως αντίθεση ραδιογραφικής εικόνας ονομάζεται η διαφορά πυκνοτήτων του φιλμ, σε γειτονικές περιοχές του ραδιογραφήματος. Η αντίθεση(contrast) είναι ένας εκ των δύο βασικών παραγόντων ποιότητας της ραδιογραφικής εικόνας(ο άλλος είναι η ευκρίνεια). Αύξηση της αντίθεσης, με οποιονδήποτε τρόπο, σημαίνει βελτίωση της ποιότητας/ευαισθησίας της ραδιογραφικής εικόνας. Η συνολική αυτή αντίθεση διακρίνεται σε αντίθεση αντικειμένου και σε αντίθεση φιλμ. Η «αντικειμενική» αυτή αντίθεση (διαφορά πυκνοτήτων) είναι μετρήσιμη(με πυκνόμετρο/ντενσιτόμετρο) ενώ η υποκειμενική αντίθεση(οπτική εντύπωση της αντικειμενικής αντίθεσης) εξαρτάται από τον άνθρωπο-παρατηρητή και τις συνθήκες παρατήρησης.

5.8.2. Εύρος ραδιογραφικής εικόνας

Ορίζεται ως το εύρος παχών αντικειμένου που μπορούν να ραδιογραφηθούν(με μια λήψη) μέσα στο αποδεκτό εύρος πυκνοτήτων(π.χ. από 1,8 έως 4,0). Άρα, εξ ορισμού, είναι το αντίστροφο της αντίθεσης και αύξηση της αντίθεσης σημαίνει ελάττωση του εύρους(και το αντίστροφο).

Το εύρος μπορεί να αυξηθεί είτε μέσω ελάττωσης της αντίθεσης(π.χ. με χρήση «σκληρότερης» ακτινοβολίας, δηλαδή μεγαλύτερης συχνότητας-μικρότερου μήκους κύματος) είτε με χρήση φίλτρων(που πρακτικά «σκληραίνουν» την ακτινοβολία και ελαττώνουν την αντίθεση) είτε με τοποθέτηση διπλού φιλμ(διαφορετικών ταχυτήτων) μέσα στην ίδια κασέτα. Το ταχύτερο φιλμ θα αποτυπώσει(σε αποδεκτές πυκνότητες) τα μεγαλύτερα πάχη και το αργότερο τα μικρότερα.

5.8.3. Ευκρίνεια ραδιογραφικής εικόνας

Ως ραδιογραφική ευκρίνεια(definition, sharpness) ορίζεται η απότομη μετάβαση από περιοχή μιας πυκνότητας σε περιοχή διαφορετικής πυκνότητας, είτε η ευκρίνεια των ορίων μιας περιοχής συγκεκριμένης πυκνότητας σε σχέση με διπλανές άλλης πυκνότητας.

Είναι ένας εκ των δύο βασικών παραγόντων ποιότητας/ευαισθησίας της ραδιογραφικής εικόνας και αποδίδεται σε παράγοντες γεωμετρικής δυσκρίνειας(αντίστροφο της ευκρίνειας) που εξαρτάται από την γεωμετρία της λήψης και σε παράγοντες εγγενούς(inherent) δυσκρίνειας που εξαρτώνται από το φιλμ, την ακτινοβολία και την χρήση ενισχυτικών πλακών.

5.8.4. Έκθεση-Νόμος αντιστοιχίας-Συντελεστής έκθεσης

Ως ραδιογραφική έκθεση ορίζεται το γινόμενο mA επί χρόνο έκθεσης(ραδιογραφία ακτίνων X) είτε Ci επί χρόνο έκθεσης(ραδιογραφία ακτίνων γάμα).

Για το ίδιο ραδιογραφικό αποτέλεσμα(αντίθεση, ευκρίνεια, πυκνότητα) και υπό σταθερές όλες τις άλλες συνθήκες ραδιογράφησης(γεωμετρία, ενισχυτικές πλάκες, kV ή είδος ισοτόπου, συνθήκες και χρόνους εμφάνισης κλπ), το γινόμενο πρέπει να παραμένει σταθερό(νόμος της αντιστοιχίας, reciprocity law) $E_1=E_2$, άρα $mA_1 \cdot \text{min}_1 = mA_2 \cdot \text{min}_2$ είτε $Ci_1 \cdot \text{min}_1 = Ci_2 \cdot \text{min}_2$.

Εάν αλλάζει η απόσταση πηγής-φιλμ ο νόμος γίνεται $E_1/D_1^2 = E_2/D_2^2$. Το μέγεθος E_1/D_1^2 ορίζεται σαν συντελεστής έκθεσης(exposure factor). Ο νόμος δεν ισχύει όταν χρησιμοποιούνται φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες, όπως δεν ισχύει και στα συστήματα φθοροσκοπίας.

5.8.5. Γεωμετρική δυσκρίνεια

Επειδή η πηγή ακτίνων X είτε ακτίνων γ δεν είναι σημειακή (έχει διαστάσεις), ούτε είναι τοποθετημένη στο άπειρο αλλά σε κοντινή σχετικά απόσταση με το δοκίμιο και το φιλμ, έχουμε τον σχηματισμό παρασκιάς(penumbra) γύρω από την σκιά(umbra).

Η παρασκιά ονομάζεται και γεωμετρική δυσκρίνεια(geometric unsharpness), συμβολίζεται ως Ug και αποτελεί παράγοντα που χαλά την ευκρίνεια της εικόνας(άρα και την ποιότητα).

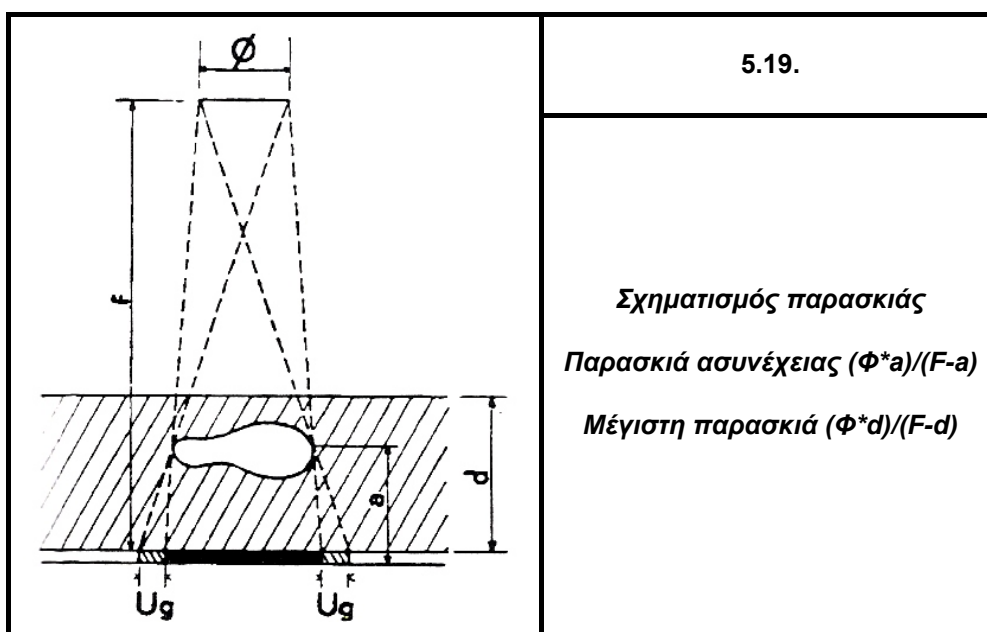
Το μέγεθος της γεωμετρικής δυσκρίνειας δίνεται από τον τύπο $Ug = (F \cdot t) / d$ όπου F η διάσταση του εστιακού σημείου(προβαλλόμενη διάσταση της πηγής), t η

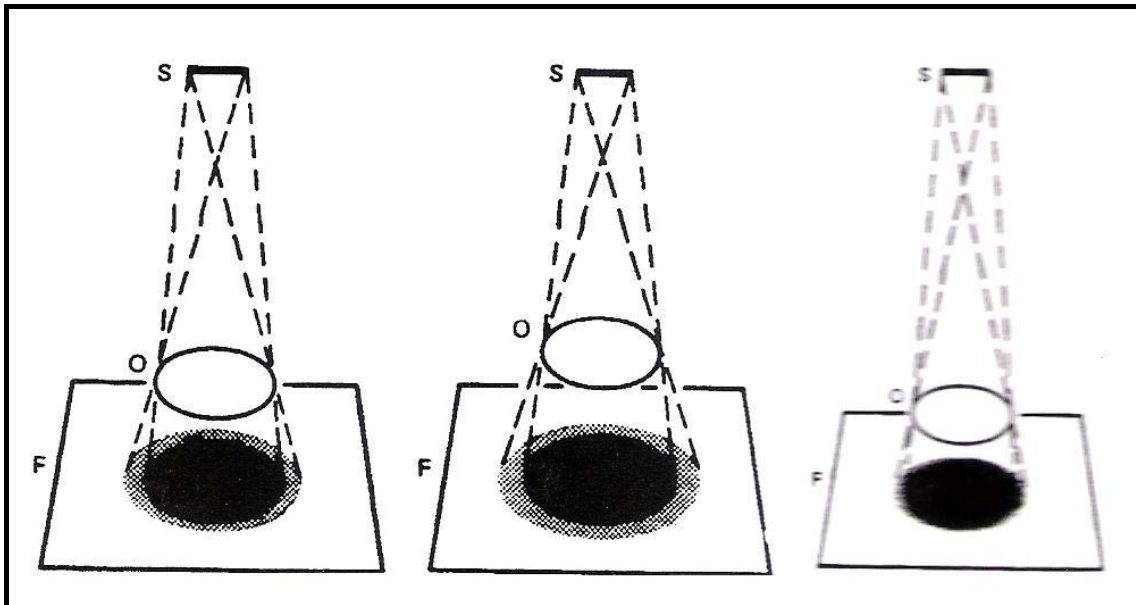
απόσταση αντικειμένου-φιλμ(OFD, object-film distance) και d η απόσταση πηγής-αντικειμένου(SOD, source-object distance).

Για την βελτίωση της ευκρίνειας, πρέπει το φιλμ να τοποθετείται σε επαφή με το αντικείμενο(οπότε η διάσταση t γίνεται ίση με το πάχος του αντικειμένου), η απόσταση πηγής-αντικειμένου να είναι αρκετά μεγάλη και η διάσταση της πηγής να είναι μικρή.

Οι διάφορες προδιαγραφές δίνουν την μέγιστη επιτρεπόμενη U_g , ανάλογα με το πάχος του ραδιογραφούμενου υλικού(συνήθως για πάχη μικρότερα από 50 mm προδιαγράφεται μέγιστη επιτρεπτή U_g ίση με 0,5 mm).

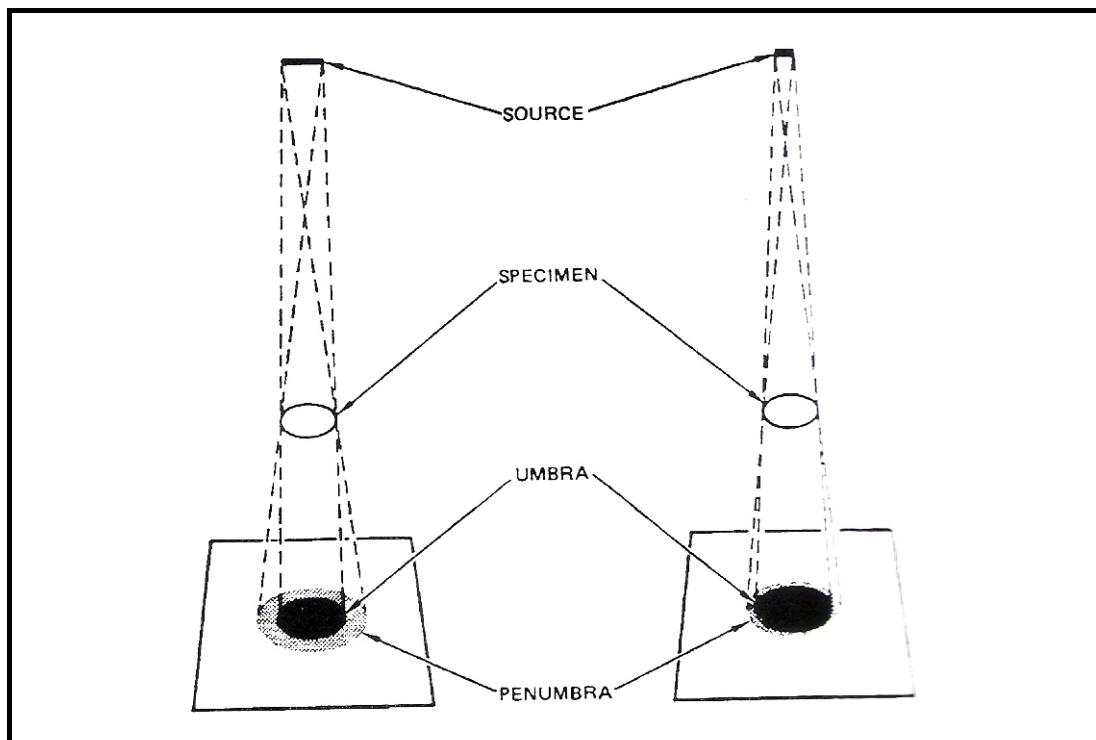
Εξάλλου, για να αποφεύγεται παραμόρφωση (distortion) της εικόνας του αντικειμένου, πρέπει ο κεντρικός άξονας της ακτινοβολίας να είναι κατά το δυνατόν κάθετος προς το φιλμ, το φιλμ να είναι παράλληλο προς το επίπεδο του αντικειμένου και βεβαίως να μην μετακινείται η πηγή, το αντικείμενο ή το φιλμ, κατά την διάρκεια της ραδιογράφησης.





5.20.

Επίδραση της απόστασης πηγής-αντικειμένου στο μέγεθος της παρασκιάς



5.21.

Επίδραση της διάστασης της πηγής στο μέγεθος της παρασκιάς (penumbra)

5.8.6. Μέτρηση του μεγέθους του εστιακού σημείου

Το μέγεθος του εστιακού σημείου(focal spot size) όπως αυτό προβάλλεται στο φιλμ πρέπει να είναι γνωστό, διότι περιλαμβάνεται στον υπολογισμό της γεωμετρικής δυσκρίνειας U_g και άρα παίζει ρόλο στην ελάχιστη αποδεκτή απόσταση πηγής-αντικειμένου. Προκειμένου για πηγές ακτίνων γ δεν αλλάζει με τον χρόνο(εξάλλου η πηγή αντικαθίσταται συχνά), αλλά οι σχετικές προδιαγραφές απαιτούν την μέτρηση του μεγέθους αυτού των συσκευών ακτίνων X σε τακτά διαστήματα(παρότι αρχικά δίνεται από τον κατασκευαστή).

Η μέτρηση γίνεται με την λεγόμενη κάμερα οπής καρφίτσας(rinohole camera) και ουσιαστικά λαμβάνουμε το ραδιογραφικό αποτύπωμα της πηγής πάνω σε ένα φιλμ, αφήνοντας την ακτινοβολία να περάσει μέσα από μια μικρή οπή ενός φύλλου μολύβδου που έχει τοποθετηθεί στην μέση της απόστασης πηγής-φιλμ. Είναι σημαντικό να γνωρίζουμε ότι σαν μέγεθος της πηγής παίρνουμε την διαγώνιο(μέγιστη διάσταση) και όχι την μεγαλύτερη πλευρά.

Έτσι μια πηγή προβαλλόμενων διαστάσεων 2×2 έχει(προβαλλόμενο) μέγεθος $2,8\text{mm}$ και όχι 2mm . Εξάιρεση αποτελούν οι απόλυτα κυκλικές πηγές, που προβάλλονται σαν έλλειψη και άρα το μέγεθος τους συμπίπτει με την πραγματική μέγιστη διάμετρο του εστιακού σημείου.

5.8.7. Ενυπάρχουσα/Εγγενής δυσκρίνεια-κοκκώδες του φιλμ

Ως κοκκώδες ορίζεται η οπτική εντύπωση μη ομοιόμορφης πυκνότητας, πάνω στο ραδιογράφημα. Το κοκκώδες αυξάνεται όταν χρησιμοποιούμε φιλμ υψηλότερων ταχυτήτων είτε ακτινοβολία μεγαλύτερης συχνότητας(π.χ. ακτίνων γ είτε ακτίνων X υψηλότερων kV). Επίσης, αύξηση του χρόνου εμφάνισης μεγαλώνει το κοκκώδες(κάνει το φιλμ ταχύτερο αν και αυξάνει την πυκνότητα και έτσι βελτιώνει την αντίθεση). Η ενυπάρχουσα δυσκρίνεια εξαρτάται επίσης από τον τύπο του φιλμ και τα πιο αργά δίνουν μικρότερο κοκκώδες σε αντίθεση με τα πιο γρήγορα, όπου το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο.

Το κοκκώδες, παρότι σχετίζεται και με το πραγματικό μέγεθος του κρυστάλλου/κόκκου βρωμιούχου αργύρου του γαλακτώματος(που είναι πάρα πολύ μικρό), εξαρτάται κυρίως από τον σχηματισμό συσσωμάτωσης των εκτεθειμένων κόκκων, κάτω από ορισμένες συνθήκες. Ουσιαστικά, ένα προσπίπτον φωτόνιο

ακτίνων X ή ακτίνων γ έχει αρκετή ενέργεια για να εκθέσει όχι μόνο έναν αλλά πολλούς κρυστάλλους γαλακτώματος, μέσω της εκπομπής ηλεκτρονίων από τους εκτιθέμενους κόκκους, σχηματίζοντας συσσωματώματα ή αλυσίδες εκτεθειμένων κόκκων.

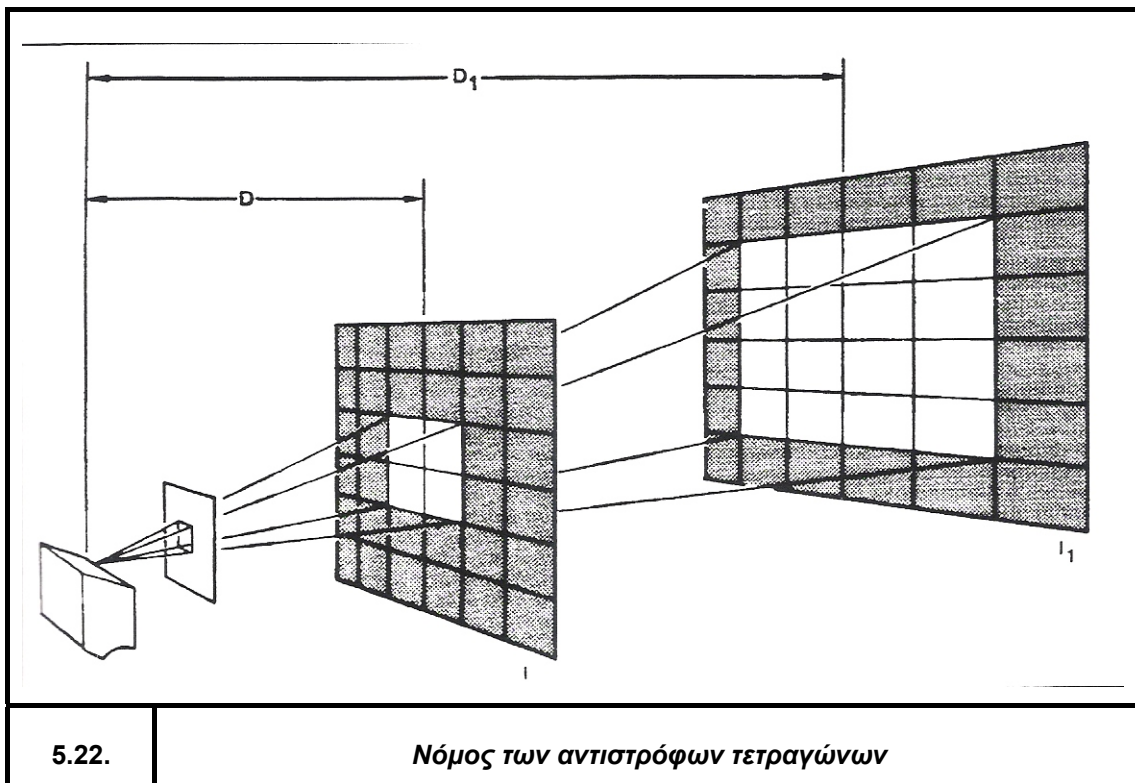
Το κοκκώδες επιφέρει δυσκρίνεια στην ραδιογραφική εικόνα, η οποία ονομάζεται δυσκρίνεια του φιλμ ή ενυπάρχουσα/εγγενής(inherent) δυσκρίνεια και συμβολίζεται με U_f . Η U_f μετράται δύσκολα και η μέγιστη επιτρεπτή τιμή της δίνεται από τις διάφορες προδιαγραφές, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη ακτινοβολία.

5.8.8. Ο νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων

Όταν ακτινοβολία σταθερής έντασης εκπέμπεται από πηγή μικρών σχετικά διαστάσεων η εκπεμπόμενη δέσμη χάνει την ένταση της όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή και μάλιστα ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης από αυτήν. Αυτό συμβαίνει διότι η δέσμη ανοίγει στο χώρο και η συνολική της ενέργεια διασπείρεται σε μεγαλύτερη επιφάνεια (σε κάθε δεδομένη απόσταση από την πηγή, η ένταση ισούται με την ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας).

Ο νόμος αυτός της φυσικής ονομάζεται νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων και εκφράζεται με τον τύπο $I_1/I_2=D_2^2/D_1^2$, όπου I_1 , I_2 η ένταση της ακτινοβολίας σε απόσταση D_1 , D_2 από την πηγή, αντίστοιχα. Χρησιμοποιείται κυρίως σε υπολογισμούς ασφαλείας.

Ο ρυθμός δόσης μιας πηγής ακτίνων γ(που δίνεται σας $R/Ci/h$ στο ένα μέτρο) ακολουθεί επίσης τον ανωτέρω νόμο για αποστάσεις από την πηγή διαφορετικές του ενός μέτρου.



5.22.

Νόμος των αντιστρόφων τετραγώνων

5.9. Ενισχυτικές πλάκες

5.9.1. Χρησιμότητα

Κατά την πρόσπτωση των ακτίνων X και γ στο ραδιογραφικό φιλμ μόνο πολύ μικρό ποσοστό, της τάξεως του 1%, της ενέργειας της ακτινοβολίας απορροφάται από το φιλμ, σχηματίζοντας λανθάνουσα εικόνα(latent image). Προκειμένου να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο ποσοστό της ενέργειας για την αύξηση της πυκνότητας της εικόνας(άρα ελάττωση της απαιτούμενης έκθεσης για να επιτύχουμε συγκεκριμένη πυκνότητα), χρησιμοποιούμε τις λεγόμενες «ενισχυτικές πλάκες»(intensifying screens).

Αυτές διακρίνονται σε δύο βασικά είδη, στις μεταλλικές ενισχυτικές πλάκες ή ενισχυτικές πλάκες μολύβδου, και στις φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες ή πλάκες αλάτων(salt screens). Υπάρχει ακόμα ένας ενδιάμεσος τύπος, οι φθορομεταλλικές ενισχυτικές πλάκες.

5.9.2. Μεταλλικές ενισχυτικές πλάκες

Πρόκειται συνήθως για λεπτά φύλλα μολύβδου πάχους 0,02 έως 0,2 mm, που τοποθετούνται εμπρός και πίσω από το φιλμ. Ο βασικός σκοπός τους είναι η ενίσχυση της ραδιογραφικής εικόνας, μέσω εκπομπής δευτερογενούς ακτινοβολίας ακτίνων X αλλά κυρίως ηλεκτρονίων, που εκπέμπονται λόγω της σκέδασης της πρωτογενούς ακτινοβολίας στα φύλλα μολύβδου.

Για ακτίνες X 200 έως 400kV, ένα ζεύγος πλακών μολύβδου μπορεί να ελάττωση την απαιτούμενη έκθεση κατά 2 έως 5 φορές. Επιπρόσθετα όμως, το εμπρόσθιο φύλλο απορροφά τα μεγάλα μήκη κύματος της πρωτογενούς ακτινοβολίας, αλλά και της σκέδασης που παράγεται μέσα στο ραδιογραφούμενο δοκίμιο, βελτιώνοντας την εικόνα. Το οπίσθιο φύλλο βοηθά επίσης στην αποδυνάμωση του φαινομένου της οπίσθιας σκέδασης.

Σαν υλικό των μεταλλικών ενισχυτικών πλακών συνήθως χρησιμοποιείται μολύβδος(94% με 6% αντιμόνιο, για να μην είναι υπερβολικά μαλακός), λόγω της υψηλής απόδοσης του στην απορρόφηση ακτινοβολίας X και γ, την υψηλή εκπομπή ηλεκτρονίων αλλά και του χαμηλού κόστους και της μεγάλης λειτουργικότητας του σαν υλικό. Υλικά με καλύτερη απόδοση(π.χ. χρυσός, πλατίνα) χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις. Στην περίπτωση κασετών, συνήθως το εμπρόσθιο φύλλο μολύβδου έχει πάχος 0,125mm και το οπίσθιο διπλάσιο 0,25mm.

Η ενισχυτική πλάκα πρέπει να βρίσκεται σε άμεση και απόλυτη επαφή με το φιλμ, ειδάλλως υπάρχει σημαντική ελάττωση της ευκρίνειας. Ένα φύλλο χαρτιού ανάμεσα στο φιλμ και την πλάκα θα δώσει σαν ραδιογραφική εικόνα το «αποτύπωμα» της δομής του χαρτιού(μέσω σκέδασης της ακτινοβολίας στο φύλλο χαρτιού) και άρα δεν θα πρέπει ποτέ να τοποθετείται με αυτόν τον τρόπο.

Ενισχυτικές πλάκες μολύβδου χρησιμοποιούνται όχι μόνο στην περίπτωση της ραδιογραφίας χαμηλών και μεσαίων kV, αλλά και στην ραδιογραφία υψηλών kV και ακτίνων γ, αν και ο συντελεστής ενίσχυσης είναι τότε μικρότερος.

Στην περίπτωση χαμηλών kV(ενίοτε κάτω από 100 και οπωσδήποτε κάτω από 50) συνίσταται η τοποθέτηση μόνο της οπίσθιας ενισχυτικής πλάκας, διότι ενδέχεται η απορρόφηση από την εμπρόσθια να είναι ισχυρότερη από την ενίσχυση που προκαλεί. Οι ενισχυτικές πλάκες πρέπει να διατηρούνται καθαρές και ιδίως να μην έχουν γρατζουνίσματα(διότι αυτά θα φανούν στην ραδιογραφική εικόνα σαν

μαύρες γραμμές, παρόμοιες με την εικόνα ρηγμάτων). Οι ενισχυτικές πλάκες μολύβδου παρουσιάζουν «γήρανση», δηλαδή η επιφάνεια τους γίνεται λιγότερο στιλπνή, λόγω οξειδωσης, αλλά αυτό δεν φαίνεται να επηρεάζει την καταλληλότητα τους. Εάν το φιλμ τοποθετείται με τις ενισχυτικές πλάκες σε κασέτα, δεν θα πρέπει να μείνουν για πολύ χρόνο πριν χρησιμοποιηθούν, διότι μπορεί να εμφανιστεί ομίχλη(fogging) στο ραδιογράφημα.

Υπάρχουν όμως και φιλμ ήδη τοποθετημένα σε φάκελο από σκληρό χαρτί(ready rack), συνήθως πλάτους 80mm και τυλιγμένα σε ρολό(που κόβεται στο απαραίτητο μήκος και σφραγίζεται στα άκρα, πάντα σε σκοτεινό θάλαμο) και τα οποία περιέχουν ενισχυτικές πλάκες οξειδίου του μολύβδου, που αντιστοιχούν σε πάχος 0,005”(0,125mm) φύλλου μολύβδου.

5.9.3. Φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες

Απορροφούν μέρος των ακτίνων X και γ και εκπέμπουν δευτερεύουσα ακτινοβολία X, ηλεκτρόνια, ορατό φως και υπεριώδη ακτινοβολία. Έχουν πολύ μεγάλο συντελεστή ενίσχυσης αλλά προκαλούν εξαιρετικά μεγάλη ελάττωση της ευκρίνειας της ραδιογραφικής εικόνας,(για αυτό και δεν συνιστώνται στην περίπτωση ακτίνων X υψηλών kV και στην περίπτωση ακτίνων γ, εκτός αν είναι απόλυτα απαραίτητη η ελάττωση της έκθεσης). Όσο αυξάνεται η συχνότητα της ακτινοβολίας, τόσο παρουσιάζεται εντονότερο το φαινόμενο screen mottle(στίγματα από ενισχυτικές πλάκες), πάνω στην ραδιογραφική εικόνα. Συνήθως κατασκευάζονται από σκληρό πεπιεσμένο χαρτί ή πλαστικό στο οποίο έχει τοποθετηθεί calcium tungstate είτε barium lead sulfate. Απαιτείται και πάλι απόλυτη επαφή με το φιλμ αλλά και καθαρές/χωρίς γρατζουνιές πλάκες.

Καθαρίζονται με νερό και μη αρωματικό σαπούνι. Όπως και οι μεταλλικές πλάκες, έτσι και οι φθορίζουσες πρέπει να στεγνώσουν απόλυτα πριν χρησιμοποιηθούν. Χρησιμοποιούνται με φιλμ ειδικής κατηγορίας(screen fil ή salt film), τα οποία είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στο εκπεμπόμενο ορατό φως.

Οι φθορίζουσες πλάκες δεν θα πρέπει να εκτίθενται απευθείας σε ακτινοβολία X ή γ, χωρίς να παρεμβάλλεται το ραδιογραφούμενο υλικό, διότι έτσι θα παρουσιαστεί ημιμόνιμη βλάβη(screen lag) είτε φθορισμός για λίγο χρόνο μετά από αυτή την έκθεση.

Χρησιμοποιούνται και αυτές σε ζεύγη, μια εμπρός και μια πίσω από το φιλμ. Η εταιρεία Kodak κατασκευάζει φθορίζουσες ενισχυτικές πλάκες τριών «ταχυτήτων», οι οποίες για ραδιογραφία ακτίνων X 150kV δίνουν ενίσχυση της εικόνας(ελάττωση της έκθεσης) κατά 900,450 και 225 φορές αντίστοιχα.

5.9.4. Φθορομεταλλικές πλάκες

Αναπτύχθηκαν στην Ιαπωνία και αποτελούνται από επίστρωση φθορίζοντος υλικού σε φύλλο μολύβδου. Χρησιμοποιούνται με κοινά φιλμ(και όχι ειδικά για φθορίζουσες πλάκες). Δίνουν μεσαία ενίσχυση αλλά δεν ελαττώνουν τόσο σημαντικά την ευκρίνεια, όσο οι φθορίζουσες.

5.10. Άλλες τεχνικές απεικόνισης

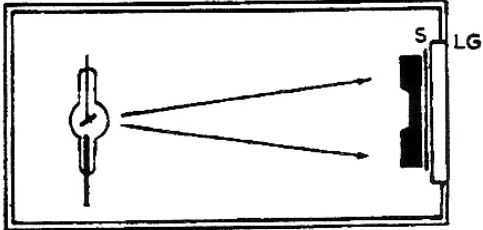
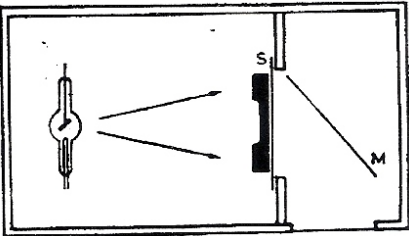
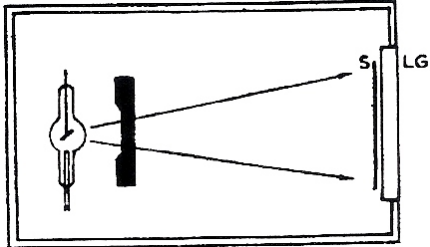
5.10.1. Φθοροσκοπία

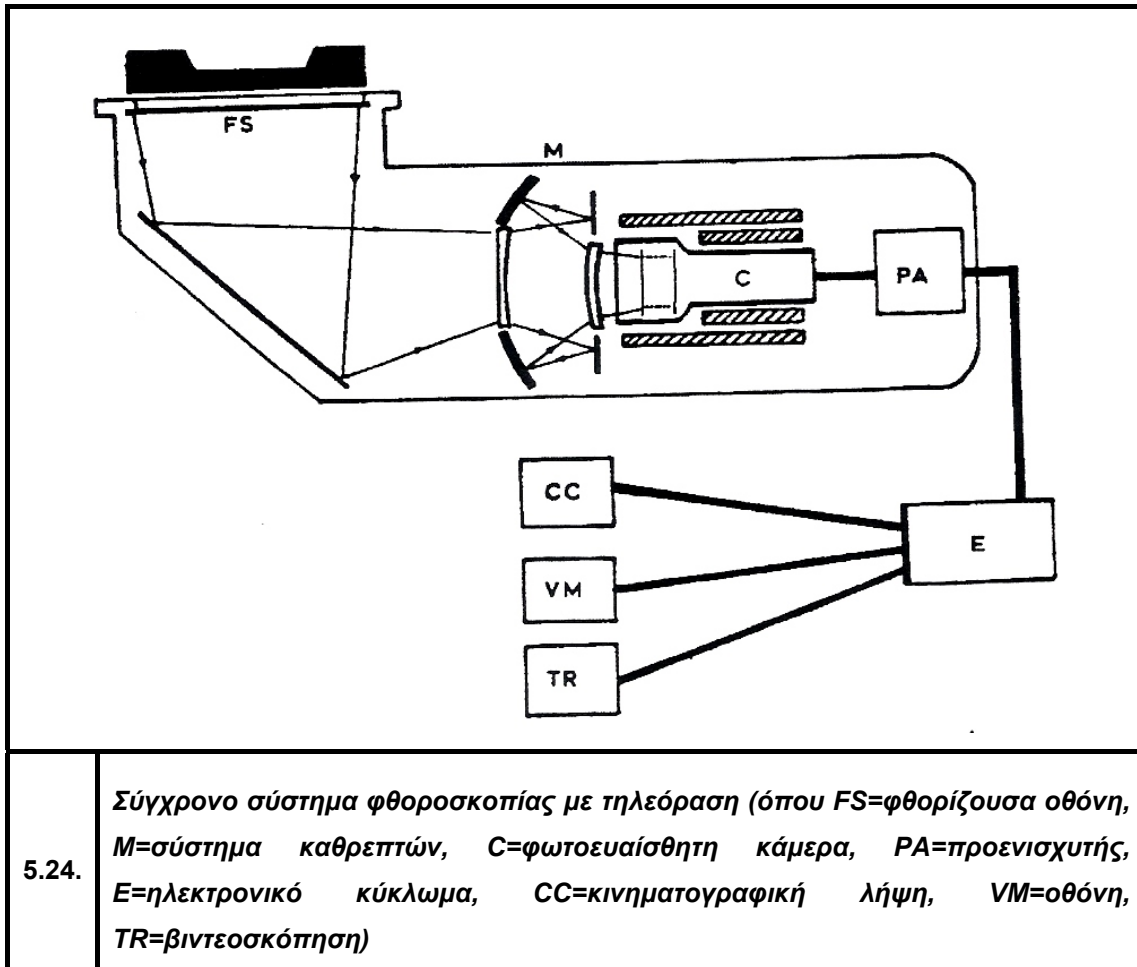
Κατά την μέθοδο της φθοροσκοπίας(fluoroscopy), ακτίνες X και γ που διέρχονται από το ραδιογραφούμενο δοκίμιο προσπίπτουν όχι πάνω σε ραδιογραφικό φιλμ αλλά σε φθορίζουσα οθόνη. Ανάλογα με την ένταση της ακτινοβολίας(άρα και αντίστροφα προς την απορρόφηση από το δοκίμιο) η οθόνη εκπέμπει ορατό φως. Έχουμε λοιπόν άμεση εικόνα του αντικειμένου αντίστροφης «αμαύρωσης» από την περίπτωση του φιλμ(λεπτές διατομές φαίνονται φωτεινές στην οθόνη, ενώ στο φιλμ θα ήταν σκοτεινές). Οι οθόνες φθοροσκοπίας κατασκευάζονται συνήθως με απόθεση στρώματος σουλφιδίων ψευδαργύρου και καδμίου(Zinc/Calcium sulfides) πάνω σε μια πλαστική βάση.

Η ευκρίνεια της εικόνας είναι πολύ μικρότερη από εκείνη ενός ραδιογραφικού φιλμ, αλλά υπάρχει το βασικό πλεονέκτημα της άμεσης απεικόνισης του ραδιογραφήματος.. Συνέπεια της αμεσότητας είναι η δυνατότητα ραδιογράφησης αντικειμένων ενόσω αυτά κινούνται π.χ. στην γραμμή παραγωγής του εργοστασίου. Η φθοροσκοπία χρησιμοποιήθηκε από τον ίδιο τον C.Roentgen για τον έλεγχο των αποσκευών επιβατών σιδηροδρόμων, αμέσως μετά την ανακάλυψη των ακτίνων X.

Η φθοροσκοπία λέγεται και ραδιογραφία πραγματικού χρόνου(real time radiography) αλλά και on line ραδιογραφία. Ο παρατηρητής βρίσκεται πίσω από την

φθορίζουσα οθόνη και προστατεύεται από την εξερχόμενη ακτινοβολία είτε από προστατευτικό διαφανές γυαλί που περιέχει μόλυβδο, είτε τοποθετούμενος πλάγια και παρατηρώντας την εικόνα όχι απευθείας αλλά μέσα από καθρέπτη. Το εκπεμπόμενο από την φθορίζουσα οθόνη ορατό φως είναι κίτρινο-πράσινο, στο οποίο το ανθρώπινο μάτι έχει την μεγαλύτερη ευαισθησία. Η εικόνα της φθοροσκοπίας μπορεί επίσης να αποτυπωθεί σε φωτογραφικό φιλμ.

5.23. Απλά συστήματα φθοροσκοπίας (όπου LG=προστατευτικό γυαλί μολύβδου, S=φθορίζουσα οθόνη, M=καθρέπτης)	
	
5.23.α. <i>Το δοκίμιο κοντά στην οθόνη παρατήρησης</i>	5.23.β. <i>Παρατήρηση μέσω καθρέπτη</i>
	
5.23.γ. <i>Μεγέθυνση εικόνας</i>	



5.10.2. Συστήματα ενίσχυσης της εικόνας

Πρόκειται ουσιαστικά για σύγχρονες παραλλαγές της φθοροσκοπίας, που αποσκοπούν στην βελτίωση της ποιότητας μέσω κυρίως ενίσχυσης του σχετικά χαμηλού φωτός που εκπέμπει η οθόνη.

Τα φωτόνια που εκπέμπονται από την φθορίζουσα οθόνη προσπίπτουν σε κατάλληλο «φωτοηλεκτρικό σώμα», από όπου εκπέμπονται ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά δίνουν ορατή εικόνα όταν προσπίπτουν σε άλλη κατάλληλα οθόνη(την τελική).

Στις μέρες μας χρησιμοποιούνται επίσης τεχνικές τηλεόρασης κλειστού κυκλώματος, οι οποίες είτε παραλαμβάνουν το φως της φθορίζουσας ή και της τελικής οθόνης είτε είναι απευθείας ευαίσθητες στην ακτινοβολία ακτίνων X που εξέρχεται από το δοκίμιο(π.χ. μέσω CCD Charged-Coupled Discharge Device ή μέσω vidicon camera). Έτσι έχουμε παραγωγή άμεσης και αρκετά αξιόπιστης

εικόνας μέσω ακτίνων Χ πολύ χαμηλής ενέργειας, και επομένως με προσεκτικό σχεδιασμό του όλου συστήματος, δεν δημιουργούνται προβλήματα ασφαλείας(όπως π.χ. στον σύγχρονο έλεγχο αποσκευών, στα αεροδρόμια).

5.10.3. Ξηροραδιογραφία

Η ξηροραδιογραφία(xeroradiography) χρησιμοποιεί πλάκες επικαλυμμένες με σεληνίο, το οποίο αρχικά φορτίζεται ηλεκτροστατικά και κατά την ραδιογράφιση εκφορτίζεται τοπικά, ανάλογα με την ένταση της προσπίπτουσας ακτινοβολίας ακτίνων Χ(όπως αυτή εξέρχεται από το δοκίμιο).

Με κατάλληλη «εμφάνιση»(απλά φυσώντας λευκή σκόνη πάνω στην πλάκα) παράγεται μη μόνιμη καταγραφή του ραδιογραφήματος ενώ με άλλη επεξεργασία παράγεται μόνιμη εικόνα(και οι δύο διεργασίες πραγματοποιούνται στις μέρες μας με αυτοματοποιημένο τρόπο). Η ευκρίνεια που επιτυγχάνεται είναι παρόμοια με την περίπτωση χρήσης λεπτόκοκκου ραδιογραφικού φιλμ.

Προτέρημα της μεθόδου αποτελεί αφενός ο πολύ μικρός χρόνος επεξεργασίας της εικόνας, αφετέρου ότι οι πλάκες σεληνίου μπορούν να χρησιμοποιηθούν δεκάδες ή και εκατοντάδες φορές, έως ότου φθαρούν ή γρατζουνιστούν. Η μέθοδος όμως δεν βρήκε εκτεταμένη βιομηχανική εφαρμογή, λόγω κυρίως της διαδικασίας που απαιτείται για την απόκτηση μόνιμης καταγραφής.

5.10.4. Απεικόνιση σε χαρτί

Η εταιρεία Kodak έχει αναπτύξει μια διεργασία, την λεγόμενη Q-F, απεικόνισης ραδιογραφήματος πάνω σε χαρτί(χαρτί QF της Kodak), στο οποίο έχει τοποθετηθεί φωτογραφικό γαλάκτωμα. Το χαρτί τοποθετείται σε κασέτα και σε επαφή με φθορίζουσα ενισχυτική πλάκα και εμφανίζεται σε ειδική συσκευή. Η εικόνα παραμένει αναλλοίωτη για αρκετούς μήνες. Οι ραδιογραφίες Q-F παράγονται με ακτίνες Χ χαμηλών kV , έχουν πολύ μικρή ευκρίνεια, μικρή αντίθεση και μεγάλο εύρος, αλλά επίσης και πολύ μικρό κόστος. Χρησιμοποιούνται για περιπτώσεις όπου δεν ενδιαφέρει η λεπτομέρεια, όπως π.χ. για την αναζήτηση ξένων σωμάτων σε κατασκευές αεροναυπηγικής, αλλά και αναζήτηση μεγάλων σφαλμάτων σε κράματα ελαφρών μετάλλων.

5.11. Κατεργασία του φιλμ

Κατά την κατεργασία του φιλμ εμφανίζεται και μονιμοποιείται το μη ορατό είδωλο που δημιουργήθηκε κατά την έκθεση του φιλμ σε ακτινοβολία X ή γ. Η κατεργασία του φιλμ γίνεται με χαμηλό, φωτισμό τέτοιου χρώματος που να μην επηρεάζει το φιλμ.

Κατ' αρχάς το φιλμ βυθίζεται στο διάλυμα εμφανιστή εντός του οποίου αμαυρώνουν οι περιοχές του φιλμ που εξετέθησαν στην ακτινοβολία. Το ποσοστό αμαύρωσης εξαρτάται από την έκθεση του φιλμ. Με το πέρας της εμφάνισης το φιλμ βυθίζεται στο λουτρό διακοπής, το οποίο διακόπτει την διαδικασία εμφάνισης και τελικά το φιλμ βυθίζεται στον σταθεροποιητή. Ο σταθεροποιητής μονιμοποιεί το είδωλο επί του φιλμ αφαιρώντας τον βρωμιούχο άργυρο που δεν έχει εκτεθεί.

5.11.1. Καθαριότητα

Κατά τον χειρισμό του φιλμ απαιτείται πολύ μεγάλη καθαριότητα. Ο σκοτεινός θάλαμος και όλα τα εργαλεία του πρέπει να είναι πολύ καθαρά και να χρησιμοποιούνται μόνο για τον σκοπό για τον οποίο προορίζονται. Εάν χυθούν χημικά πρέπει να σκουπίζονται αμέσως διότι εάν εξατμισθεί μπορεί να έρθει σε επαφή με την επιφάνεια του φιλμ και να δημιουργήσει σημάδια.

Τα θερμόμετρα, αναμικτήρας και τα πλαίσια αναρτήσεως των φιλμ πρέπει να πλένονται πολύ καλά με νερό μετά την χρήση τους. Τα χημικά δεν πρέπει να στεγνώσουν επάνω τους οπότε θα είναι πιθανή η μόλυνση των διαλυμάτων και η δημιουργία προβλημάτων στις ραδιογραφίες όταν επαναχρησιμοποιηθούν.

5.11.2. Χειρισμός Φιλμ

Ο χειρισμός που υφίστανται τα φιλμ πρέπει να είναι πολύ προσεκτικός. Τα φιλμ δεν πρέπει να υφίστανται μεγάλη πίεση επί της επιφάνειάς τους και όταν τοποθετηθούν στην κασέτα μια μικρή πίεση είναι αρκετή για την επίτευξη καλής επαφής με τις ενισχυτικές επιφάνειες. Κατά τον χειρισμό των φιλμ το χέρι πρέπει να είναι καθαρά από χημικά και ιδρώτα για να μην δημιουργούνται σημάδια. Το φιλμ

πρέπει να πιάνονται από τα άκρα προσεκτικά να μην δημιουργούνται τσαλακώματα τα οποία τραυματίζουν την επιφάνειά του.

Τα φιλμ δεν πρέπει να σύρονται απότομα από τα κουτιά ή τις κασέτες κατά το βγάλσιμό τους, ούτε επιτρέπεται άλλος χειρισμός που δημιουργεί έντονη τριβή. Μπορεί να προκληθεί στατικός ηλεκτρισμός ο οποίος δημιουργεί μαύρα σημάδια στο φιλμ στρογγυλού σχήματος ή ομοιάζοντα με δεύτρα.

5.11.3. Στάδια Κατεργασίας Φιλμ

5.11.3.1. Εμφάνιση

Κατά την εμφάνιση τα σωματίδια του βρωμιούχου αργύρου που έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία μετατρέπονται σε μαύρο μεταλλικό άργυρο. Το διάλυμα του εμφανιστή είναι αλκαλικό. Η ποσότητα του βρωμιούχου αργύρου που μετατρέπεται είναι ανάλογη των:

- Χρόνος εμφάνισης
- Ισχύς εμφανιστού
- Θερμοκρασία εμφανιστού.

Για τον υπολογισμό των ανωτέρω μεταβλητών πρέπει πάντα να ακολουθούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή ανά τύπο φιλμ. Για την επίτευξη ομοιόμορφων αποτελεσμάτων η θερμοκρασία του εμφανιστή διατηρείται σε ελεγχόμενα επίπεδα και ο χρόνος εμφάνισης εξαρτάται από τον τύπο του φιλμ. Σε συνήθεις περιπτώσεις η απαιτούμενη αμαύρωση και αντίθεση του φιλμ για βιομηχανικές εφαρμογές επιτυγχάνεται σε θερμοκρασία εμφανιστού 20 °C και χρόνο εμφάνισης 5 έως 8 λεπτά.

Προ της εμφάνισης ελέγχεται πάντα η θερμοκρασία του διαλύματος. Όταν τα πλαίσια ανάρτησης με τα φιλμ βυθιστούν στο διάλυμα, πρέπει να τιναχθούν ελαφρώς για να απομακρυνθούν τυχόν φυσαλίδες από την επιφάνεια του φιλμ. Κατά την διάρκεια της εμφάνισης, και κάθε ένα λεπτό, το πλαίσιο ανάρτησης αναταράσσεται προσεκτικά οριζοντίως και καθέτως λόγω των υπολοίπων της χημικής αντίδρασης που ρέουν επί της επιφανείας του φιλμ.

Η ισχύς του εμφανιστού ελέγχεται δια της εμφανίσεως φιλμ και της συγκρίσεως του με άλλο φιλμ το οποίο έχει υποστεί έκθεση και κατεργασία σε γνωστές συνθήκες.

5.11.3.2. Λουτρό Διακοπής

Με το πέρας του χρόνου εμφανίσεως το φιλμ αφαιρείται από τον εμφανιστή και στραγγίζεται για 1 με 2 λεπτά. Κατόπιν το φιλμ βυθίζεται στο λουτρό διακοπής το οποίο ευρίσκεται στην ίδια θερμοκρασία με τον εμφανιστή. Το πλαίσιο ανάρτησης ανακινείται για 30 με 60 λεπτά και μετά μεταφέρεται στο διάλυμα του σταθεροποιητή. Όταν το φιλμ αφαιρεθεί από τον εμφανιστή μια ποσότητα εμφανιστή παραμένει στην επιφάνεια του φιλμ και συνεχίζεται η διαδικασία εμφάνισης. Το λουτρό διακοπής αφαιρεί το υπόλοιπο του εμφανιστή από την επιφάνεια του φιλμ και έτσι αποφεύγεται η μη κανονική εμφάνιση και η μόλυνση του σταθεροποιητή από υπολείμματα εμφανιστή. Το λουτρό διακοπής είναι διάλυμα οξικού οξέως και νερού. Εάν το λουτρό διακοπής δεν είναι διαθέσιμο, τα φιλμ θα πρέπει να ξεπλένονται σε τρεχούμενο νερό για 1 με 2 λεπτά πριν τοποθετηθούν στον σταθεροποιητή. Ξέπλυμα ή λουτρό διακοπής εμφάνισης χρειάζονται επίσης και τα μεταλλικά στηρίγματα του φιλμ, διότι από εκεί μπορεί να τρέξει επιπλέον εμφανιστής στο φιλμ ή τουλάχιστον να μεταφερθεί εμφανιστής στο λουτρό σταθεροποίησης.

5.11.3.3. Σταθεροποιητής

Ο σταθεροποιητής είναι ένα όξινο διάλυμα που εξυπηρετεί δύο σκοπούς:

- A. Απομακρύνει τους μη εκτεθειμένους κρυστάλλους βρωμιούχου αργύρου, διότι ειδάλλως θα μπορούσαν να εκτεθούν στο φως και να συμβεί αργή μεν αλλά σίγουρη εμφάνιση, στον ατμοσφαιρικό αέρα.
- B. Σκληραίνει το γαλάκτωμα του φιλμ(αιώρημα βρωμιούχου αργύρου σε ζαλατίνη), προσδίδοντας σε αυτό μεγαλύτερη μηχανική αντοχή αλλά και ταχύτερο και ασφαλέστερο στέγνωμα.

Πρέπει να αποφεύγονται οι υψηλές θερμοκρασίες οι οποίες μπορεί να αφαιρέσουν την επίστρωση του φιλμ. Μόλις το πλαίσιο ανάρτησης βυθιστεί στον σταθεροποιητή το πλαίσιο ανακινείται ανά 2 λεπτά περίπου. Ο χρόνος σταθεροποίησης δεν πρέπει να υπερβαίνει τα 15 λεπτά. Εάν οι κόκκοι του

βρωμιούχου αργύρου που δεν έχουν εκτεθεί σε ακτινοβολία παραμένουν επί του φιλμ θα σκουρύνουν όταν εκτεθούν σε φως και θα καταστραφεί η ραδιογραφία. Ο σταθεροποιητής αφαιρεί τον βρωμιούχο άργυρο που δεν έχει εκτεθεί σε ακτινοβολία και σκληραίνει την επιφάνεια του φιλμ. Η παρακολούθηση της δραστηριότητας του λουτρού στερέωσης και η αντικατάσταση του στους κανονικούς χρόνους είναι πολύ σημαντική για την σωστή σταθεροποίηση του φιλμ.

5.11.3.4. Πλύσιμο

Με το πέρας της σταθεροποίησης το φιλμ πλένεται για να αφαιρεθεί ο σταθεροποιητής από την επιφάνεια. Για να είναι αποτελεσματικό το πλύσιμο, το άνω μέρος του πλαισίου ανάρτησης που συγκρατεί το φιλμ πρέπει να καλύπτεται πλήρως από νερό που ρέει. Το αποτελεσματικό πλύσιμο απαιτεί επαρκή ροή νερού και επαρκή χρόνο για να αφαιρεθεί ο σταθεροποιητής από την επιφάνεια του φιλμ. Εάν δεν απομακρυνθεί όλος ο σταθεροποιητής μετά από μακρό χρονικό διάστημα το φιλμ θα αποκτήσει ένα χαρακτηριστικό καφέ χρώμα. Για θερμοκρασία νερού 20 °C και ροή ύδατος που να ανανεώνει το νερό του δοχείου τέσσερις φορές ανά ώρα, ο χρόνος πλυσίματος είναι 30 λεπτά. Τα πλαίσια ανάρτησης τοποθετούνται στο δοχείο κοντά στο σημείο εξόδου του νερού. Επομένως τα φιλμ που περιέχουν την μεγαλύτερη ποσότητα σταθεροποιητή, πλένονται σε νερό που ήδη περιέχει σταθεροποιητή.

Κατά τη διάρκεια του πλυσίματος τα φιλμ βαθμιαία μεταφέρονται πλησιέστερα στην πλευρά του δοχείου που είναι η είσοδος του νερού. Με αυτόν τον τρόπο το τελικό πλύσιμο των φιλμ γίνεται σε καθαρό νερό. Το δοχείο πρέπει να είναι ικανού όγκου ώστε το φιλμ να πλένονται συνεχόμενα χωρίς διακοπή.

5.11.3.5. Στέγνωμα

Όταν το φιλμ αφαιρεθεί από το δοχείο πλυσίματος μικρές σταγόνες νερού παραμένουν επί της επιφάνειας του φιλμ, λόγω της επιφανειακής τάσης. Εάν αυτές οι σταγόνες στεγνώσουν επί της επιφάνειας του φιλμ δημιουργούν σημάδια.

Για την αποφυγή του ανωτέρω, συνιστάται προ του στεγνώματος η εμβάπτιση του φιλμ σε υγρό μείωσης επιφανειακής τάσης το οποίο προκαλεί ομοιόμορφο

στέγνωμα της επιφανείας του φιλμ. Πριν τοποθετηθεί το φιλμ στον φούρνο στεγνώματος θα πρέπει να στραγγίζεται.

Στους φούρνους στεγνώματος το φιλμ στεγνώνει με ζεστό αέρα ο οποίος έρχεται σε επαφή και με τις δύο πλευρές του. Εάν δεν υπάρχει φούρνος τα φιλμ κρεμιούνται για στέγνωμα σε σημείο όπου υπάρχει επαρκής αερισμός. Κατά το στέγνωμα απαιτείται προσοχή να μην ακουμπάει το ένα φιλμ το άλλο, να μην υπάρχει σκόνη στον αέρα και να μην κρεμιούνται υγρά φιλμ πάνω από ημίστεγνα φιλμ.

Το φιλμ πρέπει να αναρτάται με απλά κλιπς και όχι στα συρταρωτά στηρίγματα που ενδεχομένως να χρησιμοποιήθηκαν κατά την εμφάνιση του. Επίσης δεν πρέπει να κρεμιέται λοξά. Μετά το πλήρες στέγνωμα συνίσταται να κόβονται οι αιχμηρές γωνίες του και οι πλευρές εκείνες που φέρνουν τα σημάδια από την ανάρτηση του.

5.11.4. Σκοτεινός θάλαμος

Ο σκοτεινός θάλαμος πρέπει να χωρίζεται σε στεγνή και σε υγρή περιοχή. Στην στεγνή περιοχή γίνονται όλες οι εργασίες στις οποίες δεν πρέπει να υπάρχει υγρασία όπως γέμισμα και άδειασμα κασετών και τοποθέτηση φιλμ στα πλαίσια ανάρτησης. Στην υγρή πλευρά του θαλάμου υπάρχουν τα δοχεία για την κατεργασία των φιλμ.

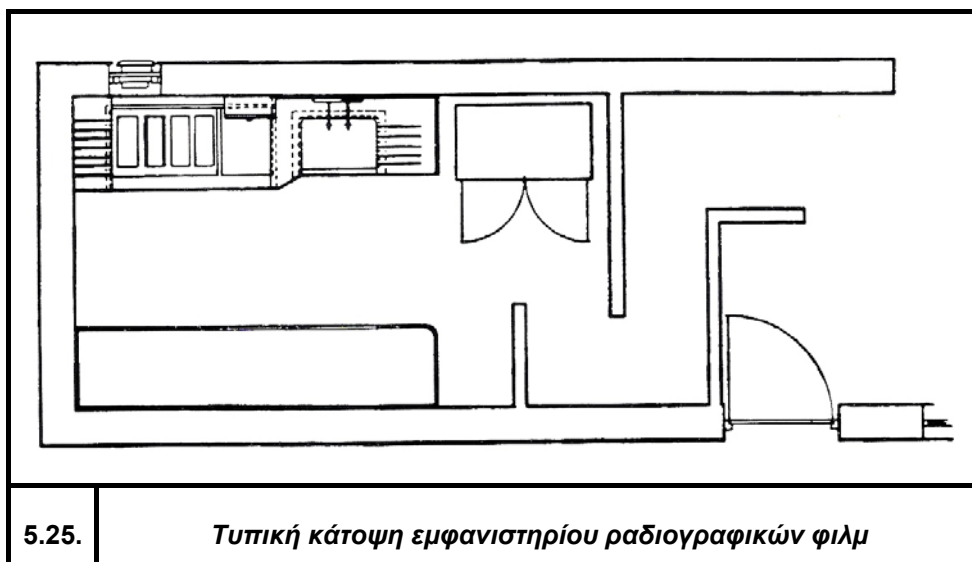
Τα δοχεία κατεργασίας των φιλμ πρέπει να είναι ικανών διαστάσεων ώστε τα φιλμ μαζί με τα πλαίσια ανάρτησης να χωράνε κάθετα. Τα δοχεία μπορεί να κατασκευαστούν από πλαστικό ή κατά προτίμηση από ανοξείδωτο χάλυβα. Οι διαστάσεις των δοχείων εξαρτώνται από τον αριθμό των φιλμ που θα υφίστανται κατεργασία και οι διαστάσεις τους πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να υπάρχει τουλάχιστον μια απόσταση 20mm μεταξύ των φιλμ και των πλαϊνών του δοχείου και το και το άνω μέρος των φιλμ να είναι βυθισμένο τουλάχιστον 20mm κάτω από την επιφάνεια του υγρού. Στην υγρή πλευρά του θαλάμου πρέπει να υπάρχουν τα ακόλουθα δοχεία κατά σειρά:

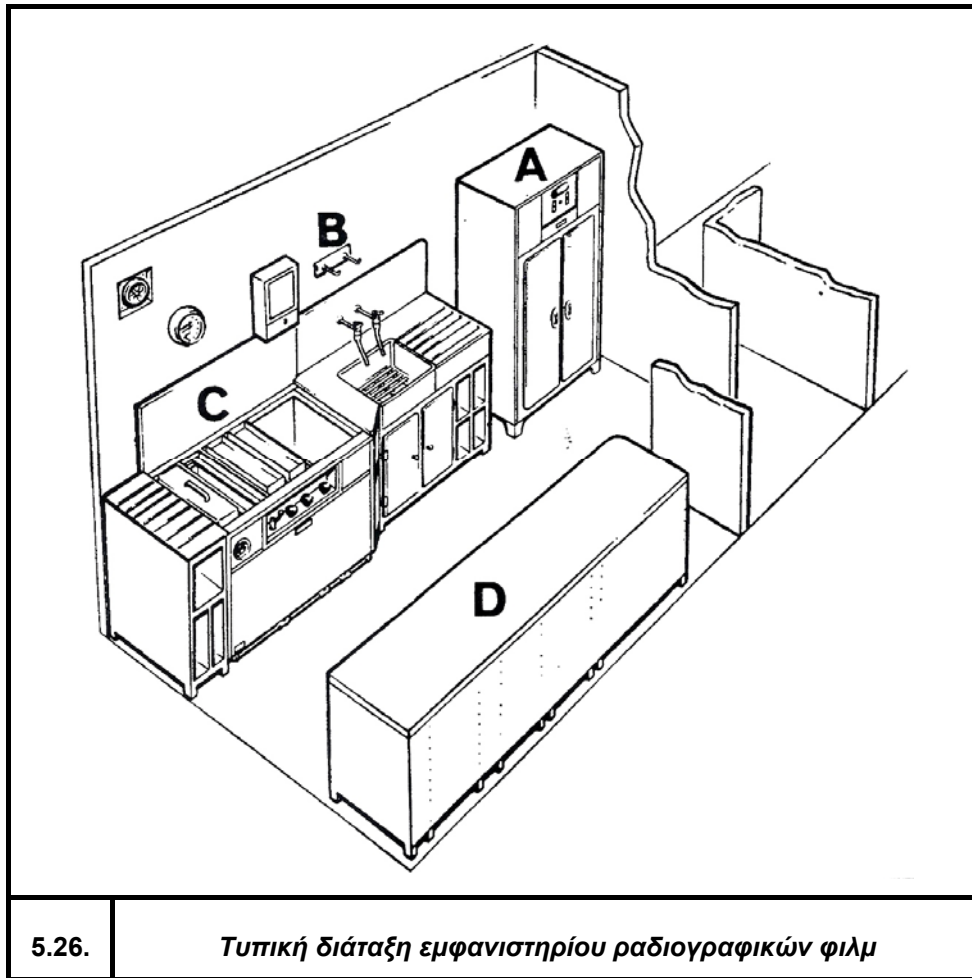
- Δοχείο εμφανιστή
- Δοχείο λουτρού διακοπής ή πλυσίματος
- Δοχείο σταθεροποιητή
- Δοχείο πλυσίματος

Οι διαστάσεις των δοχείων πρέπει να είναι τέτοιες ώστε να επιτρέπουν την συνεχή ροή της κατεργασίας του φιλμ. Δοχεία μεγαλύτερου όγκου του απαιτούμενου, οδηγούν στην σπατάλη των χημικών κατεργασίας και νερού.

Ο φωτισμός του σκοτεινού θαλάμου πρέπει να είναι ασφαλείας και λευκός. Ο θάλαμος θα διαιρείται σε περιοχές διαφορετικής εντάσεως φωτισμού. Στην περιοχή έντονου φωτισμού ασφαλείας το φιλμ πλένονται και τοποθετούνται για στέγνωμα, στην περιοχή μέσου φωτισμού ασφαλείας εμφανίζονται και σταθεροποιούνται και στην περιοχή χαμηλού φωτισμού ασφαλείας ανοίγονται τα κουτιά των φιλμ και γεμίζονται/αδειάζονται οι κασέτες.

Απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην τοποθέτηση των φώτων ασφαλείας διότι το φιλμ θολώνει με υπερβολική έκθεση σε φωτισμό ασφαλείας. Το ανωτέρω ελέγχεται με κατάλληλη δοκιμή έκθεσης φιλμ, στα φώτα ασφαλείας. Η διαδικασία έχει ως εξής : μέρος του σκεπάζεται και τοποθετείται σε απόσταση τέτοια που αντιστοιχεί στην απόσταση που θα δουλεύουμε πραγματικά φιλμ. Το αφήνουμε εκτεθειμένο στο φως ασφαλείας για χρόνο που αντιστοιχεί στον χειρισμό των πραγματικών φιλμ. Μετά το πέρας της κατεργασίας του φιλμ, ο φωτισμός θεωρείται ασφαλής εάν δεν υπάρχει διαφορά αμαύρωσης μεταξύ καλυμμένης και ελεύθερης περιοχής.





5.26.

Τυπική διάταξη εμφανιστηρίου ραδιογραφικών φιλμ

5.11.5. Υλικά των δεξαμενών επεξεργασίας

Οι δεξαμενές επεξεργασίας του φιλμ συνίσταται να κατασκευάζονται από ανοξείδωτο χάλυβα τύπου AISI 316(με 2 έως 3% μολυβδαίνιο, για να αποφεύγεται πλήρως η διάβρωση). Υλικά όπως αλουμίνιο, γαλβανισμένος χάλυβας ή κασσίτερος πρέπει να αποφεύγονται, διότι προκαλούν επιμόλυνση(contamination) των υγρών επεξεργασίας του φιλμ και επομένως σημαντικά προβλήματα, ακόμη και αν έλθουν σε επαφή μαζί τους. Άλλα κατάλληλα υλικά είναι τα πλαστικά, το γυαλί και τα πορσελανοποιημένα κεραμικά. Στο θάλαμο εμφάνισης είναι απαραίτητο ένα καλό σύστημα εξαερισμού.

5.11.6. Αυτόματη εμφάνιση του φιλμ

Τα αυτόματα εμφανιστήρια χρησιμοποιούνται τα τελευταία χρόνια ολοένα και περισσότερο, διότι απελευθερώνουν ανθρώπινο δυναμικό, εμφανίζουν σε πολύ

σύντομο χρόνο(λιγότερο από 13 λεπτά σε σχέση με τουλάχιστον 60 λεπτά που απαιτούνται μέχρι την ξήρανση του φιλμ με την παραδοσιακή μέθοδο) και παρέχουν σταθερής ποιότητας εμφάνιση(εφόσον συντηρούνται συστηματικά και σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή). Χρησιμοποιούν ειδικό εμφανιστή και σταθεροποιητή και η διαρκής ανάδευση του φιλμ αλλά και η διακοπή της εμφάνισης γίνονται από το ίδιο το σύστημα μεταφοράς του φιλμ στα διάφορα λουτρά, δηλαδή τους ειδικούς κυλίνδρους.

Το μειονέκτημα ενός αυτόματου συστήματος, ακόμη και αν είναι υψηλής ποιότητας και συντηρείται σωστά, είναι η αδυναμία επέμβασης στον χρόνο ή την θερμοκρασία εμφάνισης, ώστε να βελτιωθούν ορισμένα χαρακτηριστικά του φιλμ. Η θερμοκρασία του εμφανιστή είναι συνήθως υψηλότερη από ότι συνίσταται στα χειρωνακτικά συστήματα(27 έως 28 °C) και του νερού έκπλυσης περί τους 3 °C χαμηλότερη από την προηγούμενη.

Κατά την τροφοδοσία της συσκευής με τα διάφορα χημικά, είναι πολύ ουσιαστικό να τηρείται η σειρά που δίνει ο κατασκευαστής (π.χ. πρώτα ο σταθεροποιητής) για να μην υπάρχει επιμόλυνση των χημικών. Τυχαία ανάμιξη σταθεροποιητή στον εμφανιστή σε αναλογία έστω και 1% επηρεάζει δραστικά την ποιότητα της εμφάνισης.

5.12. Ελαττώματα του ραδιογραφήματος

5.12.1. Ελαττώματα που προκαλούνται πριν από την εμφάνιση

I. Χημική ομίχλη(fog) – θολότητα

Ως χημική ομίχλη ή θολότητα ή απλώς ομίχλη(fog) ορίζεται η έκθεση των κρυστάλλων του γαλακτώματος(άρα και η σχετική αμαύρωση) για λόγους άλλους από την πρόσπτωση της ακτινοβολίας X ή γ που εμείς προκαλούμε. Η ομίχλη είναι περισσότερο εμφανής σε λιγότερο φωτεινές περιοχές του ραδιογραφήματος και μπορεί να είναι γενική ή τοπική(αναλόγως της αιτίας που την προκάλεσε). Αίτια ομίχλης μπορεί να είναι :

- Έκθεση του φιλμ(ή μέρους του) σε ορατό φως. Συνήθως από το φως του σκοτεινού θαλάμου εμφάνισης, όταν είναι πολύ μεγάλης έντασης, είτε όταν το φίλτρο της λάμπας καταστραφεί μερικά ή ολικά.

- Έκθεση σε φως ή ακτινοβολία ακτίνων X κατά λάθος(π.χ. από ελαττωματικές κασέτες ή κακό χειρισμό).
- Κακές συνθήκες αποθήκευσης των μη εκτεθειμένων φιλμ. Ιδιαίτερα όταν υπάρχει υψηλή θερμοκρασία στην υγρασία ή ατμοί ορισμένων χημικών ουσιών.
- Φυσική γήρανση του φιλμ. Όλα τα φιλμ και ιδιαίτερα τα γρήγορα, με την πάροδο του χρόνου παρουσιάζουν ομίχλη και επομένως δεν θα πρέπει να διατηρούνται για μεγάλο χρονικό διάστημα.
- Μεγάλος χρόνος εμφάνισης. Παρουσιάζεται ιδιαίτερα στα γρήγορα φιλμ και μάλιστα όταν η θερμοκρασία του εμφανιστή είναι υψηλή. Ακόμη και υπερβολική ανάδευση του εμφανιστή, μπορεί να προκαλέσει ομίχλη.

Η μέγιστη επιτρεπτή γενική ομίχλη δίνεται επίσης από ορισμένες προδιαγραφές και εκφράζεται σε μονάδες πυκνότητας εμφανισμένου φιλμ, χωρίς αυτό να έχει εκτεθεί σε ακτίνες X ή γ(π.χ. 0,2 για τα πιο αργά φιλμ και 0,6 για τα πιο γρήγορα). Στην πυκνότητα αυτή συνεισφέρει βεβαίως και ο ελαφρός χρωματισμός της βάσης του φιλμ.

II. Μαύρα σημάδια από πίεση(μετά την έκθεση)

Εάν το φιλμ πιεστεί ή καμφθεί πολύ(τσακίσει) μετά από την έκθεση, παρουσιάζονται στο ραδιογράφημα μαύρα σημάδια, στα σημεία πίεσης ή τσακίσματος. Συνήθως έχουν πολύ χαρακτηριστικό σχήμα τόξου ή μικρού κύκλου ή «νυχιάς». Το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα συχνό, όταν χρησιμοποιούνται εύκαμπτες πλαστικές κασέτες.

III. Λευκά σημάδια από πίεση(πριν την έκθεση)

Όπως προηγουμένως, αλλά προξενούνται από πίεση η τσάκισμα του φιλμ πριν αυτό εκτεθεί.

IV. Κηλίδες και γραμμές από ενισχυτικές πλάκες

Βαθιές αμυχές(γρατσουινιές) στις ενισχυτικές πλάκες προκαλούν μεγαλύτερη εκπομπή ηλεκτρονίων(ανά μονάδα επιφάνειας) και επομένως εμφανίζονται σαν μαύρα σημάδια ή γραμμές, στην περίπτωση πλακών(και λευκά στην περίπτωση φθοριζουσών).

V. Ξένες ύλες μεταξύ ενισχυτικών πλακών και φιλμ

Απορροφούν ακτινοβολία και επομένως εμφανίζονται σαν λευκά σωματίδια(τέτοια είναι και η περίπτωση lead pick-up, όταν χρησιμοποιούνται

μεταλλικές ενισχυτικές πλάκες). Σχετικό σφάλμα είναι και η εμφάνιση της δομής του χαρτιού, όταν αυτό τοποθετηθεί μεταξύ φιλμ και ενισχυτικής πλάκας.

VI. Σημάδια στατικού ηλεκτρισμού

Προκαλούνται συχνά με την γρήγορη εξαγωγή του φιλμ από την κασέτα ή τον φάκελο(στην περίπτωση έτοιμων φιλμ). Εμφανίζονται σαν μαύρες χαρακτηριστικές γραμμές που θυμίζουν στιγμιαία αποτύπωση αστραπών. Οφείλονται σε στατικό ηλεκτρισμό που αναπτύχθηκε με την τριβή του φιλμ στις ενισχυτικές πλάκες ή στα φύλλα χαρτιού που το περιβάλλουν. Το ξηρό περιβάλλον ευνοεί την εμφάνιση του φαινομένου.

VII. Δακτυλικά αποτυπώματα

Τα δάκτυλά μας συχνά έχουν ελαφρό στρώμα φυσικών ελαίων. Όταν πιάσουμε το φιλμ πριν την εμφάνιση του με όχι καθαρά χέρια, τα έλαια αυτά εμποδίζουν στη συνέχεια την εμφάνιση και εμφανίζονται στο ραδιογράφημα σαν λευκά δακτυλικά αποτυπώματα.

VIII. Εμφανιστής στο φιλμ(πριν την εμφάνιση)

Προκαλεί την τοπική αμαύρωση του φιλμ.

IX. Νερό στο φιλμ(πριν την εμφάνιση)

Προκαλεί ελαφρώς μεγαλύτερη αμαύρωση, όταν εμφανιστεί το φιλμ.

X. Σταθεροποιητής στο φιλμ(πριν την εμφάνιση)

Σταγόνες σταθεροποιητή στο φιλμ πριν την εμφάνιση, εμφανίζονται στο ραδιογράφημα σαν λευκές κηλίδες, που όμως γυαλίζουν όταν φωτίσουμε το φιλμ από τα πλάγια.

XI. Στίγματα περίθλασης(Diffraction Mottling)

Έχουν εμφάνιση μαύρων στιγμάτων, παρόμοιων με εκτεταμένους πόρους μικρών σχετικά διαστάσεων. Παρουσιάζονται κυρίως σε χονδρόκοκκα υλικά, όπως χυτό αλουμίνιο και ωστενιτικούς χάλυβες, αλλά πολύ σπάνια σε κοινούς χάλυβες χαμηλού άνθρακα(ακόμη και όταν είναι χυτοί). Είναι δυνατόν να εξιχνιαστεί εάν πρόκειται για περίθλαση της ακτινοβολίας στους κόκκους του υλικού ή για πορώδες του υλικού, περιστρέφοντας ελαφρά το δοκίμιο(1 έως 5 μοίρες) και παρατηρώντας εάν περιστράφηκαν αντίστοιχα και οι ενδείξεις(οπότε πράγματι είναι πορώδες). Το φαινόμενο εξουδετερώνεται με μικρή αύξηση των kV είτε με χρήση φίλτρων(διότι το συναντάμε κυρίως σε ραδιογράφιση με χαμηλά kV). Ενδέχεται όμως η παρουσία του φαινομένου να σημαίνει και ατέλεια του υλικού και συγκεκριμένα την ύπαρξη μεγάλων κόκκων, ενώ αυτό δεν θα έπρεπε να συμβαίνει.

5.12.2. Ελαττώματα που προξενούνται κατά την εμφάνιση

I. Γραμμώσεις από εμφανιστή

Προκαλούνται όταν το φιλμ δεν αναδεύεται προς όλες τις διευθύνσεις μέσα στο λουτρό εμφάνισης και έχουν συχνά εικόνα μαύρων λωρίδων, παράλληλων προς τα άκρα του φιλμ.

II. Φυσαλίδες αέρα

Εμφανίζονται σαν ανοιχτόχρωμες στρογγυλόμορφες κηλίδες και οφείλονται στην προσκόλληση φυσαλίδων αέρα στο φιλμ, όταν αυτό βρίσκεται στο λουτρό εμφανιστή(και ιδιαίτερα στο πρώτο στάδιο).

III. Εμφάνιση δικτυώματος

Προκαλείται όταν υπάρχει σημαντική διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των λουτρών(εμφανιστή, στερεωτή, έκπλυσης κλπ), ιδιαίτερα εάν η θερμοκρασία του εμφανιστή είναι πολύ υψηλή (αρκετά πάνω από 24 °C). Το γαλάκτωμα ρυτιδώνει και εμφανίζεται σαν δικτυωτό είτε σαν εξαιρετικά κοκκώδες.

IV. Απώλεια του γαλακτώματος

Προκαλείται από υπερβολικά υψηλή θερμοκρασία εμφανιστή ή σταθεροποιητή, καθώς και από υπερβολικά εξασθενημένο διάλυμα σταθεροποιητή. Το γαλάκτωμα φεύγει τελείως και απομένει η πλαστική βάση του φιλμ.

V. Σημάδια από στέγνωμα του φιλμ

Προκαλούνται από σταγόνες νερού που παραμένουν υγρές, παρότι το υπόλοιπο φιλμ είχε στεγνώσει. Εμφανίζονται σαν μαύρες στρογγυλές κηλίδες ή σαν μαύρες λωρίδες, που γυαλίζουν όταν φωτιστούν από τα πλάγια(όπως εξάλλου όλα τα σχετικά σφάλματα του φιλμ που δημιουργούνται κατά την εμφάνιση).

VI. Μεταλλικά ρινίσματα στο λουτρό εμφάνισης

Προκαλούν μαύρα στίγματα ή και λωρίδες, λόγω ενίσχυσης της εμφάνισης, όταν βρίσκονται σε επαφή με το εμφανιζόμενο φιλμ.

VII. Χημική ομίχλη

Παρουσιάζεται λόγω μεγάλων χρόνων εμφάνισης.

5.13. Επιλογή παραμέτρων ραδιογράφησης

5.13.1. Διαγράμματα έκθεσης

Προκειμένου να είμαστε σε θέση να πετύχουμε το ραδιογράφημα που θέλουμε χωρίς πολλαπλές δοκιμές, κατασκευάζουμε το διάγραμμα έκθεσης. Πρόκειται για ένα γράφημα που στον οριζόντιο άξονα(τετμημένες) έχει το πάχος του ραδιογραφούμενου υλικού και στον κάθετο άξονα(τεταγμένες) την απαραίτητη έκθεση.

Το γράφημα έχει ισχύ για συγκεκριμένο ραδιογραφούμενο υλικό(π.χ. χάλυβα ή αλουμίνιο), συγκεκριμένο φιλμ, συγκεκριμένη απόσταση πηγής-φιλμ, χρήση ενισχυτικών πλακών από συγκεκριμένο υλικό και πάχη, συγκεκριμένες συνθήκες εμφάνισης(χρόνοι, θερμοκρασίες, πυκνότητες λουτρών), συγκεκριμένη πυκνότητα φιλμ(συνήθως 2.0D) και αν πρόκειται για ακτινοβολία ακτίνων Χ, συγκεκριμένη συσκευή σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα(δηλαδή το διάγραμμα της έκθεσης της συσκευής ακτίνων Χ πρέπει να επαληθεύεται ή να διορθώνεται σε τακτά χρονικά διαστήματα).

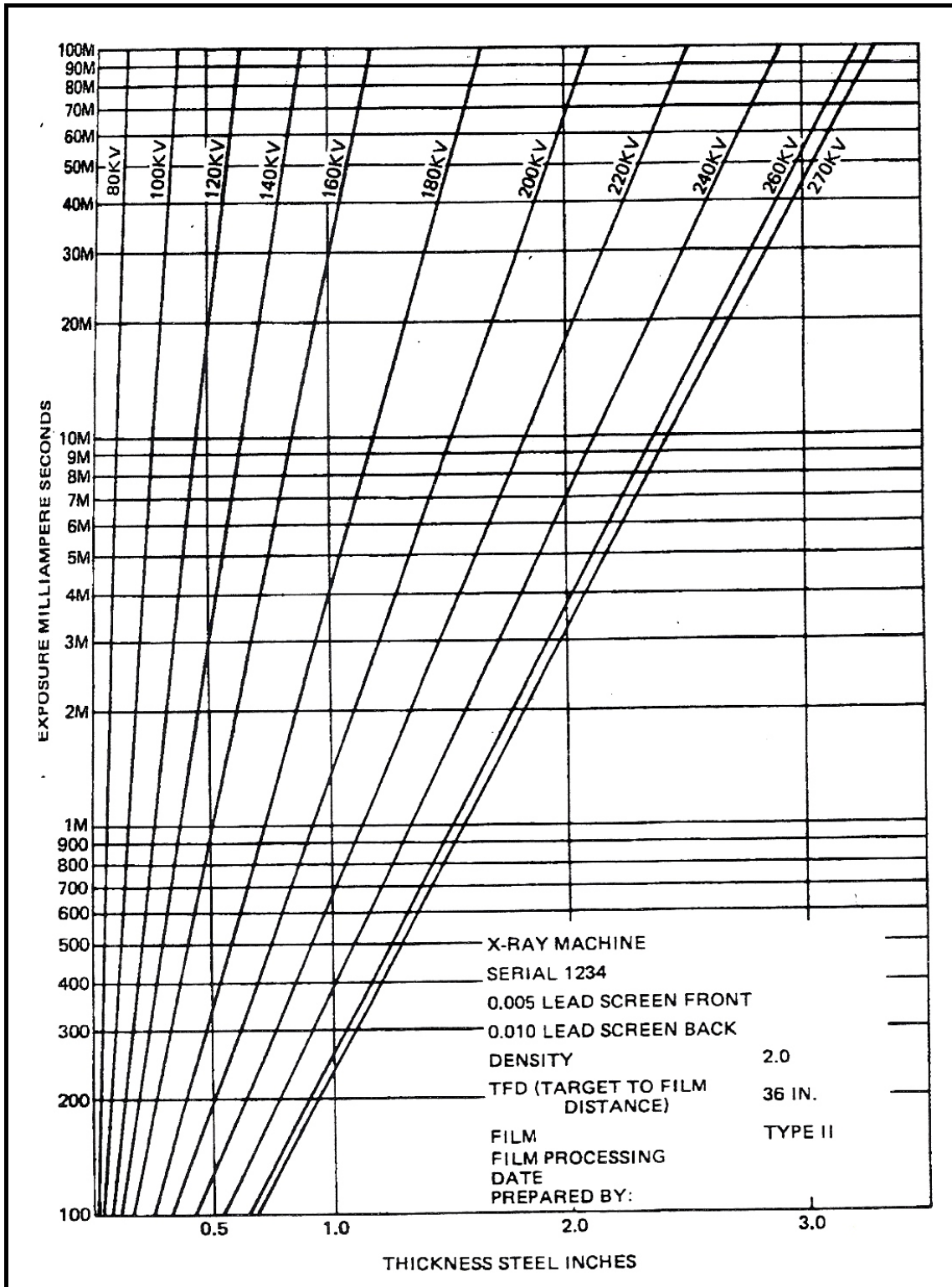
Οι κλίμακες είναι συνήθως λογαριθμικές(τουλάχιστον η μια εκ των δύο), οπότε το γράφημα παρουσιάζεται σαν ευθεία. Προκειμένου για ακτίνες Χ, απεικονίζονται διάφορες γραμμές, που αντιστοιχούν στα kV της ραδιογράφησης, ενώ για συγκεκριμένο ισότοπο(π.χ. Ir192) έχουμε μόνο μια ευθεία.

Εάν κατά την ραδιογράφηση θέλουμε να αλλάξουμε κάποιον από τους παράγοντες που τηρήσαμε σταθερούς κατά την κατασκευή του διαγράμματος έκθεσης, πράττουμε ανάλογα. Έτσι, εάν θέλουμε να αλλάξουμε την απόσταση πηγής φιλμ, χρησιμοποιούμε τον γενικευμένο νόμο της έκθεσης για να βρούμε την νέα απαιτούμενη έκθεση, ενώ αν θέλουμε να αλλάξουμε το είδος του φιλμ ή την πυκνότητα ραδιογραφήματος, χρησιμοποιούμε τις χαρακτηριστικές καμπύλες των φιλμ.

Το διάγραμμα έκθεσης κατασκευάζεται ραδιογραφώντας επανειλημμένα ένα κλιμακωτό σφήνα(step wedge : 1. πυκνομετρική διαβάθμιση, 2. βαθμονόμηση κλίμακας σκιαγραφημένης διαβάθμισης 3. κλίμακα του γκριζου για την διαβάθμιση της οπτικής πυκνότητας 4. κλίμακα οπτικής πυκνότητας), με σταθερές τις συνθήκες που θέλουμε(π.χ. απόσταση πηγής-φιλμ, είδος φιλμ, ενισχυτικών πλακών, kV, συνθήκες εμφάνισης κλπ) και με διαφορετικές εκθέσεις(συνήθως η μια διπλάσια της άλλης),

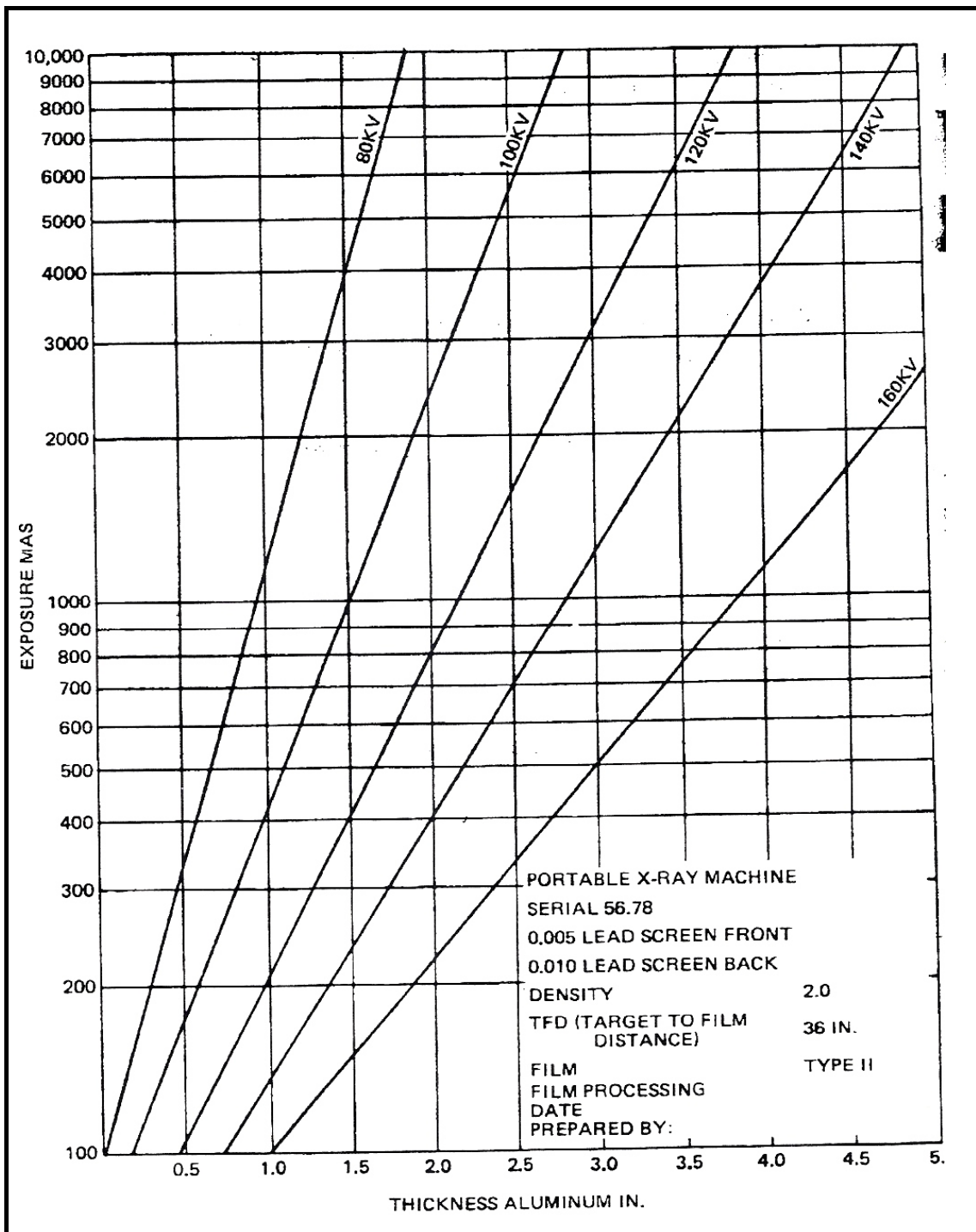
τοποθετώντας στο γράφημα εκείνα τα πάχη και εκθέσεις που μας έδωσαν την επιθυμητή πυκνότητα(π.χ. 2.0D). Βεβαίως υπάρχουν τεχνικές που μας επιτρέπουν την ταχύτερη κατασκευή του διαγράμματος.

Τα διαγράμματα έκθεσης συχνά(ιδιαίτερα στις ακτίνες γ) δίνονται υπό την μορφή λογαριθμικού κανόνα(slide rule) ή άλλου είδους υπολογιστικής συσκευής(calculator). Στην περίπτωση μάλιστα ακτίνων γ, οι σχετικές υπολογιστικές συσκευές ή κανόνες δίνουν τον απαιτούμενο χρόνο έκθεσης για διαφορετικές αποστάσεις πηγής-φιλμ, για διαφορετικά Curie(ή χρόνους) του ισοτόπου και διαφορετικά φιλμ.



5.27.

Τυπικό διάγραμμα έκθεσης για χάλυβα



5.28.

Τυπικό διάγραμμα έκθεσης για αλουμίνιο

5.13.2. Συντελεστής ισοδυναμίας

Αν πρόκειται να ραδιογραφήσουμε ένα οποιοδήποτε υλικό, είναι δυνατόν να συσχετίσουμε την απαιτούμενη έκθεση για αυτό το υλικό με την απαιτούμενη έκθεση για ραδιογράφιση χάλυβα, πολλαπλασιάζοντας το πάχος του υλικού με τον «συντελεστή ισοδυναμίας»(equivalence factor). Χρησιμοποιούμε το διάγραμμα έκθεσης για χάλυβα, σαν να έχουμε πάχος χάλυβα όσο το γινόμενο του πάχους του υλικού μας επί τον αντίστοιχο συντελεστή ισοδυναμίας.

Οι σχετικοί πίνακες δίνουν τον συντελεστή ισοδυναμίας, σε σχέση βεβαίως με τα kV ή το ισότοπο που χρησιμοποιούμε. Για ακτινοβολίες μικρής διεισδυτικότητας(συνήθως 100kV και κάτω) σαν βάση(συντελεστής 1.0) συχνά δεν χρησιμοποιείτε ο χάλυβας αλλά το αλουμίνιο. Στην συνέχεια παραθέτουμε τους συντελεστές ισοδυναμίας για διάφορα υλικά και ακτινοβολίες.

ΜΕΤΑΛΛΟ	ΑΚΤΙΝΕΣ Χ							ΑΚΤΙΝΕΣ Γ			
	50kV	100kV	150kV	220kV	400kV	1000kV	2000kV	Ir-192	Cs-137	Co-60	ΡΑΔΙΟ
ΜΑΓΝΗΣΙΟ	0,6	0,6	0,05	-	-	-	-	-	-	-	-
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ	1	1	0,12	-	-	-	-	0,35	0,35	0,35	0,4
ΧΑΛΥΒΑΣ	-	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18/8 St.8t	-	12	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ΧΑΛΚΟΣ	-	18	1,6	1,4	1,4	-	-	1,1	1,1	1,1	1,1
ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΣ	-	-	1,4	1,3	1,3	-	-	1,1	1	1	1
ΜΟΛΥΒΔΟΣ	-	-	14	12	-	5	2,5	4	3,2	2,3	2

5.14. Δείκτες ποιότητας εικόνας-πενετρόμετρα

5.14.1. Γενικές αρχές

Ο δείκτης ποιότητας εικόνας(image quality indicator IQI) ή πενετρόμετρο(penetrameter, ενίοτε και διεισδυτόμετρο) είναι ένα απλό σχετικά εξάρτημα, που χρησιμοποιείται ως ένα από τα μέσα ένδειξης της ποιότητας της ραδιογράφισης, με την έννοια και μόνο του αν χρησιμοποιήθηκε η σωστή τεχνική. Σε καμία περίπτωση δεν μπορεί να αντικαταστήσει και τα άλλα μέσα αξιολόγησης της ραδιογραφίας(εξέτασης της πυκνότητας, της προστασίας από οπίσθια σκέδαση κλπ). Σε καμία περίπτωση επίσης δεν μπορεί να θεωρηθεί σαν απόλυτη μέτρηση της ραδιογραφικής ευαισθησίας, δηλαδή ευαισθησία πενετρόμετρου 2% δεν σημαίνει και ανίχνευση σφαλμάτων μι διάσταση ίση με το 2% του ραδιογραφούμενου πάχους.

Τα πενετρόμετρα τοποθετούνται πάντοτε στην πλευρά το αντικείμενου που είναι προς την πηγή, εκτός εάν δεν μπορεί να γίνει αλλιώς(π.χ. σωλήνες μεγάλης διαμέτρου), οπότε τοποθετούνται ανάμεσα στο αντικείμενο και το φιλμ. Σε αυτή την περίπτωση οι περισσότερες προδιαγραφές απαιτούν την εμφάνιση στο ραδιογράφημα ενός μολύβδινου γράμματος F, που υποδουλώνει την τοποθέτηση του πενετρόμετρου στην πλευρά του φιλμ(film side). Εάν δεν είναι δυνατό να τοποθετηθούν πάνω στο αντικείμενο, οι προδιαγραφές συνήθως επιτρέπουν την τοποθέτηση τους παράπλευρα σε αυτό, σε υλικό και πάχος ίδιο με το ραδιογραφούμενο. Πάντως για την εν γένει τοποθέτηση των πενετραμέτρων, το είδος, τον αριθμό και την θέση τους, πρέπει να συμβουλευόμαστε απαραίτητως την αντίστοιχη προδιαγραφή.

Επισημαίνουμε μάλιστα ότι το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN1435:1997 απαιτεί την τοποθέτηση του πενετρόμετρου δίπλα στην συγκόλληση και όχι πάνω σε αυτήν και πιο συγκεκριμένα στο κέντρο και όχι στο άκρο της ραδιογραφούμενης περιοχής(όπως ήταν η συνήθης πρακτική). Το ίδιο πρότυπο καθορίζει ότι στην περίπτωση της ραδιογράφισης διπλού τοιχώματος-διπλής εικόνας(double wall-double image), το πενετρόμετρο τοποθετείται στο μέταλλο βάσεως, με τα σύρματα παράλληλα είτε κάθετα στον άξονα του σωλήνα(και πάλι αντίθετα από την συνήθη πρακτική).

5.14.2. Είδη πενετραμέτρων

Διαχωρίζονται σε πενετράμετρα τύπου σύρματος(wire type) και τύπου πλάκας(plaque type) αναλόγως την κατασκευή τους. Τα δεύτερα χρησιμοποιούνται ευρέως στην Αμερική ενώ τα πρώτα στις Ευρωπαϊκές χώρες και την Ελλάδα. Στην Αγγλία χρησιμοποιούνται συχνά και οι δύο τύποι.

5.14.2.1. Πενετράμετρα τύπου σύρματος

Κατωτέρω παρουσιάζουμε τα πενετράμετρα τύπου σύρματος κατά DIN54109 ή κατά EN462-1:1994(Ευρωπαϊκή προδιαγραφή).

Περιέχουν επτά σύρματα το καθένα(οι διάμετροι των συρμάτων είναι τυποποιημένες) από υλικό ίδιου συντελεστή απορρόφησης με το ραδιογραφούμενο δοκίμιο. Έτσι έχουμε πενετράμετρα για χάλυβα(γενικώς), αλουμίνιο, χαλκό κλπ.

Εκτός από τα γνωστά σύρματα 1-17 του DIN54109, η προδιαγραφή EN462-1 προσέθεσε δύο ακόμη λεπτότερα σύρματα(No 18 και 19) και ένα ακόμη πενετράμετρο, το 13-19.

Η ευαισθησία πενετραμέτρου(IQI sensitivity) μετράται ως εξής, $IQI\ sensitivity\ \% = d \cdot 100 / t$, όπου d η διάμετρος του λεπτότερου ορατού στο ραδιογράφημα σύρματος και t το ραδιογραφούμενο πάχος. Έτσι, ευαισθησία πενετραμέτρου 1,8% σημαίνει καλύτερη τεχνική(για τις ίδιες συνθήκες) από εκείνη του 2%, μιας και βλέπουμε λεπτότερο σύρμα.

Για την περίπτωση συγκολλήσεων, συνήθως οι προδιαγραφές ορίζουν ως t το πάχος του ελάσματος και το πάχος της προδιαγραφόμενης ενίσχυσης.

Όλες οι προδιαγραφές ορίζουν ότι στην περίπτωση ραδιογράφησης σωληνώσεων με τεχνική απλού τοιχώματος-απλής εικόνας(SWSI) ή διπλού τοιχώματος-απλής εικόνας(DWSI), ως πάχος t λαμβάνουμε το πάχος του ενός τοιχώματος.

Για την περίπτωση τεχνικής διπλού τοιχώματος-διπλής εικόνας(DWDI) συνήθως λαμβάνεται υπόψη το συνολικό πάχος που διαπερνά η ακτινοβολία(δηλαδή το διπλό πάχος τοιχώματος, όπως π.χ. ορίζει η ASTM E74).

Είναι προφανές ότι απαιτείται προσοχή στην προδιαγραφή της απαιτούμενης ευαισθησίας πενετραμέτρου, ειδικά στην περίπτωση DWSI και DWDI, όπου τιμές 2% και κάτω είναι δύσκολο να επιτευχθούν(ιδιαίτερα με ραδιογράφιση ακτίνων γ).

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN462-1 ουσιαστικά καταργεί την παραδοσιακή ευαισθησία πενετραμέτρου, εισάγοντας ένα νέο όρο, την «τιμή ποιότητας εικόνας»(image quality value) που ισοδυναμεί με το νούμερο του λεπτότερου σύρματος που είναι(ή πρέπει να είναι) εμφανές στο ραδιογράφημα.

Σημειώνουμε ότι εμφάνιση σύρματος στο ραδιογράφημα σημαίνει να φαίνεται ευκρινώς στην περιοχή του ραδιογραφήματος που ορίζει η χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή.

5.14.2.2. Πενετρέμετρα τύπου πλάκας

Υπάρχουν σε πολλές παραλλαγές, ανάλογα με την προδιαγραφή που τα ορίζει. Τα πενετράμετρα τύπου ASTM/ASME έχουν ομοιόμορφο πάχος και φέρουν τρεις οπές(διαμέτρου ίσης, διπλάσιας ή τετραπλάσιας του πάχους του πενετραμέτρου). Το χρησιμοποιούμενο πενετράμετρο(πάχος) καθορίζεται από της προδιαγραφές και ορίζεται συνήθως κοντά στο 2% του πάχους του ραδιογραφούμενου υλικού. Οι προδιαγραφές επίσης ορίζουν την οπή που πρέπει να είναι εμφανής στο ραδιογράφημα.

Έτσι, ραδιογράφιση 2-2T, σημαίνει επιλογή πενετραμέτρου με πάχος 2% του ραδιογραφούμενου πάχους και απεικόνισης της οπής με διάμετρο διπλάσια του πάχους του πενετραμέτρου. Η ευαισθησία πενετραμέτρου, σε αυτή την περίπτωση, βρίσκεται από τον τύπο $IQI \text{ sensitivity}\% = (100/t) \cdot \sqrt{D \cdot d/2}$, όπου t το ραδιογραφούμενο πάχος, d το πάχος του πενετράμετρου και D η διάμετρος της ορατής(στο ραδιογράφημα οπής).

Ραδιογράφιση 2-2T, δίνει επομένως ευαισθησία πενετράμετρου ίση με 2% ραδιογράφιση 1-2T, δίνει ευαισθησία πενετραμέτρου 1% και ραδιογράφιση 2-4T δίνει ευαισθησία πενετραμέτρου ίση με 2,83%.

Γενικά, ραδιογράφιση a-bT δίνει ευαισθησία πενετραμέτρου ίση με $a \cdot \sqrt{b/2}\%$. Πρέπει όμως να παρατηρήσουμε ότι οι δύο ευαισθησίες πενετραμέτρου(τύπου πλάκας και τύπου σύρματος) δεν είναι ισοδύναμες. Η

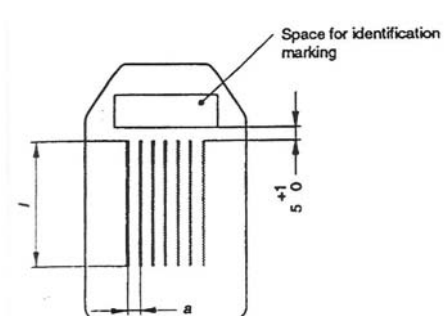
αντίστοιχη τύπου ASTM/ASME είναι πολύ δυσκολότερο να επιτευχθεί και τέτοια ευαισθησία 2% θα δώσει ευαισθησία πενετραμέτρου τύπου σύρματος πολύ καλύτερης(μικρότερης) τιμής.

Άλλοι τύποι πενετραμέτρων πλάκας έχουν διαφορετικά πάχη-βαθμίδες και μι έως δύο οπές στο κάθε πάχος.

Το Ευρωπαϊκό πρότυπο EN462-2:1994 καθορίζει επίσης πενετράμετρε τύπου πλάκας με διαφορετικά πάχη-βαθμίδες και διαφορετικές οπές στην κάθε βαθμίδα(step/hole type). Όπως και στο αντίστοιχο πρότυπο πενετραμέτρων σύρματος(EN462-1), δεν προδιαγράφεται η ευαισθησία πενετραμέτρου αλλά η «τιμή ποιότητας εικόνας»(image quality value), που στην περίπτωση αυτή αντιστοιχί στο νούμερο της μικρότερης οπής που είναι ορατή στο ραδιογράφημα.

Τα πενετράμετρα τύπου πλάκας τοποθετούνται συνήθως στο μέταλλο βάσεως με θέση και αριθμό όπως ορίζει η εφαρμοζόμενη προδιαγραφή.

Υπάρχουν ακόμη ειδικά πενετράμετρα που μπορούν να δώσουν την επιτυγχανόμενη γεωμετρική δυσκρίνεια(Ug), όπως αυτό της προδιαγραφής EN462-5:1996.



Space for identification marking

+0.5

a

b

Image quality indicator	Wire number	Wire material	Suitable for test – the following materials
W 1 CU W 6 CU W 10 CU W 13 CU	W 1 to W 7 W 6 to W 12 W 10 to W 16 W 13 to W 19	Copper	Copper, zinc, tin and their alloys
W 1 FE W 6 FE W 10 FE W 13 FE	W 1 to W 7 W 6 to W 12 W 10 to W 16 W 13 to W 19	Steel (low alloyed)	Ferrous materials
W 1 TI W 6 TI W 10 TI W 13 TI	W 1 to W 7 W 6 to W 12 W 10 to W 16 W 13 to W 19	Titanium	Titanium and their alloys
W 1 AL W 6 AL W 10 AL W 13 AL	W 1 to W 7 W 6 to W 12 W 10 to W 16 W 13 to W 19	Aluminium	Aluminium and their alloys

5.29.
IQI τύποι σύρματος κατά EN 462-1

Table 1. Wire numbers, diameters and limit deviations							Dimensions in millimetres
Image quality indicator including				Wire			Wire centreline spacing, a
W 1	W 6	W 10	W 13	Wire number	Nominal wire diameter	Tolerances	
X				W 1	3,20	$\pm 0,03$	$9,6 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$
X				W 2	2,50		
X				W 3	2,00		
X				W 4	1,60	$\pm 0,02$	$5 \begin{smallmatrix} +1 \\ 0 \end{smallmatrix}$
X				W 5	1,25		
X	X			W 6	1,00		
X	X			W 7	0,80		
X	X			W 8	0,63		
	X			W 9	0,50	$\pm 0,01$	
	X	X		W 10	0,40		
	X	X		W 11	0,32		
	X	X		W 12	0,25		
	X	X	X	W 13	0,20		
	X	X	X	W 14	0,16		
		X	X	W 15	0,125	$\pm 0,005$	
		X	X	W 16	0,100		
			X	W 17	0,080		
			X	W 18	0,063		
			X	W 19	0,050		

5.30.

Διάμετροι συρμάτων IQI κατά EN-462-1

IQI marking	Hole number from table 1	IQI material	Suitable for testing the following materials
H1 CU	H1 to H6	Copper	Copper, zinc, tin and their alloys
H5 CU	H5 to H10		
H9 CU	H9 to H14		
H13 CU	H13 to H18		
H1 FE	H1 to H6	Steel (low alloy)	Ferrous materials
H5 FE	H5 to H10		
H9 FE	H9 to H14		
H13 FE	H13 to H18		
H1 TI	H1 to H6	Titanium	Titanium and their alloys
H5 TI	H5 to H10		
H9 TI	H9 to H14		
H13 TI	H13 to H18		
H1 AL	H1 to H6	Aluminium	Aluminium and their alloys
H5 AL	H5 to H10		
H9 AL	H9 to H14		
H13 AL	H13 to H18		

5.31.

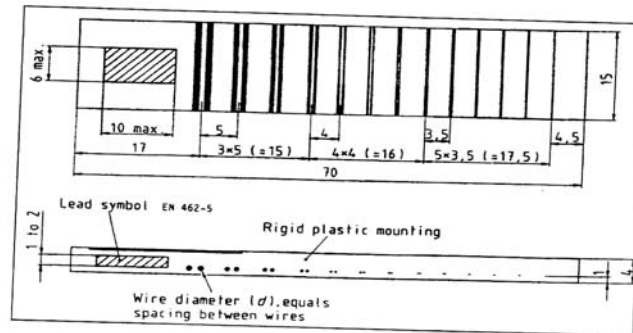
IQI τύπου πλάκας με βαθμίδες κατά EN462-1

Range of image quality indicators				Hole/step		
H1	H5	H9	H13	Hole number	Nominal hole diameter and step thickness	Tolerances
X				H1	0,125	+0,015 0
X				H2	0,160	
X				H3	0,200	
X				H4	0,250	
X	X			H5	0,320	
X	X			H6	0,400	
	X			H7	0,500	+0,020 0
	X			H8	0,630	
	X	X		H9	0,800	
		X		H10	1,000	+0,025 0
		X		H11	1,250	
		X		H12	1,600	
		X	1)	H13	2,000	
		X	1)	H14	2,500	+0,030 0
			1)	H15	3,200	
			1)	H16	4,000	
			1)	H17	5,000	
			1)	H18	6,300	+0,036 0

¹⁾ These values may be used for special applications by agreement between contracting parties.

5.32.

Διαστάσεις οπών και βαθμίδων IQI κατά EN462-2



Element no. (D = duplex)	Corresponding unsharpness	Wire diameter and spacing, d	Tolerances of wire diameter and wire spacing
13D	0,10	0,050	± 0,005
12D	0,13	0,063	
11D	0,16	0,080	
10D	0,20	0,100	
9D	0,26	0,130	± 0,01
8D	0,32	0,160	
7D	0,40	0,200	
6D	0,50	0,250	
5D	0,64	0,320	± 0,02
4D	0,80	0,400	
3D	1,00	0,500	
2D	1,26	0,630	
1D	1,60	0,800	

5.33.

IQI για εύρεση γεωμετρικής δυσκρίνειας κατά EN462-5

5.15. Ποιότητα(ευαισθησία) ραδιογραφήματος

5.15.1. Παράγοντες ευαισθησίας

Ως ποιότητα ή ευαισθησία ενός ραδιογραφήματος ορίζουμε την(τελική) ικανότητα του να δώσει λεπτομέρειες ορατές από τον άνθρωπο.

Λόγο του τρόπου με τον οποίο το μάτι και ο εγκέφαλος του ανθρώπου μπορούν να διακρίνουν μικρές λεπτομέρειες, υπάρχουν δύο παράγοντες ποιότητας/ευαισθησίας, η αντίθεση και η ευκρίνεια.

Μάλιστα ο ένας παράγοντας βοηθά να δούμε λεπτομέρειες ακόμα και όταν ο άλλος είναι χαμηλός(π.χ. υψηλή αντίθεση βοηθά τον εντοπισμό λεπτομερειών χαμηλής ευκρίνειας αλλά και υψηλή ευκρίνεια βοηθά τον εντοπισμό λεπτομερειών χαμηλής αντίθεσης).

Για λόγους καλύτερης μελέτης διαχωρίζουμε την (συνολική ραδιογραφική) αντίθεση σε αντίθεση αντικειμένου και σε αντίθεση του φιλμ.

Η ευκρίνεια πάλι διαχωρίζεται σε γεωμετρικούς παράγοντες(γεωμετρική δυσκρίνεια) και σε παράγοντες εγγενείς στο φιλμ(ενυπάρχουσα δυσκρίνεια).

5.15.2. Ραδιογραφική αντίθεση

Πρόκειται για την διαφορά των πυκνοτήτων που προκύπτουν από διαφορετικά σημεία του αντικειμένου. Έτσι έχουμε :

➤ **Αντίθεση αντικειμένου**

- I. Εξαρτάται από την διαφορά(καλύτερα τον λόγο) των παχών του ραδιογραφούμενου αντικειμένου. Έτσι, μεγάλος λόγος παχών(είτε μεγάλη διάσταση σφάλματος κατά την διεύθυνση της ακτινοβολίας) θα δώσει μεγάλη αντίθεση.
- II. Όσο η συχνότητα της ακτινοβολίας αυξάνεται(μειώνεται το μήκος κύματος) αυξάνει και η διεισδυτικότητα της, κάνοντας έτσι το υλικό περισσότερο διαφανές και κατά συνέπεια ελαττώνεται η προκαλούμενη αντίθεση. Για αυτό τον λόγο η ραδιογραφία ακτίνων γ είναι πολύ χαμηλότερης αντίθεσης(άρα και ποιότητας) από μια ίσης πυκνότητας ακτίνων Χ. Για αυτόν επίσης τον λόγο, προκειμένου για ραδιογραφία

ακτίνων X, επιλέγουμε τα χαμηλότερα kV που δίνουν πρακτικές συνθήκες έκθεσης(π.χ. μεγαλύτερης από 20mA*min).

- III. Η σκεδαζόμενη ακτινοβολία από όπου και αν προέρχεται(το ίδιο το δοκίμιο, τα πλαϊνά αντικείμενα ή τα ευρισκόμενη πίσω από το φιλμ) δρα σαν ενισχυτικό της αμαύρωσης σε περιοχές του φιλμ ανεξάρτητες από το υπερκείμενο πάχος του ραδιογραφούμενου αντικειμένου, ελαττώνοντας έτσι την αντίθεση.

Είναι επομένως βασικό να αποφεύγουμε την σκεδαζόμενη ακτινοβολία, π.χ. με μάσκες γύρω από το αντικείμενο(ή μέσα στις μεγάλες οπές του), με χρήση εστίασης(collimator), π.χ. έναν απλό κύλινδρο ή κώνο από μόλυβδο μπροστά από την πηγή ή διαφράγματος(φύλλο μολύβδου με οπή), που ελαττώνουν την πλαϊνή σκέδαση είτε την τοποθέτηση φίλτρου μεταξύ αντικειμένου και φιλμ. Η τοποθέτηση μολύβδου πίσω από το φιλμ είναι απόλυτα απαραίτητη, για την αποφυγή οπίσθιας σκέδασης.

Η τοποθέτηση φίλτρου(λεπτού ελάσματος μολύβδου, έως 0,5mm) αμέσως μετά την πηγή, έχει σαν αποτέλεσμα την απορρόφηση της μαλακότερης ακτινοβολίας(περίπτωση ακτίνων X μόνο) και επομένως την ελάττωση της σκέδασης. Συχνά όμως δρα σαν τεχνητή σκλήρυνση της ακτινοβολίας και άρα φίλτρα σε αυτή την θέση χρησιμοποιούμε κυρίως όταν θέλουμε να αυξήσουμε το εύρος της ραδιογράφησης(ελαττώνοντας την αντίθεση) παρά το αντίστροφο.

Εξαίρεση από τον κανόνα αποφυγής της σκεδαζόμενης ακτινοβολίας πάνω στο φιλμ αποτελεί η χρήση ενισχυτικών πλακών, όπου επίτηδες προκαλούμε σκέδαση, για να επιτύχουμε φιλμ μεγαλύτερης πυκνότητας σε μικρότερο χρόνο έκθεσης.

Στην περίπτωση των μεταλλικών(μολύβδινων) ενισχυτικών πλακών, η απώλεια αντίθεσης είναι σχετικά πολύ μικρή ως και εντελώς αμελητέα ή ακόμη προστίθεται αντίθεση(λόγω της απορρόφησης της πολύ μαλακής σκεδαζόμενης ακτινοβολίας από τις πλάκες). Αντίθετα, χρήση φθοριζουσών ενισχυτικών πλακών σημαίνει σημαντική απώλεια αντίθεσης αλλά και ευκρίνειας.

➤ **Αντίθεση του φιλμ**

- I. Εξαρτάται από την χαρακτηριστική καμπύλη του φιλμ, δηλαδή το πόσο απότομη είναι η κλήση της. Ισούται με την εφαπτομένη στο σημείο της καμπύλης που χρησιμοποιούμε. Μεγάλη εφαπτομένη σημαίνει μεγάλη

αντίθεση. Πρακτικά, τα γρήγορα φιλμ έχουν χαμηλή αντίθεση ενώ τα αργά υψηλότερη.

- II. Ο χρόνος και η θερμοκρασία εμφάνισης επηρεάζουν την συμπεριφορά του φιλμ. Μεγαλύτερος χρόνος εμφάνισης ή θερμοκρασίας, καλύτερη ανάδευση ή εμφανιστής μεγαλύτερης συγκέντρωσης, δίνουν συμπεριφορά ταχύτερου φιλμ αλλά ταυτόχρονα και μεγαλύτερης αντίθεσης. Πολύ μεγάλος χρόνος όμως μπορεί να δώσει έντονη θολότητα(fog), ελαττώνοντας κυρίως την ευκρίνεια της εικόνας.
- III. Η αύξηση της πυκνότητας του φιλμ γενικά έχει σαν αποτέλεσμα και την αύξηση της αντίθεσης(η ανώτερη πυκνότητα πρακτικά περιορίζεται από την διαθέσιμη οθόνη-viewer).

5.15.3. Ευκρίνεια

Πρόκειται για την ευκρίνεια των ορίων κάθε περιοχής διαφορετικής πυκνότητας ή αλλιώς για το πόσο απότομα η μια πυκνότητα διαδέχεται την άλλη. Διαχωρίζεται σε γεωμετρική δυσκρίνεια(U_g) και ενυπάρχουσα δυσκρίνεια(U_f) ή κοκκώδες του φιλμ.

- **Η γεωμετρική δυσκρίνεια** δίνεται από τον τύπο $U_g = F \cdot t / d$, όπου F η προβαλλόμενη διάσταση της πηγής, t η απόσταση αντικειμένου-φιλμ και d η απόσταση πηγής-αντικειμένου.
- **Η ενυπάρχουσα δυσκρίνεια(U_f) ή (φαινόμενο) κοκκώδες του φιλμ.** Εξαρτάται από τον τύπο του φιλμ(αργά φιλμ εμφανίζουν και μικρότερο φαινόμενο κοκκώδες) και την χρησιμοποιούμενη ακτινοβολία(σκληρότερη σημαίνει και μεγαλύτερη U_f). Αυξάνεται σημαντικά, χαλώντας την ποιότητα της ραδιογραφίας, με χρήση φθορίζουσών ενισχυτικών πλακών και με πολύ μεγάλους χρόνους εμφάνισης. Γενικά, κατά την χρήση ενισχυτικών πλακών, είναι ουσιώδες οι πλάκες να είναι σε απόλυτη επαφή με το φιλμ(μέσω κενού ή ειδικών ελατηρίων στην κασέτα), για να επιτυγχάνεται η μεγαλύτερη δυνατή ευκρίνεια.

5.15.4. Προϋποθέσεις αποδοχής ραδιογραφήματος

Για να γίνει το ραδιογράφημα αποδεκτό, θα πρέπει να τηρεί όλες τις προϋποθέσεις που θέτει η χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή. Γενικά, οι κυριότερες προϋποθέσεις μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής :

- I. Κατάλληλη σήμανση του ραδιογραφήματος(ταυτότητα) και κατάλληλο σύστημα ανιχνευσιμότητας, σε σχέση με την ραδιογραφούμενη περιοχή. Συνήθως απαιτείται και ημερομηνία της λήψης. Επίσης απαιτείται επαρκής αριθμός πενετραμέτρων(IQI) στις κατάλληλες θέσεις, επικάλυψη των εικόνων και χρήση τύπου ακτινοβολίας και τύπου φιλμ όπως ορίζει η χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή.
- II. Γεωμετρική δυσκρίνεια(Ug) μικρότερη ή ίση από την προδιαγραφόμενη(συνήθως 0,5mm για πάχη μικρότερα από 50mm). Απαιτείται επίβλεψη για την επαλήθευση της τιμής της Ug, διότι ακόμα και αν είναι γνωστή η διάσταση της πηγής, πρέπει να επιτηρείται η απόσταση πηγής-αντικειμένου(ιδιαίτερα στις ραδιογραφήσεις εργοταξίου). Υπάρχουν βεβαίως και ειδικά πενετράμετρα που μπορούν να δώσουν την επιτυγχανόμενη γεωμετρική δυσκρίνεια, αλλά σπάνια χρησιμοποιούνται ή προδιαγράφονται ως απαραίτητα.
- III. Κατάλληλη προστασία από οπίσθια σκέδαση(back scatter). Επαληθεύεται όταν δεν φανεί στο ραδιογράφημα σαν λευκή εικόνα το ειδικό γράμμα B που έχει τοποθετηθεί πίσω από την κασέτα(άρα επιβάλλεται επίβλεψη).
- IV. Πυκνότητα ραδιογραφήματος εντός των προδιαγραφών. Συνιστάται πυκνότητα μεγαλύτερη του 2,0D και ως 3,0D(ανάλογα με την διαθέσιμη οθόνη μπορεί να αυξηθεί ως 4,0D ή ακόμη περισσότερο). Επίσης, προσοχή πρέπει να δίνεται ώστε οι αποκλίσεις στην πυκνότητα εντός του ραδιογραφήματος να είναι σύμφωνες με την χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή.
- V. Επαρκής ευαισθησία πενετραμέτρου(είτε τιμή ποιότητας εικόνας). Δεν θα πρέπει να γίνεται το λάθος να δεχόμαστε(για πρακτικούς λόγους) ραδιογράφιση ακτίνων γ σε λεπτά πάχη και ταυτόχρονα να ζητούμε υψηλή ευαισθησία πενετραμέτρου(είτε υψηλή τιμή ποιότητας εικόνας). Το ίδιο συμβαίνει και στις περιπτώσεις σωλήνων, όπου θα πρέπει προσεκτικά να προδιαγράφεται η απαιτούμενη ευαισθησία πενετραμέτρου και όχι π.χ. αδιάκριτα να ζητούμε ευαισθησία 2%(άλλο σύνηθες λάθος ειδικά σε περιπτώσεις όπου είναι πρακτικά αδύνατον να επιτευχθεί αυτή η ευαισθησία).
- VI. Να μην υπάρχουν σφάλματα χειρισμού/εμφάνισης του φιλμ που μπορεί να αποκρύψουν ελαττώματα του ραδιογραφούμενου δοκιμίου.

Οι ανωτέρω κανόνες πρέπει να λαμβάνονται αθροιστικά υπόψη και όχι μεμονωμένα. Π.χ. υψηλή ευαισθησία πενετραμέτρου, χωρίς την αντίστοιχη πυκνότητα ή προστασία από οπίσθια σκέδαση, δεν σημαίνει ότι το ραδιογράφημα είναι καλό. Ένας έμπειρος επιθεωρητής μπορεί να αντιληφθεί την ποιότητα του ραδιογραφήματος, ανεξάρτητα από τους άλλους παράγοντες, εξετάζοντας την αντίθεση και την ευκρίνεια που δίνει η εικόνα(η τελικοί παράγοντες ποιότητας) και να αποφανθεί εάν είναι ικανοποιητικές, για συγκεκριμένες συνθήκες και αντικείμενα ραδιογράφησης.

5.16. Τεχνικές ραδιογράφησης συγκολλήσεων

Οι βασικές τεχνικές ραδιογράφησης συγκολλήσεων, σε σχέση με την θέση πηγής, αντικειμένου και φιλμ, είναι οι εξής :

1. Απλού τοιχώματος-απλής εικόνας(single wall-single image, SWSI)
2. Διπλού τοιχώματος-απλής εικόνας(double wall-single image, DWSI)
3. Διπλού τοιχώματος-διπλής εικόνας(double wall-double image, DWDI)

5.16.1. Απλού τοιχώματος-απλής εικόνας(single wall-single image, SWSI)

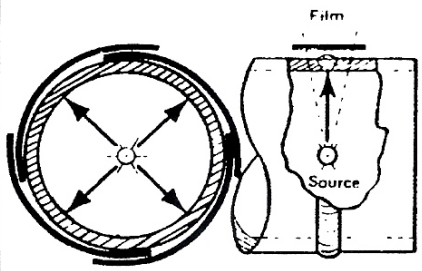
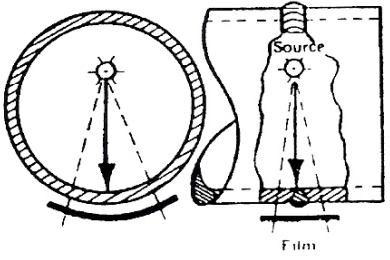
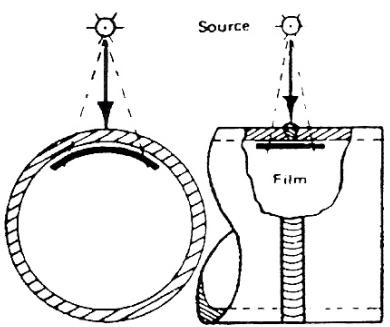
Η ακτινοβολία διαπερνά το πάχος του υλικού και λαμβάνεται το «αποτύπωμα» στο φιλμ. Το φιλμ τοποθετείται πίσω από την ραδιογραφούμενη συγκόλληση και στην άλλη πλευρά της τοποθετείται η πηγή της. Πρόκειται για την συνήθη ραδιογράφηση συγκολλήσεων ελασμάτων ή γωνιακών συγκολλήσεων ή ακόμη και περιφερειακών συγκολλήσεων σωλήνων πολύ μεγάλης διαμέτρου, με πρόσβαση στο εσωτερικό τους. Σε αυτή την περίπτωση, η πηγή τοποθετείται στο εσωτερικό του σωλήνα και το φιλμ στο εξωτερικό ή αντίστροφα.

5.16.2. Διπλού τοιχώματος-απλής εικόνας(double wall-single image, DWSI)

Εφαρμόζεται στην ραδιογράφιση περιφερειακών συγκολλήσεων σωληνώσεων ονομαστικής εξωτερικής διαμέτρου 3,5”(90mm) ή μεγαλύτερες(το νούμερο αυτό ενδέχεται να είναι διαφορετικό, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή). Το φιλμ τοποθετείται πίσω(και κατά προτίμηση γύρω) από τον σωλήνα και η ακτινοβολία διαπερνά και τα δύο πάχη. Η ωφέλιμη εικόνα είναι το τμήμα της συγκόλλησης που βρίσκεται στην πλευρά του φιλμ, ανεξάρτητα εάν αποτυπωθεί και ολόκληρη ή τμήμα της συγκόλλησης που βρίσκεται στην πλευρά της πηγής. Είναι η περίπτωση που επιτρέπεται η τοποθέτηση του πενετράμετρου στην πλευρά του φιλμ, αντί της κανονικής, που είναι στην πλευρά της πηγής. Απαιτούνται τουλάχιστον τρεις λήψεις ανά 60° ή 120°, για πλήρη κάλυψη όλης της συγκόλλησης, ανάλογα με την διάμετρο του σωλήνα.

5.16.3. Διπλού τοιχώματος-διπλής εικόνας(double wall-double image, DWDI)

Στην περίπτωση περιφερειακών συγκολλήσεων σωλήνων μικρότερων από 3 ½”(90mm), επιτρέπεται η ερμηνεία και του τμήματος της συγκόλλησης που βρίσκεται στην πλευρά της πηγής(το νούμερο αυτό ενδέχεται να είναι διαφορετικό, ανάλογα με την χρησιμοποιούμενη προδιαγραφή). Συνήθως η ραδιογράφιση γίνεται ελλειπτικά(offset). Οριζόντια μετατόπιση της πηγής κατά το 1/5 της κάθετης απόστασης πηγής-φιλμ δίνει πολύ καλή επεικόνιση και των δύο τμημάτων της συγκόλλησης. Το πρότυπο EN1435:1997 απαιτεί απόσταση των δύο απεικονίσεων όσο περίπου είναι το πλάτος της κάθε μιας. Απαιτούνται τουλάχιστον δύο λήψεις, για πλήρη ραδιογράφιση της συγκόλλησης. Εναλλακτικά ακόμα μπορεί να έχουμε την πηγή πάνω στο κατακόρυφο επίπεδο της συγκόλλησης(superimposed). Τότε απαιτούνται όμως τουλάχιστον τρεις λήψεις, προκειμένου να είναι δυνατή η εύρεση της ακριβούς θέσης τυχόν σφάλματος της συγκόλλησης. Η τεχνική αυτή χρησιμοποιείται σπανιότερα και κυρίως σε σωλήνες πολύ μικρής διαμέτρου.

Pipe O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI Penetrator		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — A</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Either Side T-275.3 T-275.1(c)
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — B</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Film Side T-275.1 (b)(1)
Any	Single-Wall T-271.1	Single-Wall	 <p>Exposure Arrangement — C</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Source Side T-275.1 (a)(3)

5.34. Ραδιογραφία απλού τοιχώματος κατά ASME 2:1995

Pipe O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI Penetrator		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
Any	Double-Wall: T-271.2(a) at Least 3 Exposures 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Single-Wall	<p>Exposure Arrangement — D</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Film Side T-275.1 (b)(1)
Any	Double-Wall: T-271.2(a) at least 3 Exposures 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Single-Wall	<p>Exposure Arrangement — E</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a) Film Side T-277.1(b)	Film Side T-275.1 (b)(1)
3/4 in. or Less	Double-Wall T-271.2 (b)(1) at Least 2 Exposures at 90 deg. to Each Other for Complete Coverage	Double-Wall (Ellipse): Read Offset Source Side and Film Side Images	<p>Exposure Arrangement — F</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Either Side T-275.2

Pipe O.D.	Exposure Technique	Radiograph Viewing	Source-Weld-Film Arrangement		IQI Penetrator		Location Marker Placement
			End View	Side View	Selection	Placement	
3/4 in. or Less	Double-Wall: T-271.2 (b)(2) at Least 3 Exposures at 60 deg. or 120 deg. to Each Other for Complete Coverage	Double-Wall: Read Super- imposed Source Side and Film Side Images	<p>Exposure Arrangement — G</p>		T-276 and Table T-276	Source Side T-277.1(a)	Either Side T-275.2

5.35.

Ραδιογραφία διπλού τοιχώματος κατά ASME 2:1995

5.16.4. Εύρεση του βάθους ατέλειας

Δεν είναι δυνατή η εύρεση του ακριβούς βάθους στο οποίο βρίσκεται μια ατέλεια του δοκιμίου, παρά μόνο χρησιμοποιώντας ειδικές τεχνικές(π.χ. δύο ραδιογραφίες με σχετική οριζόντια μετατόπιση της πηγής). Χρησιμοποιώντας την λογική μπορούμε ενίοτε να αποφανθούμε για το βάθος(π.χ. η υποκοπή-undercut της ενίσχυσης της συγκόλλησης είναι πάντα επιφανειακή).

Εάν η ασυνέχεια είναι ορατή με μεγάλη ευκρίνεια πάνω στο ραδιογράφημα, μπορούμε να βρούμε το βάθος στο οποίο βρίσκεται ραδιογραφώντας αλληπάλληλα πάνω στο ίδιο φιλμ, με αντίστοιχη μετατόπιση της θέσης της πηγής και χρησιμοποιώντας κάθε φορά την μισή απαιτούμενη έκθεση. Το βάθος υπολογίζεται από τον τύπο $d=(G*H)/(G+AB)$.

Στην ανωτέρω περίπτωση για υψηλή ακρίβεια απαιτείται καλή επαφή του φιλμ με το αντικείμενο και μεγάλη απόσταση πηγής-φιλμ, σε σχέση με το πάχος του αντικειμένου.

Εάν η ασυνέχεια δεν παρουσιάζει μεγάλη ευκρίνεια ή το φιλμ δεν βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο, χρησιμοποιούνται άλλες τεχνικές, με χρήση δεικτών από μόλυβδο και ενδεχομένως με χρήση παράλληλης μετατόπισης της εικόνας(parallax).

5.17. Ακτινοπροστασία

5.17.1. Προστασία από την ακτινοβολία

Υπάρχουν τρεις μέθοδοι προστασίας από την ακτινοβολία. Η απόσταση, η θωράκιση(ασπίδωση) και η ελάττωση του χρόνου παραμονής.

- I. **Απόσταση** : Όσο απομακρυνόμαστε από την πηγή, τόσο ο ρυθμός δόσης ελαττώνεται και μάλιστα ελαττώνεται ανάλογα με το τετράγωνο της απόστασης(νόμος αντιστρόφων τετραγώνων).
- II. **Θωράκιση** : Η παρεμβολή ενός απορροφητικού υλικού(μόλυβδος, μπετόν) ανάμεσα στην πηγή και τον άνθρωπο, ελαττώνει την δόση, ανάλογα με το πάχος υποδιπλασιασμού του υλικού. Όμως, υλικά και αντικείμενα γύρω από τον άνθρωπο, αποτελούν πηγές σκεδαζόμενης ακτινοβολίας, αυξάνοντας πρακτικά την δόση.

III. **Χρόνος** : Εφόσον ο ρυθμός δόσης από μια πηγή είναι σταθερός, όσο λιγότερο παραμένουμε σε περιβάλλον ακτινοβολίας, τόσο λιγότερη δόση δεχόμαστε.

Ο κανόνας του ραδιογράφου(για τον ίδιο και για τους ανθρώπους γύρω από τον τόπο εργασίας του) είναι ένας, **κάθε μη απαραίτητη δόση, είναι υπερβολική δόση.**

Στην πράξη χρησιμοποιούμε για την προστασία μας(αλλά και των γύρω μας ανθρώπων) συνδυασμό και των τριών ανωτέρω παραγόντων, δεδομένου ότι η χρήση ενός μόνο από αυτούς οδηγεί σε αντισοικονομικά ή δύσκολα επιτεύξιμα αποτελέσματα.

Έτσι τοποθετούμε τις πηγές(ακτίνων X ή ακτίνων γ) στο κέντρο της ελεγχόμενης περιοχής(ή του ειδικού εργαστηρίου ραδιογράφησης) και φροντίζουμε αφενός για την τοποθέτηση(ή μόνιμη ύπαρξη) θωράκισης(από μόλυβδο ή μπετόν ή ακόμα και συνδυασμό αυτών) αλλά και για την ραδιογράφηση με όσους μικρότερους χρόνους γίνεται. Η ακτινοβολία θα πρέπει επίσης να περιορίζεται επί του ραδιογραφούμενου αντικειμένου με ειδικές περιοριστικές διατάξεις/εξαρτήματα(collimator). Απαραίτητος είναι ακόμη και ο ηχητικός συναγερμός πριν από την έναρξη της ραδιογράφησης.

5.17.2. Βλαπτικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας

Οι ακτινοβολίες X και γ επιδρούν βλαπτικά στους ανθρώπινους ιστούς, μέσω της ιονίζουσας δράσης στα κύτταρα(και ιδίως στο νερό που περιέχουν). Τα περισσότερα ευπαθή κύτταρα είναι τα λεμφοκύτταρα(π.χ. λευκά αιμοσφαίρια) ενώ μεγάλη επίσης βλάβη προκαλείται στους φακούς των οφθαλμών, στον μυελό των οστών, στα γεννητικά μόρια και στους πνεύμονες. Μεγαλύτερη ανοχή έχουν οι κοινοί μύες και ακόμη μεγαλύτερη τα οστά και τα νευρικά κύτταρα.

Όπως και σε κάθε άλλη περίπτωση βλάβης ιστών, η ολόσωμη προσβολή είναι περισσότερο επικίνδυνη από την μερική(τοπική). Επίσης εξαιρετική σημασία έχει το χρονικό διάστημα ακτινοβολίας ή ο ρυθμός δόσης. Μια συγκεκριμένη αθροιστική δόση είναι τόσο περισσότερη επικίνδυνη όσο μικρότερη υπήρξε η διάρκειά της(και επομένως μεγαλύτερος ο ρυθμός δόσης). Μια δόση λαμβανόμενη σε μικρό χρονικό διάστημα καλείται στιγμιαία ή αλλιώς οξεία(acute).

Οι βλάβες στους ανθρώπινους και γενικά στους ζωντανούς ιστούς μπορούν να ταξινομηθούν ως εξής :

- Ανικανότητα των κυττάρων για αναπαραγωγή.
- Θάνατος των κυττάρων, που μπορεί να οδηγήσει και σε βλάβη ενός οργάνου.
- Ανάπτυξη ανώμαλων κυττάρων, μέσω αλλαγής της δομής του DNA(γενετικού υλικού του κυττάρου). Εάν η τελευταία βλάβη συμβεί σε γενετικά κύτταρα, είναι δυνατόν να γεννηθούν απόγονοι με σοβαρά προβλήματα(ως και τερατογένεση). Η στειρώση(αδυναμία απόκτησης απογόνων) είναι επίσης δυνατή, σε αυτή την περίπτωση. Δημιουργία ελαττωματικών κυττάρων στον ίδιο τον οργανισμό, μπορεί να οδηγήσει στην ανάπτυξη καρκινικών όγκων.

Κατά μια άλλη κατάταξη, τα βλαπτικά αποτελέσματα της ακτινοβολίας διακρίνονται σε :

- Α. Άμεσα** : Συμβαίνουν άμεσα, όταν η απορροφούμενη δόση υπερβεί ένα όριο σε μικρό σχετικά διάστημα και σχετίζονται με βλάβες ιστών και οργάνων(άμεσα σωματικά αποτελέσματα).
- Β. Στοχαστικά(στατιστικά, καθυστερούμενης εμφάνισης)** : Κάθε απορροφούμενη δόση είναι δυνατόν στο μέλλον να φέρει βλαπτικό αποτέλεσμα και μάλιστα σε ανύποπτο χρόνο, βάση ενός μοντέλου στατιστικής κατανομής. Οι βλάβες είναι σε επίπεδο DNA και οδηγούν ενδεχόμενα σε οφθαλμικό καταρράκτη, στειρώση ή καρκινογένεση(καθυστερούμενα σωματικά αποτελέσματα) είτε απόκτηση απογόνων με γενετικά προβλήματα(γενετικά αποτελέσματα). Οι πιθανότητες βέβαια αυξάνουν όσο αυξάνει η συνολική(αθροιστική) δόση και μάλιστα με ευθεία αναλογία.

5.17.3. Σχέση δόσης και βλάβης

Τα πρώτα αισθητά συμπτώματα προσβολής από ακτινοβολία είναι το αίσθημα ζέστης και κεντρίσματος στα άκρα. Σε μεγαλύτερη δόση(ιδιαίτερα σε στιγμιαία τοπική έκθεση) παρατηρείται κοκκίνισμα(ερύθημα) και ανάπτυξη φουσκάλας(blistering). Σε ακόμα μεγαλύτερη δόση, εμφανίζονται εμετοί και διάρροιες. Ορισμένες μετρήσεις(σε πειράματα ή ατυχήματα), έδωσαν τις κατωτέρω σχέσεις δόση(σε μικρό χρονικό διάστημα) και προξενούμενη βλάβης:

- **0,25Rem** : καμία εμφανής βλάβη.
- **25-100Rem** : πιθανή προσωρινή βλάβη στο αίμα.

- **100-200Rem** : εμφανή συμπτώματα(ναυτία, εμετός, διάρροια), βλάβες στο αίμα, πιθανές μόνιμες βλάβες.
- **200-400Rem** : σίγουρες βλάβες και πιθανή μόνιμη ανικανότητα εργασίας, σοβαρές βλάβες στο αίμα, έντονες γαστροεντερικές διαταραχές, πιθανότητα θανάτου.
- **400Rem** : θάνατος στο 50% του πληθυσμού, εκτός εάν υπάρξει άμεση ιατρική βοήθεια.
- **800Rem** : θάνατος στο 95% του πληθυσμού, εκτός αν υπάρξει άμεση ιατρική βοήθεια.
- **1000Rem** : βέβαιος θάνατος στο 100% του πληθυσμού, άμεσα ή εντός λίγων ημερών.

Όσον αφορά τις μη βιομηχανικές ακτινοβολίες, είναι χρήσιμο να γνωρίζουμε ότι ο μέσος άνθρωπος λαμβάνει περί το 0,1Rem τον χρόνο από φυσικές πηγές(π.χ. Ραδόνιο σε υλικά οικοδομών, κοσμική ακτινοβολία) αλλά και άλλα 0,1Rem ετησίως από την δραστηριότητά του(π.χ. ιατρικές ακτινογραφίες, έγχρωμη τηλεόραση).

5.17.4. Επιτρεπτή δόση

Παρότι είναι καλό να θυμόμαστε πως κάθε μη απαραίτητη δόση είναι και απαράδεκτη δόση, οι διεθνείς και οι ελληνικοί σχετικοί κανονισμοί προβλέπουν τις μέγιστες επιτρεπτές δόσεις, για το προσωπικό που έχει ταξινομηθεί ως εργαζόμενο σε βιομηχανική ραδιογραφία.

Έτσι, θεωρείται αποδεκτή η αθροιστική ολόσωμη δόση 3Rem ανά τρίμηνο(18 εβδομάδες) και 5Rem ετησίως, εφόσον η συνολική δόση δεν υπερβαίνει τον αριθμό $5 \cdot (N-18)$, όπου N η ηλικία του ατόμου. Η δόση των 5Rem ετησίως οδηγεί σε αριθμούς όπως 100mRem/εβδομάδα(θεωρώντας 50 εργάσιμες εβδομάδες στην διάρκεια του χρόνου) και 2,5mRem/ώρα(θεωρώντας 40 εργάσιμες ώρες/εβδομάδα), χωρίς όμως οι ανωτέρω δόσεις να προδιαγράφονται. Η επιτρεπτή ετήσια δόση για το κοινό έχει οριστεί στο 1/10 αυτών που ισχύουν για τους εργαζομένους στην ραδιογραφία.

5.17.5. Ταξινόμηση περιοχών

Υπάρχουν δύο βασικές κατηγορίες :

- A. Επιτηρούμενη περιοχή : Η έκθεση, για εργαζόμενους άνω των 18 ετών, είναι μεγαλύτερη ή ίση από το 1/10 του αντίστοιχου ορίου δόσης. Δεν επιτρέπεται η πρόσβαση στο κοινό.
- B. Ελεγχόμενη περιοχή : Η έκθεση είναι μεγαλύτερη ή ίση με τα 3/10 του αντίστοιχου ορίου δόσης, για εργαζόμενους άνω των 18 ετών. Η περιοχή αυτή πρέπει να επισημαίνεται με τρόπο που να γίνεται άμεσα αντιληπτός και να είναι κλειστή σε άτομα που δεν έχουν σχετική εξουσιοδότηση(ακόμη και σε απλούς εργαζομένους).

5.17.6. Κανονισμοί ακτινοπροστασίας

Στην Ελλάδα ισχύει από τον Μάρτιο του 2001 η υπουργική απόφαση 1014(ΦΟΡ)94, που δημοσιεύθηκε στην εφημερίδα της κυβερνήσεως, φύλλο 216/6.3.2001, τεύχος δεύτερο. Αρμόδια αρχή για τα σχετικά θέματα είναι η Ελληνική Επιτροπή Ατομικής Ενέργειας, ενώ πρακτικά μεγάλος ρόλος έχει ανατεθεί στο ερευνητικό κέντρο Δημόκριτος. Στην Μεγάλη Βρετανία ίσχυε μέχρι πρότινος ο κανονισμός “The ionizing radiations regulations 1985 No1333”, ενώ από τον Ιανουάριο του 2000 ισχύει ο αντίστοιχος “1999, No3232”.

5.17.7. Παρακολούθηση της αθροιστικής δόσης προσωπικού

Τα άτομα που εργάζονται στην βιομηχανική ραδιογραφία πρέπει να παρακολουθούν την λαμβανόμενη αθροιστική δόση. Οι κανονισμοί επιβάλλουν να φορούν το ειδικό φωτογραφικό δοσίμετρο(film badge), το οποίο αποστέλλεται(συνήθως μηνιαία) σε ειδικό εργαστήριο, όπου μετράται η αθροιστική δόση που έχει ληφθεί στο διανυθέν χρονικό διάστημα, μέσω της πυκνότητας αμαύρωσης του φιλμ. Τα φωτογραφικά δοσίμετρα έχουν φίλτρα κασσίτερου και αλουμινίου, ώστε να παράγονται διαφορετικές πυκνότητες στο φιλμ πίσω από τα φίλτρα και έτσι να είναι δυνατή η αξιολόγηση της ενέργειας των προσπιπτόντων φωτονίων. Με αυτόν τον τρόπο, παρέχεται και μια ένδειξη για την φύση της πηγής των φωτονίων.

Τα φωτογραφικά δοσίμετρα τείνουν να αντικατασταθούν από τα δοσίμετρα φωταύγειας(θερμοφθορίζοντα δοσίμετρα, Thermoluminescent dosimeters, TLD). Αυτά, όταν θερμανθούν, ακτινοβολούν ορατό φως, ανάλογα με την ενέργεια ιονίζουσας ακτινοβολίας που έχουν συνολικά δεχθεί. Τα TLD έχουν πολλά πλεονεκτήματα έναντι των φωτογραφικών δοσίμετρων(περισσότερο ευαίσθητα, δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης για πολλές φορές κ.α.).

Υπάρχουν και άλλα βεβαίως όργανα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μέτρηση της απορριφθείσας δόσης, χωρίς όμως να επιτρέπεται η αντικατάσταση των φωτογραφικών δοσίμετρων. Το κοινότερο από αυτά είναι το προσωπικό δοσίμετρο/στυλοδοσίμετρο, όπου η μέτρηση της απορροφούμενης δόσης μπορεί να γίνει άμεσα από οποιονδήποτε εκπαιδευμένο εργαζόμενο και η καταγραφή της, συνήθως σε ημερήσια βάση, να γίνει από τον επιβλέποντα ή τον εξουσιοδοτημένο εργοδηγό. Μετά την μέτρηση, το στυλοδοσίμετρο/δοσίμετρο τσέπης μηδενίζεται και πάλι, μέσω ηλεκτρικής φόρτισης, από κατάλληλη συσκευή.

5.17.8. Μέτρηση ρυθμού δόσης στον χώρο εργασίας

Το όργανο που προδιαγράφεται ως απαραίτητο από όλους τους σχετικούς κανονισμούς, είναι ο μετρητής ρυθμού δόσεως Geiger-Muller, που θεωρείται το πλέον ευαίσθητο, ιδιαίτερα για λεπτές δέσμες(π.χ. από χαραμάδες). Χρειάζεται όμως προσοχή ώστε να μην εκτεθεί άμεσα σε ισχυρή ακτινοβολία, διότι μπορεί να πάθει βλάβη και να δείχνει μηδενική έκθεση συνεχώς. Άλλα όργανα μπορούν να χρησιμοποιηθούν προαιρετικά, όπως π.χ. ο βομβητής(beeper), που ειδοποιεί όταν ο ρυθμός δόσης υπερβαίνει ένα όριο(π.χ. 2,5Rem/h).

5.17.9. Το Ραδόνιο

Το Ραδόνιο είναι ραδιενεργό ευγενές αέριο, προϊόν φυσικής διάσπασης του ουρανίου. Υπάρχει σε μικροποσότητες στα συνήθη δομικά υλικά, ιδίως σε όσα προέρχονται από πετρώματα. Η κατανομή του εμφανίζεται ακανόνιστα, ώστε διπλανά κτίσματα να έχουν μεγάλη διαφορά παρουσίας ραδονίου. Θεωρείται επιβλαβές, διότι ενδέχεται να οδηγήσει σε καρκινογενέσεις. Έχει την τάση να παρουσιάζει μεγαλύτερη συγκέντρωση σε σκονισμένα και δυσπρόσιτα μέρη του οικήματος(γωνιές, πίσω από

ντουλάπες κλπ) και μάλιστα όταν δεν υπάρχει συστηματική καθαριότητα και αερισμός. Για αυτό η καλύτερη μέθοδος προστασίας από το ραδόνιο είναι το συχνό σφουγγάρισμα(ακόμη και στα δυσπρόσιτα σημεία) και αερισμός όλων των χώρων του οικήματος. Κατά μια άποψη, το ραδόνιο συντελεί επίσης και στο να γίνεται επικίνδυνη η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ηλεκτρικών γραμμών υψηλής τάσης. Κατά αυτή την (μη επιβεβαιωμένη) θεωρία, το ραδόνιο και τα προϊόντα της διάσπασης του(πολώνιο 214 και πολώνιο 218), δονούνται υπό την επίδραση ισχυρού ηλεκτρομαγνητικού πεδίου, και επομένως προσκολλώνται ευκολότερα σε(αναπνεύσιμα) αιωρούμενα σταγονίδια νερού καθώς και στους ανθρώπινους ιστούς.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Ραδιογραφία συγκολλητών δοκιμίων



6.1. Εξοπλισμός πειράματος

Σκοπός του εν λόγω πειράματος ραδιογράφησης συγκολλητών δοκιμίων, ήταν η μελέτη συγκεκριμένων μεταβλητών της ραδιογραφίας(kV, mA*min, φιλμ, απόσταση δοκιμίου από την πηγή) και το πώς αυτές επηρεάζουν το αποτέλεσμα που καταγράφεται πάνω στο ραδιογραφικό φιλμ.

Συνοπτικά για την πραγματοποίηση του πειράματος απαιτήθηκε η χρήση των παρακάτω υλικών και εξοπλισμού :

- Δοκίμια συγκολλητών ελασμάτων
- Μηχανή παραγωγής ακτίνων Χ(ERESCO 42MF3.1), συμπεριλαμβανομένου ειδικής ντουλάπας κράματος μολύβδου(για περιορισμό της ραδιενέργειας εντός της ντουλάπας κατά την διάρκεια της ραδιογράφησης)
- Γράμματα από μολύβδο για την καταγραφή των ακόλουθων στοιχείων της ραδιογραφίας
 - ημερομηνία διεξαγωγής πειράματος (11/01/2009)
 - εταιρεία ραδιογράφησης (Acutech)
 - ιδιοκτήτης παραγόμενου φιλμ (Kairis)
 - όνομα πειράματος (EXP1, KV1, UG1, FL1 κλπ)
- Φιλμ ραδιογράφησης (D7 Pb και D4 Pb της AGFA)
- Μετρητής ραδιενέργειας Geiger(για καθαρά προληπτικούς λόγους)
- Image Quality Indicators(IQI)
- Αυτόματος εμφανιστής ραδιογραφιών(General Electric Technologies Agfa-NDT-NOVA)

6.1.1. Δοκίμιο ραδιογράφησης

Κατά την εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εκτελέστηκε πείραμα ραδιογράφησης συγκεκριμένων συγκολλητών δοκιμίων που εμπεριείχαν σφάλματα σε συγκεκριμένα σημεία της συγκόλλησης, τα οποία ήταν γνωστά εκ των προτέρων. Πιο συγκεκριμένα ραδιογραφήθηκε δοκίμιο από χάλυβα ποιότητας S355 (EN10025-2:2004)/Stahl 52-3(DIN 17100) που κατασκευάστηκε στην Αγγλία, από εταιρεία που ειδικεύεται στην παραγωγή συγκολλητών δοκιμίων με συγκεκριμένα είδη σφαλμάτων. Τέτοια προκατασκευασμένα συγκολλητά δοκίμια κατασκευάζονται με σκοπό την χρήση τους από ειδικά πιστοποιημένα εξεταστικά κέντρα που εκδίδουν πιστοποιήσεις σε ελεγκτές συγκολλήσεων.



6.1.

Το δοκίμιο ραδιογραφήθηκε αλλάζοντας συγκεκριμένες μεταβλητές της ραδιογράφησης. Πρόκειται για έλασμα χάλυβα St52-3/S355 διαστάσεων 300x280mm, πάχους ελάσματος 12mm και πάχους συγκόλλησης 15mm.

Το δεύτερο δοκίμιο που ραδιογραφήθηκε ήταν έλασμα από χάλυβα ποιότητας Stahl 44-2(DIN 17100)/S275(EN10025-2:2004) και για την κατασκευή του απευθυνθήκαμε στην εταιρεία ΕΜΕΚ. Το εν λόγω δοκίμιο ραδιογραφήθηκε με μοναδικό σκοπό την καταγραφή των σφαλμάτων που περιείχε ώστε να κοπεί σε άλλα μικρότερα δοκίμια που θα εμπειρεύσαν τα αρχικά σφάλματα και στην συνέχεια να καταπονηθούν σε εφελκυσμό. Σκοπός μας ήταν να διαπιστωθεί εάν θα υπήρχε κάποια σχέση μεταξύ του είδους του σφάλματος και του τρόπου και σημείου που αυτό θα αστοχούσε.



6.2. Το δοκίμιο ραδιογραφήθηκε χρησιμοποιώντας τις τιμές που απαιτούνται σύμφωνα με τα διαγράμματα έκθεσης και mA/kV έτσι ώστε να εξασφαλιστεί η μέγιστη δυνατή ποιότητα καταγραφής και απεικόνισης των σφαλμάτων. Πρόκειται για έλασμα χάλυβα St44-2/S275 διαστάσεων 380x300mm, πάχους ελάσματος 16mm και πάχους συγκόλλησης 19mm.

6.1.2. Μηχανή εκπομπής ακτίνων X

Για την ραδιογράφιση των δοκιμίων έγινε χρήση μηχανής παραγωγής ακτίνων X της εταιρείας General Electric Inspections και συγκεκριμένα του μοντέλου ERESKO 42MF3.1.

Ο εξοπλισμός της μηχανής αποτελείται από την συσκευή ελέγχου(control panel), όπου πραγματοποιούνται όλες οι επιμέρους ρυθμίσεις που απαιτούνται για την διεξαγωγή της ραδιογραφίας και από την απαραίτητη γεννήτρια παραγωγής ακτίνων X. Επίσης πέραν των ανωτέρω στον εξοπλισμό συμπεριλαμβάνεται και η μολύβδινη ντουλάπα εντός της οποίας είναι τοποθετημένη η γεννήτρια των ακτίνων X και τα εκάστοτε δοκίμια τα οποία ραδιογραφούνται. Μέσω της ντουλάπας επιτυγχάνεται ο περιορισμός της ραδιενέργειας εντός της κατά την λειτουργία του συστήματος. Αν η χρήση της γεννήτριας γινόταν χωρίς την κάλυψη της μολύβδινης ντουλάπας θα μπορούσε να προκαλέσει μόνο βλαπτικά αποτελέσματα για οποιονδήποτε ζωντανό οργανισμό θα βρισκόταν κοντά της. Τέλος, η μηχανή διαθέτει και μια αντλία νερού για την ψύξη της γεννήτριας.

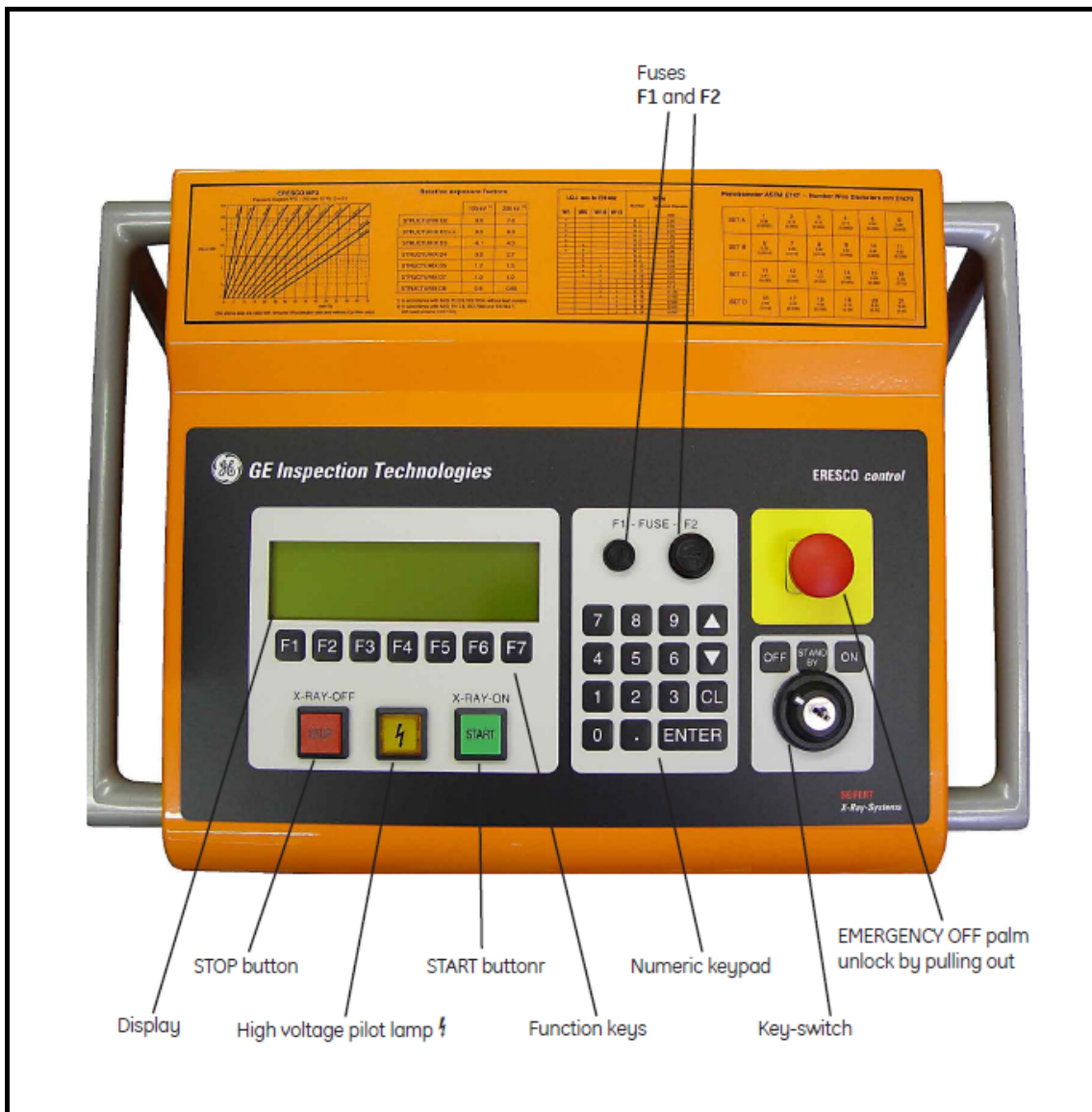
Σημειώνουμε πως η όλη διάταξη είναι συνδεδεμένη και λειτουργεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε να αποκλείεται εντελώς η λειτουργία της γεννήτριας των ακτίνων X σε περίπτωση που η πόρτα της ντουλάπας είτε είναι ανοικτή, είτε δεν έχει κλείσει με σωστό τρόπο. Στην περίπτωση ενός τέτοιου σφάλματος(όταν δηλαδή η πόρτα της ντουλάπας είναι ανοικτή και ο χειριστής πιέζει το κουμπί για την έναρξη ραδιογράφισης) εκπέμπεται συνεχής προειδοποιητικός ήχος από την συσκευή ελέγχου(control panel).

Για την λειτουργία της όλης διάταξης απαιτείται χειρισμός από εξειδικευμένο προσωπικό, το οποίο έχει εκπαιδευτεί αλλά και έχει πιστοποιηθεί πάνω στην μέθοδο της ραδιογραφίας, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η απαραίτητη ασφάλεια του προσωπικού κατά την ραδιογράφιση αλλά και η ποιότητα της παραγόμενης ραδιογραφίας.



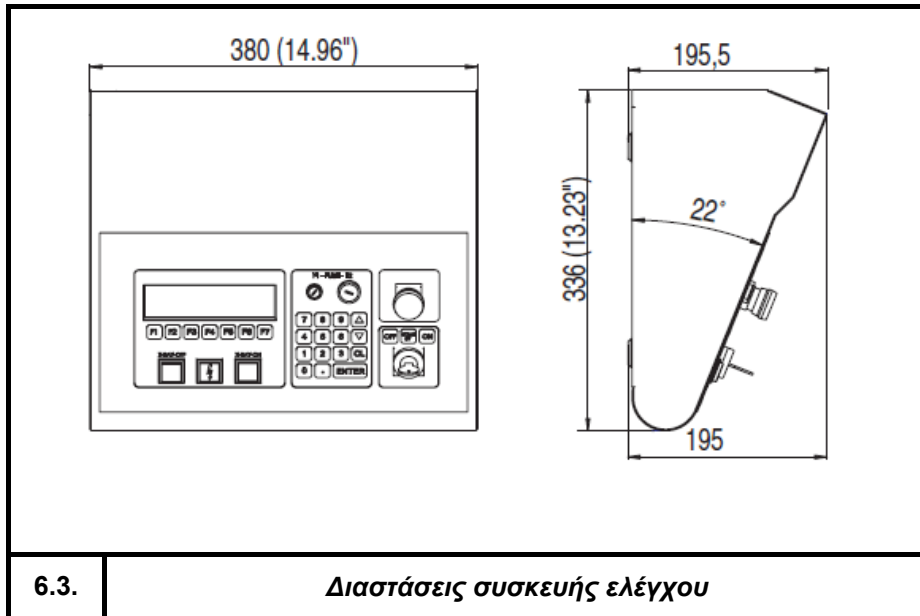
Απαιτούμενος εξοπλισμός για την ραδιογράφιση με ακτίνες Χ. Στην παραπάνω εικόνα της διάταξης που χρησιμοποιήσαμε για την διενέργεια του πειράματος απεικονίζονται τα εξής :

1. Στο κέντρο παρατηρούμε την ντουλάπα από μόλυβδο που λειτουργεί ως ασπίδα ασφαλείας όταν λειτουργεί η γεννήτρια ακτίνων Χ
2. Εντός της ντουλάπας(στο πάνω μέρος) είναι τοποθετημένη η γεννήτρια των ακτίνων Χ
3. Τα αντικείμενα που ραδιογραφούνται τοποθετούνται απέναντι από την γεννήτρια στο σημείο που υποδεικνύει το σχέδιο σε σχήμα σταυρού εντός της ντουλάπας
4. Έξω από την ντουλάπα ασφαλείας, παράπλευρα κάτω δεξιά, είναι τοποθετημένη η συσκευή ελέγχου της όλης διάταξης
5. Ακριβώς πάνω από την συσκευή ελέγχου, είναι τοποθετημένη εντός ντουλαπιού, η αντλία νερού για την ψύξη της γεννήτριας ακτίνων Χ.



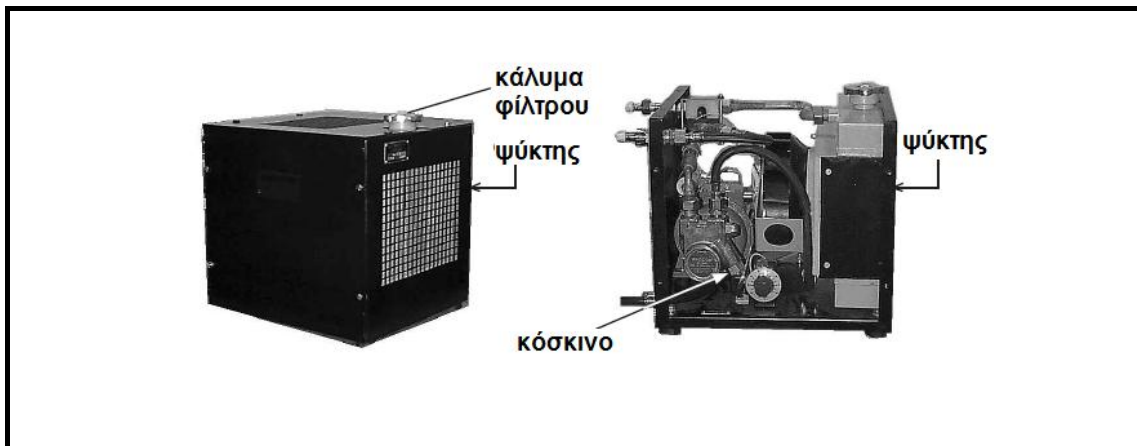
Συσκευή ελέγχου γεννήτριας ακτίνων X, τα κυριότερα μέρη της περιλαμβάνουν :

- την οθόνη απεικόνισης διαφόρων πληροφοριών(εισαγωγή στοιχείων ,κατάσταση γεννήτριας κλπ)
- Κουμπί εκτάκτου ανάγκης για την παύση της γεννήτριας
- Κουμπιά για την έναρξη και την παύση της γεννήτριας
- Πληκτρολόγιο για την εισαγωγή των στοιχείων που απαιτούνται για την ραδιογραφία
- Διακόπτης ενεργοποίησης/απενεργοποίησης και κατάστασης αναμονής



6.3.

Διαστάσεις συσκευής ελέγχου



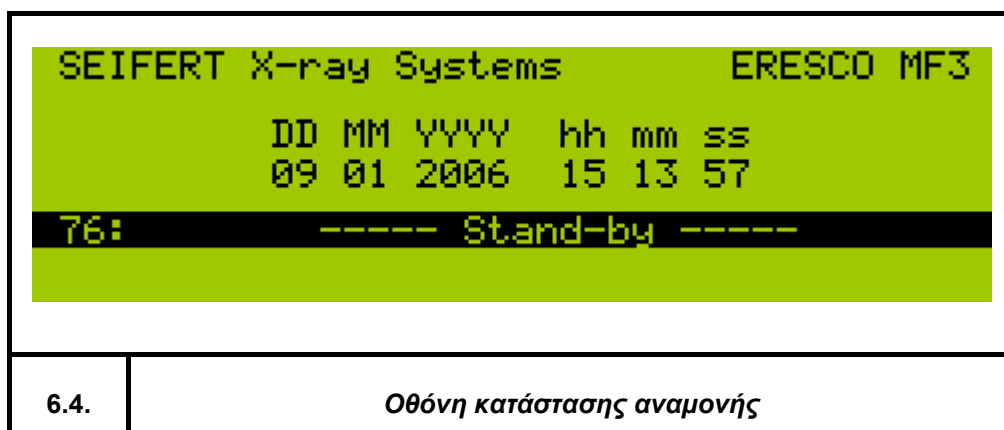
Ο ψύκτης είναι ένα από τα σημαντικά στοιχεία της διάταξης της ραδιογραφίας ακτίνων Χ. Προσφέρει ψύξη της γεννήτριας παραγωγής ακτίνων Χ. Το ψυκτικό υγρό που απαιτείται είναι Glycoshell. Για την σωστή λειτουργία του απαιτείται σωστή συντήρηση κάθε τρεις περίπου μήνες. Συγκεκριμένα :

- απαιτείται αφαίρεση και καθαρισμός του φίλτρου,
- έλεγχος και συμπλήρωση του ψυκτικού υγρού, εφόσον χρειαστεί
- Καθαρισμός του ψύκτη με την χρήση πετρεσμένου αέρα

Φυσικά και σε αυτή την περίπτωση η συντήρηση του ψύκτη πρέπει να γίνεται από εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρείας κατασκευής του ψύκτη.

6.1.2.1. Λειτουργία διάταξης παραγωγής ακτίνων X

Όταν η μηχανή είναι συνδεδεμένη με το δίκτυο παροχής ηλεκτρικής ενέργειας τότε βρίσκεται σε κατάσταση αναμονής(stand-by mode). Σε αυτή την περίπτωση λειτουργεί η συσκευή ελέγχου, ο υπολογιστής που διαθέτει η συσκευή αλλά και η αντλία νερού ψύξης. Το πληκτρολόγιο της συσκευής ελέγχου στην κατάσταση αναμονής είναι κλειδωμένο και η οθόνη δίνει σήμα αναμονής ή μπορεί να απεικονίζει την κατάσταση της μηχανής.

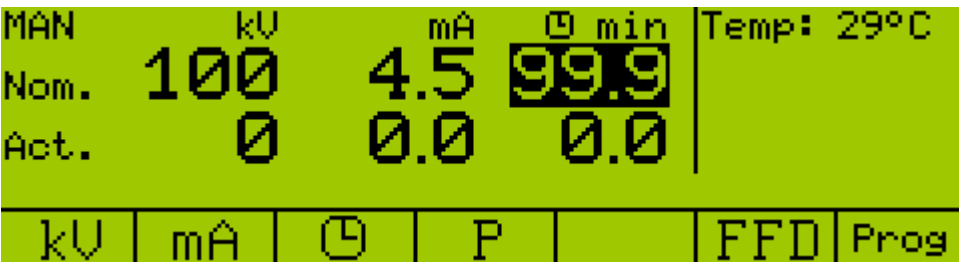




Όταν με το ειδικό κλειδί της συσκευής ελέγχου γυρίσουμε τον διακόπτη από την κατάσταση αναμονής(stand-by) στην κατάσταση “ON”, τότε το μηχάνημα είναι έτοιμο για να λειτουργήσει, αφού του εισάγουμε τα δεδομένα που επιθυμούμε(σε περίπτωση που η συσκευή απαιτεί περαιτέρω θέρμανση-προετοιμασία της γεννήτριας τότε πρέπει να λειτουργήσει το πρόγραμμα “warm-up” και να δοθεί στην συσκευή ελέγχου το voltage που θέλουμε να «φτάσουμε»).

Οι κυριότερες μεταβλητές που μπορεί να εισάγει ο χειριστής της συσκευής ελέγχου είναι οι ακόλουθες :

- **Χρόνος έκθεσης** : Πατώντας το κουμπί “F3” ο χρήστης είναι σε θέση να ορίσει τον χρόνο έκθεσης της ραδιογράφησης μέσω των αριθμών του πληκτρολογίου που βρίσκονται δεξιά από την οθόνη. Πατώντας στην συνέχεια “F1” μπορούμε να ορίσουμε τον χρόνο σε λεπτά-“min”, ενώ πατώντας το κουμπί “F2” ορίζουμε τον χρόνο σε δευτερόλεπτα-“s”. Αφού ορίσουμε τον επιθυμητό χρόνο, για να καταγράψει ο υπολογιστής την επιλογή μας, επιβεβαιώνουμε πατώντας “ENTER” και συνεχίζουμε δηλώνοντας την εστιακή απόσταση του φιλμ(film focus distance-FFD). Για να ορίσουμε την

μονάδα μέτρησης της απόστασης πατάμε “F1” για χιλιοστά-“mm” ή “F2” για ίντσες-“inches”. Πατώντας πάλι “ENTER” επιβεβαιώνουμε τις επιλογές μας.

	
6.5.α.	Οθόνη όπου επιλέγουμε να θέσουμε μια τιμή για τον χρόνο έκθεσης
	
6.6.β.	Οθόνη επιλογής μονάδων μέτρησης χρόνου και εισαγωγή χρονικής διάρκειας έκθεσης
	
6.7.γ.	Οθόνη επιλογής μονάδων μέτρησης και εισαγωγής της εστιακής απόστασης του φιλμ(film focus distance) και εισαγωγή της απόστασης

- **Εισαγωγή kV** : Για την εισαγωγή των kV στην αρχική οθόνη πρέπει να πατήσουμε το κουμπί "F1". Αφού ορίσουμε την επιθυμητή τιμή kV που χρειαζόμαστε πατάμε στην συνέχεια "ENTER".

<table border="1"> <tr> <td>MAN</td> <td>kV</td> <td>mA</td> <td>⌚ min</td> <td colspan="3">Temp: 30°C</td> </tr> <tr> <td>Nom.</td> <td>101</td> <td>4.5</td> <td>99.9</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Act.</td> <td>0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>kV</td> <td>mA</td> <td>⌚</td> <td>P</td> <td>FFD</td> <td colspan="2">Prog</td> </tr> </table>							MAN	kV	mA	⌚ min	Temp: 30°C			Nom.	101	4.5	99.9				Act.	0	0.0	0.0				kV	mA	⌚	P	FFD	Prog	
MAN	kV	mA	⌚ min	Temp: 30°C																														
Nom.	101	4.5	99.9																															
Act.	0	0.0	0.0																															
kV	mA	⌚	P	FFD	Prog																													
6.8.	<p><i>Πατώντας το κουμπί "F1", μπορούμε να εισάγουμε τα απαιτούμενα kV όπως φαίνεται και στην παραπάνω οθόνη.</i></p>																																	

- **Εισαγωγή mA** : Στην αρχική οθόνη της συσκευής χειρισμού, πατώντας το κουμπί "F2" μας δίνεται η δυνατότητα να εισάγουμε στον υπολογιστή τα επιθυμητά mA.

<table border="1"> <tr> <td>MAN</td> <td>kV</td> <td>mA</td> <td>⌚ min</td> <td colspan="3">Temp: 29°C</td> </tr> <tr> <td>Nom.</td> <td>101</td> <td>4.5</td> <td>99.9</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>Act.</td> <td>0</td> <td>0.0</td> <td>0.0</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td>kV</td> <td>mA</td> <td>⌚</td> <td>P</td> <td>FFD</td> <td colspan="2">Prog</td> </tr> </table>							MAN	kV	mA	⌚ min	Temp: 29°C			Nom.	101	4.5	99.9				Act.	0	0.0	0.0				kV	mA	⌚	P	FFD	Prog	
MAN	kV	mA	⌚ min	Temp: 29°C																														
Nom.	101	4.5	99.9																															
Act.	0	0.0	0.0																															
kV	mA	⌚	P	FFD	Prog																													
6.9.	<p><i>Οθόνη εισαγωγής στον υπολογιστή της τιμής των mA που θέλει ο χρήσης</i></p>																																	

Αφού οριστούν όλες οι παράμετροι(mA, min, kV, FFD) που απαιτούνται , μπορεί να ξεκινήσει η ραδιογράφηση από τον χειριστή πατώντας το πλήκτρο "START". Τότε ανάβει και σχετική ένδειξη " ⚡ ", που υποδεικνύει πως η γεννήτρια ακτίνων X είναι σε λειτουργία. Έξι δευτερόλεπτα πριν το τέλος της ραδιογράφησης η συσκευή ελέγχου εκπέμπει ένα συνεχές ακουστικό σήμα μέχρι να τερματιστεί η ραδιογράφηση. Εδώ πρέπει να τονίσουμε πως υπάρχουν και εξειδικευμένες λειτουργίες και εντολές που μπορεί να δώσει ο χρήσης στον υπολογιστή, αλλά κάτι τέτοιο απαιτείται σε ειδικές περιπτώσεις και ο χρήστης πρέπει να διαθέτει μεγάλη

εμπειρία πάνω στο μηχάνημα ώστε να ξέρει πολύ καλά τι κάνει. Στην περίπτωση του δικού μας πειράματος η χρήση της συσκευής ελέγχου δεν απαίτησε κάποια εξειδικευμένη αλλαγή στην εισαγωγή των μεταβλητών πέραν των τρόπων που αναλύθηκαν πιο πάνω.

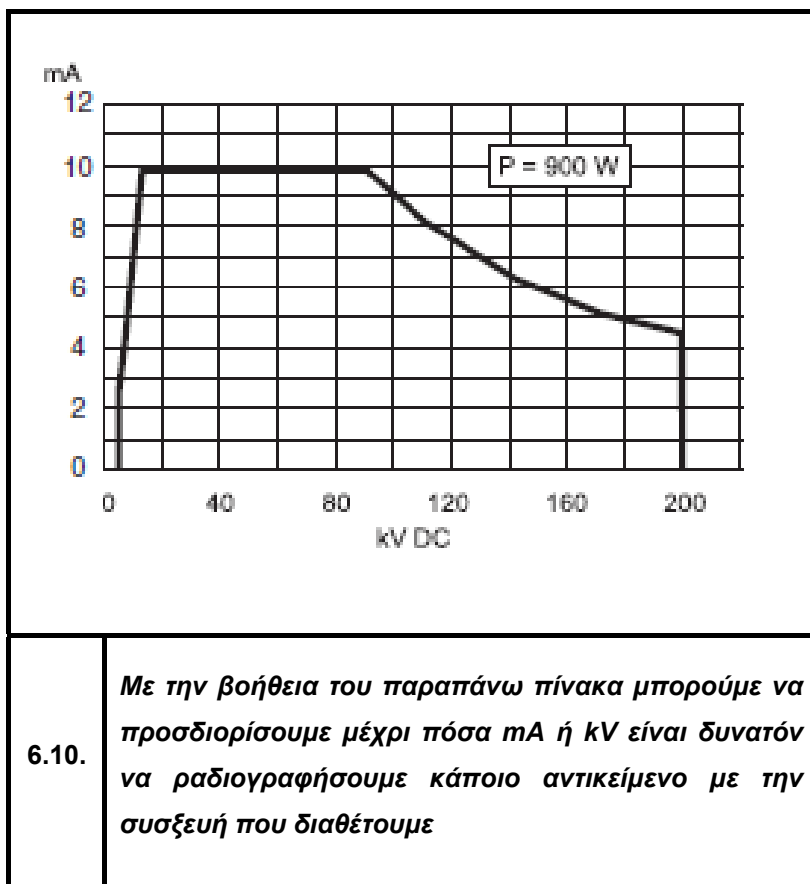
6.1.2.2. Τεχνικά χαρακτηριστικά ERESKO 42MF3.1

Στην συνέχεια παρουσιάζουμε έναν συγκεντρωτικό πίνακα με όλα τα τεχνικά χαρακτηριστικά που αφορούν τον τύπο της συσκευής των ακτίνων Χ που χρησιμοποιήσαμε για το πείραμα της ραδιογράφισης.

Υλικό σωλήνα ακτίνων Χ	Μεταλλικό-Κεραμικό
εύρος kV	5-200 kV
Ρεύμα σωλήνα	0.5-10 mA(4.5 mA/200 kV)
Ενέργεια συνεχούς λειτουργίας	900 W
Μέγεθος εστιακού σημείου (Focal Spot Size, EN 12 543)	3.00 mm(\approx 1.5IEC 336)
Υλικό ανόδου	βολφράμιο
Μέγιστη θερμοκρασία ανόδου	100 C
Γωνία στόχου	20 μοίρες
Σχήμα ακτίνας	ελλειπτικό 40x60 μοίρες

Διήθηση(inherent filtration)	0.8±0.1 mm, Be
Κύκλος λειτουργίας	100%(μέχρι και 60 λεπτά συνεχούς λειτουργίας)
Βάρος	26.8 kg
Τάξη προστασίας	IP 65
Διάμετρος κεφαλής σωλήνα	160 mm
Σταθερότητα ρεύματος και τάσης	±1%
Μέγιστη κατανάλωση ενέργειας	1.6 kVA(χωρίς την χρήση της αντλίας ψύξης)
Ελάχιστη παροχή ψυκτικού υγρού	2.5 l/min
Μέγιστη παροχή ψυκτικού υγρού	10 bar
Διάμετρος σωλήνα σύνδεσης	11 mm

Στην συνέχεια ακολουθεί ο πίνακας συσχέτισης mA/kV για τον εν λόγω τύπο συσκευής ακτίνων Χ που χρησιμοποιήσαμε ο οποίος λειτουργεί σε επίπεδα ενέργειας των 900 W.



6.10. *Με την βοήθεια του παραπάνω πίνακα μπορούμε να προσδιορίσουμε μέχρι πόσα mA ή kV είναι δυνατόν να ραδιογραφήσουμε κάποιο αντικείμενο με την συσζευή που διαθέτουμε*

6.1.3. Μολυβδογράμματα

Κατά την ραδιογράφιση είναι απαραίτητο να αποτυπωθούν πάνω στο φιλμ της ραδιογραφίας κάποια στοιχεία όπως η ημερομηνία διεξαγωγής της ραδιογραφίας, η εταιρεία που πραγματοποίησε την ραδιογράφιση, αλλά και ο «πελάτης» που ζήτησε την ραδιογραφία. Αυτό επιτυγχάνεται με την τοποθέτηση μολυβδογραμμάτων πάνω στο φιλμ που θα ραδιογραφηθεί. Ακόμα τοποθετείται ένα γράμμα “Α” και ένα “Β”, για να δηλωθεί η φορά με την οποία τοποθετήθηκε το φιλμ κατά την ραδιογράφισης εντός της ντουλάπας. Επίσης αναφέρουμε ότι για να διαπιστωθεί το γεγονός αν υπάρχει οπισθοσκέδαση, τοποθετείται ένα γράμμα F εκατέρωθεν το φιλμ. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει σε άλλο κεφάλαιο αν το γράμμα εμφανιστεί στην ραδιογραφία τότε υπάρχει οπισθοσκέδαση, σε αντίθετη περίπτωση δεν υπάρχει κάποιο πρόβλημα.



6.11. Μολυβδογράμματα και τρόπος τοποθέτησης και απεικόνισης πάνω στο φίλμ

6.1.4. Ραδιογραφούμενα φιλμ

Τα ραδιογραφούμενα φιλμ που χρησιμοποιήσαμε ήταν της εταιρείας “AGFA”. Τα είδη των φιλμ ήταν ποιότητας D7 Pb και D4 Pb (“STRUCTURIX”). Στην πλειονότητα των ραδιογραφιών που διενεργήσαμε κάναμε χρήση φιλμ ποιότητας D7, μεσαίας ταχύτητας, ενώ χρησιμοποιήσαμε φιλμ ποιότητας D4, αργής ταχύτητας, σε μία μόνο ραδιογραφία για να αναδείξουμε την διαφορά ποιότητας στην αποτύπωση της ραδιογραφούμενης εικόνας.

Τα φιλμ βρίσκονται εντός ειδικής συσκευασίας που περιέχει έναν συγκεκριμένο αριθμό φιλμ συγκεκριμένης ποιότητας (συνήθως σε ένα πακέτο της εκάστοτε ποιότητας εμπεριέχονται περίπου 100 φιλμ). Οι διαστάσεις των φιλμ που χρησιμοποιήσαμε είναι 100x240 mm, οι οποίες είναι και οι συνηθέστερες διαστάσεις που συναντούμε, χωρίς αυτό να σημαίνει πως δεν υπάρχουν φιλμ διαφορετικών διαστάσεων. Πρέπει να σημειώσουμε πως αφού ανοιχτεί ένα τέτοιο πακέτο φιλμ, τότε αυτά θα πρέπει να έχουν χρησιμοποιηθεί μέσα σε ένα εύλογο χρονικό διάστημα, αφού υπάρχει συγκεκριμένη ημερομηνία λήξης του φιλμ. Αυτό συμβαίνει διότι με την πάροδο του χρόνου ενδέχεται να εμφανίσουν φθορές (κυρίως λόγω των συνθηκών περιβάλλοντος στις οποίες φυλάσσονται), οπότε και θα επηρεαστεί ανάλογα η ποιότητα της εικόνας που θα αποτυπωθεί πάνω τους από την ραδιογράφηση.

Τα φιλμ αφού ραδιογραφήθηκαν, σημειώθηκε πάνω στο περίβλημά τους ο αλφαριθμητικός κωδικός που τους δόθηκε σύμφωνα με τις μετρήσεις που πραγματοποιήθηκαν. Στην συνέχεια τα φιλμ οδηγήθηκαν για εμφάνιση ευθύς αμέσως στον αυτόματο εμφανιστή. Η σωστή διαδικασία απαιτεί τα φιλμ να στέλνονται για εμφάνιση ευθύς αμέσως, ώστε να μειωθεί η πιθανότητα αλλοίωσης τους έστω και ελάχιστα.

Η αποθήκευση των φιλμ μέχρι αυτά να χρησιμοποιηθούν γίνεται σε χώρο με ελεγχόμενες συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό γίνεται διότι η πολύ υγρασία ή αυξημένη θερμοκρασία μπορούν να καταστρέψουν τα φιλμ. Στην περίπτωση μας η θερμοκρασία δωματίου, εντός του οποίου φυλασσόταν τα φιλμ δεν ξεπερνούσε τους 18 °C.



6.12.α.

Συσκευασία φιλμ



6.12.β.

Φιλμ D7 αφού ραδιογραφήθηκαν και εντός αεροστεγούς φακέλου
συσκευασίας

6.1.5. Μετρητής ραδιενέργειας(Geiger)

Για λόγους ασφαλείας κατά την εκτέλεση των ραδιογραφιών, λειτουργούσε ειδική συσκευή μέτρησης της ραδιενέργειας. Η συσκευή είχε ρυθμιστεί στην μέγιστη ευαισθησία της και ουδέποτε εξέπεμψε προειδοποιητικό σήμα για αύξηση της ραδιενέργειας, πράγμα που δείχνει πως κατά την λειτουργία της γεννήτριας των ακτίνων X η ραδιενέργεια περιοριζόταν αποκλειστικά εντός της ειδικά μονωμένης με μόλυβδο ειδικής ντουλάπας.



6.1.6. Image Quality Indicators(IQI)

Τα δεισδυτόμετρα ή δείκτες ποιότητας ειδώλου ή πνευτράμετρα (I.Q.I. = image quality indicator) είναι τυποποιημένα τεμάχια υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται για να δοθεί αριθμητική τιμή στην ποιότητα του ειδώλου.

Κατά την διενέργεια των ραδιογραφιών κάναμε χρήση των “image quality indicators” έτσι ώστε να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης των αποτελεσμάτων που είχε η αλλαγή των μεταβλητών πάνω στην ποιότητα της εικόνας του ραδιογραφημένου φιλμ.

Τα δεισδυτόμετρα τοποθετήθηκαν επί του αντικειμένου κατά την προετοιμασία της έκθεσης και ραδιογραφήθηκαν συγχρόνως. Κατά την αξιολόγηση της ραδιογραφίας, ελέγχεται το είδωλο του δεισδυτόμετρου και ο αριθμητικός χαρακτηρισμός της μικρότερης ορατής λεπτομέρειας ορίζει την ευαισθησία του ειδώλου.



6.1.7. Αυτόματο εμφανιστήριο ραδιογραφιών

Το αυτόματο εμφανιστήριο που χρησιμοποιήσαμε ήταν το μοντέλο “NOVA” της General Electric. Πρόκειται για ένα εμφανιστήριο, μικρό σε μέγεθος και συμπαγές, με απλό σχεδιασμό και λειτουργία.

Ένα από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που το διακρίνει είναι η πολύ χαμηλή κατανάλωση ενέργειας κατά την εμφάνιση (μέγιστο 1700W) που έχει ως αποτέλεσμα το σημαντικό περιορισμό του κόστους της συνολική χρήσης του εμφανιστηρίου. Τα τεχνικά χαρακτηριστικά που το διακρίνουν είναι τα ακόλουθα :

- Μικρό μέγεθος, συγκεκριμένα το “NOVA” καταλαμβάνει μόλις 0,4m².
- Καλής σύλληψης, ελαφριά κατασκευή, κατασκευασμένο από ανοξείδωτο χάλυβα, αλουμίνιο και PVC, για ανθεκτικότητα και αντοχή στην διάβρωση. Το βάρος ανέρχεται στα 80kg.
- Κατασκευασμένο με αυτόματη λειτουργία εκκίνησης-διακοπής. Ο εντοπισμός του φιλμ γίνεται από πέντε ρολά σάρωσης που παρέχουν την δυνατότητα οικονομικής αναζωογόνησης των χημικών εμφάνισης και στερέωσης ανάλογα με την επιφάνεια του φιλμ. Η οθόνη του χειριστηρίου παρέχει οπτικές ενδείξεις για όλες τις παραμέτρους της εμφάνισης (θερμοκρασία χημικών, επίπεδο έντασης ξηραντήρα κτλ.) Η φωτεινή ένδειξη Ο.Κ. ειδοποιεί για την τοποθέτηση νέας σειράς φιλμ
- Για την συντήρηση μέσα από ένα ελαφρύ κάλυμμα αλουμινίου παρέχεται άμεση πρόσβαση στα μηχανικά σημεία του εμφανιστηρίου. Τα ρολά αφαιρούνται και καθαρίζονται με χαρακτηριστική ευκολία, ενώ οι τρόμπες κυκλοφορίας έχουν εύκολη πρόσβαση και συντήρηση.
- Το “NOVA” διαθέτει φωτοστεγανό κάλυμμα προστατεύοντας έτσι το φιλμ από την φωτεινή ακτινοβολία και επιτρέπει άλλες εργασίες στο θάλαμο κατά την διάρκεια της εισόδου των φιλμ στο εμφανιστήριο. Επίσης, αποτρέπει την είσοδο στο εμφανιστήριο σκόνης και ακαθαρσιών για την αποτροπή γρατσουινιών στο φιλμ.
- Χαμηλή εκπομπή θερμοκρασίας. Ο ξηραντήρας υπερέθρων εγγυάται το ομοιόμορφο στέγνωμα των φιλμ μεταφέροντας την ελάχιστη δυνατή θερμοκρασία εντός του σκοτεινού θαλάμου, έτσι η θερμοκρασία στο χώρο εργασίας παρμένη ευχάριστη.
- Χαμηλά επίπεδα θορύβου.

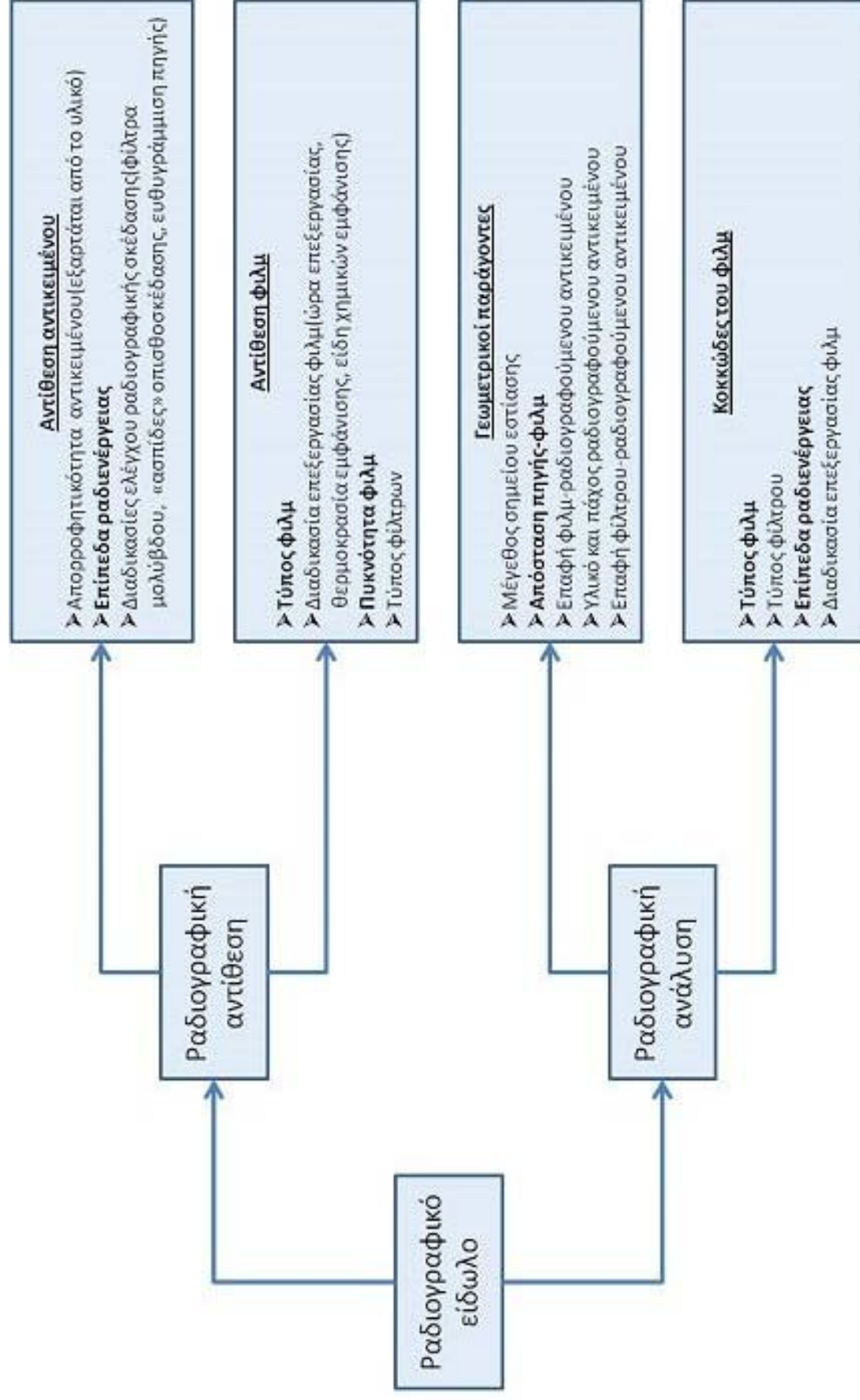


6.15.

Στην διπλανή εικόνα απεικονίζεται η διάταξη του αυτόματου εμφανιστηρίου. Τα φιλμ αφού αποσφραγιστούν από το περιτύλιγμα τους τοποθετούνται στο μπροστινό μέρος της διάταξης και στην συνέχεια αυτόματα εισέρχονται στο εμφανιστήριο και αφού επεξεργαστούν καταλήγουν σε ειδικούς υποδοχείς στο πίσω μέρος. Τα δοχεία με τα διάφορα χημικά που απαιτούνται για την εμφάνιση του φιλμ τοποθετούνται κάτω από την συσκευή εμφάνισης και συνδέονται με τις αντίστοιχες βάνες.

6.2. Μεταβλητές του πειράματος

Την ποιότητα ενός ραδιογραφικού ειδώλου την επηρεάζουν συγκεκριμένες μεταβλητές κατά την ραδιογράφιση. Αυτές επηρεάζουν είτε την αντίθεση του αντικειμένου είτε την αντίθεση του φιλμ, αλλά και την ανάλυση της εικόνας που παράγεται. Οι μεταβλητές με τις οποίες εμείς ασχοληθήκαμε στο πείραμα μας ήταν τα επίπεδα ραδιενέργειας(kV , $mA \cdot min$), ο τύπος φιλμ(D7, D4) και η απόσταση πηγής φιλμ(film focus distance). Ο λόγος που αποφασίσαμε να επηρεάσουμε τις συγκεκριμένες μεταβλητές ήταν πως έτσι θα ήταν πιο άμεσα και ξεκάθαρα τα αποτελέσματα που θα καταγράφοντα πάνω στο ραδιογραφικό φιλμ ενώ δεν θα απαιτούταν μεγάλος αριθμός ραδιογραφιών για την εξαγωγή συμπερασμάτων. Όλες οι μεταβλητές που μπορούν να επηρεάσουν το ραδιογραφικό είδωλο απεικονίζονται στο διάγραμμα που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα.



6.2.1. Επίπεδα ραδιενέργειας(μεταβλητές kV, mA*min)

Στο πείραμα που διενεργήσαμε, επηρεάσαμε άμεσα τις μεταβλητές kV, mA*min. Συγκεκριμένα για την διένεργεια μιας ραδιογραφίας απαιτείται ο καθορισμός των kV και της έκθεσης mA*min. Για δεδομένο υλικό και πάχος συγκόλλησης το διάγραμμα έκθεσης της εκάστοτε μηχανής ακτίνων X μας δείχνει ποιες θα πρέπει να είναι οι παραπάνω απαιτούμενες τιμές, οι οποίες θα μας δώσουν το καλύτερο αποτέλεσμα. Για τις ανάγκες του πειράματος αρχικά βρέθηκαν οι «σωστές» τιμές και στην συνέχεια κρατώντας σταθερές τις υπόλοιπες μεταβλητές του πειράματος.

- **kV** : Κρατώντας σταθερές τις μεταβλητές mA*min, τύπος φιλμ και FFD, αλλάξαμε την τιμή των kV. Την πρώτη φορά βάλουμε τιμή υψηλότερη από αυτή που μας υποδείκνυε το διάγραμμα έκθεσης, ενώ την δεύτερη φορά χρησιμοποιούσαμε μια χαμηλότερη. Τιμή μεγαλύτερη από την «σωστή» σημαίνει πως οι ακτίνες που παρήγαγε η γεννήτρια ήταν υψηλότερων επιπέδων ενέργειας και άρα μεγαλύτερης διεισδυτικότητας, οπότε και το αποτέλεσμα θα ήταν ένα φιλμ με μεγάλη αμαύρωση και μικρή ευκρίνεια και αντίθεση. Τιμή χαμηλότερη από την «σωστή» θα είχε ως αποτέλεσμα την παραγωγή ακτίνων χαμηλής ενέργειας και άρα περιορισμένης διεισδυτικότητας, οπότε και το αποτέλεσμα θα ήταν ένα φιλμ χαμηλής αμαύρωσης, μέτριας ευκρίνειας και μικρής αντίθεσης.
- **mA*min** : Κρατώντας σταθερές τις μεταβλητές kV, τύπος φιλμ και FFD, την μια φορά πραγματοποιήσαμε ραδιογράφιση με την τιμή των mA*min που μας υποδείκνυε το διάγραμμα έκθεσης ενώ στην συνέχεια αυξήσαμε την τιμή και μετά την μειώσαμε. Αυξημένη έκθεση mA*min σημαίνει πως προς το αντικείμενο που ραδιογραφήσαμε κατευθύνθηκε μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρονίων με αποτέλεσμα να περιμένουμε ένα φιλμ με αυξημένη αμαύρωση και χαμηλή αντίθεση και ευκρίνεια. Αντίθετα μειωμένη έκθεση mA*min έχει ως αποτέλεσμα το αντικείμενο να ραδιογραφηθεί με μικρότερη ποσότητα ηλεκτρονίων και άρα αναμένουμε ένα φιλμ χαμηλής αμαύρωσης και μέτριας ευκρίνειας και αντίθεσης.

6.2.2. Τύπος ραδιογραφούμενου φιλμ

Η δεύτερη μεταβλητή που εξετάσαμε ήταν ο τύπος του φιλμ. Όπως έχουμε ήδη αναφέρει στο κεφάλαιο 3 της παρούσας διπλωματικής, διαφορετικά είδη φιλμ έχουν διαφορετική ποιότητα ειδώλου, με ανάλογα αποτελέσματα στην ευκρίνεια και την αντίθεση του φιλμ. Τα φιλμ που χρησιμοποιήθηκαν ήταν τα ακόλουθα :

- Αργό, λεπτόκοκκο, Structurix D4 της “AGFA”.
- Μεσαίας ταχύτητας, μεσαίου κοκκώδους, Structurix D7 της “AGFA”.

Κατά την διάρκεια αυτών των ραδιογραφιών κρατήθηκαν σταθερές οι μεταβλητές kV και FFD ενώ η μεταβλητή της έκθεσης άλλαξε αφού το φιλμ D4 επειδή είναι λεπτόκοκκο απαιτεί περισσότερο χρόνο έκθεσης σε σχέση με το φιλμ D7 που είναι μεσαίου κοκκώδους. Θα μπορούσαμε φυσικά να κρατήσουμε και την έκθεση mA*min ίδια αλλά κάτι τέτοιο θα είχε ως αποτέλεσμα από το φιλμ D4 να λαμβάναμε μια ραδιογραφία χαμηλής αμαύρωσης, αντίθεσης και μεσαίας ευκρίνειας. Ένα τέτοιο αποτέλεσμα θα μας εμπόδιζε να κάνουμε σύγκριση της ποιότητας των ραδιογραφιών των διαφορετικών φιλμ.

6.2.3. Film Focus Distance, FFD

Η απόσταση του φιλμ από την πηγή παίζει αρκετά σημαντικό ρόλο στην ποιότητα του ραδιογραφούμενου ειδώλου, αφού εάν δεν υπολογιστεί σωστά και δεν προσεχθεί μπορεί να οδηγήσει σε αυξημένη γεωμετρική δυσκρίνεια και παραμόρφωση της εικόνας. Στην περίπτωση αυτής της μεταβλητής κρατήσαμε σταθερά τα kV και χρησιμοποιήσαμε τον ίδιο τύπο φιλμ, ενώ αλλάξαμε την απόσταση του από την πηγή και ταυτόχρονα μειώσαμε τον χρόνο έκθεσης για να αποφύγουμε την δημιουργία μιας ραδιογραφίας με υψηλή αμαύρωση.

6.3. Περιγραφή, εκτέλεση πειράματος

Για το πείραμα της ραδιογραφίας παρήχθησαν συνολικά επτά διαφορετικά φιλμ. Τα έξι εξ' αυτών αφορούσαν αποκλειστικά την μελέτη των μεταβλητών που καθορίζουν το αποτέλεσμα της ραδιογραφίας που αποτυπώνεται πάνω στο φιλμ και έγιναν με την ραδιογράφηση ενός μοναδικού δοκιμίου μεταβάλλοντας της

προαναφερθείσες μεταβλητές. Επίσης παρήχθει ένα ακόμα φιλμ ενός διαφορετικού δοκιμίου με σκοπό την αποτύπωση των εσωτερικών σφαλμάτων που αυτό είχε έτσι ώστε στην συνέχεια και μετά από ειδική επεξεργασία να καταπονηθεί σε εφελκυσμό.

Σε όλες τις περιπτώσεις η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την παραγωγή των ραδιογραφιών ήταν η εξής ακόλουθη :

1. Προετοιμασία του φιλμ για ραδιογράφιση τοποθετώντας τα αντίστοιχα μολυβδογράμματα ώστε να υπάρχει ταυτοποίηση του φιλμ (ημερομηνία, αριθμός ραδιογράφιση κλπ)

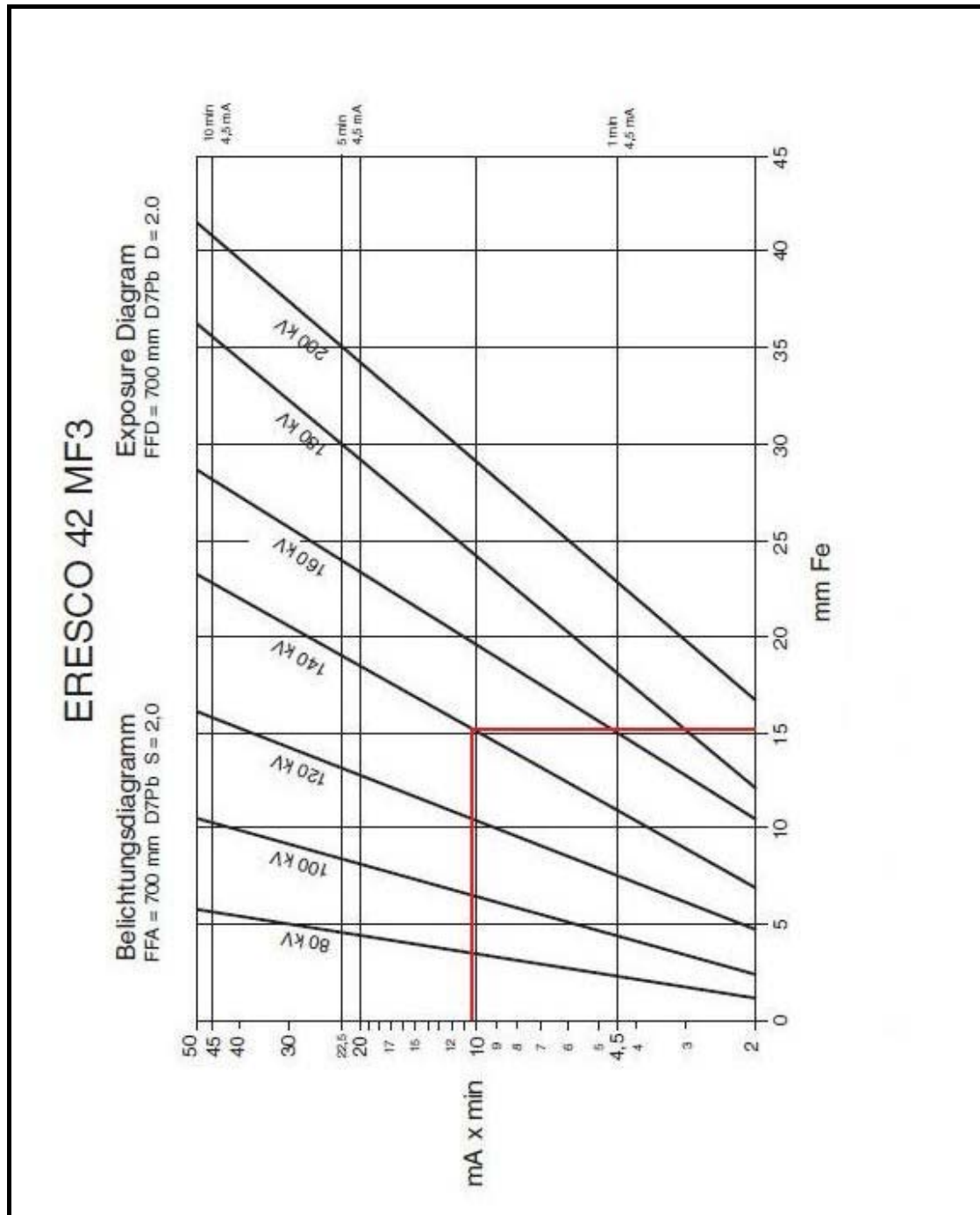


2. Τοποθέτηση του φιλμ εντός της ειδικής ντουλάπας και στην συνέχεια τοποθέτηση του δοκιμίου πάνω σε αυτό.

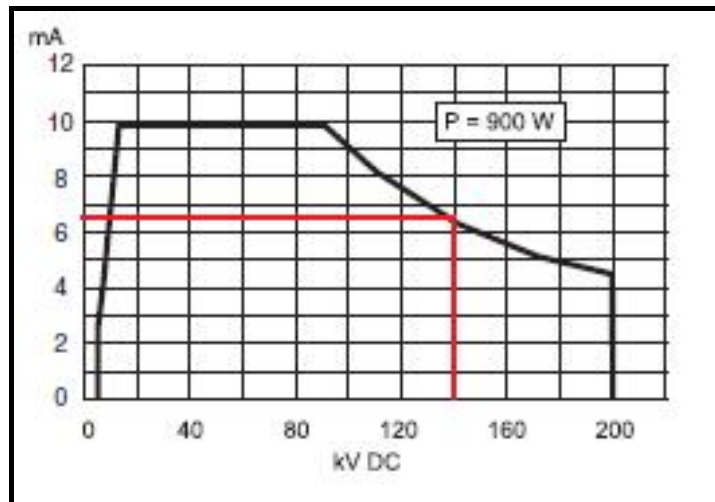


3. Στην συνέχεια ασφαρίζεται η πόρτα της ειδικής προστατευτικής ντουλάπας και ακολουθεί η εισαγωγή των τιμών των μεταβλητών στον πίνακα ελέγχου. Οι μεταβλητές που εισάγονται είναι τα kV, mA, FFD και ο χρόνος έκθεσης(υπάρχει βέβαια τρόπος ο υπολογιστής της συσκευής ελέγχου να κάνει ειδικές τροποποιήσεις σε κάποιες μεταβλητές εάν αυτό του ζητηθεί). Για την εισαγωγή των kV, mA και min έγινε χρήση του διαγράμματος έκθεσης

που αντιστοιχούσε στον τύπο της μηχανής ακτίνων X που χρησιμοποιούσαμε για έλασμα από χάλυβα(Fe).



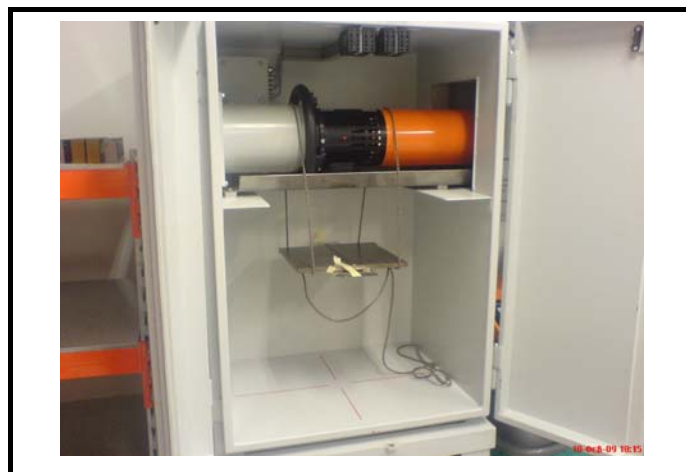
Η τιμή των kV που αποφασίσαμε ήταν 140 kV, άρα για χάλυβα με πάχος συγκόλλησης 15 mm η έκθεση της ραδιογραφίας πρέπει να είναι 10,88 mA*min. Στην συνέχεια για να εισάγουμε τα mA και τον χρόνο έκθεσης κάνουμε την χρήση του διαγράμματος mA/kV και βρίσκουμε ότι για 140 kV αντιστοιχούν 6,4 mA.



Αυτό σημαίνει ότι ο χρόνος έκθεσης θα πρέπει να είναι $10,88(\text{mA} \cdot \text{min}) = 6,4(\text{mA}) \cdot t(\text{min}) \rightarrow t = 1,7 \text{ min}$. Τέλος η FFD είναι γνωστή εκ των προτέρων και είναι 700mm (αφού οι απόσταση της γεννήτριας από το άλλο άκρο της ντουλάπας είναι γνωστή).

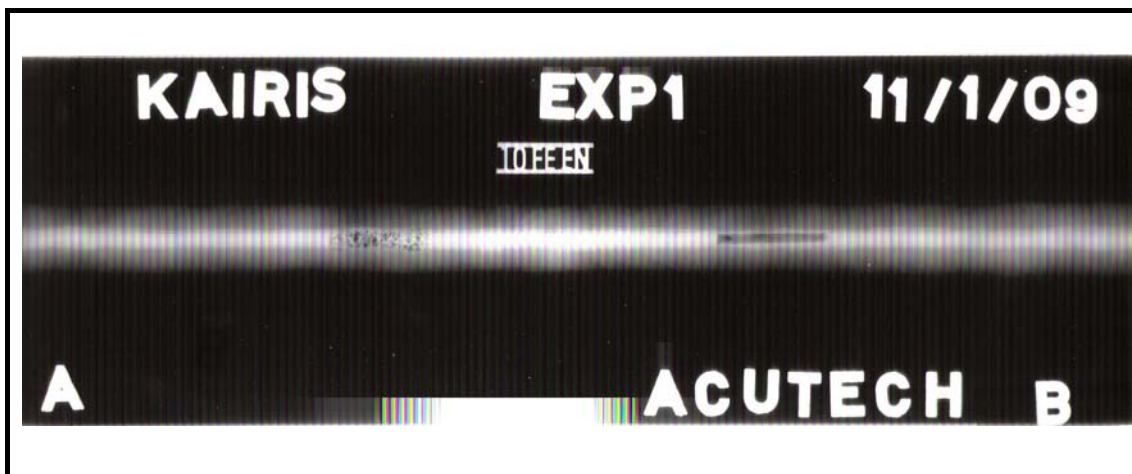
4. Αφού εισαχθούν οι παραπάνω μεταβλητές στην συσκευή ελέγχου πατώντας το πλήκτρο "START" ξεκινά η ραδιογράφιση.
5. Μετά το πέρας της ραδιογράφισης ανοίγεται η ντουλάπα και αφαιρείται το φιλμ το οποίο στέλνεται για εμφάνιση. Ο χρόνος που απαιτείται από τον αυτόματο εμφανιστή είναι 9 λεπτά περίπου.

Τέλος για την ραδιογραφία κατά την οποία έπρεπε να μειωθεί η μεταβλητή FFD, χρησιμοποιήθηκε ένα απλό σκονί για την ανάρτηση του δοκιμίου από την γεννήτρια ακτίνων X, όπως παρουσιάζεται στην ακόλουθη εικόνα.

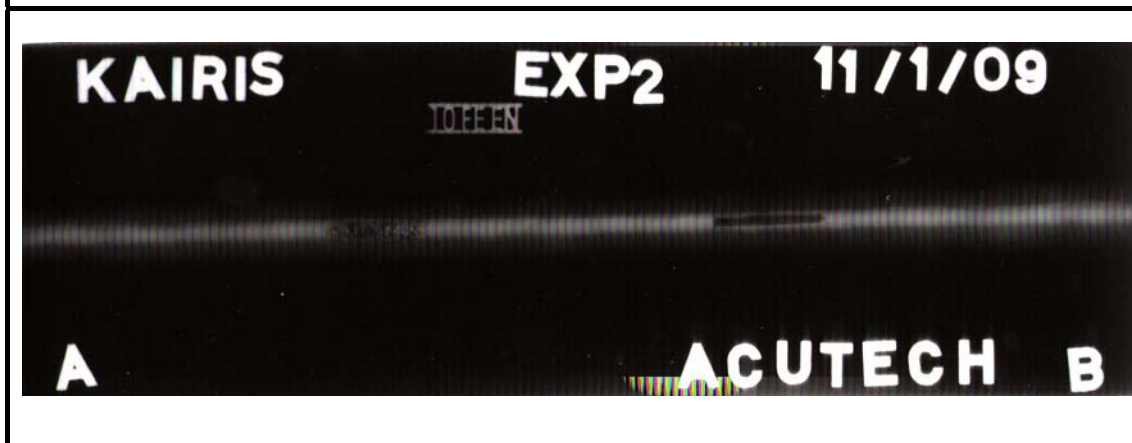


6.4. Αποτελέσματα πειράματος

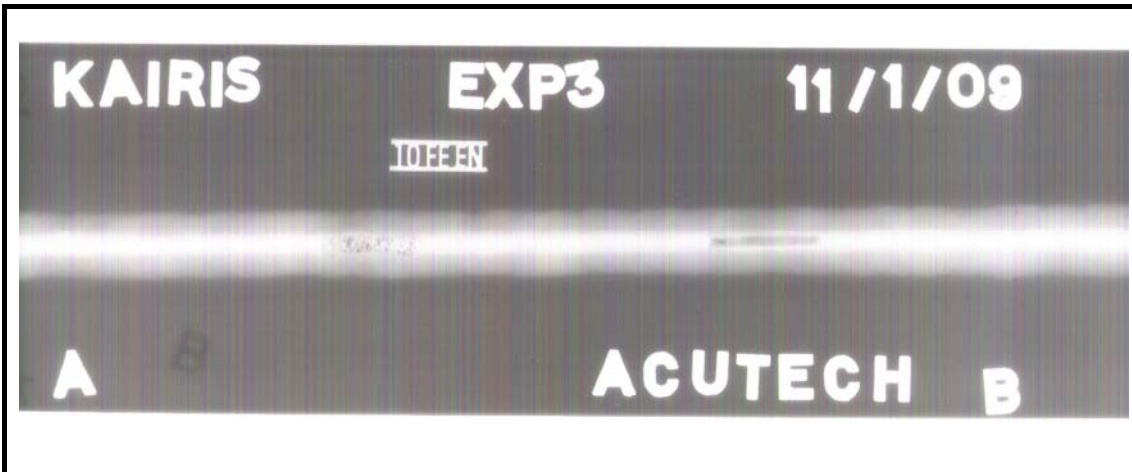
6.4.1. Ραδιογραφίες μεταβλητής έκθεσης mA*min



EXP1 : Η ραδιογραφία EXP1 παράχθηκε κάνοντας χρήση των τιμών που υποδείκνυε το διάγραμμα έκθεσης της μηχανής ακτίνων Χ. Όπως φαίνεται η ευκρίνεια των σφαλμάτων στο ραδιογραφικό φιλμ είναι ξεκάθαρη με σαφή όρια. Η αντίθεση του ραδιογραφικού φιλμ και η μετάβαση από τις σκοτεινότερες περιοχές(έλασμα) στις φωτεινότερες(συγκόλληση) γίνεται σταδιακά και τα όρια της συγκόλλησης είναι ευδιάκριτα.



EXP2 : Στην ραδιογραφία EXP2 αυξήσαμε την έκθεση του φιλμ(mA*min) και πιο συγκεκριμένα αυξήσαμε τον χρόνο έκθεσης. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα στο φιλμ να «προσπέσει» μεγαλύτερη ποσότητα ηλεκτρονίων με συνέπεια να εμφανιστεί μεγαλύτερη αμαύρωση και τα σφάλματα της συγκόλλησης και τα όρια τους να γίνουν δυσδιάκριτα. Συνεπώς το φιλμ είχε μειωμένη ευκρίνεια και αντίθεση.

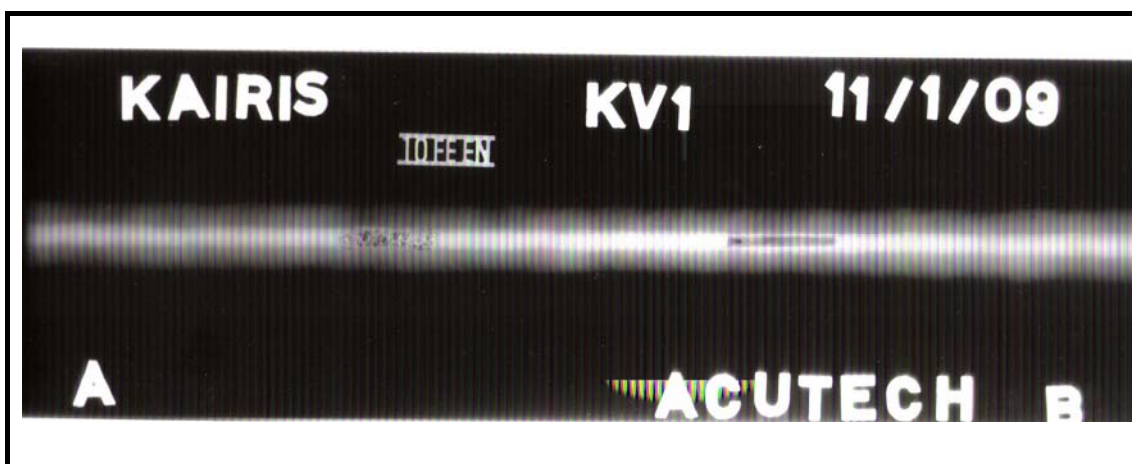


EXP3 : Στην ραδιογραφία EXP3 μειώσαμε τον χρόνο έκθεσης. Έτσι το φιλμ που πήραμε ήταν αρκετά θολό με ασαφή όρια συγκόλλησης, ενώ ταυτόχρονα παρατηρούμε πως οι πόροι που υπάρχουν στο αριστερό σημείο της συγκόλλησης διακρίνονται με δυσκολία και η έκταση που καταλαμβάνουν δείχνει να είναι μικρότερη. Επίσης λόγω του μικρού χρόνου έκθεσης παρατηρούμε ότι παρουσιάστηκε και το φαινόμενο της οπισθοσκέδασης μιας και το γράμμα "B" φαίνεται ελαφρώς στο αριστερό μέρος του φιλμ, την στιγμή που στα άλλα δύο φιλμ δεν έχει παρουσιαστεί.

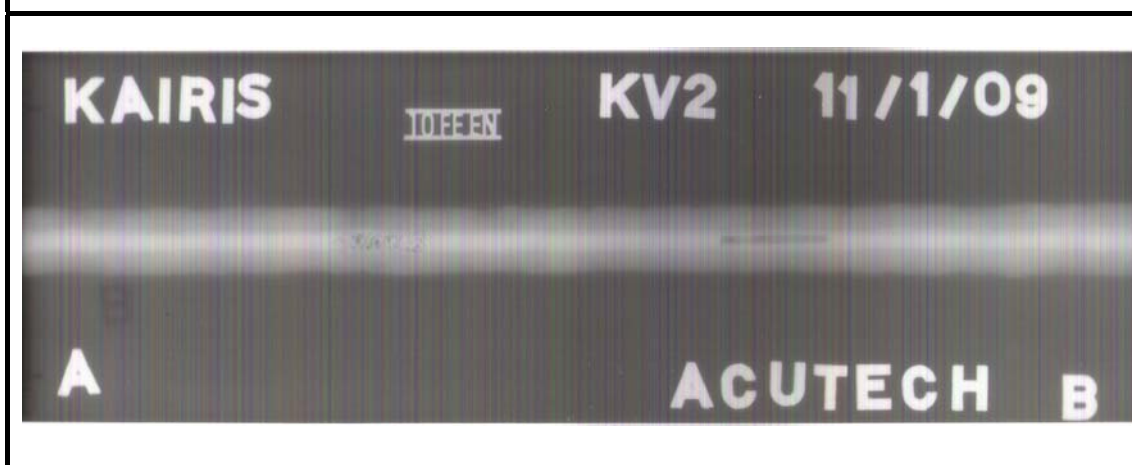
Οι πειραματικές τιμές των τριών παραπάνω ραδιογραφιών είναι οι ακόλουθες :

	EXP1	EXP2	EXP3
Υλικό	Χάλυβας	Χάλυβας	Χάλυβας
Πάχος ελάσματος	12	12	12
Πάχος συγκόλλησης	15	15	15
Ενέργεια-kV	140	140	140
Ενέργεια-mA	6,4*1,7	6,4*2,6	6,4*0,9
Φίλτρο	-	-	-
FFD	740 mm	740 mm	740 mm
Είδος φιλμ	D7 Pb	D7 Pb	D7 Pb
Διαδικασία επεξεργασίας φιλμ	30 °C auto	30 °C auto	30 °C auto
IQI	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO

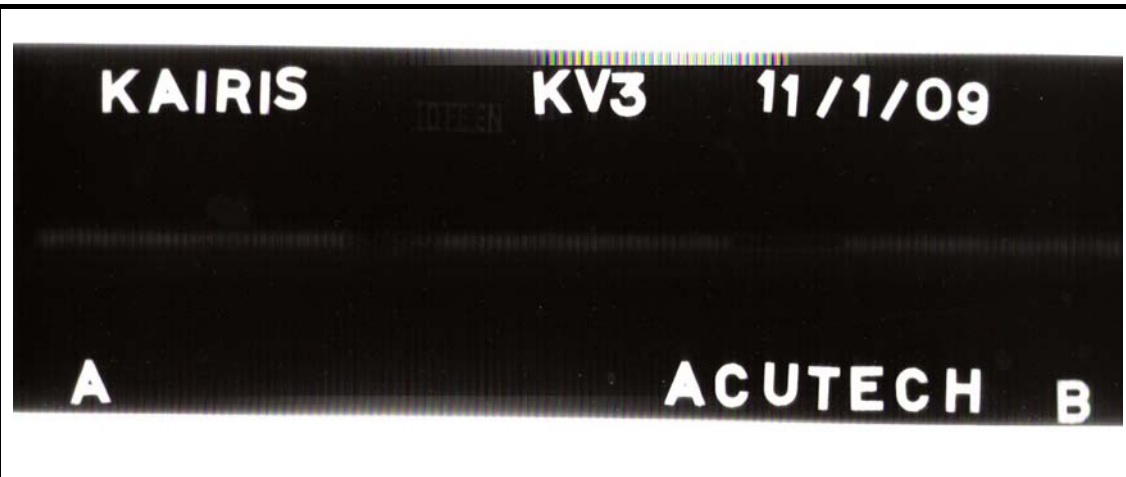
6.4.2. Ραδιογραφίες μεταβλητής ενέργειας kV



KV1 : Στην παρούσα ραδιογραφία έγινε χρήση των μεταβλητών που μας υπέδειξε το διάγραμμα έκθεσης και το διάγραμμα mA/kV της μηχανής. Το αποτέλεσμα είναι εφάμιλλο αν όχι ίδιο με το αποτέλεσμα της ραδιογραφίας EXP1 μιας και οι τιμές των μεταβλητών που χρησιμοποιήσαμε ήταν ίδιες. Παρατηρούμε δηλαδή ένα φιλμ που απεικονίζει σαφή όρια συγκόλλησης, ευκρινή είδη και όρια σφαλμάτων και σωστά ποσοστά αμαύρωσης.



KV2 : Στο δεύτερο φιλμ που ραδιογραφήσαμε χρησιμοποιήσαμε μικρότερη ενέργεια από αυτή με την οποία ραδιογραφήσαμε το φιλμ KV1 κρατώντας όμως την έκθεση σταθερή. Το αποτέλεσμα ήταν να παραχθεί ένα φιλμ χαμηλής αμαύρωσης, με μεγάλη θολότητα, ασαφή όρια συγκόλλησης και περιορισμένη απεικόνιση των σφαλμάτων.

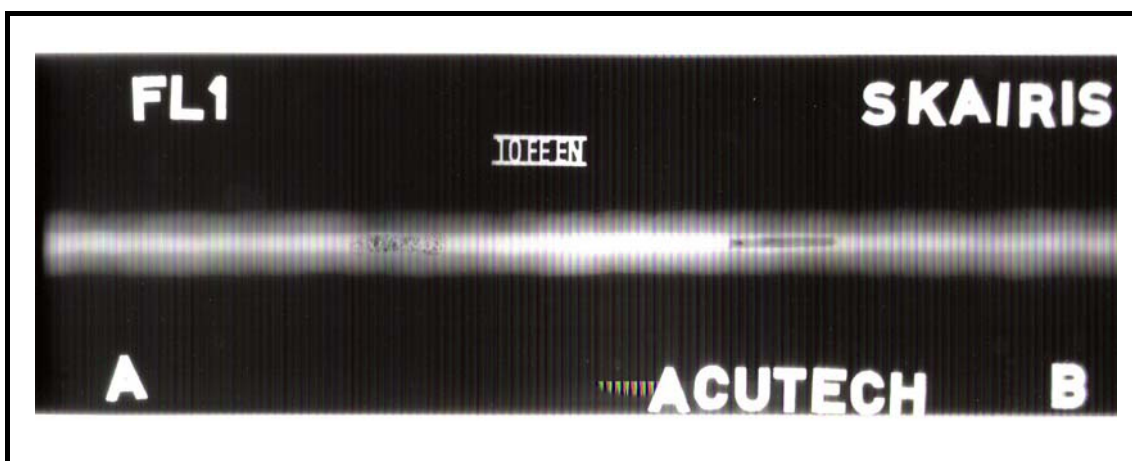


KV3 : Στην Τρίτη ραδιογραφία, η μεταβλητή των kV ήταν αυξημένη(δηλαδή τα ποσά ενέργειας των ηλεκτρονίων που παρήγαγε η γεννήτρια και «έπεσαν» πάνω στο φιλμ ήταν αυξημένα) σε σχέση με τα kV της KV1.Επίσης επειδή αυξήθηκε σημαντικά η χρησιμοποιούμενη ενέργεια μειώθηκε ελάχιστα η μεταβλητή των mA ενώ αυξήθηκε ο χρόνος έκθεσης, την μετατροπή αυτή την πραγματοποίησε ο υπολογιστής της μηχανής για να λειτουργήσει σύμφωνα με την καμπύλη του διαγράμματος mA/kV. Αποτέλεσμα των παραπάνω ήταν να παραχθεί φιλμ με ιδιαίτερα αυξημένη αμαύρωση στο οποίο δεν φαίνονται ιδιαίτερα τα σφάλματα της συγκόλλησης αλλά ούτε το όρια αυτής. Παρατηρούμε ότι ακόμα και ο δείκτης ποιότητας της εικόνας έχει «εξαφανιστεί».

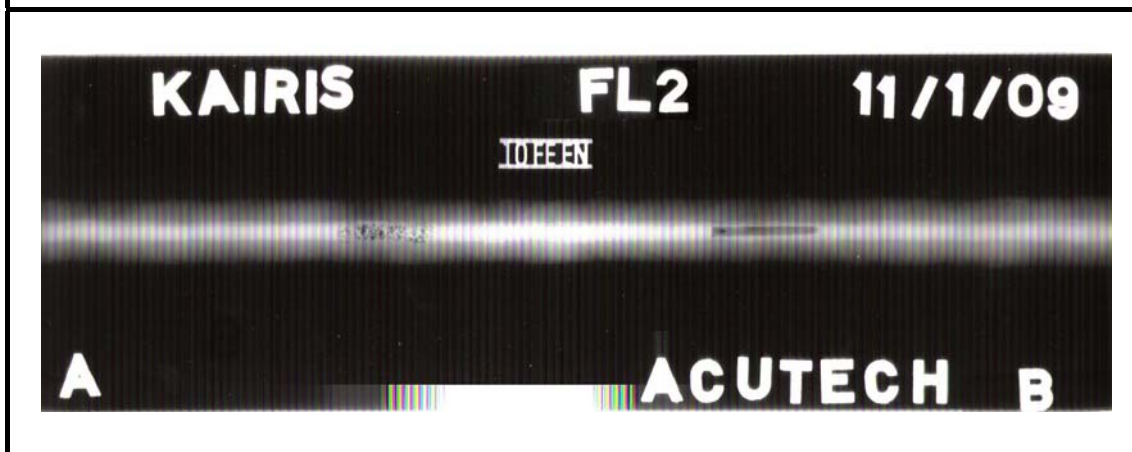
Οι πειραματικές τιμές των τριών παραπάνω ραδιογραφιών είναι οι ακόλουθες :

	KV1	KV2	KV3
Υλικό	Χάλυβας	Χάλυβας	Χάλυβας
Πάχος ελάσματος	12	12	12
Πάχος συγκόλλησης	15	15	15
Ενέργεια-kV	140	120	160
Ενέργεια-mA	6,4*1,7	6,4*2,6	5,6*2,0
Φίλτρο	-	-	-
FFD	740 mm	740 mm	740 mm
Είδος φιλμ	D7 Pb	D7 Pb	D7 Pb
Διαδικασία επεξεργασίας φιλμ	30 °C auto	30 °C auto	30 °C auto
IQI	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO

6.4.3. Ραδιογραφίες διαφορετικών φιλμ



FL1 : Στην εν λόγω ραδιογραφία χρησιμοποιήθηκε ένα πιο λεπτόκοκκο-αργό φιλμ. Η ενέργεια και τα mA που χρησιμοποιήσαμε ήταν αυτά που υποδείχθηκαν από τα αντίστοιχα διαγράμματα, αλλά ο χρόνος έκθεσης ήταν διαφορετικός αφού τα λεπτόκοκκα φιλμ απαιτούν περισσότερο χρόνο για ραδιογραφηθούν. Το αποτέλεσμα που πήραμε ήταν ένα φιλμ με σαφώς καλύτερη ευκρίνεια και ανάλυση εικόνας. Τα όρια της συγκόλλησης και των σφαλμάτων αυτής είναι καλύτερα διακριτά, επίσης η ραδιογραφική αντίθεση είναι σε πολύ καλά επίπεδα.



FL2 : Η εν λόγω ραδιογραφία έχει ακριβώς τις ίδιες μεταβλητές με τις ραδιογραφίες EXP1 και KV1 οπότε το αποτέλεσμα είναι το ίδιο. Είναι εύκολα αντιληπτό ότι αν και παραμένει μια πολύ καλή ραδιογραφία δεν μπορεί να συγκριθεί με την ραδιογραφία FL1 η οποία είναι σαφώς βελτιωμένη αφού χρησιμοποιήθηκε φιλμ καλύτερη ποιότητας.

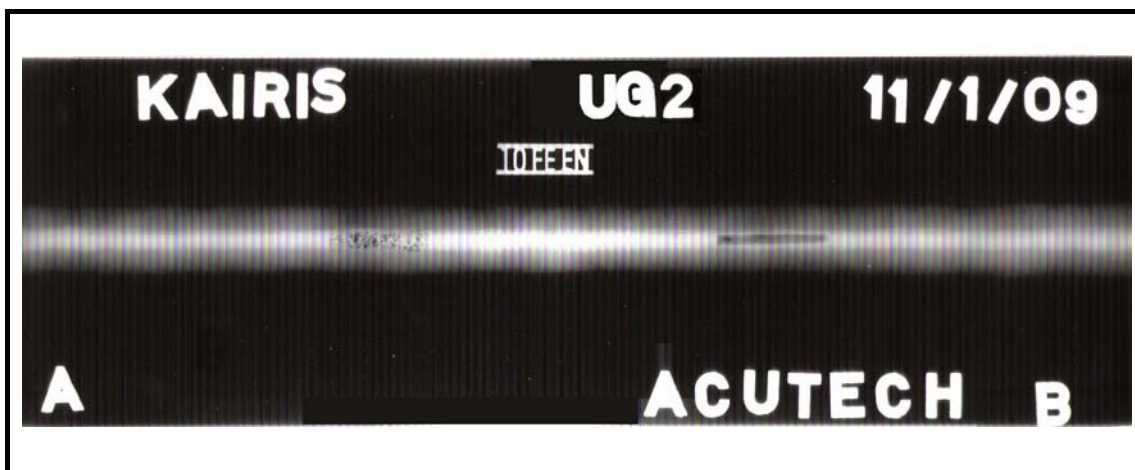
Οι πειραματικές τιμές των δύο παραπάνω ραδιογραφιών είναι οι ακόλουθες :

	FL1	FL2
Υλικό	Χάλυβας	Χάλυβας
Πάχος ελάσματος	12	12
Πάχος συγκόλλησης	15	15
Ενέργεια-kV	140	140
Ενέργεια-mA	6,4*5	6,4*1,7
Φίλτρο	-	-
FFD	740 mm	740 mm
Είδος φιλμ	D4 Pb	D7 Pb
Διαδικασία επεξεργασίας φιλμ	30 °C auto	30 °C auto
IQI	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO

6.4.4. Ραδιογραφίες μεταβλητής απόστασης φιλμ-πηγής FFD



UG1 : Στην παρούσα ραδιογραφία η μεταβλητή που επηρέασαμε ήταν η απόσταση του φιλμ από την πηγή ακτίνων X και συγκεκριμένα μειώσαμε αυτή την απόσταση κρατώντας τα επίπεδα ενέργειας(kV) και mA ίδια με αυτά των ραδιογραφιών EXP1 και KV1, ταυτόχρονα όμως μειώσαμε τον χρόνο έκθεσης(η δόρωση έγινε αυτόματα από τον υπολογιστή του μηχανήματος) αφού το διάγραμμα έκθεσης αλλάζει ανάλογα με την απόσταση. Παρατηρούμε πως παρήχθη μια ραδιογραφία στην οποία είναι εμφανής η γεωμετρική δυσκρίνεια, αλλά και η ασάφεια των σφαλμάτων και της συγκόλλησης, ενώ επίσης παρατηρούμε πως το ραδιογραφούμενο δοκίμιο βρέθηκε εκτός κώνου ακτινογράφησης και έτσι έκανε την εμφάνιση του το φαινόμενο της παρασκιάς.



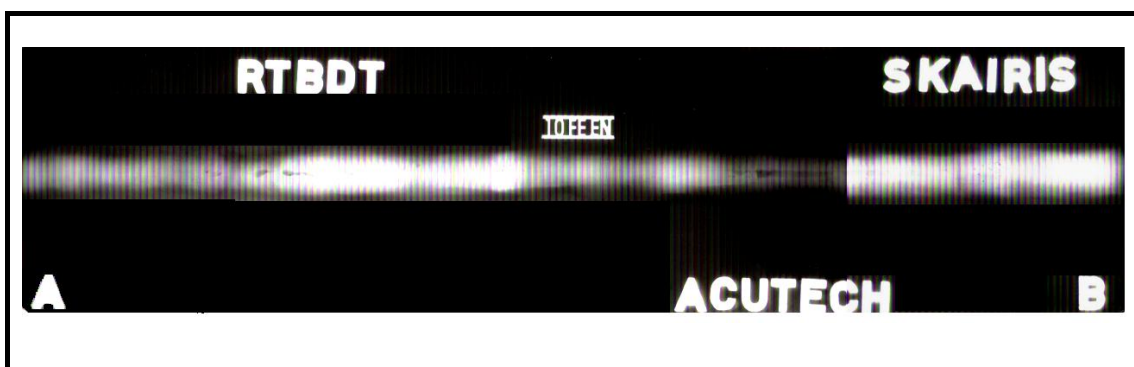
UG2 : Πρόκειται για ραδιογραφία με τα ίδια χαρακτηριστικά των KV1, EXP1 και FL2. Πραγματοποιήθηκε ως μέτρο σύγκρισης με την UG1. Παρατηρούμε ότι δεν υπάρχει οποιαδήποτε γεωμετρική δυσκρίνεια καθώς τόσο η συγκόλληση όσο και τα σφάλματα έχουν ξεκάθαρα όρια.

Οι πειραματικές τιμές των τριών παραπάνω ραδιογραφιών είναι οι ακόλουθες :

	UG1	UG2
Υλικό	Χάλυβας	Χάλυβας
Πάχος ελάσματος	12	12
Πάχος συγκόλλησης	15	15
Ενέργεια-kV	140	140
Ενέργεια-mA	6,4*0,4	6,4*1,7
Φίλτρο	-	-
FFD	347 mm	740 mm
Είδος φιλμ	D7 Pb	D7 Pb
Διαδικασία επεξεργασίας φιλμ	30 °C auto	30 °C auto
IQI	EN 462-1WIO	EN 462-1WIO

6.4.5. Ραδιογραφία συγκολλητού δοκιμίου που προορίζεται για καταστροφικό έλεγχο με δοκιμή εφελκυσμού

Όπως έχουμε αναφέρει και προηγουμένως, ραδιογραφήθηκε ένα ακόμη δοκίμιο με σκοπό να καταγραφούν τα σφάλματα που περιείχε, πριν αυτό σταλεί για επεξεργασία και στην συνέχεια για εφελκυσμό. Το εν λόγω δοκίμιο ραδιογραφήθηκε σύμφωνα με τις τιμές που υπέδειξαν τα διαγράμματα έκθεσης και mA/kV της μηχανής ακτίνων Χ. Τα αποτελέσματα της ραδιογράφησης υπέδειξαν ότι εντός του δοκιμίου υπήρχαν τα εξής σφάλματα : λίγοι πόροι, ατελής διείσδυση(δεξί μέρος) και πάστα(αριστερό μέρος)



Η ραδιογράφηση του εν λόγω δοκιμίου πραγματοποιήθηκε με τις ακόλουθες τιμές :

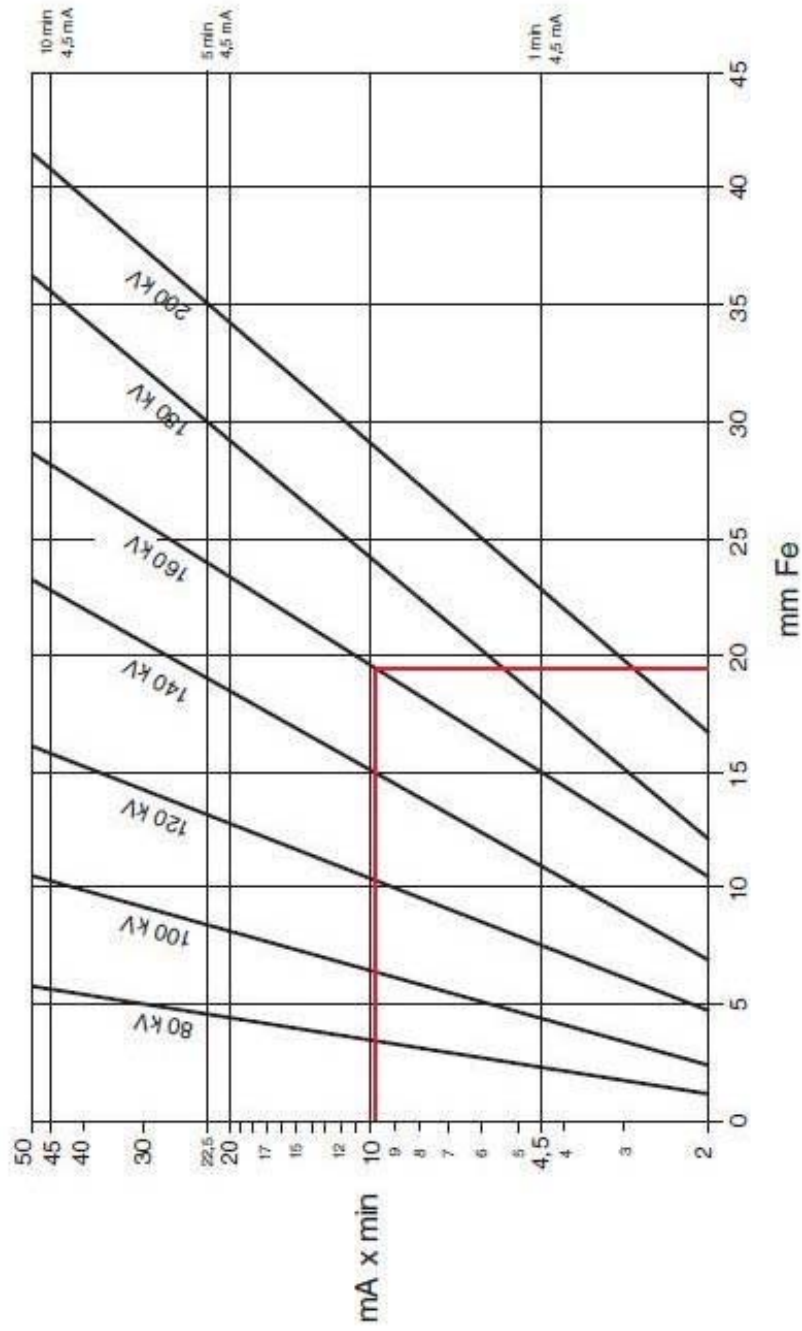
	RTBDT
Υλικό	Χάλυβας S275JR (Stahl 44)
Πάχος ελάσματος	16
Πάχος συγκόλλησης	19
Ενέργεια-kV	160
Ενέργεια-mA	5,6*2,4
Φίλτρο	-
FFD	740 mm
Είδος φιλμ	D7 Pb
Διαδικασία επεξεργασίας φιλμ	30 °C auto
IQI	EN 462-1WIO

Στην συνέχεια παραθέτουμε τα διαγράμματα έκθεσης και mA/kV που υποδεικνύουν με ποιον τρόπο προέκυψαν η τιμές του παραπάνω πίνακα.

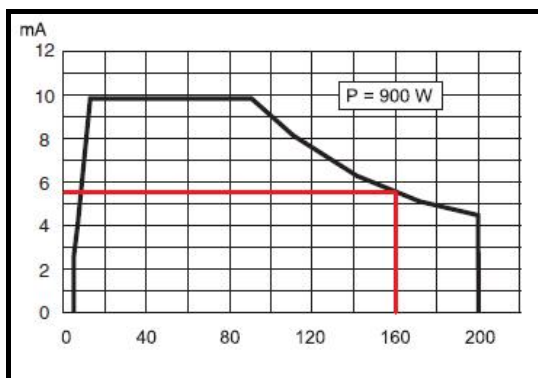
ERESCO 42 MF3

Belichtungsdiagramm
FFA = 700 mm D7Pb S = 2,0

Exposure Diagram
FFD = 700 mm D7Pb D = 2.0



folgende Daten gelten nur mit entferntem Al-Schutzscheide und entfernter Cu-Vorflapf
(the above data are valid with removed Al protective disk and without Cu filter only)



Πρέπει να αναφέρουμε πως τα διαγράμματα έκθεσης αναφέρονται σε FFD 700 mm και όχι 740 mm που είναι η απόσταση στην περίπτωση της μηχανής που χρησιμοποιήσαμε. Κάτι τέτοιο όμως δεν αποτελεί πρόβλημα αφού υπάρχει κατάλληλο πρόγραμμα στον υπολογιστή της μηχανής που διορθώνει της τιμές ώστε να ανταποκρίνονται στην πραγματική απόσταση που έχει η πηγή από το φιλμ.

6.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων που παρουσιάστηκαν παραπάνω καταλήγουμε σε συγκεκριμένα συμπεράσματα σχετικά μισ μεταβλητές που καθορίζουν και επηρεάζουν την ποιότητα του ραδιογραφικού ειδώλου.

- Αύξηση της ενέργειας με την οποία ραδιογραφούμε και άρα αύξηση των kV έχει ως αποτέλεσμα να αυξάνεται η ενέργεια των ηλεκτρονίων που διαπερνούν το δοκίμιο και προσπίπτουν πάνω στο φιλμ. Αυτό εξασφαλίζει μεγαλύτερη διεισδυτικότητα των ακτίνων και είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ραδιογράφιση αντικειμένων μεγάλου πάχους. Όμως η υπέρμετρη αύξηση των kV μπορεί να αντίθετα αποτελέσματα στην ποιότητα της ραδιογραφίας μειώνοντας την ευκρίνεια. Σε μια τέτοια περίπτωση μια ψιλή-λεπτή ρωγμή κατά μήκος της συγκόλλησης θα μπορούσε να διαφύγει της προσοχής του εκάστοτε ελεγκτή. Αντίθετα μείωση της ραδιογραφούμενης ενέργειας εξασφαλίζει μεγαλύτερη ευκρίνεια αλλά το φιλμ που παράγεται έχει χαμηλή αμαύρωση και μικρή αντίθεση. Τέλος πρέπει να πούμε ότι μια ραδιογραφία με περισσότερα kV κοστίζει παραπάνω από ραδιογραφία με λιγότερα αφού τα ποσά της ενέργειας και άρα του ρεύματος που πρέπει να καταναλωθεί είναι μεγαλύτερα.
- Αυξάνοντας τα mA σε μια ραδιογραφία μπορούμε να μειώσουμε τον χρόνο έκθεσης διατηρώντας την συνολική έκθεση σταθερή(mA*min). Μείωση του χρόνου έκθεσης μας εξασφαλίζει μεγαλύτερη παραγωγικότητα αφού στον ίδιο

χρόνο μπορούν να παραχθούν περισσότερες ραδιογραφίες. Επίσης αυξάνοντας τα mA και διατηρώντας τον χρόνο έκθεσης σταθερό πετυχαίνουμε μεγαλύτερη αμαύρωση και μεγαλύτερη ευκρίνεια αλλά μέχρι κάποιο σημείο διότι μετά το φιλμ δεν θα μπορεί να διαβαστεί. Πρέπει να σημειώσουμε ότι αύξηση των mA έχει ως συνέπεια την αύξηση του αριθμού των ηλεκτρονίων που παράγονται από την άνοδο και ραδιογραφεί το αντικείμενο, κάτι τέτοιο όμως έχει και κάποια όρια ανάλογα την μηχανή και αν αυτά ξεπεραστούν τότε θα υπάρξει πρόβλημα, αυτό συμβαίνει διότι μεγάλος αριθμός ηλεκτρονίων σημαίνει μεγάλη θερμότητα στην άνοδο η οποία και μπορεί να λιώσει. Αντίθετα μείωση των mA αν δεν ακολουθηθεί με ταυτόχρονη αύξηση του χρόνου έκθεση θα οδηγήσει στην δημιουργία φιλμ με ελάχιστη αμαύρωση με αποτέλεσμα να μην είναι σαφή ούτε τα όρια της συγκόλλησης αλλά ούτε και τα όρια των σφαλμάτων(ενδεχομένως και κάποια να μην φανούν). Χαμηλά mA πρέπει να χρησιμοποιούνται σε λεπτόκοκκα φιλμ ώστε να εξασφαλίζεται καλύτερη ευκρίνεια και αντίθεση, βέβαια το μειονέκτημα σε αυτή την περίπτωση είναι πως θα απαιτείται περισσότερος χρόνος ραδιογράφησης, πράγμα αντιπαραγωγικό.

- Λεπτόκοκκα-αργά φιλμ έχουν καλύτερη ποιότητα εικόνας συνολικά. Αυτό συμβαίνει διότι έχουν περισσότερο κόκκους, πράγμα που οδηγεί στην δημιουργία εικόνας με καλύτερη ανάλυση(περισσότεροι κόκκοι→περισσότερα pixel).
- Όταν μειωθεί η απόσταση πηγής-φιλμ μειώνεται η ευκρίνεια άρα δεν θα φανεί για παράδειγμα κάποια λεπτή ρωγμή. Εκτός αυτού υπάρχει και η περίπτωση το φιλμ να βρεθεί εκτός ραδιογραφικού κώνου όπως συνέβη στην περίπτωση μας. Οπότε συνήθως απαιτείται μεγάλη απόσταση ώστε να εξασφαλίζεται καλή ευκρίνεια. Ταυτόχρονα όμως αύξηση της απόστασης απαιτεί το δοκίμιο να ραδιογραφηθεί για περισσότερο χρόνο(νόμος αντίστροφων τετραγώνων).

Όπως αντιλαμβανόμαστε από τα συμπεράσματα που αναλύθηκαν παραπάνω, το αποτέλεσμα μιας ραδιογραφίας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες και ποτέ δεν υπάρχει μια και μόνο λύση που να εξασφαλίζει το βέλτιστο δυνατό αποτέλεσμα. Πολλές φορές χρειάζεται να γίνουν «εκπτώσεις» στις διάφορες παραμέτρους μιας ραδιογραφίας έτσι ώστε να ικανοποιείται μια πληθώρα απαιτήσεων(από τον χρόνο και το κόστος της ραδιογραφίας μέχρι την ποιότητα αυτής).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Εφελκυσμός συγκολλητού δοκιμίου



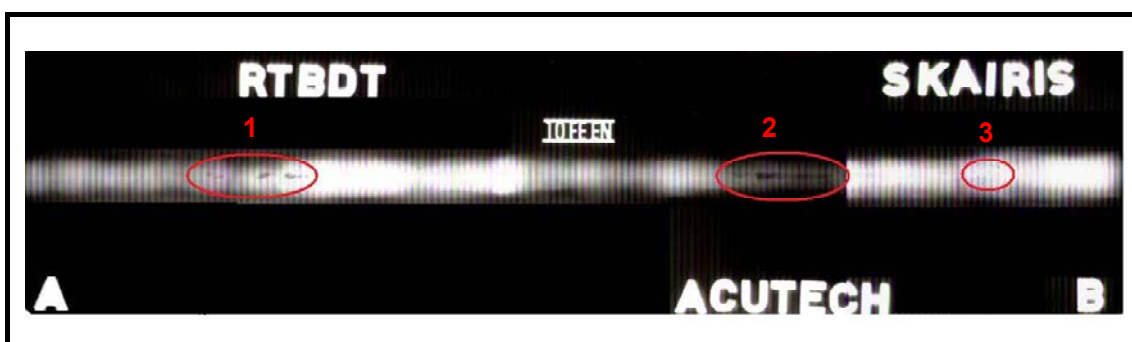
7.1. Εξοπλισμός πειράματος

Σκοπός του παρόντος πειράματος ήταν να διαπιστωθεί εάν υπάρχει κάποια σχέση ανάμεσα στο είδος των σφαλμάτων που εμπεριέχονται εντός της συγκόλλησης του εκάστοτε δοκιμίου και του σημείου που αυτά θα αστοχήσουν αφότου υποστούν καταπόνηση σε εφελκυσμό.

Συνοπτικά για την πραγματοποίηση του εν λόγω πειράματος απαιτήθηκαν τα παρακάτω υλικά και εξοπλισμός :

- Ραδιογραφία του αρχικού δοκιμίου ώστε να διαπιστωθούν τα είδη των σφαλμάτων και να προσδιορισθεί η θέση τους.
- Δοκίμια εφελκυσμού(από το αρχικό δοκίμιο προέκυψαν πέντε μικρότερα τα οποία υπέστησαν εφελκυσμό).
- Μηχανή εφελκυσμού ελεγχόμενη με ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον χειρισμό και την εισαγωγή των παραμέτρων της δοκιμής.
- Παχύμετρο για την μέτρηση του πάχους των δοκιμίων πριν και μετά την καταπόνηση.

7.1.1. Ραδιογραφία αρχικού δοκιμίου



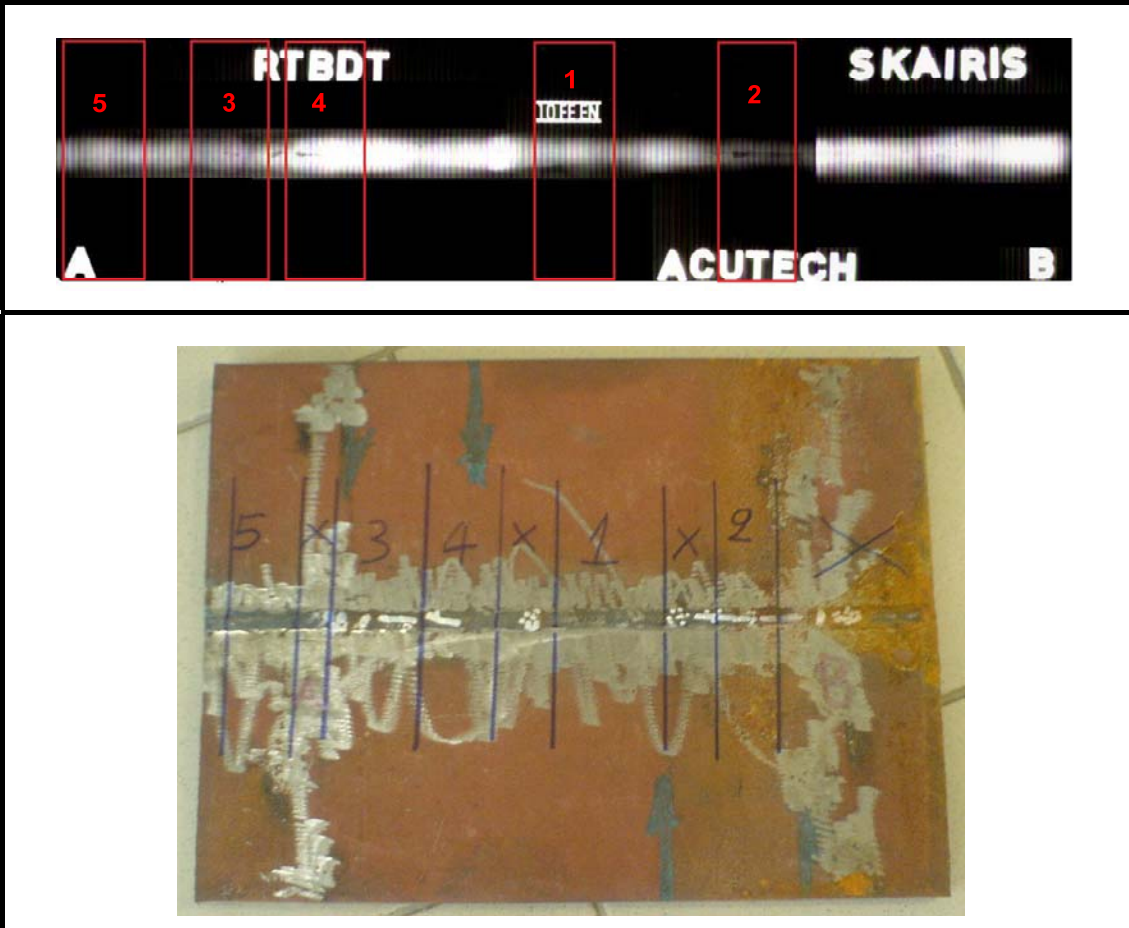
Με την βοήθεια της ραδιογραφίας του συγκολλητού δοκιμίου προσδιορίστηκαν τα ακόλουθα σφάλματα κατά μήκος της συγκόλλησης :

1. Εγκλείσματα πάστας του ηλεκτροδίου

2. Ατελής διείσδυση
3. Πόροι(σε μικρή έκταση)

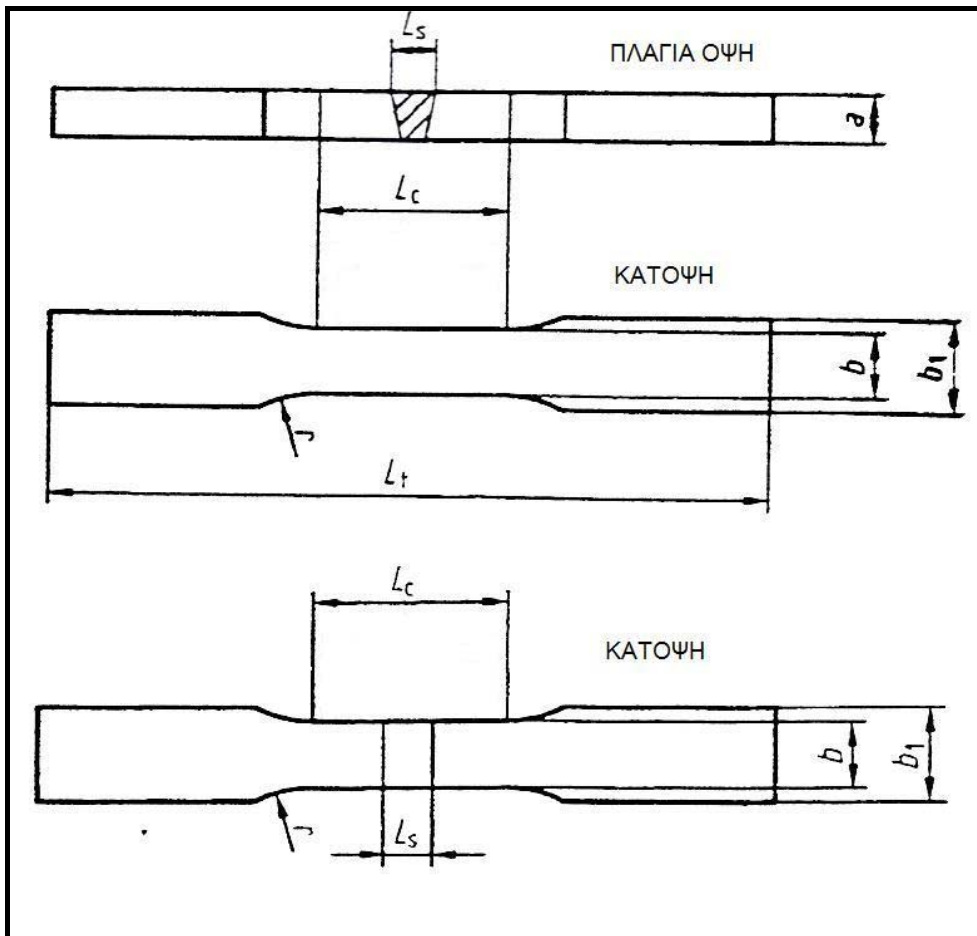
7.1.2. Δοκίμια εφελκυσμού

Αφού προσδιορίσαμε με την βοήθεια της ραδιογραφίας την θέση και την έκταση των σφαλμάτων της συγκόλλησης στην συνέχεια από το αρχικό δοκίμιο λήφθηκαν με κατεργασία υδροκοπής άλλα πέντε μικρότερα δοκίμια, εκ των οποίων δύο δεν περιείχαν κάποιο σφάλμα ενώ τα υπόλοιπα τρία περιείχαν πάστα και ατελή διείσδυση(αποφασίστηκε να μην κοπεί κάποιο δοκίμιο που θα περιείχε πόρους αφού το εν λόγω σφάλμα δεν εμφανίστηκε σε μεγάλη έκταση). Η διαστάσεις των νέων δοκιμίων προέκυψαν ακολουθώντας την διεθνή τυποποίηση για την καταπόνηση μεταλλικών ελασμάτων κατά EN 895.



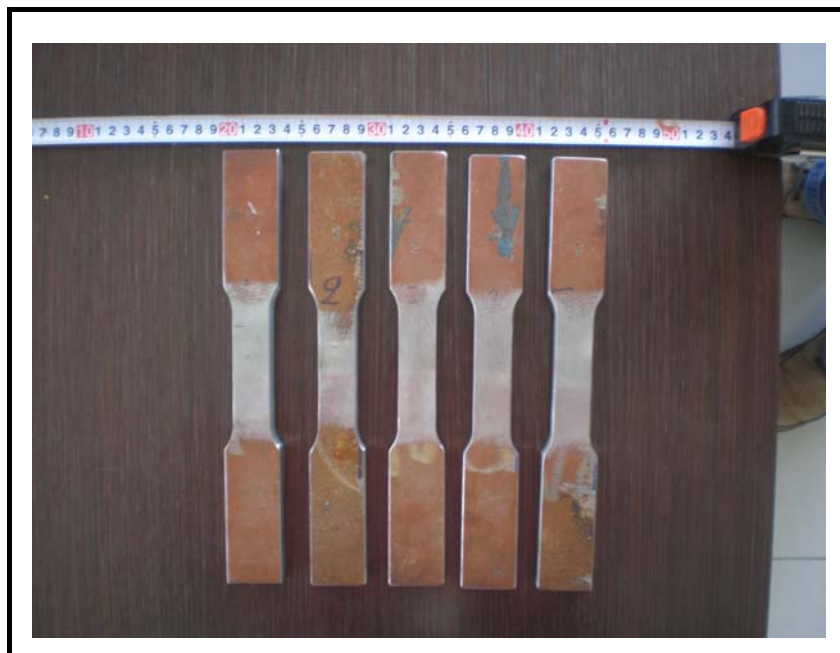
1. Καθαρή συγκόλληση χωρίς σφάλματα
2. Συγκόλληση που περιέχει ατελή διείσδυση
3. Συγκόλληση που περιέχει πάστα

4. Συγκόλληση που περιέχει πάστα
5. Καθαρή συγκόλληση χωρίς σφάλματα



Μήκος δοκιμίου	L_t	380 mm
Πάχος ελάσματος	a	16 mm
Πλάτος λαιμού	b	12 mm για $a \leq 2$ mm 25 mm για $a > 2$ mm
Πλάτος ελάσματος(κεφαλής)	b_1	$b+12=37$ mm
Πλάτος συγκόλλησης	L_s	16 mm
Μήκος λαιμού	L_c	$\geq L_s+60$ περίπου 80 mm
Ακτίνα μετάβασης λαιμού-ελάσματος	r	≥ 25 mm

Με την κατεργασία των δοκιμίων σύμφωνα με την παραπάνω τυποποίηση δημιουργήθηκαν τα ακόλουθα δοκίμια προς εφελκυσμό.



7.1.3. Μηχανή εφελκυσμού

Για τον εφελκυσμό των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκε ειδική μηχανή εκτέλεσης δοκιμών εφελκυσμού. Το κάθε δοκίμιο στηρίχθηκε μεταξύ των δύο κάθετων αρπάγων και το κάτω μέρος της μηχανής απομάκρυνε-εφέλκυε το δοκίμιο. Η συλλογή των δεδομένων γινόταν από υπολογιστή συνδεδεμένο με την μηχανή, αλλά υπήρχε και η δυνατότητα ο χειριστής να μεταβάλλει τις τιμές των δυνάμεων που ασκούταν στο εκάστοτε δοκίμιο από χειριστήρια πάνω στην μηχανή.

			
<p>7.1.α.</p>	<p><i>Διάταξη εφελκυσμού</i></p>	<p>7.1.β.</p>	<p><i>Χειριστήριο για άμεση προσαρμογή των ρυθμίσεων της μηχανής</i></p>

7.2. Μεταβλητές του πειράματος

Στο παρών πείραμα θα μπορούσαμε να πούμε πως οι μεταβλητές του πειράματος είναι ουσιαστικά τα διαφορετικά δοκίμια που δοκιμάσαμε σε καταπόνηση εφελκυσμού. Δηλαδή οι μεταβλητές του πειράματος εφελκυσμού είναι τα διαφορετικά είδη σφάλματος που περικλείονται εντός της συγκόλλησης του δοκιμίου.

7.3. Περιγραφή, εκτέλεση του πειράματος

Για την εκτέλεση του πειράματος το κάθε δοκίμιο τοποθετήθηκε στις ειδικές αρπάγες του μηχανήματος και στην συνέχεια αφού εισήχθησαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή οι τιμές των διαστάσεων του κάθε δοκιμίου, ξεκίνησε η καταπόνηση σε εφελκυσμό. Ταυτόχρονα στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή που ήταν συνδεδεμένος με το μηχάνημα παρουσιάζονταν σε πραγματικό χρόνο η πορεία του διαγράμματος τάσεων/επιμήκυνσης. Αναφέρουμε ότι για τις ανάγκες της παρουσίασης του πειράματος πραγματοποιήθηκε καταγραφή της διαδικασίας του εφελκυσμού με την χρήση κάμερας, κατά την οποία είναι αξιοσημείωτο να αναφέρουμε πως παρατηρήθηκε το φαινόμενο της διεύρυνσης των σφαλμάτων κατά την διάρκεια του εφελκυσμού. Μετά το πέρας της καταπόνησης και αφού το δοκίμιο είχε αστοχήσει, απομακρύνονταν και τοποθετούταν το επόμενο, ενώ ταυτόχρονα εκτυπώνονταν το σχετικό διάγραμμα τάσεων/επιμήκυνσης μαζί με τα στοιχεία της καταπόνησης.



7.2.

Τοποθέτηση του προς εφελκυσμό δοκιμίου στις κατάλληλες υποδοχές της μηχανής. Σημειώνουμε ότι ο εφελκυσμό πραγματοποιούταν με την απομάκρυνση του κάτω σκέλους της μηχανής.

Mechanical properties at ambient temperature for flat and long products of steel grades and qualities with values for the impact strength														
Designation	Minimum yield strength R_{eH}^a MPa ^b						Tensile strength R_m^a MPa ^b							
	Nominal thickness mm						Nominal thickness mm							
	≤ 16	> 16 ≤ 40	> 40 ≤ 63	> 63 ≤ 80	> 80 ≤ 100	> 100 ≤ 150	> 150 ≤ 200	> 200 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c	< 3	≥ 3 ≤ 100	> 100 ^d ≤ 150	> 150 ≤ 250	> 250 ≤ 400 ^c
According to EN 10027-1 and CR 10260	235	225	215	215	215	195	185	175	-	-	360 to 510	360 to 510	360 to 510	-
S235JR	235	225	215	215	215	195	185	175	-	-	360 to 510	360 to 510	360 to 510	-
S235J0	235	225	215	215	215	195	185	175	-	-	360 to 510	360 to 510	360 to 510	-
S235J2	235	225	215	215	215	195	185	175	165	165	360 to 510	360 to 510	360 to 510	330 to 480
S275JR	275	265	255	245	235	225	215	205	-	-	410 to 560	410 to 560	410 to 560	-
S275J0	275	265	255	245	235	225	215	205	-	-	410 to 560	410 to 560	410 to 560	-
S275J2	275	265	255	245	235	225	215	205	195	195	410 to 560	410 to 560	410 to 560	380 to 540
S355JR	355	345	335	325	315	295	285	275	-	-	470 to 630	470 to 630	470 to 630	-
S355J0	355	345	335	325	315	295	285	275	-	-	470 to 630	470 to 630	470 to 630	-
S355J2	355	345	335	325	315	295	285	275	265	265	470 to 630	470 to 630	470 to 630	450 to 600
S355K2	355	345	335	325	315	295	285	275	265	265	470 to 630	470 to 630	470 to 630	450 to 600
S450J0 ^d	450	430	410	390	380	380	-	-	-	-	550 to 720	550 to 720	-	-

^a For plate, strip and wide flats with widths ≥ 600 mm the direction transverse (t) to the rolling direction applies. For all other products the values apply for the direction parallel (l) to the rolling direction.

^b 1 MPa = 1 N/mm².

^c The values apply to flat products.

Επίσης για τον προσδιορισμό των ορίων αστοχίας του υλικού έγινε χρήση τυποποίησης κατά EN 10025-2-2004 και αυτά βρέθηκαν από 410 έως 550 N/mm².

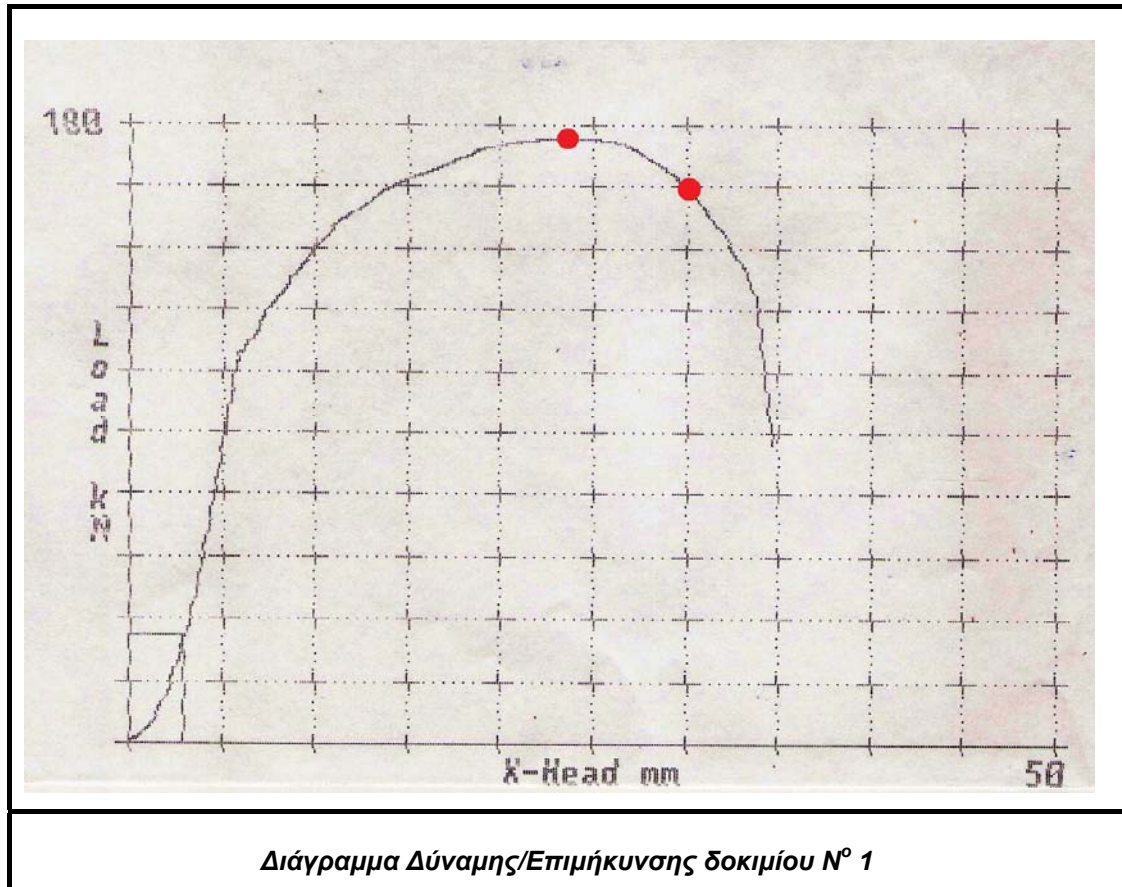
7.4. Αποτελέσματα πειράματος

Πριν από την παρουσίαση των αποτελεσμάτων αναφέρουμε πως εκ των πέντε δοκιμών που διαθέταμε, έγινε καταπόνηση σε εφελκυσμό μέχρι το σημείο αστοχίας στα τέσσερα από τα πέντε ενώ στο πέμπτο δοκίμιο σταματήσαμε την διαδικασία του εφελκυσμού ελάχιστα δευτερόλεπτα πριν αυτό «σπάσει». Αυτό έγινε ώστε να αποτυπωθεί η μορφή του «λαιμού» πριν την οριστική θραύση του.

7.4.1. Δοκίμιο N° 1

Το υπ' αριθμόν δοκίμιο 1 που καταπονήθηκε σε εφελκυσμό, δεν εμφάνιζε εντός της περιοχής συγκόλλησης κάποιο εσωτερικό σφάλμα ή ασυνέχεια. Για τον λόγο αυτό αναμέναμε να αστοχήσει εκτός της περιοχής συγκόλλησης πράγμα που έτσι συνέβη. Η μέγιστη δύναμη αντοχής ήταν της τάξεως των 453 N/mm², ενώ η επιμήκυνση που υπέστη το δοκίμιο ήταν 15 mm αυξάνοντας το μήκος του μέχρι να σπάσει κατά 30%. Ο χρόνος που χρειάστηκε μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο ήταν 2 λεπτά και 10 δευτερόλεπτα με το μέγιστο φορτίο να έχει φτάσει στα 176.100 kN.

Στοιχεία Δοκιμίου N° 1			
Πάχος	15,6 mm	Τελικό Πάχος	12 mm
Πλάτος	24,9 mm	Τελικό Πλάτος	19 mm
Εμβαδόν	388,4 mm ²	Τελικό Εμβαδόν	228 mm ²
Μήκος G.L.	50 mm	Τελικό Μήκος G.L.	65 mm
Μέγιστη Φόρτιση	176.000 kN	Επιμήκυνση	30 %
Μέγιστη Δύναμη Εφελκυσμού	453 N/mm ²	Μείωση Εμβαδού	41 %

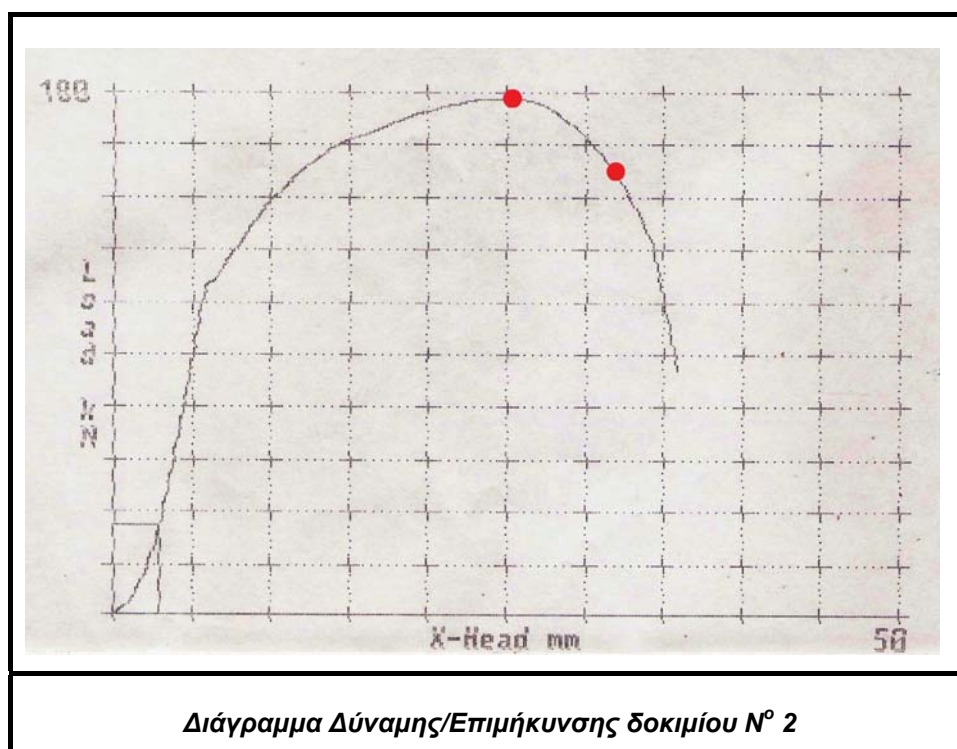


7.4.2. Δοκίμιο N° 2

Το υπ' αριθμόν δοκίμιο 2 που καταπονήθηκε σε εφελκυσμό, εμφάνιζε εντός της περιοχής συγκόλλησης εσωτερικό σφάλμα και πιο συγκεκριμένα ατελής διείσδυση. Αυτό σημαίνει ότι η διείσδυση που επιτεύχθηκε είναι μικρότερη από την απαιτούμενη, και επομένως η συγκόλληση δεν είναι επαρκής για τη προοριζόμενη εφαρμογή. Παρόλα αυτά και ενώ κανείς θα περίμενε ότι το δοκίμιο θα αστοχήσει

εντός της περιοχής συγκόλλησης κάτι τέτοιο δεν συνέβη και το δοκίμιο αστόχησε μακριά από αυτήν. Η μέγιστη δύναμη αντοχής ήταν της τάξεως των 453 N/mm^2 , ενώ η επιμήκυνση που υπέστη το δοκίμιο ήταν 14 mm αυξάνοντας το μήκος του μέχρι να σπάσει κατά 28%. Ο χρόνος που χρειάστηκε μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο ήταν 3 λεπτά και 22 δευτερόλεπτα με το μέγιστο φορτίο να έχει φτάσει στα 177.900 kN.

Στοιχεία Δοκιμίου N° 2			
Πάχος	15,7 mm	Τελικό Πάχος	12 mm
Πλάτος	25 mm	Τελικό Πλάτος	18 mm
Εμβαδόν	$392,5 \text{ mm}^2$	Τελικό Εμβαδόν	216 mm^2
Μήκος G.L.	50 mm	Τελικό Μήκος G.L.	64 mm
Μέγιστη Φόρτιση	177.900 kN	Επιμήκυνση	28 %
Μέγιστη Δύναμη Εφελκυσμού	453 N/mm^2	Μείωση Εμβαδού	45 %



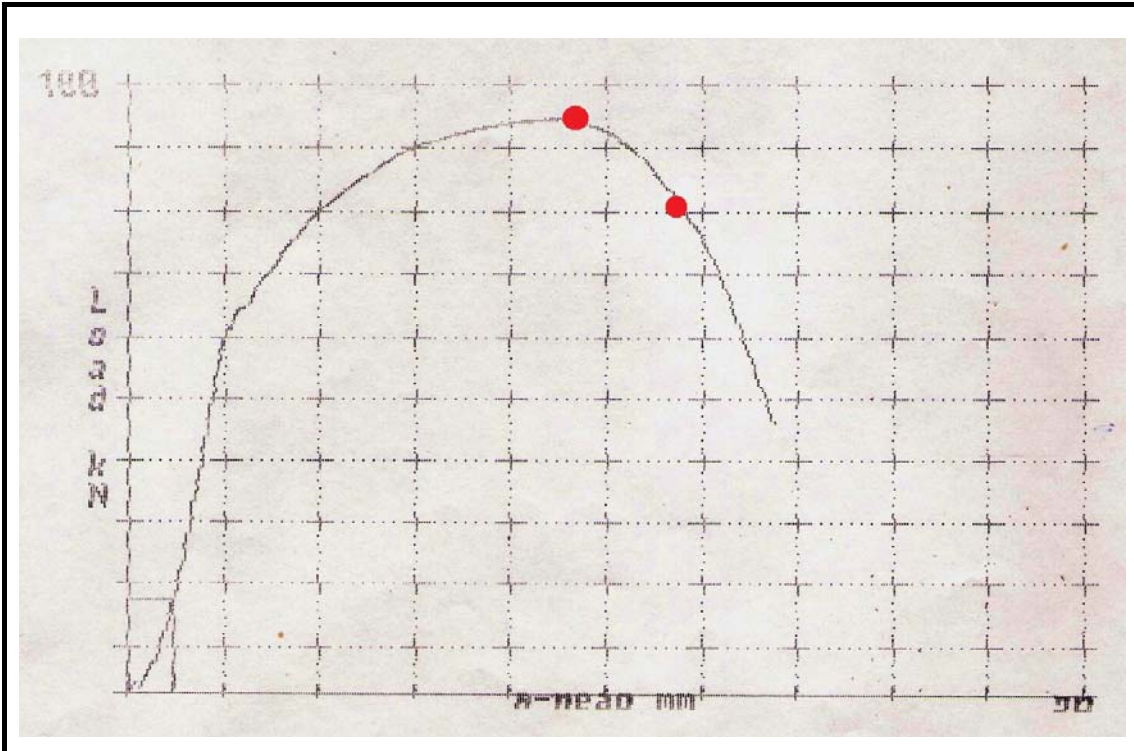


Το δοκίμιο 2 μετά τον εφελκυσμό έσπασε δεξιά και εκτός της συγκόλλησης

7.4.3. Δοκίμιο Ν° 3

Το υπ' αριθμόν δοκίμιο 3 που καταπονήθηκε σε εφελκυσμό, εμφάνιζε εντός της περιοχής συγκόλλησης εγκλείσματα πάστας. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διαδικασία της συγκόλλησης δεν έγινε σωστή απομάκρυνση της πάστας από στρώμα σε στρώμα με αποτέλεσμα ένα μέρος της να «στεγνώσει-κρυώσει» να μην αφαιρεθεί και μετά να περάσει από πάνω το επόμενο στρώμα υλικά. Παρόλα αυτά και σε αυτή την περίπτωση το δοκίμιο αστόχησε εκτός της περιοχής της συγκόλλησης. Η μέγιστη δύναμη αντοχής σε εφελκυσμό ήταν της τάξεως των 442 N/mm², ενώ η επιμήκυνση που υπέστη το δοκίμιο ήταν 15 mm αυξάνοντας το μήκος του μέχρι να σπάσει κατά 30%. Ο χρόνος που χρειάστηκε μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο ήταν 2 λεπτά και 45 δευτερόλεπτα με το μέγιστο φορτίο να έχει φτάσει στα 170.600 kN.

Στοιχεία Δοκιμίου Ν° 3			
Πάχος	15,5 mm	Τελικό Πάχος	11 mm
Πλάτος	24,9 mm	Τελικό Πλάτος	17 mm
Εμβαδόν	385,9 mm ²	Τελικό Εμβαδόν	187 mm ²
Μήκος G.L.	50 mm	Τελικό Μήκος G.L.	65 mm
Μέγιστη Φόρτιση	170.600 kN	Επιμήκυνση	30 %
Μέγιστη Δύναμη Εφελκυσμού	442 N/mm ²	Μείωση Εμβαδού	52 %



Διάγραμμα Δύναμης/Επιμήκυνσης δοκιμίου Ν° 3



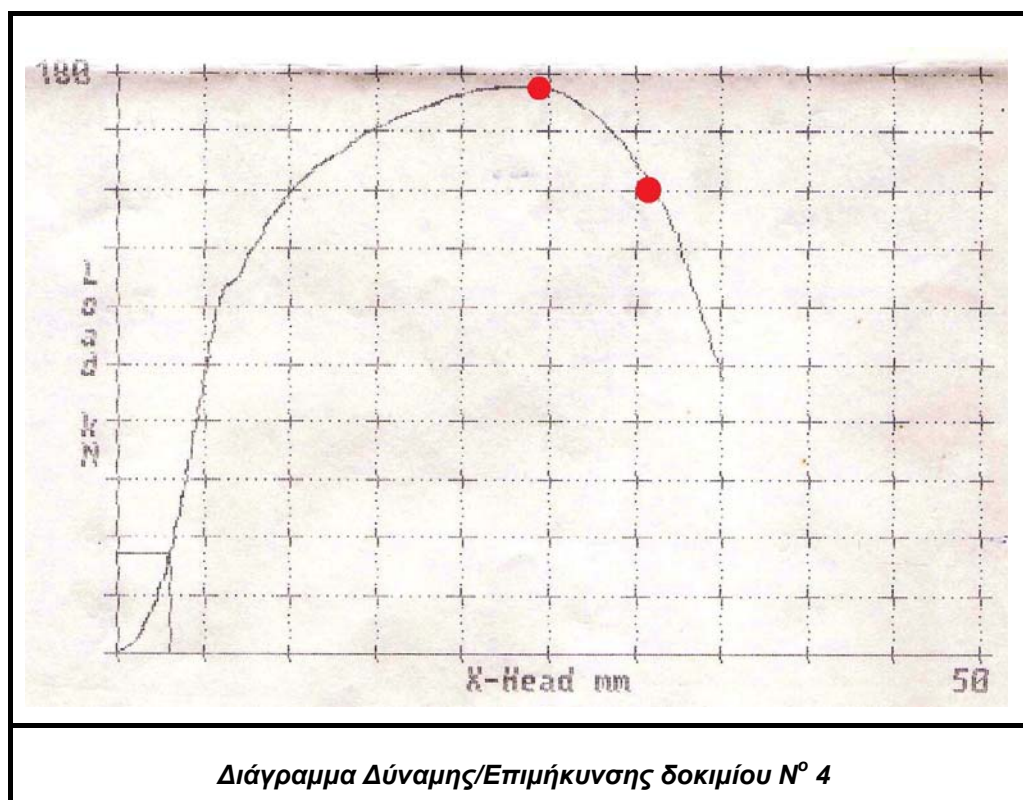
Το δοκίμιο 3 μετά τον εφελκυσμό έσπασε αριστερά και εκτός της συγκόλλησης

7.4.4. Δοκίμιο Ν° 4

Το υπ' αριθμόν δοκίμιο 4 που καταπονήθηκε σε εφελκυσμό, εμφάνιζε εντός της περιοχής συγκόλλησης εσωτερικό σφάλμα και πιο συγκεκριμένα πάστα, όπως και το δοκίμιο Ν° 3. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διαδικασία της συγκόλλησης δεν έχει σωστός καθαρισμός από στρώμα σε στρώμα με αποτέλεσμα ένα μέρος να «στεγνώσει-κρυώσει» να μην αφαιρεθεί και μετά να περάσει από πάνω το επόμενο στρώμα συγκόλλησης. Ακόμα και στο τέταρτο δοκίμιο η αστοχία έγινε εκτός

συγκόλλησης. Η μέγιστη δύναμη αντοχής σε εφελκυσμό ήταν της τάξεως των 454 N/mm², ενώ η επιμήκυνση που υπέστη το δοκίμιο ήταν 15 mm αυξάνοντας το μήκος του μέχρι να σπάσει κατά 30%. Ο χρόνος που χρειάστηκε μέχρι να αστοχήσει το δοκίμιο ήταν 2 λεπτά και 15 δευτερόλεπτα με το μέγιστο φορτίο να έχει φτάσει στα 176.100 kN.

Στοιχεία Δοκιμίου N° 4			
Πάχος	15,5 mm	Τελικό Πάχος	10,9 mm
Πλάτος	25 mm	Τελικό Πλάτος	11,7mm
Εμβαδόν	387,5 mm ²	Τελικό Εμβαδόν	127,5 mm ²
Μήκος G.L.	50 mm	Τελικό Μήκος G.L.	65 mm
Μέγιστη Φόρτιση	176.100 kN	Επιμήκυνση	30 %
Μέγιστη Δύναμη Εφελκυσμού	454 N/mm ²	Μείωση Εμβαδού	67 %





Το δοκίμιο 4 μετά τον εφελκυσμό έσπασε δεξιά και εκτός της συγκόλλησης

7.4.5. Δοκίμιο N° 5

Το υπ' αριθμόν δοκίμιο 5 δεν περιείχε εντός της συγκόλλησης του κάποιο σφάλμα. Το εν λόγω δοκίμιο καταπονήθηκε μέχρι τον σχηματισμό του «λαιμού» κοντά στην περιοχή της συγκόλλησης, διακόπτοντας την συνέχεια της διαδικασίας. Σκοπός ήταν η δημιουργία δοκιμίου στο οποίο θα έχει αποτυπωθεί το φαινόμενο του «λαιμού» λίγο πριν αστοχήσει. Και σε αυτή την περίπτωση εάν δεν διακόπταμε την διαδικασία εφελκυσμού το δοκίμιο θα έσπαγε εκτός συγκόλλησης.



Στο δοκίμιο 5 παρατηρούμε τον σχηματισμό του χαρακτηριστικού «λαιμού» λίγο πριν αστοχήσει το δοκίμιο. Εάν η διαδικασία της καταπόνησης σε εφελκυσμό συνεχίζοταν το δοκίμιο θα έσπαζε δεξιά της συγκόλλησης.

7.5. Σύνοψη αποτελεσμάτων – Συμπεράσματα

Από την ανάλυση των αποτελεσμάτων καταλήγουμε στο ότι όλα τα συγκολλητά δοκίμια, είτε περιείχαν σφάλματα είτε όχι, κατά την διαδικασία του εφελκυσμού αστόχησαν εκτός της περιοχής της συγκόλλησης στο μέταλλο βάσης.

Το εν λόγω αποτέλεσμα ήταν αναμενόμενο για τα δοκίμια που δεν περιείχαν σφάλματα, όχι όμως και για τα δοκίμια τα οποία περιείχαν. «Περιέργως» τα δοκίμια τα οποία περιείχαν σφάλματα αστόχησαν και αυτά εκτός της περιοχής της συγκόλλησης. Κάτι τέτοιο με μια πρώτη ματιά δεν είναι αυτό που θα περίμενε κανείς. Εξετάζοντας όμως το υλικό με το οποίο έγινε η συγκόλληση γίνεται κατανοητό πως κάτι τέτοιο σε μια στατική καταπόνηση είναι φυσιολογικό.

Το ηλεκτρόδιο με το οποίο έγινε η συγκόλληση του ελάσματος ήταν τύπου BOHLER FOX EV 50 με προδιαγραφές κατά EN 499:1994. Πρόκειται για ηλεκτρόδιο το οποίο χρησιμοποιείται για συγκολλήσεις υψηλής ποιότητας και εμφανίζει μέγιστη αντοχή σε δύναμη εφελκυσμού της τάξεως των 560 N/mm^2 , την στιγμή που το έλασμα St44-2 που συγκόλλησε διαθέτει μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό εύρους $410\text{-}560 \text{ N/mm}^2$.

Άρα είναι δυνατό σε στατική καταπόνηση ακόμα και αν υπάρχουν σφάλματα εντός της συγκόλλησης, η αστοχία να γίνει εκτός αυτής. Παρόλα αυτά κατά την διαδικασία του εφελκυσμού, παρατηρώντας το δοκίμιο θα μπορούσε κανείς να δει τα σφάλματα της συγκόλλησης να διογκώνονται μέχρι την στιγμή που έσπασε το δοκίμιο. Αυτό μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι ορισμένα είδη σφαλμάτων συγκόλλησης ακόμα και αν δεν είναι επικίνδυνα κατά την στατική καταπόνηση κάποιου αντικειμένου, σε περίπτωση δυναμικής καταπόνησης θα μπορούσαν να προκαλέσουν αστοχία διαδίδοντας και μεγεθύνοντας τις ρωγμές.

Καταλήγοντας, θα θέλαμε να αναφέρουμε ότι περαιτέρω έρευνα πάνω στο αντικείμενο των σφαλμάτων συγκολλήσεων θα μπορούσε να γίνει ως εξής :

- την δημιουργία συγκολλητών δοκιμίων που περιέχουν σφάλματα,
- την ραδιογράφιση αυτών για να διαπιστωθεί το είδος και η έκταση των σφαλμάτων
- την δυναμική καταπόνηση αυτών

- την εκ νέου ραδιογράφιση αυτών για να διαπιστωθεί κατά πόσο και με πιο τρόπο μεταβάλλονται τα σφάλματα εντός της συγκόλλησης

πως είναι κατανοητό μια έρευνα σαν αυτή που προτάθηκε παραπάνω είναι πολυδιάστατη και περιλαμβάνει πληθώρα μεταβλητών(τρόπος συγκόλλησης, είδη σφαλμάτων, τρόπος ραδιογραφίας, δυναμική καταπόνηση κλπ), τα συμπεράσματα που θα βγουν από αυτή θεωρούμε ότι είναι καίριας σημασίας για την σχεδίαση και την εκτέλεση των συγκολλήσεων.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 1

Μεγέθη και μονάδες ραδιολογίας

1.1. Ενεργότητα πηγής ακτίνων γ

Εκφράζει τον αριθμό διασπάσεων(και άρα παραγωγής φωτονίων) στην μονάδα του χρόνου και μετράται συνήθως σε Curie($1\text{Ci}=37\cdot 10^9$ διασπάσεις/sec). Η αντίστοιχη μονάδα στο σύστημα SI είναι το Becquerel($1\text{Bq}=1$ διάσπαση/sec, $1\text{Ci}=37\text{GBq}$).

1.2. Έκθεση σε ακτινοβολία

Εκφράζει την ένταση του πεδίου ακτινοβολίας και η ιστορική μονάδα είναι το Roentgen(R). Έκθεση ενός Roentgen παράγει $2,08\cdot 10^9$ ζεύγη ιόντων(μια μονάδα ηλεκτροστατικού φορτίου) ανά κυβικό εκατοστό(cm^3) ξηρού αέρα(δηλαδή ανά $1,3\cdot 10^3$ γραμμάρια). Η μονάδα έκθεσης στο διεθνές σύστημα είναι το Coulomb/Kg που ισοδυναμεί περίπου με 4.000 R.

1.3. Απορροφούμενη δόση

Εκφράζει την ενέργεια η οποία απορροφάται από την μονάδα μάζας ενός υλικού(άρα και από τους ανθρώπινους ιστούς). Η ιστορική μονάδα είναι το Rad(Radiation absorbed dose), που ισοδυναμεί με 100 erg/gr. Η αντίστοιχη μονάδα στο διεθνές σύστημα είναι το Grey(Gy), που ισοδυναμεί με 100 rad. Για ακτινοβολίες X και γ ενέργειας κάτω από 3 MeV(όπως είναι όλες σχεδόν οι βιομηχανικές), έκθεση 1 Roentgen αποδίδει στο σώμα ενέργεια σχεδόν ίση με 1 Rad και επομένως οι δύο μονάδες μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδιάκριτα.

1.4. Ρυθμός δόσης

Εκφράζει την έκθεση(ή απορροφούμενη δόση) ανά μονάδα χρόνου και πρακτικά οι μονάδες R/ώρα ή Rad/ώρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αδιάκριτα(όπως προηγουμένος εξηγήθηκε).

1.5. Ισοδύναμη δόση(άνθρωπο και θηλαστικών)

Εκφράζει το βλαπτικό αποτέλεσμα στον άνθρωπό και τα θηλαστικά από την απορρόφηση ακτινοβολίας. Η ιστορική μονάδα είναι το Rem(Roentgen/rad equivalent

man/mammal), ενώ η αντίστοιχη στο διεθνές σύστημα είναι το Sievert(1 Sv=100 Rem). Προκύπτει από την απορροφούμενη δόση πολλαπλασιαζόμενη με τον συντελεστή ποιότητας(Q, quality factor) που αντιστοιχεί στο είδος της ακτινοβολίας. Για τις ακτίνες X και γ ο συντελεστής ποιότητας είναι ίσος με 1, ενώ για κάποιες ακτινοβολίες(π.χ. νετρονίων είτε α) μπορεί να πάρει τιμές μεγαλύτερες όπως 10 ή και 20.

1.6. Ρυθμός δόσης από διάφορες πηγές

Κατωτέρω παραθέτουμε μερικούς χαρακτηριστικούς ρυθμούς δόσης στην περίπτωση χρήσης ευρείας δέσμης όταν μετρώνται σε απόσταση ενός μέτρου από την πηγή.

- Ir192 : 0,55 R/h ανά Ci
- Co60 : 1,35 R/h ανά Ci
- Ακτίνες X 100 kV, 5 mA : 60 R/h
- Ακτίνες X 250 kV, 10 mA : 1.800 R/h
- Ακτίνες X 400 kV, 10 mA : 3.000 R/h

Στην διεθνή βιβλιογραφία οι ανωτέρω τιμές είναι δυνατόν να βρεθούν ελαφρά διαφορετικές, π.χ. 0,48 R/h/Ci για το ιρίδιο 192.

1.7. Σύνοψη μεγεθών ραδιολογίας

Φυσική ποσότητα	Μονάδες SI	Παλιά μονάδα	Σχέση
Ενεργότητα πηγής γ	Becquerel (Bq)	Curie (Ci)	1 Ci = $37 \cdot 10^9$ Bq 1 Bq = 27 pCi
Έκθεση σε ακτινοβολία	Cb/kg	Roentgen (R)	1 R = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Cb/kg
Απορροφούμενη δόση	Gray (Gy)	Rad	1 Gy = 100 Rad 1 Rad = 10 mGy
Ισοδύναμη δόση	Sievert (Sv)	Rem	1 Sv = 100 Rem 1 Rem = 10 mSv

1.8. Σύνοψη χαρακτηριστικών διαφόρων πηγών ακτίνων γ και Χ

Χαρακτηριστικά πηγών ακτίνων γ			
Ισότοπο	Ρυθμός δόσης	Πάχος υποδιπλασιασμού	Χρόνος υποδιπλασιασμού
Ir192	0,55 R/h/Ci-1m	4,82 mm Μολύβδου 48,2 mm Σκυροδέματος	74 ημέρες
Co60	1,35 R/h/Ci-1m	12,45 mm Μολύβδου 66 mm Σκυροδέματος	5,3 χρόνια

Πάχη υποδιπλασιασμού ακτίνων Χ		
kV _p	Μόλυβδος (mm)	Σκυρόδεμα (mm)
50	0,05	5,1
70	0,18	12,7
100	0,24	18
125	0,27	20,3
150	0,30	22,9
200	0,50	25,4
250	0,80	28
300	1,50	30,5
400	2,20	33

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 2
Βρετανικός κανονισμός
ιονιζουσών ακτινοβολιών 1999,
N° 3232

2.1. Κανονισμός εργασίας

Ο κανονισμός αφορά τόσο εργαζόμενους όσο και εκπαιδευόμενους(άνω των 16 ετών). Αφορά επίσης τους εργοδότες αλλά και τους αυτοαπασχολούμενους. Τέθηκε σε ισχύ την 1/1/2000 εκτός από τον κανονισμό 5, που τέθηκε σε ισχύ την 13/5/2000.

Ορισμοί

- Ρυθμός δόσης (dose rate) : Ο ρυθμός δόσης που λαμβάνει ένα άτομο σε ένα μέρος από εξωτερικά αίτια σαν μέσος όρος στην διάρκεια ενός λεπτού.
- Αρμόδιος (executive) : Κρατικός αρμόδιος για τον κανονισμό υγιεινής και ασφάλειας.

Βασικές διατάξεις

- Ο εργοδότης υποχρεούται να λαμβάνει όλα τα μέτρα ώστε να περιορίζει στο ελάχιστο την έκθεση των εργαζομένων και άλλων ατόμων, ακόμη και στις ελεγχόμενες περιοχές.
- Ο εργοδότης ειδοποιεί τον Αρμόδιο τουλάχιστον 28 μέρες πριν την πρώτη έναρξη εργασίας και λαμβάνει σχετική άδεια.
- Ταξινομημένο άτομο(classified person). Ο εργοδότης ορίζει ως ταξινομημένα άτομα εργαζόμενους άνω των 18 ετών οι οποίοι ενδέχεται να δεχθούν δόση άνω των 3/10 των σχετικών ορίων δόσης.
- Τα ταξινομημένα άτομα μπορεί να είναι και «εξωτερικοί» εργαζόμενοι(outside worker), δηλαδή άτομα π[ρο]σφέρουν υπηρεσίες σε ελεγχόμενη περιοχή που δεν ανήκει στην δικαιοδοσία του δικού τους εργοδότη. Κάθε ταξινομημένο άτομο-υπάλληλος είτε εξωτερικός εργαζόμενος, θα εφοδιάζεται από τον εργοδότη του με «βιβλίο άδειας ακτινοβολίας-radiation passbook», στο οποίο θα γίνεται ενημέρωση για κάθε λαμβανόμενη δόση.
- Βιβλία άδειας ακτινοβολίας που εκδόθηκαν έως την 30/4/2000 θα παραμείνουν σε ισχύ έως ότου ο συγκεκριμένος εργαζόμενος πάψει να εργάζεται στον συγκεκριμένο εργοδότη οπότε και θα εκδίδονται νέα, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του παρόντος οργανισμού.
- Τα ταξινομημένα άτομα θα πρέπει να εξετάζονται ιατρικά και να κρίνονται ως κατάλληλα.
- Ο εργοδότης ορίζει σύμβουλο προστασίας από ακτινοβολία(radiation protection advisor), ο οποίος του παρέχει συμβουλές σε θέματα εφαρμογής του κανονισμού, βαθμονόμησης του εξοπλισμού δοσιμετρίας, συστημάτων ασφαλούς εργασίας κλπ.

- Τοπικοί κανόνες(local rule) : Ο εργοδότης εκπονεί γραπτούς τοπικούς κανόνες για συμμόρφωση με τον παρόντα κανονισμό και βεβαιώνεται για την τήρηση των κανόνων.
- Επιβλέποντες ραδιοπροστασίας(radiation protection supervisors) : Ο εργοδότης ορίζει γραπτά έναν ή περισσότερους εργαζόμενους ως επιβλέποντες ραδιοπροστασίας. Τα ονόματα τους περιλαμβάνονται στους τοπικούς κανόνες αλλά δεν ανακοινώνονται υποχρεωτικός στον Αρμόδιο.
- Ως εργαζόμενος θεωρείται επίσης ο αυτοαπασχολούμενος και ο εκπαιδευόμενος/μαθητευόμενος.

2.2. Δοσιμετρία

- Επιβάλλεται η χρήση προσωπικών δοσίμετρων από το προσωπικό. Η υπηρεσία δοσιμέτρων με την οποία συνεργάζεται ο εργοδότης τηρεί αρχεία δόσης έως ότου ο εργαζόμενος γίνει 75 ετών και πάντως για τουλάχιστον 50 χρόνια. Ο εργοδότης τηρεί αρχεία για δύο τουλάχιστον χρόνια.
- Στο τέλος κάθε έτους αποστέλλονται στον αρμόδιο πληροφορίες από τα αρχεία δόσης του έτους.
- Ο εργοδότης πληροφορεί τον εργαζόμενο(και τον νέο εργοδότη του) για τις δόσεις που έλαβε.
- Ο εργοδότης διεξάγει έρευνα, πληροφορεί τον αρμόδιο, τον εργαζόμενο και τον ειδικό ιατρό για κάθε περίπτωση που εργαζόμενος εκτέθηκε σε μη επιτρεπτή δόση.
- Σε περίπτωση ατυχήματος ή άλλου συμβάντος όπου εργαζόμενος ή άλλο άτομο ενδέχεται να έλαβε δόση μεγαλύτερη από τα 3/10 του σχετικού ορίου, ο εργοδότης λαμβάνει όλα τα μέτρα για την μέτρηση της δόσης και την πληροφόρηση των ενδιαφερομένων και κρατά σχετικό αρχείο έως ότου ο εργαζόμενος γίνει 75 ετών και πάντως τουλάχιστον για 50 χρόνια.
- Σε περίπτωση υποψίας ότι η ληφθείσα δόση υπερβαίνει την αναγραφόμενη στο αρχείο δόση, ο εργοδότης διενεργεί έρευνα και κρατά αρχείο για δύο τουλάχιστον χρόνια.

2.3. Κανονισμός Ιατρικής Επίβλεψης

- Ο κανονισμός εφαρμόζεται σε :
 - ✓ Ταξινομημένα άτομα
 - ✓ Εργαζόμενους που έλαβαν δόση πάνω από το επιτρεπτό
- Ο εργοδότης δημιουργεί αρχεία υγείας των ανωτέρω ατόμων και τα διατηρεί έως ότου ο εργαζόμενος γίνει 75 ετών και πάντως τουλάχιστον για 50 χρόνια.
- Ο εργοδότης φροντίζει για την επίβλεψη της υγείας των ανωτέρω ατόμων από γιατρό ή σύμβουλο υγείας εργαζομένων. Το άτομο αυτό έχει δικαίωμα να συστήσει την απαγόρευση εργασίας(υπό ιονίζουσες συνθήκες), ή την μετατροπή των συνθηκών εργασίας και ο εργοδότης οφείλει να συμμορφωθεί. Ο Αρμόδιος έχει επίσης το ίδιο δικαίωμα.
- Κάθε εργαζόμενος υφίσταται ιατρική εξέταση τουλάχιστον μια φορά ετησίως.
- Εξέταση αίματος διεξάγεται όταν υπάρχει υποψία υπερβολικής δόσης.

2.4. Πηγές ραδιοακτινοβολίας

- Ο εργοδότης λαμβάνει όλα τα μέτρα για να αποτραπεί η απώλεια-διαρροή ραδιενεργού υλικού από την σφραγισμένη πηγή(shield source). Τηρεί αρχείο για τις σχετικές ποσότητες και θέσεις των πηγών για τουλάχιστον δύο χρόνια από την ημερομηνία του αρχείου και τουλάχιστον δύο χρόνια αφότου πάψει να κατέχει την πηγή.
- Παρόμοια μέτρα λαμβάνει κατά την μετακίνηση/μεταφορά της πηγής.
- Τα οχήματα μεταφοράς ραδιενεργού υλικού πρέπει να φέρουν πινακίδα αντιπυρικής προστασίας σε σημείο ορατό από τον οδηγό.
- Έλεγχοι διαρροής σε σφραγισμένες πηγές διεξάγονται σε κατάλληλα χρονικά διαστήματα.
- Εάν υπάρξει διαρροή ή κλοπή ή άλλου είδους απώλεια, ειδοποιεί τον Αρμόδιο.
- Εάν υπάρξει υπόνοια απώλειας πηγής που τελικώς αποδειχθεί αβάσιμη, τηρείτε σχετική καταγραφή για δύο χρόνια.

2.5. Παρακολούθηση της ραδιοακτινοβολίας

Ο εργοδότης λαμβάνει μέτρα για την παρακολούθηση της ραδιοακτινοβολίας, στις ελεγχόμενες και επιβλεπόμενες περιοχές. Τα σχετικά όργανα μέτρησης(εκτός των προσωπικών δοσιμέτρων) θα συντηρούνται και θα ελέγχονται κατάλληλα, ανά τακτές περιόδους, επίσης πρέπει να τηρούνται σχετικά αρχεία.

2.6. Αξιολόγηση κινδύνων

Ο εργοδότης πριν την εργασία, προβαίνει σε αξιολόγηση κινδύνων από ενδεχόμενο ατύχημα ή απρόβλεπτο περιστατικό. Ανάλογα με τα αποτελέσματα της αξιολόγησης, λαμβάνει διάφορα μέτρα.

2.7. Έρευνα έκθεσης

Εάν ο εργαζόμενος λάβει δόση μεγαλύτερη των 15 mSv σε χρονικό διάστημα ενός έτους και αυτό συμβαίνει για πρώτη φορά μέσα στο έτος, τότε ο εργοδότης διενεργεί έρευνα επάρκειας των μέτρων ασφαλείας.

Εάν εργαζόμενος ή τρίτος λάβει(ή υπάρχει υποψία ότι έλαβε) δόση μεγαλύτερη του σχετικού ορίου δόσης, ο εργοδότης προβαίνει σε έρευνα και σε θετικό αποτέλεσμα ειδοποιεί τον αρμόδιο, τον εργαζόμενο ή το τρίτο άτομο και κρατά αρχεία για τουλάχιστον 50 έτη.

2.8. Όρια δόσης

- Ολόσωμη ετήσια δόση
 1. Εργαζόμενοι άνω των 18 ετών – 20 mSv (2 Rem)
 2. Εκπαιδευόμενοι κάτω των 18 ετών – 6 mSv (0,6 Rem)
 3. Κάθε άλλο άτομο – 1 mSv (0,1 Rem)
- Ετήσια δόση σε φακούς οφθαλμού
 1. Εργαζόμενοι άνω των 18 ετών – 150 mSv (15 Rem)
 2. Εκπαιδευόμενοι κάτω των 18 ετών – 50 mSv (5 Rem)
 3. Κάθε άλλο άτομο – 15 mSv (1,5 Rem)

- Ετήσια δόση σε επιδερμίδα και άκρα
 1. Εργαζόμενοι άνω των 18 ετών – 500 mSv (50 Rem)
 2. Εκπαιδευόμενοι κάτω των 18 ετών – 150 mSv (15 Rem)
 3. Κάθε άλλο άτομο – 50 mSv (5 Rem)
- Τριμηνιαία δόση εργαζόμενης γυναίκας στην κοιλιακή χώρα – 13 mSv (1,3 Rem)
- Δόση εργαζόμενης εγκύου, στην κοιλιακή χώρα για όλη την περίοδο εγκυμοσύνης – 1 mSv (0,1 Rem)

Εδώ πρέπει να επισημάνουμε ότι εάν ένας εργοδότης καταδείξει ότι ο περιορισμός της ολόσωμης δόσης σε 20 mSv/έτος δεν είναι εφικτός, λόγω της φύσεως της εργασίας, μπορεί, κατόπιν ειδοποίησης προς τους εργαζόμενους και προς τον Αρμόδιο, να εφαρμόσει τα εξής όρια : 50 mSv ανά ημερολογιακό έτος, αλλά 100 mSv συνολικά, εντός πέντε συνεχών ετών.

2.9. Ελεγχόμενη και επιβλεπόμενη περιοχή

- Ελεγχόμενη περιοχή (controlled area) : Η περιοχή που ελέγχεται από τον εργοδότη και όπου είναι πιθανό να υπάρξει έκθεση εργαζόμενου άνω των 18 ετών μεγαλύτερη από τα 3/10 του αντίστοιχου ορίου δόσης (6 mSv, για ολόσωμη ετήσια δόση).
- Επιτηρούμενη περιοχή (supervised area) : Ως ανωτέρω, για έκθεση μεγαλύτερη από 1 mSv (0,1 Rem), είτε για εργαζόμενο άνω των 18 ετών, μεγαλύτερη από το 1/10 του αντίστοιχου ορίου δόσης.
- Η ελεγχόμενη περιοχή θα είναι κατάλληλα σημασμένη στα όρια της και θα περιγράφεται στους τοπικούς κανόνες. Η πρόσβαση θα εμποδίζεται με κατάλληλα μέσα.
- Η ελεγχόμενη περιοχή οριοθετείται ώστε ο ρυθμός δόσης να μην υπερβαίνει τα 7,5 μ Sv/h, ως μέσος όρος στην διάρκεια της εργάσιμης ημέρας. Προκειμένου για ραδιογράφιση πεδίου (εργοταξιακή), των ανωτέρο όριο των 7,5 μ Sv/h ισχύει αλλά ως μέσος όρος στην διάρκεια ενός λεπτού.
- Η επιτηρούμενη περιοχή θα φέρει κατάλληλα προειδοποιητικά σήματα στα όρια της.
- Ο εργοδότης δεν επιτρέπει την είσοδο ή παραμονή εργαζομένων ή άλλου προσώπου στην ελεγχόμενη περιοχή εκτός αν :

- ✓ Είναι ταξινομημένο άτομο(classified person) είτε «εξωτερικός εργαζόμενος».
- ✓ Εισέρχεται/παραμένει κάτω από γραπτό σύστημα εργασίας και δεν θα λάβει σε κανένα ημερολογιακό έτος δόση μεγαλύτερη από τα 3/10 του σχετικού ορίου δόσης εάν είναι εργαζόμενος, είτε μεγαλύτερη από το σχετικό όριο δόσης, για μη εργαζόμενο.
- Για τα άτομα που εισέρχονται σε ελεγχόμενη περιοχή, θα λαμβάνονται μέτρα δοσιμετρίας, κυρίως με προσωπικό δοσίμετρο.
- Ο εργοδότης θέτει σε ισχύ ειδικές διαδικασίες για τον περιορισμό των δόσεων που υπερβαίνουν τα 6 mSv ετησίως, ακόμη και στις ελεγχόμενες περιοχές.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 3

Παρατήρηση και ερμηνεία του ραδιογραφήματος

Προκειμένου να εξασφαλιστεί η καλύτερη ποιότητα ανάγνωσης και αναγνώρισης(ερμηνείας) της ραδιογραφικής εικόνας συνίσταται συνήθως η ακόλουθη τεχνική.

1. Σύντομη παρατήρηση της ραδιογραφίας για να ανακάλυψη σοβαρών λαθών χειρισμού ή εμφάνισης του φιλμ(φωτίζοντας και παρατηρώντας την από το πλάι), που θα μπορούσε να εκληφθούν ως ελαττώματα του δοκιμίου.
2. Εξοικείωση με την ραδιογραφική εικόνα. Επιτυγχάνεται με προσεκτική παρατήρηση όλης της εικόνας και, ακόμη καλύτερα, με παρατήρηση και άλλων φιλμ που βγήκαν με τις ίδιες συνθήκες σε παρόμοια δοκίμια(π.χ. από την σειρά ραδιογραφιών μιας συγκόλλησης μεγάλου μήκους).
3. Παρατήρηση της εικόνας για εύρεση ελαττωμάτων του αντικειμένου στα όρια της εικόνας. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό στην περίπτωση ραδιογραφιών συγκολλήσεων όπου π.χ. μπορεί να παραβλέψουμε ρωγμές στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη(HAZ), ακριβώς επειδή δεν προσέξαμε αυτή την περιοχή.
4. Αναγνώριση των ελαττωμάτων του δοκιμίου, αρχίζοντας από τα περισσότερο αναγνωρίσιμα, τα προφανή και πηγαίνοντας στα πιο δυσκολοδιάκριτα. Είναι βασικό να θυμόμαστε ότι η αναγνώριση των μη προφανών σφαλμάτων γίνεται συγκριτικά, δηλαδή συγκρίνοντας την εικόνα τους με την εικόνα και ενίοτε την θέση εκείνων που ήδη αναγνωρίσαμε. Ενδείξεις ίδιου σχετικά σχήματος, αντίθεσης, ευκρίνειας και θέσης, αντιστοιχούν συνήθως σε ίδιες ατέλειες του υλικού. Είναι επίσης πολύ χρήσιμο να «διαβάζουμε» ομάδες ραδιογραφημάτων(από ίδια ή παρόμοια αντικείμενα και τις ίδιες συνθήκες ραδιογράφησης), προκειμένου να αποκτούμε εξοικείωση με την εικόνα που παρουσιάζουν οι διάφορες ασυνέχειες κάτω από τις ίδιες συνθήκες έκθεσης και στο ίδιο είδος υλικού. Σημειώνουμε ότι το ίδιο σφάλμα π.χ. έγκλεισμα μπορεί να παρουσιάσει διαφορετική εικόνα σε άλλο υλικό ή πάχος υλικού ή με χρήση διαφορετικής ακτινοβολίας(ακτίνες γ αντί ακτίνων X) είτε υπό άλλες συνθήκες έκθεσης. Η αργή μετακίνηση του φιλμ δεξιά-αριστερά ή εμπρός-πίσω δίνει μια καλύτερη εντύπωση της ένδειξης(σχεδόν τρισδιάστατη) και βοηθά εξαιρετικά. Επίσης είναι βασικά απρονοησία το να μην χρησιμοποιούμε μεγεθυντικό φακό(x4 ή x8) ακόμα και όταν έχουμε τέλεια όραση. Η διαφορά είναι εξαιρετικά προφανής και η χρησιμότητα του φακού πολύ μεγάλη.
5. Στην περίπτωση «παράξενων» ενδείξεων(σε λάθος θέση ή ελαφρού χρωματισμού, συνήθως καφέ-κίτρινου) παρατηρούμε προσεχτικά το ακριβές σημείο της ένδειξης φωτίζοντας το από το πλάι για την περίπτωση που

οφείλεται σε σφάλμα εμφάνισης του φιλμ(οπότε γυαλίζει ή, ακόμα πιο βασικός κανόνας, φαίνεται μόνο στην μια από τις δύο πλευρές της ραδιογραφίας). Στην περίπτωση γραμμικών ενδείξεων πράττουμε όπως προηγουμένως διότι ενδέχεται να οφείλονται σε μολυβιά και όχι σε πραγματική ασυνέχεια.

6. Η μέθοδος της εις άτοπον απαγωγής δηλαδή το να αποκλείουμε σφάλματα(λόγω θέσης ή λόγω μορφής της ένδειξης) και επομένως να εξετάζουμε τα ενδεχόμενα που απομένουν, είναι συχνά πολύ χρήσιμη.
7. Είναι προφανές ότι οι ενδείξεις στα άκρα της εικόνας πρέπει να εξετάζονται και στην ραδιογραφία που προσφέρει επικάλυψη(ιδιαίτερα μάλιστα στην περίπτωση περιφερειακών συγκολλήσεων σωλήνων).
8. Σε περίπτωση αμφιβολίας, η γνώμη ενός συναδέλφου είναι πάντα χρήσιμη. Προέχει το συμφέρον του πελάτη και όχι οι μικρο-εγωισμοί του εκάστοτε ελεγκτή συγκολλήσεων. Εξάλλου, εκείνοι που διατείνονται ότι μπορούν να ερμηνεύσουν με βεβαιότητα όλες τις ενδείξεις είτε ψεύδονται συνειδητά είτε διαπράττουν ενίοτε σοβαρά λάθη ερμηνείας χωρίς να το αντιλαμβάνονται.
9. Σε περίπτωση παντελούς αδυναμίας ερμηνείας, η ειλικρίνεια είναι προτιμότερη από κάθε τι άλλο. Π.χ. η έκθεση μας θα αναφέρει και τις δύο ή τρεις πιθανές ερμηνείες που καταλήγουμε.
10. Σημαντικότερη βοήθεια, ειδικά μάλιστα σε πολύ δύσκολες περιπτώσεις δίνει η οπτική εξέταση του αντικειμένου. Ειδικότερα στην συγκόλληση η ανομοιομορφία των εξωτερικών κορδονιών δίνει συχνά πολύ παράξενες ενδείξεις.
11. Εάν η συγκεκριμένη ραδιογραφία δεν μπορεί να δώσει απάντηση, ας θυμηθούμε ότι μπορούμε να επαναλάβουμε την ραδιογράφιση προσέχοντας περισσότερο και βελτιώνοντας την αντίθεση και ευκρίνεια, π.χ. με χρήση χαμηλότερων kV ή με καλύτερη προστασία από οπίσθια σκέδαση.
12. Ακόμη καλύτερα όταν πρόκειται για επίπεδα σφάλματα(π.χ. ατελή τήξη συγκόλλησης), μπορούμε να ραδιογραφήσουμε υπό διαφορετική γωνία.
13. Τελικά, εάν είναι αδύνατον η ραδιογραφία να δώσει απάντηση, ακόμη και αν ακολουθήσουμε τα τρία προηγούμενα βήματα, ας θυμηθούμε ότι οι μέθοδοι Μη Καταστρεπτικών Ελέγχων είναι συμπληρωματικές και ότι η χρήση για παράδειγμα Μαγνητικών Σωματιδίων μπορεί να δώσει ακόμη καλύτερα(και γρηγορότερα) αποτελέσματα σε πολλές περιπτώσεις επιφανειακών σφαλμάτων, όπως επίσης ο υπέρηχος σε περίπτωση ατελούς τήξης συγκόλλησης. Συχνά, αυτή η τακτική πρέπει να προηγείται της επανάληψης της ραδιογράφισης.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 4
Γενικά περί εκπαίδευσης στους
ΜΚΕ

Οι Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι, όπως συλλογικά αναφέρονται οι μέθοδοι

- Ραδιογραφίας
- Υπερήχων
- Διεισδυτικών Υγρών
- Μαγνητικών Σωματιδίων
- Δινορευμάτων
- Θερμογραφίας
- Ακουστικής Εκπομπής
- Δοκιμών Διαρροής

Αποτελούν για την βιομηχανία την τελευταία γραμμή άμυνας ενάντια σε κατασκευαστικά ελαττώματα εξαρτημάτων και κατασκευών, πριν το προϊόν-κατασκευή τεθεί σε λειτουργία, αλλά και για πλήθος βιομηχανιών τη μόνη άμυνα ενάντια σε ελαττώματα που αναπτύσσονται κατά την λειτουργία, σε δεξαμενές, αντιδραστήρες, σωληνώσεις, λέβητες, δοχεία πίεσεως, κλιβάνους κλπ.

Οι μέθοδοι ΜΚΕ όμως, ανάμεσα στους σύμφυτους περιορισμούς τους, περιλαμβάνουν και την ισχυρή εξάρτησή τους από την ικανότητα και την αξιοπιστία του χειριστή. Επομένως, είναι απόλυτα φυσικό και αναμενόμενο, όλες οι διεθνείς προδιαγραφές που σχετίζονται με τον ποιοτικό έλεγχο μέσω ΜΚΕ, να απαιτούν εμπειριστατωμένη εκπαίδευση του χειριστή, που βεβαίως θα ακολουθείται από κατάλληλη εξέταση και πιστοποίηση του.

Θα σταθούμε στο θέμα της επαρκούς και αποτελεσματικής εκπαίδευσης των χειριστών ΜΚΕ, αναφέροντας για το θέμα της εξέτασης-πιστοποίησης μόνον ότι παγκοσμίως κυριαρχεί η πιστοποίηση κατά SNT-1A της American Society for NDT (ASNT) ενώ, σε καθαρά ευρωπαϊκό επίπεδο, υπάρχει από το 1993 το σχετικό πρότυπο EN 473, που σταδιακά κερδίζει έδαφος, ιδιαίτερα στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η εκπαίδευση στην εφαρμογή των ΜΚΕ θα πρέπει να περιλαμβάνει τα εξής, στο βαθμό που αυτά δεν περιλαμβάνονται ήδη στο γνωστικό υπόβαθρο του εκπαιδευόμενου :

- Στοιχεία τεχνολογίας υλικών. Αφού δεν είναι δυνατόν να ελέγξει κανείς συγκολλήσεις, χυτά, σφυρήλατα, προϊόντα έλασης ή οτιδήποτε άλλο, αν δεν έχει επαρκείς γνώσεις για να κατανοήσει την φύση τους και τα ελαττώματα που ενδέχεται να προκληθούν.

- Στοιχεία τεχνολογίας των ελαττωμάτων-αστοχιών των υλικών κατασκευών. Στους ΜΚΕ ισχύει απaráβατα η εξής παραδοξολογία «ένα ελάττωμα δεν βρίσκεται εάν δεν είναι εκ των προτέρων γνωστό» και γνωστό σημαίνει σε ποιες περιοχές είναι πιθανόν να παρουσιαστεί, ποια μορφή θα έχει και τι είδους ενδείξεις θα παρουσιάσει κατά τον συγκεκριμένο έλεγχο.
- Θεωρία της συγκεκριμένης μεθόδου, ώστε να μπορεί ο χειριστής να ελέγχει την πρακτική του, προχωρώντας πάντοτε με λογικά βήματα και όχι απλά μιμούμενος τους παλαιότερους χειριστές ή εκπαιδευτές του.
- Απαραίτητη πρακτική εξάσκηση, τόσο στο εργαστήριο όσο κυρίως στο εργοστάσιο-εργοτάξιο, υπό την επιτήρηση έμπειρων συναδέλφων. Αυτός είναι και ο λόγος για τον οποίο όλες οι προδιαγραφές πιστοποίησης των χειριστών ΜΚΕ απαιτούν και συγκεκριμένη πρακτική εμπειρία. Η εργαστηριακή πρακτική εξάσκηση θα πρέπει να περιλαμβάνει την μεγαλύτερη δυνατή γκάμα κατασκευών αλλά και ελαττωμάτων, από αυτά που είναι πιθανόν να συναντήσει ο εκπαιδευόμενος κατά την άσκηση των ελέγχων, στο πραγματικό επίπεδο εργασίας του.
- Εκπαίδευση στην χρήση των προδιαγραφών-προτύπων ελέγχου, που χρησιμοποιούνται από την εταιρεία του εκπαιδευομένου.

Εφόσον όλοι οι προηγούμενοι όροι εκπαίδευσης-πρακτικής άσκησης εκπληρώνονται, μπορεί τότε να λάβει χώρα η εξέταση προς πιστοποίηση του χειριστή, είτε κατά SNT-TC-1A είτε κατά EN 473, και πάντοτε διενεργούμενη από έχοντες την σχετική επάρκεια. Πρέπει όμως να γίνει αποδεκτό ότι ακόμα και αν όλα τα προηγούμενα λάβουν χώρα με άψογο τρόπο, και πάλι ο νέο-εκπαιδευθείς τεχνικός ΜΚΕ είναι απλά ένας νέος επαγγελματίας. Πρέπει λοιπόν να μάθει όσα περισσότερο γίνεται από την ίδια την πράξη, οικοδομώντας μια διαρκώς αυξανόμενη εμπειρία, στη βάση της σωστής εκπαίδευσης που έλαβε. Εάν, μάλιστα, αφήσει για κάποιο διάστημα την «τέχνη» του, είναι πολύ πιθανόν ότι και αυτή θα τον αφήσει. Αυτός είναι και ο λόγος που όλες οι σχετικές προδιαγραφές εκπαίδευσης-πιστοποίησης χειριστών ΜΚΕ απαιτούν σαφέστατα τρία πράγματα:

1. Την επανεκπαίδευση και επανεξέταση του χειριστή, εάν αυτός εγκαταλείψει την πρακτική άσκηση των ελέγχων για κάποιο χρονικό διάστημα.
2. Την επανεξέταση της ικανότητας-επάρκειας του χειριστή κάθε τρία έως πέντε χρόνια (ανάλογα με την προδιαγραφή πιστοποίησης)
3. Την επανεξέταση της ικανότητας όρασης του χειριστή κάθε χρόνο.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 5
Αμερικάνικος κώδικας
πιστοποίησης ελεγκτών σε
μεθόδους Μ.Κ.Ε.

5.1. Σκοπός

Ο ακόλουθος προτεινόμενος κώδικας εγκαθιδρύει ένα γενικό πλαίσιο για το πρόγραμμα πιστοποίησης και βεβαίωσης που η εκάστοτε εταιρεία θέλει να ακολουθήσει. Επίσης μέσα από αυτόν τον κώδικα παρέχονται οι προτεινόμενες απαιτήσεις μόρφωσης, εμπειρίας και εκπαίδευσης για τις διάφορες μεθόδους που ο υποψήφιος ελεγκτής θα κληθεί να εξεταστεί. Ο παρών κώδικας δεν έχει ως σκοπό να προτείνει κάποιες αυστηρές προδιαγραφές που θα πρέπει υποχρεωτικά να ακολουθηθούν από τις εταιρείες. Παρόλα αυτά η εταιρείες μπορούν να απευθυνθούν στο κώδικα ώστε να σχεδιάσουν το πρόγραμμα πιστοποίησης ελεγκτού συγκολλήσεων που αρμόζει καλύτερα στις περιστάσεις που η εταιρεία καλείται να αντιμετωπίσει. Δηλαδή ο κώδικας πιστοποίησης ελεγκτών συγκολλήσεων δημιουργήθηκε με σκοπό να εγκαθιδρύσει ένα σύνολο από κατευθυντήριες γραμμές, που μια εταιρεία μπορεί να ακολουθήσει, για την πιστοποίηση και την βεβαίωση του προσωπικού που ασχολείται με τους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους, των οποίων η εργασία απαιτεί κατάλληλη γνώση των βασικών τεχνικών αρχών που διέπουν τους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους που εκτελούν, παρατηρούν, ελέγχουν ή αξιολογούν. Οι εν λόγω κατευθυντήριες γραμμές αναπτύχθηκαν και σχεδιάστηκαν από την American Society for Nondestructive Testing Inc., με σκοπό να βοηθήσουν τους εργοδότες στην αναγνώριση των βασικών παραγόντων που θα πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά την διαδικασία πιστοποίησης του προσωπικού που ασχολείται με τους Μη Καταστροφικούς Ελέγχους.

5.2 Μέθοδοι Μη Καταστροφικού Ελέγχου

Η πιστοποίηση και βεβαίωση του προσωπικού στους Μ.Κ.Ε. σύμφωνα με τον παρών Αμερικάνικο κώδικα εφαρμόζεται στις ακόλουθες μεθόδους :

1. Μέθοδος Ακουστικών Εκπομπών
2. Ηλεκτρομαγνητική Μέθοδος
3. Μέθοδος Laser
4. Μέθοδος Διαρροών
5. Μέθοδος Διεισδυτικών Υγρών
6. Μέθοδος Μαγνητικής Ροής
7. Μέθοδος Μαγνητικών Σωματιδίων
8. Μέθοδος Ραδιογραφίας Νετρονίων
9. Μέθοδος Ραδιογραφίας

10. Μέθοδος Υπερύθρων
11. Υπερηχητική Μέθοδος
12. Μέθοδος Δονήσεων
13. Οπτική Μέθοδος

5.3. Επίπεδα Πιστοποίησης

Υπάρχουν τρία βασικά επίπεδα πιστοποίησης. Οι εργοδότες ,εφόσον το κρίνουν απαραίτητο ,μπορούν να χωρίσουν αυτά τα επίπεδα σε υπό-επίπεδα. Κάποιο άτομο που βρίσκεται στην διαδικασία της αρχικής εκπαίδευσης ,πιστοποίησης και βεβαίωσης θεωρείται «εκπαιδευόμενος». Κάποιος «εκπαιδευόμενος» καλό θα ήταν να εργάζεται σε συνεργασία με κάποιο πιστοποιημένο άτομο στις Μ.Κ.Ε.. Ένας «εκπαιδευόμενος» σε καμία περίπτωση δεν πρέπει να διεξάγει ,ερμηνεύει ,αξιολογεί ή να καταρτεί έκθεση με αποτελέσματα ενός Μ.Κ.Ε. από μόνος του. Τα τρία βασικά επίπεδα πιστοποίησης είναι τα ακόλουθα :

1. ΕΠΙΠΕΔΟ ΠΡΩΤΟ : Ένα άτομο πρώτου επιπέδου θα πρέπει να είναι προετοιμασμένο κατάλληλα να διεξάγει βαθμονομήσεις ,συγκεκριμένων Μ.Κ.Ε. και να καθορίζει συγκεκριμένες αξιολογήσεις αποδοχής ή απόρριψης ,σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες και τα καταγεγραμμένα αποτελέσματα. Ο ελεγκτής Μη Καταστροφικού Ελέγχου πρώτου επιπέδου θα πρέπει να επιβλέπεται και να λαμβάνει τις απαραίτητες οδηγίες από έναν πιστοποιημένο ελεγκτή Μ.Κ.Ε. είτε πρώτου είτε τρίτου επιπέδου.
2. ΕΠΙΠΕΔΟ ΔΕΥΤΕΡΟ : Ένα άτομο δευτέρου επιπέδου θα πρέπει να είναι προετοιμασμένο να εγκαθιστά και να βαθμονομεί εξοπλισμό καθώς επίσης και να ερμηνεύει και αξιολογεί αποτελέσματα σε σύμπνοια πάντα με τους εφαρμοσμένους κώδικες ,προδιαγραφές. Ο ελεγκτής Μη Καταστροφικού Ελέγχου δευτέρου επιπέδου θα πρέπει να είναι πλήρως καταρτισμένος με το αντικείμενο και τους περιορισμούς των μεθόδων ,για τις οποίες έχει πιστοποιηθεί ,καθώς επίσης θα πρέπει να αναλαμβάνει την υπευθυνότητα για την εκπαίδευση και καθοδήγηση των «εκπαιδευόμενων» για το πρώτο επίπεδο και των ελεγκτών Μη Καταστροφικού Ελέγχου πρώτου επιπέδου. Επίσης ο ελεγκτής Μη Καταστροφικού Ελέγχου δευτέρου επιπέδου θα πρέπει να είναι ικανός οργανώνει και να παρουσιάζει εκθέσεις με τα αποτελέσματα των Μ.Κ.Ε..
3. ΕΠΙΠΕΔΟ ΤΡΙΤΟ : Ένα άτομο το οποίο είναι πιστοποιημένος ελεγκτής Μ.Κ.Ε. τρίτου επιπέδου θα πρέπει να είναι ικανός να αναπτύσει ,να προετοιμάζει και

να εγκρίνει διαδικασίες ,να εγκαθιδρύει και να εγκρίνει τεχνικές ,να ερμηνεύει κώδικες ,προδιαγραφές ,διαδικασίες καθώς και να υποδεικνύει συγκεκριμένες μεθόδους ,τεχνικές και διαδικασίες M.K.E. που πρέπει να χρησιμοποιηθούν.Ο ελεγκτής M.K.E. τρίτου επιπέδου θα πρέπει να είναι υπεύθυνος για τις εργασίες M.K.E. που του έχουν ανατεθεί και για τις οποίες έχει πιστοποιηθεί ,ενώ επίσης θα πρέπει να είναι ικανός να ερμηνεύει και αξιολογεί αποτελέσματα με τους όρους των υπάρχοντων κωδικών και προδιαγραφών. Ο ελεγκτής M.K.E. τρίτου επιπέδου θα πρέπει να διαθέτει επαρκή εμπειρία στα εφαρμοσίμα υλικά ,κατασκευές και τα τεχνολογικά προϊόντα έτσι ώστε να μπορεί εγκαθιστά τεχνικές και κριτήρια όταν αυτά δεν προϋπάρχουν. Ο ελεγκτής M.K.E. τρίτου επιπέδου θα πρέπει να είναι εξοικειωμένος και με άλλες μεθόδους M.K.E. όπως καταδεικνύεται από την βασική εξέταση ή άλλα μέσα ενός ελεγκτή M.K.E. τρίτου επιπέδου που ακολουθεί τον κώδικα ASNT. Επίσης ελεγκτής M.K.E. τρίτου επιπέδου θα πρέπει να είναι ικανός να εκπαιδεύει και να εξετάζει ,στις μεθόδους που έχει πιστοποιηθεί ,το προσωπικό που πρόκειται να λάβει πιστοποίηση και βεβαίωση πρώτου ή δευτέρου επιπέδου.

5.4. Διαμόρφωση Συστήματος Πιστοποίησης

Σύμφωνα με τον ASNT την πιστοποίηση του προσωπικού στις μεθόδους M.K.E. τις αναλαμβάνει αποκλειστικά ο εργοδότης με δική του πάντα ευθύνη ,έτσι ο εργοδότης και σύμφωνα πάντα με τις ανάγκες του διαμορφώνει τα προγράμματα εκπαίδευσης και εξέτασης σύμφωνα με τις κατευθυντήριες γραμμές του κώδικα της ASNT. Σύμφωνα με όλα αυτά ο εργοδότης :

1. είναι υποχρεωμένος να εγκαθιδρύσει ένα γραπτό «εθιμοτυπικό» για τον έλεγχο και την διαχείριση της εκπαίδευσης ,της εξέτασης και της πιστοποίησης του προσωπικού στις μεθόδους M.K.E..
2. θα πρέπει να περιγράψει σε αυτό το γραπτό «εθιμοτυπικό» την υπευθυνότητα-δικαιοδοσία του κάθε επιπέδου πιστοποίησης ,προσδιορίζοντας με αυτό τον τρόπο την δυνατότητα αποδοχής υλικών ή συστατικών σε συμφωνία με τους εφαρμόσιμους κώδικες ,διαδικασίες και προδιαγραφές.
3. είναι υποχρεωμένος να περιγράψει σε αυτό το γραπτό «εθιμοτυπικό» την εκπαίδευση ,εμπειρία και τις απαιτήσεις των εξετάσεων του κάθε επιπέδου πιστοποίησης.

4. είναι υποχρεωμένος να επανεξετάζει και να αναθεωρεί το γραπτό «εθιμοτυπικό». Την επανεξέταση και αναθεώρηση την αναλαμβάνουν το συγκεκριμένο προσωπικό που έχει πιστοποίηση επιπέδου τρία.
5. είναι υποχρεωμένος να κρατά σε αρχείο το γραπτό «εθιμοτυπικό».

5.5. Εξετάσεις

Ο τρόπος εξετάσεων χωρίζεται ανάλογα το επίπεδο πιστοποίησης που ο εξεταζόμενος θέλει να λάβει. Δηλαδή άλλος είναι ο τρόπος εξέτασης αυτών που επιθυμούν να λάβουν επίπεδο πιστοποίησης 1 ή 2 και άλλος ο τρόπος εξέτασης αυτών που θέλουν να λάβουν επίπεδο πιστοποίησης 3. Πιο συγκεκριμένα :

- Μέθοδοι Μ.Κ.Ε. επιπέδων 1 και 2 .Οι εξετάσεις αποτελούνται :
 - από ένα οπτικό κομμάτι κατά το οποίο εξετάζεται η οπτική ικανότητα του υποψηφίου με άλλα λόγια πρόκειται για οφθαλμολογικές εξετάσεις.
 - από γενικές γραπτές εξετάσεις που σκοπό έχουν να προσδιορίσουν εάν ο υποψήφιος διαθέτει επαρκείς γνώσεις γύρω από τις βασικές αρχές και μεθόδους των Μ.Κ.Ε. (πίνακας)
 - από συγκεκριμένες εξετάσεις που εξετάζουν εάν ο υποψήφιος γνωρίζει στον βαθμό που απαιτείται θέματα σχετικά με τον εξοπλισμό ,τις λειτουργικές διαδικασίες και τις τεχνικές των μεθόδων Μ.Κ.Ε που ενδεχομένως θα συναντήσει σε διάφορα έργα που θα του ανατεθούν από τον εργοδότη. (πίνακας)
 - από εξετάσεις σε πρακτικά θέματα των μεθόδων Μ.Κ.Ε. όπου ο υποψήφιος θα πρέπει να επιδείξει την εξοικείωσή του και την ικανότητά του στο να χειρίζεται τον ανάλογο εξοπλισμό των μεθόδων Μ.Κ.Ε. καθώς και στην καταγραφή και ανάλυση των αποτελεσμάτων που ο εξοπλισμός δίνει.
 - από πρόσθετες γραπτές εξετάσεις με κλειστά βιβλία παρέχοντας μόνο πίνακες ,σχεδιαγράμματα ,διαδικασίες που είναι απαραίτητα.
- Μέθοδοι Μ.Κ.Ε. επιπέδου 3. Οι εξετάσεις αποτελούνται :
 - από μια βασική εξέταση που περιλαμβάνει ερωτήσεις σχετικά με την κατανόηση του αμερικάνικου κώδικα για τις μεθόδους Μ.Κ.Ε. από τον υποψήφιο ,καθώς και ερωτήσεις σχετικά με τα εφαρμοσμένα υλικά ,τις

κατασκευές και την τεχνολογία προϊόντων αλλά και ερωτήσεις σχετικά με τις διάφορες μεθόδους M.K.E.

- από μια εξέταση που έχει να κάνει με ερωτήσεις αποκλειστικά μόνο με τις διάφορες μεθόδους που θέλει ο υποψήφιος να πιστοποιηθεί ,καθώς και τις διάφορες τεχνικές ,διαδικασίες και κώδικες που απορρέουν από τις αντίστοιχες μεθόδους.
- από συγκεκριμένες εξετάσεις ερωτήσεις που αφορούν συγκεκριμένες μεθόδους M.K.E. που ο εργοδότης θέλει να εκτελέσει.

Οι υποψήφιοι που αποτυγχάνουν στις εν λόγω εξετάσεις υποχρεούνται να περιμένουν τουλάχιστον 30 ημέρες μέχρι να τους ξαναδοθεί η δυνατότητα να επαναλάβουν τις εξετάσεις. Αντ' αυτού μπορούν εάν το θελήσουν να ζητήσουν περαιτέρω εκπαίδευση.

5.6. Αποτίμηση τεχνικής επίδοσης

Το προσωπικό που έχει πιστοποιηθεί σε μεθόδους M.K.E. μπορεί ανά πάσα στιγμή ,σύμφωνα πάντα με την επιθυμία του εργοδότη ή εφόσον αυτός το κρίνει απαραίτητο ,να επανεξεταστεί και έτσι είτε να ανανεωθεί η πιστοποίηση του ελεγκτή είτε να καταργηθεί. Επίσης επιβάλετε ανά τακτά χρονικά διαστήματα να γίνεται αποτίμηση του προσωπικού που διαθέτει πιστοποίηση επιπέδου 1 ή 2 από κάποιον εργαζόμενο επιπέδου 3. Αυτή η αποτίμηση καλό θα είναι να καταγράφεται και να τοποθετείτε σε αρχείο. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι η πιστοποίηση του προσωπικού θα πρέπει να ανανεώνεται κάθε πέντε χρόνια ,ανεξαρτήτως επιπέδου.

5.7. Απόσυρση Πιστοποίησης

Η πιστοποίηση που λαμβάνει κάποιος από τον εργοδότη του ,ανακαλείτε όταν το άτομο αυτό σταματά να δουλεύει για τον εργοδότη που τον πιστοποίησε. Η πιστοποίηση επιπέδου 1 ,2 ή 3 που έχει ανακληθεί μπορεί να επανακτηθεί στον καινούριο εργοδότη του εργαζόμενου βάση κάποιας εξέτασης ,εφόσον βέβαια ο εργοδότης διαθέτει από τον εργαζόμενο αποδείξεις της προηγούμενης πιστοποίησής του ,ενώ επίσης πρέπει να έχει μεσολαβήσει ένα διάστημα το πολύ έξι μηνών από τότε που ο υπάλληλος σταμάτησε να δουλεύει για τον προηγούμενο εργοδότη. Σε αντίθετη περίπτωση ο εργαζόμενος θα πρέπει να επαναπιστοποιηθεί.

5.8. Επαναφορά Πιστοποίησης

Ένας ελεγκτής Μ.Κ.Ε. επιπέδου 1 ,2 ή 3 ,του οποίου η πιστοποίηση τερματίστηκε ,μπορεί να την επαναφέρει στο επίπεδο που ήταν ,χωρίς κάποια εξέταση ,εάν ικανοποιούνται οι ακόλουθες προϋποθέσεις :

- ο εργοδότης να έχει κρατήσει σε αρχείο τα έγγραφα πιστοποίησης του προσωπικού
- η πιστοποίηση του εργαζόμενου να μην έχει ήδη λήξει κατά τον τερματισμό της εργασίας του εργαζόμενου με τον πρώην εργοδότη του.
- η επαναφορά της πιστοποίησης να γίνει μέσα σε έξι μήνες από κατά τον τερματισμό της εργασίας του εργαζόμενου με τον πρώην εργοδότη του.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 6
Ευρωπαϊκός κώδικας
πιστοποίησης ελεγκτών σε
μεθόδους Μ.Κ.Ε.

6.1. Σκοπός

Ο παρών ευρωπαϊκός κώδικας δημιουργήθηκε από Τεχνική Επιτροπή CEN/TC 138 «Μη Καταστροφικών ελέγχων». Τον εν λόγω κώδικα υποχρεούται να ακολουθήσουν αλλά και να εφαρμόσουν οι χώρες μέλη της ευρωπαϊκής ένωσης. Ο ευρωπαϊκός κώδικας εγκαθιδρύει ένα σύστημα για την πιστοποίηση και βεβαίωση εργαζόμενων ατόμων που εκτελούν βιομηχανικούς Μη Καταστροφικούς Ελέγχους. Κατ' επέκταση όταν πραγματοποιείται πιστοποίηση προσωπικού σε Μ.Κ.Ε. σε καθορισμένους κώδικες προϊόντων ,κανονισμού και διαδικασίες ,τότε το εν λόγω προσωπικό θα πρέπει να πιστοποιείται σύμφωνα με τις διαδικασίες που περιγράφονται στον ευρωπαϊκό κώδικα EN 473.

6.2. Μέθοδοι Μη Καταστροφικού Ελέγχου

Η πιστοποίηση και βεβαίωση του προσωπικού στους Μ.Κ.Ε. σύμφωνα με τον ευρωπαϊκό κώδικα εφαρμόζεται στις ακόλουθες μεθόδους ,παραθέτουμε επίσης και τους συμβολισμούς που τους αντιστοιχούν:

14. Μέθοδος Ακουστικών Εκπομπών (AT)
15. Μέθοδος Διαρροών (LT)
16. Μέθοδος Ρεύματος Αυτεπαγωγής (ET)
17. Μέθοδος Διεισδυτικών Υγρών (PT)
18. Μέθοδος Μαγνητικών Σωματιδίων (MT)
19. Μέθοδος Ραδιογραφίας (RT)
20. Υπερηχητική Μέθοδος (UT)
21. Οπτική Μέθοδος (VT)

6.3. Γενικές Αρχές - Απαιτήσεις Πιστοποίησης

Η εκάστοτε διορισμένη αρχή πιστοποίησης θα πρέπει :

- να δουλεύει υπό τον έλεγχο της γενικής αρχής βεβαιώσεων και πιστοποίησης
- να διαθέτει επαρκείς πόρους ώστε να διεξάγει εξετάσεις σε εξεταστικά κέντρα ,καθώς επίσης να διαθέτει και τον ανάλογο τεχνικό εξοπλισμό για τις πρακτικές εξετάσεις.
- να προετοιμάζει και να επιβλέπει τις όποιες εξετάσεις υπό την υπευθυνότητα ενός εξεταστή διορισμένο από την γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης.

- να είναι ανεξάρτητη από ιδιωτικά συμφέροντα
- να χρησιμοποιεί μια καταγεγραμμένη μορφή διοίκησης ποιότητας εγκεκριμένη από την γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης.
- να έχει τους πόρους για την ύπαρξη και διατήρηση των εξεταστικών κέντρων.
- να διασφαλίζει ότι τα δείγματα που προορίζονται για εξετάσεις δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης των υποψηφίων

Σε περίπτωση που δεν υπάρχει κάποια διορισμένη αρχή πιστοποίησης ,τότε το κενό της θα καλύπτεται από την γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης.

Το εξεταστικό κέντρο θα πρέπει :

- να βρίσκεται υπό τον έλεγχο της γενικής αρχής βεβαιώσεων και πιστοποίησης είτε υπό τον έλεγχο της εκάστοτε διορισμένης αρχής πιστοποίησης.
- να έχει την δυνατότητα να λειτουργήσει ως εξεταστικό κέντρο ακόμα και σε πρακτικές εφαρμογές.
- να λειτουργεί με συγκεκριμένες διαδικασίες που να εξασφαλίζουν την αντίστοιχη ποιότητα παροχής εξετάσεων
- να διασφαλίζει ότι τα δείγματα που προορίζονται για εξετάσεις δεν έχουν χρησιμοποιηθεί κατά την διάρκεια της εκπαίδευσης των υποψηφίων

Η γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης :

- θα πρέπει να ενάγει ,προωθεί ,διατηρεί και να διευθύνει σχέδιο πιστοποίησης σύμφωνα με τους κανόνες και διαδικασίες του Ευρωπαϊκού κώδικα πιστοποίησης.
- έχει την δυνατότητα να εκλέγει ,υπό δική της ευθύνη ,την διεύθυνση της εκάστοτε διορισμένης αρχής πιστοποίησης που βρίσκεται υπό την εξουσία της
- θα εγκρίνει τα διάφορα εξεταστικά κέντρα τα οποία και θα πρέπει να παρακολουθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα
- θα πρέπει να δημιουργήσει και να διατηρήσει ένα σύστημα αποθήκευσης αρχείων ,το οποίο θα πρέπει να διατηρηθεί για ένα διάστημα τουλάχιστον δέκα ετών.
- είναι υπεύθυνη για την έκδοση των πιστοποιητικών ,αλλά θα μπορεί να εξουσιοδοτήσει κάποια διορισμένη αρχή πιστοποίησης για την προετοιμασία πιστοποιητικών επιπέδου 1 και 2.
- είναι υπεύθυνη για την δημιουργία και τον ορισμό διαφόρων τομέων ,όπως βιομηχανικός τομέας ή τομέας προϊόντων.

- θα παρακολουθεί όλες τις διαδικασίες πιστοποίησης.

Ο εργοδότης-εταιρεία θα είναι αυτός που θα συστήσει-εισάγει τον υποψήφιο προς πιστοποίηση στην γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης ή στην διορισμένη αρχή πιστοποίησης ,καθώς επίσης και αυτός που θα συντάξει αξιόπιστα το έγγραφο με όλες τις προσωπικές πληροφορίες του εργαζόμενου προς πιστοποίηση ,καθώς και τις πληροφορίες σχετικά με την μόρφωσή του ,την εκπαίδευσή του ,την εμπειρία του αλλά και την καταλληλότητά του. Παρόλα αυτά ο εργοδότης δεν έχει καμία απευθείας ανάμιξη στην διαδικασία της πιστοποίησής αλλά και της εξέτασης. Εκτός των παραπάνω ο εργοδότης είναι υπεύθυνος για την εξουσιοδότηση και την χορήγηση άσκησης εργασιών από τον εργαζόμενο ,καθώς επίσης για την επιβεβαίωση της οφθαλμολογικής κατάστασης του εργαζομένου. Επίσης ο εργοδότης είναι υπεύθυνος για το αν ο πιστοποιημένος εργαζόμενος θα συνεχίσει να εξασκεί αδιάκοπα της μεθόδους M.K.E..

Ο υποψήφιος κατά την πιστοποίηση μπορεί είτε να είναι άνεργος ,είτε ελεύθερος επαγγελματίας ,αρκεί να έχει στην κατοχή του έγγραφες αποδείξεις ότι η όποια εμπειρία του αναπτύχθηκε υπό την επίβλεψη πιστοποιημένου ,στις μεθόδους M.K.E. ,προσωπικού.

6.4. Επίπεδα πιστοποίησης

✓ **Επίπεδο 1**

Κάποιο άτομο το οποίο έχει πιστοποιηθεί για το πρώτο επίπεδο έχει επιδείξει επάρκεια να διεξάγει Μη Καταστροφικούς Ελέγχους σύμφωνα με τις γραπτές οδηγίες και κάτω από την επίβλεψη προσωπικού με πιστοποίηση επιπέδου 2 ή επιπέδου 3. Έτσι προσωπικό που διαθέτει πιστοποίηση επιπέδου 1 είναι εξουσιοδοτημένο να:

- εγκαθιστά και να «στήνει» τον εξοπλισμό του ΜΚΕ.
- διεξάγει τους ελέγχους.
- καταγράφει και κατηγοριοποιεί τα αποτελέσματα των ελέγχων σύμφωνα με τις καθορισμένες αρμοδιότητές του.
- αναφέρει τα αποτελέσματα των ελέγχων.

Εδώ να σημειώσουμε ότι το προσωπικό επιπέδου 1 δεν είναι υπεύθυνο για την επιλογή της μεθόδου και της τεχνικής του ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί αλλά επίσης δεν είναι υπεύθυνο και για την αποτίμηση των αποτελεσμάτων.

✓ **Επίπεδο 2**

Κάποιο άτομο το οποίο έχει πιστοποιηθεί για το δεύτερο επίπεδο έχει επιδείξει επάρκεια να διεξάγει Μη Καταστροφικούς Ελέγχους σύμφωνα με τις αποδεκτές και αναγνωρισμένες διαδικασίες. Έτσι προσωπικό που διαθέτει πιστοποίηση επιπέδου 2 είναι εξουσιοδοτημένο να:

- επιλέγει την μέθοδο και την τεχνική ΜΚΕ που θα χρησιμοποιηθεί.
- καθορίζει τους περιορισμούς της εφαρμογής της εκάστοτε μεθόδου.
- «μεταφράζει» προδιαγραφές και διαδικασίες ΜΚΕ σε οδηγίες προς τους υφισταμένους του.
- εγκαθιστά και να επιβεβαιώνει τον εξοπλισμό του ΜΚΕ αλλά και τα χαρακτηριστικά που καθορίζουν την εκτέλεση της εκάστοτε εργασίας.
- διεξάγει και επιβλέπει ελέγχους.
- κατανοεί και να αξιολογεί αποτελέσματα σύμφωνα με τους εφαρμοσμένους κανονισμούς, κώδικες και προδιαγραφές.
- προετοιμάζει γραπτές οδηγίες για ελέγχους ΜΚΕ.
- διεξάγει αλλά και να επιβλέπει όλα τα καθήκοντα του προσωπικού επιπέδου 1.
- καθοδηγεί προσωπικό επιπέδου 2 και 1.
- οργανώνει και να παρουσιάζει σε έκθεση τα αποτελέσματα των ΜΚΕ.

✓ **Επίπεδο 3**

Κάποιο άτομο το οποίο έχει πιστοποιηθεί για το τρίτο επίπεδο έχει επιδείξει επάρκεια να διεξάγει αλλά και να διευθύνει εργασίες Μη Καταστροφικών Ελέγχων για τις οποίες έχει πιστοποιηθεί σύμφωνα με τις αποδεκτές και αναγνωρισμένες διαδικασίες. Έτσι προσωπικό που διαθέτει πιστοποίηση επιπέδου 3 είναι εξουσιοδοτημένο να:

- αναλαμβάνει την πλήρη υπευθυνότητα για μια εγκατάσταση ΜΚΕ, για κάποιο εξεταστικό κέντρο ΜΚΕ αλλά και για το προσωπικό που σχετίζεται με τους ΜΚΕ.
- εγκαθιδρύει και αξιολογεί οδηγίες και διαδικασίες ΜΚΕ.
- ερμηνεύει διαδικασίες, κώδικες και προδιαγραφές ΜΚΕ.
- καθορίζει τις συγκεκριμένες μεθόδους, οδηγίες και διαδικασίες ΜΚΕ που θα χρησιμοποιηθούν.

- εκτελεί και επιβλέπει-διευθύνει όλα τα καθήκοντα του προσωπικού επιπέδου 1 και 2.
- διαχειρίζεται και επιβλέπει εξετάσεις πιστοποίησης, σε περίπτωση βέβαια που η γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης έχει δώσει την άδεια της.

6.5. Εκπαίδευση

Επίπεδο 1 και 2

Μέθοδος ΜΚΕ		Επίπεδο 1 (ώρες) ^{a d e}	Επίπεδο 2 (ώρες) ^{a b d e}
ΑΤ		40 ^c	64 ^c
ΕΤ		40 ^c	40 ^c
LT	A-Βασικές γνώσεις	8	16
	B-Μέθοδος πίεσης	14	28
	Γ-Μέθοδος Αερίων	18	36
ΜΤ		16	24
ΡΤ		16	24
RΤ		40 ^c	80 ^c
UΤ		40 ^c	80 ^c
VΤ		16	24

^a οι εκπαιδευτικές ώρες περιλαμβάνουν πρακτικά και θεωρητικά μαθήματα.

^b απευθείας είσοδο στο επίπεδο 2 απαιτεί το σύνολο των ωρών των επιπέδων 1 και 2.

^c σε περίπτωση εθνικών κανονισμών σχετικά με την διάρκεια της εβδομαδιαίας δουλειάς, 40 ώρες αντιστοιχούν στην νόμιμη διάρκεια δουλειάς μιας βδομάδας.

^d η διάρκεια εκπαίδευσης μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50% όταν η πιστοποίηση είναι για περιορισμένες εφαρμογές ή τεχνικές.

^e η διάρκεια εκπαίδευσης μπορεί να μειωθεί μέχρι και 50% ,σε περίπτωση που η εκάστοτε διορισμένη αρχή πιστοποίησης δεχτεί, για υποψήφιους που έχουν αποφοιτήσει σε πολυτεχνεία ή τεχνικές σχολές πανεπιστημίων ή σε περίπτωση που οι υποψήφιοι έχουν ολοκληρώσει τουλάχιστον 2 χρόνια σπουδών σε πολυτεχνική σχολή ή σχολή θετικής επιστήμης.

Επιπέδου 3

Λαμβάνοντας υπόψη τις επιστημονικές και τις τεχνικές δυνατότητες των υποψηφίων για την πιστοποίηση του επιπέδου 3, είναι δυνατόν η προετοιμασία για την πιστοποίηση να γίνει με διαφορετικούς τρόπους όπως :

- παρακολούθηση εκπαιδευτικών μαθημάτων
- συνέδρια ή σεμινάρια
- βιβλία

Όλα αυτά βεβαίως εξαρτώνται από την γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης.

6.6. Απαραίτητη Βιομηχανική εμπειρία ΜΚΕ

Επιπέδου 1 και 2

Μέθοδος ΜΚΕ		Επίπεδο 1 (εμπειρία σε μήνες)	Επίπεδο 2 (εμπειρία σε μήνες)
ΑΤ		6	12
ΕΤ		3	9
ΛΤ	Α-Βασικές γνώσεις	3	9
	Β-Μέθοδος πίεσης	2	6
	Γ-Μέθοδος Αερίων	2	6
ΜΤ		1	3
ΡΤ		1	3
RΤ		3	9
ΥΤ		3	9
VΤ		1	3

Επιπέδου 3

Οι υπευθυνότητα που χρειάζεται για το επίπεδο 3 απαιτεί γνώσεις πέρα από την τεχνική σκοπιά οποιασδήποτε μεθόδου ΜΚΕ. Μια γνώση τέτοιου εύρους μπορεί να αποκτηθεί μέσα από μια ποικιλία συνδυασμών μόρφωσης, εκπαίδευσης και εμπειρίας.

Τρόπος εισαγωγής στο Επίπεδο 3	Μόρφωση	Εμπειρία (σε μήνες)
Εισαγωγή στο επίπεδο 3 έχοντας πιστοποίηση επιπέδου 2	Απόφοιτος ,τουλάχιστον 3ετούς φοίτησης, πολυτεχνείου ή πανεπιστημιακής σχολής	12

	Επιτυχής ολοκλήρωση τεχνικής σχολής ή διετής φοίτηση σε αναγνωρισμένη πολυτεχνειακή σχολή ή πανεπιστημιακή	24
	Άνευ διπλώματος	48
Απευθείας εισαγωγή στο επίπεδο 3 (με προϋπόθεση πως ο υποψήφιος ολοκλήρωσε με επιτυχία την πρακτική εξέταση του επιπέδου 2 στην εκάστοτε μέθοδο ΜΚΕ)	Απόφοιτος ,τουλάχιστον 3ετούς φοίτησης, πολυτεχνείου ή πανεπιστημιακής σχολής	24
	Επιτυχής ολοκλήρωση τεχνικής σχολής ή διετής φοίτηση σε αναγνωρισμένη πολυτεχνειακή σχολή ή πανεπιστημιακή	48
	Άνευ διπλώματος	72

6.7. Επανεξέταση

Σε περίπτωση που κάποιος υποψήφιος αποτύχει στις εξετάσεις ,του δίνεται η δυνατότητα να επαναλάβει οποιοδήποτε μέρος των εξετάσεων όχι νωρίτερα από ένα μήνα και όχι αργότερα από δώδεκα μήνες. Σε περίπτωση που υποψήφιος αποτύχει και στην επανεξέταση τότε θα πρέπει να εξεταστεί σαν να ήταν νέος υποψήφιος.

6.8. Εγκυρότητα πιστοποίησης

Η μέγιστη περίοδος εγκυρότητας της πιστοποίησης είναι πέντε χρόνια.

6.9. Ανανέωση πιστοποίησης

Όταν λήξει η πιστοποίηση και κάθε δέκα χρόνια από τότε ,η πιστοποίηση μπορεί να ανανεωθεί από την γενική αρχή βεβαιώσεων και πιστοποίησης για μια νέα περίοδο πέντε χρόνων. Αυτή η ανανέωση ακολουθείτε και από μια σειρά εξετάσεων για να βεβαιωθεί η ότι η ικανότητα του ατόμου δεν έχει μειωθεί.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ 7

Πρότυπα

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
HELLENIC STANDARD



Μη καταστροφικοί έλεγχοι συγκολλήσεων - Μέρος 1: Εκτίμηση συγκολλημένων συνδέσμων σε χάλυβα, νικέλιο, τιτάνιο και των κραμάτων τους με ακτινογραφικό έλεγχο - Επίπεδα αποδοχής

Non-destructive testing of welds - Part 1: Evaluation of welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys by radiography - Acceptance levels

ΕΛΟΤ EN 12517.01

Εθνικός Πρόλογος

Αυτό είναι το Φύλλο Επικύρωσης
του εγκεκριμένου Ευρωπαϊκού
Προτύπου

EN 12517-1 : 2006

ως Ελληνικού Προτύπου.
Το πρότυπο αυτό διατίθεται στην
Αγγλική, ή Γαλλική ή Γερμανική
γλώσσα από τον Ελληνικό
Οργανισμό Τυποποίησης Α.Ε. Αυτό
το Ελληνικό Πρότυπο αντικαθιστά
το ΕΛΟΤ EN 12517 : 1998

National Foreword

This Endorsement Sheet ratifies
the approval of European
Standard

EN 12517-1 : 2006

as a Hellenic Standard.
This standard is available in
English, French or German from
the Hellenic Organization for
Standardization S.A. This Hellenic
Standard replaces ELOT EN 12517
: 1998

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 12517-1

March 2006

ICS 25.160.40

Supersedes EN 12517:1998

English Version

Non-destructive testing of welds - Part 1: Evaluation of welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys by radiography - Acceptance levels

Essais non destructifs des assemblages soudés - Partie 1:
Évaluation par radiographie des assemblages soudés en
acier, nickel, titane et leurs alliages - Niveaux d'acceptation

Zerstörungsfreie Prüfung von Schweißverbindungen - Teil
1: Bewertung von Schweißverbindungen in Stahl, Nickel,
Titan und ihren Legierungen mit Durchstrahlung -
Zulässigkeitsgrenzen

This European Standard was approved by CEN on 6 February 2006.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

© 2006 CEN All rights of exploitation in any form and by any means reserved
worldwide for CEN national Members.

Ref. No. EN 12517-1:2006: E

Contents

Page

Foreword.....	3
1 Scope	4
2 Normative references	4
3 Radiographic technique.....	4
4 General.....	5
5 Acceptance levels.....	5
Annex A (informative) Guide to the limitations of radiographic testing.....	10
A.1 Volumetric imperfections in butt welds.....	10
A.2 Cracks in butt welds.....	10
A.3 Planar imperfections in butt welds	10
Annex B (informative) Examples for determination of area percentage (%) of imperfections.....	11
Annex C (normative) Sum of acceptable areas	13
Bibliography	15

Foreword

This document (EN 12517-1:2006) has been prepared by Technical Committee CEN/TC 121 "Welding", the secretariat of which is held by DIN.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by September 2006, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by September 2006.

This document supersedes EN 12517:1998.

This document has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association, and supports essential requirements of EU Directive(s).

EN 12517 comprises a series of European Standards for industrial radiographic films which is made up of the following:

EN 12517-1 Non-destructive testing of welds – Part 1: Evaluation of welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys by radiography – Acceptance levels

EN 12517-2 Non-destructive testing of welds – Part 2: Evaluation of welded joints in aluminium and its alloys by radiography – Acceptance levels

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.

1 Scope

This document specifies acceptance levels for indications from imperfections in butt welds of steel, nickel, titanium and their alloys detected by radiographic testing. If agreed, the acceptance levels may be applied to other types of welds or materials.

The acceptance levels may be related to welding standards, application standards, specifications or codes. This European Standard assumes that the radiographic testing has been carried out in accordance with EN 1435.

When assessing whether a weld meets the requirements specified for a weld quality level, the sizes of imperfections permitted by standards are compared with the dimensions of indications revealed by a radiograph made of the weld.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this European Standard. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

EN 1435, *Non-destructive examination of welds — Radiographic examination of welded joints*

EN ISO 5817, *Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections (ISO 5817:2003)*

EN ISO 6520-1, *Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding (ISO 6520-1:1998)*

3 Radiographic technique

Depending on the weld quality level, radiographic technique A or B in accordance with EN 1435 is used as shown in Table 1.

Table 1 – Radiographic testing

Quality levels in accordance with EN ISO 5817	Testing techniques and classes in accordance with EN 1435	Acceptance levels in accordance with EN 12517
B	B	1
C	B ^a	2
D	A	3

^a However, the minimum number of exposure for circumferential weld testing may correspond to the requirements of class A of EN 1435.

4 General

Welded joints should be visually tested and evaluated in accordance with EN 970 before radiographic testing.

The acceptance levels in this European Standard are basically valid for evaluation of imperfections which cannot be detected and evaluated by visual testing. Surface imperfections (such as undercut and excessive penetration, surface damage, weld spatter etc.) which, due to object geometry, cannot be evaluated, but where the interpreter suspects the EN ISO 5817 quality levels are not fulfilled, shall be subject to more specific testing.

When quantification of undercut and/or excessive penetration by radiographic testing is required, specific procedures using test exposures may be applied in order to establish a basis for approximate quantification in accordance with the requirements of EN ISO 5817. This shall be specified.

5 Acceptance levels

The acceptance levels for indications are shown in Table 2 and Table 3. The types of imperfections are selected from EN ISO 5817 and defined in EN ISO 6520-1.

The symbols used in Table 2 and Table 3 are the following:

- l* length of indication, in millimetres;
- s* nominal butt weld thickness, in millimetres;
- t* material thickness, in millimetres;
- L* any 100 mm testing length, in millimetres;
- w_p* width of the weld, or cross surface imperfection, in millimetres
- h* width of indication, the width or height of surface imperfection, in millimetres;
- d* diameter of pore; in millimetres;
- b* width of excess penetration of weld, in millimetres;
- A* sum of projected areas of indications related to $L \times w_p$, in %;
- Σl summary length of imperfections within *L*, in millimetres.

Indications shall not be divided into different ranges *L*.

Table 2 – Acceptance levels for internal indications in butt welds

No.	Type of internal imperfections in accordance with EN ISO 6520-1	Acceptance level 3 ^a	Acceptance level 2 ^a	Acceptance level 1
1	Cracks (100)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
2a	Porosity and gas pores (2012, 2011) Single layer	$A \leq 2,5 \%$ $d \leq 0,4s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1,5 \%$ $d \leq 0,3s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 1 \%$ $d \leq 0,2s$, max. 3 mm $L = 100$ mm
2b	Porosity and gas pores (2012, 2011) Multilayer	$A \leq 5 \%$ $d \leq 0,4s$, max. 5 mm $L = 100$ mm	$A \leq 3 \%$ $d \leq 0,3s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2s$, max. 3 mm $L = 100$ mm
3 ^b	Clustered (localized) porosity (2013)	$A \leq 16\%$ $d \leq 0,4s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8\%$ $d \leq 0,3s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4\%$ $d \leq 0,2s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4a ^c	Linear porosity (2014) Single layer	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,4s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,3s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 2 \%$ $d \leq 0,2s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
4b ^c	Linear porosity (2014) Multilayer	$A \leq 16 \%$ $d \leq 0,4s$, max. 4 mm $L = 100$ mm	$A \leq 8 \%$ $d \leq 0,3s$, max. 3 mm $L = 100$ mm	$A \leq 4 \%$ $d \leq 0,2s$, max. 2 mm $L = 100$ mm
5 ^d	Elongated cavities (2015) and wormholes (2016)	$h < 0,4s$, max. 4 mm $\Sigma l \leq s$, max. 75 mm, $L = 100$ mm	$h < 0,3s$, max. 3 mm $\Sigma l \leq s$, max. 50 mm, $L = 100$ mm	$h < 0,2s$, max. 2 mm $\Sigma l \leq s$, max. 25 mm, $L = 100$ mm
6 ^e	Shrinkage cavity (202) (other than crater pipes)	$h < 0,4s$, max. 4 mm $l \leq 25$ mm	Not permitted	Not permitted
7	Crater pipe (2024)	$h \leq 0,2t$, max. 2 mm $l \leq 0,2t$, max. 2 mm	Not permitted	Not permitted
8 ^d	Slag inclusions (301), flux inclusions (302) and oxide inclusions (303)	$h < 0,4s$, max. 4 mm $\Sigma l \leq s$, max. 75 mm $L = 100$ mm	$h < 0,3s$, max. 3 mm $\Sigma l \leq s$, max. 50 mm $L = 100$ mm	$h < 0,2s$, max. 2 mm $\Sigma l \leq s$, max. 25 mm $L = 100$ mm
9	Metallic inclusions (304) (other than copper)	$l \leq 0,4s$, max. 4 mm	$l \leq 0,3s$, max. 3 mm	$l \leq 0,2s$, max. 2 mm

(to be continued)

Table 2 (concluded)

No.	Type of internal imperfections in accordance with EN ISO 6520-1	Acceptance level 3 ^a	Acceptance level 2 ^a	Acceptance level 1
10	Copper inclusions (3042)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
11 ^e	Lack of fusion (401)	Permitted, but only intermittently and not breaking the surface $\Sigma l \leq 25 \text{ mm}$, $L = 100 \text{ mm}$	Not permitted	Not permitted
12 ^e	Lack of penetration (402)	$\Sigma l \leq 25 \text{ mm}$, $L = 100 \text{ mm}$	Not permitted	Not permitted
^a Acceptance levels 3 and 2 may be specified with suffix X, which denotes that all indications over 25 mm are unacceptable. ^b See Annex C, Figure C.1 and Figure C.2 (normative) ^c See Annex C, Figure C.3 and Figure C.4 (normative) ^d See Annex C, Figure C.5 and Figure C.6 (normative) ^e If the length of the weld is below 100 mm, then the maximum length of indications shall not exceed 25% of that weld.				

Table 3 – Surface imperfections: The acceptance levels are those defined for visual testing.
These defects are normally evaluated by visual testing

No.	Type of surface imperfections in accordance with EN ISO 6520-1	Acceptance level 3 ^a	Acceptance level 2 ^a	Acceptance level 1
13	Crater cracks (104)	Not permitted	Not permitted	Not permitted
14a	Undercut, continuous and intermittent (5011,5012)	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $h \leq 0,2t$, max. 1 mm For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2t$	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $h \leq 0,1t$, max. 0,5 mm For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $h \leq 0,05t$, max. 0,5 mm For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm not permitted
14b	Shrinkage groove (root undercut 5013)	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2t$, max. 2 mm, For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1t$	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$, max. 1 mm For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1t$	Smooth transition is required For $t > 3$ mm $l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05t$, max. 0,5 mm For $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm Not permitted
15a	Excess penetration (504) $0,5 \text{ mm} \leq t \leq 3$ mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$
15b	Excess penetration (504) $t > 3$ mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 1,0 b$, max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 b$, max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 b$, max. 3 mm
16	Stray arc (601)	Permitted, if the properties of the parent metal are not affected	Not permitted	Not permitted
17	Spatter (602)	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection		
18a	Root concavity (515) $0,5 \text{ mm} \leq s \leq 3$ mm	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	$l \leq 25$ mm: $h \leq 0,1 t$	Not permitted

(to be continued)

Table 3 (concluded)

No.	Type of surface imperfections in accordance with EN ISO 6520-1	Acceptance level 3 ^a	Acceptance level 2 ^a	Acceptance level 1
18b	Root concavity (515) $s > 3$ mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,2 t$, max. 2 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1 t$, max. 1 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05 t$, max. 0,5 mm
19	Poor restart (517) $s \geq 0,5$ mm	Permitted, The limit depends on the type of imperfection (see EN ISO 5817)	Not permitted	Not permitted
20a	Sagging (509) Incompletely filled groove (511) $0,5$ mm $\leq s \leq 3$ mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,25 t$	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1 t$	Not permitted
20b	Sagging (509) Incompletely filled groove (511) $s > 3$ mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,25 t$, max. 2 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,1 t$, max. 1 mm	$l \leq 25$ mm, $h \leq 0,05 t$, max. 0,5 mm
21a	Linear misalignment (507) $0,5$ mm $\leq s \leq 3$ mm	$h \leq 0,2$ mm + $0,25 t$	$h \leq 0,2$ mm + $0,15 t$	$h \leq 0,2$ mm + $0,1 t$
21b	Linear misalignment, longitudinal welds (507) $s > 3$ mm	$h \leq 0,25 t$, max. 5 mm	$h \leq 0,15 t$, max. 4 mm	$h \leq 0,1 t$, max. 3 mm
21c	Linear misalignment, circumferential welds (507) $s \geq 0,5$ mm	$h \leq 0,5 t$, max. 4 mm	$h \leq 0,5 t$, max. 3 mm	$h \leq 0,5 t$, max. 2 mm

^a Acceptance levels 3 and 2 may be specified with suffix X, which denotes that all indications over 25 mm are unacceptable.

Annex A (informative)

Guide to the limitations of radiographic testing

NOTE The numbers between brackets conform to those used in EN ISO 6520-1.

A.1 Volumetric imperfections in butt welds

Porosities and gas pores (2011, 2013, 2015 and 2017)

Wormholes and elongated cavities (2016 and 2015)

Solid inclusions (300)

Copper inclusions (3042)

The above imperfections listed in Table 2 will be readily detected using radiographic technique A or B of EN 1435 as shown in Table 1 of this European Standard.

A.2 Cracks in butt welds

Crater cracks (104)

Cracks (100)

The detectability of cracks by radiographic testing depends on the crack height, the ramification (presence of branching parts), opening width, direction of the X-ray beam to crack orientation and radiographic technique parameters.

Reliable detection of all cracks is therefore limited. The use of radiographic technique B or better, as specified in EN 1435, will provide better crack detectability than radiographic technique A.

A.3 Planar imperfections in butt welds

Lack of fusion (401)

Lack of penetration (402)

The detection of lack of fusion and lack of penetration depends on characteristics of imperfections and radiographic technique parameters.

Lack of side-wall fusion will probably not be detected (except it is associated with other imperfections such as slag inclusions) unless it is radiographed in direction of the side-wall.

Annex B (informative)

Examples for determination of area percentage (%) of imperfections

The following figures give a presentation of different area percentage (%) of imperfections. This should assist the assessment of imperfections on radiographs and fracture surfaces.

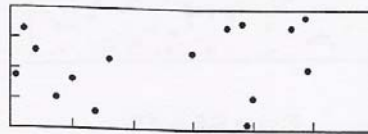


Figure B.1 — 1 %

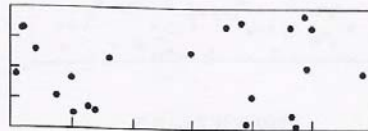


Figure B.2 — 1,5 %

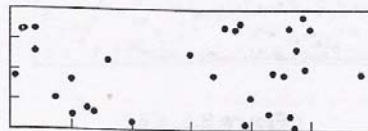


Figure B.3 — 2 %

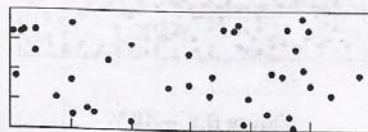


Figure B.4 — 2,5 %

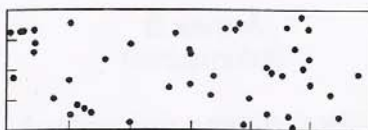


Figure B.5 — 3 %

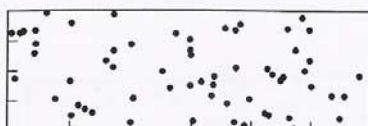


Figure B.6 — 4 %

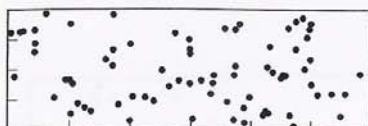


Figure B.7 — 5 %

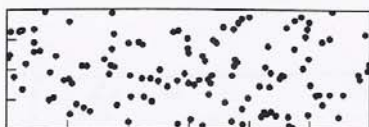


Figure B.8 — 8 %



Figure B.9 — 16 %

Annex C
(normative)

Sum of acceptable areas

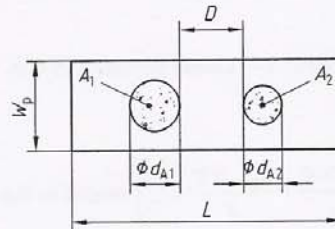


Figure C.1 — Clustered porosity, $D > d_{A2}$

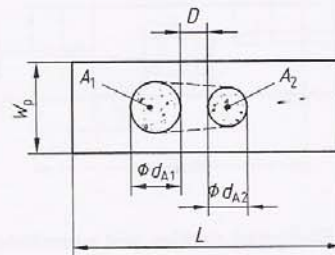


Figure C.2 — Clustered porosity, $D < d_{A2}$

The sum of the different pore areas ($A_1 + A_2, \dots$) related to the evaluation area $L \times w_p$ (Figure C.1).

If D is less than d_{A1} or d_{A2} , whatever is smaller, an envelope surrounding the porosity area $A_1 + A_2$ shall be considered as one area of imperfection (Figure C.2).

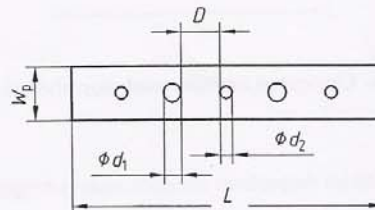


Figure C.3 — Linear porosity, $D > d_2$

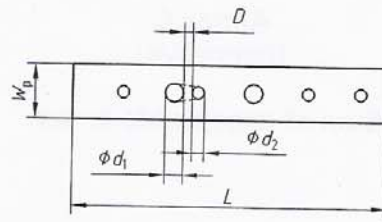


Figure C.4 — Linear porosity, $D < d_2$

The sum of the different pore areas $\left(\frac{d_1^2 \times \pi}{4} + \frac{d_2^2 \times \pi}{4} + \dots \right)$ related to the evaluation area $L \times w_p$ (Figure C.3)

If D is smaller than the smaller diameter of one of the neighbouring pores, the full connected area of the two pores is to be taken into the sum of imperfections (Figure C.4).

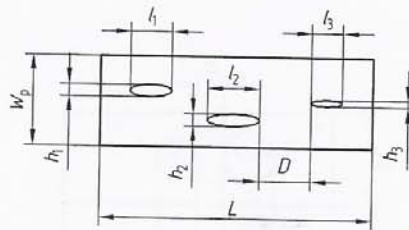


Figure C.5 — Elongated cavities and wormholes, $D > l_3$

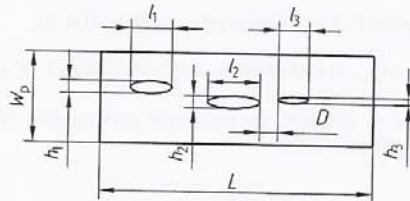


Figure C.6 — Elongated cavities and wormholes, $D < l_3$

The sum of the length of indications Σl shall be determined for each testing length L (Figure C.5).

If D is smaller than the shorter length of one of the neighbouring imperfections, the full connection of the two imperfections is to be taken into the sum of imperfections (Figure C.6).

Bibliography

- [1] EN 970, *Non-destructive examination of fusion welds — Visual examination*
- [2] EN 12062, *Non-destructive examination of welds — General rules for metallic materials*
- [3] IIW catalogue of reference radiographs for assessment of weld imperfections according to ISO 5817

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
HELLENIC STANDARD



Συγκόλληση - Ενώσεις με αυτογενή συγκόλληση σε χάλυβα, νικέλιο, τιτάνιο και τα κράματά τους (εξαιρείται συγκόλληση δέσμης) - Επίπεδα ποιότητας για ατέλειες

Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections

Κλάση Τιμολόγησης: **13**

© ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α.Ε.

Αχαρνών 313 • 11145 Αθήνα

ΕΛΟΤ EN ISO 5817

Εθνικός Πρόλογος

Αυτό είναι το Φύλλο Επικύρωσης του εγκεκριμένου Ευρωπαϊκού Προτύπου

EN ISO 5817 : 2003
(ISO 5817 : 2003)

ως Ελληνικού Προτύπου.

Το πρότυπο αυτό διατίθεται στην Αγγλική, ή Γαλλική ή Γερμανική γλώσσα από τον Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης Α.Ε. Αυτό το Ελληνικό Πρότυπο αντικαθιστά το ΕΛΟΤ EN 25817 : 1993.

National Foreword

This Endorsement Sheet ratifies the approval of European Standard

EN ISO 5817 : 2003
(ISO 5817 : 2003)

as a Hellenic Standard.

This standard is available in English, French or German from the Hellenic Organization for Standardization S.A. This Hellenic Standard replaces ELOT EN 25817 : 1993.

English version

Welding - Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) - Quality levels for imperfections (ISO 5817:2003)

Soudage - Assemblages en acier, nickel, titane et leurs alliages soudés par fusion (soudage par faisceau haute énergie exclu) - Niveaux de qualité par rapport aux défauts (ISO 5817:2003)

Schweißen - Schmelzschweißverbindungen an Stahl, Nickel, Titan und deren Legierungen (ohne Strahlschweißen) - Bewertungsgruppen von Unregelmäßigkeiten (ISO 5817:2003)

This European Standard was approved by CEN on 1 September 2003.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Management Centre or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Management Centre has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPAISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Management Centre: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

Foreword

This document (EN ISO 5817:2003) has been prepared by Technical Committee ISO/TC 44 "Welding and allied processes" in collaboration with Technical Committee CEN/TC 121 "Welding", the secretariat of which is held by DS.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 2004, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by April 2004.

This document supersedes EN 25817:1992.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Malta, Netherlands, Norway, Portugal, Slovakia, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

Endorsement notice

The text of ISO 5817:2003 has been approved by CEN as EN ISO 5817:2003 without any modifications.

NOTE Normative references to International Standards are listed in Annex ZA (normative).

INTERNATIONAL
STANDARD

ISO
5817

Second edition
2003-10-01

**Welding — Fusion-welded joints in steel,
nickel, titanium and their alloys (beam
welding excluded) — Quality levels for
imperfections**

*Soudage — Assemblages en acier, nickel, titane et leurs alliages
soudés par fusion (soudage par faisceau exclu) — Niveaux de qualité
par rapport aux défauts*



Reference number
ISO 5817:2003(E)

© ISO 2003

PDF disclaimer

This PDF file may contain embedded typefaces. In accordance with Adobe's licensing policy, this file may be printed or viewed but shall not be edited unless the typefaces which are embedded are licensed to and installed on the computer performing the editing. In downloading this file, parties accept therein the responsibility of not infringing Adobe's licensing policy. The ISO Central Secretariat accepts no liability in this area.

Adobe is a trademark of Adobe Systems Incorporated.

Details of the software products used to create this PDF file can be found in the General Info relative to the file; the PDF-creation parameters were optimized for printing. Every care has been taken to ensure that the file is suitable for use by ISO member bodies. In the unlikely event that a problem relating to it is found, please inform the Central Secretariat at the address given below.

© ISO 2003

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either ISO at the address below or ISO's member body in the country of the requester.

ISO copyright office
Case postale 56 • CH-1211 Geneva 20
Tel. + 41 22 749 01 11
Fax + 41 22 749 09 47
E-mail copyright@iso.org
Web www.iso.org

Published in Switzerland

Contents

Page

Foreword	iv
Introduction	v
1 Scope	1
2 Normative references	2
3 Terms and definitions	2
4 Symbols	3
5 Assessment of imperfections	4
Annex A (informative) Examples for determination of percentage imperfections	22
Annex B (informative) Additional information and guidelines for use of this International Standard	25
Bibliography	26

Foreword

ISO (the International Organization for Standardization) is a worldwide federation of national standards bodies (ISO member bodies). The work of preparing International Standards is normally carried out through ISO technical committees. Each member body interested in a subject for which a technical committee has been established has the right to be represented on that committee. International organizations, governmental and non-governmental, in liaison with ISO, also take part in the work. ISO collaborates closely with the International Electrotechnical Commission (IEC) on all matters of electrotechnical standardization.

International Standards are drafted in accordance with the rules given in the ISO/IEC Directives, Part 2.

The main task of technical committees is to prepare International Standards. Draft International Standards adopted by the technical committees are circulated to the member bodies for voting. Publication as an International Standard requires approval by at least 75 % of the member bodies casting a vote.

Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. ISO shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

ISO 5817 was prepared by Technical Committee ISO/TC 44, *Welding and allied processes*, Subcommittee SC 10, *Unification of requirements in the field of metal welding*.

This second edition cancels and replaces the first edition (ISO 5817:1992), which has been technically revised.

Introduction

This International Standard should be used as a reference in the drafting of application codes and/or other application standards. It contains a simplified selection of fusion weld imperfections based on the designations given in ISO 6520-1.

Some of the imperfections described in ISO 6520-1 have been used directly and some have been grouped together. The basic numerical referencing system from ISO 6520-1 has been used.

The purpose of this International Standard is to define dimensions of typical imperfections which might be expected in normal fabrication. It may be used within a quality system for the production of factory-welded joints. It provides three sets of dimensional values from which a selection can be made for a particular application. The quality level necessary in each case should be defined by the application standard or the responsible designer in conjunction with the manufacturer, user and/or other parties concerned. The level shall be prescribed before the start of production, preferably at the enquiry or order stage. For special purposes, additional details may be prescribed.

The quality levels given in this International Standard provide basic reference data and are not specifically related to any particular application. They refer to the types of welded joint in a fabricated structure and not to the complete product or component itself. It is possible, therefore, that different quality levels be applied to individual welded joints in the same product or component.

It would normally be expected that for a particular welded joint the dimensional limits for imperfections could all be covered by specifying one quality level. In some cases, it may be necessary to specify different quality levels for different imperfections in the same welded joint.

The choice of quality level for any application should take account of design considerations, subsequent processing (e.g. surfacing), mode of stressing (e.g. static, dynamic), service conditions (e.g. temperature, environment) and consequences of failure. Economic factors are also important and should include not only the cost of welding but also of inspection, test and repair.

Although this International Standard includes types of imperfection relevant to the fusion welding processes listed in Clause 1, only those which are applicable to the process and application in question need to be considered.

Imperfections are quoted in terms of their actual dimensions, and their detection and evaluation may require the use of one or more methods of non-destructive testing. The detection and sizing of imperfections is dependent on the inspection methods and the extent of testing specified in the application standard or contract.

The need for detecting imperfections is not subject of this International Standard. However, ISO 17635 contains a correlation between the quality level and acceptance level for different NDT methods.

This International Standard is directly applicable to visual testing of welds and does not include details of recommended methods of detection or sizing by non-destructive means. It should be considered that there are difficulties in using these limits to establish appropriate criteria applicable to non-destructive testing methods such as ultrasonic, radiographic, eddy current, penetrate, magnetic particle testing and may need to be supplemented by requirements for inspection, examining and testing.

The values for imperfections take into consideration normal welding practice. Higher specifications require additional manufacturing processes, e.g. grinding or welding under stringent laboratory conditions or special welding processes.

Requests for official interpretations of any aspect of this International Standard should be directed to the Secretariat of ISO/TC 44/SC 10 via your national standards body. For a complete listing consult www.iso.org.

Welding — Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) — Quality levels for imperfections

1 Scope

This International Standard provides quality levels of imperfections in fusion-welded joints (except for beam welding) in all types of steel, nickel, titanium and their alloys. It applies to material thickness above 0,5 mm.

Quality levels for beam welded joints in steel are presented in ISO 13919-1.

Three quality levels are given in order to permit application to a wide range of welded fabrication. They are designated by symbols B, C and D. Quality level B corresponds to the highest requirement on the finished weld. The quality levels refer to production quality and not to the fitness-for-purpose (see 3.2) of the product manufactured.

This International Standard applies to:

- unalloyed and alloy steels;
- nickel and nickel alloys;
- titanium and titanium alloys;
- manual, mechanized and automatic welding;
- all welding positions;
- all types of welds, e.g. butt welds, fillet welds and branch connections;
- the following welding processes and their defined sub-processes in accordance with ISO 4063:
 - 11 metal-arc welding without gas protection;
 - 12 submerged-arc welding;
 - 13 gas-shielded metal-arc welding;
 - 14 gas-shielded welding with non-consumable electrodes;
 - 15 plasma arc welding;
 - 31 oxy-fuel gas welding (for steel only).

Metallurgical aspects, e.g. grain size, hardness, are not covered by this International Standard.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 2553:1992, *Welded, brazed and soldered joints — Symbolic representation on drawings*

ISO 4063:1998, *Welding and allied processes — Nomenclature of processes and reference numbers*

ISO 6520-1:1998, *Welding and allied processes — Classification of geometric imperfections in metallic materials — Part 1: Fusion welding*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

3.1

quality level

description of the quality of a weld on the basis of type and size of selected imperfections

3.2

fitness-for-purpose

ability of a product, process or service to serve a defined purpose under specific conditions

3.3

short imperfections

one or more imperfections of total length not greater than 25 mm in any 100 mm length of the weld or a maximum of 25 % of the weld length for a weld shorter than 100 mm, the range with most imperfections being applicable

3.4

systematic imperfection

imperfections that are distributed at regular distances in the weld over the weld lengths to be examined, the sizes of the single imperfections being within the limits of the imperfections given in Table 1

3.5

projected area

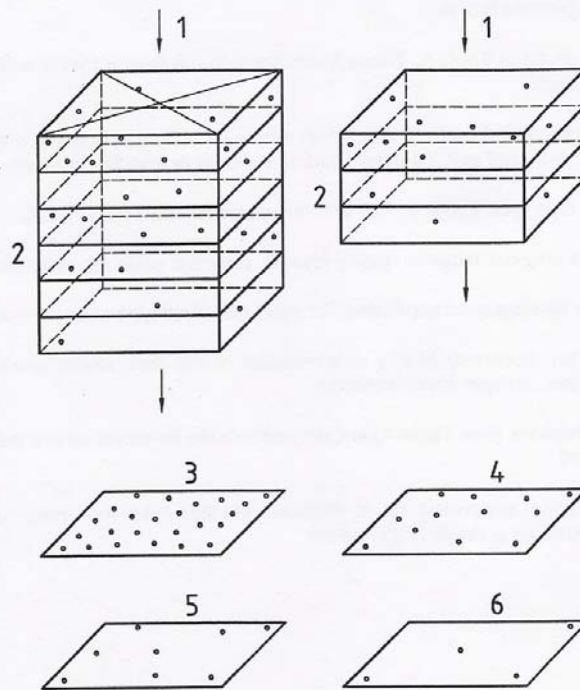
area where imperfections distributed along the volume of the weld under consideration are imaged two-dimensionally

In contrast to the surface crack area the occurrence of imperfections is dependent on the weld thickness when exposed radiographically (see Figure 1).

3.6

cross-section area

area to be considered after fracture or sectioning

**Key**

1	X-ray	3	6-fold thickness	5	2-fold thickness
2	4 pores per volume unit	4	3-fold thickness	6	1-fold thickness

Figure 1 — Radiographic films of specimens with identical occurrence of pores per volume unit

4 Symbols

The following symbols are used in Table 1.

a	nominal throat thickness of the fillet weld (see also ISO 2553)
b	width of weld reinforcement
d	diameter of pore
h	height or width of imperfection
l	length of imperfection in longitudinal direction of the weld
l_p	length of projected or cross-section area
s	nominal butt weld thickness (see also ISO 2553)
t	wall or plate thickness (nominal size)
w_p	width of the weld or width or height in case of fracture area
z	leg length of a fillet weld (see also ISO 2553)
α	angle of weld toe
β	angle of angular misalignment

5 Assessment of imperfections

Limits for imperfections are given in Table 1. These limits apply to the finished weld and may also be applied to an intermediate stage of fabrication.

If, for the detection of imperfections, a method other than macro examination is used, only those imperfections shall be considered which can be detected using a magnification equal to or less than tenfold.

Excluded herefrom are cold laps (see Table 1, 1.5) and microcracks (see Table 1, 2.2).

Systematic imperfections are only permitted in quality level D, provided other requirements of Table 1 are fulfilled.

A welded joint shall normally be assessed separately for each individual type of imperfection.

Different types of imperfection, occurring at any cross-section of the joint, which weaken the cross section may need special consideration (see multiple imperfections).

The limits for multiple imperfections (see Table 1) are only applicable for cases where the requirements for a single imperfection are not exceeded.

Any two adjacent imperfections separated by a distance smaller than the major dimension of the smaller imperfection shall be considered as a single imperfection.

Table 1 — Limits for imperfections


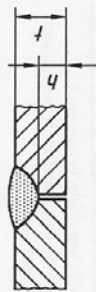
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
1 Surface imperfections							
1.1	100	Crack	—	≥ 0,5	Not permitted	Not permitted	Not permitted
1.2	104	Crater crack	—	≥ 0,5	Not permitted	Not permitted	Not permitted
1.3	2017	Surface pore	Maximum dimension of a single pore for — butt welds — fillet welds	0,5 to 3	$d \leq 0,3 s$ $d \leq 0,3 a$	Not permitted	Not permitted
			Maximum dimension of a single pore for — butt welds — fillet welds	> 3	$d \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $d \leq 0,3 a$, but max. 3 mm	$d \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $d \leq 0,2 a$, but max. 2 mm	Not permitted
1.4	2025	End crater pipe		0,5 to 3	$h \leq 0,2 t$	Not permitted	Not permitted
				> 3	$h \leq 0,2 t$, but max. 2 mm	$h \leq 0,1 t$, but max. 1 mm	Not permitted
1.5	401	Lack of fusion (incomplete fusion)	—	≥ 0,5	Not permitted	Not permitted	Not permitted
		Micro lack of fusion	Only detectable by micro examination		Permitted	Permitted	Not permitted
1.6	4021	Incomplete root penetration	Only for single side butt welds 	≥ 0,5	Short imperfections: $h \leq 0,2 t$, but max. 2 mm	Not permitted	Not permitted

Table 1 (continued)

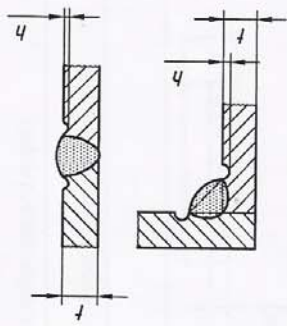
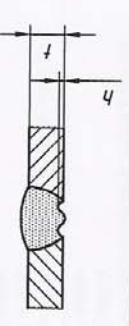
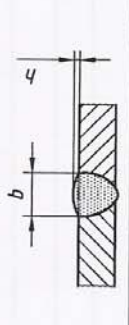
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	
1.7	5011 5012	Continuous undercut Intermittent undercut	Smooth transition is required. This is not regarded as a systematic imperfection.		Short imperfections: $h \leq 0,2 t$	Short imperfections: $h \leq 0,1 t$	Not permitted	
					$h \leq 0,2 t$, but max. 1 mm	$h \leq 0,1 t$, but max. 0,5 mm	$h \leq 0,05 t$, but max. 0,5 mm	
1.8	5013	Shrinkage groove	Smooth transition is required.		Short imperfections: $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	Short imperfections: $h \leq 0,1 t$	Not permitted	
					$h \leq 0,2 t$, but max. 2 mm	$h \leq 0,1 t$, but max. 1 mm	Short imperfections: $h \leq 0,05 t$, but max. 0,5 mm	
1.9	502	Excess weld metal (butt weld)	Smooth transition is required.	$\geq 0,5$		$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, but max. 10 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, but max. 7 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, but max. 5 mm

Table 1 (continued)

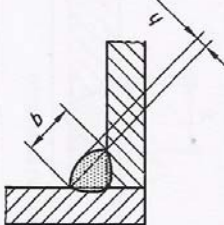
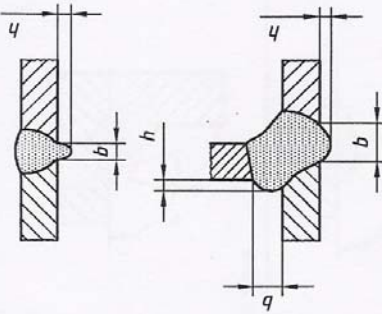
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	<i>t</i> mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	
1.10	503	Excessive convexity (fillet weld)		$\geq 0,5$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,25 b$, but max. 5 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 b$, but max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$, but max. 3 mm	
1.11	504	Excess penetration		0,5 to 3 > 3	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,6 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,1 b$	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 b$, but max. 3 mm

Table 1 (continued)

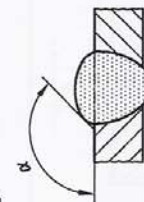
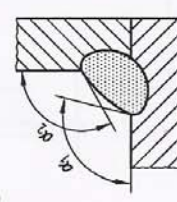
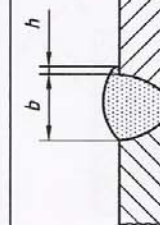
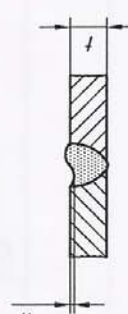
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t / mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	A
1.12	505	Incorrect weld toe	<p>— butt welds</p>  <p>— fillet welds</p>  <p>$\alpha_1 \geq \alpha$ $\alpha_2 \geq \alpha$</p>	$\geq 0,5$	$\alpha \geq 90^\circ$	$\alpha \geq 110^\circ$	$\alpha \geq 150^\circ$	
1.13	506	Overlap		$\geq 0,5$	$h \leq 0,2 b$	Not permitted	Not permitted	
1.14	509 511	Sagging Incompletely filled groove	<p>Smooth transition is required</p> 	0,5 to 3 > 3	Short imperfections: $h \leq 0,25 t$	Short imperfections: $h \leq 0,1 t$	Not permitted Short imperfections: $h \leq 0,05 t$ but max. 0,5 mm	
1.15	510	Burn through	—	$\geq 0,5$	Not permitted	Not permitted	Not permitted	

Table 1 (continued)

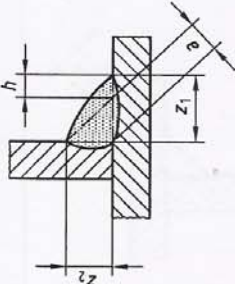
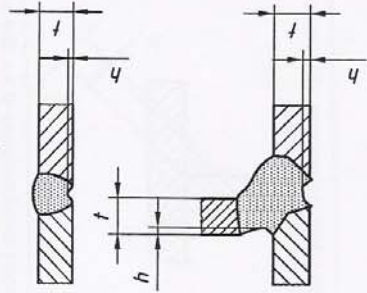
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	
1.16	512	Excessive asymmetry of fillet weld (excessive unequal leg length)	<p>In cases where a symmetric fillet weld has not been prescribed.</p> 	$\geq 0,5$	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,2 a$	$h \leq 2 \text{ mm} + 0,15 a$	$h \leq 1,5 \text{ mm} + 0,15 a$	
1.17	515	Root concavity	<p>Smooth transition is required.</p> 	0,5 to 3 > 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$	Short imperfections: $h \leq 0,1 t$	Not permitted Short imperfections: $h \leq 0,05 t$, but max. 0,5 mm	
1.18	516	Root porosity	<p>Spongy formation at the root of a weld due to bubbling of the weld metal at the moment of solidification (e. g. lack of gas backing)</p>	$\geq 0,5$	Locally permitted	Not permitted	Not permitted	

Table 1 (continued)

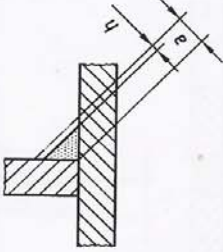
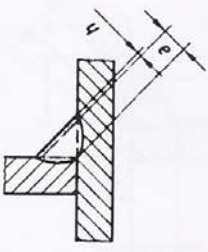
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	<i>t</i> mm	D	C	B
1.19	517	Poor restart	—	≥ 0,5	Permitted. The limit depends on the type of imperfection occurred due to restart	Not permitted	Not permitted
1.20	5213	Insufficient throat thickness	Not applicable to processes with proof of greater depth of penetration 	0,5 to 3 > 3	Short imperfections: $h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$ Short imperfections: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, but max. 2 mm	Short imperfections: $h \leq 0,2 \text{ mm}$ Short imperfections: $h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$, but max. 1 mm	Not permitted Not permitted
1.21	5214	Excessive throat thickness	The actual throat thickness of the fillet weld is too large. 	≥ 0,5	Unlimited.	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,2 a$, but max. 4 mm	$h \leq 1 \text{ mm} + 0,15 a$, but max. 3 mm
1.22	601	Stray arc	—	≥ 0,5	Permitted, if the properties of the parent metal are not affected.	Not permitted	Not permitted
1.23	602	Spatter	—	≥ 0,5	Acceptance depends on application, e.g. material, corrosion protection		

Table 1 (continued)

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	r mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
2 Internal imperfections							
2.1	100	Cracks	All types of crack except microcracks and crater cracks	≥ 0,5	Not permitted	Not permitted	Not permitted
2.2	1001	Microcracks	A crack usually only visible under the microscope (50 ×)	≥ 0,5	Permitted	Acceptance depends on type of parent metal with particular reference to crack sensitivity	
2.3	2011 2012	Gas pore Uniformly distributed porosity	The following conditions and limits for imperfections shall be fulfilled. See also Annex A for information. a1) Maximum dimension of the area of the imperfections (inclusive of systematic imperfection) related to the projected area NOTE The porosity in the project area depends on the numbers of layers (volume of the weld). a2) Maximum dimension of the cross section area of the imperfections (inclusive of systematic imperfection) related to the fracture area (only applicable to production, welder or procedure tests) b) Maximum dimension for a single pore for — butt welds — fillet welds	≥ 0,5	for single layer: ≤ 2,5 % for multi-layer: ≤ 5 %	for single layer: ≤ 1,5 % for multi-layer: ≤ 3 %	for single layer: ≤ 1 % for multi-layer: ≤ 2 %
				≥ 0,5	≤ 2,5 %	≤ 1,5 %	≤ 1 %
				≥ 0,5	d ≤ 0,4 s, but max. 5 mm d ≤ 0,4 a, but max. 5 mm	d ≤ 0,3 s, but max. 4 mm d ≤ 0,3 a, but max. 4 mm	d ≤ 0,2 s, but max. 3 mm d ≤ 0,2 a, but max. 3 mm

Table 1 (continued)

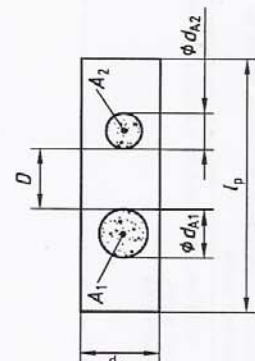
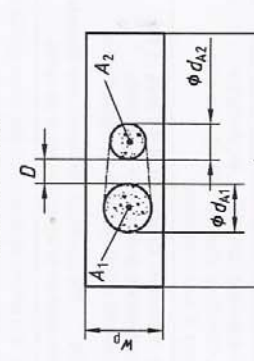
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	l mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
2.4	2013	Clustered (localized) porosity	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>case 1 ($D > d_{A2}$)</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>case 2 ($D < d_{A2}$)</p>  </div> </div> <p>The sum of the different pore areas ($A_1 + A_2 + \dots$) related to the evaluation area $l_p \times 100$ (case 1). Reference length for l_p is 100 mm.</p> <p>If D is less than d_{A1} or d_{A2}, whichever is smaller, an envelope surrounding the porosity areas $A_1 + A_2$ shall be considered as one area of imperfection (case 2).</p>				

Table 1 (continued)

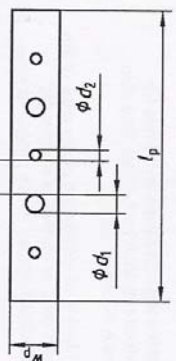

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	r mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
2.4	2013	Clustered (localized) porosity	<p>The following dimension conditions and limits for imperfections shall be fulfilled. See also Annex A for information.</p> <p>a) Maximum dimension of the summation of the projected area of the imperfection (inclusive of systematic imperfection)</p> <p>b) Maximum dimension for a single pore for — butt welds — fillet welds</p>	<p>≥ 0,5</p> <p>≤ 16 %</p> <p>≥ 0,5</p> <p>$d \leq 0,4 s$, but max. 4 mm $d \leq 0,4 a$, but max. 4 mm</p>	<p>≤ 8 %</p> <p>$d \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $d \leq 0,3 a$, but max. 3 mm</p>	<p>≤ 4 %</p> <p>$d \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $d \leq 0,2 a$, but max. 2 mm</p>	
2.5	2014	Linear porosity	<p>case 1 ($D > d_2$)</p>  <p>case 2 ($D < d_2$)</p> 				

Table 1 (continued)

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	
2.5	2014	Linear porosity	<p>The sum of the different pore areas $\left(\frac{d_1^2 \times \pi}{4} + \frac{d_2^2 \times \pi}{4} + \dots \right)$ related to the evaluation area $l_p \times w_p$ (case 1). If D is smaller than the smaller diameter of one of the neighbouring pores, the full connected area of the two pores shall be applied to the sum of imperfections (case 2). The following conditions and limits for imperfections shall be fulfilled. See also Annex A for information.</p> <p>a1) Maximum dimension of the area of the imperfections (inclusive of systematic imperfection) related to the projected area NOTE The porosity in the project area depends on the numbers of layers (volume of the weld).</p> <p>a2) Maximum dimension of the cross section area of the imperfections (inclusive of systematic imperfection) related to the fracture area (only applicable to production, welder or procedure tests)</p> <p>b) Maximum dimension for a single pore for — butt welds — fillet welds</p>	<p>$\geq 0,5$</p>	<p>for single layer: $\leq 8\%$ for multi-layer: $\leq 16\%$</p>	<p>for single layer: $\leq 4\%$ for multi-layer: $\leq 8\%$</p>	<p>for single layer: $\leq 2\%$ for multi-layer: $\leq 4\%$</p>	
				<p>$\geq 0,5$</p>	<p>$\leq 8\%$</p>	<p>$\leq 4\%$</p>	<p>$\leq 2\%$</p>	
				<p>$\geq 0,5$</p>	<p>$d \leq 0,4 s$, but max. 4 mm $d \leq 0,4 a$, but max. 4 mm</p>	<p>$d \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $d \leq 0,3 a$, but max. 3 mm</p>	<p>$d \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $d \leq 0,2 a$, but max. 2 mm</p>	

Table 1 (continued)

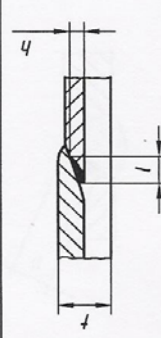
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
2.6	2015 2016	Elongated cavity Wormholes	— butt welds	≥ 0,5	$h \leq 0,4 s$, but max. 4 mm $l \leq s$, but max. 75 mm	$h \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $l \leq s$, but max. 50 mm	$h \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $l \leq s$, but max. 25 mm
			— fillet welds	≥ 0,5	$h \leq 0,4 a$, but max. 4 mm $l \leq a$, but max. 75 mm	$h \leq 0,3 a$, but max. 3 mm $l \leq a$, but max. 50 mm	$h \leq 0,2 a$, but max. 2 mm $l \leq a$, but max. 25 mm
2.7	202	Shrinkage cavity	—	≥ 0,5	Short imperfections permitted, but not breaking of the surfaces — butt welds: $h \leq 0,4 s$, but max. 4 mm — fillet welds: $h \leq 0,4 a$, but max. 4 mm	Not permitted	Not permitted
2.8	2024	Crater pipe		0,5 to 3 ≥ 3	$h/l \leq 0,2$ $h/l \leq 0,2 l$, but max. 2 mm	Not permitted	Not permitted
2.9	300 301 302 303	Solid inclusions Slag inclusions Flux inclusions Oxide inclusions	The larger value of h or l will be measured	≥ 0,5	$h \leq 0,4 s$, but max. 4 mm $l \leq s$, but max. 75 mm	$h \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $l \leq s$, but max. 50 mm	$h \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $l \leq s$, but max. 25 mm
			— fillet welds	≥ 0,5	$h \leq 0,4 a$, but max. 4 mm $l \leq a$, but max. 75 mm	$h \leq 0,3 a$, but max. 3 mm $l \leq a$, but max. 50 mm	$h \leq 0,2 a$, but max. 2 mm $l \leq a$, but max. 25 mm

Table 1 (continued)

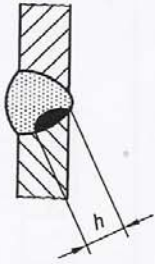
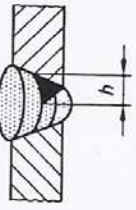

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	l mm	Limits for imperfections for quality levels			
					D	C	B	B
2.10	304	Metallic inclusions other than copper	— butt welds — fillet welds	$\geq 0,5$ $\geq 0,5$	$h \leq 0,4 s$, but max. 4 mm $h \leq 0,4 a$, but max. 4 mm	$h \leq 0,3 s$, but max. 3 mm $h \leq 0,3 a$, but max. 3 mm	$h \leq 0,2 s$, but max. 2 mm $h \leq 0,2 a$, but max. 2 mm	
2.11	3042	Copper inclusions	—	$\geq 0,5$	Not permitted	Not permitted	Not permitted	
2.12	401	Lack of fusion (incomplete fusion)		$\geq 0,5$	Short imperfections permitted, but not breaking of the surfaces	Not permitted	Not permitted	
4011		Lack of side wall fusion			— butt welds: $h \leq 0,4 s$, but max. 4 mm			
4012		Lack of inter-run fusion			— fillet welds: $h \leq 0,4 a$, but max. 4 mm			
4013		Lack of root fusion						

Table 1 (continued)

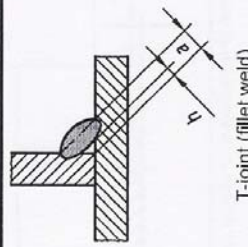
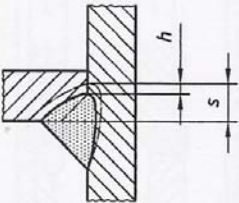
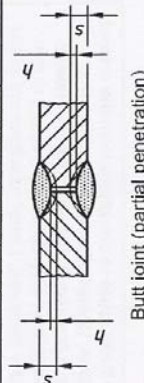
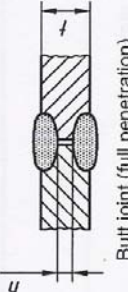
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	D	C	B
2.13	402	Lack of penetration	 <p>T-joint (fillet weld)</p>  <p>T-joint (partial penetration)</p>  <p>Butt joint (partial penetration)</p>  <p>Butt joint (full penetration)</p>	$\geq 0,5$	<p>Short imperfection: $h \leq 0,2 a$, but max. 2 mm</p>	Not permitted	Not permitted
				$\geq 0,5$	<p>Short imperfections: — butt joint: $h \leq 0,2 s$, but max. 2 mm — T-joint: $h \leq 0,2 a$, but max. 2 mm</p>	<p>Short imperfections: — butt joint: $h \leq 0,1 s$, but max. 1,5 mm — fillet joint: $h \leq 0,1 a$, but max. 1,5 mm</p>	Not permitted
				$\geq 0,5$	<p>Short imperfection: $h \leq 0,2 t$, but max. 2 mm</p>	Not permitted	Not permitted

Table 1 (continued)

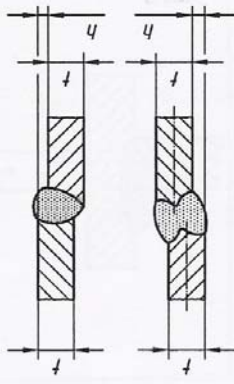
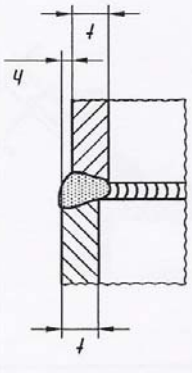
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels				
					D	C	B	B	
3 Imperfections in joint geometry									
3.1	507	Linear misalignment	<p>The limits relate to deviations from the correct position. Unless otherwise specified, the correct position is that when the centrelines coincide (see also Clause 1). t refers to the smaller thickness. Linear misalignment within the given limits are not regarded as systematic imperfection (applicable to Figures A and B).</p>  <p>Figure A: Plates and longitudinal welds</p>	0,5 to 3	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,25 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,15 t$	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 t$		
			 <p>Figure B: Circumferential welds</p>	> 3	$h \leq 0,25 t$ but max. 5 mm	$h \leq 0,15 t$ but max. 4 mm	$h \leq 0,1 t$ but max. 3 mm		
				$\geq 0,5$	$h \leq 0,5 t$ but max. 4 mm	$h \leq 0,5 t$ but max. 3 mm	$h \leq 0,5 t$ but max. 2 mm		

Table 1 (continued)

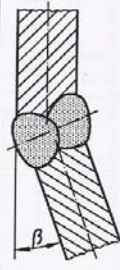
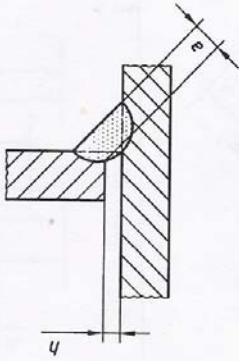
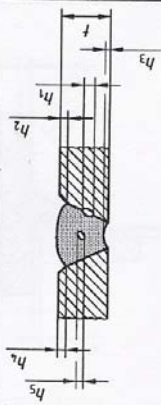
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
3.2	508	Angular misalignment		$\geq 0,5$	$\beta \leq 4^\circ$	$\beta \leq 2^\circ$	$\beta \leq 1^\circ$
3.3	617	Incorrect root gap for fillet welds	<p>The limitation of Clause 5 as regards systematic imperfection does not apply.</p> 	0,5 to 3 > 3	$h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$ $h \leq 1 \text{ mm} + 0,3 a$, but max. 4 mm	$h \leq 0,3 \text{ mm} + 0,1 a$ $h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,2 a$, but max. 3 mm	$h \leq 0,2 \text{ mm} + 0,1 a$ $h \leq 0,5 \text{ mm} + 0,1 a$, but max. 2 mm
4 Multiple imperfections							
4.1	None	Multiple imperfections in any cross section ^a Cross section (macrograph) in the most unfavourable joint range	 <p>$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = \Sigma h$</p>	0,5 to 3 > 3	Not permitted Maximum total height of imperfections $\Sigma h \leq 0,4 t$ or $\leq 0,25 a$	Not permitted Maximum total height of imperfections $\Sigma h \leq 0,3 t$ or $\leq 0,2 a$	Not permitted Maximum total height of imperfections $\Sigma h \leq 0,2 t$ or $\leq 0,15 a$

Table 1 (continued)

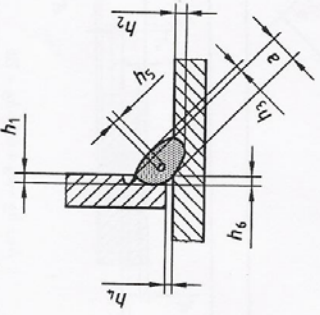
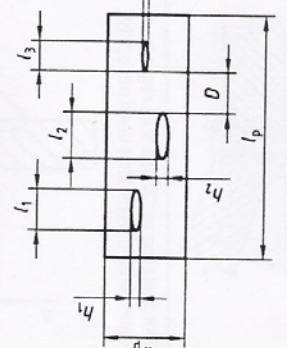
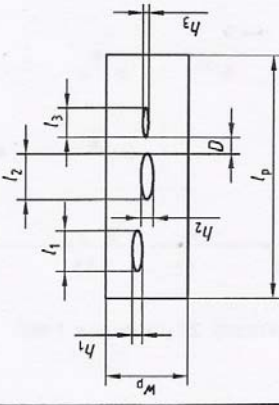
No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	t, mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
4.1			 <p style="text-align: center;">$h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 = \Sigma h$</p>				
4.2	None	Projected or cross-section area in longitudinal direction	 <p style="text-align: center;">$h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + h_3 \times l_3 = \Sigma h \times l$</p>				

Table 1 (continued)

No.	ISO 6520-1 reference	Imperfection designation	Remarks	r mm	Limits for imperfections for quality levels		
					D	C	B
4.2			<p>case 2 ($D < l_3$)</p>  <p> $h_1 \times l_1 + h_2 \times l_2 + \left(\frac{h_2 + h_3}{2} \right) \times l_3 = \Sigma h \times l$ </p> <p>The sum of the areas $\Sigma h \times l$ shall be calculated as a percentage to the evaluation area $l_p \times t$, (case 1). If D is smaller than the shorter length of one of the neighbouring imperfections, the full connection of the two imperfections shall be applied to the sum of imperfections (case 2).</p> <p>NOTE See also Annex A for information.</p>	$\geq 0,5$	$\Sigma h \times l \leq 16\%$	$\Sigma h \times l \leq 8\%$	$\Sigma h \times l \leq 4\%$
a	See Annex B.						

Annex A
(informative)

Examples for determination of percentage imperfections

The following figures give a presentation of different percentages of imperfection. This should assist the assessment of imperfections on radiographs and fracture surfaces.

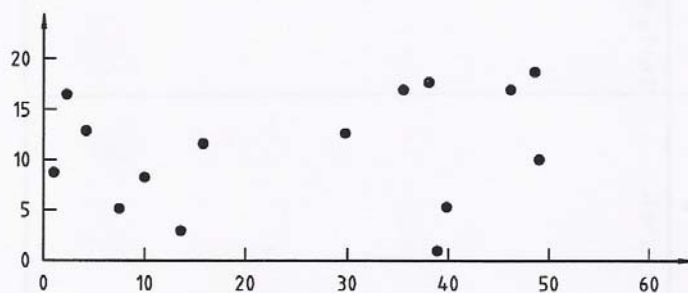


Figure A.1 — 1 surface percent, 15 pores, $d = 1$ mm

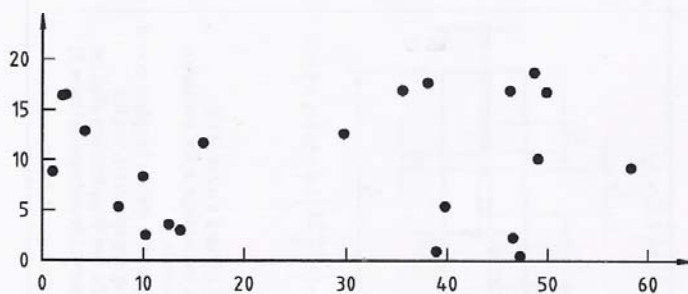


Figure A.2 — 1,5 surface percent, 23 pores, $d = 1$ mm

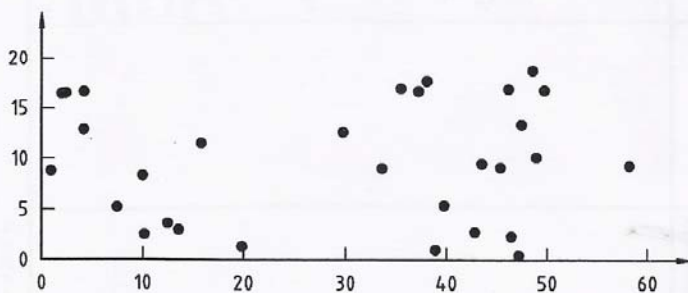


Figure A.3 — 2 surface percent, 30 pores, $d = 1$ mm

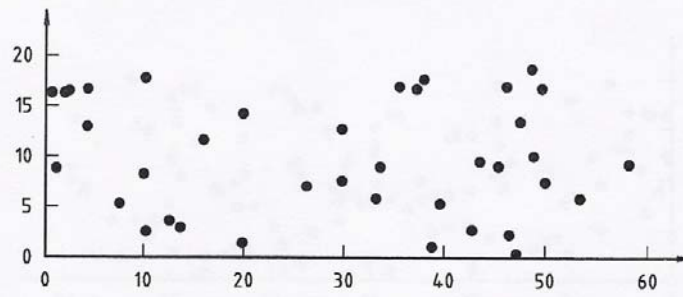


Figure A.4 — 2,5 surface percent, 38 pores, $d = 1$ mm

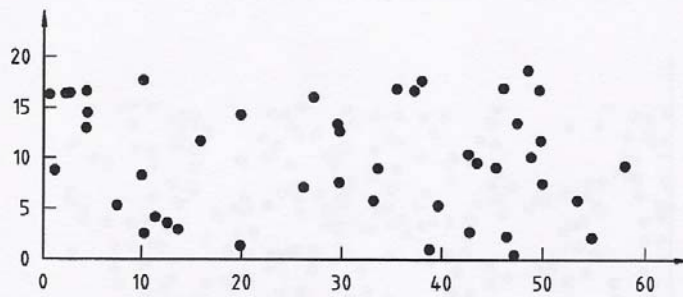


Figure A.5 — 3 surface percent, 45 pores, $d = 1$ mm

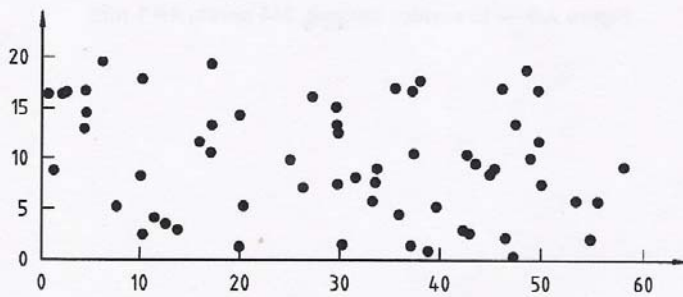


Figure A.6 — 4 surface percent, 61 pores, $d = 1$ mm

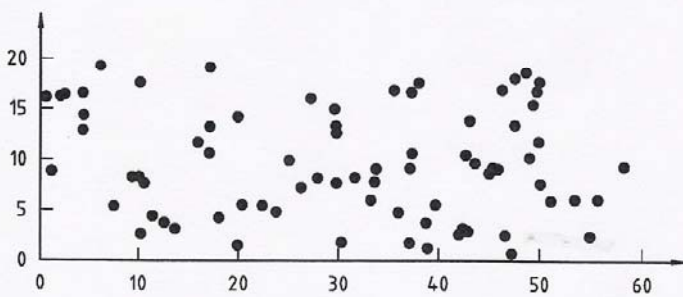


Figure A.7 — 5 surface percent, 76 pores, $d = 1$ mm

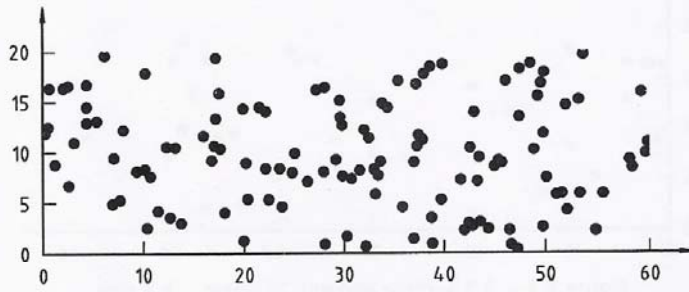


Figure A.8 — 8 surface percent, 122 pores, $d = 1$ mm

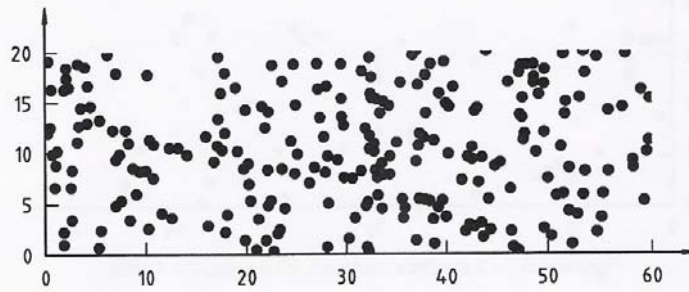


Figure A.9 — 16 surface percent, 244 pores, $d = 1$ mm

Annex B (informative)

Additional information and guidelines for use of this International Standard

This International Standard specifies requirements for three quality levels for imperfections in welded joints of steel, nickel, titanium and their alloys for fusion welding processes (beam welding excluded) for weld thickness $\geq 0,5$ mm. It may be used, where applicable, for other fusion welding processes or weld thicknesses.

Different components are very often produced for different applications, but to similar requirements. The same requirements should, however, apply to identical components produced in different workshops to ensure that work is carried out using the same criteria. The consistent application of this international Standard is one of the fundamental cornerstones of a quality management system for use in the production of welded structures.

The summary of multiple imperfections shows a theoretical possibility of superimposed individual imperfections. In such a case, the total summation of all permitted deviations shall be restricted by the stipulated values for the different imperfections, i.e., the limit value of a single imperfection $\leq h$, e.g., for a single pore, shall not be exceeded.

This International Standard may be used in conjunction with a catalogue of realistic illustrations showing the size of the permissible imperfections for the various quality levels, by means of photographs showing the face and root side and/or reproductions of radiographs and of photomicrographs showing the cross-section of the weld. An example of such a catalogue is given with "Reference radiographs for the assessment of weld imperfections in accordance with ISO 5817", published by International Institute of Welding (IIW) and Deutscher Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren, Düsseldorf. This catalogue may be used with reference cards to assess the various imperfections and may also be used when opinions differ as to the permissible size of imperfections.

Bibliography

- [1] ISO 13919-1:1996, *Welding — Electron and laser-beam welded joints — Guidance on quality levels for imperfections — Part 1: Steel*
- [2] ISO 17635, *Non-destructive examination of welds — General rules for fusion welds in metallic materials*

Annex ZA
(normative)

**Normative references to international publications
with their relevant European publications**

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies (including amendments).

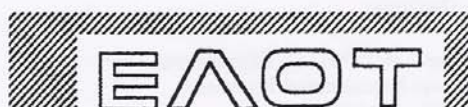
NOTE Where an International Publication has been modified by common modifications, indicated by (mod.), the relevant EN/HD applies.

<u>Publication</u>	<u>Year</u>	<u>Title</u>	<u>EN</u>	<u>Year</u>
ISO 2553	1992	Welded, brazed and soldered joints - Symbolic representation on drawings	EN 22553	1994
ISO 6520-1	1998	Welding and allied processes - Classification of geometric imperfections in metallic materials - Part 1: Fusion welding	EN ISO 6520-1	998

ΕΛΟΤ EN ISO 6520.01

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ

HELLENIC STANDARD



Συγκολλήσεις και συναφείς διεργασίες - Ταξινόμηση γεωμετρικών ατελειών σε μεταλλικά υλικά - Μέρος 1: Συγκόλληση τήξης

Welding and allied processes - Classification of geometric imperfections in metallic materials - Part 1: Fusion welding

Κλάση Τιμολόγησης: **F**

© ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α.Ε.

ΑΧΑΡΝΩΝ 313, 11145, Αθήνα

ΕΛΟΤ EN ISO 6520-1

Εθνικός Πρόλογος

Αυτό είναι το Φύλλο Επικύρωσης του
εγκεκριμένου Ευρωπαϊκού Προτύπου
EN ISO 6520-1 : 1998
(ISO 6520-1 : 1998)

ως Ελληνικού Προτύπου.

Το πρότυπο αυτό διατίθεται στην Αγγλική, ή
Γαλλική ή Γερμανική γλώσσα από τον
Ελληνικό Οργανισμό Τυποποίησης Α.Ε.

National Foreword

This Endorsement Sheet ratifies the approval
of European Standard
EN ISO 6520-1 : 1998
(ISO 6520-1 : 1998)

as a Hellenic Standard.

This standard is available in English, French
or German from the Hellenic Organization
for Standardization

English version

Welding and allied processes - Classification of geometric
imperfections in metallic materials - Part 1: Fusion welding (ISO
6520-1:1998)

Soudage et techniques connexes - Classification des
défauts géométriques dans les soudures des matières
métalliques - Partie 1: Soudage par fusion (ISO 6520-
1:1998)

Schweißen und verwandte Prozesse - Einteilung von
geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen - Teil 1:
Schmelzschweißen (ISO 6520-1:1998)

This European Standard was approved by CEN on 4 September 1998.

CEN members are bound to comply with the CEN/CENELEC Internal Regulations which stipulate the conditions for giving this European Standard the status of a national standard without any alteration. Up-to-date lists and bibliographical references concerning such national standards may be obtained on application to the Central Secretariat or to any CEN member.

This European Standard exists in three official versions (English, French, German). A version in any other language made by translation under the responsibility of a CEN member into its own language and notified to the Central Secretariat has the same status as the official versions.

CEN members are the national standards bodies of Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and United Kingdom.



EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION
EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG

Central Secretariat: rue de Stassart, 36 B-1050 Brussels

Foreword

The text of the International Standard ISO 6520-1:1998 has been prepared by Technical Committee ISO/TC 44 "Welding and allied processes" in collaboration with Technical Committee CEN/TC 121 "Welding", the secretariat of which is held by DS.

This European Standard supersedes EN ISO 26520:1991.

This European Standard shall be given the status of a national standard, either by publication of an identical text or by endorsement, at the latest by April 1999, and conflicting national standards shall be withdrawn at the latest by April 1999.

This European Standard has been prepared under a mandate given to CEN by the European Commission and the European Free Trade Association. This European Standard is considered to be a supporting standard to those application and product standards which in themselves support an essential safety requirement of a New Approach Directive and which make reference to this European Standard.

According to the CEN/CENELEC Internal Regulations, the national standards organizations of the following countries are bound to implement this European Standard: Austria, Belgium, Czech Republic, Denmark, Finland, France, Germany, Greece, Iceland, Ireland, Italy, Luxembourg, Netherlands, Norway, Portugal, Spain, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

NOTE FROM CEN/CS: The foreword is susceptible to be amended on reception of the German language version. The confirmed or amended foreword, and when appropriate, the normative annex ZA for the references to international publications with their relevant European publications will be circulated with the German version.

Contents

	Page
1 Scope	1
2 Definitions	2
3 Classification and explanation of imperfections	2
4 Types of crack	3
5 Designation	3
Table 1 — Classification of imperfections	4
Annex A (informative) Cracking phenomena	23

Sommaire

	Page
1	1
2	2
3	2
4	3
5	3
Tableau 1 — Classification des défauts	4
Annexe A (informative) Phénomènes de fissures	23

**Welding and allied processes —
Classification of geometric imperfections in metallic materials —**

**Part 1:
Fusion welding**

**Soudage et techniques connexes —
Classification des défauts géométriques dans les soudures des matériaux métalliques —**

**Partie 1:
Soudage par fusion**

**Schweißen und verwandte Prozesse —
Einteilung von geometrischen Unregelmäßigkeiten an Metallen —**

**Teil 1:
Schmelzschweißen**

1 Scope

This part of ISO 6520 will serve as the basis for a precise classification and description of weld imperfections.

In order to avoid any confusion, the types of imperfection are defined with explanations and illustrations where necessary.

Metallurgical imperfections are not included.

NOTE — In addition to terms and definitions used in two of the three official ISO languages (English and French), this part of ISO 6520 gives the equivalent terms and definitions in the German language; these are published under the responsibility of the member body for Germany (DIN). However, only the terms and definitions given in the official languages can be considered as ISO terms and definitions.

1 Domaine d'application

La présente partie de l'ISO 6520 servira de base à une classification et une description précise des défauts de soudure.

De manière à éviter des confusions, les types de défauts sont définis avec des commentaires et des illustrations au besoin.

Les défauts métallurgiques ne sont pas pris en considération.

NOTE — En complément des termes et définitions utilisés dans deux des trois langues officielles de l'ISO (anglais et français), la présente partie de l'ISO 6520 donne les termes et définitions équivalents dans la langue allemande; ces termes et définitions sont publiés sous la responsabilité du comité membre de l'Allemagne (DIN). Toutefois, seuls les termes et définitions donnés dans les langues officielles peuvent être considérés comme étant des termes et définitions de l'ISO.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der ISO 6520 soll als Basis für eine genaue Einordnung und Beschreibung von Schweißunregelmäßigkeiten dienen.

Um Unklarheiten zu vermeiden, sind die Unregelmäßigkeitsarten zusammen mit Erklärungen und, wenn notwendig, mit hinzugefügten Skizzen definiert.

Metallurgische Unregelmäßigkeiten sind nicht enthalten.

ANMERKUNG — Zusätzlich zu den Begriffen in zwei der drei offiziellen Sprachen der ISO (Englisch und Französisch) gibt dieser Teil der ISO 6520 die entsprechenden Begriffe in deutscher Sprache an; diese Begriffe werden unter der Verantwortung der deutschen Mitgliedsorganisation (DIN) veröffentlicht. Dennoch können nur die in den offiziellen Sprachen angegebenen Begriffe als ISO-Begriffe erachtet werden.

2 Definitions

For the purposes of this part of ISO 6520, the following definitions apply.

**2.1
imperfection**
any deviation from the ideal weld

**2.2
defect**
unacceptable imperfection

3 Classification and explanation of imperfections

The basis for the numbering system in table 1 is the classification of imperfections into six groups:

- 1 — Cracks
- 2 — Cavities
- 3 — Solid inclusions
- 4 — Lack of fusion and penetration
- 5 — Imperfect shape and dimension
- 6 — Miscellaneous imperfections.

As far as table 1 is concerned, it should be noted that

- a) column 1 gives a three-figure reference number for each principal imperfection and a four-figure reference number for sub-terms;
- b) column 2 gives the designation of each imperfection and the explanation in English;
- c) column 3 gives the designation of each imperfection and the explanation in French;
- d) column 4 gives the designation of each imperfection and the explanation in German;
- e) column 5 provides illustrations where necessary to supplement the explanations.

2 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de l'ISO 6520, les définitions suivantes s'appliquent.

**2.1
défaut**
tout écart par rapport à la soudure idéale

**2.2
défaut inacceptable**
tout défaut considéré comme inadmissible

3 Classification et commentaire des défauts

Le principe du système de numérotation dans le tableau 1 repose sur la classification des défauts en six groupes:

- 1 — Fissures
- 2 — Cavités
- 3 — Inclusions solides
- 4 — Manque de fusion et de pénétration
- 5 — Défauts de forme et défauts dimensionnels
- 6 — Défauts divers.

En ce qui concerne le tableau 1, il est à noter que

- a) la colonne 1 donne un numéro de référence à trois chiffres pour chaque défaut principal et un numéro de référence à quatre chiffres pour les subdivisions;
- b) la colonne 2 donne la désignation de chaque défaut et le commentaire en anglais;
- c) la colonne 3 donne la désignation de chaque défaut et le commentaire en français;
- d) la colonne 4 donne la désignation de chaque défaut et le commentaire en allemand;
- e) la colonne 5 présente des illustrations pour compléter les commentaires, si nécessaire.

2 Definitionen

Für die Anwendung dieses Teils der ISO 6520 gelten die folgenden Definitionen.

**2.1
Unregelmäßigkeit**
jedwede Abweichung von der idealen Schweißnaht

**2.2
Fehler**
unzulässige Unregelmäßigkeit

3 Einteilung und Erklärung von Unregelmäßigkeiten

Die Grundlage für das Benennungssystem in Tabelle 1 ist die Einteilung der Unregelmäßigkeiten in sechs Gruppen:

- 1 — Risse
- 2 — Hohlräume
- 3 — Feste Einschlüsse
- 4 — Bindefehler und ungenügende Durchschweißung
- 5 — Form- und Maßabweichungen
- 6 — Sonstige Unregelmäßigkeiten.

Bezüglich der Tabelle 1 ist darauf hinzuweisen, daß

- a) Spalte 1 eine dreistellige Ordnungsnummer für grundsätzliche Unregelmäßigkeiten und eine vierstellige Ordnungsnummer für Untergruppen enthält;
- b) Spalte 2 die Benennung jeder Unregelmäßigkeit und die Erklärung in englisch enthält;
- c) Spalte 3 die Benennung jeder Unregelmäßigkeit und die Erklärung in französisch enthält;
- d) Spalte 4 die Benennung jeder Unregelmäßigkeit und die Erklärung in deutsch enthält;
- e) Spalte 5 für eventuell notwendige Abbildungen zur Ergänzung der Erklärungen vorgesehen ist.

4 Types of crack

Cracking phenomena occurring during or after welding are listed in annex A. They are designated by letters.

When a full description of cracking is necessary, it is recommended that a combination of the classification numbers according to table 1 with the letters used in annex A be used.

NOTE — The symbol "*" marks newly implemented imperfections.

4 Types de fissures

Les types de fissuration se produisant pendant ou après le soudage sont présentés dans l'annexe A. Ils sont désignés par des lettres.

Lorsqu'une description complète des fissures est nécessaire, il est recommandé d'utiliser une combinaison du système numérique de classification du tableau 1 avec les lettres utilisées dans l'annexe A.

NOTE — Le symbole « * » désigne les défauts nouvellement ajoutés.

4 Rißarten

Rißbildungen, die während oder nach dem Schweißen auftreten, sind im Anhang A aufgelistet. Sie sind durch Buchstaben bezeichnet.

Wenn eine vollständige Beschreibung von Rissen verlangt wird, sollte eine Kombination der Ordnungsnummern der Tabelle 1 mit den im Anhang A aufgeführten Buchstaben verwendet werden.

ANMERKUNG — Das Symbol "*" kennzeichnet die neu aufgenommenen Unregelmäßigkeiten.

5 Designation

Where a designation is required for an imperfection it shall have the following structure:

EXAMPLE

A crack (100) shall be designated as follows

Imperfection ISO 6520-1-100

5 Désignation

Quand une désignation est exigée, elle doit avoir la structure suivante:

EXEMPLE

Une fissure (100) doit être désignée comme suit:

Défaut ISO 6520-1-100

5 Bezeichnung

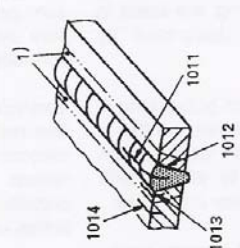
Wenn eine Bezeichnung für eine Unregelmäßigkeit gefordert wird, muß sie die folgende Form aufweisen:

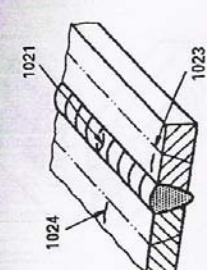
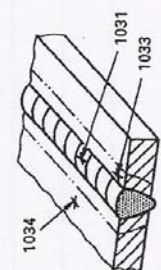



BEISPIEL

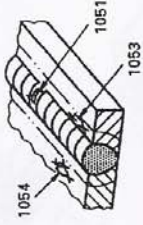
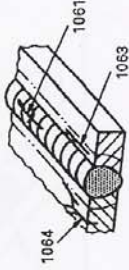
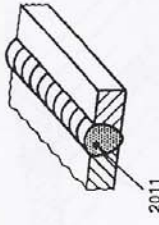
Unregelmäßigkeit (100) ist wie folgt zu bezeichnen:

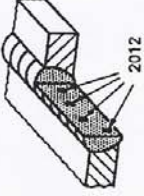
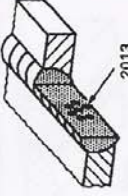
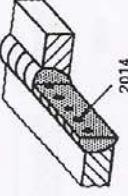
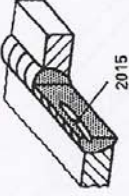
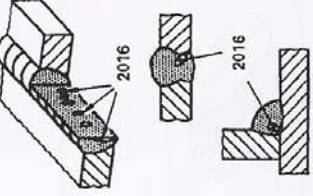
Unregelmäßigkeit ISO 6520-1-100


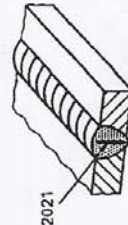

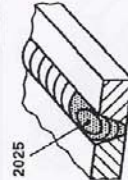
Table 1 — Classification of imperfections
 Tableau 1 — Classification des défauts
 Tabelle 1 — Einteilung von Unregelmäßigkeiten

Reference No. Référence n° Referenz-Nr.	Designation and Explanations English	Désignation et commentaires Français	Benennung und Erklärungen Deutsch	Illustrations Illustrations Abbildungen
1	2	3	4	5
Gruppe Nr. 1 Risse				
Group No. 1 Cracks				
100	Crack An imperfection produced by a local rupture in the solid state which may arise from the effect of cooling or stresses.	Fissure Discontinuité qui peut se produire par une rupture locale à l'état solide en cours de refroidissement ou par des tensions.	Riß Unregelmäßigkeit, die örtlich durch Trennungen im festen Zustand erzeugt wird, und bei der Abkühlung oder infolge von Spannungen auftreten kann.	
1001	Microcrack A crack only visible under the microscope.	Microfissure Fissure visible seulement au microscope.	Mikroriß Riß, der nur unter dem Mikroskop sichtbar ist.	
101	Longitudinal crack A crack essentially parallel to the axis of the weld. It may be situated: — in the weld metal — at the weld junction — in the heat affected zone — in the parent metal	Fissure longitudinale Fissure sensiblement parallèle de l'axe de la soudure. Elle peut se situer: — dans le métal fondu — dans la zone de liaison — dans la zone thermiquement affectée — dans le métal de base	Längsriß Riß, der im wesentlichen parallel zur Schweißnahtachse verläuft. Er kann liegen: — im Schweißgut — in der Schmelzlinie — in der Wärmeinflußzone — im Grundwerkstoff	 <p>1) heat affected zone zone thermiquement affectée Wärmeinflußzone</p>

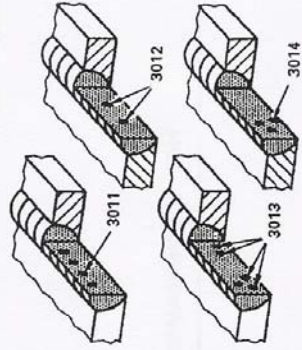
<p>102</p> <p>Transverse crack A crack essentially transverse to the axis of the weld. It may be situated:</p> <ul style="list-style-type: none"> — in the weld metal — in the heat affected zone — in the parent metal 	<p>Fissure transversale Fissure sensiblement transversale à l'axe de la soudure. Elle peut se situer:</p> <ul style="list-style-type: none"> — dans le métal fondu — dans la zone thermiquement affectée — dans le métal de base 	<p>Querriß Riß, der im wesentlichen quer zur Schweißnahtachse verläuft. Er kann liegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> — im Schweißgut — in der Wärmeinflußzone — im Grundwerkstoff 	
<p>103</p> <p>Radiating cracks Cracks radiating from a common point. They may be situated:</p> <ul style="list-style-type: none"> — in the weld metal — in the heat-affected zone — in the parent metal <p>NOTE — Small cracks of this type are called "star cracks".</p>	<p>Fissures rayonnantes Groupe de fissures issues d'un même point. Il peut se situer:</p> <ul style="list-style-type: none"> — dans le métal fondu — dans la zone thermiquement affectée — dans le métal de base <p>NOTE — En anglais, les fissures rayonnantes de faibles dimensions s'appellent "star cracks" (fissures en étoile).</p>	<p>Sternförmige Risse Sternförmig von einer Stelle ausgehende Risse. Sie können liegen:</p> <ul style="list-style-type: none"> — im Schweißgut — in der Wärmeinflußzone — im Grundwerkstoff <p>ANMERKUNG — Im Englischen werden kleine Risse dieses Typs "star cracks" (Sternrisse) genannt.</p>	
<p>104</p> <p>Crater crack A crack in the crater at the end of a weld which may be:</p> <ul style="list-style-type: none"> — longitudinal — transverse — radiating (star cracking) 	<p>Fissure de cratère Fissure située dans un cratère de fin de cordon et qui peut être:</p> <ul style="list-style-type: none"> — longitudinale — transversale — rayonnante 	<p>Endkraterriß Riß im Endkrater der Schweißnaht. Er kann auftreten:</p> <ul style="list-style-type: none"> — längs — quer — sternförmig 	  

105	Group of disconnected cracks A group of disconnected cracks in any direction which may be situated: — in the weld metal — in the heat affected zone — in the parent metal	Réseau de fissures marbrées Groupe de fissures séparées, d'orientation quelconque. Il peut se situer: — dans le métal fondu — dans la zone thermiquement affectée — dans le métal de base	Rißanhäufung Gruppe nicht miteinander verbundener Risse in verschiedenen Richtungen. Sie kann auftreten: — im Schweißgut — in der Wärmeeinflußzone — im Grundwerkstoff	
106	Branching cracks A group of connected cracks originating from a common crack and distinguishable from a group of disconnected cracks (105) and from radiating cracks (103). They may be situated: — in the weld metal — in the heat affected zone — in the parent metal	Fissures ramifiées Ensemble de fissures reliées entre elles, issues d'une même fissure, et qui sont à distinguer d'un réseau de fissures marbrées (105) et de fissures rayonnantes (103). Elles peuvent se situer: — dans le métal fondu — dans la zone thermiquement affectée — dans le métal de base	Verästelte Risse Gruppe zusammenhängender Risse, die von einem gemeinsamen Riß ausgehen und sich von der Rißanhäufung (105) bzw. von sternförmigen Rissen (103) unterscheiden. Sie können auftreten: — im Schweißgut — in der Wärmeeinflußzone — im Grundwerkstoff	
1061				
1063				
1064				
Gruppe Nr. 2 Hohlräume				
200	Cavity	Cavité	Hohraum	
201	Gas cavity A cavity formed by entrapped gas.	Soufflure Cavité formée par du (ou des) gaz emprisonné(s).	Gaselschluß Hohraum, der durch eingeschlossenes Gas gebildet wurde.	
2011	Gas pore A gas cavity of essentially spherical form.	Soufflure sphéroïdale Soufflure de forme sensiblement sphérique.	Pore Etwa kugelförmiger Gaselschluß.	

2012	<p>Uniformly distributed porosity</p> <p>A number of gas pores distributed in a substantially uniform manner throughout the weld metal; not to be confused with linear porosity (2014) and clustered porosity (2013).</p>	<p>Soufflures sphéroïdales uniformément réparties</p> <p>Soufflures sphéroïdales essentiellement distribués réguliers dans le métal fondu. À différencier des soufflures alignées (2014) et nid de soufflures (2013).</p>	<p>Porosität (gleichmäßig verteilt)</p> <p>Anzahl von Poren, die im wesentlichen gleichmäßig im Schweißgut verteilt sind; nicht zu verwechseln mit der Porenzelle (2014) und mit dem Porennest (2013).</p>	
2013	<p>Clustered (localized) porosity</p> <p>A group of gas pores having a random geometric distribution.</p>	<p>Nid de soufflures</p> <p>Groupe de soufflures réparties de manière quelconque.</p>	<p>Porennest</p> <p>Unregelmäßige örtliche Anhäufung von Poren.</p>	
2014	<p>Linear porosity</p> <p>A row of gas pores situated parallel to the axis of the weld.</p>	<p>Soufflures alignées</p> <p>Soufflures réparties suivant une ligne parallèle à l'axe de la soudure.</p>	<p>Porenzelle</p> <p>Reihe von Poren, parallel zur Achse der Schweißnaht angeordnet.</p>	
2015	<p>Elongated cavity</p> <p>A large non-spherical cavity with its major dimension approximately parallel to the axis of the weld.</p>	<p>Soufflure allongée</p> <p>Soufflure non sphéroïdale importante dont la dimension principale est approximativement parallèle à l'axe de la soudure.</p>	<p>Gaskanal</p> <p>Langgestreckter Hohlraum mit seiner größten Abmessung etwa parallel zur Achse der Schweißnaht.</p>	
2016	<p>Worm-hole</p> <p>A tubular cavity in weld metal caused by release of gas. The shape and position of worm-holes are determined by the mode of solidification and the sources of the gas. Generally they are grouped in clusters and distributed in a herringbone formation. Some worm-holes may break the surface of the weld.</p>	<p>Soufflure vermiculaire</p> <p>Soufflure en forme de galerie de ver dans le métal fondu, résultant du cheminement du gaz. La forme et la position de ces soufflures sont déterminées par le mode de solidification et l'origine du gaz. Elles sont généralement groupées en nids et disposées en arêtes de poisson. Certains soufflures vermiculaires peuvent déboucher en surface de la soudure.</p>	<p>Schlauchpore</p> <p>Röhrenförmiger Hohlraum im Schweißgut, hervorgerufen durch ausgeschickenes Gas. Die Form und Lage von Schlauchporen werden bestimmt durch den Ablauf der Erstarrung und durch die Herkunft des Gases. Im allgemeinen sind sie zu Nestern gruppiert und fischgrätenartig verteilt. Einige können zur Oberfläche der Schweißnaht offen sein.</p>	





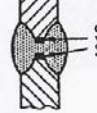
2017	Surface pore A gas pore which breaks the surface of the weld.	Plaque Soufflure débouchant en surface de la soudure.	Oberflächenpore Zur Oberfläche offene Pore in der Schweißnaht.	
202	Shrinkage cavity A cavity due to shrinkage during solidification.	Retassure Cavité due au retrait du métal pendant la solidification.	Lunker Hohlraum infolge Schrumpfung beim Erstarren.	
2021	Interdendritic shrinkage An elongated shrinkage cavity which may contain entrapped gas, formed between dendrites during cooling. Such an imperfection is generally found perpendicular to the weld face.	Retassure interdendritique (dessalement) Retassure de forme allongée qui se forme entre les dendrites au cours du refroidissement et dans laquelle peut se trouver emprisonné du gaz. Un tel défaut est généralement perpendiculaire aux faces de la soudure.	Interdendritischer Lunker (Makrolunker) Länglicher Lunker, der sich zwischen den Dendriten während der Erstarrung gebildet hat und der eingeschlossenes Gas enthalten kann. Eine solche Unregelmäßigkeit befindet sich im allgemeinen senkrecht zur Nahtoberseite.	
2024	Crater pipe A shrinkage cavity at the end of a weld run and not eliminated before or during subsequent weld runs.	Retassure de cratère Retassure en fin de passe, non éliminée avant ou pendant l'exécution des passes suivantes.	Endkraterlunker Lunker am Ende einer Schweißraupe, der weder vor noch durch nachfolgende Schweißraupen beseitigt wurde.	
* 2025	End crater pipe An open crater reducing the cross-section of the weld.	Retassure ouverte de cratère Retassure de cratère ouverte réduisant la section transversale de la soudure.	Offener Endkraterlunker Offener Endkrater, der die Querschnittsfläche der Schweißnaht vermindert.	
* 203	Microshrinkage Shrinkage cavity only visible under the microscope.	Microretassure Microretassure visible seulement au microscope.	Mikrolunker Lunker, der nur mit Mikroskop erkennbar ist.	

	Interdendritic microshrinkage	Microretassures interdendritiques	Interdendritischer Mikrolunker
* 2031	An elongated shrinkage cavity formed between dendrites during cooling following the boundaries of grains.	Microretassure de forme allongée qui se forme entre les dendrites au cours du refroidissement suivant les joints des grains.	Länglicher Lunker, der sich zwischen den Dendriten während der Erstarrung entlang der Korngrenzen gebildet hat.
* 2032	Transgranular microshrinkage	Microretassure transgranulaire	Transkristalliner Mikrolunker
	An elongated shrinkage cavity crossing grains during solidification.	Microretassure de forme allongée qui se forme à travers les grains pendant la solidification.	Länglicher Lunker, der die Kristallkörner während der Erstarrung durchtrennt.
Group No. 3 Solid inclusions			
Gruppe Nr. 3 Feste Einschlüsse			
300	Solid inclusion Solid foreign substances entrapped in the weld metal.	Inclusion solide Corps solide étranger emprisonné dans le métal fondu.	Fester Einschluß Feste Fremdstoffeinlagerung im Schweißgut.
301	Slag inclusion Slag entrapped in the weld metal. According to the circumstances of their formation, such inclusions may be:	Inclusion de laitier Laitier emprisonné dans le métal fondu. On peut rencontrer, suivant les conditions de leur formation, des inclusions de laitier:	Schlackeneinschluß Im Schweißgut eingeschlossene Schlacke. Abhängig von den Entstehungsbedingungen können derartige Einschlüsse sein:
3011	— linear	— alignées	— zeilenförmig
3012	— isolated	— isolées	— vereinzelt
* 3014	— clustered	— en nid	— örtlich gehäuft
302	Flux inclusion Flux entrapped in the weld metal. According to the circumstances of the formation, such inclusions may be:	Inclusion de flux Flux emprisonné dans le métal fondu. Suivant les conditions de formation, il peut s'agir d'inclusions:	Flußmitteleinschluß Im Schweißgut eingeschlossenes Flußmittel. Abhängig von den Entstehungsbedingungen können derartige Einschlüsse sein:
3021	— linear	— alignées (ou en chapelet)	— zeilenförmig
3022	— isolated	— isolées	— vereinzelt
* 3024	— clustered	— en nid	— örtlich gehäuft

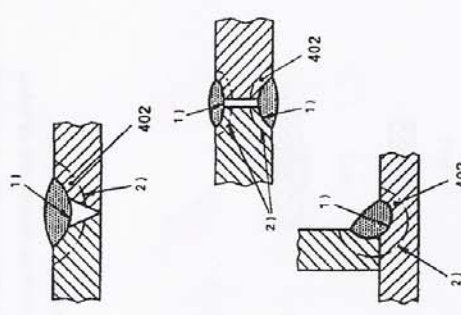
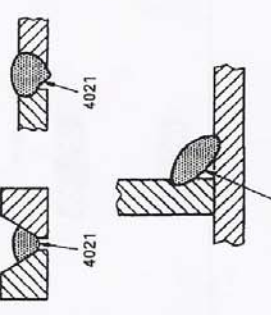


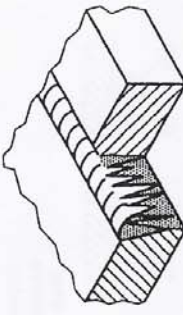
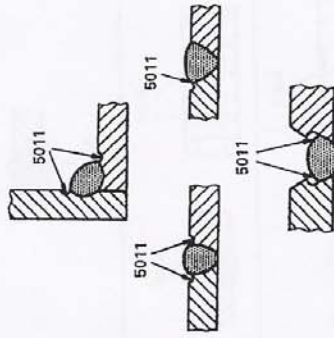
See/Voir/Siehe 3011 – 3014.

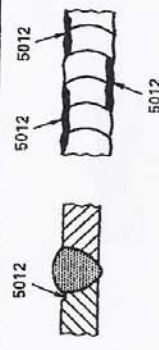
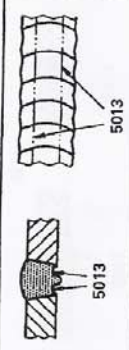
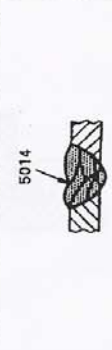
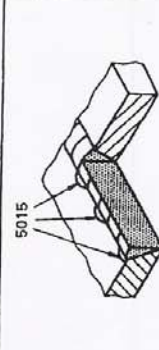

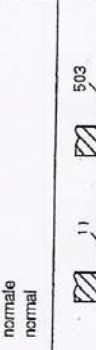
<p>303</p> <p>* 3031 * 3032 * 3033</p>	<p>Oxide Inclusion Metallic oxide entrapped in the weld metal during solidification.</p> <p>Such inclusions may be:</p> <ul style="list-style-type: none"> — linear — isolated — clustered 	<p>Inclusion d'oxyde Oxyde métallique emprisonné dans le métal fondu pendant la solidification.</p> <p>Il peut s'agir d'inclusions:</p> <ul style="list-style-type: none"> — alignées — isolées — en nid 	<p>Oxideneinschluß Metalloxyd, das während der Erstarrung im Schweißgut eingeschlossen wurde.</p> <p>Derartige Einschlüsse können sein:</p> <ul style="list-style-type: none"> — zeilenförmig — vereinzelt — örtlich gehäuft 	<p>See/Voir/Siehe 3011 – 3014.</p>
<p>3034</p>	<p>Puckering In certain cases, especially in aluminium alloys, gross oxide film entrapment can occur due to a combination of unsatisfactory protection from atmospheric contamination and turbulence in the weld pool.</p>	<p>Peau d'oxyde Film d'oxyde métallique, formé dans certain cas, notamment dans celui des alliages d'aluminium, résultant de l'action combinée d'une protection inappropriée et de la turbulence du bain de fusion.</p>	<p>Oxidhaut In bestimmten Fällen, vor allem bei Aluminiumlegierungen, können sehr großflächige Oxidfilmbeläge auftreten, die durch das Zusammenwirken von unzureichendem Schutz vor Luftzutritt und Durchwirbeln des Schweißbades bedingt sind.</p>	<p>See/Voir/Siehe 3011 – 3014.</p>
<p>304</p> <p>3041 3042 3043</p>	<p>Metallic inclusion A particle of foreign metal entrapped in the weld metal. It may be of:</p> <ul style="list-style-type: none"> — tungsten — copper — other metal 	<p>Inclusion métallique Particule de métal étranger emprisonné dans le métal fondu. Il peut s'agir d'inclusions de:</p> <ul style="list-style-type: none"> — tungstène — cuivre — autre métal 	<p>Metallischer Einschluß Im Schweißgut eingeschlossenes Teilchen von Fremdmetall. Es kann bestehen aus:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Wolfram — Kupfer — sonstigem Metall 	<p>See/Voir/Siehe 3011 – 3014.</p>

Group No. 4 Lack of fusion and penetration		Groupe n° 4 Manque de fusion et de pénétration		Gruppe Nr. 4 Bindefehler und ungenügende Durchschweißung		
400	Lack of fusion and penetration	Manque de fusion et de pénétration	Bindefehler und ungenügende Durchschweißung			
401	<p>Lack of fusion (incomplete fusion) Lack of union between the weld metal and the parent metal or between the successive layers of weld metal. It may be one of the following:</p> <ul style="list-style-type: none"> — lack of side wall fusion — lack of inter-run fusion — lack of root fusion 	<p>Manque de fusion (collage) Manque de liaison entre le métal déposé et le métal de base ou entre des couches contiguës de métal déposé. Un des manques suivants est possible:</p> <ul style="list-style-type: none"> — le manque de fusion des bords — le manque de fusion entre passes — le manque de fusion à la racine¹⁾ 	<p>Bindefehler Unzureichende Bindung zwischen Schweißgut und Grundwerkstoff oder zwischen den nachfolgenden Schweißgutschichten. Folgende Arten sind möglich:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Flankenbindefehler — Lagenbindefehler — Wurzelbindefehler 	 <p>4011</p>  <p>4012</p>  <p>4012</p>  <p>4013</p>  <p>4013</p>		

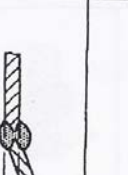

1) In French, the terms "collage noir" and "collage blanc" are used. Unlike collage blanc, collage noir includes melted oxide inclusions in the fusion zone.
 1) En français, on utilise le terme «collage noir» et «collage blanc». Contrairement à collage blanc, collage noir contient des inclusions oxydées non fondues dans la zone de fusion.
 1) Im Französischen werden die Begriffe "collage noir" und "collage blanc" verwendet. Im Gegensatz zu collage blanc enthält collage noir nicht aufgeschmolzene Oxideinschlüsse in der Schmelzzone.

<p>402</p>	<p>Lack of penetration (incomplete penetration) Difference between the actual and nominal penetration.</p>	<p>Manque de pénétration (pénétration incomplète) Différence entre la pénétration réelle et la pénétration nominale.</p>	<p>Ungenügende Durchschweißung Unterschied zwischen tatsächlichem und Sollleinbrand.</p>	 <p>1) actual penetration pénétration réelle tatsächlicher Einbrand 2) nominal penetration pénétration nominale Sollleinbrand</p>
<p>* 4021</p>	<p>Incomplete root penetration One or both fusion faces of the root are not melted.</p>	<p>Manque de pénétration à la racine L'un ou les deux bords de la racine ne sont pas fondus.</p>	<p>Ungenügender Wurzeleinbrand Eine oder beide Stegflanken der Wurzel sind nicht aufgeschmolzen.</p>	

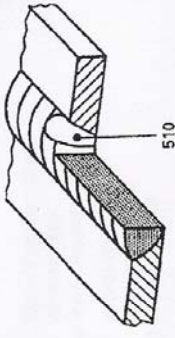
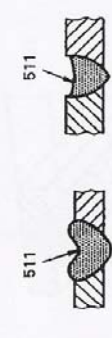
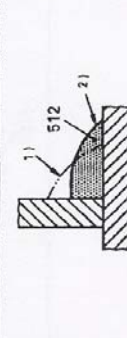
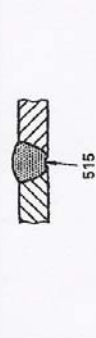
<p>* 403</p> 	<p>Spiking Extremely non-uniform penetration occurring in electron beam and laser welding giving a sawtooth appearance. This may include cavities, cracks, shrinkages, etc.</p>	<p>Défaut en doigts de gant ou spikes Pénétration extrêmement irrégulière, rencontrée en soudage par faisceau d'électrons ou en soudage laser, donnant au cordon un aspect en dents de scie. Elle peut inclure des cavités, fissures, retraites, etc.</p>	<p>Spikebildung Extrem ungleichmäßiger Einbrand, der beim Elektronenstrahl- und Laserschweißen auftritt und ein sägezahnartiges Aussehen hat. Er kann Hohlräume, Risse, Lunker usw. einschließen.</p>
<p>Gruppe Nr. 5 Form- und Maßabweichungen</p>			
<p>Group No. 5 Imperfect shape and dimensions</p>			
<p>Groupe n° 5 Défauts de forme et défauts dimensionnels</p>			
<p>500</p>	<p>Imperfect shape Imperfect shape of the external surfaces of the weld or defective joint geometry.</p>	<p>Forme défectueuse Forme imparfaite des faces externes de la soudure ou forme géométrique imparfaite du joint.</p>	<p>Formfehler Unvollkommene Form der äußeren Oberfläche der Schweißung oder mangelhafte Geometrie der Verbindung.</p>
<p>* 501</p>	<p>Undercut An irregular groove at a toe of a run in the parent metal, or in previously deposited weld metal due to welding.</p>	<p>Caniveau Sillon irrégulier au niveau de la ligne de raccordement de la soudure, situé soit dans le métal de base, soit dans le métal fondu déposé préalablement.</p>	<p>Kerbe Durch Schweißen bewirkte unregelmäßige Kerbe auf der Deckseite einer Raupe im Grundwerkstoff oder im vorher eingebrachten Schweißgut.</p>
<p>5011</p>	<p>Continuous undercut Undercut of significant length without interruption.</p>	<p>Caniveau continu Caniveau d'une longueur importante d'un seul tenant.</p>	<p>Durchlaufende Einbrandkerbe Einbrandkerbe von großer Länge ohne Unterbrechungen.</p> 

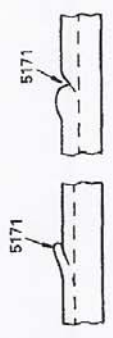
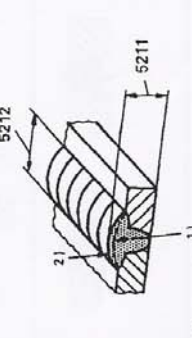
5012	Intermittent undercut Short length of undercut, intermittent along the weld.	Morsure; caniveau discontinu Caniveau de faible longueur apparaissant par intermittence le long de la soudure.	Nicht durchlaufende Einbrandkerbe Kurze unterbrochene Einbrandkerbe entlang der Schweißnaht.	
5013	Shrinkage groove Undercuts visible on each side of the root run.	Caniveau à la racine Caniveaux apparaissant de chaque côté de la passe de fond.	Wurzelkerbe Kerben, die auf beiden Seiten der Wurzellage sichtbar sind.	
* 5014	Inter run undercut (interpass undercut) Undercut in the longitudinal direction between weld runs.	Caniveau entre passes Caniveau apparaissant dans le sens longitudinal de la soudure, entre passes.	Längskerbe zwischen den Schweißdraußen Kerbe, die in Längsrichtung zwischen den Schweißdraußen verläuft.	
* 5015	Local intermittent undercut Short undercuts, irregularly spaced, on the side or on the surface of the weld runs.	Caniveau discontinu local; morsure locale Caniveaux de faible longueur, irrégulièrement espacés, situés le long de ou à la surface des passes de soudure.	Örtlich unterbrochene Kerben Kurze Kerben in unterschiedlichen Abständen an der Seite oder auf der Oberfläche der Schweißdraußen.	
502	Excess weld metal Excess weld metal at the face of a butt weld.	Surépaisseur excessive Épaisseur excessive du métal fondu à la surface d'une soudure bout à bout.	Zu große Nahtüberhöhung Übermäßig große Schweißgutmenge in der Decklage einer Stumpfnaht.	 1) normal normale normal
503	Excessive convexity An excess of weld metal at the face of a fillet weld.	Convexité excessive Épaisseur excessive du métal fondu à la surface d'une soudure d'angle.	Zu große Nahtüberhöhung Übermäßig große Schweißgutmenge in der Decklage einer Kehlnaht.	 1) normal normale normal

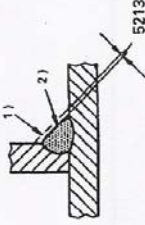
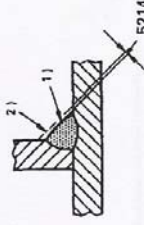
<p>504</p>	<p>Excess penetration Excess weld metal protruding through at the root of a weld. This may be:</p> <p>Local excess penetration Continuous excess penetration Melt through</p>	<p>Excès de pénétration Excès de métal faisant saillie à la racine d'une soudure. Il peut s'agir de:</p> <p>Excès de pénétration locale Excès de pénétration continue Pleine pénétration</p>	<p>Zu große Wurzelüberhöhung Übermäßig große Schweißgutmenge infolge Wurzeldurchtropfung. Sie kann sein:</p> <p>Örtliche Wurzelüberhöhung Durchlaufende Wurzelüberhöhung Durchschmelzung</p>	
<p>505</p>	<p>Incorrect weld toe Too small an angle (α) between the plane of the parent metal surface and a plane tangential to the weld run surface at the toe of the weld.</p>	<p>Défaut de raccordement Angle (α) trop faible entre le plan tangent à la surface du métal de base et le plan tangent à la surface du cordon et passant par la ligne de raccordement de la soudure.</p>	<p>Schroffer Nahtübergang (fehlerhaftes Nahtprofil) Zu kleiner Winkel (α) zwischen der Oberfläche des Grundwerkstoffes und einer Ebene tangential zur Schweißraupenoberfläche im Nahtübergang.</p> <p>1) normal normale normal</p>	
<p>506</p>	<p>Overlap Excess weld metal covering the parent metal surface but not fused to it. This may be:</p> <p>Toe overlap Toe overlap at the weld toe</p> <p>Root overlap Root overlap at the weld root</p>	<p>Débordement Excès de métal fondu débordant sur le métal de base, sans liaison intime avec celui-ci. Il peut s'agir de:</p> <p>Débordement de la passe terminale Débordement de la passe terminale</p> <p>Débordement de la passe de fond Débordement de la passe de fond</p>	<p>Schweißgutüberlauf Übermäßige Menge Schweißgut, die die Oberfläche des Grundwerkstoffes ohne Aufschmelzung bedeckt. Es kann sich handeln um:</p> <p>Schweißgutüberlauf an der Decklage Schweißgutüberlauf am Schweißnahtübergang bei der Decklage</p> <p>Schweißgutüberlauf auf der Wurzelseite Schweißgutüberlauf auf der Wurzel-</p>	

507	<p>Linear misalignment Misalignment between two welded pieces such that while their surface planes are parallel, they are not in the required same parallel plane.</p> <p>This may be:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5071 Linear misalignment between plates Pieces are plates. • 5072 Linear misalignment between tubes Pieces are tubes. 	<p>Défaut d'alignement Non-alignement de deux pièces soudées, se traduisant par une dénivelation, leurs surfaces étant néanmoins parallèles.</p> <p>Il peut s'agir de:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5071 Défaut d'alignement entre tôles Les pièces sont des tôles. • 5072 Défaut d'alignement entre tubes Les pièces sont des tubes. 	<p>Kantenversatz Versatz zwischen zwei zu schweißenden Teilen, bei denen die Oberflächen parallel, aber nicht in der geforderten gleichen parallelen Ebene liegen.</p> <p>Es kann sich handeln um:</p> <ul style="list-style-type: none"> • 5071 Kantenversatz bei Blechen Die Teile sind Bleche. • 5072 Kantenversatz bei Röhren Die Teile sind Röhre. 	
508	<p>Angular misalignment Misalignment between two welded pieces such that their surface planes are not parallel or at the intended angle.</p>	<p>Défaut angulaire Non-alignement de deux pièces soudées, se traduisant par la formation d'un angle entre leurs surfaces ou non-respect de l'angle prévu.</p>	<p>Winkelversatz Versatz zwischen zwei geschweißten Teilen, bei denen die Oberflächen nicht parallel sind oder nicht im beabsichtigten Winkel stehen.</p>	
509	<p>Sagging Weld metal collapse due to gravity. According to the circumstances, it may be:</p> <ul style="list-style-type: none"> — sagging in the horizontal position — sagging in the flat or overhead position — sagging in a fillet weld — sagging (melting) at the edge of the weld. 	<p>Effondrement Affaissement du métal fondu, dû à la gravité. Suivant le cas, on peut distinguer:</p> <ul style="list-style-type: none"> — effondrement en corniche — effondrement à plat ou au plafond — effondrement d'une soudure d'angle — effondrement d'une soudure à clip 	<p>Verlaufenes Schweißgut Durch Schwerkraft bewirktes verlaufenes Schweißgut. Je nach den Umständen wird unterschieden zwischen:</p> <ul style="list-style-type: none"> — Verlaufen in Querposition — Verlaufen in Wannen- oder Überkopposition — Verlaufen bei einer Kehlnaht — Abschmelzen an der Kante 	

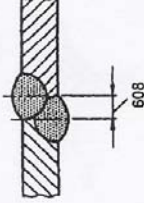
*


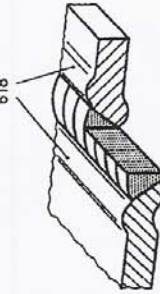
510	Burn through A collapse of the weld pool resulting in a hole in the weld.	Trou Effondrement du bain de fusion entraînant la perforation de la soudure.	Durchbrand Durchbrand im Schmelzbad, der ein durchgehendes Loch in der Schweißnaht verursacht.	
511	Incompletely filled groove A longitudinal continuous or intermittent channel in the surface of a weld due to insufficient deposition of weld filler metal.	Manque d'épaisseur Insuffisance continue ou intermittente de métal déposé conduisant à un profil de cordon en retrait par rapport au profil correct.	Decklagenunterwölbung Längs durchgehende oder unterbrochene Vertiefung in der Nahtoberfläche infolge fehlenden Schweißguts.	
512	Excessive asymmetry of fillet weld (excessive unequal leg length) Explanation not necessary.	Défaut de symétrie excessif de soudure d'angle Commentaire non nécessaire.	Übermäßige Ungleichschenkligkeit bei Kehlnähten Erklärung nicht notwendig.	 1) nominal shape forme nominale Sollform 2) actual shape exécution réelle tatsächliche Form
513	Irregular width Excessive variation in width of the weld.	Largeur irrégulière Variation excessive de la largeur du cordon.	Unregelmäßige (Naht-)Breite Übermäßige Schwankung der Nahtbreite.	
514	Irregular surface Excessive surface roughness.	Surface irrégulière Irrégularité excessive de la surface.	Unregelmäßige Nahtzeichnung Übermäßige Oberflächenrauheit.	
515	Root concavity A shallow groove due to shrinkage of a butt weld at the root (see also 5013).	Retassure à la racine Manque d'épaisseur à la racine d'une soudure bout à bout dû au retrait du métal fondu (voir aussi 5013).	Wurzeltiefen Flache Vertiefung in der Wurzellage infolge Schwindung bei einer Stumpfnah (siehe auch 5013).	

516	Root porosity Spongy formation at the root of a weld due to bubbling of the weld metal at the moment of solidification.	Rochage Formation spongieuse à la racine d'une soudure due à un bouillonnement du métal fondu au moment de sa solidification.	Wurzelporosität Schwammige Ausbildung der Nahtwurzel als Folge von Blasenbildungen des Schweißgutes bei der Erstarrung.	
517 * 5171 * 5172	Poor restart A local surface irregularity at a weld restart. It may occur — in the capping run — in the root run	Mauvaise reprise Irrégularité locale de surface à l'endroit d'une reprise. Elle peut se trouver — dans la passe terminale — dans la passe de fond	Ansatzfehler Örtliche Unregelmäßigkeit beim Wiederzünden. Er kann auftreten — in der Decklage — in der Wurzellage	
* 520	Excessive distortion Dimensional deviation due to shrinkage and distortion of welds.	Déformation excessive Écart dimensionnel dû au retrait et à la déformation de la soudure.	Zu großer Verzug Maßabweichung infolge von Schrumpfung und Verzug beim Schweißen.	
* 521	Incorrect weld dimensions Deviation from prescribed dimensions of the weld.	Dimensions incorrectes de la soudure Écart par rapport aux dimensions prescrites de la soudure.	Mangelhafte Abmessungen der Schweißung Abweichung von den vorgeschriebenen Maßen der Schweißung.	
* 5211	Excessive weld thickness Weld thickness is too large.	Épaisseur excessive de la soudure L'épaisseur de la soudure est trop grande.	Zu große Schweißnahtdicke Die Dicke der Schweißnaht ist zu groß.	
* 5212	Excess weld width Weld width is too large.	Largeur excessive de la soudure La largeur de la soudure est trop importante.	Zu große Schweißnahtbreite Die Breite der Schweißnaht ist zu groß.	1) nominal thickness épaisseur nominale Sollnahtdicke 2) actual thickness épaisseur réelle tatsächliche Nahtdicke

<p>* 5213</p>	<p>Insufficient throat thickness The actual throat thickness of the fillet weld is too small.</p>	<p>Gorge insuffisante Hauteur de gorge intérieure à celle requise.</p>	<p>Zu kleine Kehlnahtdicke Die tatsächliche Kehlnahtdicke ist zu klein.</p>	 <p>1) nominal thickness hauteur nominale Sollnahtdicke 2) actual thickness hauteur réelle tatsächliche Nahtdicke</p>
<p>* 5214</p>	<p>Excessive throat thickness The actual throat thickness of the fillet weld is too large.</p>	<p>Hauteur excessive de la gorge Hauteur de gorge supérieure à celle requise.</p>	<p>Zu große Kehlnahtdicke Die tatsächliche Kehlnahtdicke ist zu groß.</p>	 <p>1) nominal thickness hauteur nominale Sollnahtdicke 2) actual thickness hauteur réelle tatsächliche Nahtdicke</p>

Group No. 6 Miscellaneous imperfections		Groupe n° 6 Défauts divers		Gruppe Nr. 6 Sonstige Unregelmäßigkeiten	
600	<p>Miscellaneous imperfections All imperfections which cannot be included in groups 1 to 5.</p>	<p>Défauts divers Défauts n'entrant pas dans les groupes 1 à 5.</p>	<p>Sonstige Unregelmäßigkeiten Alle Unregelmäßigkeiten, die nicht in die Gruppen 1 bis 5 eingeordnet werden können.</p>		
601	<p>Stray arc Local damage to the surface of the parent metal adjacent to the weld, resulting from arcing or striking the arc outside the weld groove.</p>	<p>Coup d'arc ou amorçage accidentel Altération locale et superficielle du métal de base, résultant d'un amorçage accidentel de l'arc au voisinage de la soudure.</p>	<p>Zündstelle Örtliche Beschädigung der Oberfläche des Grundwerkstoffes neben der Schweißnaht durch Brennen oder Zünden des Lichtbogens außerhalb der Schweißnahtfuge.</p>		
602	<p>Spatter Globules of weld metal or filler metal expelled during welding and adhering to the surface of parent metal or solidified weld metal.</p>	<p>Projection (ou perles) Éclaboussure de métal en fusion projetée pendant le soudage et qui adhère sur le métal de base ou le métal fondu déjà solidifié.</p>	<p>Schweißspritzer Während des Schweißens entstehende Spritzer, die aus dem Schweißgut oder Zusatzwerkstoff stammen und auf der Oberfläche des Grundwerkstoffes oder auf dem erstarrten Schweißgut haften.</p>		
6021	<p>Tungsten spatter Particles of tungsten transferred from the electrode to the surface of parent metal or solidified weld metal.</p>	<p>Projection de tungstène Particule de tungstène provenant de l'électrode et projetée pendant le soudage sur le métal de base ou le métal fondu déjà solidifié.</p>	<p>Wolframspritzer Wolframtteilchen, die von der Elektrode auf die Oberfläche des Grundwerkstoffes oder auf das erstarrte Schweißgut abgeschieden werden.</p>		
603	<p>Tom surface Surface damage due to the removal by fracture of temporary welded attachments.</p>	<p>Déchirure locale ou arrachement local Blessure locale et superficielle du métal de base, produite lors de l'arrachement d'attaches soudées temporaires.</p>	<p>Ausbrechung Beschädigte Oberfläche als Folge des Entfernens von Unterlagen zur Schweißbadabsicherung durch Abbrechen.</p>		
604	<p>Grinding mark Local damage due to grinding.</p>	<p>Coup de meule Blessure locale due au meulage.</p>	<p>Schleifkerbe Örtliche Beschädigung durch Schleifen.</p>		

605	Chipping mark Local damage due to use of a chisel or other tools.	Coup de burin Blessure locale due à l'action d'un burin ou d'un autre outil.	Meißelkerbe Örtliche Beschädigung durch Anwendung eines Meißels oder anderer Werkzeuge.
606	Underflashing Lack of thickness of the workpiece due to excessive grinding.	Meulage excessif Réduction de l'épaisseur de la pièce due à un meulage excessif.	Unterschleifung Mangelnde Dicke des Werkstücks durch übermäßiges Schleifen.
* 607	Tack weld imperfection Imperfection resulting from defective tack welding, e.g.: — broken run or no penetration — defective tack has been over-welded	Défaut de soudure de pointage Défaut dû à un pointage incorrect, par exemple: — la soudure de pointage s'est rompue ou n'a pas pénétré — on a soudé par-dessus la soudure de pointage défectueuse	Heftnaht-Unregelmäßigkeit Unregelmäßigkeit als Folge einer fehlerhaften Heftschweißung, z.B. — gebrochene Raupe oder kein Einbrand — fehlerhafte Heftung wurde über-schweißt
* 608	Misalignment of opposite runs Difference between the centrelines of two runs made from opposite sides of the joint.	Cordons opposés décalés Écart entre les lignes médianes de deux passes.	Nahtversatz gegenüberliegender Schweißraupen (beidseitiges Schweißen) Abstand zwischen den Mittellinien von zwei Raupen von gegenüberliegenden Schweißungen. 
* 610	Temper colour (visible oxide film) Lightly oxidized surface in the weld zone, e.g. in stainless steels.	Couleurs de revenu Légère oxydation de la surface en zone fondue, par exemple dans les aciers inoxydables.	Anlaufarben Leicht oxidierte Oberfläche im Schweißbereich, z.B. bei nicht-restendem Stahl.
* 613	Scaled surface Heavily oxidized surface in the weld zone.	Surface calaminée Forte oxydation de la surface en zone fondue.	Verzunderte Oberfläche Stark oxidierte Oberfläche im Schweißbereich.
* 614	Flux residue Flux residue is not sufficiently removed from the surface.	Résidu de flux Élimination insuffisante des résidus de flux à la surface.	Flußmittelrest Der Flußmittelrückstand ist nicht ausreichend von der Oberfläche entfernt worden.

<p>* 615</p>	<p>Slag residue Adherent slag is not sufficiently removed from the surface of the weld.</p>	<p>Résidu de laitier Élimination insuffisante du laitier adhérent à la surface de la soudure.</p>	<p>Schlackenrest Die anhaftende Schlacke ist nicht ausreichend von der Oberfläche der Schweißnaht entfernt worden.</p>	
<p>* 617</p>	<p>Incorrect root gap for fillet welds An excessive or insufficient gap between the parts to be joined.</p>	<p>Mauvais assemblage en soudure d'angle Écartement excessif ou insuffisant entre les pièces à souder.</p>	<p>Schlechte Passung bei Kehlnähten Übermäßiger oder mangelhafter Stirflächenabstand zwischen den zu verbindenden Teilen.</p>	
<p>* 618</p>	<p>Swelling Imperfection due to a burning on welded joints in light alloys resulting from a prolonged holding time in the solidification stage.</p>	<p>Gonflement Défaut dû à une brûlure de joints soudés en alliages légers et qui résulte d'un maintien prolongé dans l'intervalle de solidification.</p>	<p>Schwellung Unregelmäßigkeit, bedingt durch Überhitzung einer geschweißten Leichtmetallverbindung, hervorgerufen durch eine verzögerte Haltezeit beim Erstarrungsvorgang.</p>	

Annex A
 (informative)

Annexe A
 (informative)

Anhang A
 (informativ)

Cracking
phenomena
Phénomènes de
fissures
Rißbildungen

Reference Référence Referenz	Designation and explanations		Benennung und Erklärungen Deutsch
	English	Désignation et commentaires Français	
E	Weld cracking Cracks occurring during or after welding	Fissures dues au soudage Fissures se produisant pendant ou après le soudage	Schweißnahtrisse Risse, die während oder nach dem Schweißen entstehen
Ea	— hot crack	— fissure à chaud	— Heißriß
Eb	— solidification crack	— fissure de solidification	— Erstarrungsriß
Ec	— liquation crack	— fissure par liquation	— Aufschmelzungsriß
Ed	— precipitation induced crack	— fissure par suite de précipitation	— Ausscheidungsriß
Ee	— age hardening crack	— fissure par suite de durcissement structural	— Aufhärungsriß
Ef	— cold crack	— fissure à froid	— Kaltriß
Eg	— ductility-dip crack (brittle crack)	— fissure par manque de ductilité (fissure fragile)	— Sprödriß
Uh	— shrinkage crack	— fissure de retrait	— Schrumpfriß
Ei	— hydrogen induced crack	— fissure par l'hydrogène	— Wasserstoffriß
Ej	— lamellar tearing	— arrachement lamellaire	— Lamellenriß
Ek	— toe crack	— fissure au raccordement	— Kerbriß
El	— ageing induced crack (nitrogen diffusion crack)	— fissure par vieillissement (fissure par diffusion d'azote)	— Alterungsriß (Stickstoffdiffusionsriß)

ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΠΡΟΤΥΠΟ
HELLENIC STANDARD



Μη καταστροφικοί έλεγχοι συγκολλήσεων - Ακτινογραφικός έλεγχος συγκολλημένων συνδέσμων

Non-destructive examination of welds - Radiographic examination of welded joints

Κλάση Τιμολόγησης: 8

© ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α.Ε.

Αχαρνών 212 711 001 001

Contents

Foreword.....	3
1 Scope	4
2 Normative references	4
3 Definitions	5
4 Classification of radiographic techniques	6
5 General	6
5.1 Protection against ionizing radiation.....	6
5.2 Surface preparation and stage of manufacture.....	6
5.3 Location of the weld in the radiograph	6
5.4 Identification of radiographs	7
5.5 Marking.....	7
5.6 Overlap of films	7
5.7 Types and positions of image quality indicators (IQI)	7
5.8 Evaluation of image quality	8
5.9 Minimum image quality values.....	8
5.10 Personnel qualification	8
6 Recommended techniques for making radiographs.....	8
6.1 Test arrangements	8
6.2 Choice of tube voltage and radiation source	16
6.3 Film systems and screens	19
6.4 Alignment of beam	21
6.5 Reduction of scattered radiation.....	21
6.6 Source-to-object distance.....	22
6.7 Maximum area for a single exposure.....	24
6.8 Density of radiograph	24
6.9 Processing.....	25
6.10 Film viewing conditions.....	25
7 Examination report	25
Annex A (normative) Recommended number of exposures which give an acceptable examination of a circumferential butt weld.....	27
Annex B (normative) Minimum image quality values	32

1 Scope

This European Standard specifies fundamental techniques of radiography with the object of enabling satisfactory and repeatable results to be obtained economically. The techniques are based on generally recognized practice and fundamental theory of the subject.

This standard applies to the radiographic examination of fusion welded joints in metallic materials

It applies to the joints of plates or pipes. Besides its conventional meaning, "pipe" as used in this standard should be understood to cover other cylindrical bodies such as tubes, penstocks, boiler drums and pressure vessels. This standard complies with EN 444.

This standard does not specify acceptance levels of the indications.

If contracting parties apply lower test criteria, the quality achieved may be significantly lower than when this standard is strictly applied.

2 Normative references

This European Standard incorporates by dated or undated reference, provisions from other publications. These normative references are cited at the appropriate places in the text and the publications are listed hereafter. For dated references, subsequent amendments to or revisions of any of these publications apply to this European Standard only when incorporated in it by amendment or revision. For undated references the latest edition of the publication referred to applies.

EN 444	Non-destructive testing - General principles for the radiographic examination of metallic materials using X- and gamma-rays
EN 462-1	Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 1 : Concepts, image quality indicators (wire type), determination of image quality value
EN 462-2	Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 2 : Concepts, image quality indicators (step/ hole type), determination of image quality value
EN 462-3	Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 3 : Image quality classes for ferrous metals
EN 462-4	Non-destructive testing - Image quality of radiographs - Part 4 : Experimental evaluation of image quality values and image quality tables
EN 473	Qualification and certification of non-destructive personnel - General principles
EN 584-1	Non-destructive testing - Industrial radiographic film - Part 1 : Classification of film systems for industrial radiography
EN 584-2	Non-destructive testing - Industrial radiographic film - Part 2 : Control of film processing by means of reference value

EN 25580 Non-destructive testing - Industrial radiographic illuminators - Minimum requirements (ISO 5580:1985)

3 Definitions

For the purpose of this standard, the following definitions apply :

3.1 nominal thickness, t

The nominal thickness of the parent material only. Manufacturing tolerances do not have to be taken into account.

3.2 penetrated thickness, w

The thickness of material in the direction of the radiation beam calculated on basis of the nominal thickness.

For multiple wall techniques the penetrated thickness is calculated from the nominal thickness.

3.3 object-to-film distance, b

The distance between the radiation side of the test object and the film surface measured along the central axis of the radiation beam.

3.4 source size, d

The size of the source radiation.

3.5 source-to-film distance (SFD)

The distance between the source of radiation and the film measured in the direction of the beam.

3.6 source-to-object distance, f

The distance between the source of radiation and the source side of the test object measured along the central axis of the radiation beam.

3.7 diameter, D_e

The nominal external diameter of the pipe.

4 Classification of radiographic techniques

The radiographic techniques are divided into two classes :

- Class A : basic techniques ;
- Class B : improved techniques.

Class B techniques will be used when class A might be insufficiently sensitive.

Better techniques compared to class B are possible and may be agreed between the contracting parties by specification of all appropriate test parameters.

The choice of radiographic technique shall be agreed between the concerned parties.

If, for technical reasons, it is not possible to meet one of the conditions specified for class B, such as type of radiation source or the source-to-object distance, f , it may be agreed between the contracting parties that the condition selected may be that specified for class A. The loss of sensitivity shall be compensated by an increase of minimum density to 3,0 or by choice of a higher contrast film system. Because of the better sensitivity compared to class A, the test specimen may be regarded as examined within class B. This does not apply if the special SFD reductions as described in 6.6 for test arrangements 6.1.4 and 6.1.5 are used.

5 General

5.1 Protection against ionizing radiation

WARNING NOTICE : Exposure of any part of the human body to X-rays or gamma-rays can be highly injurious to health. Wherever X-ray equipment or radioactive sources are in use, appropriate legal requirements must be applied.

Local or national or international safety precautions when using ionizing radiation shall be strictly applied.

5.2 Surface preparation and stage of manufacture

In general, surface preparation is not necessary, but where surface imperfections or coatings might cause difficulty in detecting defects, the surface shall be ground smooth or the coatings shall be removed.

Unless otherwise specified radiography shall be carried out after the final stage of manufacture, e.g. after grinding or heat treatment.

5.3 Location of the weld in the radiograph

Where the radiograph does not show the weld, high density markers shall be placed on either side of the weld.

5.4 Identification of radiographs

Symbols shall be affixed to each section of the object being radiographed. The images of these symbols shall appear in the radiograph outside the region of interest where possible and shall ensure unambiguous identification of the section.

5.5 Marking

Permanent markings on the object to be examined shall be made in order to accurately locate the position of each radiograph.

Where the nature of the material and/or its service conditions do not permit permanent marking, the location may be recorded by means of accurate sketches.

5.6 Overlap of films

When radiographing an area with two or more separate films, the films shall overlap sufficiently to ensure that the complete region of interest is radiographed. This shall be verified by a high density marker on the surface of the object which will appear on each film.

5.7 Types and positions of image quality indicators (IQI)

The quality of image shall be verified by use of IQI in accordance with EN 462-1 or EN 462-2.

The IQI used shall be placed preferably on the source side of the test object at the centre of the area of interest on the parent metal beside the weld. The IQI shall be in close contact with the surface of the object.

Its location shall be made in a section of uniform thickness characterized by a uniform optical density on the film.

According to the IQI type used, two cases shall be considered :

- a) When using a wire IQI the wires shall be directed perpendicular to the weld and its location shall ensure that at least 10 mm of the wire length will show in a section of uniform optical density, which is normally in the parent metal adjacent to the weld. At exposures in accordance with 6.1.6 and 6.1.7 the IQI can be placed with the wires across to the pipe axis and they should not be projected into the image of the weld.
- b) When using a step/hole IQI it shall be placed in such way that the hole number required is placed close to the weld.

At exposures in accordance with 6.1.6 and 6.1.7 the IQI type used can be placed either on the source or on the film side. If the IQIs cannot be placed in accordance with the above conditions, the IQIs will be placed on the film side and the image quality shall be determined at least once from comparison exposure with one IQI placed at the source side and one at the film side under the same conditions.

For double wall exposures, when the IQI is placed on the film side, the above test is not necessary and in this case, it should be referred to tables of correspondence given in annex B.

Where the IQI's are placed at the film side, the letter "F" shall be placed near the IQI and it shall be remarked in the test report.

If steps have been taken to guarantee that radiographs or similar test objects and regions are produced with identical exposure and processing techniques and no differences in the image quality value are likely, the image quality need not be verified for every radiograph, the extent of image quality verification being subject to agreement between the contracting parties.

For exposures of pipes with diameter 200 mm and above with the source centrally located at least three IQIs should be placed equally spaced at the circumference. The film(s) showing IQI images are then considered representative for the whole circumference.

5.8 Evaluation of image quality

The films shall be viewed in accordance with EN 25580.

From the examination of the image of the IQI on the radiograph, the number of the smallest wire or hole which can be discerned is determined. The image of a wire is accepted if a continuous length of at least 10 mm is clearly visible in a section of uniform optical density. In the case of the step and hole type IQI, if there are two holes of the same diameter, both shall be discernible, in order that the step be considered as visible.

The image quality obtained shall be indicated on the examination report of the radiographic examination. In each case the type of indicator used shall be clearly stated, as shown on the IQI.

5.9 Minimum image quality values

Tables B.1 to B.12 in annex B show the minimum quality values for ferrous materials. For other materials these requirements or corresponding requirements may be agreed upon by contracting parties. The requirements shall be determined in accordance with EN 462-4.

5.10 Personnel qualification

Personnel performing non-destructive examination in accordance with this standard shall be qualified in accordance with EN 473 or equivalent to an appropriate level in the relevant industrial sector.

6 Recommended techniques for making radiographs

6.1 Test arrangements

6.1.1 General

Normally radiographic techniques in accordance with 6.1.2 to 6.1.9 shall be used.

The elliptical technique (double wall/double image) in accordance with figure 11 should not be used for external diameter $D_e > 100$ mm, wall thickness $t > 8$ mm and weld width $D_e/4$. Two 90° displaced images are sufficient if $t/D_e < 0,12$. The distance between the two weld images shall be about one weld width.

When it is difficult to carry out an elliptic examination at $D_e \leq 100$ mm, the perpendicular technique in accordance with 6.1.7 may be used (see figure 12). In this case, three exposures 120° or 60° apart are required.

For test arrangements in accordance with figures 11, 13 and 14, the inclination of the beam shall be kept as small as possible and be such as to prevent superimposition of the two images. The source to object distance, f , shall be kept as small as possible, in accordance with 6.6. The IQI shall be placed close to the film with a lead letter "F".

Other radiographic techniques may be agreed by the contracting parties when it is useful, e.g. for reasons like the geometry of the piece or differences in material thickness. In 6.1.9 an example of such a case is presented. Multi film techniques shall not be used to reduce exposure times on uniform sections.

NOTE : In annex A the minimum number of radiographs necessary is given in order to obtain an acceptable radiographic coverage of the total circumference of a butt weld in pipe.

6.1.2 Radiation source located in front of the object and with the film at the opposite side (see figure 1)

S radiation source
F film

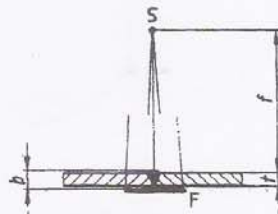


Figure 1: Test arrangement for plane walls and single-wall penetration
(see clause 3 for f , b , t)

6.1.3 Radiation source located outside the object and film inside (see figures 2 to 4)

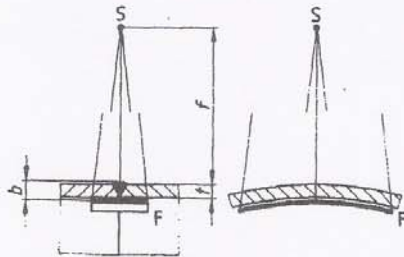


Figure 2: Test arrangement for single-wall penetration of curved objects

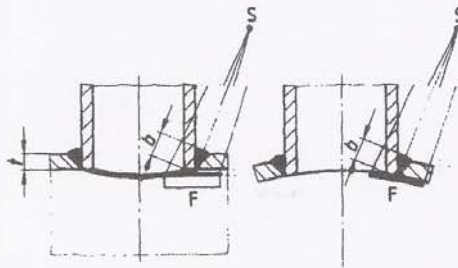


Figure 3: Test arrangement for single-wall penetration of curved objects (set-in weld)

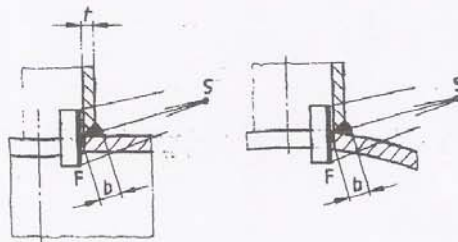


Figure 4: Test arrangement for single-wall penetration of curved objects (set-on weld)

6.1.4 Radiation source centrally located inside the object and with the film outside (see figures 5 to 7)

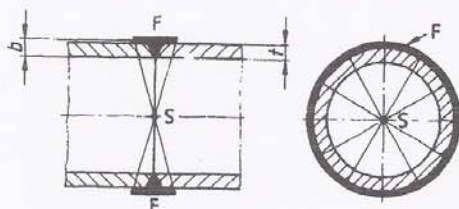


Figure 5 : Test arrangement for single-wall penetration of curved objects

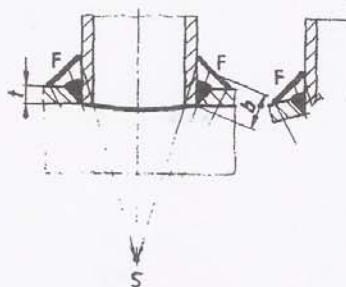


Figure 6: Test arrangement for single-wall penetration of curved objects (set-in weld)

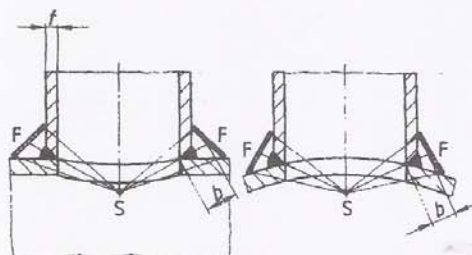


Figure 7: Test arrangement for single-wall penetration of curved objects (set-on weld)

6.1.5 Radiation source located off-centre inside the object and film outside (see figures 8 to 10)

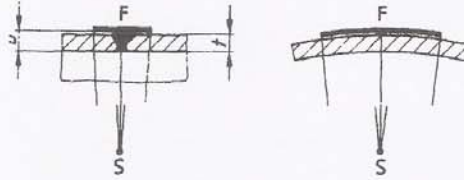


Figure 8 : Test arrangement for single-wall penetration of curved objects

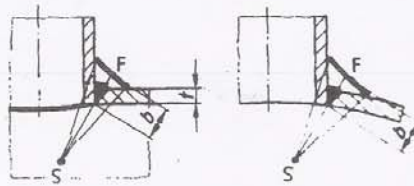


Figure 9 : Test arrangement for single-wall penetration of curved object (set-in weld)

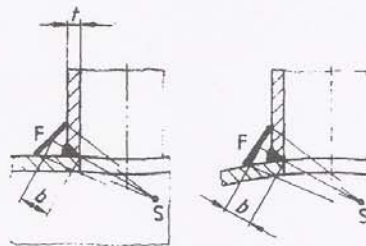


Figure 10 : Test arrangement for single-wall penetration of curved objects (set-on weld)

6.1.6 Elliptic technique (see figure 11)

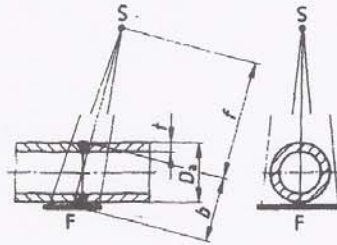


Figure 11 : Test arrangement for double-wall penetration double image of curved objects for evaluation of both walls (source and film outside of the test object)

6.1.7 Perpendicular technique (see figure 12)

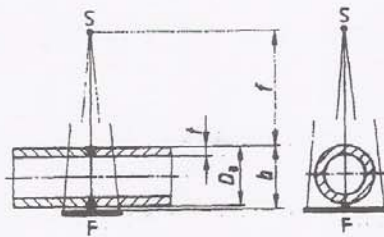


Figure 12 : Test arrangement for double-wall penetration double image of curved objects for evaluation of both walls (source and film outside of the test object)

6.1.8 Radiation source located outside the object and film on the other side (see figures 13 to 18)

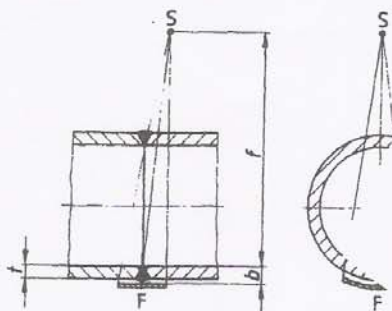


Figure 13 : Test arrangement for double-wall penetration single image of curved objects for evaluation of the wall next to the film with the IQI placed close to the film

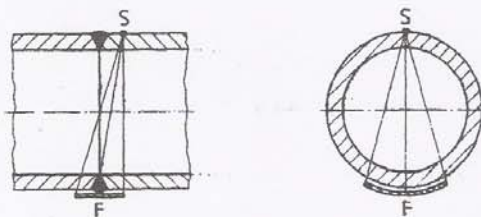


Figure 14 : Test arrangement for double-wall penetration single image

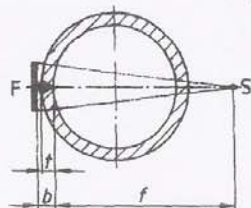


Figure 15 : Test arrangement for double-wall penetration single image of longitudinal welds

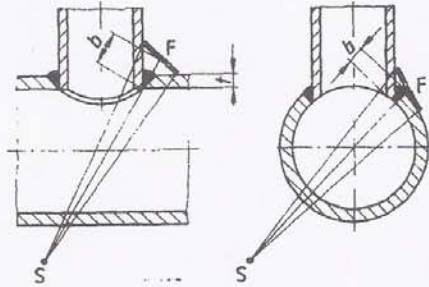


Figure 16 : Test arrangement for double-wall penetration single image of curved objects for evaluation of the wall next to the film

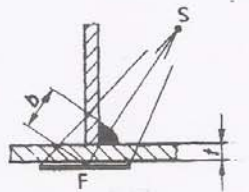


Figure 17 : Test arrangement for penetration of fillet welds

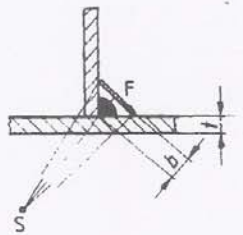


Figure 18 : Test arrangement for penetration of fillet welds

6.1.9 Technique for different material thicknesses (see figure 19)

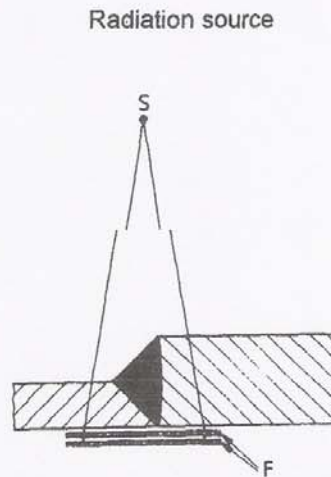
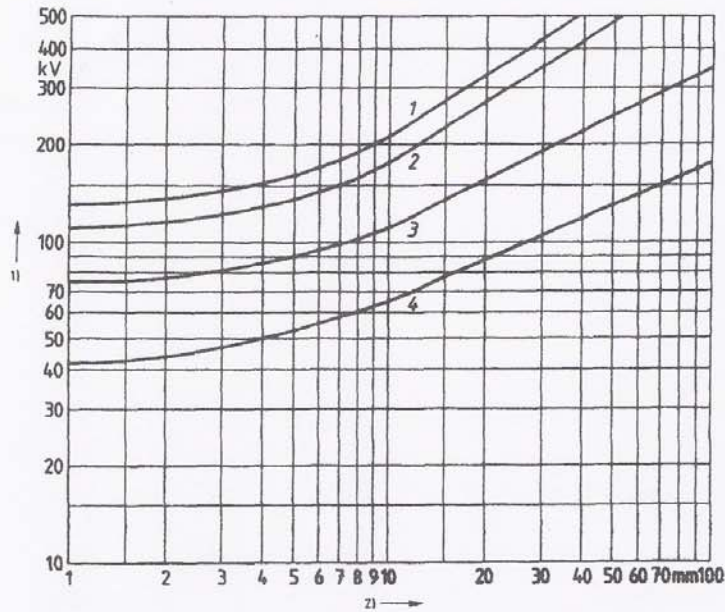


Figure 19 : Multi-film technique

6.2 Choice of tube voltage and radiation source

6.2.1 X-ray devices up to 500.kV

To maintain a good flaw sensitivity, the X-ray tube voltage should be as low as possible. The maximum values of tube voltage versus thickness are given in figure 20.



- 1 Copper/Nickel and alloys
- 2 Steel
- 3 Titanium and alloys
- 4 Aluminium and alloys

Figure 20 : Maximum X-ray voltage for X-ray devices up to 500 kV as a function of penetrated thickness and material

For some applications where there is a thickness change across the area of object being radiographed, a modification of technique with a slightly higher voltage may be used, but it should be noted that an excessively high tube voltage will lead to a loss of defect detection sensitivity. For steel the increment shall be not more than 50 kV, for titanium not more than 40 kV and for aluminium not more than 30 kV.

6.2.2 Other radiation sources

The permitted penetrated thickness ranges for gamma ray sources and X-ray equipment above 1 MeV are given in table 1.

By agreement between the contracting parties the value for Ir 192 may further be reduced to 10 mm and for Se 75 to 5 mm

On thin steel specimens, gamma rays from Se 75, Ir 192 and Co 60 will not produce radiographs having a good defect detection sensitivity as X-rays used with appropriate techniques parameters. However because of the advantages of gamma ray sources in handling and accessibility, table 1 gives a range of thicknesses for which each of these gamma ray sources may be used when the use of X-rays is difficult.

For certain applications wider wall thickness ranges may be permitted, if sufficient image quality can be achieved.

In cases where radiographs are produced using gamma rays, the travel-time to position the source shall not exceed 10 % of the total exposure time.

Table 1 : Penetrated thickness range for gamma ray sources and X-ray equipment with energy from 1 MeV and above for steel, copper and nickel base alloys

Radiation source	Penetrated thickness, w, in mm	
	Test class A	Test class B
Tm 170	$w \leq 5$	$w \leq 5$
Yb 169 ¹⁾	$1 \leq w \leq 15$	$2 \leq w \leq 12$
Se 75 ²⁾	$10 \leq w \leq 40$	$14 \leq w \leq 40$
Ir 192	$20 \leq w \leq 100$	$20 \leq w \leq 90$
Co 60	$40 \leq w \leq 200$	$60 \leq w \leq 150$
X-ray equipment with energy from 1 MeV to 4 MeV	$30 \leq w \leq 200$	$50 \leq w \leq 180$
X-ray equipment with energy from 4 MeV to 12 MeV	$w \geq 50$	$w \geq 80$
X-ray equipment with energy above 12 MeV	$w \geq 80$	$w \geq 100$
1) For aluminium and titanium, the penetrated material thickness is $10 \text{ mm} < w < 70 \text{ mm}$ for class A and $25 \text{ mm} < w < 55 \text{ mm}$ for class B.		
2) For aluminium and titanium, the penetrated material thickness is $35 \text{ mm} \leq w \leq 120 \text{ mm}$ for class A.		

6.3 Film systems and screens

For radiographic examination film system classes shall be used in accordance with EN 584-1.

For different radiation sources the minimum film system classes are given in tables 2 and 3.

When using metal screens good contact between films and screens is required. This may be achieved either by using vacuum-packed films or by applying pressure.

For different radiation sources, tables 2 and 3 show the recommended screens materials and thickness.

Other screen thicknesses may be also agreed between the contracting parties provided the required image quality is achieved.

Table 2 : Film system classes and metal screens for the radiography of steels, copper and nickel based alloys

Radiation source	Penetrated thickness w	Film system class ¹⁾		Type and thickness of metal screens	
		Class A	Class B	Class A	Class B
X-rays potentials ≤ 100 kV		C 5	C 3	None or up to 0,03 mm front and back screens of lead	
X-rays potentials > 100 kV to 150 kV				Up to 0,15 mm front and back screens of lead	
X-rays potentials > 150 kV to 250 kV				C 4	0,02 mm to 0,15 mm front and back screens of lead
Yb 169 Tm 170	w < 5 mm	C 5	C 3	None or up to 0,03 mm front and back screens of lead	
	w ≥ 5 mm		C 4	0,02 mm to 0,15 mm front and back screens of lead	
X-rays potentials > 250 kV to 500 kV	w ≤ 50 mm	C 5	C 4	0,02 mm to 0,2 mm front and back screens of lead	
	w > 50 mm		C 5	0,1 mm to 0,2 mm front screens of lead ²⁾ 0,02 mm to 0,2 mm back screens of lead	
Se 75		C 5	C 4	0,1 mm to 0,2 mm front and back screens of lead	
Ir 192		C 5	C 4	0,02 mm to 0,2 mm front screens of lead	0,1 mm to 0,2 mm front screens of lead ²⁾
				0,02 mm to 0,2 mm back screens of lead	
Co 60	w ≤ 100 mm	C 5	C 4	0,25 mm to 0,7 mm front and back screens of steel or copper ³⁾	
	w > 100 mm		C 5		
X-rays equipment with energy from 1 MeV to 4 MeV	w ≤ 100 mm	C 5	C 3	0,25 mm to 0,7 mm front and back screens of steel or copper ³⁾	
	w > 100 mm		C 5		
X-rays equipment with energy from 4 MeV to 12 MeV	w ≤ 100 mm	C 4	C 4	Up to 1 mm front screen of copper, steel or tantalum ⁴⁾ Back screen of copper or steel up to 1 mm and tantalum up to 0,5 mm ⁴⁾	
	100 mm < w ≤ 300 mm	C 5	C 4		
	w > 300 mm		C 5		
X-rays equipment with energy above 12 MeV	w ≤ 100 mm	C 4	-	Up to 1 mm front screen of tantalum ⁵⁾	
	100 mm < w ≤ 300 mm	C 5	C 4	No back screen	
	w > 300 mm		C 5	Up to 1 mm front screen of tantalum ⁵⁾ Up to 0,5 mm back screen of tantalum	

1) Better film system classes may also be used.
2) Ready packed films with a front screen up to 0,03 mm may be used if an additional lead screen of 0,1 mm is placed between the object and the film.
3) In class A also 0,5 mm to 2,0 mm screens of lead may be used.
4) In class A lead screens 0,5 mm to 1 mm may be used by agreement between the contracting parties.
5) Tungsten screens may be used by agreement.

Table 3 : Film system classes and metal screens for aluminium and titanium

Radiation source	Film system class ¹⁾		Type and thickness of intensifying screens
	Class A	Class B	
X-ray potentials ≤ 150 kV	C 5	C 3	None or up to 0,03 mm front and up to 0,15 mm back screens of lead
X-ray potentials > 150 kV to 250 kV			0,02 mm to 0,15 mm front and back screens of lead
X-ray potentials > 250 kV to 500 kV			0,1 mm to 0,2 mm front and back screens of lead
Yb 169			0,02 mm to 0,15 mm front and back screens of lead
Se 75			0,02 mm front ²⁾ and 0,1 mm to 0,2 mm back screens of lead
<p>1) Better film system classes may also be used.</p> <p>2) Instead of 0,2 mm lead, a 0,1 mm screen with an additional filter of 0,1 mm may be used.</p>			

6.4 Alignment of beam

The beam of radiation shall be directed to the centre of the area being examined and should be perpendicular to the object surface at that point, except when it can be demonstrated that certain imperfections are best revealed by a different alignment of the beam. In this case, an appropriate alignment of the beam can be permitted.

Other ways of radiographing may be agreed between the contracting parties.

6.5 Reduction of scattered radiation

6.5.1 Filters and collimators

In order to reduce the effect of back scattered radiation, direct radiation shall be collimated as much as possible to the section under examination.

With Ir 192 and Co 60 radiation sources or in case of edge scatter a sheet of lead can be used as a filter of low energy scattered radiation between the object and the cassette. The thickness of this sheet is 0,5 mm to 2 mm in accordance with the penetrated thickness.

6.5.2 Interception of back scattered radiation

If necessary, the film shall be shielded from back scattered radiation by an adequate thickness of lead at least 1 mm, or of tin at least 1,5 mm, placed behind the film-screen combination.

The presence of back scattered radiation shall be checked for each new test arrangement by a lead letter B (with a height of minimum 10 mm and a thickness of minimum 1,5 mm) placed immediately behind each cassette. If the image of this symbol records as a lighter image on the radiograph, it shall be rejected. If the symbol is darker or invisible the radiograph is acceptable and demonstrates good protection against scattered radiation.

6.6 Source-to-object distance

The minimum source-to-object distance, f_{\min} , depends on the source size d and on the object-to-film distance, b .

The distance, f , shall, where practicable, be chosen so that the ratio of this distance to the source size, d , i.e. f/d , is not below the values given by the following equations :

$$\text{For class A : } f/d \geq 7,5 \cdot \left(\frac{b}{\text{mm}} \right)^{2/3} \quad (1)$$

$$\text{For class B : } f/d \geq 15 \cdot \left(\frac{b}{\text{mm}} \right)^{2/3} \quad (2)$$

b is given in millimeter (mm).

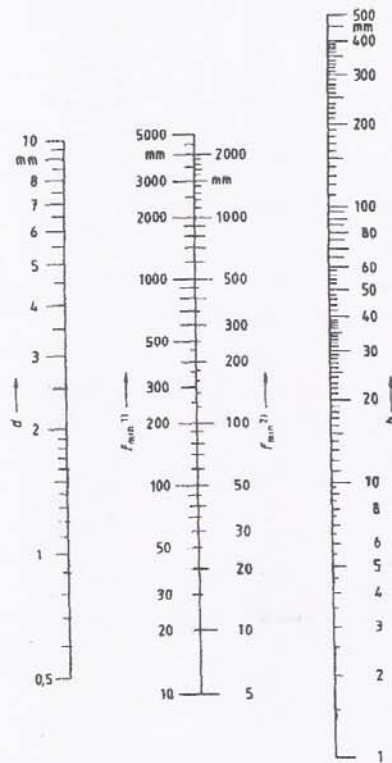
If the distance $b < 1,2 t$ the dimension b in equations (1) and (2) and figure 21 shall be replaced by the nominal thickness t .

For determination of the source-to-object distance, f_{\min} , the nomogram in figure 21 may be used

The nomogram is based on equations (1) and (2).

In class A, if planar imperfections have to be detected the minimum distance f_{\min} shall be the same as for class B in order to reduce the geometric unsharpness by a factor of 2.

In critical technical applications of crack-sensitive materials more sensitive radiographic techniques than class B shall be used.



- 1 Class B
- 2 Class A

Figure 21 : Nomogram for the determination of minimum source-to-object distance f_{\min} in relation to of object-to-film distance and the source size

When using the elliptic technique described in 6.1.6 or the perpendicular technique described in 6.1.7, b shall be replaced by the external diameter, D_e , of the pipe in equation (1) and (2) and in figure 21.

When the source is outside the object and film on the other side (technique described in 6.1.8 as double wall penetration/single image) the source-to-object distance is determined only by the wall thickness.

If the radiation source could be placed inside the object to be radiographed (techniques shown in 6.1.4 and 6.1.5) to achieve a more suitable direction of examination and when a double wall technique (see 6.1.6 to 6.1.8) is avoided this method should be preferred. The reduction in minimum source-to-object distance should not be greater than 20 %.

When the source is located centrally inside the object and film inside (technique shown in 6.1.4) and provided that the IQI requirements are met, this percentage may be increased. However, the reduction in minimum source-to-object distance shall not be greater than 50 %.

6.7 Maximum area for a single exposure

The number of radiographs for a complete examination of flat welds (see figures 1 and 15) and of curved welds with the radiation source arranged off-center (see figures 2 to 4, 8 to 16) should be specified in accordance with technical requirements.

The ratio of the penetrated thickness at the outer edge of an evaluated area of uniform thickness to that at the center beam shall not be more than 1,1 for class B and 1,2 for class A.

The densities resulting from any variation of penetrated thickness should not be lower than those indicated in 6.8 and not higher than those allowed by the available illuminator, provided suitable masking is possible.

The size of the area to be examined includes the weld and the heat affected zones. In general, about 10 mm of parent metal shall be examined on each side of the weld.

A recommendation for the number of radiographs is indicated in annex A which gives an acceptable examination of a circumferential butt weld.

6.8 Density of radiograph

Exposure conditions should be such that the minimum optical density of the radiograph in the area examined is greater than or equal to those given in table 4.

Table 4 : Optical density of the radiographs

Class	Optical density ¹⁾
A	$\geq 2,0$ ²⁾
B	$\geq 2,3$ ³⁾

1) A measuring tolerance of $\pm 0,1$ is permitted.
2) May be reduced by special agreement between the contracting parties to 1,5.
3) May be reduced by special agreement between the contracting parties to 2,0.

High optical densities can be used with advantage where the viewing light is sufficiently bright in accordance with 6.10.

In order to avoid unduly high fog densities arising from film ageing, development or temperature, the fog density shall be checked periodically on a non-exposed sample taken from the films being used, and handled and processed under the same conditions as the actual radiograph. The fog density shall not exceed 0,3. Fog density here is defined as the total density (emulsion and base) of a processed, unexposed film.

When using a multi-film technique with interpretation of single films the optical density of each film shall be in accordance with table 4.

If double film viewing is requested the optical density of one single film shall not be lower than 1,3.

6.9 Processing

Films are processed in accordance with the conditions recommended by the film and chemical manufacturer to obtain the selected film system class. Particular attention shall be paid to temperature, developing time and washing time. The film processing shall be controlled regularly in accordance with EN 584-2. The radiographs should be free from defects due to processing or other causes which would interfere with interpretation.

6.10 Film viewing conditions

The radiographs should be examined in a darkened room on an area of the viewing screen with an adjustable luminance in accordance with EN 25580. The viewing screen should be masked to the area of interest.

7 Examination report

For each exposure, or set of exposures, an examination report shall be made giving information on the radiographic technique used, and on any other special circumstances which would allow a better understanding of the results.

The examination report shall include at least the following information :

- a) Name of the examination body ;
- b) Object ;
- c) Material ;
- d) Heat treatment ;
- e) Geometry of the weld ;
- f) Material thickness ;
- g) Welding process ;
- h) Specification of examination including requirements for acceptance ;
- i) Radiographic technique and class, required IQI sensitivity in accordance with this standard ;
- j) Test arrangement in accordance with 6.1 ;
- k) System of marking used ;
- l) Film position plan ;
- m) Radiation source, type and size of focal spot and identification of equipment used ;
- n) Film, screens and filters ;
- o) Used tube voltage and current or source activity ;
- p) Time of exposure and source-to-film distance ;
- q) Processing technique : manual/automatic ;
- r) Type and position of image quality indicators ;
- s) Results of examination including data on film density, reading of IQI ;
- t) Any deviation from this standard, by special agreement ;
- u) Name, certification and certification of the responsible person(s) ;
- v) Date(s) of exposure and examination report.

Annex A (normative)

Recommended number of exposures which give an acceptable examination of a circumferential butt weld

The minimum number of exposures required is presented in figures A.1 to A.4 which are valid for pipes with an outside diameter exceeding 100 mm.

When the deviation of the wall thickness of the joint to be examined when using a single exposure $\Delta t/t$ does not exceed 20 % figures A.3 and A.4 are used. This technique is recommended only when the possibility of having transverse cracks is small or the weld is examined for such imperfections by other non-destructive examination methods.

When $\Delta t/t$ is less or equal to 10 %, figures A.1 and A.2 are used. In this case it is likely that transverse cracks also will be detected.

If the object is examined for single transverse cracks then the required minimum number of radiographs will increase compared with the values in figures A.1 to A.4.

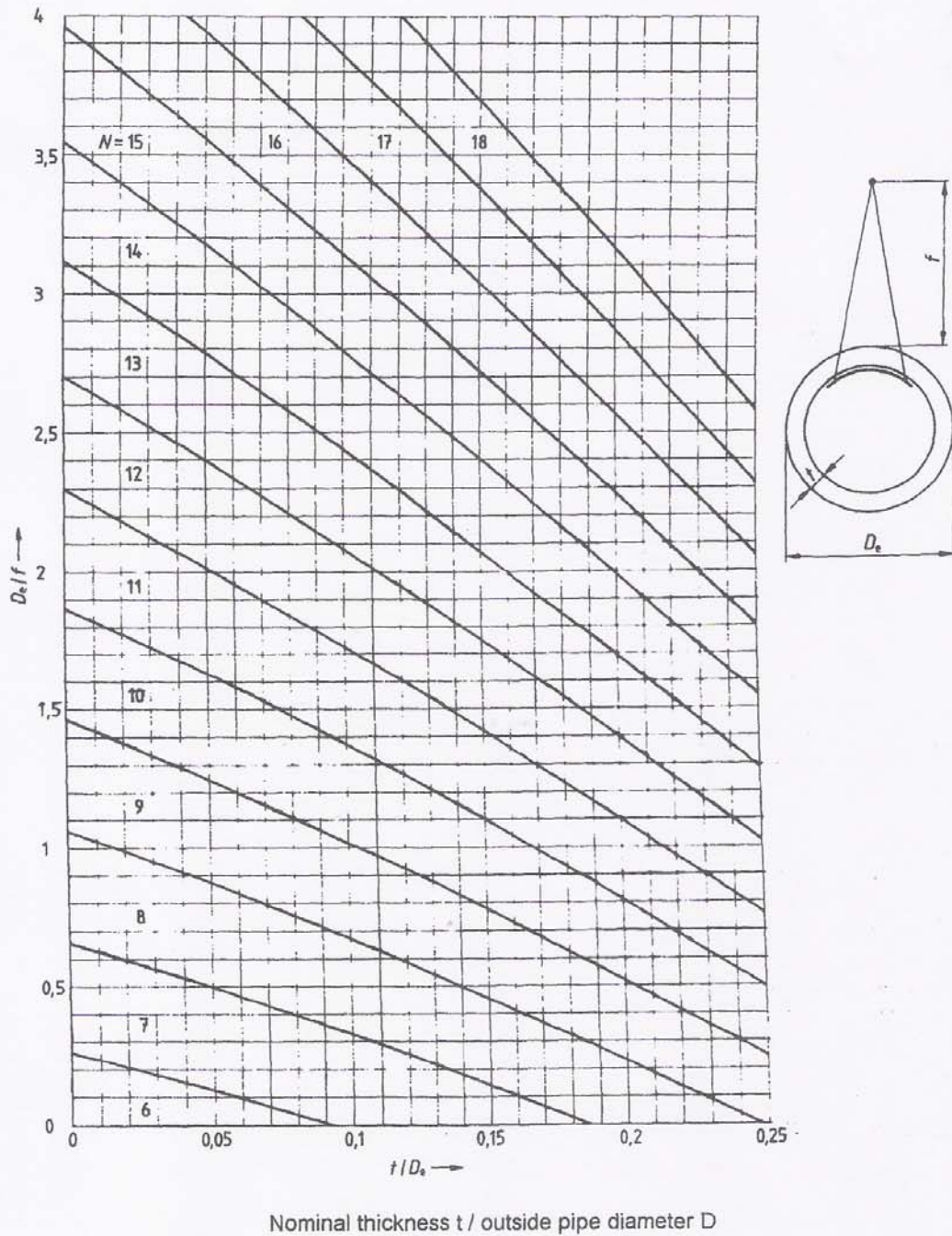


Figure A.1 : Minimum number of exposures, N , for single-wall penetration with source outside, with a maximum permissible increase in penetrated thickness $\Delta t/t$ due to inclined penetration in the areas to be evaluated of 10 %, as a function of ratios t/D_e and D_e/f

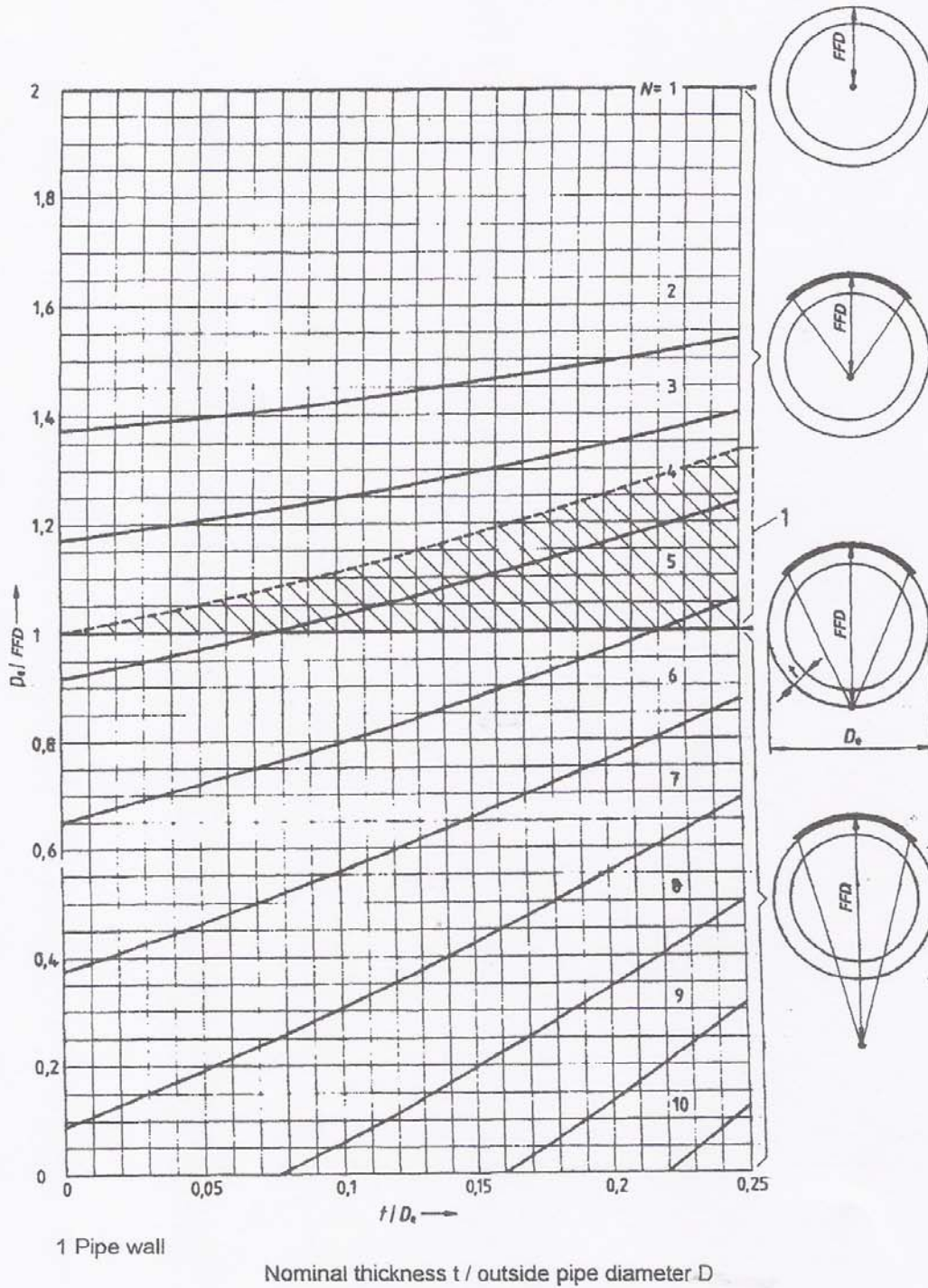


Figure A.2 : Minimum number of exposures, N , for off-centre penetration with source inside and double-wall penetration, with a maximum permissible increase in penetrated thickness $\Delta t/t$ due to inclined penetration in the areas to be evaluated of 10 %, as a function of ratios t/D_e and D_e/FFD

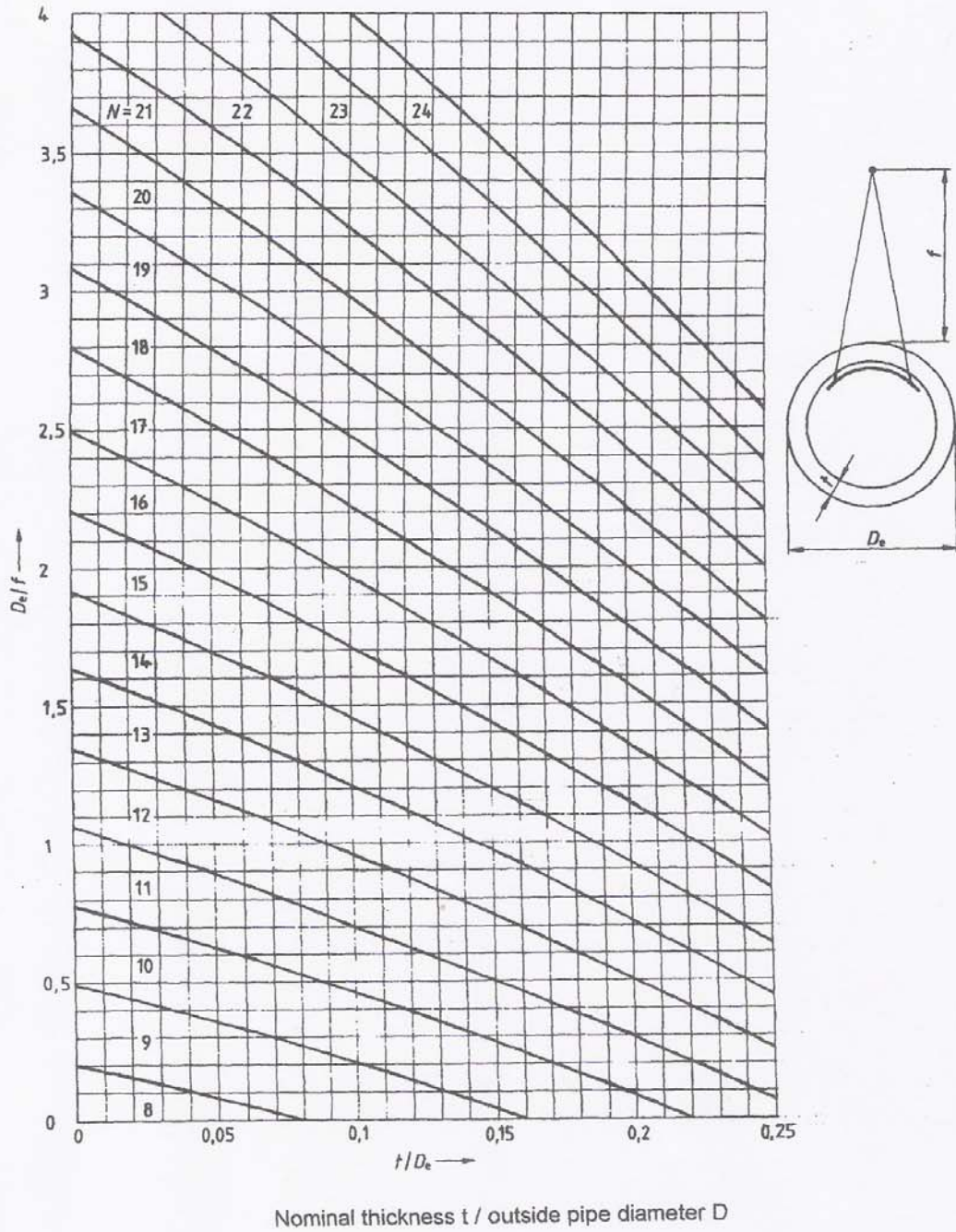


Figure A.3 : Minimum number of exposures, N , for single-wall penetration with source outside, with a maximum permissible increase in penetrated thickness $\Delta t/t$ due to inclined penetration in the areas to be evaluated of 20 %, as a function of ratios t/D_e and D_e/f

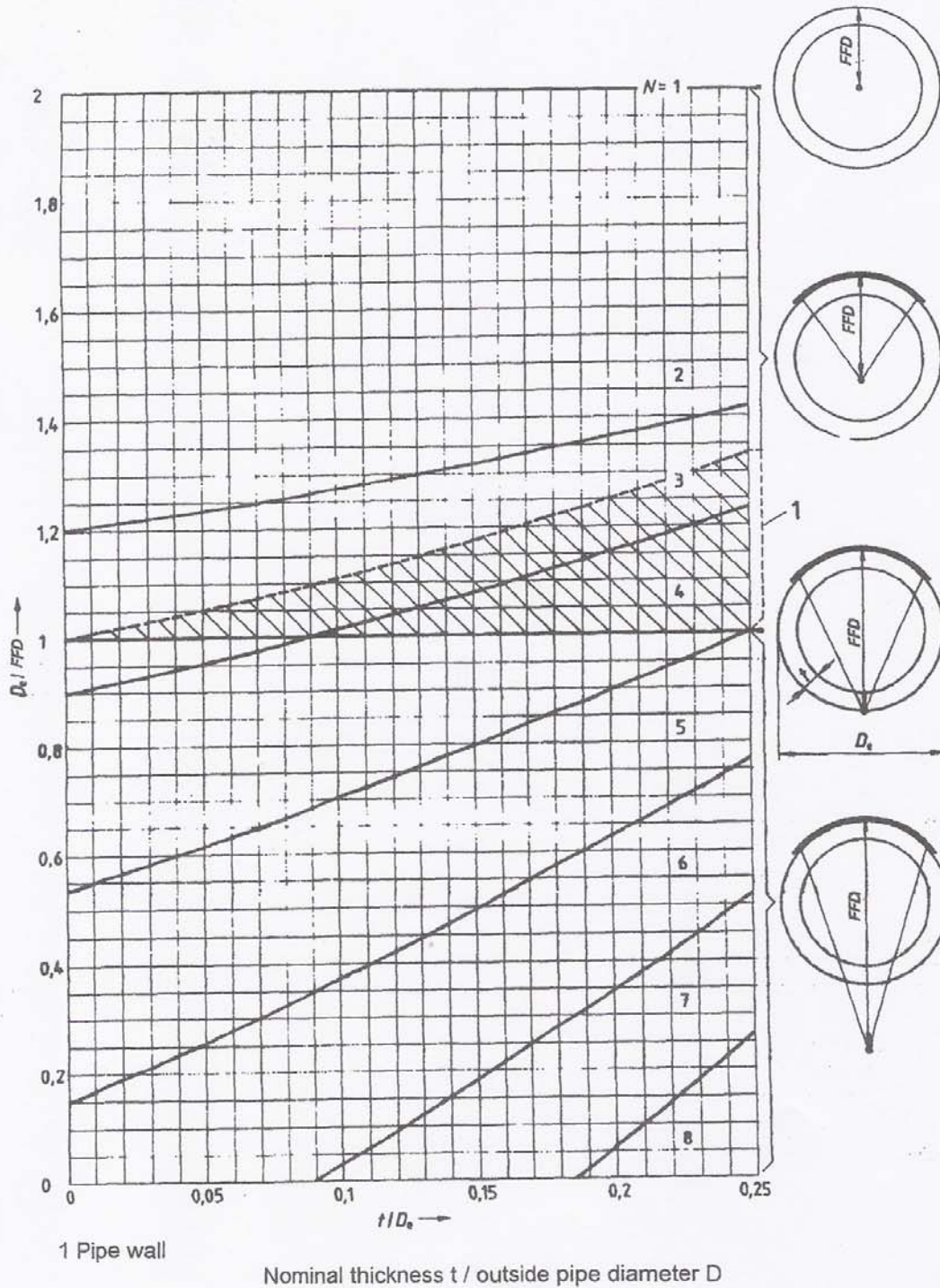


Figure A.4 : Minimum number of exposures, N , for off-centre penetration with source inside and double-wall penetration, with a maximum permissible increase in penetrated thickness $\Delta t/t$ due to inclined penetration in the areas to be evaluated of 20 %, as a function of ratios t/D_e and D_e/FFD

Annex B (normative)

Minimum image quality values

Single-wall technique ; IQI on source side

Table B.1 : Wire IQI

Image quality class A		
Nominal thickness <i>t</i> mm		IQI value 1)
	to 1,2	W 18
above	1,2 to 2,0	W 17
above	2,0 to 3,5	W 16
above	3,5 to 5,0	W 15
above	5,0 to 7	W 14
above	7 to 10	W 13
above	10 to 15	W 12
above	15 to 25	W 11
above	25 to 32	W 10
above	32 to 40	W 9
above	40 to 55	W 8
above	55 to 85	W 7
above	85 to 150	W 6
above	150 to 250	W 5
above	250	W 4
1) When using Ir 192 sources, IQI values lower than listed values can be accepted as follows :		
10 mm to 24 mm : up to 2 values		
above 24 mm to 30 mm : up to 1 value.		

Table B.2 : Step/hole IQI

Image quality class A		
Nominal thickness <i>t</i> mm		IQI value 1)
	to 2,0	H 3
above	2,0 to 3,5	H 4
above	3,5 to 6	H 5
above	6 to 10	H 6
above	10 to 15	H 7
above	15 to 24	H 8
above	24 to 30	H 9
above	30 to 40	H 10
above	40 to 60	H 11
above	60 to 100	H 12
above	100 to 150	H 13
above	150 to 200	H 14
above	200 to 250	H 15
above	250 to 320	H 16
above	320 to 400	H 17
above	400	H 18
1) When using Ir 192 sources, IQI values lower than listed values can be accepted as follows		
10 mm to 24 mm : up to 2 values		
above 24 mm to 30 mm : up to 1 value.		

Sigle-wall technique ; IQI on source side

Table B.3 : Wire IQI

Image quality class B			
Nominal thickness <i>t</i> mm			IQI value 1)
	to	1,5	W 19
above	1,5 to	2,5	W 18
above	2,5 to	4	W 17
above	4 to	6	W 16
above	6 to	8	W 15
above	8 to	12	W 14
above	12 to	20	W 13
above	20 to	30	W 12
above	30 to	35	W 11
above	35 to	45	W 10
above	45 to	65	W 9
above	65 to	120	W 8
above	120 to	200	W 7
above	200 to	350	W 6
above	350		W 5
1) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :			
12 mm to 40 mm : up to 1 value.			

Table B.4 : Step/hole IQI

Image quality class B			
Nominal thickness <i>t</i> mm			IQI value 1)
	to	2,5	H 2
above	2,5 to	4	H 3
above	4 to	8	H 4
above	8 to	12	H 5
above	12 to	20	H 6
above	20 to	30	H 7
above	30 to	40	H 8
above	40 to	60	H 9
above	60 to	80	H 10
above	80 to	100	H 11
above	100 to	150	H 12
above	150 to	200	H 13
above	200 to	250	H 14
1) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :			
12 mm to 40 mm : up to 1 value.			

Double-wall technique ; double image ; IQI on source side

Table B.5 : wire IQI

Image quality class A			
Penetrated thickness w mm			IQI value
	to	1,2	W 18
above	1,2 to	2	W 17
above	2 to	3,5	W 16
above	3,5 to	5	W 15
above	5 to	7	W 14
above	7 to	12	W 13
above	12 to	18	W 12
above	18 to	30	W 11
above	30 to	40	W 10
above	40 to	50	W 9
above	50 to	60	W 8
above	60 to	85	W 7
above	85 to	120	W 6
above	120 to	220	W 5
above	220 to	380	W 4
above	380		W 3

Table B.6 : Step/hole IQI

Image quality class A			
Penetrated thickness w mm			IQI value 1)
	to	1	H 3
above	1 to	2	H 4
above	2 to	3,5	H 5
above	3,5 to	5,5	H 6
above	5,5 to	10	H 7
above	10 to	19	H 8
above	19 to	35	H 9

1) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :

up to 3,5 mm : up to 2 values
above 3,5 mm to 10 mm : up to 1 value.

Double-wall technique ; double image ; IQI on source side

Table B.7 : Wire IQI

Image quality class B			
Penetrated thickness w mm			IQI value
	to	1,5	W 19
above	1,5 to	2,5	W 18
above	2,5 to	4	W 17
above	4 to	6	W 16
above	6 to	8	W 15
above	8 to	15	W 14
above	15 to	25	W 13
above	25 to	38	W 12
above	38 to	45	W 11
above	45 to	55	W 10
above	55 to	70	W 9
above	70 to	100	W 8
above	100 to	170	W 7
above	170 to	250	W 6
above	250		W 5

Table B.8 : Step/hole IQI

Image quality class B			
Penetrated thickness w mm			IQI value 1)
	to	1	H 2
above	1 to	2,5	H 3
above	2,5 to	4	H 4
above	4 to	6	H 5
above	6 to	11	H 6
above	11 to	20	H 7
above	20 to	35	H 8

1) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :
4 mm to 11 mm : up to 1 value.

Double-wall technique ; single or double image ; IQI on film side

Table B.9 : Wire IQI

Image quality class A			
Penetrated thickness w mm			IQI value
	to	1,2	W 18
above	1,2 to	2	W 17
above	2 to	3,5	W 16
above	3,5 to	5	W 15
above	5 to	10	W 14
above	10 to	15	W 13
above	15 to	22	W 12
above	22 to	38	W 11
above	38 to	48	W 10
above	48 to	60	W 9
above	60 to	85	W 8
above	85 to	125	W 7
above	125 to	225	W 6
above	225 to	375	W 5
above	375		W 4

Table B.10 : Step/hole IQI

Image quality class A			
Penetrated thickness w mm			IQI value 1)
	to	2	H 3
above	2 to	5	H 4
above	5 to	9	H 5
above	9 to	14	H 6
above	14 to	22	H 7
above	22 to	36	H 8
above	36 to	50	H 9
above	50 to	80	H 10

1) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :

5 mm to 9 mm : up to 2 values
above 9 mm to 22 mm : up to 1 value.

Double-wall thickness ; single or double image ; IQI on film side

Table B.11 : Wire IQI

Image quality class B			
Penetrated thickness w mm			IQI value
	to	1,5	W 19
above	1,5 to	2,5	W 18
above	2,5 to	4	W 17
above	4 to	6	W 16
above	6 to	12	W 15
above	12 to	18	W 14
above	18 to	30	W 13
above	30 to	45	W 12
above	45 to	55	W 11
above	55 to	70	W 10
above	70 to	100	W 9
above	100 to	180	W 8
above	180 to	300	W 7
above	300		W 6

Table B.12 : Step/hole IQI

Image quality class B			
Penetrated thickness w mm			IQI value 1)
	to	2,5	H 2
above	2,5 to	5,5	H 3
above	5,5 to	9,5	H 4
above	9,5 to	15	H 5
above	15 to	24	H 6
above	24 to	40	H 7
above	40 to	60	H 8
above	60 to	80	H 9

15) When using Ir 192 sources, IQI values worse than listed values can be accepted as follows :

5,5 mm to 9,5 mm : up to 2 values
above 9,5 mm to 24 mm : up to 1 value.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Ι.Ν. Πρασιανάκης, «Μη καταστροφικός έλεγχος υλικών και κατασκευών με ακτινογραφίες»
2. Χρυσουλάκη Γ. Δ., Παντελή Δ. Ι., «Επιστήμη και Τεχνολογία των Μεταλλικών Υλικών», Εκδόσεις Παπασωτηρίου, Αθήνα 1996
3. Αθάν. Γ. Μάμαλη, «Κατεργασίες των Υλικών», Εκδόσεις Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου, Αθήνα 1991
4. Μ. Κ. Κωτούζας, «Βιομηχανική Ραδιογραφία, Σημειώσεις Θεωρίας», Κέντρο Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου, Βόλος 2002
5. American Welding Society, «Welding Inspection», American Welding Society, second edition, 1980
6. General Dynamics Convair Division, «Non-Destructive Testing / Classroom Training Handbook / Radiography Testing», General Dynamics, 1977
7. American Society for Non-Destructive Testing, «Materials and Processes for NDT Technology», ASNT, 1981
8. General Electric Inspection Technologies, «Operating Manual ERESKO MF3 Series», GE Inspection Technologies GmbH, July 2007
9. George C. Wheeler, «A Guide to Personnel Qualification and Certification», The American Society for Nondestructive Testing
10. The American Society for Nondestructive Testing, «Recommended Practice No. SNT-TC-1A», The American Society for Nondestructive Testing, 2006
11. European Committee for Standardization, «EN 473, Non destructive testing – Qualification and certification of NDT personnel – General principles», European Committee for Standardization, October 2000
12. European Committee for Standardization, «EN ISO 6520-1, Welding and allied processes – Classification of geometric imperfections in metallic materials – Part 1 : Fusion Welding(ISO 6520-1 : 1998)», European Committee for Standardization, October 1998
13. European Committee for Standardization, «EN ISO 5817, Welding – Fusion-welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys (beam welding excluded) – Quality levels for imperfections (ISO 5817 : 2003)», European Committee for Standardization, October 2003

14. European Committee for Standardization, «EN 12517-1, Non-destructive testing of welds – Part 1 : Evaluation of welded joints in steel, nickel, titanium and their alloys by radiography – Acceptance levels», European Committee for Standardization, March 2006
15. European Committee for Standardization, «EN 10025-2, Hot rolled products of structural steels – Part 2 : Technical delivery conditions for non-alloy structural steels», European Committee for Standardization, November 2004
16. European Committee for Standardization, «EN 895, Zerstorende Prufung von Schweissverbindungen an metallischen Werkstoffen», European Committee for Standardization, August 1995
17. Bohler Welding, «Welding Guide»

ΠΗΓΕΣ ΔΙΑΔΙΚΤΥΟΥ

1. www.ndt-ed.org
2. www.wikipedia.com
3. www.ndt.net
4. www.asnt.org
5. www.cen.eu