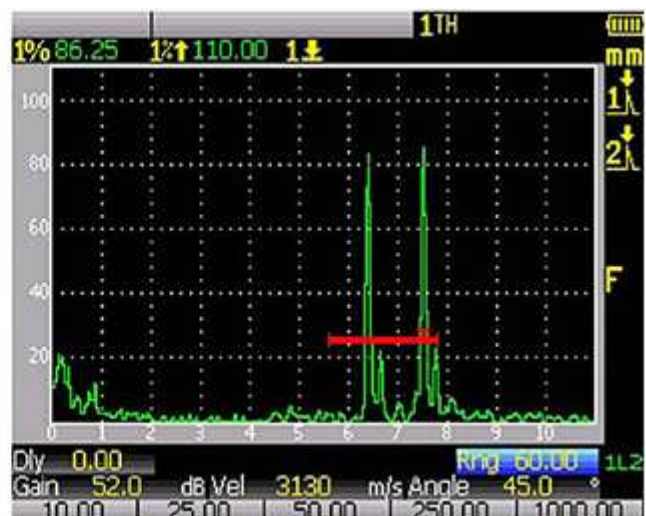
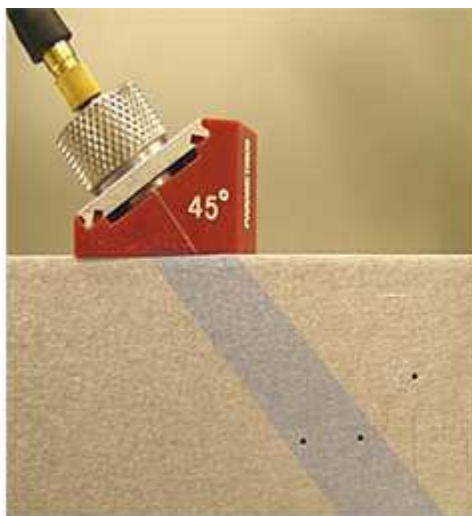




**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ  
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΤΟΜΕΑΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ  
ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ**



**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΠΡΟΔΡΟΜΙΔΗΣ**

**Επιβλέπων Καθηγητής : Β. Ι. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ**

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ**

<b>1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	8
<b>1.2 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (Visual Inspection)</b> .....	12
1.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	12
1.2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	16
<b>1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΙ ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ (ELECTRICAL METHODS)</b> .....	18
1.3.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	18
1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	20
<b>1.4 ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (PENETRANT METHOD)</b> .....	22
1.4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ.....	22
1.4.2 ΤΥΠΟΙ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ.....	22
1.4.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	22
1.4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	23
<b>1.5 ΜΑΓΝΗΤΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ</b> .....	24
1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ.....	24
1.5.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	27
1.5.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	28
<b>1.6 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ (RADIOGRAPHY)</b> .....	29
1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	29
1.6.2 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ - Χ.....	30
1.6.3 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ.....	31
1.6.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	31
<b>1.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ</b> .....	32
1.7.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ .....	32
1.7.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ.....	33
<b>1.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ</b> .....	34
<b>1.9 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ</b> .....	40
1.9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	40
1.9.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	40
1.9.3 ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ Μ.Κ.Ε. ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.....	41
1.9.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ.....	41

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ**

<b>2.1 ΗΧΟΙ – ΥΠΕΡΗΧΟΙ ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ</b> .....	43
<b>2.2 ΗΧΟΙ – ΥΠΕΡΗΧΟΙ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ</b> .....	44

<b>2.3 ΕΙΔΗ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ</b> .....	45
2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ.....	45
2.3.2 ΔΙΑΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ.....	46
2.3.3 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	46
2.3.4 ΚΥΜΑΤΑ ΠΛΑΚΩΝ Ή ΚΥΜΑΤΑ ΤΟΥ LAMB.....	48
2.3.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ.....	49
2.3.6 ΚΥΜΑΤΑ ΣΤΡΕΨΕΩΣ.....	49
<b>2.4 Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ</b> .....	50
2.4.1 ΚΑΘΕΤΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΤΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ.....	50
2.4.2. ΠΛΑΓΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ.....	52
<b>2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΣΜΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ</b> .....	53
2.5.1 ΝΕΚΡΗ ΖΩΝΗ.....	54
2.5.2 ΕΓΓΥΣ ΖΩΝΗ (ΖΩΝΗ FRENSEL).....	55
2.5.3 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ( FAR FIELD ).....	56

### **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ**

<b>3.1 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ</b> .....	58
3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ.....	58
3.1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	58
3.1.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	59
3.1.4 ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ.....	61
3.1.5 ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ.....	62
<b>3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ</b> .....	64
3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ.....	66
3.2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ.....	67
<b>3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ</b> .....	69
3.3.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	69
3.3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΥΠΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ.....	70
3.3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ EN ISO 6520-1.....	72
3.3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ A.W.S. (American Welding Society) .....	72
<b>3.4 ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ</b> .....	74
<b>3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΥΠΙΚΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ</b> .....	76
3.5.1 ΡΩΓΜΕΣ.....	76
3.5.1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	78
3.5.1.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	79
3.5.2 ΣΠΗΛΛΙΩΣΕΙΣ.....	79
3.5.2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	80
3.5.2.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	81

3.5.3 ΣΤΕΡΕΑ ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ.....	82
3.5.3.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	83
3.5.3.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	84
3.5.4 ΑΤΕΛΗΣ ΤΗΞΗ Η ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ.....	84
3.5.4.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	85
3.5.4.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	86
3.5.5 ΑΤΕΛΕΣ ΣΧΗΜΑ Η ΑΝΩΜΑΛΗ ΟΨΗ.....	86
3.5.5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	88
3.5.5.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	88
3.5.6 ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΛΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ.....	89
3.5.6.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ.....	89
3.5.6.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	89

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ**

<b>4.1 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ.....</b>	<b>90</b>
4.1.1 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ.....	91
4.1.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΣΤΟΥΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	92
4.1.2.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ.....	92
4.1.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	93
4.1.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ.....	94
4.1.3.1 ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	94
4.1.3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	95
4.1.3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΓΡΟΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ( COUPLANT ).....	95
4.1.3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΕΦΑΛΩΝ.....	96
<b>4.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....</b>	<b>99</b>
4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ( CALIBRATION ).....	99
4.2.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ( CALIBRATION BLOCKS ).....	101
4.2.2.1 ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ $V_1$ .....	101
4.2.2.2 ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ $V_2$ .....	102
4.2.2.3 ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ VW.....	103
4.2.2.4 ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ.....	104
4.2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ.....	105
<b>4.3 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΜΕ ΚΕΦΑΛΗ ΚΑΘΕΤΗΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ.....</b>	<b>110</b>
<b>4.4 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΡΙΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....</b>	<b>111</b>
<b>4.5 Η ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΗ ΡΙΖΑ.....</b>	<b>116</b>
<b>4.6 Η ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΚΥΡΙΟ ΟΓΚΟ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....</b>	<b>119</b>
<b>4.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ.....</b>	<b>121</b>
4.7.1 ΘΕΣΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ.....	121
4.7.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ.....	122
4.7.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ.....	123

<b>4.8 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ</b> .....	128
4.8.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ.....	128
4.8.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ.....	129
4.8.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ DGS ( DISTANCE GAIN SIZE METHOD ).....	131
4.8.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΕΣΩ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ.....	134
4.8.4.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΣΜΗΣ - ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ.....	135
4.8.4.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΙΣΟΥ ΥΨΟΥΣ (HALF AMPLITUDE TECHNIQUE).....	137
4.8.5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ.....	140
<b>4.9 ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ</b> .....	141
4.9.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ.....	141
<b>4.10 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ-ΕΥΡΟΥΣ ( DISTANCE AMPLITUDE CURVE- DAC )</b> .....	141
<b>4.11 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ</b> .....	148
<b>4.12 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ</b> .....	148

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

<b>5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	150
5.1.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	150
5.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	150
5.1.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	151
5.1.4 ΖΩΝΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ.....	152
5.1.4.1 Δοκίμιο $G_1$ .....	152
5.1.4.2 Δοκίμιο $G_2$ .....	153
5.1.4.3 Δοκίμιο $G_3$ .....	155
5.1.4.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ.....	156

<b>5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ.....</b>	<b>158</b>
<b>5.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>.....</b>	<b>159</b>
5.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	159
5.3.1.α) ΘΕΣΗ X = 74mm.....	159
5.3.1.β) ΘΕΣΗ X = 110mm.....	161
5.3.1.γ) ΘΕΣΗ X = 215mm.....	162
5.3.1.δ) ΘΕΣΗ X = 230mm.....	164
5.3.1.ε) ΘΕΣΗ X = 265mm.....	166
5.3.1.στ) ΘΕΣΗ X = 324mm.....	167
5.3.1.ζ) ΘΕΣΗ X = 380mm.....	169
5.3.1.η) ΘΕΣΗ X = 476mm.....	171
5.3.1.θ) ΘΕΣΗ X = 656mm.....	172
5.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	174
5.3.2.α) ΘΕΣΗ X = 493mm.....	174
5.3.2.β) ΘΕΣΗ X = 575mm.....	175
5.3.2.γ) ΘΕΣΗ X = 600mm.....	176
5.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G <sub>1</sub> .....	178
<b>5.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>.....</b>	<b>179</b>
5.4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	179
5.4.1α) ΘΕΣΗ X = 57mm.....	179
5.4.1β) ΘΕΣΗ X = 80mm.....	181
5.4.1γ) ΘΕΣΗ X = 175mm.....	182
5.4.1δ) ΘΕΣΗ X = 215mm.....	183
5.4.1ε) ΘΕΣΗ X = 225mm.....	184
5.4.1στ) ΘΕΣΗ X = 295mm.....	185
5.4.1ζ) ΘΕΣΗ X = 385mm.....	186
5.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	187
5.4.2α) ΘΕΣΗ X = 405mm.....	187
5.4.2β) ΘΕΣΗ X = 650mm.....	188
5.4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G <sub>2</sub> .....	189
<b>5.5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>.....</b>	<b>190</b>
5.5.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	190
5.5.1α) ΘΕΣΗ X = 52mm.....	190
5.5.1β) ΘΕΣΗ X = 250 mm.....	191
5.5.1γ) ΘΕΣΗ X = 270 mm.....	193
5.5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ.....	194
5.5.2α) ΘΕΣΗ X = 125mm.....	194
5.5.2β) ΘΕΣΗ X = 180 mm.....	195
5.5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G <sub>3</sub> .....	197

<b>5.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DAC Ø3.....</b>	<b>198</b>
5.6.1 ΔΟΚΙΜΙΟ G <sub>1</sub> .....	198
5.6.2 ΔΟΚΙΜΙΟ G <sub>2</sub> .....	203
5.6.3 ΔΟΚΙΜΙΟ G <sub>3</sub> .....	205

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

<b>6.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ .....</b>	<b>207</b>
<b>6.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.....</b>	<b>209</b>
<b>6.3 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ.. ..</b>	<b>210</b>
<b>6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....</b>	<b>210</b>
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....</b>	<b>211</b>

## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**

<b>ΕΚΘΕΣΗ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ ΚΩΔΙΚΟ G<sub>1</sub>.....</b>	<b>213</b>
---	------------

# 1 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εποχή μας η μηχανολογική βιομηχανική εξέλιξη βασίζεται κατά έναν μεγάλο βαθμό σε συγκολλητά στοιχεία κατασκευών και κατ' επέκταση σε συγκολλητές κατασκευές. Έτσι, η ποιότητα της συγκόλλησης καθίσταται παράγοντας μέγιστης σημασίας για την ακριβή και αξιόπιστη λειτουργία μιας μηχανολογικής κατασκευής. Η ποιότητα αυτή εξαρτάται κατά πρώτον από τις μηχανικές ιδιότητες του υλικού που χρησιμοποιείται καθώς, βέβαια, και από την ορθότητα των συγκολλήσεων που φέρει η συγκεκριμένη κατασκευή.

Ο όρος ποιοτική συγκόλληση με τη σειρά του εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι αναλύονται αργότερα, και υποδηλώνει ότι ο βαθμός αξιοπιστίας της είναι τέτοιος που να την καθιστά κατάλληλη για τον λειτουργικό ρόλο που θα παίξει όντας στοιχείο μιας πολυπλοκότερης κατασκευής. Ακόμη αποτελεί κοινό τόπο ότι ο ποιοτικός έλεγχος μιας συγκόλλησης πρέπει να είναι ανάλογος του σκοπού που εξυπηρετεί αυτή, και να λαμβάνονται πάντοτε υπόψη οι διεθνείς κανονισμοί και προδιαγραφές καθώς επίσης και οικονομικοί παράγοντες για να επιτευχθεί τελικά το επιθυμητό επίπεδο αξιοπιστίας.

Οι υψηλές απαιτήσεις όσον αφορά ποιοτικές, δηλαδή αξιόπιστες κατασκευές επέφεραν νέες εξελίξεις στον τομέα της τεχνολογίας και στην επιστήμη των υλικών με στόχο καλύτερους και λεπτομερέστερους ποιοτικούς ελέγχους με απώτερο στόχο βέβαια την εξασφάλιση της επιθυμητής ποιότητας συγκολλητής κατασκευής και άρα διασφάλιση, στην πλειονότητα των περιπτώσεων, της ανθρώπινης ζωής.

Για να έχουμε λοιπόν ανθεκτικές και οικονομικές κατασκευές, είναι αναγκαίο να γνωρίζουμε πολύ καλά τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούμε, όπως και τη συμπεριφορά τους τόσο στις διάφορες καταπονήσεις όσο και στις συνθήκες περιβάλλοντος. Έτσι λοιπόν η σχεδίαση και η μελέτη της εκάστοτε κατασκευής προϋποθέτει τη γνώση των μέγιστων προβλεπόμενων φορτίων που θα υποστεί η κατασκευή κατά την διάρκεια ζωής της, ώστε να μην αντιμετωπιστούν προβλήματα αστοχίας.

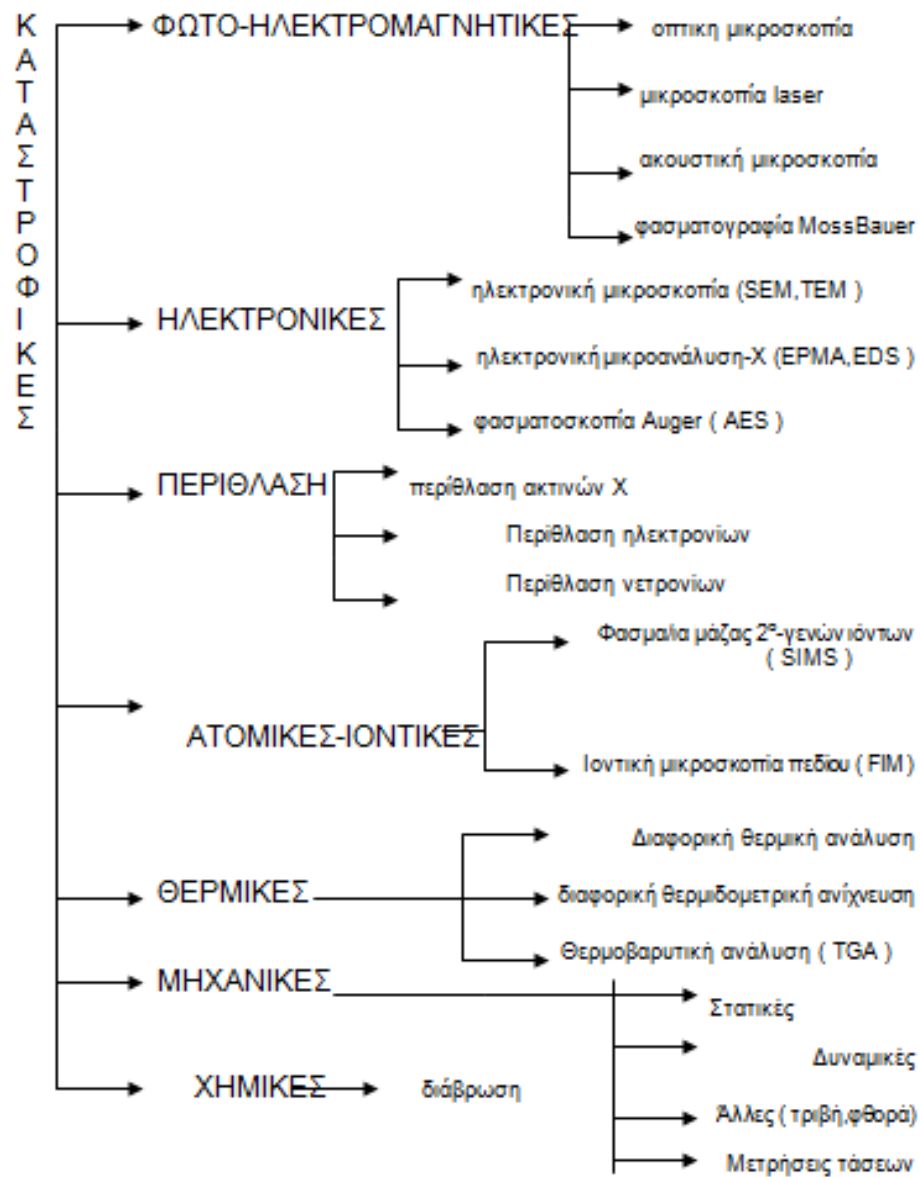


Για το λόγο αυτό πρέπει οι υπολογισμοί των μέγιστων καταπονήσεων να είναι όσο το δυνατόν ακριβέστεροι, αλλά και η συμπεριφορά των υλικών να είναι γνωστή. Έτσι, και με τη βοήθεια και εξέλιξη της πειραματικής έρευνας, θεσπίστηκαν πειραματικοί τρόποι προσδιορισμού των στοιχείων αυτών.

Είναι γνωστές δύο μέθοδοι ποιοτικού ελέγχου των κατασκευών: α) οι καταστροφικοί έλεγχοι (Destructive Testing- DT) και β) οι μη καταστροφικοί έλεγχοι (Non- Destructive Testing- NDT). Σήμερα οι μη καταστροφικοί έλεγχοι τυγχάνουν μεγάλης εφαρμογής μιας και είναι αρκετά αξιόπιστοι, γίνονται στον τόπο λειτουργίας της κατασκευής, είναι γρήγοροι και δεν απαιτούν την καταστροφή της κατασκευής.

Οι καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου απαιτούν την κατασκευή δοκιμίων και τη μεταφορά τους σε ειδικό εργαστήριο αντοχής υλικών για τον σχετικό έλεγχο. Με λίγα λόγια χρειάζεται απόσπαση δείγματος από το προς εξέταση υλικό, δεδομένων διαστάσεων. Στην περίπτωση αυτή, όπως υποδηλώνει και η ονομασία «καταστροφικός έλεγχος», απαιτείται η επέμβαση στην στερεότητα της κατασκευής, αφού όπως αναφέρθηκε πριν για τη διεξαγωγή του ελέγχου αποσπάται κομμάτι του υλικού. Έτσι όπως είναι λογικό οι καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου απαιτούν χρόνο και ένα πολύ σημαντικό τους μειονέκτημα είναι το ότι δεν μπορούν να εφαρμοστούν στον τόπο λειτουργίας της κατασκευής.

Στο διάγραμμα 1 συνοψίζονται οι διάφορες κατηγορίες καταστροφικού ελέγχου



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ 1:ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΙ ΕΛΕΓΧΟΙ ( DESTRUCTIVE TESTING – DT )

Σε όλα τα προβλήματα που αντιμετώπιζαν οι ελεγκτές κατά τη διάρκεια των καταστροφικών ελέγχων λύση έδωσαν οι μη καταστροφικοί έλεγχοι των υλικών. Οι έλεγχοι αυτοί τη σημερινή εποχή χρησιμοποιούνται ευρέως για τη διερεύνηση της ποιότητας, της ακεραιότητας, των ιδιοτήτων και των διαστάσεων υλικών και εξαρτημάτων χωρίς να δημιουργούνται ανεπανόρθωτες βλάβες και καταστροφή των κατασκευών, πράγμα που σημαίνει αύξηση κόστους ή αδυναμία περαιτέρω ελέγχου και διενέργειας

επισκευών αυτών. Οι μη καταστροφικοί έλεγχοι δεν αλλοιώνουν τα χαρακτηριστικά των υλικών και οι περισσότερες από αυτές είναι εντελώς ακίνδυνες για τον άνθρωπο (π.χ. υπέρηχοι). Ακόμα, μπορούν να εφαρμοστούν σε κατασκευές που βρίσκονται σε λειτουργία, και εξ'αίτιας αυτής τους της ιδιότητας έχουν ιδιαίτερη αξία για τις κατασκευές υψηλού κινδύνου (αεροσκάφη, πλοία, πυρηνικοί αντιδραστήρες, δεξαμενές καυσίμων και χημικών κ.α. ).

Εξάλλου, η αιτία γέννησης των ελέγχων αυτών ήταν η αναγκαιότητα του να ελέγχονται οι κατασκευές ακόμη και κατά τη διάρκεια της λειτουργίας τους ώστε να εντοπίζονται έγκαιρα απρόβλεπτες ανωμαλίες ή περιοχές συγκέντρωσης τάσεων, που είναι εν δυνάμει παράγοντες πρόκλησης αστοχίας μέρους της κατασκευής ή ακόμη και ολόκληρης της κατασκευής, καθώς και η αναγκαιότητα να μπορούν να προσδιοριστούν και να ελεγχθούν οι μηχανικές ιδιότητες ορισμένων υλικών ενώ αυτά βρίσκονται ήδη σε λειτουργία.

Οι μέθοδοι αυτές μπορούν να δώσουν σημαντικότερες πληροφορίες τόσο σχετικά με την ύπαρξη επικίνδυνων σημείων στα καταπονούμενα μέρη των κατασκευών (μικρορωγμές, ελλειπές πάχος, κακής ποιότητας συγκόλληση, διάβρωση κ.α.), όσο και σχετικά με τις μηχανικές ιδιότητες των υλικών, οι οποίες είναι δυνατόν να μεταβάλλονται ως αποτέλεσμα των συνθηκών και του περιβάλλοντος λειτουργίας των κατασκευών. Οι πληροφορίες αυτές συνάγονται χωρίς να απαιτείται καμιά πρόσθετη καταπόνηση των υλικών. Οι μη καταστροφικές μέθοδοι ελέγχου των υλικών αποκτούν ιδιαίτερη σημασία στις περιπτώσεις κατασκευών ή μηχανών υψηλού κινδύνου για τον άνθρωπο, όπως είναι οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, οι γέφυρες, τα αεροσκάφη και τα πλοία.

Οι μη καταστροφικές μέθοδοι χρησιμοποιούνται επίσης στις περιπτώσεις που το προς έλεγχο υλικό δεν επαρκεί για την κατασκευή των τυποποιημένων δοκιμίων που προβλέπεται από τις προδιαγραφές για τις γνωστές καταστρεπτικές ή συμβατικές δοκιμές

Διαδεδομένες μέθοδοι μη καταστροφικών ελέγχων για έλεγχο των υλικών και κατασκευών είναι :

- Ραδιογραφία (Radiography)
- Υπέρηχοι (Ultrasonic)
- Οπτικός Έλεγχος (Visual Inspection)
- Παρασιτικά ρεύματα ή Δινορεύματα (Eddy Current)
- Διεισδυτικά Υγρά (Penetrants)
- Μαγνητοσκοπικός έλεγχος
- Ακουστικών εκπομπών

(Φυσικά υπάρχουν και άλλες μέθοδοι μη καταστροφικού ελέγχου με μικρότερο εύρος χρήσης. Εδώ γίνεται αναφορά στις πιο βασικές μεθόδους).

Σημαντικός παράγοντας επιτυχίας των μεθόδων αυτών παίζει η εμπειρία και εκπαίδευση του τεχνικού προσωπικού, που εξασφαλίζεται μέσω ειδικών προγραμμάτων εκπαίδευσης που παρέχονται από τις κατασκευάστριες εταιρείες κυρίως, όμως, από τα Ινστιτούτα Μη Καταστροφικού Ελέγχου.

Η τεχνολογία του μη καταστροφικού ελέγχου συνεχώς ενισχύεται και ενημερώνεται με νέες τεχνικές και μεθόδους<sup>1</sup>.

## 1.2 ΟΠΤΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ (VISUAL INSPECTION)

### 1.2.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Για πολλούς τύπους συγκολλήσεων, η ακεραιότητα των συγκολλήσεων επιβεβαιώνεται αρχικά 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

---

<sup>1</sup> Ι.Ν. Πρασιανάκη, “Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι- Η Μέθοδος Των Υπερήχων”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1993

που υπάρχουν.

Ο ελεγκτής θα πρέπει να γνωρίζει τα σχετικά έγγραφα που απαιτούνται, τα πρότυπα της τεχνικής εργασίας που θα γίνει αλλά και όλες τις φάσεις 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 τη 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 :

α) 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

β) Έλεγχος κατά την διάρκεια της συγκόλλησης

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

- Διαδικασία συγκόλλησης και συνθήκες συγκόλλησης
- Μέταλλο που χρησιμοποιείται για την συγκόλληση
- Ροή συγκόλλησης ή αέρια συγκόλλησης
- Θερμοκρασία προθέρμανσης
- Έλεγχος διαστρέβλωσης
- 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 τη βοήθεια ενός κώδικα εργασίας. Θα πρέπει όμως ο ελεγκτής να γνωρίζει ότι με τη 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 παγιδεύεται σκουριά ή αέρια που δεν είναι εύκολο να απομακρυνθούν στα επόμενα περάσματα του τόξου κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Έτσι το μέταλλο που προστέθηκε σε ένα τέτοια 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 τη 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 διείδυση και ευθυγράμμιση.

#### γ) Έλεγχος μετά τη συγκόλλησης

Μετά το πέρας της διαδικασίας της συγκόλλησης μπορούν να πραγματοποιηθούν οι 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 από τη 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 τη 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.

Η μέθοδος οπτικού ελέγχου των συγκολλήσεων είναι ιδιαίτερα χρήσιμη αλλά 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 θεωρείται 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.

## **1.2.2. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

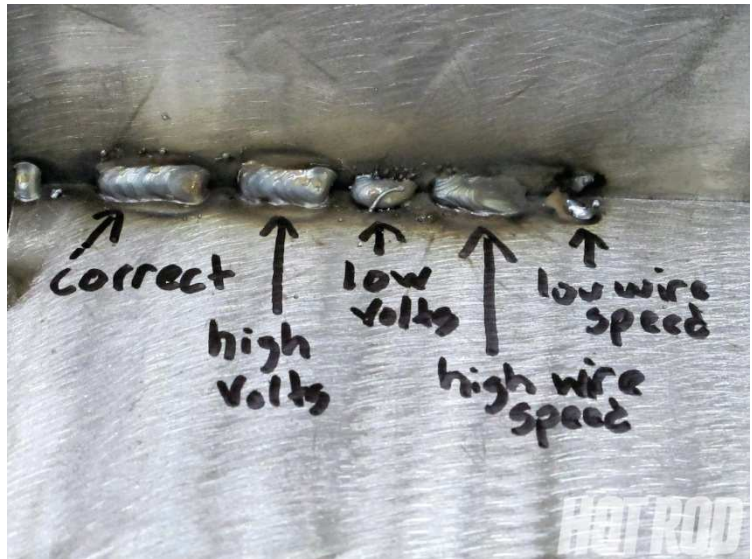
- Οικονομική μέθοδος,
- Σχετικά αξιόπιστη,
- Απαιτεί σχετικά μικρή εκπαίδευση
- Απαιτεί σχετικά μικρό εξοπλισμό για τις περισσότερες εφαρμογές

### **ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

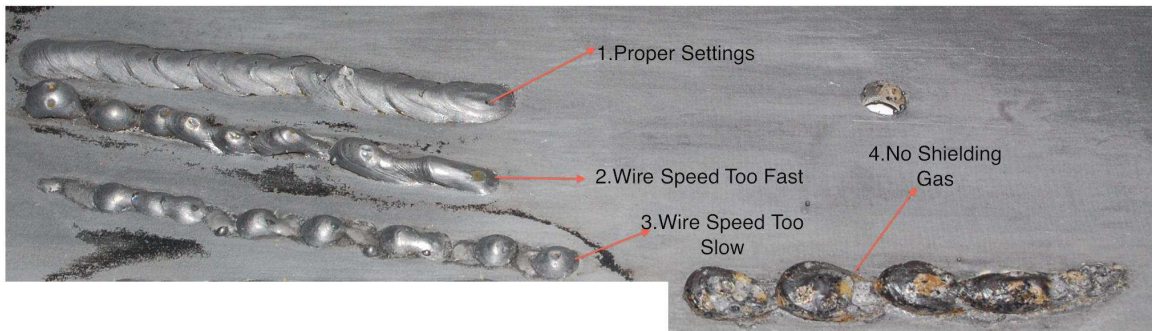
- Η μέθοδος περιορίζεται σε εξωτερικούς ή επιφανειακούς ελέγχους μόνο.
- Η μέθοδος βασίζεται στην οπτική οξυδέρκεια τους παρατηρητή-ελεγκτή.

Στις εικόνες 1,2 και 3 φαίνονται δείγματα κακής ποιότητας συγκολλήσεων, ορατών με οπτικό έλεγχο.





Εικόνα 1



Εικόνα 2



Εικόνα 3

## 1.3 ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΜΕΘΟΔΟΣ ΜΕ ΔΙΝΟΡΕΥΜΑΤΑ (ELECTRICAL METHOD)

### 1.3.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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.

Ο έλεγχος με το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργείται 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 τη 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 και 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 μόνον 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 με 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 της τάσης, που αποτελεί και τη 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, η 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 τη σωστή του λειτουργία. Σκοπός αυτών των τυποποιήσεων είναι η εξακρίβωση για το αν οι 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 (Εικόνα 4). Για αυτόν ακριβώς τον λόγο είναι απαραίτητη η ύπαρξη τυποποιήσεων που συνδέουν τις όποιες μετρούμενες αλλαγές σε ένα ηλεκτρομαγνητικό πεδίο με συγκεκριμένες ασυνέχειες 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.

### **1.3.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

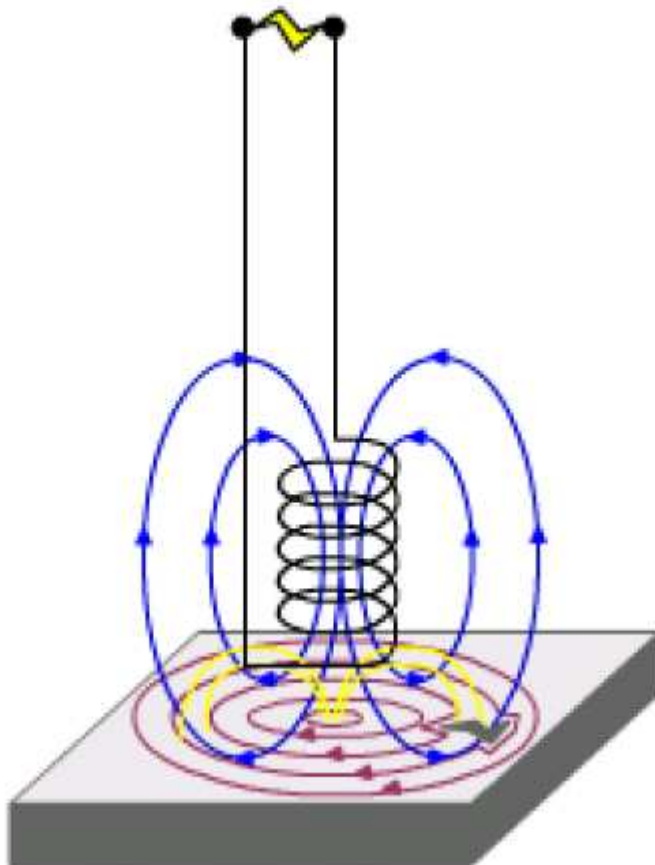
#### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

- Σχετικά αξιόπιστη και χαμηλού κόστους μέθοδος.
- Μπορεί να αυτοματοποιηθεί ως 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 τη χρήση της μεθόδου.



Εικόνα 4: Δημιουργία ηλεκτρομαγνητικών πεδίων μέσω ρεύματος αυτεπαγωγής. Οι διάφορες ασυνέχειες του υλικού θα έχουν ως αποτέλεσμα να αποθηκευτούν στα πηνία διαφορετικά ποσά ενέργειας που μαρτυρούν την ύπαρξη των ασυνεχειών.

## 1.4 ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ (PENETRAD METHODS)

### 1.4.1 ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

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 (Εικόνα 5). Οπότε είναι εύκολα κατανοητό πώς 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.

### 1.4.2 ΤΥΠΟΙ ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΩΝ ΥΓΡΩΝ

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 εξοπλισμό 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.

### 1.4.3 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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 τη 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.

#### **1.4.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

##### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

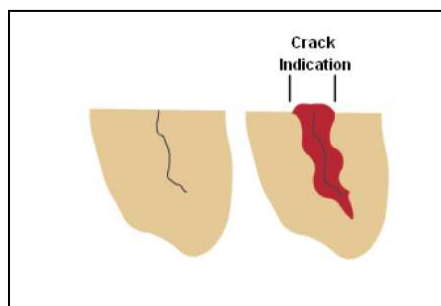
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε όλα τα μη πορώδη υλικά.
- Φορητότητα εξοπλισμού.
- Σχετικά χαμηλό κόστος εξοπλισμού.
- Αξιόπιστα αποτελέσματα των ελέγχων.
- Αποτελέσματα που μπορούν να γίνουν εύκολα και γρήγορα κατανοητά.
- Δεν απαιτείται ηλεκτρική ενέργεια εκτός από αυτή που χρειάζεται για τις πηγές φωτός.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

των υγρών και των διαφόρων χημικών που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο.

- Η μέθοδος των δεισδυτικών υγρών δεν μπορεί να εντοπίσει και να αναδείξει ατέλειες και σφάλματα που υπάρχουν εντός του υλικού.



Εικόνα 5: Στην μέθοδο των δεισδυτικών υγρών βασική αρχή αποτελεί η ικανότητα των υγρών να δεισδύουν σε μικρορωγμές.

## 1.5 ΜΑΓΝΗΤΟΣΚΟΠΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ

### 1.5.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ

Ο Έλεγχος Μαγνητικών Σωματιδίων αποτελεί μια μέθοδο ΜΚΕ που μπορεί να εντοπίσει ασυνέχειες και σφάλματα σε μαγνητικά υλικά. Με αυτή τη 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 βαθύτερα μέσα στο υπό εξέταση υλικό.

Σε κάποιο μέταλλο δεν είναι απαραίτητο οι όποιες ασυνέχειες που μπορεί να υπάρχουν εντός αυτού να έχουν ως αποτέλεσμα τη μείωση της ικανοποιητικής απόδοσής του κατά τη 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 προορίζεται.
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 τη μέθοδο μπορούν να ελεγχθούν συγκολλήσεις αλλά και τα άκρα των προς συγκόλληση μετάλλων (δηλαδή πριν γίνει κάποια συγκόλληση). Επίσης μπορούν να ελεγχθούν και συγκολλητές επισκευές. Ελαττώματα τα οποία μπορούν να εντοπιστούν με αυτή τη 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 ατελούς τήξης, εσωτερικών ρωγματώσεων αλλά και ανεπαρκούς διείσδυσης.

Η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων δεν είναι δυνατόν να αντικαταστήσει τη μέθοδο των υπερήχων ή της ραδιογραφίας στον εντοπισμό εσωτερικών-μη επιφανειακών σφαλμάτων, αλλά κατά περιπτώσεις εμφανίζει πλεονεκτήματα σε σύγκριση με την ραδιογραφία στην ικανότητά της να εντοπίζει στενές ρωγμές και πολλά επιφανειακά ελαττώματα. Βέβαια η μέθοδος των μαγνητικών σωματιδίων μπορεί να υποκαταστήσει κατά περίπτωση τη 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 γίνεται κατανοητό πως αυτή η μέθοδος δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε μη φερριτικά

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 τη δημιουργία μαγνητικών ασυνεχειών που με τη 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 ως 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 ικανότητά 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 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 τη 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 υποδηλώνει 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.

Η 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 τη συγκέντρωση των μαγνητικών, σωματιδίων οπότε και κατ' επέκταση τα αποτελέσματα του ελέγχου, είναι η τραχύτητα της επιφάνειας του υλικού.

### **1.5.2 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ**

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' ό,τι η επιφάνεια του υλικού.

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 τη μορφή της ασυνέχειας (Εικόνα 6). 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 διασπάται δημιουργώντας άλλα μαγνητικά πεδία στην επιφάνεια του υλικού.

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 τη διεύθυνση που έχουν οι μαγνητικές γραμμές του πεδίου που δημιουργείται. Τέτοια πεδία είναι :

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

### **1.5.3 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

#### **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 φερομαγνητικά υλικά.
- Τα διάφορα μέρη θα πρέπει να είναι καθαρά πριν και μετά από τη 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 ώστε ο ελεγκτής να μπορεί να ανατρέξει στα αποτελέσματα σε άλλη χρονική στιγμή.



*Εικόνα 6: Χαρακτηριστική ανάδειξη ελαττωμάτων μέσω της χρήσης μαγνητικών σωματιδίων τα οποία αφού έχουν μαγνητιστεί μαζί με το υλικό δημιουργούν διάφορα σχήματα στην επιφάνεια της συγκόλλησης.*

## **1.6 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ**

### **1.6.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

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

*Η ραδιογραφία 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 ακτινών γάμα (που είναι τοποθετημένες εντός ειδικών περιβλημάτων).*

*Πρόκειται για μια τεχνική που χρησιμοποιείται για το έλεγχο τμημάτων που δεν είναι προσβάσιμα σε άλλες μη καταστροφικές τεχνικές. Ο έλεγχος επιτυγχάνεται με την προσβολή του ελεγχόμενου τμήματος σε ακτινοβολία τύπου ακτίνες X (X-RAY), τις ακτίνες  $\gamma$  και ακτίνες νετρονίων.*

### 1.6.2 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΑΚΤΙΝΩΝ - Χ

Η φύση των ακτινών - Χ είναι ηλεκτρομαγνητική ή ακριβέστερα είναι αυτή που εκφράζεται με την έννοια σωματίο - κύμα, όπως η φωτεινή ακτινοβολία.

Η τεχνική της ραδιογραφίας μπορεί να εντοπίσει ανωμαλία πάχους της τάξεως του 2% του συνολικού πάχους του ελεγχόμενου δοκιμίου.

Οι κυριότερες ιδιότητες των ακτινών - Χ είναι:

- Είναι αόρατες
- Διαδίδονται ευθύγραμμα με την ταχύτητα του φωτός
- Εκτρέπονται μέσω φακών ή πρισμάτων
- Διαπερνούν τα υλικά
- Είναι ιονίζουσα ακτινοβολία
- Μπορεί να βλάψει ή να καταστρέψει ζωντανά κύτταρα

Ακτινοβολίες με μεγάλη διεισδυτικότητα λέγονται "σκληρές" ενώ με μικρότερη λέγονται "μαλακές". Η διεισδυτικότητα των ακτινών εξαρτάται από την ενέργεια των φωτονίων που την αποτελούν.

Το film των ακτινών - Χ αποτελείται από 3 διαφορετικά επίπεδα : το βασικό ή οδηγητικό επίπεδο αποτελούμενο από τριοξικοκυτταρίνη ή film πολυεστέρα, ένα λεπτό υποστρωματικό επίπεδο χρησιμοποιείται για να δεσμεύει το πραγματικό φωτογραφικό film αποτελούμενο από κόκκους βρωμιούχου αργύρου και τελικά, από ένα προστατευτικό στρώμα σκληρό ζελέ, από τη μια ή και από τις δυο πλευρές, ανάλογα από τον τύπο του film.

Η επιφάνεια του υπό έλεγχο τμήματος πρέπει να είναι καθαρή και απηλαγμένη από κάθε είδους ακαθαρσία που μπορεί να δώσει εσφαλμένα αποτελέσματα.

Οι βασικές αρχές που πρέπει να τηρούνται κατά τον έλεγχο είναι:

- Η διεύθυνση σάρωσης της κεντρικής δέσμης της ακτινοβολίας πρέπει να είναι, όσο το δυνατόν, κάθετη ως προς την επιφάνεια του φιλμ.
- Το φιλμ πρέπει να τοποθετείται όσο το δυνατόν πλησιέστερα στην επιφάνεια του υπό δόκιμη υλικού.
- Η απόσταση από την πηγή των ακτινών Χ έως το φιλμ (απόσταση εστίασης) πρέπει να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να δημιουργήσει μια ευκρινή απεικόνιση στο φιλμ.
- Πρέπει να χρησιμοποιείται, αναλογικά, τόσο χαμηλή τάση όσο και

υψηλή ένταση του ηλεκτρικού φορτίου ώστε να επιτευχθεί η σωστή ευαισθησία, αντίθεση(contrast).

- Πρέπει να γίνεται προσεκτική χρήση των ακτινών X μιας και είναι βλαβερές για τον ανθρώπινο οργανισμό.
- Πρέπει να γίνεται προσεκτική φύλαξη και χειρισμός του φιλμ για να προληφθεί η χρωματική του αλλοίωση.

### 1.6.3 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ ΝΕΤΡΟΝΙΩΝ

Η ραδιογραφία νετρονίων χρησιμοποιεί τη 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 τη 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. 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. 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 (Εικόνα 7).

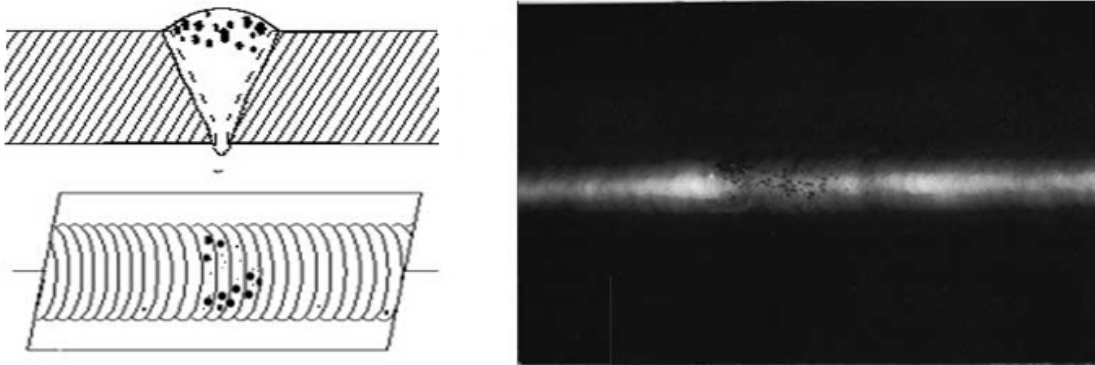
## 1.6.4 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ

### ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Μεγάλη διεισδυτικότητα σε πλήθος διαφορετικών υλικών.
- Μεγάλη και ευκρινής ανάλυση σε πολύπλοκα τρισδιάστατα αντικείμενα

### ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

- Απαιτείται αυστηρή τήρηση των κανόνων ασφαλείας εξαιτίας της επικινδυνότητας των ακτινών 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.



Εικόνα 7: Έλεγχοι με την τεχνική της ραδιογραφίας

## 1.7 ΜΕΘΟΔΟΣ ΑΚΟΥΣΤΙΚΩΝ ΕΚΠΟΜΠΩΝ

### 1.7.1 ΤΡΟΠΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

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 :

1. 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 (Εικόνα 8). 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.

2. 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 ΑΕΤ 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.

## **1.7.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ**

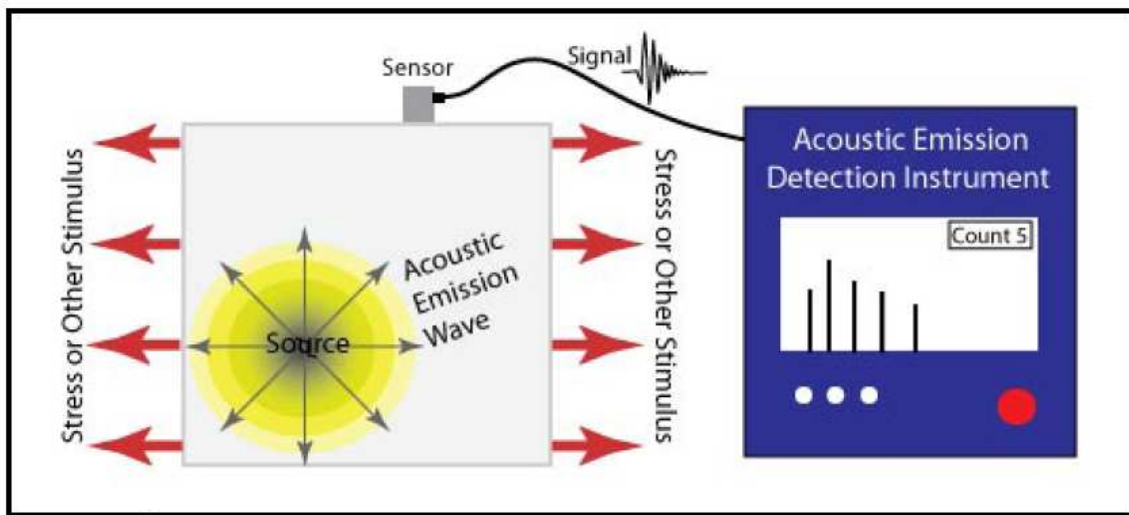
### **ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ**

- 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.



Εικόνα 8: Τυπική διάταξη της μεθόδου των ακουστικών εκπομπών

## **1.8 ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΤΙΚΟΣ ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ – ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΩΝ**

Στους παρακάτω πίνακες γίνεται μια συνοπτική παρουσίαση των διαφόρων μεθόδων, των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων τους

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 αξιόθερκα 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 ασυνεχιών 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 αντικαθίστανται περιοδικά. Οι πηγές ακτίνων γάμμα έχουν μια σταθερή ενεργειακή απόδοση η οποία δεν μπορεί να ρυθμιστεί. Οι πηγές ακτίνων γάμμα αλλά και η άδεια 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 (ΑΚΤΙΝΕΣ 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>Προσαρμοσίμα 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 περιπλοκών 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 διαστάσιμα 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 μηχανήμα 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>

<b>ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΣΩΜΑΤΙΔΙΑ</b>			
<b>Απαραίτητος Εξοπλισμός</b>	<b>Εφαρμογές</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Περιορισμοί</b>
Απαιτούνται δεισμοί, 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 δεισδυτικές 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.
<b>ΔΙΕΙΣΔΥΤΙΚΑ ΥΓΡΑ</b>			
<b>Απαραίτητος Εξοπλισμός</b>	<b>Εφαρμογές</b>	<b>Πλεονεκτήματα</b>	<b>Περιορισμοί</b>
Δεισδυτικές βαφές ή φθορίζων δεισδυτικά 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 αν εξετασθούν περαιτέρω με οπτική μέθοδο.	Επιφανειακά φίλμ όπως, στρώματα επικάλυψης, φάλλα, αλοιφές μετάλλων, σκισπάζουν 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 αριθμένες 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 ενδείξεις 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 έλεγχου 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 ελατώματα 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 αντιστοίχως 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, ελλειψής 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.

## 1.9 ΜΗ ΚΑΤΑΣΤΡΟΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

### 1.9.1 ΓΕΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο κατασκευαστικός κλάδος στον βιομηχανικό τομέα του Ελληνικού χώρου είναι σε χαμηλότερο επίπεδο από αυτό που λόγω της Ευρωπαϊκής ενοποίησης θα έπρεπε να βρίσκεται. Οι λόγοι είναι πολλοί και ένας από αυτούς αφορά τον τομέα του ποιοτικού ελέγχου.

Ποιοτικός έλεγχος στις προηγμένες τεχνολογικά χώρες γίνεται σε όλα τα είδη των κατασκευών. Γίνεται δε με ιδιαίτερη προσοχή σε κατασκευές που κάποια ατέλεια μπορεί να αποδειχθεί επικίνδυνη για τη δημόσια ασφάλεια και υγεία.

Για να μπορεί ο έλεγχος να είναι αποτελεσματικός θεσπίζονται κανόνες που εξασφαλίζουν την αποτελεσματικότητά του και το κυριότερο προσόν τους είναι ότι τηρούνται. Σε κάθε περίπτωση είναι ουσιαστικός και δεν γίνεται για να κατοχυρωθεί τυπικά ο κατασκευαστής. Είναι δε τόσο ουσιαστικότερος όσο πιο ανεξάρτητος είναι ο ελεγκτής από τον κατασκευαστή. Η τελευταία αυτή λεπτομέρεια φαίνεται ότι έχει γίνει απόλυτα κατανοητή από την Ευρωπαϊκή Ένωση, η οποία τείνει να οδηγήσει την εκτέλεση του ποιοτικού ελέγχου σε ανεξάρτητους ιδιωτικούς φορείς. Τα διάφορα είδη Μηχανολογικών Κατασκευών στην Ελλάδα εξυπηρετούνται από πλευράς ποιοτικού ελέγχου έμμεσα ή άμεσα από ιδιωτικούς φορείς, εξαρτημένους άμεσα από τον κατασκευαστή στο μεγαλύτερο ποσοστό και ανεξάρτητους σε μικρότερο. Ο ανεξάρτητος ιδιωτικός τομέας του ελέγχου κατασκευών στην Ελλάδα δεν έχει μεγάλη ιστορία.

### 1.9.2 ΠΕΔΙΟ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

**Βιομηχανία :** Έχει νομοθετηθεί κανονισμός για ελάχιστα είδη βιομηχανικού εξοπλισμού. Για τα υπόλοιπα ο πλήρης έλεγχος της κατασκευής γίνεται μόνο αν ζητηθεί από τον τελικό αποδέκτη και χρησιμοποιούνται κανονισμοί Ευρωπαϊκοί ή Αμερικανικοί.

**Ναυτιλία :** Χρησιμοποιούνται όσοι κανονισμοί έχουν εισαχθεί από επιθεωρήσεις ξένων γραφείων επιθεώρησης (Νηογνώμονες).



**Στρατιωτικά Έργα:** Υπάρχει εσωτερικός κανονισμός που όμως είναι παλαιός και τεχνολογικά ξεπερασμένος. Εκτός αυτού υπάρχει και δυσκολία στην εφαρμογή του λόγω έλλειψης επίβλεψης.

**Έργα Ύδρευσης - Άρδευσης:** Δεν εφαρμόζεται ουσιαστικός έλεγχος.

### **1.9.3 ΣΥΝΗΘΕΣΤΕΡΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΕΙΔΗ Μ.Κ.Ε. ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ**

Έλεγχος Ραδιογραφίας.

Έλεγχος Με Υπερήχους.

Έλεγχος Με Διεισδυτικά Υγρά.

### **1.9.4 ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ**

Το εργοτάξιο ως εργασία είναι δύσκολη και πολύπλοκη. Απαιτεί μεγάλο βαθμό ετοιμότητας σε εξοπλισμό και προσωπικό και άριστη οργάνωση. Ο εκτελών τον Μ.Κ.Ε. ως μέλος του εργοταξίου είναι και αυτός ένας μικρός εργολάβος. Για να μπορέσει να ανταποκριθεί απαιτείται πλήρης ευελιξία την οποία δεν έχουμε συναντήσει σε καμία δημόσια υπηρεσία σε οποιαδήποτε μορφή. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να σημειώσουμε ότι στην Ελλάδα τα περιθώρια προγραμματισμού είναι μικρότερα απ' όπουδήποτε αλλού. Κι αυτό γιατί συνήθως ο γενικός εργολάβος θα ψάξει να βρει τον ανεξάρτητο εργολάβο Μ.Κ.Ε. μόνον όταν εξαντληθούν όλα τα άλλα περιθώρια να τον αποφύγει. Δεν είναι δύσκολο να γίνει αντιληπτό από αυτά η έλλειψη ενδιαφέροντος για το επιδιωκόμενο αποτέλεσμα των Μ.Κ.Ε. Κάτι τέτοιο καθίσταται απαγορευτικό για την τεχνολογική ανάπτυξη του κλάδου στην Ελλάδα εφ' όσον ένας ιδιώτης εργολάβος δεν ενδιαφέρεται αλλά και αντιστρατεύεται τα αποτελέσματα του Μ.Κ.Ε. Είναι τελείως άτοπο κάτι τέτοιο να προέρχεται από τον κύριο του έργου, ιδιαίτερα όταν αυτός είναι δημόσια υπηρεσία. Τέλος οι δυνατότητες του κλάδου εκμηδενίζονται όταν έχει να αντιμετωπίσει και τον αθέμιτο ανταγωνισμό δημοσίου.

Στις προηγμένες τεχνολογικά χώρες υπάρχουν προδιαγραφές για όλων των ειδών τις βιομηχανικές κατασκευές. Στην Ελλάδα έχει νομοθετηθεί η εφαρμογή μερικών απ' αυτές. Για όλες τις υπόλοιπες κατασκευές είναι στην διάθεση του

αναδόχου του έργου κατά πόσο θα εφαρμοστούν κάποιες προδιαγραφές ή όχι. Αλλά και στην περίπτωση που ο κύριος του έργου ορίσει κάποιες προδιαγραφές είναι σχετικά εύκολο να καταργηθούν αφού η παράλειψή τους δεν είναι ποινικοποιημένη. Τέλος πρέπει να αναφερθεί ότι η έλλειψη εναρμονισμένης διαδικασίας και νομοθεσίας καθιστούν τα αποτελέσματα του ελέγχου σε κάθε έργο απόρρητα. Και φυσικά εφ' όσον η ευθύνη για οποιοσδήποτε κακοτεχνίες μεταφέρεται ιεραρχικά στην κεφαλή κανείς δεν δίδει άδεια πρόσβασης σ' αυτές.

## 2 Η ΦΥΣΙΚΗ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

### 2.1 ΗΧΟΙ – ΥΠΕΡΗΧΟΙ ΣΥΝΤΟΜΟ ΙΣΤΟΡΙΚΟ

Ο έλεγχος των υλικών με τη βοήθεια του ήχου είναι μια από τις παλαιότερες μη καταστροφικές μεθόδους δοκιμής των αντικειμένων για την εύρεση σφαλμάτων σε αυτά.

Είναι γνωστό ότι κεραμοποιοί και αγγειοπλάστες δοκιμάζουν τα προϊόντα τους κτυπώντας τα ελαφριά και ακούγοντας τον ήχο που παράγεται. Με τον ίδιο τρόπο ελέγχονται τα χυτά αντικείμενα, σωληνώσεις μεγάλου μήκους σε διυλιστήρια και γενικά σε βιομηχανίες για τυχόν ρήγματα ή διαβρώσεις. Οι ρωγμές και οι σχετικά μεγάλες φυσαλίδες σε χυτά αντικείμενα καθώς και σημαντική ελάττωση του πάχους των τοιχωμάτων των σωληνώσεων, λόγω διαβρώσεων, έχουν ως αποτέλεσμα την αλλοίωση του ήχου που παράγουν όταν τα κτυπήσουμε με κάποιο σφυρί. Επειδή, όμως, η μέθοδος αυτή είναι πολύ πρωτόγονη και στηρίζεται εξ' ολοκλήρου στην εμπειρική ακουστική ικανότητα του ελεγκτή, καθώς και στη γεωμετρική μορφή του αντικειμένου, γεννήθηκε η ανάγκη εύρεσης μίας ακριβέστερης και αξιόπιστης μεθόδου ελέγχου, πολύ πιο ευαίσθητης από αυτής του τεχνικού. Παράλληλα παρατηρήθηκε ότι όσο η συχνότητα που χρησιμοποιούταν ήταν υψηλότερη, τόσο οι διαστάσεις των ελαττωμάτων που μπορούσαν να ανιχνευτούν ήταν μικρότερες. Οι παρατηρήσεις αυτές οδήγησαν στη χρήση προοδευτικά υψηλότερων συχνοτήτων μέχρι που έφτασαν στην περιοχή των υπερήχων, δηλαδή πέρα από την ακουστική ικανότητα που έχει το ανθρώπινο αυτί (20 kHz). Οι πρώτες απόπειρες παραγωγής υπερήχων έγιναν με διατάξεις ακροφυσίων πεπιεσμένου αέρα, καθώς και με υψίσυχνες ηλεκτρικές εκκενώσεις. Το 1915 ο Paul Langevin έδωσε την οριστική λύση στην παραγωγή και την ανίχνευση των υπερήχων κάνοντας χρήση του πιεζοηλεκτρικού φαινομένου που ανακαλύφθηκε από τους Pierre και Jacques Curie. Ήδη, από το 1929 ο Ρώσος Sokolov είχε την ιδέα ανίχνευσης ελαττωμάτων σε μεταλλικές πλάκες προσβάλλοντάς τις με μια δέσμη υπερήχων και μετρώντας την ένταση που μεταδίδεται σε κάθε σημείο τους. Ακολούθως την σύγκρινε με αυτή που μεταδίδεται από μια περιοχή χωρίς

ελαττώματα. Το 1942 ο Firestone είναι ο πρώτος που εφάρμοσε τη μέθοδο των υπερήχων για τη μέτρηση του πάχους μεταλλικών υλικών. Από τότε έχουν γίνει πολλές βελτιώσεις στις συσκευές παραγωγής υπερήχων, με αποτέλεσμα το ευρύ πεδίο εφαρμογών τους στον μη καταστροφικό έλεγχο υλικών, στη μεταλλουργία, στις υποβρύχιες τηλεπικοινωνίες, στην ιατρική, στη βιολογία και σε πολλούς άλλους τομείς<sup>1</sup>.

## 2.2 ΗΧΟΙ – ΥΠΕΡΗΧΟΙ ΓΕΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Ήχος καλείται η περιοδική μεταβολή της πίεσης του αέρα, η οποία μεταδίδεται ως κύμα, του οποίου η συχνότητα είναι ικανή να ερεθίζει το αισθητήριο της ακοής. Γενικά ως ήχοι χαρακτηρίζονται τα τασικά ελαστικά κύματα που, σε αντίθεση με τα ηλεκτρομαγνητικά, θερμικά και οπτικά κύματα, απαιτείται για τη διάδοσή τους η ύπαρξη της ύλης (στερεά-υγρά-αέρια). Δε γίνονται αντιληπτά όλα τα ηχητικά κύματα από το ανθρώπινο αυτί, αλλά μόνο μια κατηγορία απ' αυτά, που οι συχνότητες τους βρίσκονται στην περιοχή 16 Hz μέχρι 20 kHz.

Η επιστήμη που εξετάζει τα φαινόμενα τα σχετικά με τους ήχους είναι η ακουστική. Οι ήχοι διακρίνονται σε απλούς, όπου η μεταβολή της πίεσεως του αέρα είναι αρμονική συνάρτηση του χρόνου, και τους σύνθετους όπου η μεταβολή της πίεσεως είναι μεν περιοδική αλλά όχι αρμονική και οι οποίοι αναλύονται κατά Fourier σε πολλούς απλούς ήχους, των οποίων οι συχνότητες είναι ακέραια πολλαπλάσια της θεμελιώδους συχνότητας.

Το φάσμα των μηχανικών ελαστικών κυμάτων περιλαμβάνει:

1. τους υπόηχους με συχνότητες  $f < 16 \text{ Hz}$
2. τους ακουστικούς ήχους με συχνότητες  $16 \text{ Hz} < f < 20 \text{ kHz}$
3. τους υπέρηχους με συχνότητες  $20 \text{ kHz} < f < 20 \text{ MHz}$
4. τους υπερυπέρηχους με συχνότητες  $20 \text{ MHz} < f$

Συνεπώς, υπέρηχοι είναι μια κατευθυνόμενη δέσμη μηχανικών ελαστικών κυμάτων υψηλής συχνότητας. Υπέρηχους εκπέμπουν μερικά ζώα, τους οποίους χρησιμοποιούν για τον προσανατολισμό τους. Τέτοια ζώα είναι οι νυχτερίδες, τα δελφίνια, οι φάλαινες κ.ά. Υπέρηχοι επίσης εκπέμπονται από

---

1 I.N. Πρασιανάκη, "Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι- Η Μέθοδος Των Υπερήχων", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1993

διάφορα μηχανικά μέσα κατά τη λειτουργία τους, όπως είναι οι μηχανές, ή κατά τη σφυρηλάτηση των μετάλλων.

Δύο βασικές κατηγορίες υπερήχων υπάρχουν, ανάλογα με την ισχύ και τα πεδία εφαρμογής τους. Οι υπέρηχοι μεγάλης ισχύος (1 - 100 W), οι οποίοι χρησιμοποιούνται κυρίως για τον καθαρισμό τη συγκόλληση, και τη θερμική κατεργασία των υλικών. Και οι υπέρηχοι μικρής ισχύος (1 mW - 1 W), οι οποίοι χρησιμοποιούνται στην ιατρική, στα υπερηχομικροσκόπια, στα συστήματα σήμανσης μέτρησης και τηλεχειρισμών, και τους μη καταστροφικούς ελέγχους των υλικών.

## **2.3 ΕΙΔΗ ΥΠΕΡΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ**

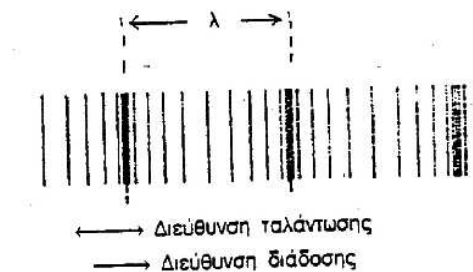
### **2.3.1 ΓΕΝΙΚΑ**

Η διάδοση των ηχητικών κυμάτων συμβαίνει σε δύο βασικές διευθύνσεις. Στη διεύθυνση της ταλάντωσης των στοιχειωδών σωματίων του σώματος και στη διεύθυνση διάδοσης των κυμάτων. Επειδή ένα ηχητικό κύμα, δεν είναι τίποτε άλλο παρά η διάδοση των ταλαντώσεων των στοιχείων του ελαστικού σώματος, για τη διάδοσή του απαιτείται η παρουσία της ύλης. Έτσι στα υγρά και αέρια μόνο διαμήκη κύματα διαδίδονται. Ενώ στα στερεά σώματα διαδίδονται όλα τα είδη των κυμάτων (διαμήκη, εγκάρσια όπως και συνδυασμός αυτών). Τα στερεά υλικά έχουν τη χαρακτηριστική ιδιότητα να επιτρέπουν τη διάδοση μεγάλης ποικιλίας τασικών κυμάτων, όπως είναι τα ελαστικά κύματα (elastic waves), τα πλαστικά κύματα (plastic waves) και τα κρουστικά κύματα (shock waves).

Για εντάσεις τάσεων μικρότερες του ορίου διαρροής (ελαστική φόρτιση), η διάδοση των τασικών κυμάτων γίνεται με την ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων. Ενώ για εντάσεις τάσεων μεγαλύτερες του ορίου διαρροής, η διάδοση των κυμάτων γίνεται με την ταχύτητα των πλαστικών κυμάτων, που είναι λίγο μικρότερη από την ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων και η οποία μεταβάλλεται με την κράτυνση (strain hardening) του υλικού. Όμως για εντάσεις τάσεων υπερβολικά μεγαλύτερες των ορίων διαρροής, η διάδοση των τασικών κυμάτων γίνεται με μια μεταβλητή ταχύτητα η οποία μπορεί να πλησιάζει ή και ακόμη να ξεπερνά την ταχύτητα των ελαστικών κυμάτων. Τα τασικά ελαστικά κύματα διακρίνονται κύρια σε διαμήκη και εγκάρσια.

### 2.3.2 ΔΙΑΜΗΚΗ ΚΥΜΑΤΑ

Στα διαμήκη κύματα η διεύθυνση ταλάντωσης των στοιχειωδών σωματίων του σώματος και η διεύθυνση διάδοσης του κύματος συμπίπτουν (Σχήμα 1). Τέτοια κύματα είναι τα κύματα πίεσεως του αέρα. Τα διαμήκη κύματα καλούνται και κύματα πίεσεως. Τα διαμήκη κύματα διαδίδονται και στις τρεις μορφές της ύλης, (τη στερεά, την υγρή και την αέρια) και είναι το βασικότερο είδος κυμάτων που χρησιμοποιεί η μη καταστροφική μέθοδος των υπερήχων. Παράγονται με διάφορους τρόπους, εύκολα και με απλό τρόπο με τη βοήθεια ειδικών κεφαλών (probes) διαμήκων κυμάτων.

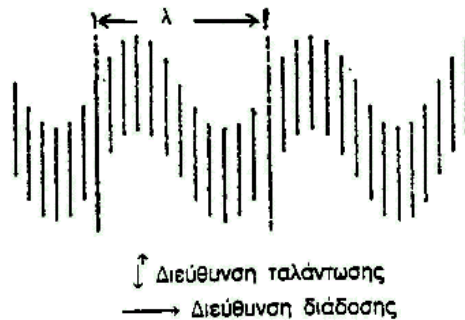


Σχήμα 1 : Διαμήκη κύματα

### 2.3.3 ΕΓΚΑΡΣΙΑ ΚΥΜΑΤΑ

Στα εγκάρσια κύματα, η διεύθυνση ταλάντωσης των στοιχειωδών σωματίων του σώματος είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Σχήμα 2). Τα εγκάρσια κύματα παράγονται από ειδικές κεφαλές εγκαρσίων κυμάτων ή από διαμήκη κύματα εάν αξιοποιηθεί κατάλληλα το φαινόμενο της ανάκλασης ή διάθλασης που συμβαίνει όταν τα διαμήκη κύματα προσπίπτουν στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών. Τα εγκάρσια κύματα διαδίδονται μόνο σε υλικά που μπορούν να αναλάβουν διατμητικές τάσεις, γι' αυτό καλούνται και κύματα διάτμησης. Δε διαδίδονται δηλαδή στα υγρά και στα αέρια. Διαδίδονται όμως σε ορισμένα παχύρευστα υγρά που εμφανίζουν μεγάλη συνεκτικότητα, όπως είναι το μέλι, πυκνό διάλυμα ζάχαρης κ.ά, γι' αυτό και ως υλικά προσαρμογής των κεφαλών υπερηχητικών εγκαρσίων κυμάτων, χρησιμοποιούνται μεταξύ άλλων και το μέλι ή διάλυμα ζάχαρης. Τα εγκάρσια κύματα εφαρμόζονται σε πολλές περιπτώσεις μη καταστροφικού ελέγχου των

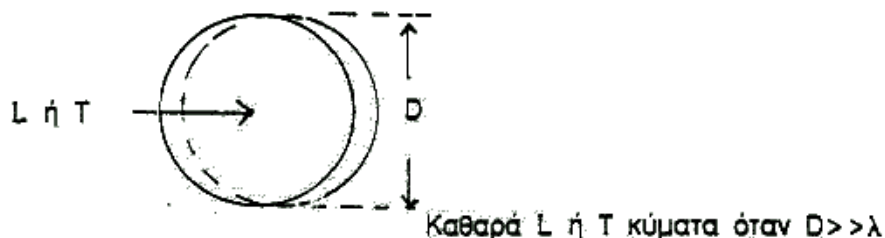
υλικών και είναι απαραίτητα για τον προσδιορισμό των ελαστικών σταθερών των υλικών με τη NDT-μέθοδο των υπερήχων.



Σχήμα 2 : Εγκάρσια κύματα

Πρέπει να τονιστεί ότι καθαρά διαμήκη και εγκάρσια κύματα σχηματίζονται σε ένα υλικό, μόνο εάν οι διαστάσεις του υλικού, οι κάθετες προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος, είναι σημαντικά μεγαλύτερες από το μήκος κύματος του χρησιμοποιούμενου υπερηχητικού κύματος. Για παράδειγμα, σε κάθετη πρόσπτωση μιας ηχητικής δέσμης διαμήκων κυμάτων, συχνότητας  $f = 2 \text{ MHz}$ , σ' ένα χαλύβδινο ( $c_l = 5920 \text{ m/s}$ ) δίσκο διαμέτρου  $D$ , (Σχήμα 3), για να συμβεί διάδοση καθαρά διαμήκων κυμάτων πρέπει να ισχύει  $D > 2\text{mm}$ , σύμφωνα με τη σχέση:  $\lambda = c \cdot T = c / f$ .

Όπου ως μήκος κύματος  $\lambda$  ορίζεται η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών κορυφών ενός κύματος,  $f$  η συχνότητα και  $T$  η περίοδος του κύματος.

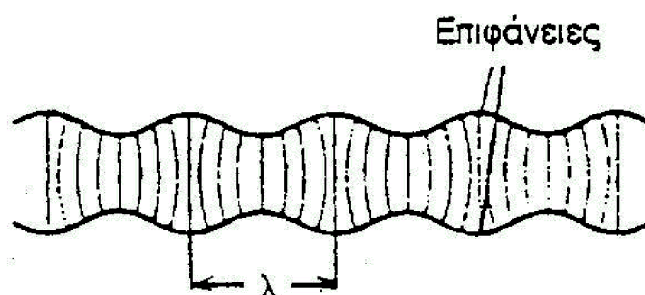


Σχήμα 3

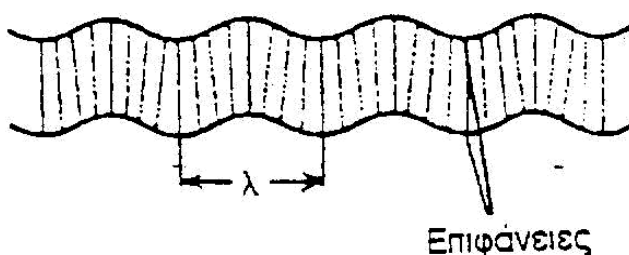
Εάν δεν πληρείται αυτή η συνθήκη, τότε παράγονται και άλλα είδη κυμάτων, όπως είναι τα κύματα πλακών (*plate waves*) ή κύματα του Lamb (*Lamb waves*) τα οποία διακρίνονται στα διασταλτικά κύματα (*dilatational waves*) και στα καμπτικά κύματα (*flexional waves*), τα επιφανειακά κύματα (*surface waves*), τα κύματα στρέψεως (*torsion waves*) κ.ά. Συνεπώς εκτός των διαμήκων και εγκαρσίων κυμάτων, με κατάλληλο συνδυασμό τους παράγονται και τα ακόλουθα είδη ελαστικών κυμάτων.

#### 2.3.4 ΚΥΜΑΤΑ ΠΛΑΚΩΝ Ή ΚΥΜΑΤΑ ΤΟΥ LAMB

Στην περίπτωση λεπτών πλακών, τα διαδιδόμενα κατά διεύθυνση κάθετη προς το πάχος της πλάκας ελαστικά κύματα, διαδίδονται με ένα ιδιαίτερο τρόπο διαφορετικό από εκείνο που διαδίδονται τα ίδια κύματα (διαμήκη και εγκάρσια) μέσα σε σώματα μεγάλων διαστάσεων. Διακρίνουμε δύο τύπους κυμάτων πλακών, τα διασταλτικά κύματα, Σχήμα 4, και τα καμπτικά κύματα, Σχήμα 5.



Σχήμα 4 : Διασταλτικά κύματα

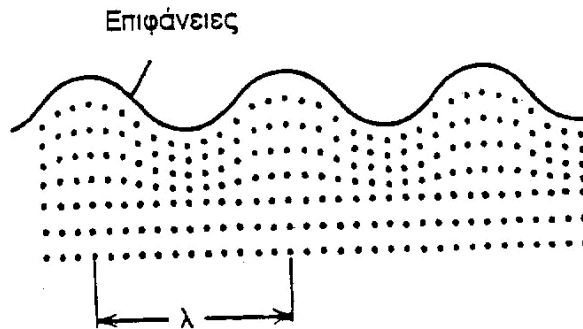


Σχήμα 5 : Καμπτικά κύματα



### 2.3.5 ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΑ ΚΥΜΑΤΑ

Τα επιφανειακά κύματα αναπτύσσονται μόνο στην επιφάνεια των σωμάτων και επεκτείνονται από την επιφάνεια μέσα στο σώμα, σε βάθος ίσο προς ένα περίπου μήκος κύματος ( Σχήμα 6 ).



Σχήμα 6 : Επιφανειακά κύματα

### 2.3.6 ΚΥΜΑΤΑ ΣΤΡΕΨΕΩΣ

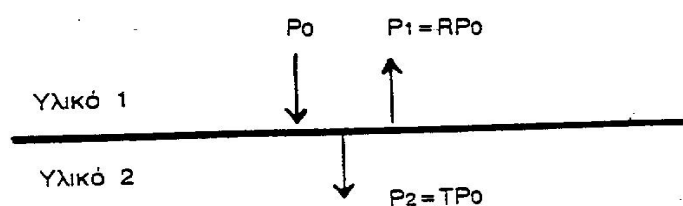
Τα κύματα στρέψεως αναπτύσσονται σε σώματα που έχουν μορφή ράβδου και εκτελούν στρεπτική ταλάντωση γύρω από τον διαμήκη άξονα της ράβδου. Η διεύθυνση διαδόσεως των κυμάτων στρέψεως συμπίπτει με τη διεύθυνση του άξονα της ράβδου. Οι ταχύτητες διάδοσης των ηχητικών διαμήκων  $c_l$ , εγκαρσίων  $c_t$  και επιφανειακών  $c_s$  κυμάτων, είναι σταθερές των υλικών και είναι ανεξάρτητες από τη συχνότητα του κύματος και τις διαστάσεις των υλικών.

Τέλος, όταν τα ηχητικά κύματα διαδίδονται προς όλες τις διευθύνσεις ομοιόμορφα, ονομάζονται σφαιρικά κύματα, ενώ τα κύματα που διαδίδονται ομοιόμορφα προς την μία μόνο κατεύθυνση ονομάζονται επίπεδα κύματα.

## 2.4 Η ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΗΧΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ ΣΤΙΣ ΣΥΝΟΡΙΑΚΕΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΕΣ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ

### 2.4.1 ΚΑΘΕΤΗ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΤΗ ΔΙΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ

Εάν ένα ηχητικό κύμα συναντήσει κάθετα τη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, τότε ένα μέρος της ηχητικής ενέργειάς του περνά στο άλλο υλικό, ενώ ένα άλλο μέρος ανακλάται σε αυτήν ( Σχήμα 7 ).



Σχήμα 7 : Κάθετη πρόσπτωση κύματος στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών.

Το ποσοστό του ανακλώμενου και διερχόμενου κύματος, εξαρτάται από την ακουστική αντίσταση  $z$  των δύο υλικών. Η ακουστική αντίσταση ορίζεται ως:

$$z = \rho \times c,$$

όπου  $\rho$  η πυκνότητα του υλικού και  $c$  η ταχύτητα του ήχου σε αυτό.

Εάν ένα ηχητικό κύμα περάσει σ' ένα υλικό ακουστικής αντίστασης  $Z_1$ , και συναντήσει κάθετα μια διαχωριστική επιφάνεια με ένα άλλο υλικό ακουστικής αντίστασης  $Z_2$ , τότε ορίζεται ο συντελεστής ανάκλασης  $R$ , από τη σχέση:

$$R = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1}$$

Επίσης, ως συντελεστής διάθλασης  $T$  ορίζεται :

$$T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1}$$

Οι συντελεστές ανάκλασης  $R$  και διάθλασης  $T$ , δίνουν το ποσοστό της ηχητικής πίεσης που ανακλάται, ή εισχωρεί στο δεύτερο υλικό. Ο συντελεστής

ανάκλασης  $R$  μπορεί να είναι θετικός, ή αρνητικός, ενώ ο συντελεστής διάθλασης  $T$  μπορεί να είναι μεγαλύτερος ή μικρότερος της μονάδας κι εξαρτάται από τις τιμές των ακουστικών αντιστάσεων  $Z_1$  και  $Z_2$ .

Στη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών ισχύει η συνέχεια της ηχητικής πίεσης που εκφράζεται από τη σχέση :

$$P_0 + P_1 = P_2$$

όπου  $P_0$  είναι η ακουστική πίεση του προσπίπτοντος κύματος,  $P_1$  είναι ακουστική πίεση του ανακλωμένου κύματος και είναι ίση με  $R P_0$  και  $P_2 = T P_0$  είναι η ακουστική πίεση του διαθλόμενου κύματος. Έτσι, σύμφωνα με τα προηγούμενα, προκύπτει ότι:

$$P_0 + R.P_0 = T.P_0$$

$$1 + R = T$$

Εάν οι ακουστικές αντιστάσεις δύο υλικών είναι ίσες ( $Z_1 = Z_2$ ), τότε δεν υπάρχει ανάκλαση, δηλαδή ισχύει  $R=0$ , ενώ όλος ο ήχος περνά ανεμπόδιστα μέσα από τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών, δηλαδή τότε θα ισχύει  $T = 1$ .

Έτσι προκύπτει ότι τα κύματα των υπερήχων κατά τη μετάβασή τους από το χάλυβα στον αέρα ανακλούν το 99,96% της ενέργειάς τους, ενώ από χάλυβα σε plexiglas το 68%, από αλουμίνιο στο νερό το 70% της ενέργειάς τους.

Επομένως θα πρέπει πριν από κάθε έλεγχο να ελέγχονται οι συντελεστές ανάκλασης  $R$  και διάθλασης  $T$ , για να εξασφαλίζεται η διέλευση των υπερήχων στο ελεγχόμενο υλικό. Για καλύτερη ακουστική επαφή της κεφαλής των υπερήχων και του υλικού ή δύο υλικών παρεμβάλλεται, ανάλογα και με το είδος των κυμάτων (διαμήκη ή εγκάρσια) κατάλληλη ουσία όπως το λάδι

μηχανής, το νερό, το γράσο ή διάφορες ειδικές πάστες. Έτσι, ενώ το παρεμβαλλόμενο λεπτό στρώμα της ξένης ουσίας μειώνει την ένταση του διερχόμενου υπερηχητικού κύματος, ταυτόχρονα όμως εξουδετερώνει το στρώμα αέρα που θα υπήρχε μεταξύ των δύο σωμάτων χωρίς την παρουσία της ουσίας και θα ανακλούσε σχεδόν το 100% της ενέργειας του υπερηχητικού κύματος.

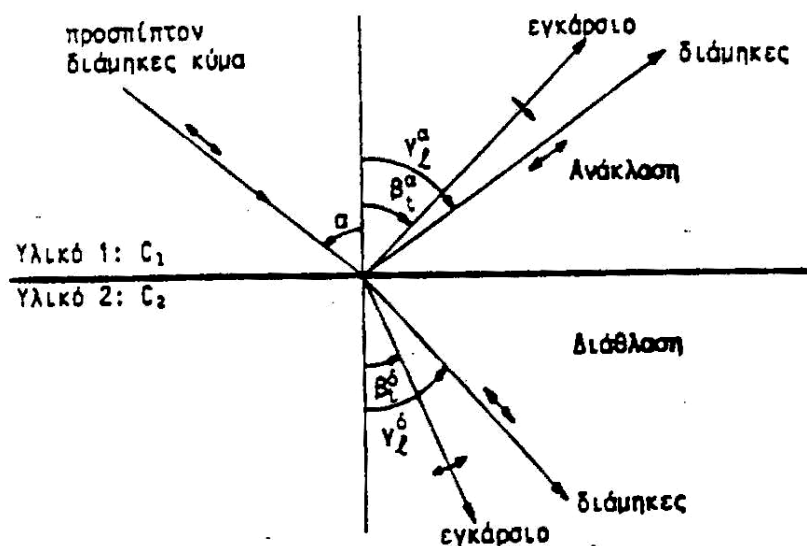
#### **2.4.2. ΠΛΑΓΙΑ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΣΤΗ ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΙΚΗ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΔΥΟ ΥΛΙΚΩΝ**

Όταν ένα ηχητικό κύμα προσπίπτει σε μια διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών με γωνία πρόσπτωσης διάφορη των  $0^\circ$ , όπως συμβαίνει στην κάθετη πρόσπτωση, τότε συμβαίνουν πολύ διαφορετικά φαινόμενα. Και στην περίπτωση αυτή το ηχητικό κύμα ανακλάται και διαθλάται όπως στην κάθετη πρόσπτωση. Η διαφορά με την κάθετη πρόσπτωση είναι, ότι στην πλάγια πρόσπτωση ηχητικού κύματος παρατηρείται μετατροπή ενός μέρους της ενέργειάς του σε άλλο είδος κύματος, τόσο στο ανακλώμενο όσο και στο διαθλώμενο μέρος του.

Στο Σχήμα 8 φαίνεται η πρόσπτωση ενός διαμήκους κύματος, στη διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών, όπως και τα παραγόμενα ανακλώμενα και διαθλώμενα εγκάρσια και διαμήκη κύματα.

Παρατηρείται ότι παράγονται τέσσερα είδη κυμάτων, δύο από ανάκλαση και δύο από διάθλαση. Επίσης, τόσο στην ανάκλαση όσο και στη διάθλαση, παράγεται από ένα διάμηκες και ένα εγκάρσιο κύμα. Εννοείται ότι όταν το υλικό είναι υγρό ή αέριο τα εγκάρσια κύματα εξαφανίζονται.

Οι διευθύνσεις όλων των κυμάτων, τόσο του προσπίπτοντος όσο και των ανακλώμενων και διαθλώμενων, καθορίζονται από την γωνία που σχηματίζει κάθε ένα απ'αυτά με την κάθετη προς τη διαχωριστική επιφάνεια των δύο υλικών. Σ'αυτή την περίπτωση πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων, ισχύουν οι ίδιοι φυσικοί νόμοι που ισχύουν και στην οπτική. Επίσης, όπως και στην οπτική, έτσι και στην περίπτωση πρόσπτωσης των ηχητικών κυμάτων παραμένουν οι έννοιες διάθλαση ή ανάκλαση του κύματος με την ίδια σημασία.



Σχήμα 8 : Πρόσπτωση κύματος σε διαχωριστική επιφάνεια δύο υλικών

Ισχύει ο γνωστός από την οπτική, νόμος του Snell, ο οποίος παίρνει την παρακάτω μορφή, σύμφωνα με το Σχήμα 8 :

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{c_1}{c_2}$$

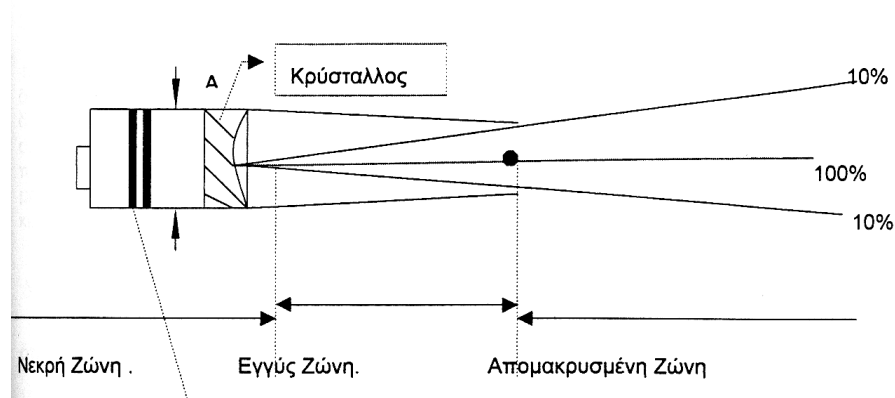
$$\frac{\sin \alpha}{c_1^1} = \frac{\sin \gamma_1^\alpha}{c_1^1} = \frac{\sin \beta_1^\alpha}{c_1^1} = \frac{\sin \gamma_1^\delta}{c_1^2} = \frac{\sin \beta_1^\delta}{c_1^2}$$

Αυτή η σχέση ισχύει για κάθε είδους κύμα, εγκάρσιο ή διάμηκες, είτε πρόκειται για ανάκλαση είτε για διάθλασή του. Στην σχέση  $\alpha$  είναι η γωνία πρόσπτωσης του κύματος,  $\beta$  είναι η γωνία διάθλασης ή ανάκλασής του και  $c_1, c_2$  οι ταχύτητες των αντίστοιχων κυμάτων στα δύο υλικά.

## 2.5 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΔΕΣΜΗΣ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Η δέσμη των υπερήχων εκπέμπεται από κρυστάλλους με κυκλική διατομή (κεφαλές κάθετου δέσμης) ή από κρυστάλλους ορθογωνικής διατομής (γωνιακές κεφαλές). Αντί όμως η δέσμη να παρουσιάζει εικόνα κυλίνδρου ή πρίσματος παρουσιάζει μια πολυπλοκότερη σύνθετη εικόνα. Στην περίπτωση

που ο κρύσταλλος έχει κυκλική διατομή η υπερηχητική δέσμη χωρίζεται σε τρεις ζώνες και έχει τη μορφή του Σχήματος 9.



Σχήμα 9 : Γεωμετρικά χαρακτηριστικά δέσμης υπερήχων

### 2.5.1 ΝΕΚΡΗ ΖΩΝΗ

Μόλις τεθεί σε λειτουργία η συσκευή των υπερήχων εμφανίζεται ο αρχικός παλμός. Αν το προς έλεγχο υλικό είναι πολύ λεπτό, η ανάκλαση της πίσω επιφάνειας του θα πέσει στο τμήμα της οθόνης που ήδη καταλαμβάνει ο αρχικός παλμός. Μπορεί επίσης ο ήχος κατά τη διάβασή του μέσα από ένα δοκίμιο να συναντήσει πολύ κοντά στην επιφάνεια όπου βρίσκεται η κεφαλή κάποια ατέλεια, που να εξαναγκάσει τμήμα αυτού να ανακλαστεί και πάλι η ανάκλαση αυτή δεν θα φανεί πάνω στην οθόνη. Στην περιοχή αυτή λοιπόν που βρίσκεται πολύ κοντά στην επιφάνεια της υπερηχητικής κεφαλής είναι αδύνατη η ανίχνευση ατελειών ή και οποιασδήποτε μέτρησης λόγω του ότι το ύψος του αρχικού παλμού καλύπτει τις ανακλάσεις που έρχονται από τις διάφορες ανωμαλίες του δοκιμίου. Για τον λόγο αυτό η περιοχή αυτή ονομάζεται νεκρή ζώνη. Η νεκρή ζώνη είναι τόσο μεγαλύτερη, όσο η συχνότητα των υπερήχων είναι μικρότερη. Για έλεγχο πολύ κοντά στην επιφάνεια του δοκιμίου μπορεί να γίνει χρήση διπλών κεφαλών που πλεονεκτούν έναντι των απλών κεφαλών στο ότι δεν παρουσιάζουν νεκρή ζώνη.

### 2.5.2 ΕΓΓΥΣ ΖΩΝΗ (ΖΩΝΗ FRENSEL)

Μετά την νεκρή ζώνη ακολουθεί η εγγύς ζώνη στην οποία παρατηρείται συμβολή της δέσμης. Δηλαδή στην περιοχή αυτή το εμβαδόν τη διατομής της δέσμης συνεχώς μειώνεται, ενώ αντίθετα η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας συνεχώς μεγαλώνει. Άρα, όσο μεγαλύτερη γίνεται η απόσταση από τον κρύσταλλο, τόσο το ύψος του παλμού μεγαλώνει, εφ' όσον βέβαια προκύπτει για τον ίδιο ανακλαστήρα, (Σχήμα 9). Το μήκος της εγγύς ζώνης εξαρτάται από το σχήμα των κρυστάλλων. Έτσι αν μιλάμε για κυκλικό κρύσταλλο το μήκος της είναι :

$$N = D^2 * f / 4 * C \quad \text{ή} \quad N = D^2 / 4 * \lambda$$

όπου  $N$  = μήκος της εγγύς ζώνης σε  $mm$ .

$D$  = η διάμετρος του κρυστάλλου σε  $mm$ .

$f$  = η συχνότητα σε  $MHz$ .

$\lambda$  = το μήκος κύματος σε  $mm$ .

$C$  = η ταχύτητας του ήχου σε  $m/sec$ .

Ο κρύσταλλος προκειμένου να στερεωθεί μέσα στην κεφαλή, πακτώνεται από την μια επιφάνεια του. Αποτέλεσμα αυτού είναι ένα μέρος της επιφάνειας να πάλλεται και το άλλο να μένει ακίνητο. Η επιφάνεια αυτή ονομάζεται ενεργός επιφάνεια. Η διάμετρος που αντιστοιχεί στην ενεργό επιφάνεια ονομάζεται ενεργός διάμετρος και συμβολίζεται με  $D_{eff}$ . Σύμφωνα με τους γερμανικούς κανονισμούς ισχύει :

$$D_{eff} = 0.97 * D$$

Οπότε η παραπάνω σχέση γίνεται:

$$N = 0,94 * D^2 * f / 4 * C \quad \text{ή} \quad N = 0,94 * D^2 / 4 * \lambda$$

Για τετραγωνικής διατομή κρύσταλλο ισχύει:

$$N = 1,3 \cdot q_{\text{eff}}^2 \cdot f / 4 \cdot C$$

όπου :  $N$  = μήκος εγγύς ζώνης.

$q_{\text{eff}}$  = ενεργός επιφάνεια του κρυστάλλου.

$f$  = συχνότητα.

$C$  = ταχύτητα του ήχου.

Σε μία τυπική μέθοδο ανίχνευσης με υπερήχους, η κεφαλή μπορεί να έχει διάμετρο 20 mm και στο ασάλι με 2 MHz η συχνότητα και το μήκος κύματος 3 mm, η εγγύς ζώνη θα έχει μήκος 33,3 mm. Στο νερό με την ίδια κεφαλή το μήκος της εγγύς ζώνης θα είναι 134 mm. Εάν μια ατέλεια βρίσκεται μέσα στην εγγύς περιοχή, είναι προφανές ότι η ένταση της ανακλώμενης ενέργειας από την ατέλεια θα εξαρτάται εάν και κατά πόσο η ατέλεια βρίσκεται σε κάποιο σημείο μέγιστης ή ελάχιστης έντασης της υπερηχητικής δέσμης.

### 2.5.3 ΑΠΟΜΑΚΡΥΣΜΕΝΗ ΖΩΝΗ ( FAR FIELD ).

Μετά το τέλος της εγγύς ζώνης ακολουθεί η απομακρυσμένη ζώνη. Στη ζώνη αυτή η ηχητική δέσμη αποκλίνει. Δηλαδή στην περιοχή αυτή όσο απομακρυνόμαστε από την κεφαλή, το εμβαδόν της διατομής της δέσμης, συνεχώς μεγαλώνει, ενώ η ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας συνεχώς μειώνεται. Άρα, όσο ο ανακλαστήρας απομακρύνεται από τον κρύσταλλο, το ύψος του παλμού στην οθόνη μικραίνει.

Η γωνία  $\Phi$  του κώνου της δέσμης των υπερήχων που εκπέμπονται από έναν κυκλικό κρύσταλλο, (Σχήμα 10), δίνεται από την σχέση :

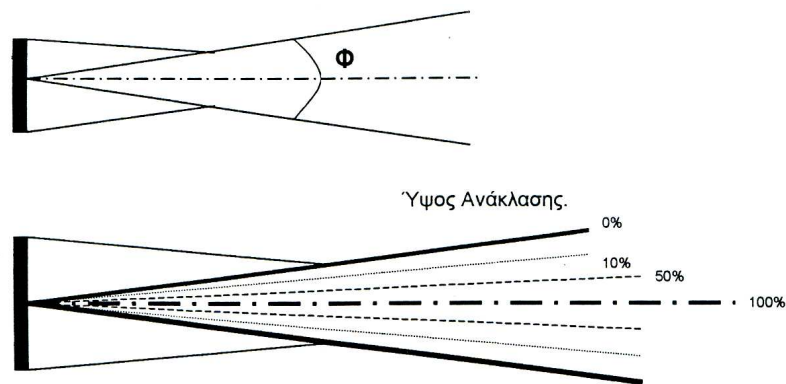
$$\text{Sin } \Phi/2 = \kappa \cdot \lambda/D$$

όπου ο συντελεστής  $\kappa$  εξαρτάται από το ύψος της ανάκλασης και παίρνει τιμές  $\kappa=1.22$  για ύψος ανάκλασης 0%.



$\kappa=1.08$  για ύψος ανάκλασης 10%.

$\kappa=0.56$  για ύψος ανάκλασης 50%.



Σχήμα 10

Το ύψος ανάκλασης 50% ή 60% προκύπτει αν θεωρηθεί η πηγή των υπερήχων ως μια απλή πηγή με έμβολο, οπότε η ποικιλία στην ακουστική πίεση που δημιουργείται κατά μήκος του άξονα της δέσμης,  $PR$ , σε μια απόσταση  $R$  από την πηγή, δίδεται από την σχέση :

$$PR = P_0 * 2 \sin \left\{ \frac{\pi}{\lambda} * \left[ \left( \frac{D^2}{4} + R^2 \right) - R \right] \right\}$$

Έτσι για ύψος ανάκλασης 50%, εννοείται ότι η ακουστική πίεση του κύματος έχει μειωθεί κατά το 50%. Ανάλογα για ύψος ανάκλασης 10%. Όταν η γωνία  $\Phi$  είναι μεγάλη, το ύψος της κάθετης εκτροπής στο παλμογράφο είναι μικρό με αποτέλεσμα να είναι δύσκολος ο έλεγχος των υλικών. Για να μειωθεί η γωνία  $\Phi$ , πρέπει με βάση τον τύπο  $\sin \Phi/2 = \kappa * \lambda/D$

- να χρησιμοποιηθεί πιεζοηλεκτρικός κρύσταλλος μεγαλύτερης διαμέτρου  $D$  ή
- να μειωθεί το μήκος κύματος με αύξηση της συχνότητας του παραγόμενου κύματος.

Πρέπει να τονισθεί ότι οι εξισώσεις για τον διασκορπισμό της δέσμης δείχνουν ότι μικρής διαμέτρου κεφαλές έχουν πλατειά δέσμη, και πιο μεγάλης διαμέτρου κεφαλές έχουν πιο εύκολα κατευθυνόμενη δέσμη, αλλά με μεγαλύτερη εγγύς ζώνη

## 3 ΣΥΓΚΟΛΗΣΕΙΣ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΚΑΙ ΣΦΑΛΜΑΤΑ

### 3.1 ΝΑΥΠΗΓΙΚΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

#### 3.1.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αλουμίνιο ή αργίλιο, είναι το τρίτο κατά σειρά στοιχείο μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο που συναντάται στον φλοιό της γης. Το αλουμίνιο προέρχεται από το ορυκτό βωξίτης που μετά από την εξόρυξή του μετατρέπεται σε αλουμίνα και στη συνέχεια με ηλεκτρόλυση μετατρέπεται σε μέταλλο αλουμίνιο. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του, καθώς και η υψηλή τεχνολογία επεξεργασίας του, εξηγούν το σημερινό ευρύ φάσμα εφαρμογών του.

Η διάρκεια ζωής των κατασκευών από αλουμίνιο είναι σημαντικά μεγαλύτερη εκείνων από χάλυβα, για λόγους αντοχής στη διάβρωση, ενώ το κόστος συντήρησής τους είναι ελάχιστο. Η τεχνολογία των κραμάτων σε συνδυασμό με την ευκολία υποβιβασμού του πάχους με την έλαση, δίνει νέα διάσταση σε δυνατότητα οικονομίας μετάλλου στις κατασκευές (σκληρότερα κράματα - χαμηλότερο πάχος).

#### 3.1.2 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το αλουμίνιο<sup>1</sup> έχει ένα εξαιρετικά μεγάλο εύρος δυνατοτήτων, ιδιοτήτων, φυσικών χημικών και μηχανικών χαρακτηριστικών που επιδεικνύουν τα τόσα κράματα του.

Συνοπτικά :

- Χαμηλό ειδικό βάρος. Μόλις το 1/3 εκείνου του σιδήρου.
- Διαμορφώνεται, ελάσσεται, εξελάσσεται, διελάσσεται, συγκολλάται, συνεπώς αποτελεί ιδανικό μέταλλο κατασκευών. Το μέτρο ελαστικότητάς του (70.000 MPa) είναι 3 φορές χαμηλότερο από εκείνο του σιδήρου. Σε δεδομένη κατάσταση φόρτισης, μία κατασκευή από αλουμίνιο παρουσιάζει 3 φορές μεγαλύτερη ελαστική επιμήκυνση απ' ό,τι μία σιδερένια.
- Το αλουμίνιο και τα περισσότερα κράματά του είναι ανθεκτικά έως πολύ

---

<sup>1</sup> Β.Ι. Παπάζογλου, " Ναυπηγική Τεχνολογία ", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1995

ανθεκτικά σε πολλές μορφές διάβρωσης. Λόγω της μεγάλης χημικής συνάφειας με το οξυγόνο, η φυσική επιφάνεια του μετάλλου είναι μόνιμα καλυμμένη με στρώμα οξειδίου του αργιλίου, που αποτελεί ένα πολύ αποτελεσματικό εμπόδιο εξάπλωσης της διάβρωσης. Το μειωμένο έως μηδενικό κόστος συντηρήσεως σε συνδυασμό με το χαμηλό ειδικό βάρος επηρεάζουν θετικά την επιλογή του αλουμινίου.

- Το αλουμίνιο είναι πολύ καλός αγωγός του ηλεκτρισμού .
- Δεν μαγνητίζεται και δεν καίγεται, ιδιότητες που θεωρούνται πολύ ουσιώδεις για ειδικές εφαρμογές, όπως κατασκευές θαλάσσης (πλατφόρμες άντλησης πετρελαίου).
- Δεν είναι τοξικό, είναι αδιαπέραστο για διάφορα περιβάλλοντα μέσα.

Υψηλή ανακλαστικότητα, πολύ καλή θερμική αγωγιμότητα (σχεδόν διπλάσια του σιδήρου). Είναι ιδιότητες πολύ χρήσιμες για τις μονώσεις και γενικότερα τη δόμηση.

Στον Πίνακα 1 φαίνονται οι κυριότερες φυσικές ιδιότητες του αλουμινίου

Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου		
	Στοιχεία	Μον. μέτρ.
Ατομικό βάρος	26,98	
Πυκνότητα (20°C)	2,6898	gr/cm <sup>3</sup>
Σημείο Τήξη	660,2	°C
Γραμμική διαστολή (0-100°C)	23,5x10 <sup>-6</sup>	(m/m)/°C
Ηλεκτρική Αντίσταση (20°C)	2,69	μΩcm
Μέτρο Ελαστικότητας (E)	68,3	GPa
Μέτρο Στρέψης (G)	25,5	GPa
Συντελεστής Poisson	0,34	

Πίνακας 1: Ιδιότητες καθαρού αλουμινίου

### 3.1.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

Το αλουμίνιο θεωρείται ένα από τα ευκολότερα μέταλλα για συγκόλληση, μόνο που τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του απαιτούν διαφορετική πρακτική από όσα είναι γνωστά για τη συγκόλληση σιδήρου.

Η ηλεκτρική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι μεγαλύτερη από την αντίστοιχη του χάλυβα, με αποτέλεσμα να απαιτείται μεγαλύτερη ισχύς μηχανημάτων για την τυπική συγκόλληση αντιστάσεως. Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι επίσης μεγαλύτερη εκείνης του χάλυβα, επομένως χρειάζεται περισσότερη θερμική ενέργεια για τη συγκόλληση. Είναι γνωστό ότι η ελεύθερη επιφάνεια του αλουμινίου καλύπτεται από ένα λεπτό στρώμα οξειδίου του αλουμινίου, που του παρέχει και παθητική προστασία οξειδωσης. Αυτό το στρώμα οξειδίου, πρέπει να αφαιρείται με βούρτσισμα, λίγο πριν τη συγκόλληση του μετάλλου. Ο συντελεστής γραμμικής διαστολής του αλουμινίου είναι διπλάσιος εκείνου του χάλυβα, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Το λειωμένο αλουμίνιο μπορεί να απορροφήσει υδρογόνο, γεγονός που ίσως δημιουργήσει πόρους στην κόλληση. Η καλή προετοιμασία της επιφάνειας του μετάλλου (καθαρισμός από ενώσεις που μπορεί να εκλύουν υδρογόνο, π.χ. απολίπανση) προστατεύει την ποιότητα της κόλλησης.

Οι κυριότερες σύγχρονες μέθοδοι συγκόλλησης είναι οι εξής<sup>2</sup>:

- Συγκόλληση με Αέριο και Κοπή με Οξυγόνο
- Συγκόλληση με Επενδεδυμένα Ηλεκτρόδια
- Συγκόλληση με Ηλεκτρόδιο Βολφραμίου και Προστασία Αερίου (TIG)
- Συγκόλληση με Τηκόμενο Ηλεκτρόδιο και Προστασία Αερίου
- Συγκόλληση Βυθισμένου Τόξου
- Αυτόματες Μέθοδοι Κατακόρυφης Συγκόλλησης
- Συγκόλληση και Κοπή με Τόξο Πλάσματος

Οι 2 βασικότερες μέθοδοι συγκόλλησης αλουμινίου είναι :

- 1) Μέθοδος TIG (Tungsten Inert Gas)
- 2) Μέθοδος MIG (Metal Inert Gas)

Και οι 2 μέθοδοι, μπορούν να εφαρμοσθούν είτε χειροκίνητα, είτε με αυτόματες διατάξεις (ρομπότ). Με την ανάπτυξη αυτομάτων διατάξεων συγκολλήσεως, μπορούμε σήμερα να διαχειρισθούμε με συγκόλληση, πάχη αλουμινίου από 0,5 έως και πάνω από 75 χιλιοστά.

---

<sup>2</sup> Βλέπε Β.Ι. Παπάζογλου, Γ.Δ. Παπαδημητρίου “ Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων “, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1994

### **1) Μέθοδος TIG**

Το τόξο συγκόλλησης, προέρχεται από πηγή εναλλασσόμενου ρεύματος και εφαρμόζεται μεταξύ του αλουμινίου για κόλληση και ενός ηλεκτροδίου από βολφραμιο. Εφόσον απαιτείται, χρησιμοποιείται και υλικό πλήρωσης (*filler rod*). Για συγκόλληση μικρών τεμαχίων, λειώνει το αλουμίνιο στην περιοχή της κόλλησης και χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό. Πρόσθετο υλικό προστασίας της κόλλησης από οξείδωση (όπως ο βόρακας στην τυπική συγκόλληση) δεν χρειάζεται γιατί όλη η κόλληση προστατεύεται από αδρανές αέριο. Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται συνήθως σε κολλήσεις όπου η πρόσβαση είναι εφικτή μόνο από τη μία πλευρά (κλειστά προφίλ, σωλήνες κλπ.)

### **2) Μέθοδος MIG**

Το τόξο συγκόλλησης προέρχεται από πηγή συνεχούς ρεύματος, ανεστραμμένης πολικότητας (με το ηλεκτρόδιο θετικό) και εφαρμόζεται μεταξύ του αλουμινίου και του μετάλλου πληρώσεως (*filler metal*). Το ηλεκτρόδιο-μέταλλο πληρώσεως, έχει μορφή τυλιγμένου σύρματος που αυτόματα ξετυλίγεται, προωθείται και συντηρεί το τόξο. Και στη μέθοδο MIG, η κόλληση περιλούεται με αδρανές αέριο και προστατεύεται από οξείδωση. Οι μεγάλες αυτόματες μηχανές συγκόλλησης είναι τύπου MIG.

Η συγκόλληση με *laser beam*, χρησιμοποιείται σε εφαρμογές ηλεκτρονικών και όπου το πάχος του προς συγκόλληση μετάλλου είναι μικρό.

*Stud welding*, *ultrasonic welding (foil)*, *friction welding*, *cold pressure welding*, *hot pressure welding*, *brazing*, είναι μέθοδοι συγκολλήσεως που εφαρμόζονται κατά περίπτωση για το αλουμίνιο.

### **3.1.4 ΚΡΑΜΑΤΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ**

Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των τυπικών βιομηχανικών κραμάτων αλουμινίου είναι :

1. Ο Χαλκός (Cu)
2. Το Μαγγάνιο (Mn)
3. Το Πυρίτιο ( Si )
4. Το Μαγνήσιο ( Mg )
5. Ο Ψευδάργυρος (Zn)
6. Ο Σίδηρος (Fe)

Γενικά, για τη συνήθη παραγωγή των κραμάτων αλουμινίου, ακολουθείται η μεθοδολογία της τήξης, της κραματοποίησης με προσθήκη στοιχείων, και της χύτευσης.

Η καλύτερη εκμετάλλευση των πολύ αξιόλογων ιδιοτήτων του αλουμινίου οδήγησε στην παραγωγή των εμπορικά ανεπτυγμένων σήμερα κραμάτων αλουμινίου, που το καθένα έχει τονισμένη (ή τονισμένες) κάποια ομάδα ιδιοτήτων.

Τα κράματα αλουμινίου που αφορούν στο αλουμίνιο κατεργασίας (ΕΛΑΣΗ - ΔΙΕΛΑΣΗ) τυποποιούνται διεθνώς - ανάλογα με τα βασικά στοιχεία κραματοποίησης - στις παρακάτω σειρές :

ΣΕΙΡΑ 1000 : Κράματα με περιεκτικότητα σε αλουμίνιο πάνω από 99%.

ΣΕΙΡΑ 2000 : Κράματα αλουμινίου - χαλκού.

ΣΕΙΡΑ 3000 : Κράματα αλουμινίου - μαγγανίου.

ΣΕΙΡΑ 4000 : Κράματα αλουμινίου - πυριτίου.

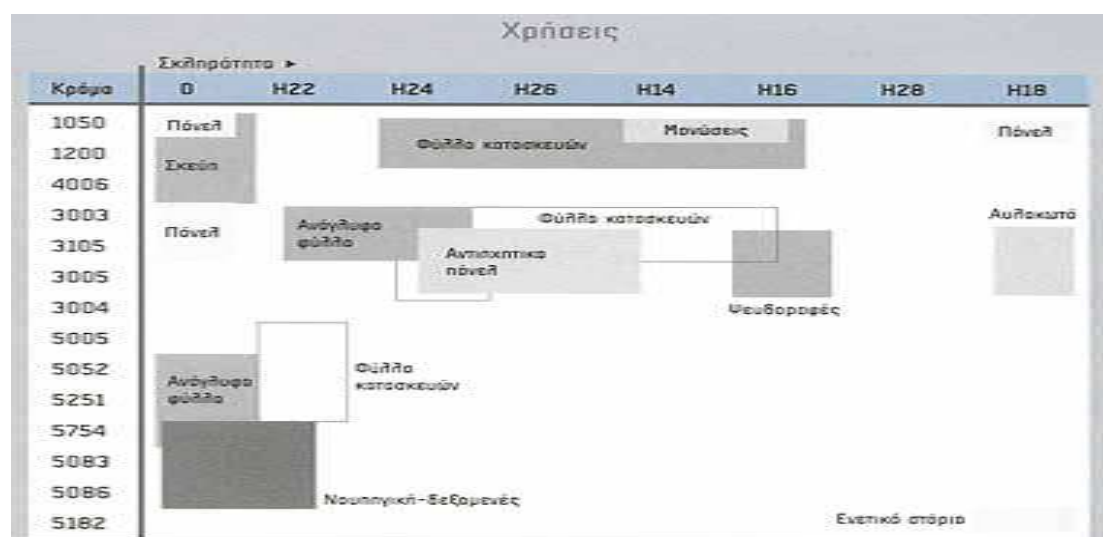
ΣΕΙΡΑ 5000 : Κράματα αλουμινίου - μαγνησίου.

ΣΕΙΡΑ 6000 : Κράματα αλουμινίου - μαγνησίου - πυριτίου.

ΣΕΙΡΑ 7000 : Κράματα αλουμινίου - ψευδαργύρου - μαγνησίου.

ΣΕΙΡΑ 8000 : Διάφορα κράματα αλουμινίου ( λιθίου, σιδηρούχα , κ.α.)

Στο σχήμα 11 φαίνονται διάφορες χρήσεις κραμάτων αλουμινίου



Σχήμα 11: Χρήσεις κραμάτων αλουμινίου

### 3.1.5 ΤΟ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ ΣΤΗ ΝΑΥΠΗΓΙΚΗ

Η σύγχρονη απαίτηση για γρήγορα θαλάσσια μέσα μεταφοράς τόσο για

εμπορικές όσο και για στρατιωτικές εφαρμογές έχει αναδείξει την ανάγκη για χρήση ελαφρύτερων υλικών κατασκευής τα οποία εξασφαλίζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων που οφείλονται στον κατάλληλο συνδυασμό πολύ χρήσιμων επιθυμητών ιδιοτήτων τους.

Το κύριο χαρακτηριστικό των κραμάτων αλουμινίου, που είναι η υψηλή τιμή του λόγου αντοχής προς βάρος, το καθιστούν ιδιαίτερα ελκυστικό υλικό για χρήση σε σκάφη υψηλών επιδόσεων. Οι περισσότερες εφαρμογές του αλουμινίου οφείλονται στη μικρή του πυκνότητα ( $0.16 \text{ kg/m}^3$ ) και στη σχετικά υψηλή αντοχή των κραμάτων του. Επίσης, σημαντικό πλεονέκτημα αποτελεί η πολύ καλή αντίσταση σε διάβρωση, η καλή επεξεργασιμότητά του, η υψηλή ηλεκτρική και θερμική του αγωγιμότητα και η υψηλή του δυσθραυστότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Για τη χρήση του αλουμινίου πρέπει να λαμβάνεται όμως υπόψη το χαμηλό μέτρο ελαστικότητάς του ( $69 \times 10^3 \text{ MPa}$ ), καθώς και ο υψηλός συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $160 \text{ W / m}^{\circ}\text{K}$ .

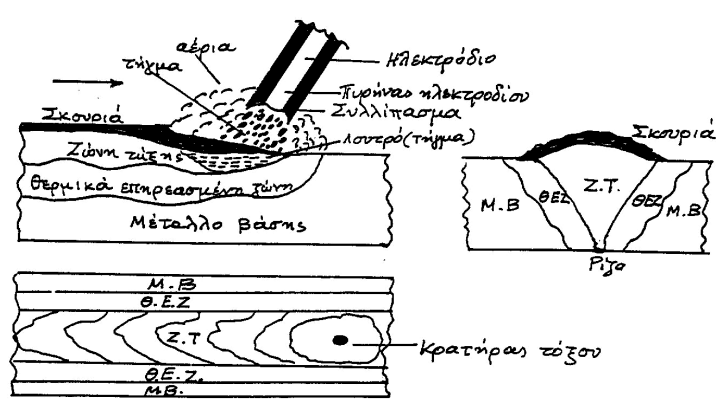
Το αλουμίνιο και τα κράματά του γενικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή της γάστρας, στις υπερκατασκευές – υπερστεγάσματα, στα καλύμματα των στομιών κυτών εμπορικών πλοίων, πτυσσόμενες γέφυρες, καθώς επίσης και για τον εξοπλισμό του πλοίου όπως διαφόρων ειδών σκάλες, κάγκελα, κιγκλιδώματα, πόρτες και παράθυρα, καθώς και κατασκευές πυρασφάλειας και πολλές άλλες εφαρμογές. Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα από τη χρήση του αλουμινίου και των κραμάτων του, ακόμα και σε συγκολλητές κατασκευές, είναι η εξοικονόμηση βάρους σε σχέση με τον χάλυβα που μπορεί να φτάσει ακόμα και το 55 – 67 % για κατασκευές με τις ίδιες απαιτήσεις όσον αφορά στην αντοχή. Ακόμα και αν αντισταθμίσουμε το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας του αλουμινίου έτσι ώστε η κατασκευή να συμπεριφέρεται σύμφωνα με τα επιτρεπτά όρια, ακόμα και τότε παρατηρείται, σχετικά μικρότερη όμως, εξοικονόμηση βάρους.

Η χρήση του αλουμινίου αυξάνει την ταχύτητα μειώνοντας το βάρος του σκάφους, γεγονός που επιφέρει οφέλη όσον αφορά στην οικονομία στην κατανάλωση καυσίμων, ενώ ταυτόχρονα διασφαλίζει την ικανότητα πλεύσης, την ασφάλεια και την αξιοπιστία. Η επιλογή κατάλληλων κραμάτων αλουμινίου οδηγεί στη μείωση των απαιτήσεων και των εξόδων συντήρησης λόγω της πολύ καλής αντίστασης σε διάβρωση που έχουν όταν βρίσκονται εκτεθειμένα στο φυσικό περιβάλλον και ιδιαίτερα το θαλάσσιο.

Η εξοικονόμηση βάρους από τη χρήση του αλουμινίου στη γάστρα των πλοίων μπορεί να φτάσει το 35 – 45 % και στις υπερκατασκευές το 55 – 67 % συγκριτικά με το χάλυβα. Το αλουμίνιο είναι αναγνωρισμένο και συμφωνεί με τις απαιτήσεις που έχουν τεθεί από το «High Speed Code of the International Maritime Organization», για τον σχεδιασμό των πλοίων, την ασφάλεια, και τον έλεγχο σε περίπτωση πυρκαγιάς. Επίσης, η συμπεριφορά του σε καταστάσεις στρεπτικής, καμπτικής και θλιπτικής φόρτισης αλλά και κρουστικών φορτίων κατά την πλεύση με μεγάλες ταχύτητες είναι αν όχι εξίσου καλές, καλύτερες από τις αντίστοιχες του χάλυβα.

### 3.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ

Μία τυπική συγκόλληση με τα χαρακτηριστικά της φαίνεται στο Σχήμα 12. Τα τεμάχια του μετάλλου που συγκολλούμε χαρακτηρίζονται ως «μέταλλο βάσης», σε αντιδιαστολή με το τηγμένο μέταλλο που προστίθεται και που ονομάζεται «μέταλλο προσθήκης».



Σχήμα 12 : Σχηματική αναπαράσταση συγκόλλησης τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια

Η συγκόλληση του σχήματος είναι μία συγκόλληση ηλεκτρικού τόξου με επενδεδυμένα ηλεκτρόδια, μία από τις κατηγορίες συγκολλήσεων που συναντώνται πολύ συχνά. Το ηλεκτρικό τόξο προκαλείται από μία διαφορά δυναμικού ανάμεσα στο μέταλλο βάσης και στο «ηλεκτρόδιο», που είναι ένα μεταλλικό σύρμα επικαλυμμένο εξωτερικά με κατάλληλο μεταλλουργικό συλλίπασμα για την δημιουργία «σκουριάς». Στο παραπάνω Σχήμα 12 το

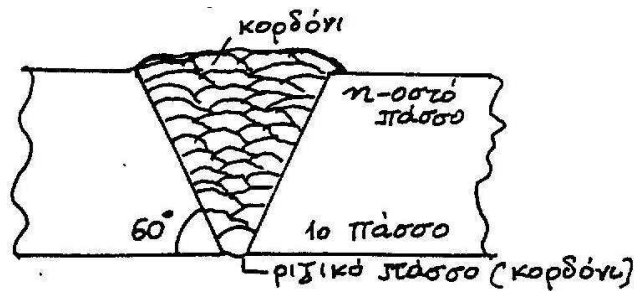


μέταλλο μεταφέρεται υπό μορφή σταγόνων από το ηλεκτρόδιο προς το «λουτρό» του τηγμένου μετάλλου.

Οι σταγόνες προστατεύονται από την οξειδωση με μία ατμόσφαιρα αερίων που περιβάλλουν το τόξο και το απομονώνουν από τον αέρα. Τα αέρια αυτά προέρχονται από την διάσπαση ορισμένων συστατικών του συλλιπάσματος. Το τηγμένο μέταλλο προστατεύεται από την οξειδωση με την ρευστή σκουριά που το καλύπτει, και η οποία προέρχεται, επίσης, από το συλλίπασμα. Σε κάποια απόσταση πίσω από τη συγκόλληση, καθώς αυτή προχωρεί, συμβαίνει στερεοποίηση τόσο του μετάλλου, όσο και της σκουριάς, η οποία απομακρύνεται μετά το τέλος της συγκόλλησης με χτυπήματα σφυριού, δεδομένου ότι είναι εύθραυστη. Κατά την συγκόλληση τήκεται κι ένα μέρος του μετάλλου βάσης από τις συγκολλούμενες παρειές και αναμειγνύεται με το τήγμα που προέρχεται από το ηλεκτρόδιο.

Σε άμεση επαφή με το στερεοποιημένο τήγμα, που ονομάζεται «ζώνη τήξης», βρίσκεται η «θερμικά επηρεασμένη ζώνη». Πρόκειται για μία περιοχή του μετάλλου που δεν έφτασε στη θερμοκρασία τήξης, έφτασε όμως σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία, ώστε να υποστεί είτε μετασχηματισμούς φάσεων, είτε ανακρυστάλλωση, είτε μεγέθυνση των κόκκων.

Επειδή για τη συνένωση δύο μεταλλικών τεμαχίων απαιτείται συχνά αρκετή ποσότητα μετάλλου προσθήκης που δεν μπορεί να αποτεθεί σε ένα απλό πέρασμα, η συγκόλληση πραγματοποιείται συνήθως σε πολλές στρώσεις. Το Σχήμα 13 δείχνει δύο τεμάχια τα οποία έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα στο ένα άκρο (κατά μία γωνία  $\sim 60^\circ$ ) με μία «λοξοτομή» ή «φρέζα». Η κοιλότητα σχήματος V έχει γεμιστεί με τα «κορδόνια» που έχουν αποτεθεί, ένα σε κάθε πέρασμα. Τα κορδόνια που βρίσκονται στο ίδιο οριζόντιο επίπεδο (στην ίδια στάθμη) αποτελούν μια στρώση (πάσο). Έτσι μία συγκόλληση, κατά κανόνα, κατασκευάζεται σε αρκετές στρώσεις με την απόθεση πολυάριθμων κορδονιών. Η στρώση της ρίζας της συγκόλλησης αποτελείται συνήθως από ένα κορδόνι και λέγεται «ριζικό πάσο».



Σχήμα 13 : Λοξοτομή, κορδόνια και πάσσα

### 3.2.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Στα πλαίσια των συγκολλήσεων, μπορούμε να διακρίνουμε πέντε μεγάλες κατηγορίες ένωσης μετάλλων :

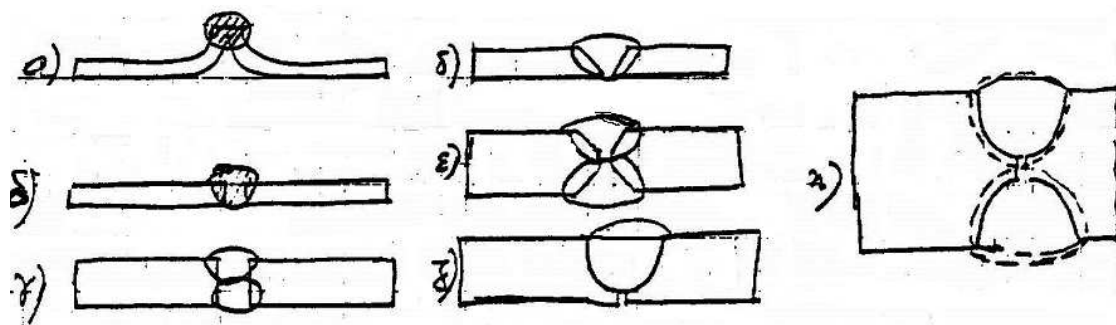
- Συγκόλληση με τήξη (fusion welding), όπου προσδίδεται θερμότητα στα υπό ένωση μέταλλα μέχρι να συμβεί σύντηξη. Δεν απαιτείται η εφαρμογή εξωτερικής πίεσης. Παραδείγματα: Ηλεκτροσυγκόλληση με τόξο, συγκόλληση με αέριο, συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων και συγκόλληση με ακτίνες laser.
- Συγκόλληση με ηλεκτρική αντίσταση (electric-resistance welding), όπου πρώτα προσδίδεται θερμότητα με τη βοήθεια ηλεκτρικού ρεύματος που περνά από τα υπό ένωση μέταλλα και μετά εφαρμόζεται εξωτερική πίεση. Παραδείγματα: συγκόλληση κατά σημεία, κατά εξοχές κ.τ.λ.
- Συγκόλληση σε στερεά φάση (solid-phase welding), όπου εφαρμόζεται εξωτερική πίεση, χωρίς όμως προηγούμενη τήξη των υπό συγκόλληση μετάλλων, εκτός από ένα πολύ λεπτό στρώμα κοντά στις επιφάνειες συγκόλλησης. Παραδείγματα: συγκόλληση με τριβή, συγκόλληση με διάχυση κ.τ.λ.
- Ετερογενής συγκόλληση ή ένωση σε υγρή – στερεή φάση (liquid – solid phase joining), όπου τα υπό ένωση μέταλλα θερμαίνονται μέχρι να αποκτήσουν θερμοκρασία μικρότερη του σημείου τήξης τους και συγχρόνως προστίθεται διαφορετικό μέταλλο (χαμηλότερου σημείου τήξης) σε υγρή κατάσταση, έτσι ώστε μετά την απόψυξη να δημιουργηθεί η ένωση σε στερεή κατάσταση. Παραδείγματα: ετερογενής συγκόλληση με φλόγα, με ηλεκτρικό τόξο, σε φούρνο, με επαγωγή και κόλληση.
- Ένωση με κόλλα (adhesive bonding), όπου οι ενώσεις δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της μοριακής έλξης μεταξύ των προς ένωση επιφανειών και

της κόλλας. Παραδείγματα: ζωικές και φυτικές κόλλες, τσιμέντο, ασφαλτικά και διάφορα πλαστικά (π.χ. εποξικά) προϊόντα.

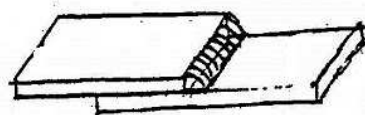
### 3.2.2 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Για τη συγκόλληση ελασμάτων ή δομικών προφίλ, οι μορφές συγκόλλησης εμπίπτουν συνήθως σε μία από τις ακόλουθες κατηγορίες του Σχήματος 14 :

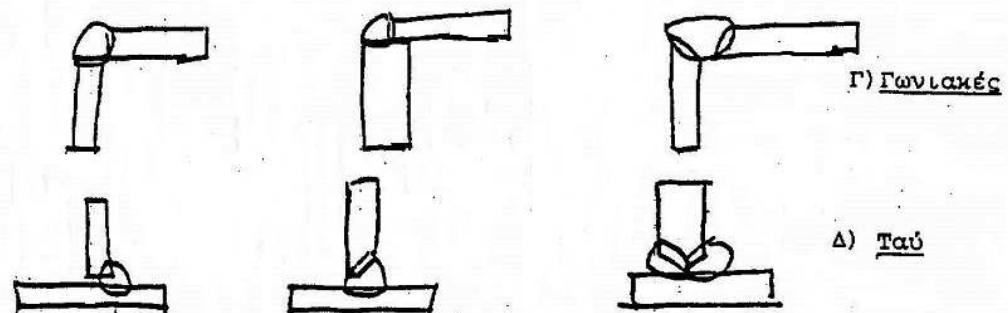
- (Α) «Μετωπική»
- (Β) «Με επικάλυψη»
- (Γ) «Γωνιακή» και
- (Δ) «Ταυ»



Α) Μετωπικές συγκολλήσεις



Β) Συγκολλήσεις με επικάλυψη



Γ) Γωνιακές

Δ) Ταύ

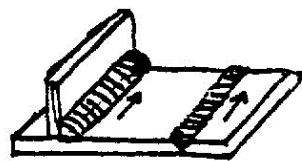
Σχήμα 14 : Διάφοροι τύποι συγκολλητών συνδέσεων (από γεωμετρική άποψη)

Στις μετωπικές συγκολλήσεις, που είναι γνωστές και σαν «σόκορο», τα άκρα των ελασμάτων συγκολλούνται αντικριστά, όπως φαίνεται στα Σχήματα 14α έως 14η.

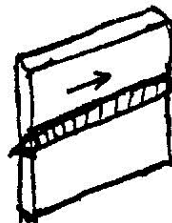
Στις συγκολλήσεις με επικάλυψη, η επικάλυψη πρέπει να έχει μήκος 3-5 φορές το πάχος του ελάσματος, ενώ στις γωνιακές και ταυ συγκολλήσεις η λοξοτομή χρησιμοποιείται συνήθως για πάχη άνω των 10 mm.

Οι συγκολλήσεις διακρίνονται, ακόμη, ανάλογα με την θέση που γίνεται η απόθεση, σε ( Σχήμα 15 ):

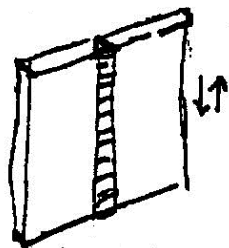
- (1) Επίπεδες
- (2) Οριζόντιες
- (3) Κατακόρυφες ανεβατές ή κατεβατές και σε
- (4) Συγκολλήσεις ουρανού



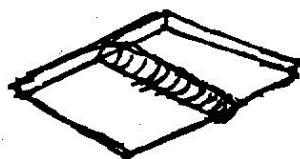
"επίπεδη"



"οριζόντια"



"κατακόρυφη"



"ουρανού"

Σχήμα 15 : Τύποι συγκολλήσεων, ανάλογα με την θέση όπου εκτελούνται.

### 3.3 ΣΦΑΛΜΑΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

#### 3.3.1 ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Τα τελευταία χρόνια, οι απαιτήσεις που επιβάλλει το κοινωνικό σύνολο για πιο αξιόπιστες κατασκευές, μαζί με την 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.

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.

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

### 3.3.2 ΤΑΞΙΝΟΜΙΣΗ ΤΥΠΙΚΩΝ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

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 προορίζετε 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.

- Παραμορφώσεις
- Ανακριβές μέγεθος συγκόλλησης
- Ανακριβές προφίλ/κατατομή συγκόλλησης
- Ανακριβείς τελικές διαστάσεις
- Υπερβολική ενίσχυση της συγκόλλησης ή αλλιώς υπερβολική χρήση συγκολλητού υλικού

2. Ασυνέχειες που σχετίζονται με την ίδια τη συγκόλληση και την εσωτερική δομή αυτής.

- Πόροι/Σπηλαιώσεις
- Εγκλείσματα σκουριάς
- Εγκλείσματα βολφραμίου
- Ατελής τήξη
- Ανεπαρκής διείσδυση
- Υποκοπή
- Ρωγμές
- Επιφανειακές ανωμαλίες
- Λοιπές ανωμαλίες

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

### 3.3.3 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ 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<sup>4</sup>:

- 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.

### 3.3.4 ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΚΑΤΑ 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.

Στη συνέχεια παραθέτουμε σε ποια από τις μεγάλες αυτές κατηγορίες κατατάσσεται κάθε ένα από τα επιμέρους τυπικά σφάλματα συγκολλήσεων.

---

<sup>3</sup> Μ. Κ. Κωτούζας “ Υπέρηχοι – Ultrasonic Testing – 1. Σημειώσεις Θεωρίας, 2. Ταξινόμηση Ασυνεχειών “, Κέντρο Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου, Βόλος, 2000



## **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. Αναθέρμανσης
4. Σχάση κατά φυλλώσεις

### **B. Πόροι.**

1. Σφαιρικοί.
2. Επιμήκεις.

### **Γ. Αλλαγή δομής στην θερμαινόμενη περιοχή.**

## **III. Σφάλματα οφειλόμενα στη 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 διεύρυνσής 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.

### **3.4 ΑΣΥΝΕΧΕΙΕΣ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΚΑΙ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ**

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 με βάση πάντα κάποια τυποποίηση ή κάποιον κώδικα.

**Ι. Παραμορφώσεις/Στρεβλώσεις :** Κατά τη 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 στη δομή της συγκόλλησης ακόμα και μετά την απόψυξη. Τέτοιες τάσεις έχουν ως αποτέλεσμα να προκαλούν παραμορφώσεις. Για να αποφευχθούν θα πρέπει τα τεμάχια που θα συγκολληθούν 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 στον άξονά της, 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 τη σύγκρισή 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 έχουν 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 τη 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.

### **3.5 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ, ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ, ΔΙΟΡΘΩΣΗ ΚΑΙ ΣΥΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ ΤΥΠΙΚΩΝ ΑΣΥΝΕΧΕΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ**

#### **3.5.1 ΡΩΓΜΕΣ**

Οι ρωγμές αποτελούν την πρώτη βασική κατηγορία σφαλμάτων συγκόλλησης. Η ρωγμή ορίζεται ως μία ασυνέχεια υλικού οφειλόμενη σε θραύση και χαρακτηρίζεται από οξύ άκρο και μεγάλους λόγους μήκους και πλάτους ως προς το άνοιγμά της. Οι ρωγμές αποτελούν την πιο επικίνδυνη μορφή σφάλματος σε συγκολλητές κατασκευές, γιατί κάτω από κατάλληλες συνθήκες μπορούν να επεκταθούν με μεγάλη ταχύτητα και να προκαλέσουν την 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. Διαμήκεις Ρωγμές, που εκτείνονται παράλληλα προς τον άξονα της συγκόλλησης και που βρίσκονται συνήθως στο μέσο του μετάλλου συγκόλλησης. Αυτές οι ρωγμές δημιουργούνται είτε ως επέκταση ρωγμών κρατήρα είτε ως 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:

1. 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.

2. Διαμήκειες Ρωγμές, που είναι παράλληλες προς τη συγκόλληση, αλλά βρίσκονται στο βασικό μέταλλο μπορεί να είναι επεκτάσεις ρωγμών κάτω από την απόθεση.

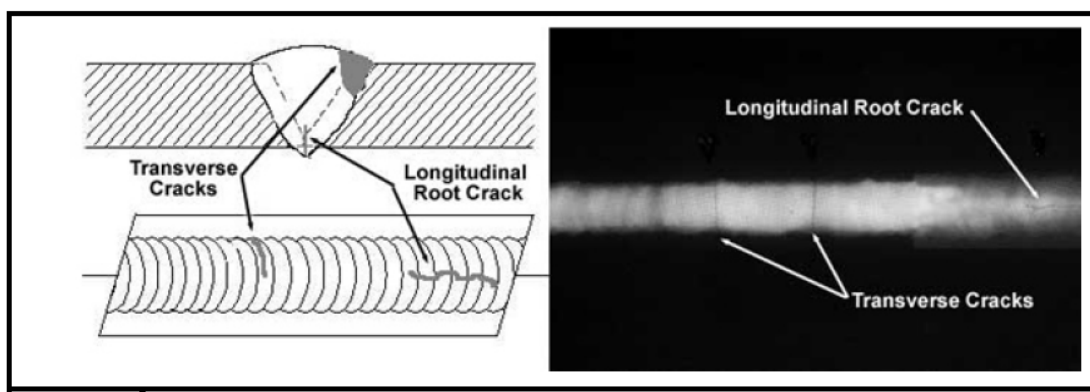
Στη περίπτωση αυχενικών συγκολλήσεων διακρίνουμε τους ακόλουθους δύο τύπους:

1. Ρωγμές Βάσης, που εκτείνονται από τη βάση της αυχενικής συγκόλλησης προς το βασικό μέταλλο. Συνήθως ξεκινούν από υποκοπές.

2. 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.



Εικόνα 9: Οι ρωγμές εμφανίζονται ως οδοντώσεις και συχνά ως εξασθενημένες ανώμαλες γραμμές. Οι ρωγμές μπορούν μερικές φορές να εμφανιστούν και ως «ουρές» στα εγκλείσματα και τους πόρους

### 3.5.1.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

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).

Α. Στην 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 τις 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.

Β. Στην περίπτωση των ρωγμών που εμφανίζονται στο βασικό μέταλλο, και κυρίως στη θερμικά επηρεασμένη 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 την 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

### 3.5.1.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

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 ως 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.

### 3.5.2 ΣΠΗΛΑΙΩΣΕΙΣ

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

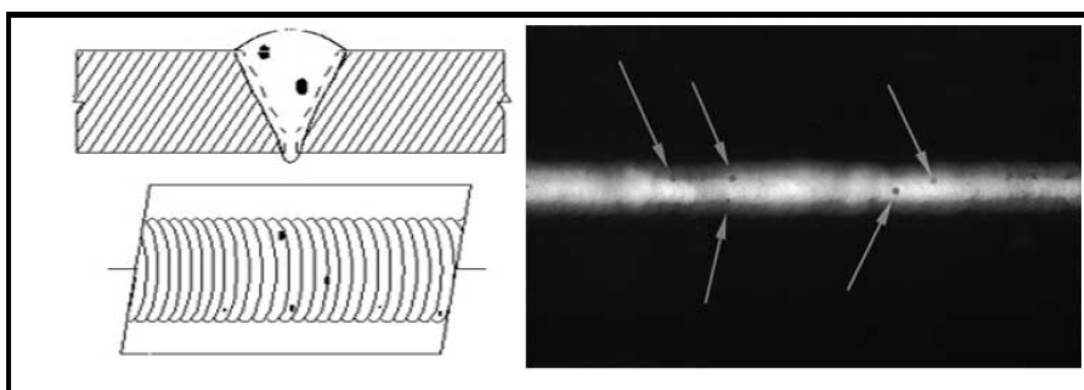
Ανάλογα με την κατανομή και τη μορφή των πόρων, διακρίνονται οι ακόλουθες υποκατηγορίες:

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.

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. Στην περίπτωση των αυχενικών συγκολλήσεων, οι πόροι αυτοί εκτείνονται συνήθως από τη ρίζα της συγκόλλησης προς την όψη της.



Εικόνα 10: Οι πόροι ή αλλιώς σπηλαιώσεις εμφανίζονται στην ραδιογραφία της συγκόλλησης ως μαύρες κουκκίδες

### 3.5.2.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

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 ( $N_2$ )
- Μονοξείδιο του άνθρακα ( $CO$ )
- Διοξείδιο του άνθρακα ( $CO_2$ )
- Υδρατμοί
- Αργό ( $Ar$ )
- Ήλιο ( $He$ )

Από αυτά το υδρογόνο ( $H_2$ ) θεωρείται ως 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.

### 3.5.2.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ

Η σπουδαιότητα των πόρων ως 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 την ψαθυρή θραύση, η επίδραση των πόρων είναι γενικά μικρή. Στην 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.

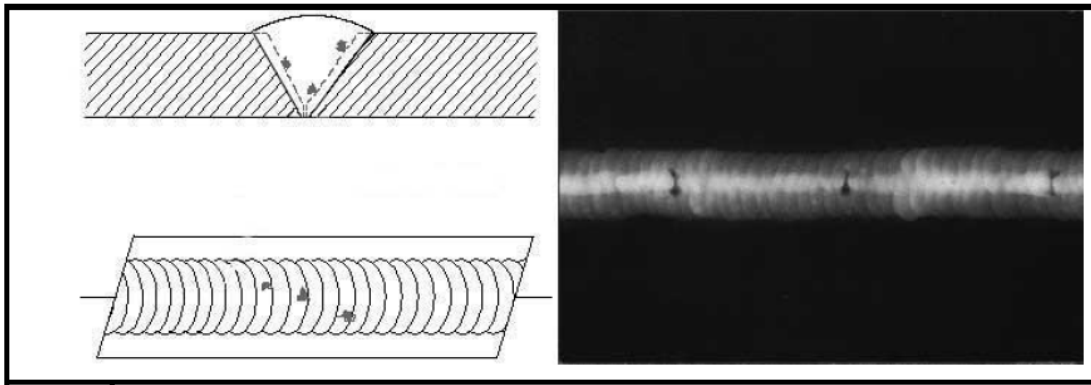
### **3.5.3 ΣΤΕΡΕΑ ΕΓΚΛΕΙΣΜΑΤΑ**

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

Το πιο συνηθισμένο είδος 3ου σφάλματος είναι τα εγκλείσματα σκουριάς, που ορίζονται ως μη μεταλλικές στερεές ουσίες που παγιδεύονται στο μέταλλο συγκόλλησης, ή μεταξύ μετάλλου συγκόλλησης και βασικού μετάλλου. Άλλο είδος εγκλείσματος είναι το εγκλείσμα 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 στρογγυλεμένα 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, στην 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.



Εικόνα 11: Σε μια ραδιογραφία, οι σκοτεινές, οδοντωτές ασυμμετρικές μορφές μέσα στη συγκόλληση ή κατά μήκος των περιοχών της συγκόλλησης είναι ενδεικτικές για την ύπαρξη εγκλεισμάτων σκουριάς

### 3.5.3.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

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 στην 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.

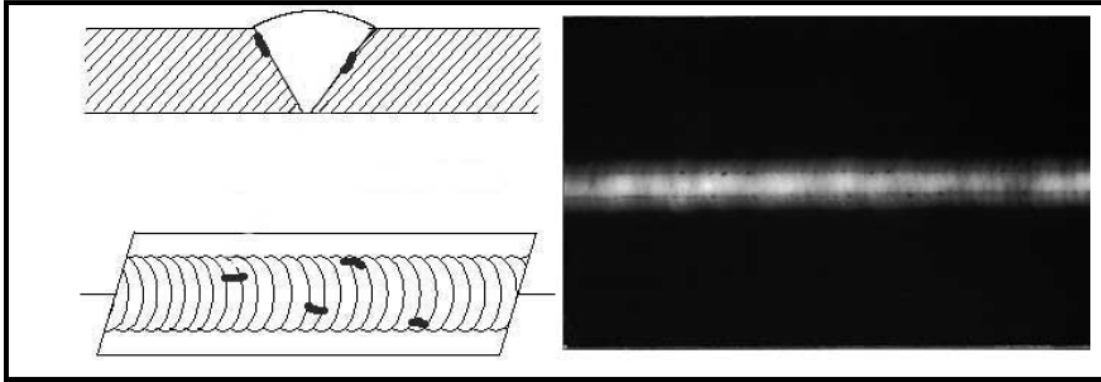
### **3.5.3.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ**

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

### **3.5.4 ΑΤΕΛΗΣ ΤΗΞΗ Η ΔΙΕΙΣΔΥΣΗ**

Η 4η 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 στην 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 στην περιοχή της ένωσης, που για την τήξη της απαιτεί διείσδυση, τότε η περιοχή αυτή λέγεται ότι έχει ατελή διείσδυση.



Εικόνα 12: Η ατελής τήξη σε μια ραδιογραφία εμφανίζεται ως μια σκοτεινή γραμμή/ γραμμές που προσανατολίζεται στην κατεύθυνση της ραφής της συγκόλλησης κατά μήκος της περιοχής που έγιναν προετοιμασίες για την σύνδεση των τεμαχίων με συγκόλληση

#### 3.5.4.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ

Το σφάλμα της ατελούς τήξης, συμβαίνει σχεδόν πάντα, ως 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 την πιθανότητα για τη δημιουργία ατελούς τήξης.

Στην 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.

#### **3.5.4.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ**

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 στην περίπτωση που η συγκόλληση πρόκειται να καταπονηθεί με δυναμικά φορτία, ευνοώντας τη δημιουργία ρωγμών που οδηγούν σε ταχεία κατάρρευση.

#### **3.5.5 ΑΤΕΛΕΣ ΣΧΗΜΑ Η ΑΝΩΜΑΛΗ ΟΨΗ**

Στην 5η 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 (Εικόνες 13 και 14).

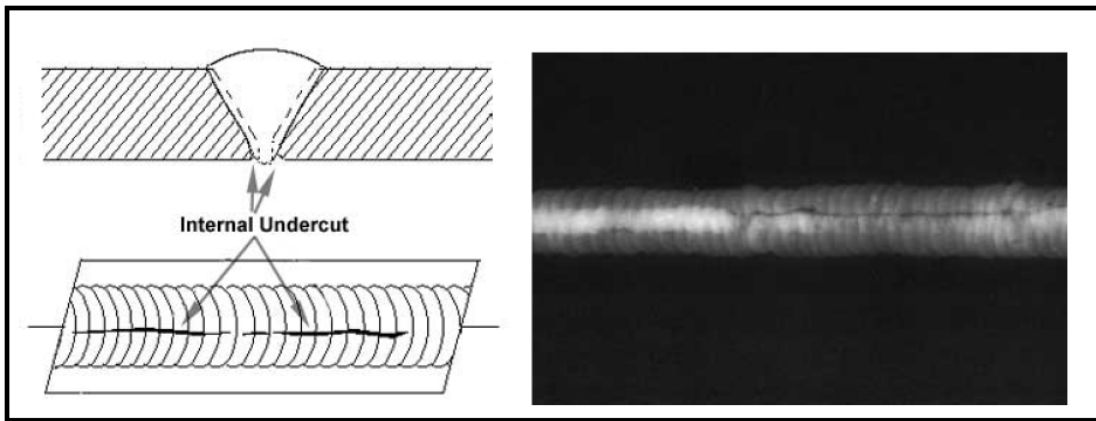
2. **Υπερκάλυψη (overlap)**, παράλληλα προς τον άξονα της συγκόλλησης.

3. **Ανεπαρκές γέμισμα (underfill)**, που ορίζεται ως η εσοχή, στην όψη ή στη ρίζα της συγκόλλησης, που είναι χαμηλότερη από το επίπεδο του βασικού μετάλλου (Εικόνα 15).

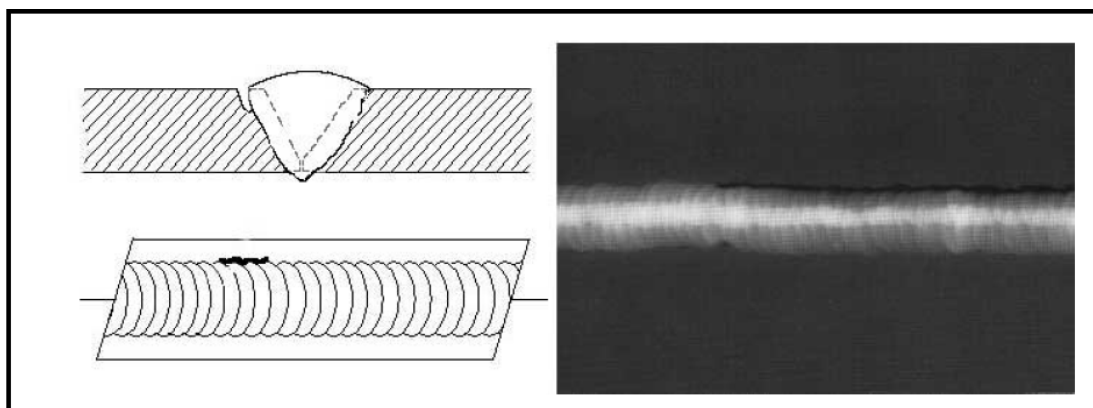
4. **Υπερβολική ενίσχυση όψης (excessive reinforcement)**, που είναι το αντίθετο του προηγούμενου σφάλματος (Εικόνα 16).

5. **Ανεπαρκής διάσταση ραφής (insufficient leg)**.

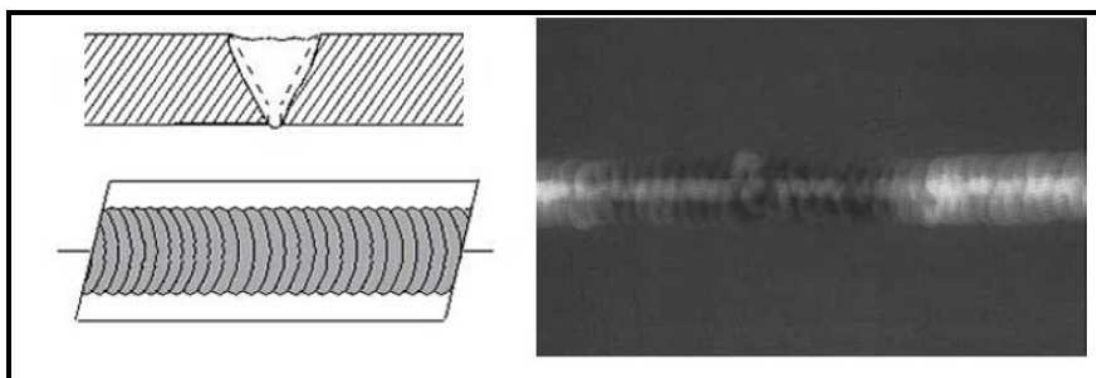
6. **Υπερβολική κυρτότητα όψης (excessive convexity)**.



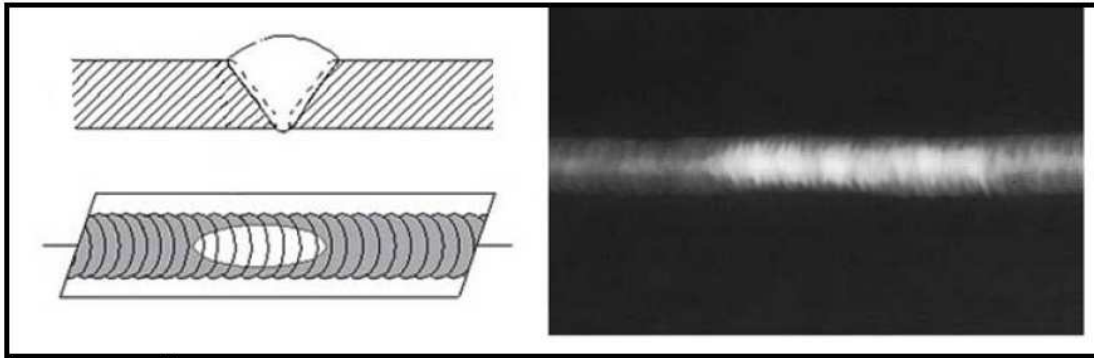
Εικόνα 13: Η «εσωτερική» υποκοπή εμφανίζεται στην ραδιογραφία ως μια σκοτεινή ανώμαλη γραμμή που αντισταθμίζεται από την κεντρική γραμμή της συγκόλλησης



Εικόνα 14: Στην ραδιογραφία η «εξωτερική» υποκοπή, εμφανίζεται ως μια σκοτεινή ανώμαλη γραμμή κατά μήκος του εξωτερικού άκρου της περιοχής της συγκόλλησης



Εικόνα 15: Στην ραδιογραφία εάν η συγκόλληση εμφανίζει ανεπαρκές γέμισμα, τότε η αμαύρωση στο κομμάτι της συγκόλλησης που έγινε ανεπαρκές γέμισμα θα είναι μεγαλύτερη



*Εικόνα 16: 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*

### **3.5.5.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ**

*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.*

### **3.5.5.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ**

*Τα σφάλματα της υποκοπής, της υπερκάλυψης και της υπερβολικής ενίσχυσης όψης δημιουργούν οξείες εγχοπές στην επιφάνεια των συγκολλήσεων. Αυτό σημαίνει ότι δημιουργούνται περιοχές υψηλής συγκέντρωσης τάσεων, με αποτέλεσμα την πιθανότητα έναρξης ρωγματώσεων 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.*



### **3.5.6 ΔΙΑΦΟΡΑ ΑΛΛΑ ΣΦΑΛΜΑΤΑ**

Στην 6η 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 την 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.

#### **3.5.6.1 ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΟΡΘΩΣΗ**

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

Το υπερβολικό πιτσίλισμα 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.

#### **3.5.6.2 ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑ**

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 ρωγματώσεις μεγάλης έκτασης.

Το υπερβολικό πιτσίλισμα 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.

## 4 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Η μέθοδος των υπερήχων εφαρμόστηκε για πρώτη φορά από το Sokolon το 1929 για την ανίχνευση ατελειών, ενώ το 1942 εφαρμόστηκε από το Firestone για τον έλεγχο των υλικών. Σήμερα, είναι γενικά αποδεκτή σαν ένα πρακτικό εργαλείο ελέγχου των υλικών. Η μέθοδος αυτή βρίσκει ιδιαίτερα μεγάλη εφαρμογή στις κατασκευές υψηλού κινδύνου, όπως είναι τα αεροπλάνα, οι πυρηνικοί αντιδραστήρες, οι δεξαμενές καυσίμων και χημικών ουσιών και σε πολλές άλλες κατασκευές.

Η μέθοδος των υπερήχων, συγκρινόμενη με τις άλλες μη καταστροφικές μεθόδους ελέγχου των υλικών, παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον, γιατί είναι απλή, χρησιμοποιεί συσκευές φορητές και όχι υψηλού κόστους και βάρους, είναι ευαίσθητη, δεν επηρεάζει τις ιδιότητες των ελεγχόμενων υλικών και το σημαντικότερο, είναι μια πειραματική μέθοδος εντελώς ακίνδυνη για την υγεία του ανθρώπου. Επίσης, με την μέθοδο αυτή, επιτυγχάνεται ο προσδιορισμός των γεωμετρικών στοιχείων μιας ατέλειας με μεγάλη ακρίβεια<sup>1</sup>.

### 4.1 Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ

Ο έλεγχος συγκολλήσεων απαιτεί χρήση κεφαλών υπερήχων γωνιακής δέσμης. Πριν από κάθε έλεγχο λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

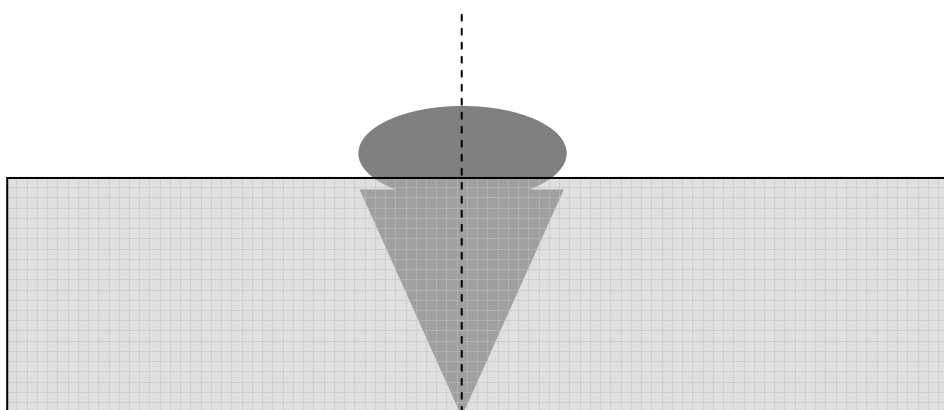
- 1) Το υλικό και το πάχος του
- 2) Η προετοιμασία της συγκόλλησης
- 3) Η διαδικασία – είδος της συγκόλλησης
- 4) Τα όρια που καθορίζουν αν το είδος και το μέγεθος μίας ατέλειας θεωρούνται δεκτά για τη συγκεκριμένη εφαρμογή που προορίζεται (Fit-For-Purpose)

Για τον έλεγχο της ίδιας της συγκόλλησης, είναι απαραίτητη η γνώση της γεωμετρίας της και ο εντοπισμός του άξονα συμμετρίας της. Επίσης, είναι σημαντικό να είναι γνωστό αν το υλικό έχει υποστεί οποιαδήποτε θερμική κατεργασία και ποια είναι η κατάσταση της επιφάνειας πλευρικά της

---

<sup>1</sup> I.N. Πρασιανάκη, "Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι- Η Μέθοδος Των Υπερήχων ", Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1993

συγκόλλησης (από άποψη τραχύτητας). Στη συνέχεια, κατασκευάζεται ένα σχεδιάγραμμα της διατομής της υπό εξέταση συγκόλλησης ( Σχήμα 16 ) το οποίο απεικονίζει τα μέτωπα πρόσφυσης της συγκόλλησης με το βασικό μέταλλο, το περίγραμμα της επιφάνειας και το ακριβές πάχος που είναι αναγκαίο και πρωταρχικής σημασίας, ιδιαίτερα εάν πρόκειται για δοκίμια περίπλοκης γεωμετρίας. Η επιφάνεια του μετάλλου πλευρικά της συγκόλλησης, όπου τοποθετούνται οι υπερηχητικές κεφαλές, πρέπει να είναι απαλλαγμένη από εξογκώματα και να είναι αρκετά λεία.



Σχήμα 16 : Η τομή μίας συγκόλλησης

#### 4.1.1 ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ

Συνήθως, διεξάγεται προκαταρκτική εξέταση του μετάλλου που βρίσκεται πλευρικά της συγκόλλησης με τη χρήση κεφαλών κάθετης πρόσπτωσης προκειμένου να ανιχνευτεί η περίπτωση φυλλοειδούς μορφολογίας στο εσωτερικό του μετάλλου, πράγμα το οποίο θα επηρεάσει τη διαδρομή της δέσμης των υπερήχων μέσα στο μέταλλο, και συνεπώς θα επηρεάσει και τον έλεγχο της ίδιας της συγκόλλησης. Εάν υπάρχει αμφιβολία όσον αφορά στην πραγματική θέση της ρίζας της συγκόλλησης, όπως για παράδειγμα σε εφαρμογές στις οποίες δεν υπάρχει πρόσβαση στην εσωτερική επιφάνεια, η θέση της ρίζας μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια είτε χρησιμοποιώντας μία κεφαλή κάθετης πρόσπτωσης πάνω στην επιφάνειά της συγκόλλησης, είτε με τη χρήση ενός ζευγαριού κεφαλών γωνιακής πρόσπτωσης, τοποθετημένες δεξιά κι αριστερά της συγκόλλησης στην περίπτωση που η επιφάνειά της είναι τραχεία. Η ακριβής θέση της ρίζας της συγκόλλησης και της γραμμής που

καθορίζει το κέντρο της ραφής είναι δύο παράμετροι καθοριστικής σημασίας για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων ελέγχου μίας συγκόλλησης με υπέρηχους ο οποίος πραγματοποιείται σε τρία στάδια :

1) Έλεγχος της επιφάνειας πλευρικά της συγκόλλησης (έλεγχος βασικού μετάλλου και Θερμικά Επηρεαζόμενης Ζώνης) προκειμένου να προσδιοριστεί το πάχος καθώς επίσης και τυχόν φυλλοειδής μορφολογία στο εσωτερικό του μετάλλου.

2) Ο έλεγχος της ρίζας της συγκόλλησης με τη χρήση κεφαλών γωνιακής πρόσπτωσης προκειμένου να ανιχνευτούν ατέλειες όπως ατελής διείσδυση, ατελής πρόσφυση, σφάλματα υποκοπής και ρωγμές στη ρίζα της συγκόλλησης.

3) Ο έλεγχος του κυρίου όγκου της συγκόλλησης, με τη χρήση κεφαλών γωνιακής πρόσπτωσης για την ανίχνευση ρωγμών, εγκλεισμάτων σκουριάς, πόρων και έλλειψη πλευρικής πρόσφυσης.

#### **4.1.2 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΠΟΥ ΠΡΕΠΕΙ ΝΑ ΚΑΘΟΡΙΣΤΟΥΝ ΠΡΙΝ ΤΗΝ ΕΝΑΡΞΗ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ**

##### **4.1.2.1 ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ**

Πριν από τον έλεγχο της συγκόλλησης, είναι απαραίτητο να ελεγχθεί το βασικό μέταλλο το οποίο βρίσκεται στη γειτονική περιοχή, ασχέτως εάν αυτό έχει ελεγχθεί πριν από τη διαδικασία της συγκόλλησης. Πάνω σε αυτό το τμήμα του τεμαχίου, θα τοποθετηθούν οι κεφαλές γωνιακής εκπομπής με τις οποίες θα ελέγξουμε την ραφή. Ο έλεγχος του βασικού μετάλλου γίνεται με κεφαλή κάθετης πρόσπτωσης. Ο έλεγχος αυτός αποσκοπεί στα εξής:

1) Να διαπιστωθεί εάν υπάρχουν ελαττώματα όπως μεγάλα εγκλείσματα (π.χ. σκουριάς) κι επικαλύψεις από διάφορα στρώματα (π.χ. στρώματα χρώματος). Τέτοια ελαττώματα μπορεί να δώσουν εσφαλμένες ενδείξεις οι οποίες επηρεάζουν αρνητικά τον εντοπισμό και την αναγνώριση των ατελειών των συγκολλήσεων.

2) Να βρεθεί το πάχος του υλικού και να παρατηρηθούν με τον τρόπο αυτό τυχόν αυξομειώσεις που μπορεί να επηρεάσουν την εξασθένηση των υπερήχων και τη διαδικασία ελέγχου της ραφής.

Εάν εντοπιστούν τέτοια ελαττώματα ή αλλαγές στο πάχος, πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά τον έλεγχο της συγκόλλησης, ώστε να επιλεγεί κατάλληλη μέθοδος σάρωσης της ραφής, που να εξασφαλίζει την ορθότητα των αποτελεσμάτων.

Η τεχνική που χρησιμοποιείτε για τον έλεγχο του βασικού μετάλλου είναι η τεχνική παλμοηχούς (PULSE – ECHO TECHNIQUE) με κεφαλή διαμηκών κυμάτων μονού κρυστάλλου και η μέθοδος με εμβάπτιση (IMMERSION) του δοκιμίου (στο νερό). Η συχνότητα που χρησιμοποιείτε είναι 5 MHz και η κεφαλή λειτουργεί τόσο ως πομπός όσο και ως δέκτης.

#### **4.1.2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ**

Η τεχνική που χρησιμοποιείται κατά τον έλεγχο μίας συγκόλλησης, εξαρτάται κι από άλλα στοιχεία όπως τη δομή, τις διαστάσεις και το φινίρισμα της ραφής. Ακόμα κι αν το βασικό μέταλλο παρουσιάζει καλή ηχητική μεταδοσιμότητα, η απορρόφηση και η εξασθένιση του παλμού στο σημείο της ραφής, λόγω της χονδρόκοκκης δομής, μπορεί να είναι τόσο μεγάλη που να μειώσει σημαντικά τη μετάδοση των υπερήχων. Επίσης, για τις συνήθεις συχνότητες που χρησιμοποιούνται στον μη καταστροφικό έλεγχο με υπέρηχους, είναι πιθανό να εμφανιστούν φαινόμενα διασποράς της δέσμης, τα οποία οφείλονται στη δομή της συγκόλλησης. Ως συνέπεια, η σχέση σήματος - θορύβου, που καθορίζει την διακριτική ικανότητα, γίνεται μικρότερη και δεν μπορούμε να εντοπίσουμε μικρά ελαττώματα.

Επίσης, ένα άλλο χαρακτηριστικό του προς μελέτη υλικού που είναι χρήσιμο να είναι γνωστό, είναι η διαδικασία συγκόλλησης που ακολουθήθηκε. Επίσης, οποιεσδήποτε αδυναμίες της συγκόλλησης, όπως για παράδειγμα πιθανότητα εμφάνισης ελλιπούς τήξης, τάση στη δημιουργία ρωγμών κ.α., πρέπει να είναι γνωστά εκ των προτέρων. Αυτό δίνει τη δυνατότητα στον ελεγκτή να κάνει την κατάλληλη επιλογή του εξοπλισμού που θα χρησιμοποιήσει (π.χ., κεφαλές), αφού γνωρίζει τι ελαττώματα είναι το πιο πιθανό να συναντήσει.

Τέλος, οι διαστάσεις της ραφής καθώς και η θέση της, εάν δηλαδή υπάρχει εύκολη πρόσβαση ή όχι, θέτουν κάποιους περιορισμούς όχι μόνο για την τεχνική αλλά και για τον εξοπλισμό που θα χρησιμοποιηθεί. Έτσι, αν για παράδειγμα δίπλα στη ραφή δεν υπάρχει αρκετός χώρος, θα

χρησιμοποιηθούν κεφαλές μινιατούρες ή ο έλεγχος θα γίνει από θέσεις πιο μακριά από τη συγκόλληση.

Το φινίρισμα της ραφής ανήκει σε μία από τις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

(α) όπως ήταν αμέσως μετά τη συγκόλληση

(β) μερικώς επεξεργασμένο σε λείο περίγραμμα

(γ) περισσότερο επεξεργασμένο σε σχεδόν επίπεδη επιφάνεια

(δ) επεξεργασμένο

Στην (α) περίπτωση είναι αρκετά πιθανό να μην καθίσταται δυνατό να εντοπιστούν ελαττώματα που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της ραφής. Η ιδανική περίπτωση για έλεγχο είναι η (δ), η οποία όμως αυξάνει σημαντικά το κόστος της κατεργασίας.

#### **4.1.3 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ**

Στις επόμενες παραγράφους αναφέρονται όλες οι απαραίτητες προετοιμασίες που πρέπει να γίνουν πριν αρχίσει ο έλεγχος της συγκόλλησης.

##### **4.1.3.1 ΟΠΤΙΚΗ ΕΠΙΘΕΩΡΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ**

Αρχικά, μία προκαταρκτική οπτική επιθεώρηση της συγκόλλησης είναι απαραίτητη. Πολύ χρήσιμο είναι να υπάρχουν πληροφορίες για τη μέθοδο εκτέλεσης που έχει ήδη αναφερθεί, τα υλικά τόσο του τεμαχίου όσο και των ηλεκτροδίων, εάν έγινε η διαμόρφωση στα τεμάχια πριν τη συγκόλλησή τους, τις θερμοκρασιακές επιδράσεις, και, τέλος, εάν έχουν γίνει οποιεσδήποτε επιδιορθώσεις. Όλα αυτά τα στοιχεία θα πρέπει να ελέγχονται οπτικά, όσο είναι δυνατόν βέβαια, κατά μήκος της ραφής. Τα αποτελέσματα του οπτικού ελέγχου πρέπει να δίνουν έμφαση σε εμφανή ελαττώματα όπως η επιφανειακή καμπυλότητα, το μέγεθος διείσδυσης του υλικού συγκόλλησης στη ρίζα της ραφής, τυχόν διαφορετικό πάχος δίπλα από τη ραφή, η έκταση της ενίσχυσης της ραφής, η παρουσία μεγάλων επιφανειακών ρωγμών, το φινίρισμα της ραφής και η κακή ευθυγράμμιση των συγκολλούμενων τεμαχίων.

Κατά τη διάρκεια του οπτικού ελέγχου, είναι η κατάλληλη στιγμή να εντοπιστεί και να σημειωθεί ο άξονας συμμετρίας της ραφής (CENTER LINE). Η ακριβής γνώση του άξονα αυτού είναι πολύ σημαντική για τον σωστό έλεγχο της.

#### **4.1.3.2 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ**

Η επιφάνεια του τεμαχίου που θα χρησιμοποιηθεί για τον έλεγχο της συγκόλλησης, πρέπει να επιτρέπει την άνετη κίνηση της κεφαλής και να παρέχει ικανοποιητικές συνθήκες για τη μετάδοση των υπερηχητικών κυμάτων. Επίσης, από κάθε πλευρά της η ραφή θα πρέπει να είναι καθαρή και να μην έχει πιτσιλιές συγκόλλησης, ασταθείς φλοιούς σκουριάς ή ακαθαρσιών, αυλακώσεις, εγκοπές, σκόνη, γρέζια από μηχανική κατεργασία και οτιδήποτε άλλο που να εμποδίζει τον έλεγχο. Για να επιτευχθεί αυτό, πολλές φορές απαιτείται λείανση της επιφάνειας με έναν κατάλληλο λειαντικό τροχό. Αντίθετα, φλοιοί στην επιφάνεια που έχουν καλή συνοχή με το τεμάχιο και είναι αρκετά λείοι, όπως λεπτά στρώματα μπιγιάς, συνήθως δεν αφαιρούνται κατά τον έλεγχο.

#### **4.1.3.3 ΕΠΙΛΟΓΗ ΥΓΡΟΥ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗΣ ( COUPLANT )**

Όταν η κεφαλή εκπομπής υπερήχων τοποθετείται πάνω στο προς έλεγχο τεμάχιο, τοποθετείται ανάμεσά τους ένα υγρό προσαρμογής (couplant), του οποίου ο σκοπός είναι να μεγιστοποιήσει το ποσοστό της ενέργειας του παλμού που διαθλάται μέσα στο τεμάχιο. Αυτό συμβαίνει διότι το υγρό διώχνει το στρώμα αέρα που υπάρχει ανάμεσα στην κεφαλή και το τεμάχιο. Η διάδοση των υπερήχων στον αέρα είναι μικρή, αφού μόνο ένα ποσοστό, της τάξεως του 0,002% του υπέρηχου διαθλάται από τον αέρα στο τεμάχιο.

Βλέπουμε λοιπόν, ότι το ποσοστό διάθλασης στον αέρα είναι μικρό, ενώ με την γλυκερίνη πετυχαίνουμε τα καλύτερα αποτελέσματα. Σύμφωνα με τα παραπάνω, θα έλεγε κανείς ότι πρέπει πάντοτε να χρησιμοποιείται γλυκερίνη. Αυτό, όμως, δεν ισχύει γιατί υπάρχουν πάρα πολλοί παράγοντες που υπεισέρχονται στην επιλογή ενός υγρού προσαρμογής (όπως η θερμοκρασία, η επιφανειακή τραχύτητα κ.α). Γενικά, ένα υγρό προσαρμογής πρέπει :

- Να καλύπτει και την επιφάνεια της κεφαλής και του τεμαχίου
- Να διώχνει όλο τον αέρα
- Να καλύπτει όλες τις επιφανειακές ανωμαλίες του τεμαχίου και να παρέχει λεία επιφάνεια

- Να επιτρέπει άνετη κίνηση της κεφαλής
- Να τοποθετείται εύκολα, να καθαρίζεται εύκολα και να είναι ακίνδυνο για το τεμάχιο

Συνοψίζοντας, η επιλογή του υγρού προσαρμογής γίνεται με βάση την επιφανειακή τραχύτητα του τεμαχίου, τη θερμοκρασία του, τη θέση της επιφάνειας στον χώρο και με απαραίτητη προϋπόθεση ότι αυτό δεν είναι επιβλαβές για το τεμάχιο.

Στην παρούσα εργασία, ελέγχθηκαν συγκολλήσεις αλουμινίου σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για τις συνθήκες αυτές, το υγρό προσαρμογής που επιλέχθηκε είναι η γλυκερίνη, καθώς παρουσιάζει πολύ καλές ακουστικές ιδιότητες χωρίς να αλλοιώνεται η σύστασή της.

#### **4.1.3.4 ΕΠΙΛΟΓΗ ΚΕΦΑΛΩΝ**

Η επιλογή των κεφαλών πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη πολλούς παράγοντες, οι οποίοι πολλές φορές αντικρούουν ο ένας τον άλλο.

Για παράδειγμα, κεφαλές χαμηλής συχνότητας είναι καλύτερες, από πλευράς διείσδυσης και διακριτικής ικανότητας, όταν ελέγχονται ανώμαλες επιφάνειες. Αυτό διότι οι υπέρηχοι χαμηλών συχνοτήτων δεν έχουν μεγάλη απόκλιση από τον άξονα της δέσμης, σε σχέση με αυτήν των υπερήχων υψηλής συχνότητας. Γενικά, όμως, η συχνότητα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ώστε να υπάρχει μέγιστη διακριτική ικανότητα και ανάλυση.

Βλέπουμε, λοιπόν, ότι η απόφαση για το είδος της κεφαλής που θα χρησιμοποιήσουμε αποτελεί προϊόν συμβιβασμού ανάμεσα σε πολλούς παράγοντες. Η σπουδαιότητα καθενός από αυτούς και ο στόχος της εξέτασης καθορίζουν το είδος της κεφαλής.

Η συχνότητα της κεφαλής επιλέγεται με βάση το μέγεθος των κόκκων του υλικού, τον προσανατολισμό των ελαττωμάτων, τη μέγιστη ακρίβεια που απαιτεί ο έλεγχος, την απόσταση που έχει να διανύσει ο υπέρηχος, την ανάλυση κ.α.

Χαμηλές συχνότητες, όπως αναφέρθηκε, είναι καλύτερες όταν πρόκειται να ελέγξουμε υλικά με ανώμαλη επιφάνεια, αφού η διείσδυση είναι μεγαλύτερη στις συχνότητες αυτές. Υψηλότερες συχνότητες χρησιμοποιούνται για την



ανίχνευση πολύ μικρών ελαττωμάτων, αφού τότε το μήκος κύματος του υπέρηχου είναι μικρότερο και η κεφαλή έχει καλύτερη ανάλυση. Όταν θέλουμε να ελέγξουμε μεγάλες επιφάνειες σε μικρό χρονικό διάστημα, χρησιμοποιούμε μεγάλες κεφαλές χαμηλής συχνότητας. Συνήθως, οι τιμές συχνότητας κυμαίνονται από 2 MHz έως 5 MHz.

Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο για την επιλογή της συχνότητας της κεφαλής, είναι η εξασθένιση που παρουσιάζει το υλικό. Με τον όρο εξασθένιση, ορίζονται όλες οι απώλειες του παλμού κατά τη διάδοσή του, εκτός από αυτές που οφείλονται στη γεωμετρία του. Οι απώλειες αυτές οφείλονταν στον διασκορπισμό του παλμού, στην εσωτερική απορρόφηση λόγω της τριβής μεταξύ των σωματιδίων του υλικού και στη συχνότητα του υπέρηχου. Όσο μεγαλύτερη είναι η συχνότητα, τόσο μεγαλύτερη είναι κι η εξασθένηση. Οι ανά χιλιοστό απώλειες δίνονται από τη σχέση:

$$A = K_1 \times D \times F$$

Όπου:

$K_1$  σταθερά υλικού,

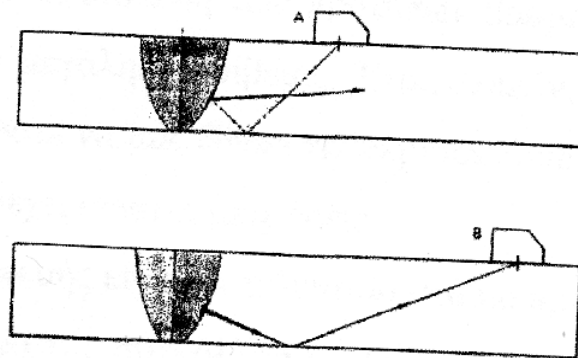
$D$  η μέση διάμετρος των κόκκων και

$F$  η συχνότητα.

Το μέγεθος και το σχήμα της κεφαλής εξαρτάται από την εκάστοτε εφαρμογή. Συνήθως, οι κεφαλές έχουν σχήμα κυκλικό, τετραγωνικό ή παραλληλόγραμμο. Για έλεγχο συγκολλήσεων, το μέγεθος κυμαίνεται συνήθως από 6 mm έως 28 mm διάμετρο για κυκλικές, κι από 5 mm έως 24 mm το μήκος κάθε πλευράς για τετραγωνικές κεφαλές. Κεφαλές παραλληλόγραμμου σχήματος, συνιστάται να έχουν λόγο μήκους προς πλάτος μικρότερο από 2.

Η γωνία της κεφαλής πρέπει να ελέγχεται έτσι ώστε να παίρνουμε πάντα ένδειξη από σημαντικά ελαττώματα, όπως ρωγμές, ελλιπή τήξη στα τοιχώματα και στη ρίζα της ραφής, πορώδες και εγκλείσματα σκουριάς. Γενικά, κατά την επιλογή της γωνίας πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη το πάχος του υλικού, τη διαμόρφωση που τυχόν έχει γίνει στα προς συγκόλληση τεμάχια και το είδος

του ελαττώματος που πρόκειται να εντοπίσουμε. Για να πάρουμε καλή αντήχηση από ένα ελάττωμα, η γωνία που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι τέτοια ώστε ο παλμός να χτυπήσει κάθετα ή σχεδόν κάθετα σε αυτό ( Σχήμα 17 )



Σχήμα 17 : Η σχέση μεταξύ γωνίας πρόσπτωσης των υπερήχων και πιθανότητας ανίχνευσης μίας επίπεδης ατέλειας. Στη θέση A η ανακλώμενη δέσμη δεν θα επιστρέψει στην κεφαλή, ενώ στη θέση B η ανακλώμενη δέσμη λαμβάνεται από την κεφαλή ακολουθώντας την ίδια διαδρομή όπως η προσπίπτουσα.

Όπως φαίνεται στο Σχήμα 17, στην περίπτωση B ο υπέρηχος χτυπά κάθετα την ανωμαλία κι επιστρέφει στην κεφαλή, η οποία και λαμβάνει αυτή την αντήχηση και μας δίνει έναν ισχυρό παλμό στην οθόνη της συσκευής μας. Αντίθετα, στην περίπτωση A, το πιο πιθανό είναι να μην πάρουμε καθόλου ένδειξη στην οθόνη μας, αφού η αντήχηση δεν συναντά την κεφαλή.

Οι γωνίες που χρησιμοποιούνται συνήθως είναι  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  και  $70^\circ$ . Η κεφαλή των  $70^\circ$  είναι κατάλληλη για τις περισσότερες εφαρμογές για πάχη από 10 mm έως 35 mm. Για πάχη μεγαλύτερα των 35 mm χρησιμοποιούνται κυρίως κεφαλές  $45^\circ$  και  $60^\circ$ , ενώ για καμπύλες επιφάνειες μπορεί να χρειαστούν γωνίες από  $35^\circ$  έως  $80^\circ$ . Μερικοί κατασκευαστές, τέλος, παρέχουν στην γκάμα

των προϊόντων τους κεφαλές μεταβλητής γωνίας ,οι οποίες δεν χρησιμοποιούνται πολύ συχνά.

Για τη διεξαγωγή των ελέγχων των συγκολλήσεων στο πλαίσιο αυτής της εργασίας χρησιμοποιήθηκαν παραλληλόγραμμες κεφαλές γωνιακής πρόσπτωσης της δέσμης των υπερήχων 45°, 60° και 70° με χρήση της τεχνικής της παλμοχούς και τη μέθοδο της επαφής μέσω της γλυκερίνης. Η συχνότητα εκπομπής των υπερήχων είναι 2,25 MHz.

## **4.2 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΣΥΣΚΕΥΗΣ**

### **4.2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ( CALIBRATION )**

Για να είναι αξιοποιήσιμες οι πληροφορίες που παίρνουμε από μια υπερηχητική συσκευή, στον υπερηχητικό έλεγχο των υλικών, πρέπει προηγουμένως η συσκευή να έχει ρυθμισθεί κατάλληλα, δηλαδή πρέπει να έχει βαθμονομηθεί.

Βαθμονόμηση της συσκευής, σημαίνει την αντιστοίχιση όλου του πλάτους της οθόνης σε μια καθορισμένη απόσταση του υλικού που πρόκειται να ελεγχθεί. Αυτή η απόσταση καθορίζει την περιοχή δοκιμής. Έτσι, με τον έλεγχο, όλες οι ενδείξεις των ατελειών του υλικού συγκρίνονται με ένα πρότυπο αναφοράς.

Για τη Βαθμονόμηση χρησιμοποιούνται ειδικά κατασκευασμένες πρότυπες πλάκες από μαλακό χάλυβα, οι λεγόμενες καλίμπρες ( calibration blocks ή reference blocks ).

Οι πρότυπες πλάκες βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται στον έλεγχο, τόσο για τη βαθμονόμηση των συσκευών, όσο και για τον άμεσο υπολογισμό των ατελειών. Τούτο επιτυγχάνεται με σύγκριση του λαμβανόμενου σήματος στην οθόνη της συσκευής με αντίστοιχα σήματα, που προέρχονται από προκατασκευασμένες πρότυπες ατέλειες ( διαγράμματα DGS, καμπύλη DAC)\*.

Οι πλάκες βαθμονόμησης είναι κατασκευασμένες από ειδικά κράματα χάλυβα, έχουν ελεγχθεί ώστε να έχουν προκαθορισμένη ηχητική απόσβεση και μέγεθος κόκκου, και έχουν υποστεί κατάλληλη θερμική επεξεργασία. Οι πλάκες αυτές φέρουν οπές με επίπεδη βάση, όπως επίσης και εγκοπές διαφόρων σχημάτων.

Είναι σημαντικό οι πλάκες βαθμονόμησης να είναι κατασκευασμένες από το ίδιο υλικό με το υλικό των δοκιμίων που πρόκειται να ελεγχθούν.

Η χρήση κατάλληλων πρότυπων πλακών βαθμονόμησης εξασφαλίζει τη διεξαγωγή αξιόπιστων, αντικειμενικών και επαναλαμβανόμενων εξετάσεων. Με τη βαθμονόμηση μέσω πρότυπων πλακών βαθμονόμησης, ελέγχεται η ικανότητα τόσο της υπερηχητικής συσκευής όσο και των υπερηχητικών κεφαλών.

Για τη βαθμονόμηση των συσκευών και κεφαλών χρησιμοποιούνται, ανάλογα με τις ανάγκες, διαφόρων τύπων πρότυπες πλάκες βαθμονόμησης οι γνωστότερες των οποίων, κατά DIN 54120, είναι η  $V_1$ , η  $V_2$ , η ημικυκλική και η κλιμακωτή (VW) πλάκα βαθμονόμησης. Αντίστοιχα με τις προηγούμενες, παρόμοιες πλάκες βαθμονόμησης προβλέπονται και κατά ASTM και περιέχονται αναλυτικά στο πρότυπο ASTM-E164.

Για τη σωστή χρήση των συσκευών και κεφαλών, μη καταστροφικού ελέγχου των υλικών, είναι αναγκαίο να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά των συσκευών αυτών με μεγάλη ακρίβεια και να ελέγχονται συχνά με τη βοήθεια των καταλλήλων πλακών βαθμονόμησης. Πρέπει επίσης, για έναν έλεγχο με υπερήχους, να εισάγεται στην συσκευή η κατάλληλη ευαισθησία και να εξακριβώνεται ότι αυτή η ευαισθησία παραμένει σταθερή καθόλη τη διάρκεια της διερεύνησης.

---

\*Εκτενής αναφορά στα διαγράμματα DGS γίνεται στην ενότητα 4.8.3 και για την καμπύλη DAC στην ενότητα 4.11.

#### **4.2.2 ΠΡΟΤΥΠΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ( CALIBRATION BLOCKS )**

Στο παρελθόν γίνονταν αρκετά συχνά λάθη στην ερμηνεία των αποτελεσμάτων που έδινε η εφαρμογή του ελέγχου με υπερήχους στα υλικά λόγω της ποικιλίας των κεφαλών και του εξοπλισμού που χρησιμοποιούταν.

Έτσι, το γεγονός αυτό καθιστούσε πια αναγκαία την εισαγωγή προτύπων βαθμονόμησης των συσκευών ελέγχου με σκοπό οι μετρήσεις που γίνονταν από έναν ελεγκτή, για παράδειγμα, στην Αμερική να μπορούσαν να επαληθευτούν από έναν άλλον ελεγκτή στην Ευρώπη, χωρίς ιδιαίτερη γνώση των χαρακτηριστικών που χρησιμοποίησε ο πρώτος κατά τον έλεγχο που διεξήγαγε στο δοκίμιο.

Η δημιουργία τέτοιων προτύπων ξεκίνησε από την Αμερικανική Πολεμική Αεροπορία για τον ποιοτικό έλεγχο των διαφόρων μερών της ατράκτου, καθώς και της μηχανής των αεροσκαφών. Από εκεί άρχισαν και άλλες διάφορες κατασκευαστικές βιομηχανίες τέτοιων συσκευών να παράγουν πρότυπα βαθμονόμησης, με πρώτη την Ευρώπη να κατασκευάζει το πρότυπο βαθμονόμησης για τον έλεγχο των συγκολλήσεων.

Σήμερα ο σχεδιασμός των προτύπων αυτών γίνεται με βάση τις προδιαγραφές ISO, DIN, EN κ.α. Επίσης, έχουν γραφεί αρκετοί οδηγοί για τη χρήση των προτύπων αυτών που περιγράφουν λεπτομερώς τη διαδικασία βαθμονόμησης των διαφόρων συσκευών με χρήση των προτύπων.

Για τη βαθμονόμηση των συσκευών ελέγχου των συγκολλήσεων υπάρχουν δύο ευρέως χρησιμοποιούμενες πρότυπες πλάκες βαθμονόμησης γνωστές η πρώτη ως  $V_1$  ή  $A_2$  και η άλλη ως  $V_2$  ή  $A_3$ . Υπάρχουν φυσικά και άλλες πρότυπες πλάκες που χρησιμοποιούνται στην βαθμονόμηση με λιγότερη όμως χρήση από τις προαναφερθείσες. Περισσότερα χαρακτηριστικά των προτύπων βαθμονόμησης δίδονται στις επόμενες παραγράφους.

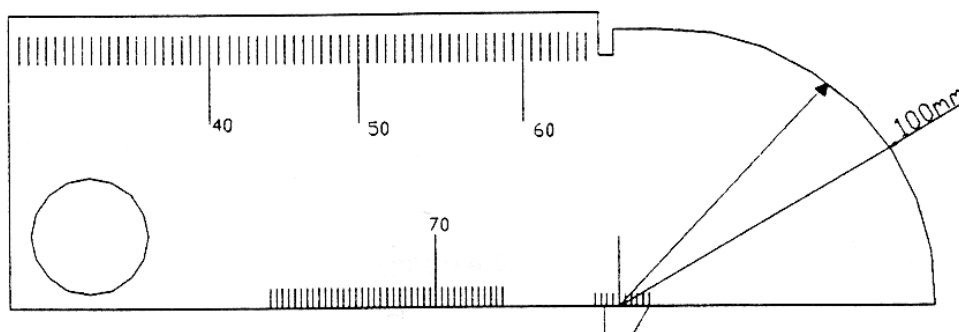
##### **4.2.2.1 ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ $V_1$**

Η πλάκα βαθμονόμησης  $V_1$  ( *reference block  $V_1$*  ), είναι κατασκευασμένη από μαλακό χάλυβα σύμφωνα με την προδιαγραφή DIN 54120. Έχει διαστάσεις  $12'' \times 6'' \times \frac{1}{2}''$  ή στο μετρικό σύστημα  $300 \text{ mm} \times 100 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$  αντίστοιχα, με μια οπή διαμέτρου  $50 \text{ mm}$  και μια μικρή διαμπερή οπή κατά το

πάχος της πλάκας διαμέτρου 1,58 mm. Επίσης το ένα της άκρο είναι διαμορφωμένο ως τόξο ακτίνας 100 mm. Ενα ακόμη χαρακτηριστικό της είναι ότι φέρει χαραγμένες υποδιαιρέσεις διαφόρων μοιρών για τον έλεγχο της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης των υπερήχων διαφόρων γωνιακών κεφαλών. Το σχήμα και τα γεωμετρικά της στοιχεία φαίνονται αναλυτικά στο Σχήμα 18.

Αυτή η πλάκα βαθμονόμησης χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλη στους υπερήχους, για τη βαθμονόμηση συσκευών και ιδιαίτερα κεφαλών καθέτου και γωνιακής δέσμης. Είναι κατασκευασμένη από λεπτόκοκκο μαλακό χάλυβα, στον οποίο η ταχύτητα των διαμηκών κυμάτων είναι  $c_l = 5920$  m/s, των δε εγκάρσιων  $c_t = 3250$  m/s.

Το δοκίμιο αυτό ανήκει στο Διεθνές Ινστιτούτο Συγκόλλησης ( *International Institute of Welding* ) και ονομάζεται και δοκίμιο  $A_2$  κατά το πρότυπο BS 2704 ενώ δοκίμιο  $V_1$  είναι γερμανική ονομασία.



Σχήμα 18 : Η πλάκα βαθμονόμησης  $V_1$  ( *reference block  $V_1$*  )

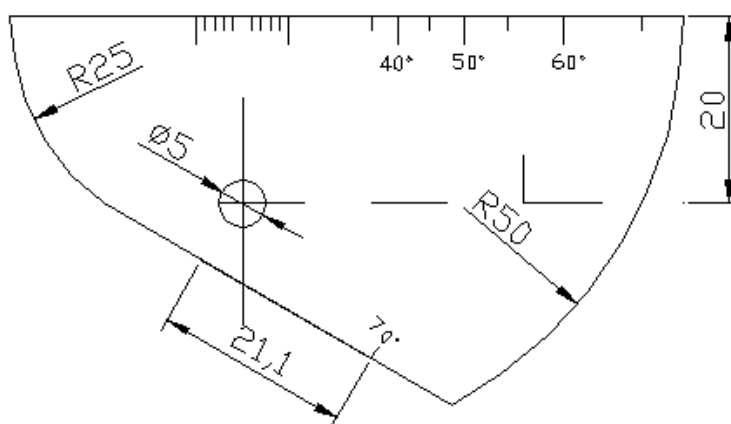
#### 4.2.2.2 ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ $V_2$

Και αυτή η πλάκα βαθμονόμησης, είναι κατασκευασμένη από χάλυβα, διαφέρει όμως από την πλάκα βαθμονόμησης  $V_1$  στο σχήμα και το μέγεθος. Είναι πολύ μικρότερη, επομένως ελαφρότερη της  $V_1$  και η γεωμετρία της είναι πολύ

απλούστερη. Δεν χρησιμοποιείται, όμως, πιο συχνά από ότι η  $V_1$ , γιατί δεν επαρκεί για τον πλήρη έλεγχο ανιχνευτή ατελειών.

Όμως, επειδή πιάνεται εύκολα, χρησιμοποιείται συχνά για απλούς ελέγχους όπως στη βαθμονόμηση γωνιακών κεφαλών και κεφαλών διπλού κρυστάλλου, ιδιαίτερα δε μινιατούρων κεφαλών. Όλες οι διαστάσεις της πλάκας βαθμονόμησης  $V_2$  φαίνονται σε mm στο Σχήμα 19.

Η πλάκα βαθμονόμησης  $V_2$  είναι κατασκευασμένη από ειδικό κράμα χάλυβα και πρέπει να είναι ομογενής και απαλλαγμένη από ατέλειες, που μπορεί να ανακαλυφθούν κατά τον έλεγχο. Για να έχει λεπτή δομή και καλή ομοιογένεια η πλάκα αυτή, πριν υποστεί την τελική της επεξεργασία πρέπει να υποστεί κατάλληλη θερμική επεξεργασία. Έχει μήκος 75 mm και αποτελείται από δύο καμπύλα τμήματα με ακτίνες  $r_1$  και  $r_2$  25 και 50 mm, αντίστοιχα. Τέλος, φέρει διαμπερή οπή κατά το πάχος διαμέτρου 5 mm.

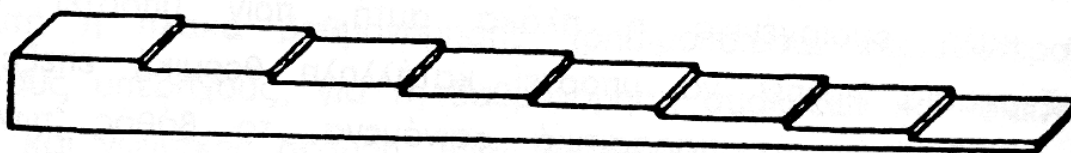


Σχήμα 19 : Πλάκα βαθμονόμησης  $V_2$  ( reference block  $V_2$  )

#### 4.2.2.3 ΚΛΙΜΑΚΩΤΗ ΠΛΑΚΑ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ VW

Για μετρήσεις πάχους διαφόρων κατασκευών και γενικά για τη βαθμονόμηση των κεφαλών διπλού κρυστάλλου χρησιμοποιούνται οι κλιμακωτές πλάκες βαθμονόμησης ( step wedge calibration blocks )  $VW$ , Σχήμα 20.

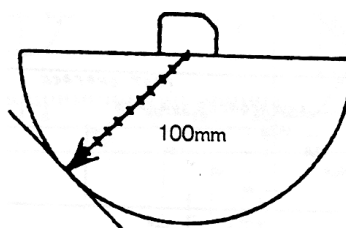
Στο Σχήμα αυτό φαίνεται μια συνήθης κλιμακωτή πλάκα βαθμονόμησης που είναι χαλύβδινη και αποτελείται από 8 βαθμίδες, οι οποίες διαφέρουν ανά 1 mm μεταξύ τους. Αυτή η πλάκα προσφέρεται ιδιαίτερα για τη βαθμονόμηση κεφαλών διπλού κρυστάλλου, όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθούν στον έλεγχο επιπέδων επιφανειών ή σε επιφάνειες με πολύ μικρή καμπυλότητα. Ενώ όταν πρόκειται να ελεγχθούν με αυτές τις κεφαλές καμπύλες επιφάνειες, όπως γίνεται στην περίπτωση παχυμετρήσεων σωλήνων, τότε χρησιμοποιούνται παρόμοιες κλιμακωτές πλάκες βαθμονόμησης των οποίων όμως οι επιφάνειες στις βαθμίδες πρέπει να έχουν την ίδια καμπυλότητα με των υπό έλεγχο επιφανειών.



Σχήμα 20 : Πλάκα βαθμονόμησης VW( reference block VW )

#### 4.2.2.4 ΑΛΛΟΙ ΤΥΠΟΙ ΠΡΟΤΥΠΩΝ ΠΛΑΚΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ

Εκτός από τις προαναφερθείσες τρεις βασικές πρότυπες πλάκες βαθμονόμησης, υπάρχουν και διάφοροι άλλοι τύποι πλακών, διαφορετικοί των προηγούμενων ή με μικρές διαφοροποιήσεις απ' αυτές. Τέτοιες είναι και ημικυλινδρική πλάκα βαθμονόμησης ακτίνας  $R = 100 \text{ mm}$  η οποία προσφέρεται για βαθμονόμηση κεφαλών γωνιακής δέσμης, Σχήμα 21.



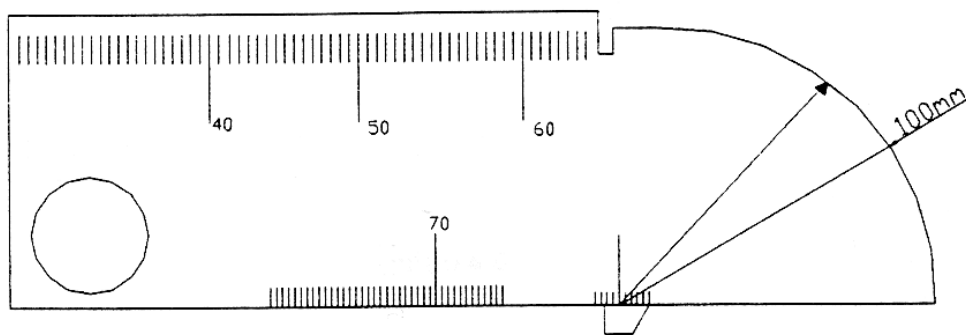
Σχήμα 21 : Ημικυλινδρική πλάκα βαθμονόμησης



### 4.2.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ ΓΩΝΙΑΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ

Η βαθμονόμηση των γωνιακών κεφαλών περιλαμβάνει τρία στάδια. Κατ' αρχήν πρέπει να αλλάξουμε κεφαλή και να τοποθετήσουμε μια μικρότερη η οποία είναι κατασκευασμένη ειδικά για να προσαρμόζεται πάνω σε ειδικά στηρίγματα (παπουτσάκια) τα οποία είναι κατασκευασμένα ώστε να δίδουν στη δέσμη των υπερήχων την ανάλογη ακτίνα ανάκλασης με την οποία θα εισέλθει στο υλικό μας. Νοείται ότι μεταξύ κεφαλής και στηρίγματος τοποθετούμε υλικό προσαρμογής (couplant) για να διασφαλίσουμε τη σωστή πορεία της δέσμης των υπερήχων. Εδώ θα χρησιμοποιηθεί η πρότυπη πλάκα  $V_1$ . Τα τρία στάδια βαθμονόμησης γωνιακής δέσμης είναι:

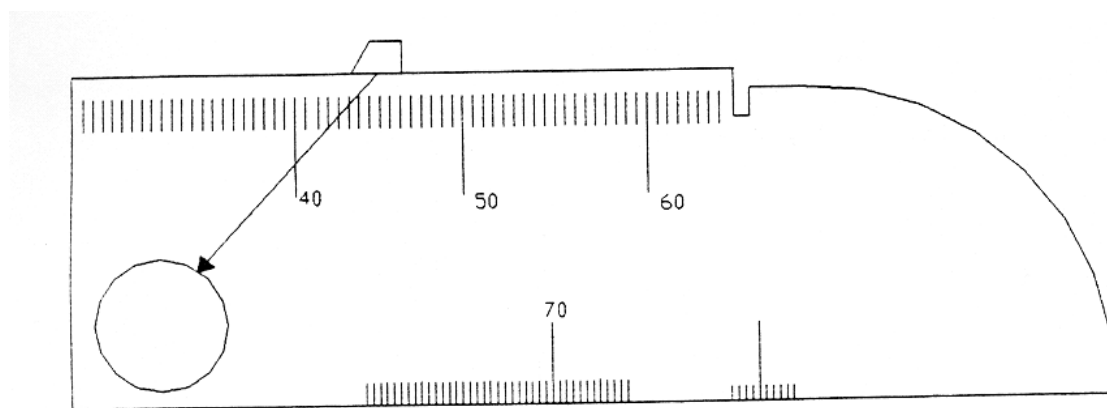
1. Εύρεση του σημείου εκπομπής της κεφαλής (index point) ούτως ώστε, γνωρίζοντας αυτό το σημείο, να μπορούμε να κάνουμε έλεγχο της γωνίας διάθλασης της δέσμης μέσα στο υλικό. Η εύρεση αυτού του σημείου εκπομπής γίνεται με μετακίνηση της κεφαλής σημαδεύοντας την επιφάνεια όπου βρίσκεται το τόξο ακτίνας 100 mm δεξιά και αριστερά μέχρι να δούμε πάνω στην οθόνη μας τη μεγιστοποίηση που παίρνουμε από την πίσω επιφάνεια του δοκιμίου. Εφόσον έχουμε εντοπίσει το σημείο αυτό, σημαδεύουμε πάνω στην κεφαλή το σημείο εξόδου της δέσμης από αυτή.



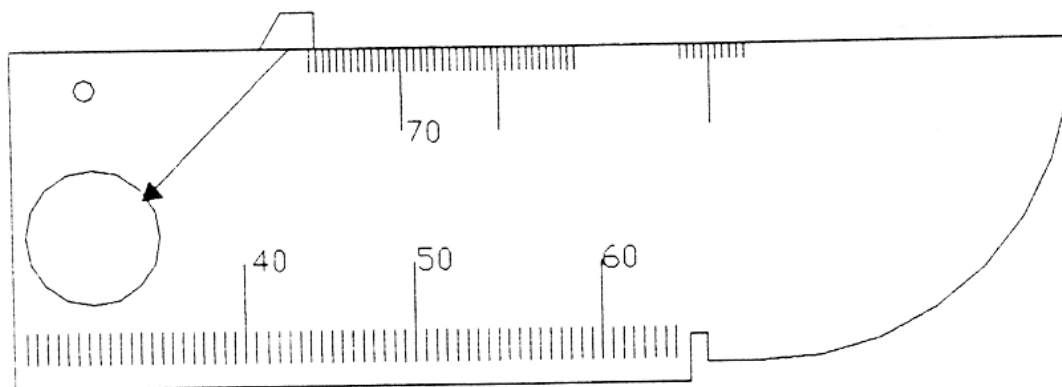
Σχήμα 22 : Εύρεση του σημείου εκπομπής της κεφαλής ( index point )

Στην περίπτωση που έχουμε ορίσει στην οθόνη μας μήκος ηχοσκόπησης 100 mm τότε θα περιμένουμε να δούμε την πίσω ηχώ από την επιφάνεια του τόξου στη δέκατη υποδιαίρεση της οθόνης μας. Ανάλογα, εάν έχουμε διαλέξει μήκος ηχοσκόπησης τα 250 mm, τότε θα πάρουμε δύο αντηχήσεις στις αντίστοιχες υποδιαίρεσεις 4 και 8 της κλίμακας της οθόνης.

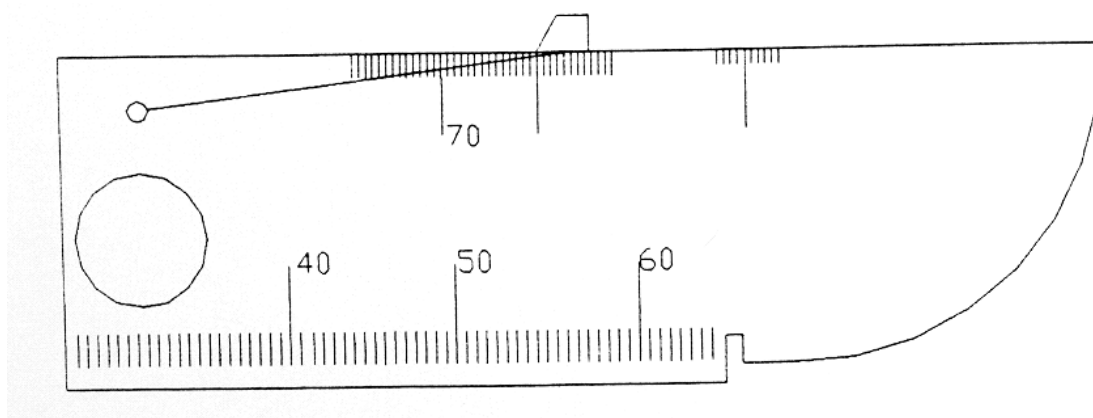
2. Εύρεση της ακτίνας διάθλασης της κεφαλής. Αφού βρεθεί πάνω στην κεφαλή το σημείο εξόδου της δέσμης του υπέρηχου εξακριβώνεται η γωνιά διάθλασης της δέσμης μέσα στο υλικό. Αυτό γίνεται και πάλι με τη βοήθεια του προτύπου  $V_1$  και του πλαστικού τεμαχίου που φέρει. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι η εξής : η υπερηχητική ακτίνα οδηγείται κατά την κατεύθυνση της οπής των 50 mm όπου υπάρχει το πλαστικό Perspex ούτως ώστε να συναντήσει το πλαστικό . Όπως είναι γνωστό, λόγω της διαφορετικής ακουστικής αντίστασης μεταξύ πλαστικού και χάλυβα, η ακτίνα του υπέρηχου θα ανακλαστεί και θα επιστρέψει πίσω παράγοντας μια ηχώ. Η κεφαλή κινείται μπρος και πίσω έως ότου να ληφθεί στην οθόνη μέγιστο ύψος ανάκλασης από την ηχώ. Αφού εντοπιστεί το σημείο αυτό διαβάζεται πάνω στην πρότυπη πλάκα που είναι χαραγμένη μια κλίμακα με γωνίες, η γωνιά διάθλασης στο υλικό. Με το πρότυπο  $A_2$  η ακρίβεια στην γωνία αυτή είναι  $\pm 1.5^\circ$ . Η οπή των 50 mm χρησιμοποιείται για την εύρεση των  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  και  $70^\circ$  γωνιών διάθλασης. Για την εύρεση των  $80^\circ$  γωνιάς διάθλασης χρησιμοποιείται η μικρή οπή διαμέτρου 1.58 mm (Σχήμα 25). Οι θέσεις εύρεσης της γωνιάς διάθλασης φαίνονται στα Σχήματα 23 – 25 :



Σχήμα 23 ( Θέση εύρεσης για  $35^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  )



Σχήμα 24 ( Θέση εύρεσης για  $70^{\circ}$  )



Σχήμα 25 ( Θέση εύρεσης για  $80^{\circ}$  )

3. Βαθμονόμηση της απόστασης. Ο όρος αυτός σημαίνει ότι καθορίζεται η απόσταση με την οποία θα γίνουν οι έλεγχοι. Ουσιαστικά προδιαγράφεται η κλίμακα στην οποία θα λειτουργήσει η συσκευή. Ακολούθως υπολογίζεται ο αριθμός των ηχών που αναμένεται να εμφανιστούν στην οθόνη. Στην περίπτωση του προτύπου  $V_2$  που αποτελείται από τις δύο ακτίνες  $R_1 = 25 \text{ mm}$

και  $R_2 = 50 \text{ mm}$  υπάρχουν δύο διαδρομές τις οποίες μπορεί να ακολουθήσει η δέσμη όταν εισέλθει στο πρότυπο.

Στην περίπτωση που τοποθετείται η κεφαλή από τη μεριά του τόξου ακτίνας  $R_1 = 25 \text{ mm}$  τότε θα αναμένεται να ληφθούν ανακλάσεις στις αποστάσεις που υπολογίζονται από την σχέση :

$$S_n = R_1 + (n-1) * (R_1 + R_2), \text{ όπου } n=1,2,3,\dots$$

Έτσι έχουμε:

$$S_1 = 25 \text{ mm}$$

$$S_2 = 100 \text{ mm}$$

$$S_3 = 175 \text{ mm}$$

κ.ο.κ.

Στην περίπτωση που τοποθετείται η κεφαλή από τη μεριά του τόξου ακτίνας  $R_2 = 50 \text{ mm}$  τότε αναμένεται να ληφθούν ανακλάσεις στις αποστάσεις που υπολογίζονται από την σχέση :

$$S_n = R_2 + (n-1) * (R_1 + R_2), \text{ όπου } n=1,2,3,\dots$$

Έτσι έχουμε:

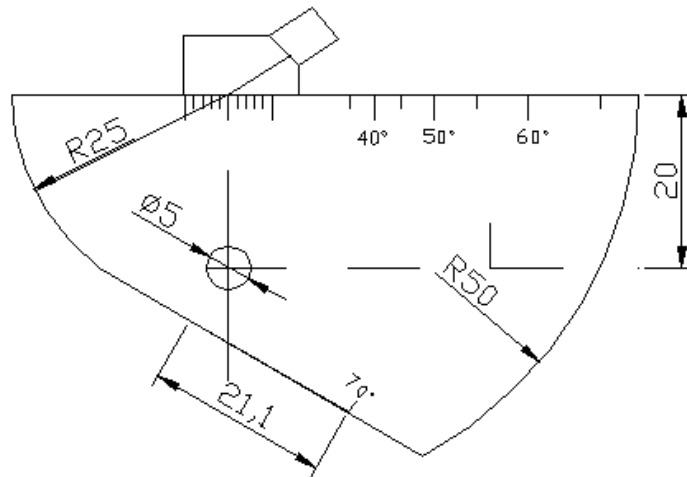
$$S_1 = 50 \text{ mm}$$

$$S_2 = 125 \text{ mm}$$

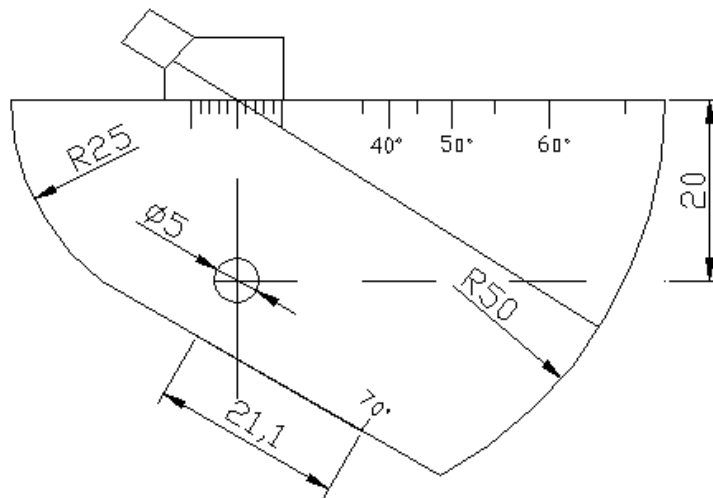
$$S_3 = 200 \text{ mm}$$

κ.ο.κ.

Στα Σχήματα 26 και 27 φαίνονται για κάθε περίπτωση ξεχωριστά η θέση τοποθέτησης της κεφαλής πάνω στο πρότυπο  $V_2$ . Στο Σχήμα 26 φαίνεται η περίπτωση τοποθέτησης της κεφαλής σηματοδύοντας πρώτα από τη μεριά της ακτίνας των  $R_1 = 25 \text{ mm}$  και στο Σχήμα 27 φαίνεται η περίπτωση τοποθέτησης της κεφαλής από τη μεριά της ακτίνας των  $R_2 = 50 \text{ mm}$ .



Σχήμα 26 : Τοποθέτηση κεφαλής στο τόξο των 25 mm



Σχήμα 27 : Τοποθέτηση κεφαλής στο τόξο των 50 mm

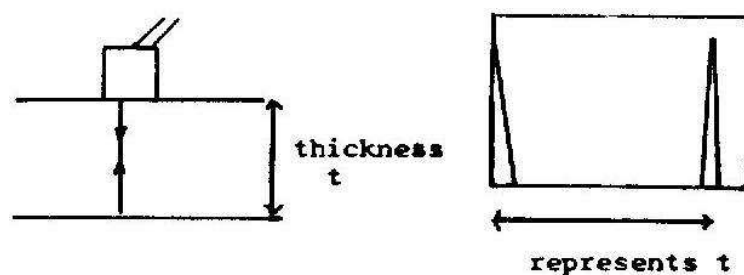
Γνωρίζοντας πόσοι παλμοί πρέπει να εμφανιστούν στην οθόνη της συσκευής, ρυθμίζεται το εύρος της, με την εντολή *width*, ώστε να φαίνονται οι παλμοί που υπολογίστηκαν ή και περισσότεροι. Με την εντολή *Delay*, μετακινείται η πρώτη ηχώ από την πίσω επιφάνεια και κεντράρεται πάνω στην αντίστοιχη υποδιαίρεση της κλίμακας που έχει η οθόνη. Θεωρείται δεδομένο ότι έχει προηγηθεί από πριν ο υπολογισμός της κλίμακας στην οποία γίνεται ο έλεγχος

και έχουν επισημανθεί οι αντίστοιχες υποδιαίρεσεις της οθόνης στις οποίες αναμένονται να εμφανιστούν μετά την ολοκλήρωση της βαθμονόμησης οι αντηχήσεις από τις διάφορες ανακλάσεις της δέσμης στην πίσω επιφάνεια του προτύπου. Στη συνέχεια, με εναλλαγή των εντολών *Delay* και *Width*, τοποθετείται η δεύτερη ηχώ στην αντίστοιχη υποδιαίρεση της οθόνης που έχει από πριν υπολογιστεί. Επαναλαμβάνεται η πιο πάνω διαδικασία μέχρις ότου επιτευχθεί η ευθυγράμμιση των αντηχήσεων που έχουν υπολογιστεί και λαμβάνονται από τη συσκευή στην οθόνη στις αντίστοιχες υποδιαίρεσεις (θέσεις).

#### 4.3 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΒΑΣΙΚΟΥ ΜΕΤΑΛΛΟΥ ΜΕ ΚΕΦΑΛΗ ΚΑΘΕΤΗΣ ΠΡΟΣΠΤΩΣΗΣ

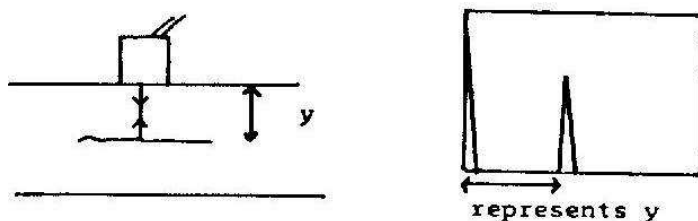
Το πρώτο στάδιο ελέγχου είναι ο έλεγχος της επιφάνειας πλευρικά της συγκόλλησης προκειμένου να προσδιοριστεί το πάχος, καθώς επίσης και τυχόν φυλλοειδής μορφολογία στο εσωτερικό του μετάλλου. Ο έλεγχος αυτός γίνεται με τη χρήση κεφαλών κάθετης πρόσπτωσης.

Στο Σχήμα 28 φαίνεται ένα υλικό χωρίς εσωτερικές ατέλειες. Επομένως, η πρώτη κορυφή που βλέπουμε δεξιά είναι ο παλμός διέγερσης, ενώ η δεύτερη κορυφή είναι η ανάκλαση της δέσμης από την κάτω επιφάνεια του υλικού. Επομένως, εύκολα προσδιορίζεται το πάχος ενός υλικού.



Σχήμα 28 : Σχηματική αναπαράσταση αποτελεσμάτων ενός υλικού χωρίς ελαττώματα

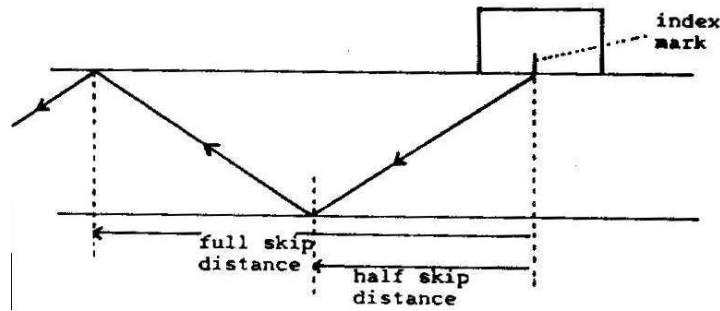
Πριν από κάθε μέτρηση, είναι απαραίτητο η οθόνη να βαθμονομείται έτσι ώστε το πλάτος του παραθύρου να αντιπροσωπεύει το πάχος του υλικού χωρίς ατέλειες. Κι αυτό διότι, εάν το εσωτερικό του υλικού έχει φυλλοειδή μορφολογία μπορεί να προσδιοριστεί βάσει των ανακλάσεων σε ποιο βάθος από την επιφάνεια του υλικού βρίσκεται η ατέλεια. Όπως φαίνεται και στο Σχήμα 29, όταν η κεφαλή μετακινείται πάνω σε ένα δοκίμιο με ατέλεια φυλλοειδούς μορφής στην οθόνη παίρνουμε ένα σήμα διαφορετικό από ότι στην περίπτωση του υλικού χωρίς ατέλειες.



Σχήμα 29 : Σχηματική αναπαράσταση αποτελεσμάτων από ένα υλικό με γραμμική ατέλεια.

#### 4.4 Ο ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΗΣ ΡΙΖΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΚΥΡΙΟΥ ΟΓΚΟΥ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

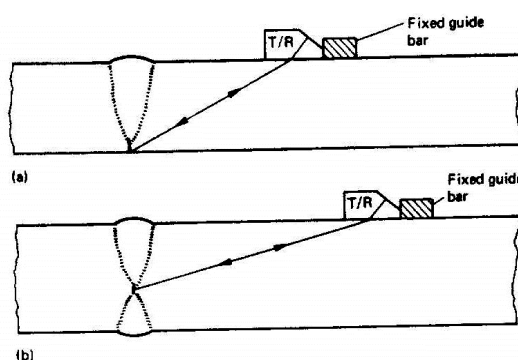
Για τον έλεγχο της ρίζας και του κυρίου όγκου της συγκόλλησης, όπου χρησιμοποιούνται κεφαλές γωνιακής πρόσπτωσης, βασική προϋπόθεση για τη σωστή ερμηνεία των αποτελεσμάτων είναι η ακριβής κατασκευή του σκαριφήματος διατομής της συγκόλλησης. Κάθε κεφαλή γωνιακής πρόσπτωσης έχει ένα σημάδι χαραγμένο στην πλευρά της το οποίο ορίζει την διεύθυνση της δέσμης. Το σημάδι αυτό, δηλαδή, προσδιορίζει και το σημείο από το οποίο μπορούν να γίνουν οι μετρήσεις προκειμένου να προσδιοριστεί η διαδρομή της δέσμης στο υλικό. Η απόσταση από το σημείο που βρίσκεται το σημάδι αυτό μέχρι τα καθορισμένα σημεία ανάκλασης της δέσμης φαίνεται στο Σχήμα 30.



Σχήμα 30 : Οι κρίσιμες θέσεις *full* και *half skip* για τον έλεγχο μιας συγκόλλησης με γωνιακή κεφαλή.

Επομένως, υπάρχουν δύο σημαντικές θέσεις πάνω στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου (*half skip position*, *full skip position*) οι οποίες φαίνονται στο Σχήμα 30, και καθορίζουν την περιοχή που θα γίνει η σάρωση εξασφαλίζοντας με τον τρόπο αυτό τον έλεγχο τόσο της ρίζας της συγκόλλησης (*half skip position*) όσο και τον έλεγχο του κυρίου όγκου της (*full skip position*).

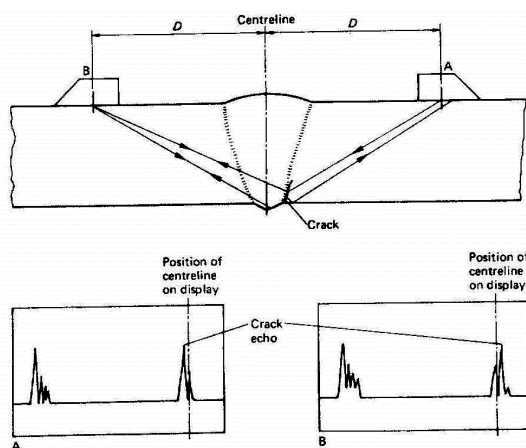
Βέβαια, το πιο σημαντικό σημείο μίας συγκόλλησης, από άποψη σημαντικών ατελειών, είναι η ρίζα της και αυτή είναι που εξετάζεται πρώτη. Στην περιοχή της ρίζας μπορεί να έχουμε ατέλειες όπως ατελή διείσδυση, έλλειψη πρόσφυσης και ρωγμές.



Σχήμα 31 : Ο έλεγχος μιας συγκόλλησης για (α) συγκόλληση μονού V και για (b) συγκόλληση διπλού V.



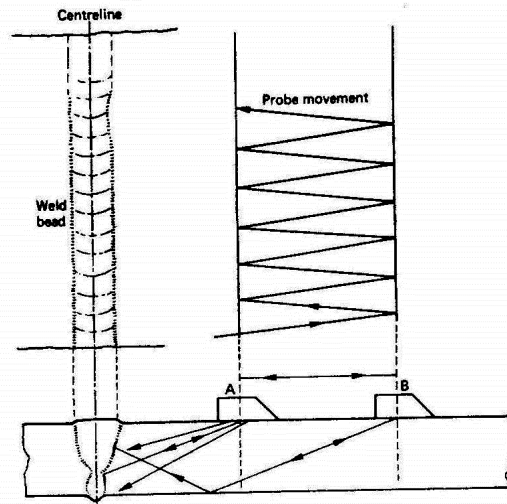
Για τον έλεγχο της συγκόλλησης χρησιμοποιούνται κεφαλές γωνιακής πρόσπτωσης οι οποίες στέλνουν τη δέσμη υπερήχων με κάποια γωνία που εξαρτάται κάθε φορά από το πάχος του δοκιμίου και τους περιορισμούς που ορίζει η γεωμετρία. Επίσης, είναι απαραίτητη η ακριβής βαθμονόμηση των κεφαλών κι η ακριβής τοποθέτησή τους στα συγκεκριμένα σημεία A και B έτσι ώστε να μπορούμε να διαχωρίσουμε μία ανάκλαση από τον πυθμένα της ρίζας από μία ανάκλαση από κάποια ρωγμή στην ρίζα (Σχήμα 32). Οι ίδιες βασικές αρχές ισχύουν και για συγκολλήσεις διπλού V για την ανίχνευση έλλειψης διείσδυσης στην ρίζα (Σχήμα 31b).



Σχήμα 32 : Ο έλεγχος μιας συγκόλλησης : ανίχνευση ρωγμής ή έλλειψη πρόσφυσης στην άκρη του πυθμένα της συγκόλλησης. Από την πλευρά A, η ανάκλαση από την ατέλεια γενικά θα είναι πιο ισχυρή σε σχέση με την ανάκλαση από τον πυθμένα της συγκόλλησης και θα είναι ελαφρώς μπροστά από την θέση που αντιστοιχεί στο μέσο της συγκόλλησης. Από την πλευρά B, η ανάκλαση από την ατέλεια είναι ελαφρώς πίσω από την θέση που αντιστοιχεί στο μέσο της συγκόλλησης. Η ανάκλαση από την ατέλεια θα παραμείνει προφανώς καθώς η κεφαλή μετακινείται μέσα ή έξω από την ραφή της συγκόλλησης.

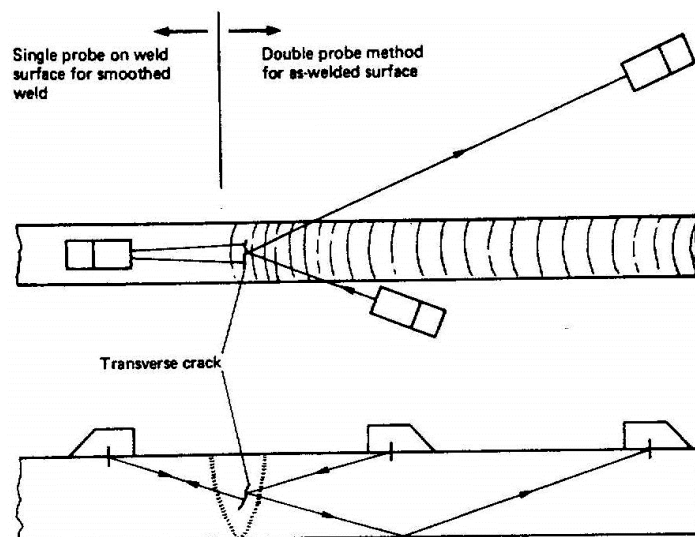
Ο βασικός όγκος του μετάλλου της συγκόλλησης εξετάζεται μετακινώντας την κεφαλή μεταξύ των θέσεων A και B (Σχήμα 33), καθώς η κεφαλή μετακινείται κατά μήκος της ραφής της συγκόλλησης. Η θέση A καλύπτει το κάτω κομμάτι

της συγκόλλησης στην απόσταση *half skip*, ενώ η θέση B το πάνω κομμάτι στην απόσταση *full skip*.



Σχήμα 33 : Ο έλεγχος μιας συγκόλλησης : σχηματικό διάγραμμα σάρωσης με τη μέθοδο της επαφής.

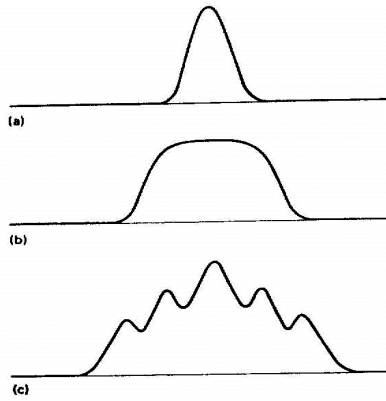
Επιπλέον διαδρομές της κεφαλής είναι απαραίτητες για την ανίχνευση εγκάρσιων ελαττωμάτων (Σχήμα 34).



Σχήμα 34 : Ο έλεγχος μιας συγκόλλησης : ανίχνευση εγκάρσιων ρωγμών.

Εάν το πάχος των συγκολλήσεων είναι μέχρι 100 mm, τότε είναι προτιμότερο η σάρωση να γίνεται κι από τις δύο πλευρές της συγκόλλησης, αλλά μόνο από τη μία επιφάνεια του δοκιμίου. Για συγκολλήσεις, όμως, μεγαλύτερου πάχους και που προορίζονται για κρίσιμες εφαρμογές, η σάρωση πρέπει να γίνεται τόσο κι από τις δύο πλευρές της συγκόλλησης όσο κι από τις δύο επιφάνειες του δοκιμίου οποτεδήποτε αυτό είναι εφικτό.

Αυτές είναι τεχνικές για τον προσδιορισμό της θέσης της ατέλειας και πολύ συχνά η θέση ενός ελαττώματος προσδιορίζει αυτόματα και τη φύση του. Περισσότερες πληροφορίες για τη φύση μίας ατέλειας μπορεί να αποκτήσει κανείς εάν παρακολουθεί τις αλλαγές στο σχήμα του παλμού. Αυτή η «δυναμική εικόνα», είναι μέχρι ενός σημείου μία συνάρτηση του ύψους του ελαττώματος, αλλά επίσης παρέχει κι άλλες πληροφορίες. Συνεπώς, ένα επίπεδο ελάττωμα, όπως για παράδειγμα μία σχετικά λεία ρωγμή ή η έλλειψη πλάγιας πρόσφυσης, θα δώσουν μία έντονη κορυφή η οποία θα εξαφανιστεί πολύ γρήγορα με μία αλλαγή στη γωνία της δέσμης των υπερήχων. Από την άλλη μεριά, η ανάκλαση από κάποιο παρόμοιου μεγέθους έγκλεισμα σκουριάς θα δώσει ένα σήμα το οποίο θα επιμείνει περισσότερο και θα έχει και διαφορετικό σχήμα. Το σχήμα που παίρνει η κάθε ανάκλαση, καθώς η κεφαλή μετακινείται, μπορεί να καταταχθεί σε μερικές καθορισμένες μορφές (Σχήμα 35). Η κίνηση της κεφαλής μπορεί να γίνει σε δύο διευθύνσεις: επομένως, εάν για γωνία πρόσπτωσης της δέσμης  $90^{\circ}$  και για κίνηση κεφαλής σε δύο διευθύνσεις παίρνουμε τη μορφή (b), τότε το πιο πιθανό είναι ότι το ελάττωμα είναι ένα μεγάλο, επίπεδο ελάττωμα, περίπου σε ορθή γωνία σε σχέση με την επιφάνεια.

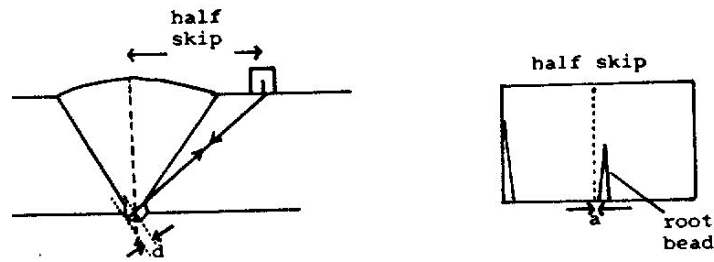


Σχήμα 35 : Οι μορφές των σημάτων που λαμβάνονται καθώς η κεφαλή μετακινείται κάθετα στη ραφή της συγκόλλησης, (α) λόγω μιας σημειακής ατέλειας, όπως ένας πόρος αερίου, (b) λόγω μιας επίπεδης ατέλειας, όπως ένα μέτωπο ρωγμής, και (c) λόγω μιας σειράς από μικρούς πόρους ή εγκλείσματα.

Όλες οι παραπάνω γενικές διαδικασίες για τον προσδιορισμό της θέσης των ελαττωμάτων ισχύουν μόνο για την απλή περίπτωση των επίπεδων συγκολλήσεων. Για μη επίπεδες επιφάνειες, περίπλοκης γεωμετρίας, οι αρχές είναι οι ίδιες, αλλά στην πράξη η κατάσταση είναι πολύ πιο περίπλοκη.

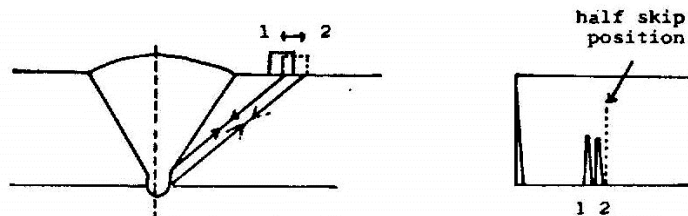
#### 4.5 Η ΜΟΡΦΗ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΗ ΡΙΖΑ

Μελετώντας το Σχήμα 36, όταν η κεφαλή είναι στην θέση *half skip* και το μέταλλο συγκόλλησης έχει διεισδύσει σε όλο το βάθος, τότε η μορφή της ανάκλασης αντιπροσωπεύει τον πυθμένα της συγκόλλησης. Η ανάκλαση αυτή θα παρουσιαστεί σε μία απόσταση μεγαλύτερη από την απόσταση *half skip* κι αυτό λόγω του ότι η δέσμη υπερήχων έχει διανύσει μεγαλύτερη διαδρομή λόγω της ύπαρξης του πάχους του πυθμένα.



Σχήμα 36 : Ο έλεγχος της ρίζας της συγκόλλησης

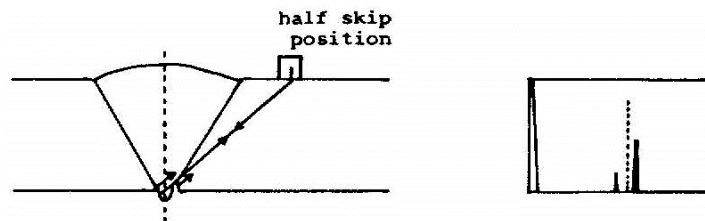
Σε μία συγκόλληση με έλλειψη πρόσφυσης στην περιοχή της ρίζας, όπως φαίνεται στο Σχήμα 37, όταν η κεφαλή είναι στην θέση *half skip*, τότε θα εμφανιστεί μία ανάκλαση στην οθόνη ακριβώς πριν το σημείο (την απόσταση *half skip*) όπου θα εμφανιζόταν η ανάκλαση εάν δεν υπήρχε ελάττωμα πρόσφυσης στη ρίζα. Καθώς η κεφαλή απομακρύνεται, το σήμα μετακινείται ελαφρώς προς τη θέση *half skip* κι επίσης μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας την απόσταση που έχει διανύσει η κεφαλή από την αρχική της θέση *half skip*. Προκειμένου να επιβεβαιωθούν τα αποτελέσματα μίας τέτοιας σάρωσης μπορεί κανείς να σαρώσει την ίδια περιοχή αλλά αυτή τη φορά από την απέναντι μεριά της συγκόλλησης. Στην περίπτωση αυτή, η απόσταση θα είναι η ίδια κι επιπλέον δεν θα εμφανίζεται το σήμα από τον πυθμένα της ρίζας της συγκόλλησης.



Σχήμα 37 : Ο έλεγχος της ρίζας της συγκόλλησης

Στην περίπτωση σφάλματος υποκοπή, με την κεφαλή στην θέση *half skip*, θα εμφανιστεί μία ανάκλαση στην οθόνη σε απόσταση μεγαλύτερη από τη θέση

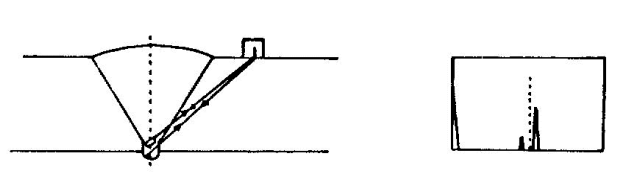
*half skip* η οποία θα αντιπροσωπεύει τον πυθμένα της συγκόλλησης και μία ανάκλαση πολύ μικρότερης έντασης σε μία απόσταση μικρότερη της θέσης *half skip* που θα αντιπροσωπεύει το σφάλμα υποκοπής (Σχήμα 38).



Σχήμα 38 : Ανίχνευση σφάλματος υποκοπής στην ρίζα της συγκόλλησης.

Εάν μετακινηθεί σταδιακά η κεφαλή μακριά από τον πυθμένα της συγκόλλησης, τότε θα παρατηρηθεί ότι το σήμα από τον πυθμένα θα εξαφανιστεί και το σήμα από το σφάλμα θα μεγαλώσει έως ότου γίνει μέγιστο καθώς πλησιάζει τη θέση *half skip*.

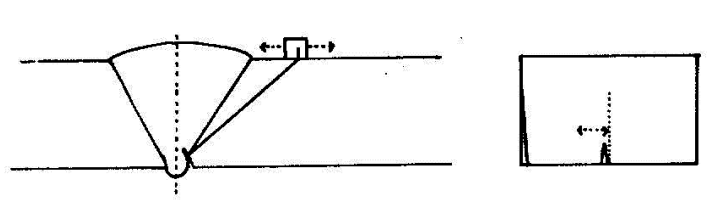
Στην περίπτωση που υπάρχει ένα έγκλεισμα στην περιοχή της ρίζας της συγκόλλησης, η ανάκλαση που θα εμφανιστεί στην οθόνη θα είναι παρόμοια με αυτήν λόγω σφάλματος υποκοπής, όπως φαίνεται στο Σχήμα 39.



Σχήμα 39 : Ανίχνευση εγκλείσματος στον πυθμένα της ρίζας της συγκόλλησης.

Τέλος, εάν υπάρχει ρωγμή στην περιοχή της ρίζας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στο Σχήμα 40, το σήμα από τον πυθμένα θα χαθεί εντελώς όταν η κεφαλή θα βρίσκεται στην απόσταση *half skip*, ενώ το σήμα που

αντιπροσωπεύει την ρωγμή θα εμφανιστεί ακριβώς πριν την θέση *half skip* στην οθόνη.

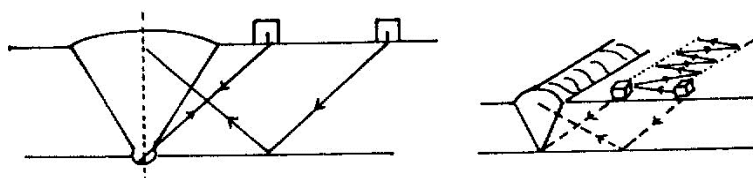


Σχήμα 40 : Ανίχνευση ρωγμής στην ρίζα της συγκόλλησης.

Καθώς η κεφαλή απομακρύνεται από τη συγκόλληση το σήμα που παίρνουμε στην οθόνη μετακινείται προς τη θέση *half skip*. Καθώς η κεφαλή πλησιάζει τη συγκόλληση, η ανάκλαση από τη ρωγμή θα σαρώνει την οθόνη και η διαδρομή που διανύει η δέσμη των υπερήχων συνεχώς θα μικραίνει.

#### 4.6 Η ΜΟΡΦΗ ΤΩΝ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ ΑΠΟ ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΟΝ ΚΥΡΙΟ ΟΓΚΟ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

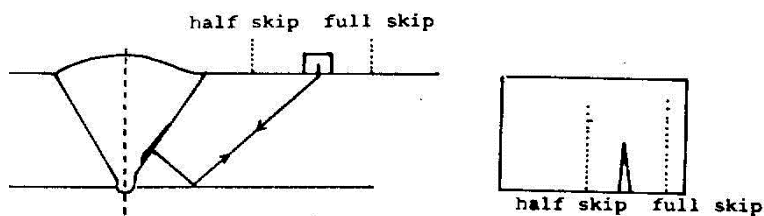
Για να γίνει η σάρωση του κυρίου όγκου της συγκόλλησης, η κεφαλή πρέπει να μετακινείται από τη θέση *half skip* στη θέση *full skip* και κατά μήκος της συγκόλλησης με μία *zig-zag* μορφή όπως φαίνεται στο Σχήμα 41.



Σχήμα 41 : Η σάρωση του σώματος της συγκόλλησης.

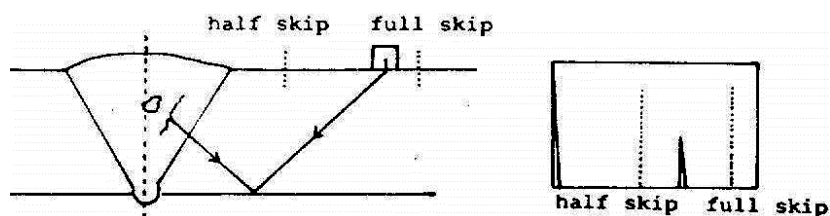
Σε περίπτωση που υπάρχει σφάλμα λόγω έλλειψης πρόσφυσης πλευρικά, το σήμα που θα ληφθεί στην οθόνη θα βρίσκεται μεταξύ των θέσεων *half skip* και *full skip* όπως δείχνει το Σχήμα 42. Το μέγεθος και η απόσταση μπορούν να

προσδιοριστούν μετρώντας την απόσταση που έχει διανύσει η κεφαλή κατά τη μετακίνησή της και το μήκος της διαδρομής της δέσμης των υπερήχων.



Σχήμα 42 : Έλλειψη πλευρικής πρόσφυσης.

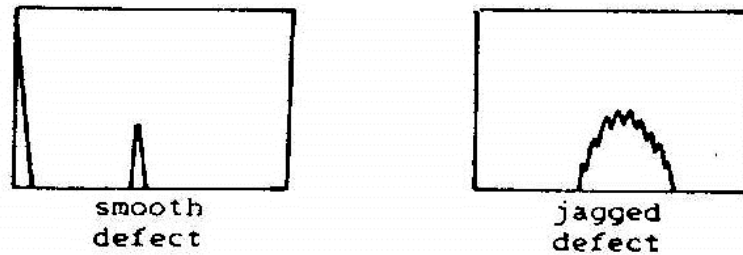
Επίσης, εγκλείσματα ή ρωγμές μπορούν να προσδιοριστούν με παρόμοιο τρόπο, όπως στην περίπτωση έλλειψης πλευρικής πρόσφυσης (Σχήμα 43).



Σχήμα 43 : Έγκλεισμα και ρωγμή στο σώμα της συγκόλλησης.

Ένα λείο σχετικά ελάττωμα θα δώσει ένα καθαρά καθορισμένο σήμα, ενώ ένα τραχύ, με μυτερές προεξοχές ελάττωμα, όπως για παράδειγμα ένα έγκλεισμα σκουριάς, μία τραχιά ρωγμή, μια συσσωμάτωση μικρών ατελειών (π.χ. μία πορώδης περιοχή ) κ.α., θα δώσουν ένα σήμα χαμηλής ανάλυσης με πολλές μικρές κορυφές. Η διαφορά αυτή στην ποιότητα του σήματος για λεία και τραχιά ελαττώματα φαίνεται καθαρά στο Σχήμα 44.





Σχήμα 44 : Η διαφορά στη μορφή του σήματος καθώς αλλάζει το είδος του ανιχνευόμενου ελαττώματος.

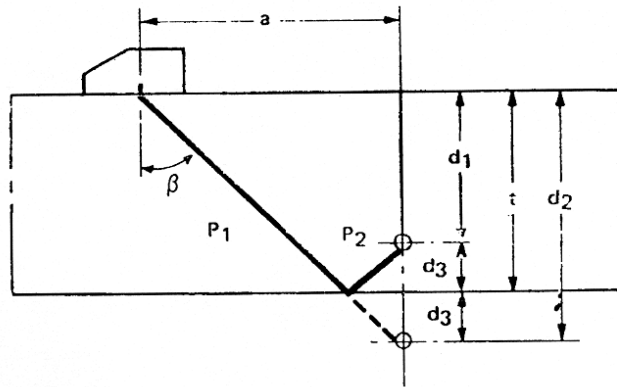
#### 4.7 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ

Ο σκοπός του μη καταστροφικού ελέγχου μιας συγκόλλησης με τη μέθοδο των υπερήχων, είναι να επιβεβαιώσει εάν η συγκόλληση αυτή είναι κατάλληλη για τον σκοπό που προορίζεται ή όχι. Η πληρότητα του ελέγχου δεν εξαρτάται μόνο από τον εντοπισμό των ελαττωμάτων, αλλά και από την αναγνώριση αυτών και την εκτίμηση του μεγέθους τους.

Τα σημαντικότερα στοιχεία που οδηγούν στην αναγνώριση ενός ελαττώματος είναι, η ακριβής του θέση μέσα στην ραφή, ο προσανατολισμός του, η μορφή της αντήχησης στην οθόνη της συσκευής όπως και η συμπεριφορά της αντήχησης αυτής κατά τη μετακίνηση της κεφαλής. Για τον λόγο αυτό, είναι σημαντικό ο ελεγκτής να είναι εξοικειωμένος με τις διάφορες κυματομορφές που πιθανόν να συναντήσει και να έχει καλή γνώση για την τεχνική συγκόλλησης που ακολουθήθηκε. Η γνώση της τεχνικής δίνει τη δυνατότητα πρόβλεψης του είδους του ελαττώματος που έχει τις περισσότερες πιθανότητες να εμφανιστεί.

##### 4.7.1 ΘΕΣΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ

Ο ακριβής εντοπισμός της θέσης του ελαττώματος είναι απαραίτητος όχι μόνο όταν χρειάζεται να γίνουν επιδιορθώσεις, αλλά επίσης γιατί μαζί με τον προσανατολισμό του δίνει χρήσιμες πληροφορίες ως προς τον τύπο και τη μορφή του (Σχήμα 45).



Σχήμα 45 : Εντοπισμός θέσης ελαττώματος.

Όταν λαμβάνεται παλμός στην οθόνη της συσκευής τότε μετακινείται η κεφαλή παλινδρομικά προς τα εμπρός και προς τα πίσω, σε ορθές γωνίες ως προς τον άξονα της ραφής, έως ότου μεγιστοποιηθεί ο παλμός αυτός. Στο σημείο αυτό η δέσμη ηχοβολεί το κέντρο του ελαττώματος, αφού το μεγαλύτερο μέρος της πέφτει πάνω σε αυτό με αποτέλεσμα να ανακλάται επίσης το μεγαλύτερο μέρος της και να λαμβάνεται μέγιστη ένδειξη στην οθόνη. Όπως φαίνεται και από το Σχήμα 45, η απόσταση του ελαττώματος από την κεφαλή δίνεται από τη σχέση:

$$\alpha = (P_1 + P_2) * \sin\beta,$$

Όπου  $P_1$  και  $P_2$  οι διαδρομές της δέσμης ενώ το βάθος του από την επιφάνεια δίνεται από τη σχέση:

$$d_1 = t - d_3 \rightarrow d_1 = t - (d_2 - t) \rightarrow d_1 = t - ((P_1 - P_2) \cos\beta - t) \rightarrow d_1 = 2t - (P_1 - P_2) \cos\beta$$

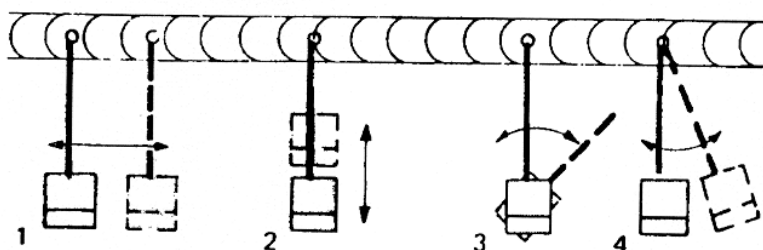
#### 4.7.2 ΠΡΟΣΑΝΑΤΟΛΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΜΟΡΦΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ

Με τη μέθοδο που αναφέρθηκε, προκύπτουν αξιόπιστα αποτελέσματα όταν τα ελαττώματα είναι σχετικά μικρά γιατί σε σχέση με το μήκος κύματος οι επιφάνειές τους θεωρούνται λείες. Αντίθετα, τα μεγάλα ελαττώματα ενδέχεται να παρουσιάζουν αρκετές ανακλαστικές επιφάνειες με διαφορετικό

προσανατολισμό, με αποτέλεσμα να έχουμε ανακλάσεις διαφόρων υψών και σε διαφορετικές αποστάσεις. Σε αυτή την περίπτωση, η μορφή και ο προσανατολισμός του ελαττώματος θα πρέπει να προσδιοριστεί με μετρήσεις υπό διάφορες γωνίες και κάθε φορά να υπολογίζονται οι συντεταγμένες, σύμφωνα με τους τύπους που αναφέραμε, και με βάση αυτές να σχεδιάζεται το ελάττωμα. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται η επίδραση που μπορεί να έχει η επιφανειακή κατάσταση του τεμαχίου στην ακρίβεια του υπολογισμού των συντεταγμένων του ελαττώματος. Επιφανειακή διάβρωση του υλικού πιθανόν να προκαλέσει αλλαγή στη γωνία διάθλασης του κύματος μέσα στο τεμάχιο, με αποτέλεσμα να επηρεαστεί η ορθότητα των μετρήσεων.

#### 4.7.3 ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΜΟΡΦΕΣ ΑΝΑΚΛΑΣΕΩΝ

Από τη μορφή της ανάκλασης και τη συμπεριφορά της όταν το ελάττωμα προσβάλλεται από διαφορετικές διευθύνσεις, λαμβάνονται αρκετές ενδείξεις ως προς την μορφή και τον προσανατολισμό του ελαττώματος. Στο Σχήμα 46 εικονίζονται διάφορες μετακινήσεις της κεφαλής που σκοπό έχουν την αναγνώριση του ελαττώματος.



Σχήμα 46 : Διάφορες μετακινήσεις της κεφαλής

1. Πλευρική κίνηση με σκοπό τον προσδιορισμό του μήκους του ελαττώματος (Σχήμα 46, θέση 1).
2. Κάθετη κίνηση με σκοπό τον προσδιορισμό του ύψους του ελαττώματος (Σχήμα 46, θέση 2). Όταν μετακινείται η κεφαλή προς το ελάττωμα, το ύψος

της αντήχησης στην οθόνη της συσκευής θα αυξηθεί, σε κάποιο σημείο θα πάρει τη μέγιστη τιμή και στη συνέχεια θα πέσει. Ταυτόχρονα, η αντήχηση θα μετακινηθεί κατά συγκεκριμένη απόσταση στη διεύθυνση του οριζόντιου άξονα της οθόνης.

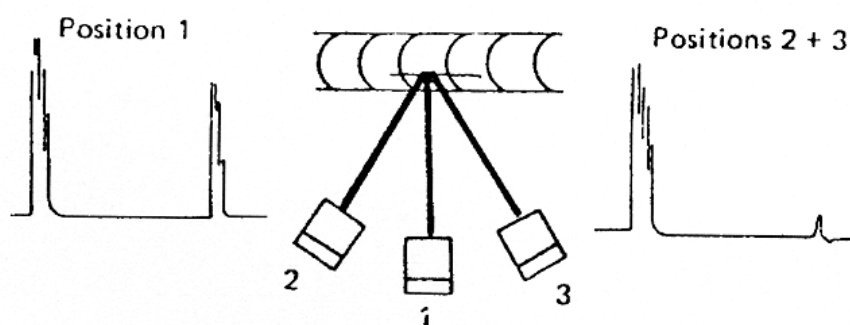
**3. Περιστροφική μετακίνηση (Σχήμα 46, θέση 3).**

**4. Τροχιακή μετακίνηση με κέντρο το ελάττωμα με σκοπό να καθορίσουμε την ευαισθησία κατά διεύθυνση (Σχήμα 46, θέση 4).**

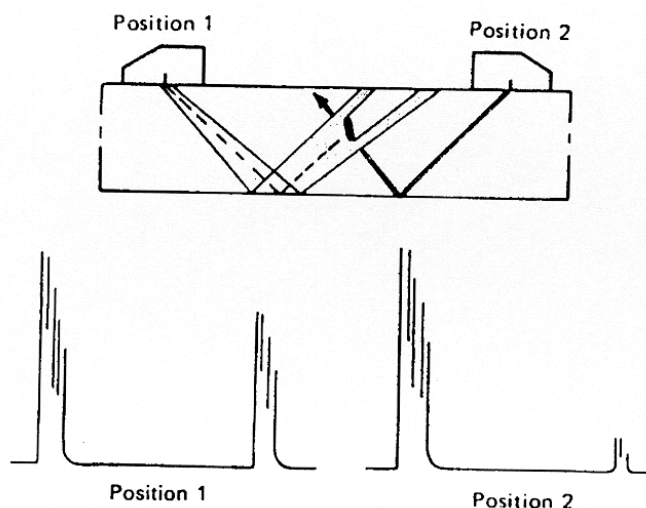
Οι παραπάνω μετακινήσεις της κεφαλής, θα πρέπει να γίνονται και από τις δυο πλευρές της συγκόλλησης.

Οι ανακλάσεις από δισδιάστατα (επίπεδα) ελαττώματα, όπως ρωγμές, εμφανίζονται στην οθόνη πολύ λεπτές και το ύψος τους εξαρτάται από τη διεύθυνση με την οποία ο παλμός χτυπά το ελάττωμα. Η περιστροφή της κεφαλής γύρω από την θέση που δίνει το μέγιστο ύψος ανάκλασης, έχει ως αποτέλεσμα την απότομη πτώση στο ύψος αυτό (Σχήμα 47).

Σημαντικές διαφορές, όσον αφορά το ύψος της αντήχησης, πιθανόν να παρατηρηθούν όταν χρησιμοποιούνται κεφαλές με διαφορετικές γωνίες. Εάν ο προσανατολισμός του ελαττώματος είναι κάθετος στην επιφάνεια από όπου γίνεται η σάρωση και ο έλεγχος γίνει και από τις δυο πλευρές της ραφής, το ύψος της αντήχησης που θα ληφθεί θα είναι περίπου το ίδιο. Εάν, όμως, το ελάττωμα έχει επικλινή προσανατολισμό, θα ληφθούν παλμοί διαφορετικού ύψους (Σχήμα 48).



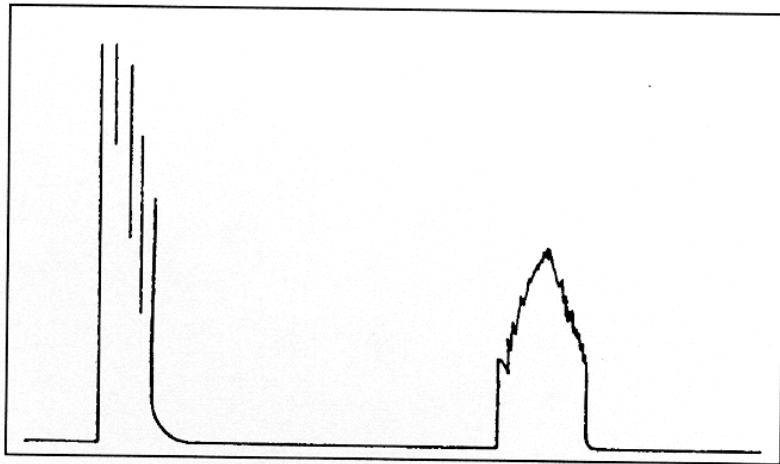
Σχήμα 47 : Περιστροφή της κεφαλής γύρω από τη θέση που μας δίνει το μέγιστο ύψος ανάκλασης



Σχήμα 48 : Διαφορά στο εύρος των ανακλάσεων που παίρνουμε ανάλογα με τον προσανατολισμό της ατέλειας ως προς τη δέσμη

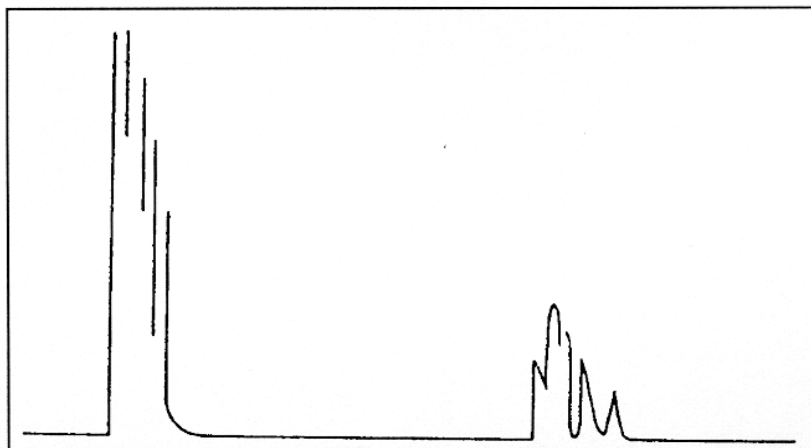
Το ύψος του παλμού που προέρχεται από τρισδιάστατα ελαττώματα, όπως εγκλείσματα σκουριάς, δεν διαφέρει απαραίτητα από το αντίστοιχο ύψος παλμού που προέρχεται από δισδιάστατα, όπως ρωγμές. Μπορεί, όμως, οι αντηχήσεις αυτές να διαφέρουν στη μορφή τους, με την πρώτη να έχει διαφορετικό σχήμα και διαφορετική συμπεριφορά κατά την αλλαγή της διεύθυνσης με την οποία η δέσμη χτυπά το ελάττωμα. Όταν η δέσμη των υπερήχων πέσει πάνω σε τέτοιες ατέλειες, λόγω της ανώμαλης και ακανόνιστης επιφάνειας τους, η πορεία της ανακόπτεται σε διαφορετικά σημεία, με αποτέλεσμα να λαμβάνεται ένας πιο ανοιχτός παλμός (Σχήμα 49).

Η περιστροφική κίνηση της κεφαλής, θα προκαλέσει πολύ μικρή αλλαγή στη μορφή της αντήχησης. Καθένα, όμως, από τα διαφορετικά σήματα που συνθέτουν την αντήχηση αυτή, θα αλλάξει, λόγω της περιστροφής, με αποτέλεσμα να αλλάξει και το ύψος ολόκληρης της αντήχησης. Η σάρωση από την απέναντι επιφάνεια της ραφής πιθανότατα θα δώσει έναν παλμό παρόμοιας μορφής.



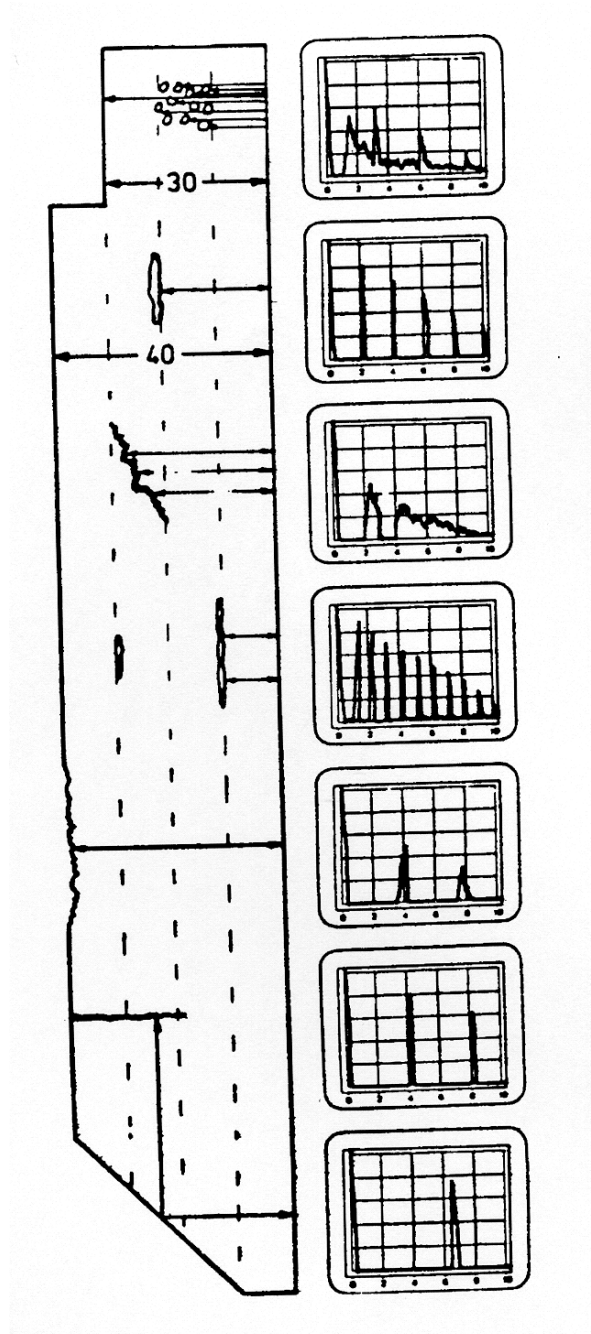
Σχήμα 49 : Ανοιχτός παλμός προερχόμενος από τρισδιάστατη ατέλεια

Ασυνέχειες σφαιρικής μορφής, όπως πόροι, λόγω της γεωμετρίας τους, ανακλούν κατά τη διεύθυνση της κεφαλής, μόνο μια μικρή ποσότητα της δέσμης που πέφτει επάνω τους. Επιπλέον, επειδή τα ελαττώματα αυτά έχουν γενικά πολύ μικρές διαστάσεις, χαρακτηρίζονται από μικρού ύψους και πολύ λεπτές αντηχήσεις. Η μορφή τους θα παραμένει σχεδόν σταθερή κατά την περιστροφή της κεφαλής με κέντρο το ελάττωμα, καθώς και κατά τη σάρωση από την απέναντι πλευρά της ραφής. Στην περίπτωση πορώδους, όπου εντοπίζονται πολλοί πόροι μαζί, στην οθόνη θα εμφανιστούν πολλοί μικροί παλμοί, ο ένας δίπλα στον άλλο. Η ακριβής θέση τους εξαρτάται από τον αριθμό και την κατανομή των πόρων αυτών (Σχήμα 50).



Σχήμα 50 : Περίπτωση πορώδους

Γενικά, το ακόλουθο σχηματικό διάγραμμα ( Σχήμα 51 ) δείχνει τη μορφή της ανάκλασης που λαμβάνεται στην οθόνη της συσκευής, ανάλογα με το ελάττωμα και τη θέση του μέσα σε ένα δοκίμιο.



Σχήμα 51 : Διάγραμμα κατανομής μορφών ανακλάσεων, σε συνάρτηση με το είδος της ατέλειας

Τα τελευταία δυο ελαττώματα είναι πολύ δύσκολο να εντοπιστούν όταν χρησιμοποιούνται κεφαλές καθέτου ηχοσκοπήσεως, γιατί ο παλμός δεν τα χτυπά κάθετα, με αποτέλεσμα μηδενική ή σχεδόν μηδενική ποσότητα του ανακλώμενου παλμού να γυρίζει στην κεφαλή. Για αυτό πρέπει να ακολουθείται πάντα ο βασικός κανόνας που λέει ότι: Η δέσμη των υπερήχων πρέπει να χτυπά κάθετα ή σχεδόν κάθετα τα ελαττώματα.

## **4.8 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ**

### **4.8.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΜΕΘΟΔΩΝ ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗΣ**

Η εκτίμηση του μεγέθους ενός ελαττώματος είναι ένα από τα πιο σημαντικά προβλήματα που αντιμετωπίζεται στον Μη Καταστροφικό Έλεγχο. Αρκετές τεχνικές παρέχουν κάποιες πληροφορίες για το μέγεθος του ελαττώματος, αλλά οι περισσότερες εξελίσσονται και βελτιώνονται με την προσθήκη νέων στοιχείων ακόμα και σήμερα. Μόνο σε πολύ ευνοϊκές περιπτώσεις και υπό την προϋπόθεση ότι είναι γνωστά το είδος και ο προσανατολισμός του ελαττώματος, μπορεί το μέγεθος της αντήχησης στην οθόνη της συσκευής, να αποτελέσει κριτήριο για το μέγεθος της ασυνέχειας. Συνήθως, όμως, λόγω της επίδρασης διάφορων παραγόντων, όπως το σχήμα και ο προσανατολισμός της ασυνέχειας, η εξασθένηση της ηχητικής δέσμης, οι συνθήκες σύζευξης με το υγρό προσαρμογής, η απόσταση της ασυνέχειας, η ευαισθησία της συσκευής κ.α., η εκτίμηση του μεγέθους απαιτεί συγκεκριμένες τεχνικές ώστε να επιτευχθεί η μέγιστη ακρίβεια. Οι τεχνικές που σήμερα χρησιμοποιούνται είναι οι εξής:

1. Η σύγκριση με γνωστούς ανακλαστήρες σε δοκίμια, μπλοκ αναφοράς και σε πρότυπα βαθμονόμησης.
2. Η εκτίμηση της ανάκλασης του ελαττώματος, με βάση τα διαγράμματα DGS, και η προσομοίωση του ελαττώματος με "ισοδύναμο" επίπεδο κυκλικό ανακλαστήρα, για το ίδιο μήκος διαδρομής του υπερήχου και για την ίδια ενίσχυση. Με τον όρο "ισοδύναμο ανακλαστήρα", εννοούμε έναν ανακλαστήρα ο οποίος προκαλεί την ίδια αντήχηση με το ελάττωμα.
3. Η τεχνική πτώσης του ύψους της ανάκλασης κατά 6 dB (τεχνική μισού ύψους – *Half amplitude technique* ) ή κατά 20 dB.



Οι τεχνικές 1 και 2 οδηγούν στην εκτίμηση της ασυνέχειας ανάλογα με την ανακλαστική ικανότητα αυτής, κάτω από πολύ καλά καθορισμένες συνθήκες και για ρυθμίσεις που προέρχονται με βάση κάποια δοκίμια αναφοράς. Μόνο σε πολύ ιδανικές περιπτώσεις, οι τεχνικές αυτές παρέχουν το μέγεθος του ελαττώματος με πολύ μεγάλη ακρίβεια. Και η τεχνική 3 παρουσιάζει ανακρίβειες που έχουν, όμως, να κάνουν με το μέγεθος της ασυνέχειας, τον προσανατολισμό της και την γειννιάσή της με άλλες ασυνέχειες.

#### **4.8.2 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ ΜΕΣΩ ΣΥΓΚΡΙΣΗΣ ΜΕ ΑΝΑΚΛΑΣΤΗΡΕΣ ΑΝΑΦΟΡΑΣ**

Οι ανακλαστήρες αναφοράς μπορεί να είναι είτε πραγματικές ασυνέχειες σε δοκίμια αναφοράς, το μέγεθος των οποίων έχει εκτιμηθεί με πειραματικές δοκιμές, είτε τεχνητά κατασκευασμένες ασυνέχειες, όπως οπές και αυλακώσεις. Λόγω του ότι όλοι οι επίπεδοι ανακλαστήρες παρουσιάζουν πολύ καλή κατευθυντικότητα και επειδή οι αυλακώσεις, ως ανακλαστήρες, συμπεριφέρονται με ανομοιογένεια, εξαιτίας της μετατροπής που προκαλούν στον τύπο του κύματος, συνιστάται η χρησιμοποίηση των οπών κυκλικής διατομής.

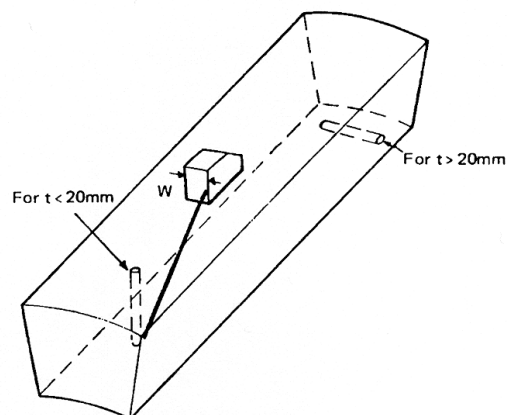
Για τον καθορισμό του επιπέδου ευαισθησίας χρησιμοποιούνται δοκίμια αναφοράς με οπές κυκλικής διατομής, όπως φαίνεται και στον Πίνακα 2, με την προϋπόθεση, όμως, ότι το προς έλεγχο τεμάχιο έχει επίπεδες επιφάνειες ή επιφάνειες με πολύ μικρή καμπυλότητα.

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΔΟΚΙΜΙΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ ΜΕ ΚΥΚΛΙΚΕΣ ΟΠΕΣ**

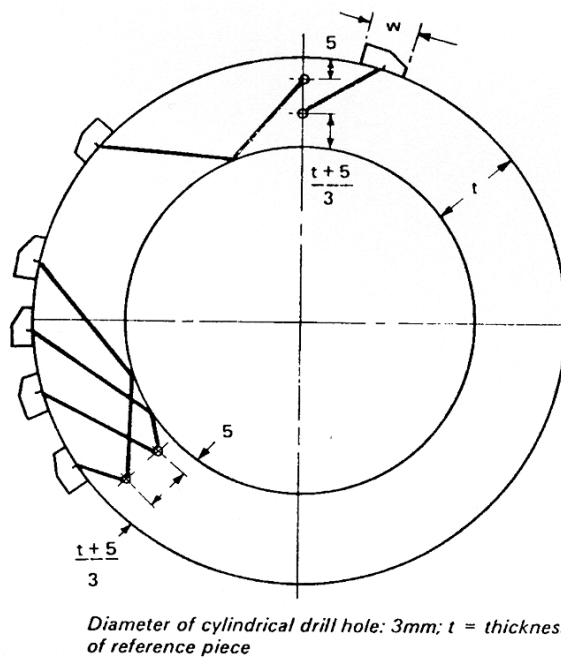
Diameter of 3mm cylindrical drill holes

Thickness, t, mm	Reference piece
10-15	
15-20	 $b = t - 10$
20-40	 $b = \frac{t - 10}{2}$
40-80	 $b = \frac{t - 10}{3}$
80-150	 $b = \frac{t - 10}{4}$

Για επιφάνειες με μεγαλύτερη καμπυλότητα, οι οποίες απαιτούν από τα παπουτσάκια των κεφαλών ανάλογη διαμόρφωση, τα δοκίμια αναφοράς πρέπει να είναι κατασκευασμένα σύμφωνα με τις υποδείξεις που φαίνονται στα Σχήματα 52 και 53.



Σχήμα 52 : Δοκίμιο αναφοράς για επιφάνειες με μεγαλύτερη καμπυλότητα



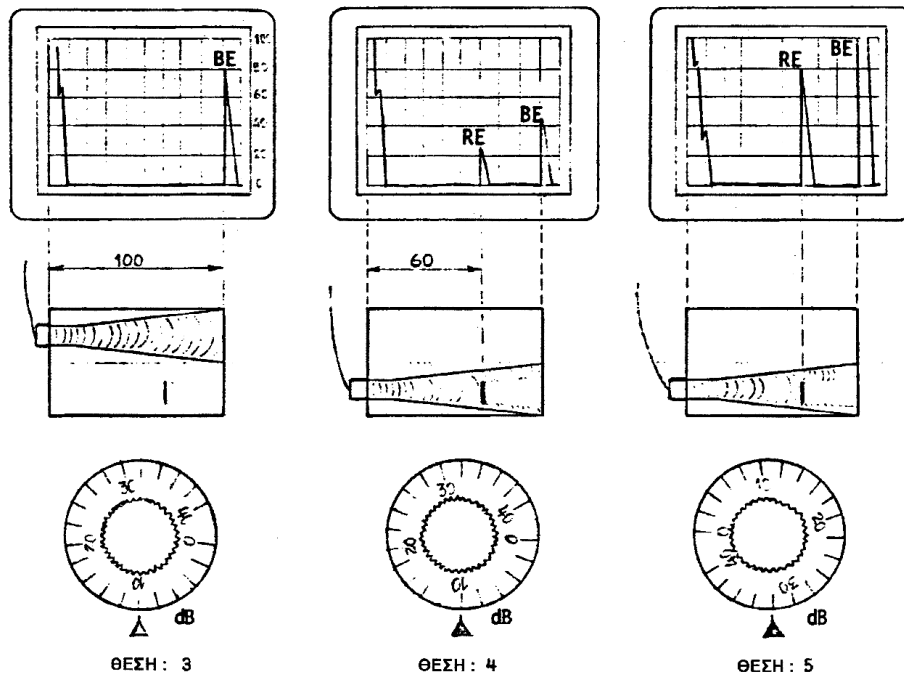
Σχήμα 53 : Δοκίμιο αναφοράς για επιφάνειες με μεγαλύτερη καμπυλότητα

#### 4.8.3 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ DGS ( DISTANCE GAIN SIZE METHOD )

Τα διαγράμματα DGS ( Distance Gain Size ) έχουν μελετηθεί και χαραχθεί με βάση επίπεδους ανακλαστήρες κυκλικής διατομής (επίπεδους δίσκους), τους οποίους προσβάλλει κάθετα η δέσμη των υπερήχων και με την προϋπόθεση ότι τα ελαττώματα είναι μικρότερα από τη διάμετρο του κρυστάλλου της κεφαλής. Στην πράξη, όμως, τα φυσικά ελαττώματα όπως πόροι, εγκλείσματα και ρωγμές διαφέρουν πολύ από τους δισκοειδείς ανακλαστήρες και ως προς τη μορφή και ως προς την ανακλαστική ικανότητα. Επιπλέον, η δέσμη των υπερήχων δεν προσβάλλει πάντοτε κάθετα την επιφάνεια των ελαττωμάτων. Για αυτόν τον λόγο, η επιφάνεια του φυσικού ελαττώματος είναι συνήθως μεγαλύτερη από την επιφάνεια του ισοδύναμου ανακλαστήρα. Έτσι, με την χρήση των DGS βρίσκεται, ο ισοδύναμος με το φυσικό ελάττωμα, επίπεδος κυκλικός ανακλαστήρας. Το πραγματικό ελάττωμα είναι αδύνατον να υπολογιστεί επακριβώς.

Κατόπιν αναφέρεται ένα παράδειγμα μέσω του οποίου επεξηγείται η μέθοδος χρησιμοποίησης των DGS. Έστω ένα τεμάχιο μήκους 100 mm με ένα ελάττωμα στα 60 mm, όπως φαίνεται στο Σχήμα 54.

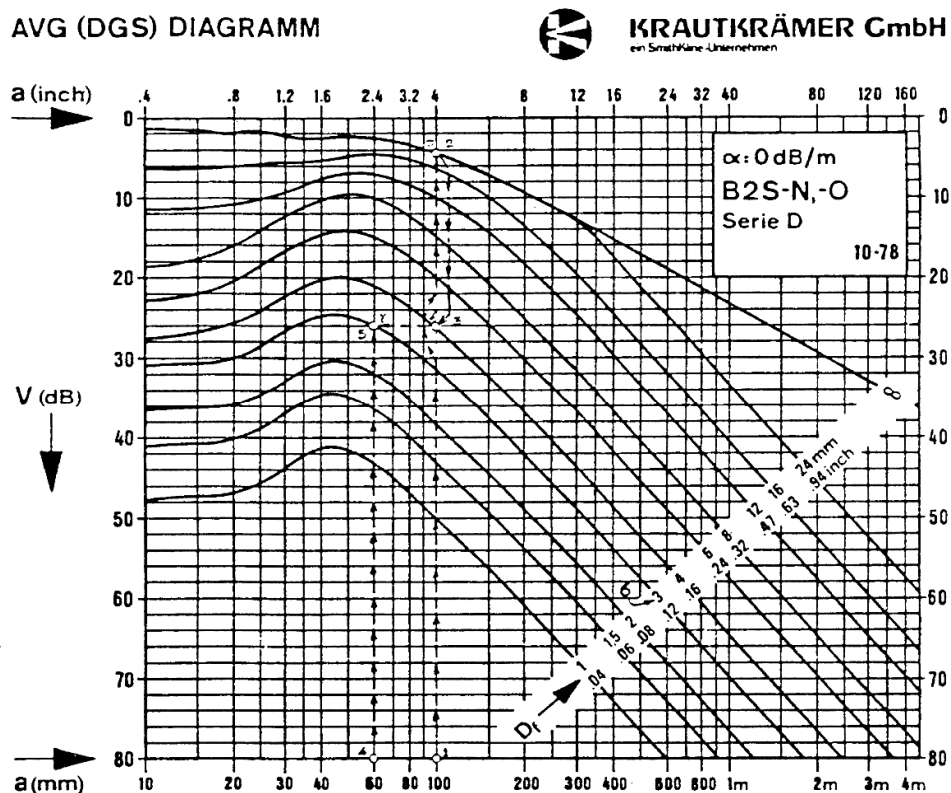
ΕΠΕΞΗΓΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΠΟΥ ΧΡΗΣΗΜΟΠΟΙΗΣΕΩΣ ΤΩΝ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ DGS ή AVG



Σχήμα 54 : Επεξήγηση της διαστασιολόγησης ατελειών με τα διαγράμματα DGS

Στο Σχήμα 54, φαίνονται επίσης τρεις σχηματικές απεικονίσεις της θέσης της κεφαλής, του μεγέθους της ενίσχυσης (σε dB) και των αντίστοιχων αντηχήσεων στην οθόνη της συσκευής. Στη θέση 3 παρατηρείται ότι το ύψος της αντήχησης από την τελική επιφάνεια του τεμαχίου (BE) φτάνει στο 80% του ύψους της οθόνης για ενίσχυση ίση με 10 dB. Λόγω της σχετικής θέσεως της κεφαλής, δεν λαμβάνεται αντήχηση από το ελάττωμα. Στη θέση 4, η κεφαλή βρίσκεται σε τέτοιο σημείο ώστε το ελάττωμα να παρεμβάλλεται στην πορεία της δέσμης των υπερήχων. Επειδή ένα μέρος της δέσμης πέφτει πάνω στο ελάττωμα και ανακλάται πίσω στην κεφαλή, λαμβάνεται μια αντήχηση (RE) με ύψος, περίπου, 20% του πλήρους ύψους οθόνης. Ακόμη, ένα μέρος της δέσμης συνεχίζει την πορεία του προς το άλλο άκρο του τεμαχίου, στο οποίο

ανακλάται και γυρίζει και αυτό πίσω στην κεφαλή. Έτσι λαμβάνεται και ο παλμός (BE), μόνο που αυτός έχει τώρα μικρότερο ύψος (περίπου 40% του ύψους της οθόνης), καθώς ένα μέρος μόνο της δέσμης φτάνει στο άκρο του τεμαχίου. Στη θέση 5 φαίνεται ότι για να φτάσει ο παλμός RE στο 80% του ύψους της οθόνης (εκεί δηλαδή που είχε ρυθμιστεί αρχικά και ο παλμός BE), πρέπει να αυξηθεί η ενίσχυση από 10 dB σε 32 dB.



Σχήμα 55 : ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ DGS ΓΙΑ ΤΗΝ ΕΥΡΕΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ ΔΙΣΚΟΥ ΤΗΣ ΙΣΟΔΥΝΑΜΗΣ ΑΣΥΝΕΧΕΙΑΣ

Έτσι προκύπτει το διάγραμμα DGS που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη κεφαλή (Σχήμα 55). Πρέπει να τονιστεί ότι κάθε κεφαλή έχει το δικό της DGS που είναι σχεδιασμένο ειδικά για αυτήν. Υπάρχει, όμως, και το "γενικευμένο διάγραμμα DGS" από το οποίο, με διάφορες τεχνικές σχηματίζεται το εξειδικευμένο DGS κάθε κεφαλής.

Με τη βοήθεια του DGS, βρίσκεται η διάμετρος του ισοδύναμου επίπεδου δισκοειδούς ανακλαστήρα, ακολουθώντας τα πιο κάτω βήματα:

1. Με μήκος δοκιμίου 100 mm και έχοντας ως αντήχηση αναφοράς την BE, βρίσκεται το πρώτο σημείο στο διάγραμμα (σημείο α), που είναι η τομή της κατακόρυφης από το σημείο των 100 mm στον οριζόντιο άξονα του DGS με την τελευταία καμπύλη του διαγράμματος. Χρησιμοποιείται η τελευταία καμπύλη, γιατί έχει ληφθεί ως αντήχηση αναφοράς η BE.

2. Το σημείο α αντιστοιχεί σε ενίσχυση 4 dB (από τον κατακόρυφο άξονα του DGS). Προσθέτοντας 22 dB, την επιπλέον ενίσχυση, δηλαδή, που χρειάστηκε για να ενισχυθεί η αντήχηση RE από το 20% στο 80% του ύψους της οθόνης (Σχήμα 53, θέση 5) και η θέση α μεταφέρεται στη θέση β.

3. Από τη θέση β γίνεται μετακίνηση οριζόντια αριστερά έως ότου να τμηθεί η κατακόρυφος από το σημείο των 60 mm του οριζόντιου άξονα του DGS. Το σημείο αυτό, αντιστοιχεί στο βάθος του ελαττώματος μέσα στο τεμάχιο. Έτσι εντοπίζεται το σημείο γ.

4. Ελέγχεται ποια καμπύλη του διαγράμματος DGS περνά από το σημείο γ και σημειώνεται η τιμή της διαμέτρου στην οποία αυτή αντιστοιχεί. Στο παράδειγμα, η διάμετρος του ισοδύναμου δισκοειδούς ανακλαστήρα είναι 3 mm. Στο σχήμα 55, έχει αποτυπωθεί, με διακεκομμένες γραμμές, η πορεία (1,2,3,4,5,6) η οποία ακολουθήθηκε για να βρεθεί η διάμετρος του δίσκου της ισοδύναμης ασυνέχειας.

Με τη μέθοδο αυτή, δεν είναι εφικτό να εκτιμηθούν οι διαστάσεις του φυσικού ελαττώματος, αλλά να εκφραστεί το ελάττωμα αυτό με άλλο ισοδύναμο, απλού γεωμετρικού σχήματος (επίπεδος δίσκος), και να εκτιμηθεί η διάμετρος του.

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, κάθε κεφαλή έχει το δικό της DGS, το οποίο μπορεί να προκύψει από το γενικευμένο διάγραμμα DGS. Πολλές φορές, τέτοια διαγράμματα απαιτούν διόρθωση εξαιτίας απωλειών είτε λόγω εξασθένησης, είτε λόγω διαφορών στις συνθήκες προσαρμογής ανάμεσα στο τεμάχιο και στο δοκίμιο αναφοράς.

#### **4.8.4 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΜΕΣΩ ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΜΟΡΦΗΣ ΤΟΥ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΟΣ**

Η τεχνική αυτή βασίζεται στο γεγονός ότι τα άκρα των ελαττωμάτων προκαλούν τη διασπορά της δέσμης. Εφαρμόζεται σε μεγάλα ελαττώματα,

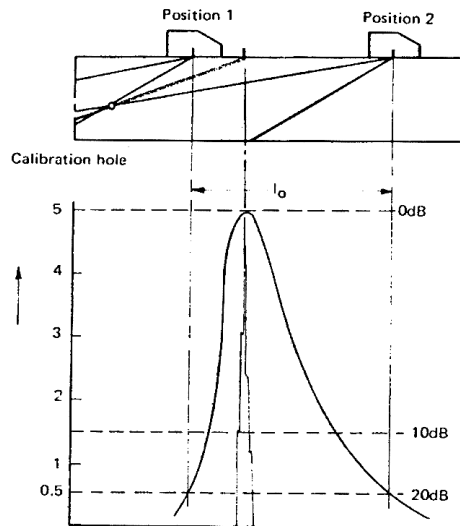
ώστε να καθορισθεί το σχήμα τους από το οποίο στη συνέχεια να εκτιμηθεί το μέγεθός τους. Τα όρια της δέσμης συνήθως λαμβάνονται εκεί που η ενέργεια έχει πέσει στο 10% της αντίστοιχης ενέργειας που έχει η δέσμη στον άξονά της. Αυτό σημαίνει ότι τα όρια της δέσμης προκαλούν αντήχηση που χρειάζεται επιπλέον ενίσχυση 20 dB ώστε να φτάσει στο ίδιο ύψος στην οθόνη με την αντίστοιχη αντήχηση που προκαλεί ο άξονας της δέσμης. Αυτό προκύπτει από τον παρακάτω τύπο:

$$A_2/A_1 = 10^{\Delta V/20}$$

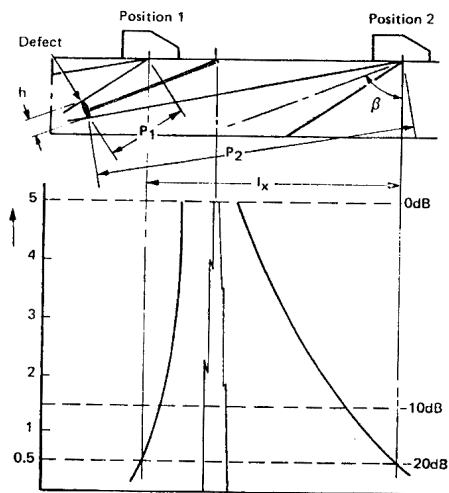
Επειδή τα όρια της δέσμης έχουν ενέργεια ίση με το 10% αυτής του άξονα της δέσμης, άρα και η αντήχηση από τα όρια θα έχει ύψος στην οθόνη ίσο με 10% του ύψους της αντήχησης που προκαλεί ο άξονας της δέσμης. Δηλαδή ισχύει:  $A_2/A_1 = 10$ . Αντικατάσταση στον παραπάνω τύπο δίνει  $\Delta V = 20$  dB.

#### **4.8.4.1 ΚΑΘΟΡΙΣΜΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΩΝ ΔΕΣΜΗΣ - ΔΙΑΣΤΑΣΙΟΛΟΓΗΣΗ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ**

Κατά τη διαδικασία του καθορισμού του προφίλ της δέσμης με την μέθοδο που φαίνεται στο Σχήμα 56, η κεφαλή μετακινείται κατά μια απόσταση  $l_0$ . Η απόσταση αυτή υπολογίζεται ως εξής: Εντοπίζεται η θέση όπου η αντήχηση από το ελάττωμα γίνεται μέγιστη. Μετακινείται η κεφαλή αριστερά και δεξιά έως όπου η αντήχηση αυτή πέσει κατά 20 dB. Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση, αυτό σημαίνει ότι το ύψος του παλμού θα πέσει στο 1/10 του μέγιστου ύψους. Η απόσταση των δυο αυτών θέσεων, είναι το μήκος  $l_0$ . Η απόσταση αυτή είναι το πλάτος της δέσμης, για βάθος ίσο με αυτό που βρίσκεται η οπή στο δοκίμιο βαθμονόμησης. Ένα ελάττωμα που έχει παρόμοιο σχήμα με την οπή του δοκιμίου και βρίσκεται στο ίδιο βάθος, παράγει ανάκλαση που, κατά την κίνηση της κεφαλής, διαγράφει την ίδια περιβάλλουσα με αυτήν της οπής. Αντίθετα, ένα ελάττωμα διαφορετικού σχήματος και μεγέθους, προκαλεί ανάκλαση που διαγράφει διαφορετική περιβάλλουσα (Σχήμα 57).



Σχήμα 56 : Μετακίνηση της κεφαλής κατά  $I_0$  στην πλάκα αναφοράς



Σχήμα 57: Ελάττωμα διαφορετικού σχήματος και μεγέθους, προκαλεί ανάκλαση που διαγράφει διαφορετική περιβάλλουσα από αυτήν της οπής

Σε αυτή την περίπτωση, η μετακίνηση της κεφαλής  $I_x$  πρέπει να είναι τέτοια ώστε η δέσμη να ηχοβολεί τα άκρα του ελαττώματος με το άνω και κάτω όριό της. Εάν το ελάττωμα έχει κάθετο προσανατολισμό ως προς τον άξονα της δέσμης και είναι αρκετά μεγαλύτερο από τη διάμετρό της στη συγκεκριμένη θέση, τότε το ύψος του δίνεται από τη σχέση:



$$h = (I_x - I_0) \cos\beta$$

Στην πραγματικότητα, ο προσανατολισμός του ελαττώματος δεν θα είναι ο ιδανικός, αυτός δηλαδή που αναφέρεται παραπάνω, και διάφορες μέθοδοι απαιτούνται ώστε να επιτύχουμε ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στην περίπτωση αυτή υπολογίζουμε τις διαδρομές  $P_1$  και  $P_2$  του υπερήχου. Η διαδρομή  $P_1$ , είναι αυτή για την οποία το κάτω όριο της δέσμης χτυπά το άνω άκρο του ελαττώματος, ενώ η διαδρομή  $P_2$  είναι αυτή για την οποία το άνω όριο της δέσμης χτυπά το κάτω άκρο του. Γενικά, τα βήματα που ακολουθούνται για την διαστασιολόγηση των ελαττωμάτων, είναι τα εξής:

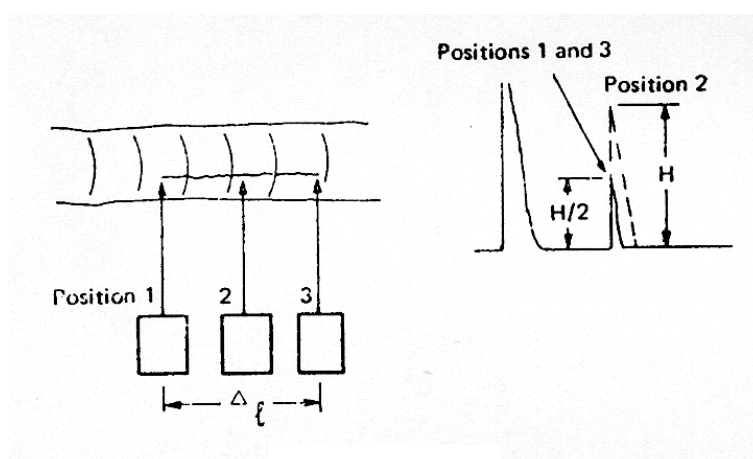
1. Καθορίζονται τα όρια της δέσμης ως οι περιοχές όπου η ενέργεια πέφτει στο 10% (20 dB) ή στο 30% (10 dB) της μέγιστης τιμής της. Το δοκίμιο αναφοράς θα πρέπει να προκαλεί την ίδια εξασθένηση με το τεμάχιο, αλλιώς θα πρέπει να εισάγουμε διορθωτικούς συντελεστές μεταφοράς.
2. Καθορίζεται το πλάτος της δέσμης  $I_0$  για βάθος ίσο με το βάθος του ελαττώματος.
3. Καθορίζεται το μήκος της περιοχής σάρωσης  $I_x$  για επίπεδο ευαισθησίας ίδιο με αυτό που χρησιμοποιήσαμε κατά τον καθορισμό του  $I_0$ .
4. Υπολογίζονται οι διαδρομές  $P_1$  και  $P_2$  ως εξής: Στα σημεία όπου το ύψος της αντήχησης από το ελάττωμα γίνεται ίσο με το αντίστοιχο ύψος που λαμβάνεται όταν τα όρια της δέσμης χτυπούν την οπή στο δοκίμιο αναφοράς, έχουν ηχοβοληθεί τα άκρα του ελαττώματος με τα όρια της δέσμης. Η συσκευή στην οθόνη δίνει κατευθείαν τις αποστάσεις  $P_1$  και  $P_2$ .
5. Έχοντας βρει τα σημεία στα οποία όταν βρίσκεται η κεφαλή «χτυπά» τα άκρα του ελαττώματος στην οθόνη δίνονται οι ακριβείς συντεταγμένες των σημείων αυτών, οπότε στην ουσία έχουν εντοπιστεί ακριβώς τα άκρα του ελαττώματος. Επομένως, είναι δυνατόν να γίνει εκτίμηση του μεγέθους και του σχήματος του ελαττώματος.

#### 4.8.4.2 ΤΕΧΝΙΚΗ ΜΙΣΟΥ ΥΨΟΥΣ (HALF AMPLITUDE TECHNIQUE)

Για ομοιόμορφα ελαττώματα, των οποίων οι διαστάσεις ξεπερνούν τη διάμετρο της δέσμης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τεχνική μισού ύψους. Με τη μέθοδο

αυτή εντοπίζονται, στην ουσία, τα άκρα του ελαττώματος. Η τεχνική αυτή εφαρμόζεται με δυο διαφορετικές παραλλαγές:

**A)** Η τεχνική της πτώσης της ανάκλασης κατά 6 dB ή διαφορετικά η πτώση του ύψους της ανάκλασης στο μισό της μέγιστης τιμής της (Σχήμα 58). Κατά την μέθοδο αυτή, σαρώνεται η ραφή έως ότου εντοπιστεί κάποιο ελάττωμα. Αφού εντοπιστεί, μετακινείται η κεφαλή ώστε η αντήχηση στην οθόνη να γίνει μέγιστη. Ρυθμίζεται η ενίσχυση ώστε η αντήχηση αυτή να φτάσει στο 80% του ύψους της οθόνης. Στην θέση αυτή, ολόκληρη η δέσμη χτυπά πάνω στο ελάττωμα. Στην συνέχεια, μετακινείται η κεφαλή αριστερά και δεξιά έως ότου το ύψος του παραπάνω παλμού πέσει κατά 50%, δηλαδή να φτάσει στο 40% του ύψους της οθόνης (Σχήμα 58).



Σχήμα 58 : Σάρωση διαμήκου ρωγμής και διαστασιολογήσή της με την *half amplitude technique*

Στη θέση αυτή, η μισή δέσμη χτυπά το ελάττωμα, δηλαδή στην ουσία ο άξονας της δέσμης ηχοβολεί το ένα του άκρο. Αφού εντοπιστούν τα δυο σημεία όπου το ύψος έπεσε στο 40%, στην ουσία έχουν εντοπιστεί τα άκρα του ελαττώματος και είναι δυνατή η διαστασιολογήση.

### Εφαρμογή και περιορισμοί σύμφωνα με το πρότυπο EN 583 02 του ΕΛΟΤ<sup>2</sup>

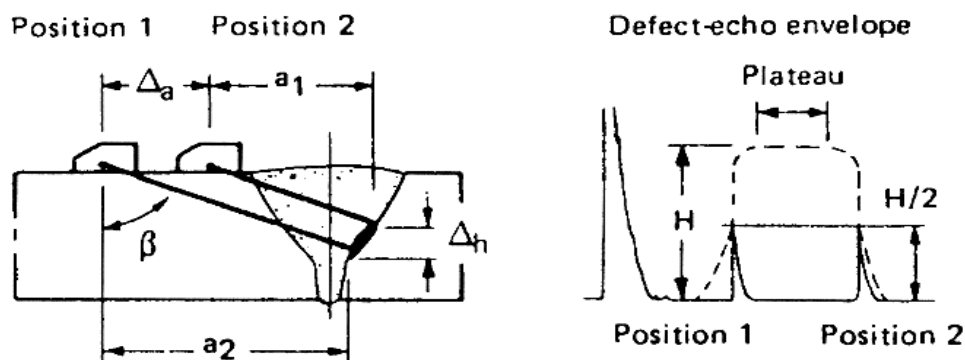
1) Η τεχνική εφαρμόζεται μόνο στις σχετικά ομαλές ασυνέχειες που βγαίνουν στην επιφάνεια, είναι όσο το δυνατόν κάθετες στον άξονα της δέσμης και οι οποίες δεν δείχνουν απότομες αλλαγές στο ύψος της αντήχησης κατά μήκος της διεύθυνσης που πρόκειται να μετρηθεί. Κάτω από αυτές τις συνθήκες μπορεί να μετρηθεί το μέγεθος μιας ασυνέχειας με σχετικά μεγάλο βαθμό ακρίβειας.

2) Η τεχνική είναι περισσότερο υποκειμενική στην εφαρμογή της καθώς δεν είναι πάντοτε εύκολο για το χειριστή να αποφασίσει τη στάθμη του ύψους της αντήχησης, στο οποίο θα πρέπει να βασισθεί η πτώση κατά 6 dB.

3) Η τεχνική εφαρμόζεται όταν οι διαστάσεις που πρόκειται να μετρηθούν είναι τουλάχιστον ίσες προς το πλάτος της δέσμης.

**B)** Η τεχνική της πτώσης της ανάκλασης κατά 20 dB ή διαφορετικά η πτώση του ύψους της ανάκλασης στο 1/10 της μέγιστης τιμής της. Η μέθοδος αυτή είναι ακριβώς ίδια με τη προηγούμενη, μόνο που εδώ όταν η ανάκλαση πέσει στο 1/10 της μέγιστης τιμής, ουσιαστικά ολόκληρη η δέσμη βρίσκεται έξω από το ελαττώμα. Έτσι, για να υπολογιστεί το μήκος του ελαττώματος, μετράται η απόσταση που μετακινείται η κεφαλή .

Το πλεονέκτημα της τεχνικής του μισού ύψους είναι ότι δεν απαιτεί τον καθορισμό των χαρακτηριστικών της δέσμης πριν την έναρξη του ελέγχου. Δηλαδή, πραγματοποιείται κατευθείαν ο έλεγχος των ελαττωμάτων, χωρίς προηγουμένως να έχει υπολογιστεί το προφίλ και η απόκλιση της δέσμης (Σχήμα 59). Οπότε η εφαρμογή της είναι πιο άμεση.



Σχήμα 59 : Διαστασιολογήσι ελαττώματος με την τεχνική πτώσης των 20dB

Εφαρμογή και περιορισμοί σύμφωνα με το πρότυπο EN 583 02 του ΕΛΟΤ

- 1) Η τεχνική είναι σε θέση να προσδιορίσει τις πραγματικές διαστάσεις της ασυνέχειας με ένα σχετικά υψηλό βαθμό ακρίβειας.
- 2) Εφαρμόζεται για όλες τις ασυνέχειες.
- 3) Το άκρο της δέσμης πρέπει να καταγράφεται, χρησιμοποιώντας μια σειρά από μικρούς κυκλικούς ανακλαστήρες, όπως πλευρικά ανοιγμένες οπές διαμέτρου 1,5 mm ή 3 mm .
- 4) Αυτή είναι εν δυνάμει η περισσότερο ακριβής τεχνική για τη διαστασιολόγηση ασυνεχειών με πολλαπλές στοιχειώδεις επιφάνειες αλλά η ανάγκη για την ακριβή καταγραφή του άκρου της δέσμης, πριν ληφθεί οποιαδήποτε μέτρηση είναι μια πρόσθετη πιθανή πηγή σφαλμάτων.

**4.8.5 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΩΝ ΕΛΑΤΤΩΜΑΤΩΝ**

Όπως αναφέρθηκε, η αντήχηση που προκαλείται από οπή διαμέτρου 3 mm και έχει ύψος ίσο με το 10% της μέγιστης τιμής, είναι αρκετή για τον καθορισμό του μεγέθους ενός ελαττώματος. Όμως, για ελαττώματα που δεν έχουν ευνοϊκό προσανατολισμό, η παραπάνω τιμή για το ύψος πιθανόν να είναι και η μέγιστη που μπορούν να παρουσιάσουν. Για αυτό τον λόγο, καλό είναι πριν από την έναρξη του ελέγχου, να καθορίζεται το επίπεδο της ελάχιστης αποδεκτής ανακλαστικής ικανότητας. Υπάρχουν τρία επίπεδα: επίπεδο ευαισθησίας, επίπεδο καταχώρισης του ελαττώματος (που είναι συνήθως 6 - 12 dB χαμηλότερα από το επίπεδο ευαισθησίας) και επίπεδο αποδοχής (το οποίο

μπορεί να είναι ακόμη χαμηλότερα και ορίζεται ως συνάρτηση της γεωμετρίας και της πυκνότητας του ελαττώματος). Έπεται λογικά, ότι και η φύση του ελαττώματος πρέπει να λαμβάνεται υπόψη.

Όπως έχει αναφερθεί, η ακριβής θέση του ελαττώματος είναι πολύ σημαντική. Ως εκ τούτου, οι συντεταγμένες του πρέπει να καθορίζονται με μεγάλη ακρίβεια. Ενδεικτικά, αναφέρονται τα εξής:

- **Συντεταγμένη μήκους.** Η συντεταγμένη αυτή δίνεται ως προς κάποιο σημείο αναφοράς (σημείο "μηδέν") της συγκόλλησης, όπως για παράδειγμα την τομή δυο ραφών ή κάποια σημείο στην έναρξη της ραφής.
- **Συντεταγμένη πλάτους.** Η συντεταγμένη αυτή μετράται ως προς τον κεντρικό άξονα της ραφής και παίρνει τόσο θετικές όσο και αρνητικές τιμές ώστε να εκτιμάται με σαφήνεια η τοποθεσία του ελαττώματος. Φυσικά, πρέπει να καθορίζεται η κατεύθυνση των θετικών και αρνητικών τιμών.
- **Συντεταγμένη βάθους.** Η συντεταγμένη αυτή αναφέρεται στο σημείο στο οποίο η αντήχηση του ελαττώματος παίρνει το μέγιστο ύψος στην οθόνη της συσκευής. Εάν η θέση αυτή δεν είναι εύκολο να εντοπιστεί, γιατί παρουσιάζει κάποιο εύρος, γίνεται μέση εκτίμηση.

## **4.9 ΑΠΟΔΟΧΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ**

### **4.9.1 ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΠΟΔΟΧΗΣ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ**

Σύμφωνα με το πρότυπο EN 1714 του Ελληνικού Οργανισμού Τυποποίησης<sup>3</sup> (ΕΛΟΤ) η ρύθμιση της ευαισθησίας των υπερήχων στον τομέα της αποδοχής η όχι ελαττωμάτων σε μετωπικές συγκολλήσεις πραγματοποιείται με τις παρακάτω μεθόδους:

— Μέθοδος 1: Το επίπεδο αναφοράς είναι μια καμπύλη απόστασης-πλάτους (*Distance – Amplitude Curve* ή *DAC*) για οπή  $\varnothing$  3 mm.

— Μέθοδος 2: Τα επίπεδα αναφοράς τα διαγράμματα των ισοδύναμων διαμέτρων (*DGS*) βασισμένα σε δισκοειδή ανακλαστήρες.

— Μέθοδος 3: Το επίπεδο αναφοράς είναι ίσο προς μια καμπύλη *DAC* για ορθογωνική εγκοπή βάθους 1 mm.

---

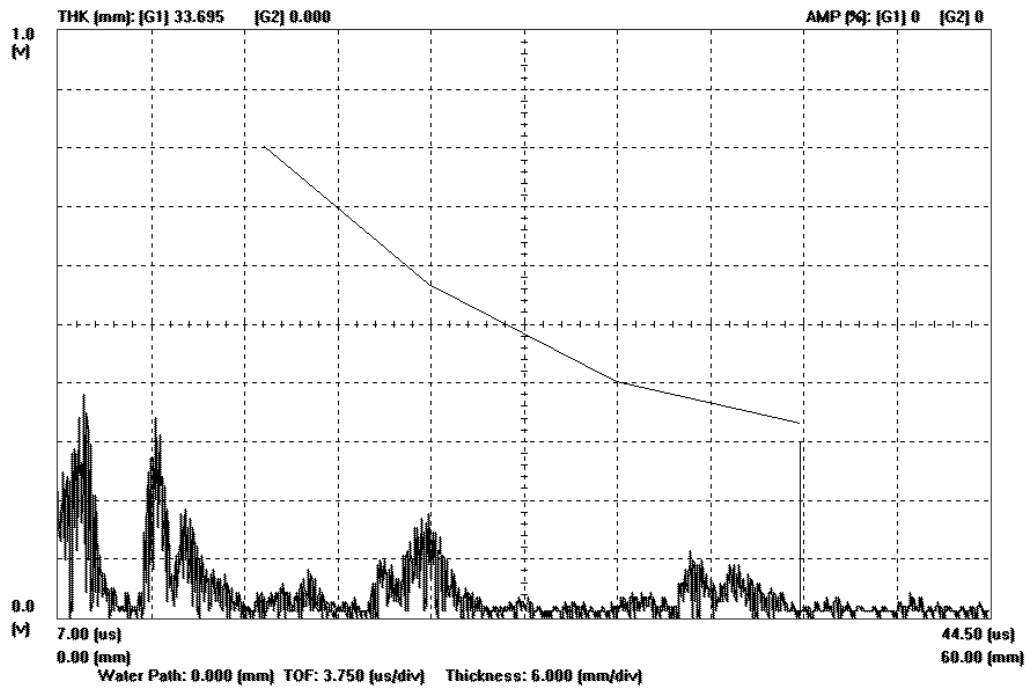
<sup>3</sup> ΕΛΟΤ EN 1714 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους συγκολλημένων συνδέσμων “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 1997

#### 4.10 ΚΑΜΠΥΛΗ ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ-ΕΥΡΟΥΣ (DISTANCE AMPLITUDE CURVE-DAC)

Η καμπύλη DAC κατασκευάζεται με χρήση δοκιμίων αναφοράς που φέρουν ήδη διαμορφωμένες ατέλειες γνωστών διαστάσεων και οι οποίες προφανώς θα ήταν απορριπτέες αν παρατηρούνταν σε μια κατασκευή. Υπάρχουν δύο κατηγορίες δοκιμίων αναφοράς για την κατασκευή της DAC : αυτά που έχουν μια ή περισσότερες οπές  $\varnothing 3$  και εκείνα που φέρουν ορθογωνική εγκοπή

βάθους 1 mm. Αυτό που ουσιαστικά κάνει η καμπύλη DAC είναι να αποτελεί ένα μέτρο σύγκρισης των ανακλάσεων που λαμβάνονται από ατέλειες κατά την ανίχνευση του ελέγχου με υπερήχους. Η ανάκλαση της πιθανής ατέλειας συγκρίνεται με εκείνη που λαμβάνεται από τη διαμορφωμένη ατέλεια του δοκιμίου αναφοράς. Εδώ, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι οι παράμετροι: καθυστέρηση του αρχικού παλμού (delay σε  $\mu s$ ), ένταση της δέσμης των υπερήχων (gain σε dB), εύρος της διαδρομής του ήχου (width σε mm), καθώς και συχνότητα και γωνία κεφαλής με τις οποίες κατασκευάστηκε η DAC, πρέπει να διατηρούνται και στον έλεγχο των συγκολλήσεων, ούτως ώστε να γίνεται η σύγκριση του εύρους της ανάκλασης που λαμβάνεται με την ανάκλαση του προτύπου για την ίδια διαδρομή ήχου (TOF - Time Of Flight).

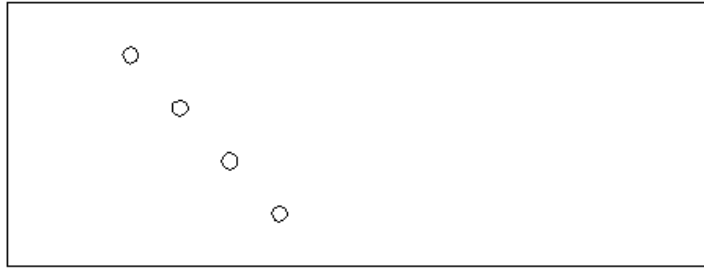
Τα αποτελέσματα της σύγκρισης εκφράζονται σε εκατοστιαία (%) διαφορά στο ολικό ύψος της οθόνης (Full Screen Height - FSH) είτε σε διαφορά έντασης του υπερήχου σε dB, δηλαδή για μια ανάκλαση που είναι κάτω από την DAC αυξάνεται η ένταση του ήχου με την εντολή GAIN μέχρι η ανάκλαση να φτάσει την καμπύλη DAC. Αυτή η ενίσχυση είναι η διαφορά τους σε dB. Στο Σχήμα 60 φαίνεται η καμπύλη DAC μαζί με την ανάκλαση ενός ελατώματος σε συγκόλληση.



Σχήμα 60 : Σύγκριση καμπύλης DAC με ατέλεια για αποδοχή

Στο διάγραμμα παρατηρείται μια οξεία ανάκλαση για διαδρομή ήχου περίπου 24 mm αφού κάθε μια από τις κατακόρυφες υποδιαιρέσεις της οθόνης αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 6 mm. Στην ίδια διαδρομή ήχου το εκατοστιαίο ποσοστό της DAC στο ύψος της πλήρους οθόνης είναι 57% FSH, ενώ για την λαμβανόμενη ανάκλαση είναι 8% FSH. Άρα η ανάκλαση αυτή αντιστοιχεί στο 14,3 % της DAC.

Για την κατασκευή της DAC στο Τμήμα Υπερήχων του Εργαστήριου της Ναυπηγικής Τεχνολογίας, χρησιμοποιήθηκαν κεφαλές 45°, 60° και 70°, δηλαδή κατασκευάστηκε με τρεις διαφορετικές γωνίες πρόσπτωσης. Όσο αφορά στον ανακλαστήρα αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε δοκίμιο από ανοξείδωτο χάλυβα κατά το πρότυπο BS3923 ( *Ultrasonic Examination of Welds, Methods for manual examination of fusion welds in ferritic steels, BSI, 1986* ), το οποίο φέρει ανά ισαποστάσεις τέσσερις διαμπερείς οπές διαμέτρου 3 mm. Το δοκίμιο της DAC φαίνεται στο Σχήμα 61:



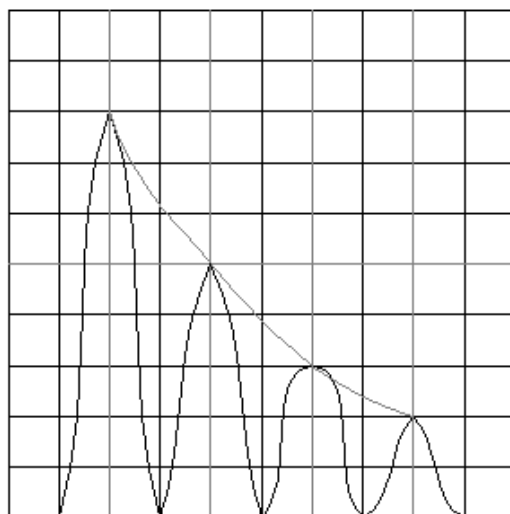
Σχήμα 61: Δοκίμιο αναφοράς κατασκευής DAC 3 mm κατά το πρότυπο BS3923

Με βάση τη γεωμετρία του δοκιμίου και το είδος της κεφαλής είναι δυνατός ο υπολογισμός της μέγιστης διαδρομής ήχου η οποία αντιστοιχεί στην τέταρτη οπή. Ρυθμίζεται, με αυτόν τον τρόπο, η χρονοβάση ώστε να περιέχει τις ανακλάσεις σε όλο το εύρος της διαδρομής του ήχου. Έτσι, στην πραγματικότητα γίνεται μια νέα βαθμονόμηση, ώστε οι ανακλάσεις από τις οπές να πέσουν σε ισαποστάσεις, Επιδιώκεται να έρθει η πρώτη οπή στη δεύτερη υποδιαίρεση, η δεύτερη οπή στην τέταρτη υποδιαίρεση, η τρίτη οπή στην έκτη υποδιαίρεση και η τέταρτη οπή στην όγδοη υποδιαίρεση.

Αρχικά λαμβάνεται η ανάκλαση της πρώτης οπής ώστε να μεγιστοποιηθεί και σταθεροποιηθεί, και με τις ρυθμίσεις *delay* ή *width* του προγράμματος, μετακινείται στη δεύτερη κατακόρυφη υποδιαίρεση. Είναι προφανές ότι αν αρχικά ο παλμός της πρώτης οπής είναι πιο μπροστά από τη δεύτερη υποδιαίρεση χρησιμοποιώντας αλλαγή του *width*, δηλαδή του εύρους της οθόνης, για να μετακινηθεί προς τα πίσω πρέπει το *width* να μειωθεί, όπως επίσης με χρησιμοποίηση του *delay*, δηλαδή της καθυστέρησης εμφάνισης του αρχικού παλμού, για να μετακινηθεί προς τα πίσω ο παλμός της πρώτης οπής πρέπει το *delay* να αυξηθεί. Αφού σταθεροποιηθεί η ανάκλαση της πρώτης οπής στη δεύτερη υποδιαίρεση της οθόνης βρίσκεται η ανάκλαση της τέταρτης οπής και με χρήση μιας εκ των δύο παραμέτρων που αναφέρθηκαν παραπάνω μετακινείται στην όγδοη υποδιαίρεση. Στην συνέχεια ξαναελέγχεται η ανάκλαση της πρώτης οπής, η οποία προφανώς έχει μετακινηθεί και ξαναπροσαρμόζεται στη δεύτερη υποδιαίρεση. Η κυκλική αυτή διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι οι ανακλάσεις των οπών να πέσουν στις



υπολογισθείσες θέσεις. Η καμπύλη που παρεμβάλλει τις κορυφές των ανακλάσεων των οπών είναι η επιθυμητή καμπύλη DAC ( Σχήμα 62)



Σχήμα 62 : Καμπύλη DAC παρεμβάλλουσα των κορυφών των ανακλάσεων των οπών του Reference Block

Σύμφωνα με το πρότυπο<sup>4</sup> EN 1712 του ΕΛΟΤ τα επίπεδα αξιολόγησης με βάση τη σύγκριση με την καμπύλη DAC φαίνονται στον Πίνακα 5:

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΕΠΙΠΕΔΑ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗΣ DAC

ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ	%DAC	ΠΤΩΣΗ ΕΝΤΑΣΗΣ ( dB )
ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΝΑΦΟΡΑΣ 1	33 % της DAC	10 dB
ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ 2	50 % της DAC	6 dB
ΕΠΙΠΕΔΟ ΑΠΟΔΟΧΗΣ 3	80 % της DAC	2 dB

Τα επίπεδα αποδοχής σχετίζονται σύμφωνα με το πρότυπο EN 1714 του ΕΛΟΤ με τις τεχνικές ελέγχου. Έτσι, το επίπεδο αποδοχής 2 κανονικά απαιτεί επίπεδο ελέγχου Β και το επίπεδο αποδοχής 3 απαιτεί επίπεδο ελέγχου Α. Τα επίπεδα ελέγχου παρουσιάζονται για μετωπικές συγκολλήσεις στον Πίνακα 6 από το πρότυπο EN 1714 του ΕΛΟΤ

<sup>4</sup> ΕΛΟΤ EN 1712 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους συγκολλημένων συνδέσμων – Επίπεδα αποδοχής “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 1997

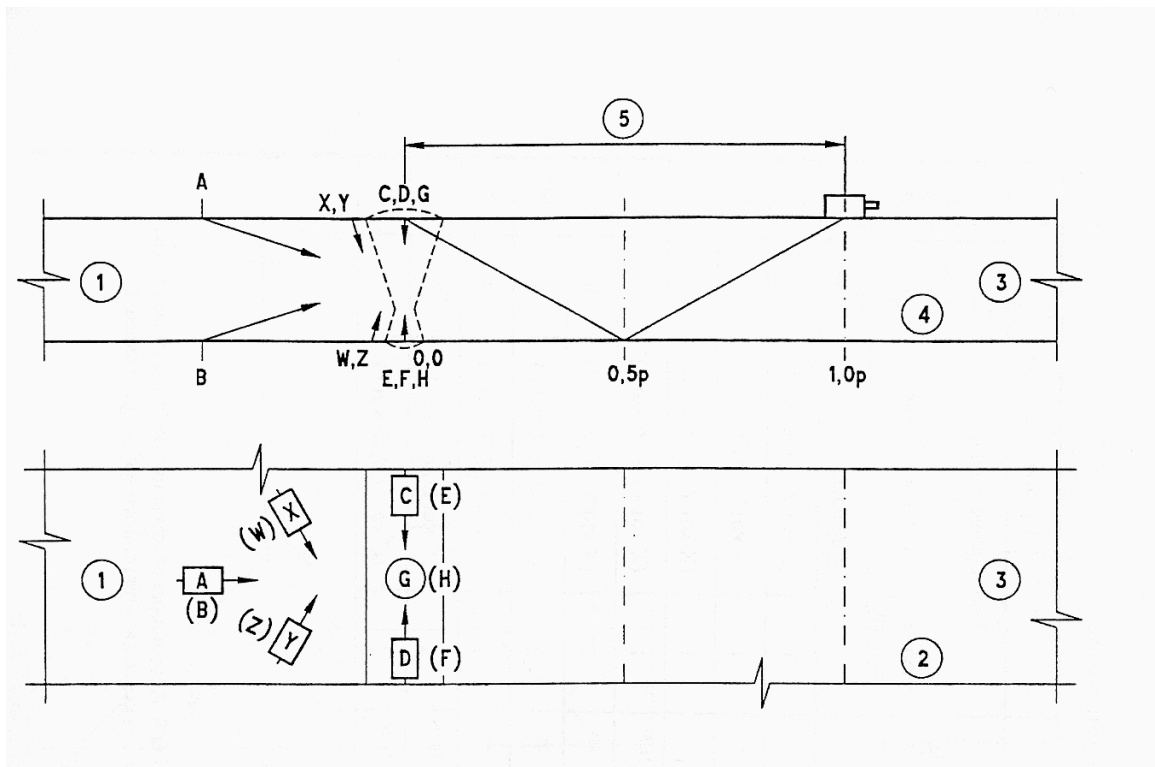
**ΠΙΝΑΚΑΣ 6 : ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕΤΩΠΙΚΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΝ ΚΑΤΑ  
ΕΛΟΤ**

Πίνακας Α.1 : Μετωπικές ενώσεις σε πλάκες και σολήνες

Επίπεδο ελέγχου	Πάχος του βασικού μετάλλου mm	Διαμήκεις ενδείξεις						Εγκάρσιες ενδείξεις			
		Απαιτούμενος αριθμός :				Συνολικός αριθμός σαρώσεων	Σημείωση	Απαιτούμενος αριθμός :		Συνολικός αριθμός σαρώσεων	Σημείωση
		γωνιών κεφαλών	θέσεων κεφαλών	SZW	θέσεων κεφαλών			γωνιών κεφαλών	θέσεων κεφαλών		
		L-σάρωση			N-σάρωση			T-σαρώσεις			
A	$8 \leq t < 15$	1	A ή B	1,25p	-	2	1)	1	(X και Y) ή (W και Z)	2	3)
	$15 \leq t < 40$	1	A ή B	1,25p	-	2	1)	1	(X και Y) ή (W και Z)	4	3)
B	$8 \leq t < 15$	1	A ή B	1,25p	-	2	5)	1	(X και Y) ή (W και Z)	4	3)
	$15 \leq t < 40$	2 <sup>6)</sup>	A ή B	1,25p	-	4	2), 5)	1	(X και Y) ή (W και Z)	4	3)
	$40 \leq t < 60$	2	A ή B	1,25p	-	4	2)	2	(X και Y) ή (W και Z)	8	3)
	$60 \leq t \leq 100$	2	A ή B	1,25p	-	4	2)	2	(C και D) ή (E και F)	4	3), 4)
C	$8 \leq t < 15$	1	A ή B	1,25p	G ή H	3	4)	1	(C και D) ή (E και F)	2	4)
	$15 \leq t \leq 40$	2	A ή B	1,25p	G ή H	5	2), 4)	2	(C και D) ή (E και F)	8	4)
	$> 40$	2	A και B	1,25p	G και H	10	2), 4)	2	(C και D) ή (E και F)	8	4)

1) Μπορεί να περιορισθεί, κατόπιν συμφωνίας, σε μία σάρωση από μία πλευρά.  
 2) Πρόσθετος έλεγχος με την τεχνική των διαδοχικών κεφαλών, κατόπιν ειδικής συμφωνίας.  
 3) Απαιτείται μόνον κατόπιν ειδικής συμφωνίας.  
 4) Η επιφάνεια της συγκόλλησης πρέπει να συμμορφώνεται με τις απαιτήσεις του κεφαλαίου 8. Αυτό μπορεί να κάνει αναγκαία την επένδυση της συγκόλλησης. Παρ'όλα αυτά για περιφερειακές συγκολλήσεις σολήνων από τη μία πλευρά, πρέπει να επενδύεται μόνο η εξωτερική επιφάνεια.  
 5) Πρέπει να χρησιμοποιούνται δύο γωνίες, εάν υπάρχει πρόσβαση μόνο από τη μία πλευρά.  
 6) Στην κλίμακα  $15 < t \leq 25$  μία γωνία είναι επαρκής, υπό τον όρο ότι η συχνότητα είναι κάτω από 3 MHz.

Ο Πίνακας 6 ορίζει ουσιαστικά τον τρόπο ελέγχου μετωπικών συγκολλήσεων ανάλογα με τα επίπεδα αποδοχής. Η πρώτη στήλη ορίζει το επίπεδο του ελέγχου και η δεύτερη καθορίζει το εύρος του πάχους των δοκιμίων. Στις επόμενες πέντε στήλες καθορίζεται ο έλεγχος κατά το διάμηκες. Έτσι ορίζεται ο αριθμός των γωνιών των κεφαλών που πρέπει να χρησιμοποιηθούν, η θέση που πρέπει να τοποθετηθούν καθώς και ο συνολικός αριθμός σαρώσεων με την L-σάρωση και την N-σάρωση. Η στήλη SZW ορίζει το πλάτος της ζώνης σάρωσης. Οι τελευταίες στήλες αναφέρονται στον έλεγχο κατά το εγκάρσιο όπου γίνεται T-σάρωση. Στο Σχήμα 63 φαίνονται τα είδη σάρωσης καθώς και οι οριζόμενες ζώνες ελέγχου.



Σχήμα 63 : Είδη σάρωσης και οριζόμενες ζώνες ελέγχου

Επεξηγήσεις:

1 → πλευρά 1

2 → κάτωψη

3 → πλευρά 2

4 → πλάγια όψη

5 → πλάτος ζώνης σάρωσης ( SWZ ) σχετικό με τη συνολική προβαλλόμενη απόσταση  $P$ .

$L$  – Σάρωση: σάρωση για διαμήκεις ενδείξεις, χρησιμοποιώντας κεφαλές υπερήχων γωνιακής δέσμης.

$N$  – σάρωση : σάρωση με χρήση κεφαλής υπερήχων ευθείας δέσμης.

$T$  – σάρωση : σάρωση για εγκάρσιες ενδείξεις χρησιμοποιώντας κεφαλές υπερήχων γωνιακής δέσμης.

$P$  : συνολική προβαλλόμενη απόσταση

SWZ : πλάτος ζώνης σάρωσης

#### 4.11 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΗΤΑΣ ΑΝΤΗΧΗΣΗΣ

Πολλές φορές, κατά τον έλεγχο παρουσιάζονται διάφοροι παλμοί οι οποίοι δεν διαφέρουν αισθητά από το "γρασίδι". Το αποτέλεσμα είναι να διερωτάται ο ελεγκτής εάν οι παλμοί αυτοί είναι σημαντικοί, δηλαδή εάν υποδεικνύουν κάποιο ελάττωμα, ή εάν είναι "θόρυβος", δηλαδή δεν υποδεικνύουν την ύπαρξη ελαττώματος, οπότε αγνοούνται. Για να διευκρινιστεί η σημαντικότητά τους ακολουθείται η εξής τακτική:

Αυξάνεται η ενίσχυση έως ότου το γρασίδι (θόρυβος) φτάσει στο 80% του ύψους της οθόνης και σημειώνεται η τιμή αυτής. Έστω ότι αυτό έγινε για ενίσχυση 90 dB. Στην συνέχεια, φέρεται η ενίσχυση στην αρχική της τιμή. Ακολουθεί νέα αύξηση της, έως ότου φτάσει ο συγκεκριμένος, πλέον, παλμός που μελετάτε στο 80% του ύψους της οθόνης, επίσης. Σημειώνουμε πάλι την αντίστοιχη τιμή της ενίσχυσης. Έστω ότι η τιμή αυτή είναι 78 dB . Παρατηρείται ότι ο παλμός χρειάζεται 12 dB λιγότερη ενίσχυση από το γρασίδι, για να φτάσει στο 80% του ύψους της οθόνης. Από τη σχέση:

$$A_2/A_1 = 10^{\Delta V/20}$$

με  $A_2$  το ύψος του παλμού,  $A_1$  το ύψος που έχει το "γρασίδι" και  $\Delta V$  τη διαφορά στην ενίσχυση ( εδώ  $\Delta V = 12$  dB) βρίσκεται  $A_2/A_1 = 4$ . Δηλαδή το ύψος του παλμού είναι 4 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο ύψος που έχει το γρασίδι. Αυτό σημαίνει ότι σαφώς αυτός ο παλμός είναι σημαντικός και πρέπει να διερευνηθεί περαιτέρω .

Γενικά, πρέπει να τονιστεί ότι κάθε παλμός που αποδεικνύεται, σύμφωνα με τον παραπάνω τρόπο, ότι είναι τουλάχιστον 3 - 4 φορές μεγαλύτερος από το γρασίδι, πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και να διερευνάται περαιτέρω.

#### 4.12 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ - ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

Στον Πίνακα 7 συνοψίζονται πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου ελέγχου των συγκολλήσεων με υπερήχους:

**ΠΙΝΑΚΑΣ 7 : ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ  
ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ**

<b>ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ</b>	<b>ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ &amp; ΟΡΙΑ ΧΡΗΣΗΣ</b>
<i>Επιτρέπουν την ανίχνευση ελαττωμάτων που δεν παρουσιάζουν όγκο, όπως ρωγμές, έλλειψη διείσδυσης.</i>	<i>Η ερμηνεία του παλμογράφου απαιτεί προσωπικό υψηλής στάθμης και με πολυετή εμπειρία.</i>	<i>Η κρυσταλλική δομή ορισμένων υλικών δυσχεραίνει τη μετάδοση των υπερήχων με αποτέλεσμα το παλμογράφημα να γίνεται δυσανάγνωστο.</i>
<i>Προσδιορίζουν το βάθος του ελαττώματος.</i>	<i>Δεν υπάρχει τεκμήριο πλην του δελτίου που συμπληρώνει ο χειριστής.</i>	<i>Η γεωμετρία της συγκόλλησης καμιά φορά δυσχεραίνει τον έλεγχο.</i>
<i>Το αποτέλεσμα του ελέγχου γίνεται γνωστό αμέσως.</i>	<i>Το εξεταζόμενο υλικό πρέπει να είναι γυμνό και όχι τραχύ. Εν τούτοις όμως μπορεί να γίνει έλεγχος και σε υλικά που είναι καλυμμένα με προστατευτικό στρώμα</i>	<i>Πρακτικά δεν υπάρχει όριο στα μεγάλα πάχη.</i>
<i>Είναι ακίνδυνοι και ο έλεγχος μπορεί να γίνει χωρίς διακοπή της εργασίας του προσωπικού που παρευρίσκεται.</i>	<i>Συνήθως δεν έχουμε ακριβείς διάστασης του ελαττώματος</i>	<i>Ελάχιστο πάχη που μπορεί αν γίνει έλεγχος: Συγκόλληση τροχιομένη : <math>t &gt; 12-14mm</math> Συγκόλληση τελείως λεία: <math>t &gt; 2-10mm</math></i>
<i>Ο έλεγχος μπορεί με ειδικές συσκευές να γίνεται αυτόματα.</i>	<i>Ρωγμές με χείλη πολύ συμπιεσμένα είναι κάπως δύσκολο να ανιχνευθούν.</i>	<i>Τα κορδόνια της συγκόλλησης δεν πρέπει να δίνουν παρασιτικές ανακλάσεις, γι 'αυτό πρέπει να γίνεται τοπικά κάποιο τρόχισμα.</i>
<i>Οι σύγχρονες συσκευές υπερήχων είναι εύχρηστες και αυτόνομες.</i>		

## 5 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 5.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

#### 5.1.1 ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Στην παρούσα εργασία θα μελετηθούν 3 συγκολλήσεις αλουμινίου με τη μέθοδο των υπερήχων. Για λόγους ευκολίας, τα ελάσματα έχουν κωδικοποιηθεί και οι συνθήκες κάτω από τις οποίες έλαβαν χώρα οι συγκολλήσεις φαίνονται στον Πίνακα 1.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1: ΟΙ ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΩΝ ΠΡΟΣ ΜΕΛΕΤΗ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ

ΚΩΔΙΚΟΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ	ΠΑΧΟΣ (mm)	ΕΝΤΑΣΗ (A)	ΤΑΣΗ (V)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ (cm / min)	ΔΙΑΚΕΝΟ (mm)
G <sub>1</sub>	6	205 - 210	28	15	3
G <sub>2</sub>	5	205 - 210	28	15	3
G <sub>3</sub>	10	205 - 210	28	15	3

Τα ελάσματα με κωδικούς G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>, G<sub>3</sub> συγκολλήθηκαν στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας. Το βασικό μέταλλο ήταν κράμα αλουμινίου 5086 (κράμα Αλουμινίου – Μαγνησίου). Τα ηλεκτρόδια που χρησιμοποιήθηκαν για τις συγκολλήσεις ήταν της ίδιας σύστασης με το βασικό μέταλλο.

#### 5.1.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Οι συγκολλήσεις έγιναν στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας με τη ρομποτική διάταξη Hitachi M6100.

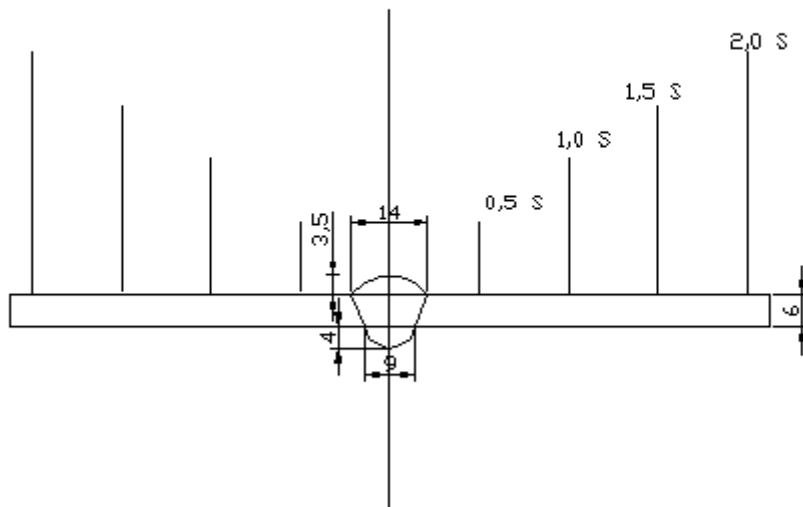
Το αλουμίνιο G<sub>1</sub> ήταν σε μορφή ελασμάτων πάχους 6 mm και επιφάνειας 60 x 70 cm, το αλουμίνιο G<sub>2</sub> ήταν σε μορφή ελασμάτων πάχους 5 mm και επιφάνειας 60 x 70 cm και το αλουμίνιο G<sub>3</sub> ήταν σε μορφή ελασμάτων πάχους 12 mm και επιφάνειας 30 x 40 cm

### 5.1.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Αρχικά πρέπει να παρουσιαστεί η γεωμετρία των συγκολλήσεων στα ελάσματα με κωδικούς  $G_1$ ,  $G_2$ ,  $G_3$  οι οποίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά τους φαίνονται στα Σχήματα 1α, 1β, 1γ :

#### ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $G_1$

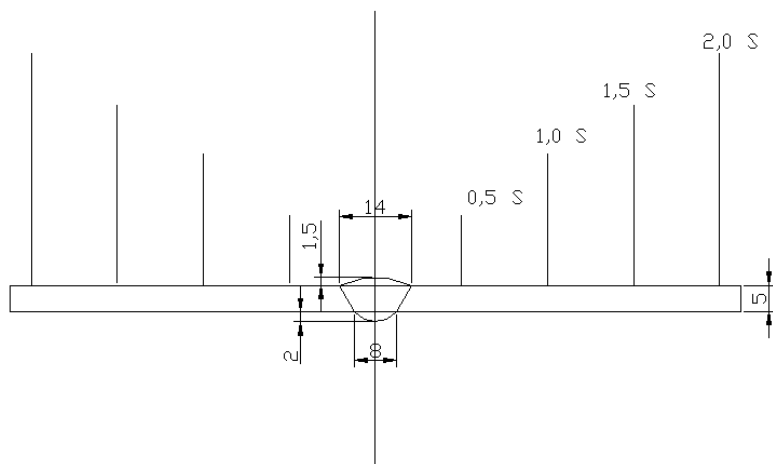
welding  $G_1$   
6mm  $70^\circ$



Σχήμα 1α : Γεωμετρία συγκόλλησης δοκιμίου  $G_1$  ( διαστάσεις σε mm )

#### ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΔΟΚΙΜΙΟΥ $G_2$

welding  $G_2$   
5mm  $70^\circ$



Σχήμα 1β : Γεωμετρία συγκόλλησης δοκιμίου  $G_2$  ( διαστάσεις σε mm )



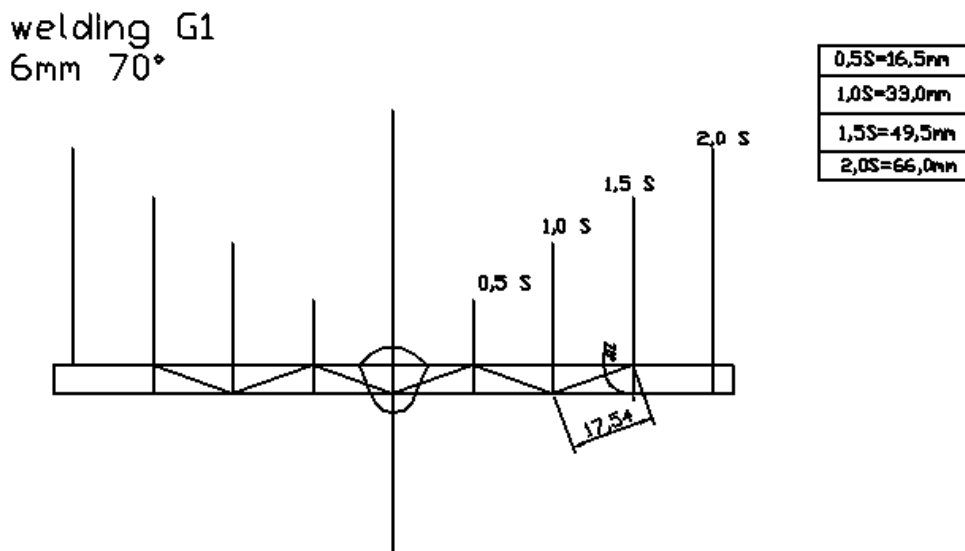


πραγματοποιείται έλεγχος του κυρίου όγκου της συγκόλλησης από πάνω προς τα κάτω. Η διαδρομή του ήχου  $\alpha$  μέσα στο υλικό δίνεται από τη σχέση :

$$\alpha = d / \cos \theta$$

Όπου  $d$ : πάχος ελάσματος και  $\theta$ : γωνία πρόσπτωσης

Στην προκειμένη περίπτωση, το πάχος των δοκιμίων είναι 6 mm , η γωνία πρόσπτωσης  $\theta = 70^\circ$ , οπότε από το συνημίτονο της γωνίας το  $\alpha$  προκύπτει 17,54 mm. Σημειώνεται ότι η θέση  $s$  της κεφαλής από τον άξονα συμμετρίας της ραφής, αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 35,08 mm ( $2\alpha$ ), ενώ η θέση  $3s/2$  της κεφαλής αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 52,62 mm ( $3\alpha$ ) ( Σχήμα 2 ).



Σχήμα 2 : Σχηματική αναπαράσταση της τομής της συγκόλλησης του ελάσματος με κωδικό  $G_1$  και της διαδρομής του ήχου κατά τον έλεγχο τους.

#### 5.1.4.2 ΕΛΑΣΜΑ $G_2$

Ο έλεγχος της συγκόλλησης του ελάσματος με κωδικό  $G_2$  έγινε με κεφαλή πλάγιας πρόσπτωσης υπερήχων υπό γωνία  $70^\circ$ . Ο έλεγχος της ρίζας έγινε με τη μετακίνηση της κεφαλής κατά μήκος της ευθείας η οποία απέχει από τον άξονα συμμετρίας της ραφής της συγκόλλησης απόσταση ίση με 41,2 mm ( $3s/2$ ), ενώ για να ελεγχθεί όλος ο όγκος της συγκόλλησης, έγινε σάρωση του διαστήματος μεταξύ 27,5 mm και 41,2 mm ( $s$  και  $3s/2$ ). Πραγματοποιήθηκε

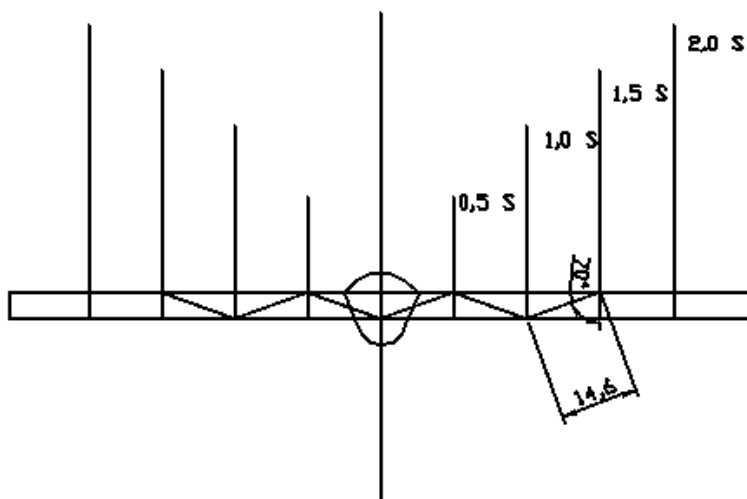
σάρωση σε αυτό το διάστημα, και όχι μεταξύ 13,7 και 27,5 mm (  $1/2s$  και  $s$  ), καθώς η γεωμετρία της συγκεκριμένης συγκόλλησης δεν επέτρεπε την πρόσβαση της κεφαλής σε απόσταση  $s/2 = 13,7$  mm, δηλαδή πολύ κοντά στα όριά της . Μάλιστα, σε αυτή την περίπτωση σάρωσης με μετακίνηση της κεφαλής από τη θέση  $s = 27,5$  mm μέχρι τη θέση  $3s/2 = 41,2$  mm, πραγματοποιείται έλεγχος του κυρίου όγκου της συγκόλλησης από πάνω προς τα κάτω. Η διαδρομή του ήχου  $\alpha$  μέσα στο υλικό δίνεται από τη σχέση :

$$\alpha = d / \cos \theta$$

Όπου  $d$ : πάχος ελάσματος και  $\theta$ : γωνία πρόσπτωσης

Στην προκειμένη περίπτωση, το πάχος των δοκιμίων είναι 5 mm , η γωνία πρόσπτωσης  $\theta = 70^\circ$ , οπότε από το συνημίτονο της γωνίας το  $\alpha$  προκύπτει 14,6 mm. Σημειώνεται ότι η θέση  $s$  της κεφαλής από τον άξονα συμμετρίας της ραφής, αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 29,2 mm ( $2\alpha$ ), ενώ η θέση  $3s/2$  της κεφαλής αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 43,8 mm ( $3\alpha$ ) ( Σχήμα 3 ).

welding G2  
5mm 70°



0,5S=13,7mm
1,0S=27,5mm
1,5S=41,2mm
2,0S=55,0mm

Σχήμα 3 : Σχηματική αναπαράσταση της τομής της συγκόλλησης του ελάσματος με κωδικό G<sub>2</sub> και της διαδρομής του ήχου κατά τον έλεγχο τους.

### 5.1.4.3 ΕΛΑΣΜΑ G<sub>3</sub>

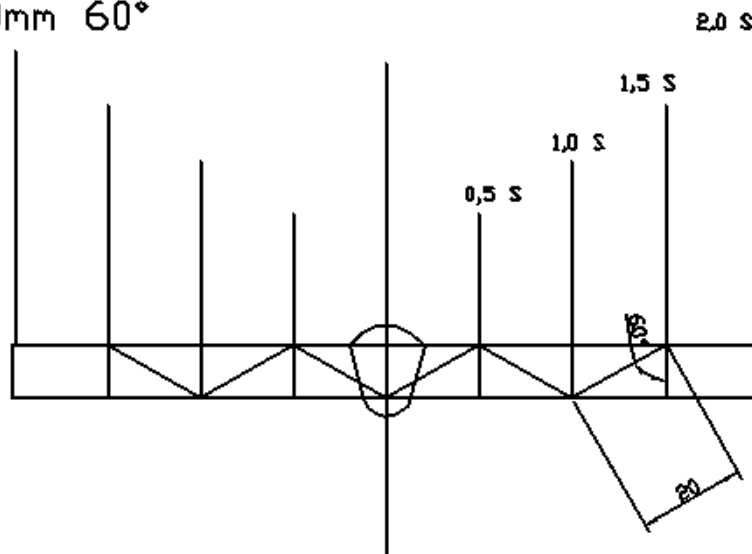
Ο έλεγχος της συγκόλλησης του ελάσματος με κωδικό G3 έγινε με κεφαλή πλάγιας πρόσπτωσης υπερήχων υπό γωνία 60°. Ο έλεγχος της ρίζας έγινε με τη μετακίνηση της κεφαλής κατά μήκος της ευθείας η οποία απέχει από τον άξονα συμμετρίας της ραφής της συγκόλλησης απόσταση ίση με 52 mm (3s/2), ενώ για να ελεγχθεί όλος ο όγκος της συγκόλλησης, έγινε σάρωση του διαστήματος μεταξύ 34,6 mm και 52,0 mm (s και 3s/2). Πραγματοποιήθηκε σάρωση σε αυτό το διάστημα, και όχι μεταξύ 17,3 και 34,6 mm ( 1/2s και s ), καθώς η γεωμετρία της συγκεκριμένης συγκόλλησης δεν επέτρεπε την πρόσβαση της κεφαλής σε απόσταση s/2= 17,3 mm, δηλαδή πολύ κοντά στα όρια της . Μάλιστα, σε αυτή την περίπτωση σάρωσης με μετακίνηση της κεφαλής από τη θέση s= 34,6 mm μέχρι τη θέση 3s/2= 52 mm, πραγματοποιείται έλεγχος του κυρίου όγκου της συγκόλλησης από πάνω προς τα κάτω. Η διαδρομή του ήχου α μέσα στο υλικό δίνεται από τη σχέση :

$$\alpha = d / \cos \theta$$

Όπου d: πάχος ελάσματος και θ: γωνία πρόσπτωσης

Στην προκειμένη περίπτωση, το πάχος των δοκιμίων είναι 10 mm , η γωνία πρόσπτωσης  $\theta = 60^\circ$ , οπότε από το συνημίτονο της γωνίας το α προκύπτει 20 mm. Σημειώνεται ότι η θέση s της κεφαλής από τον άξονα συμμετρίας της ραφής, αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 40 mm (2α), ενώ η θέση 3s/2 της κεφαλής αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 60 mm (3α) ( Σχήμα 4 ).

welding G3  
10mm 60°

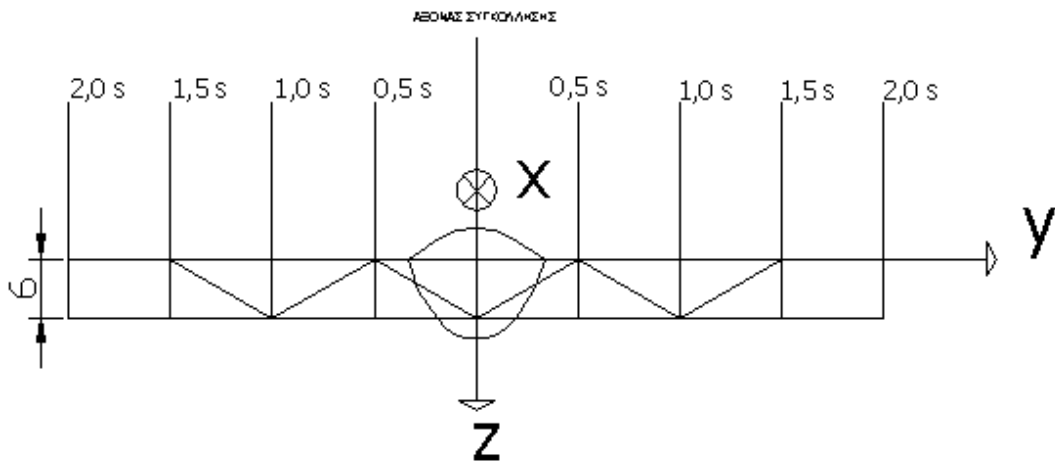


Σχήμα 4 : Σχηματική αναπαράσταση της τομής της συγκόλλησης του ελάσματος με κωδικό G<sub>3</sub> και της διαδρομής του ήχου κατά τον έλεγχο τους.

#### 5.1.4.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Ο έλεγχος με τη μέθοδο των υπερήχων επικεντρώθηκε αφενός στην επαλήθευση υπάρχουσών ραδιογραφιών μόνο για το έλασμα G<sub>1</sub> των συγκολλήσεων στις θέσεις που παρατηρήθηκαν οι ατέλειες και αφετέρου στον υπολογισμό του βάθους που εκτείνονται. Για τα ελάσματα G<sub>2</sub> και G<sub>3</sub> δεν υπήρχαν ραδιογραφίες και έγινε εντοπισμός σφαλμάτων αποκλειστικά με τη μέθοδο των υπερήχων. Για διευκόλυνση, θεωρείται σύστημα συντεταγμένων κατά το οποίο ο άξονας των x κινείται κατά μήκος της ραφής, ο άξονας των y κάθετα σε αυτήν και ο άξονας των z εκφράζει το βάθος της συγκόλλησης. Όταν ελέγχεται η συγκόλληση, είτε η εμπρόσθια όψη της είτε η οπίσθια, θεωρούνται οι τιμές του άξονα y θετικές όταν η κεφαλή τοποθετείτε δεξιά της συγκόλλησης και αντίστοιχα αρνητικές στην άλλη περίπτωση, δηλαδή όταν η κεφαλή τοποθετείται αριστερά της.

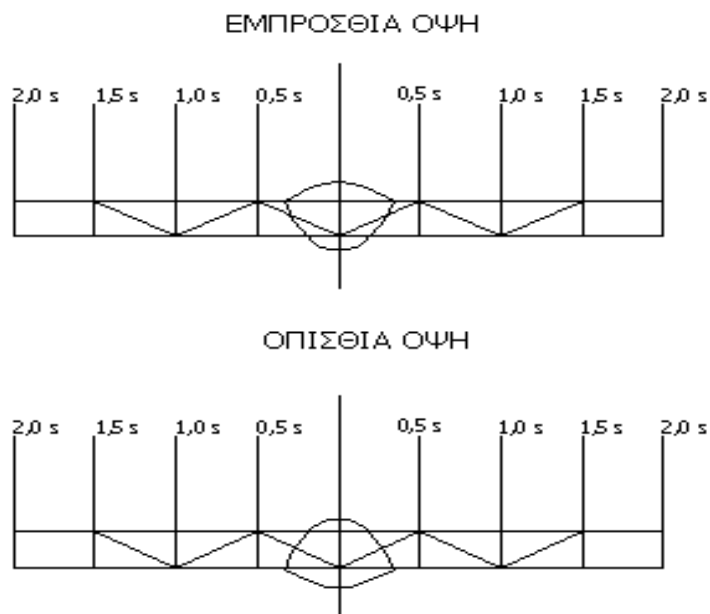
Οι θεωρητικοί άξονες της συγκόλλησης φαίνονται στο Σχήμα 5 :



Σχήμα 5 : Σχηματική αναπαράσταση των θεωρητικών αξόνων της συγκόλλησης

Στην περίπτωση ελέγχου της συγκόλλησης από την οπίσθια όψη είναι προφανές ότι οι ζώνες ελέγχου που χαράσσονται εκατέρωθεν του άξονα της είναι στις ίδιες αποστάσεις όπως και στην εμπρόσθια όψη, μόνο που τώρα η δέσμη του υπέρηχου για τις ίδιες διαδρομές συναντά διαφορετικό μέρος του κυρίου όγκου της συγκόλλησης.

Στο Σχήμα 6 φαίνονται και οι δύο όψεις της συγκόλλησης, ενώ ο Πίνακας 2 συνοψίζει τις παρατηρήσεις των ανακλάσεων που παίρνουμε στις ζώνες ελέγχου.



Σχήμα 6 : όψεις της συγκόλλησης

ΠΙΝΑΚΑΣ 2: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΙΣ ΔΥΟ ΟΨΕΙΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

ΕΜΠΡΟΣΘΙΑ ΟΨΗ		ΟΠΙΣΘΙΑ ΟΨΗ	
ΘΕΣΗ Υ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ	ΘΕΣΗ Υ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
0,5 S	ΡΙΖΑ	0,5 S	ΜΕΤΩΠΟ
1,0 S	ΜΕΤΩΠΟ	1,0 S	ΡΙΖΑ
1,5 S	ΡΙΖΑ	1,5 S	ΜΕΤΩΠΟ
2 S	ΜΕΤΩΠΟ	2 S	ΡΙΖΑ

Επίσης, στον έλεγχο της οπίσθιας όψης όποιες ατέλειες εντοπίζονται αριστερά, είναι δεξιά ως προς την εμπρόσθια όψη και το αντίστροφο. Τέλος, ατέλειες κοντά ή μέσα στη ρίζα εντοπίζονται προφανώς σε μικρότερες διαδρομές ήχου από ότι στην άλλη όψη, και ατέλειες της επιφάνειας εντοπίζονται σε μεγαλύτερες διαδρομές ήχου από αυτές της εμπρόσθιας όψης.

## 5.2 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ

Το δοκίμιο  $G_1$  που ελέγχθηκε με τη μέθοδο των υπερήχων είχε προηγουμένως ελεγχθεί στην εταιρεία GATS από επιθεωρητή επιπέδου II με τη μέθοδο της ραδιογραφίας, και συγκεκριμένα με ακτίνες X ( X- RAY ). Τα αποτελέσματα του ελέγχου φαίνονται στην εκθέση που παρέδωσε ο ελεγκτής και επιβεβαιώνονται με προσεκτική παρατήρηση των εν λόγω ραδιογραφιών. Έτσι, προκύπτουν τα αποτελέσματα παρατήρησης που φαίνονται στον Πίνακα 3

ΠΙΝΑΚΑΣ 3: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ  $G_1$

ΔΟΚΙΜΙΟ $G_1$	
ΘΕΣΗ X ( mm )	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
74	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
110	μεγάλος πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
215	μεγάλος πόρος αερίου κέντρο και αριστερά του άξονα συγκόλλησης
230	μικρός πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης
265	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
324	μικρός πόρος δεξιά στον άξονα συγκόλλησης
380	μικρός πόρος αριστερά του άξονα συγκόλλησης

476	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
493	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
575	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
600	μικρός πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης
656	πόρος στον άξονα συγκόλλησης

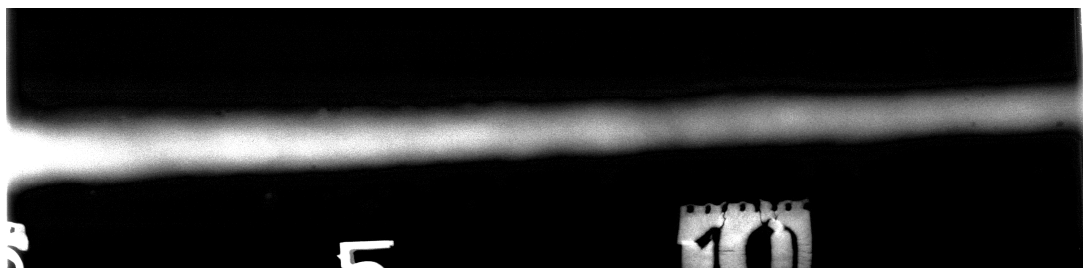
Ο ελεγκτής στην έκθεσή του για το δοκίμιο G<sub>1</sub>, η οποία παρουσιάζεται στο παράρτημα, εντοπίζει στην περιοχή συγκόλλησης από  $x = 0$  έως  $x = 36$  cm πόρους αερίου και ατελή διείσδυση και την ίδια παρατήρηση κάνει στον έλεγχο της περιοχής από  $x = 32$  έως  $x = 72$  cm . Με προσεκτική οπτική παρατήρηση της ραδιογραφίας έγιναν οι παρακάτω παρατηρήσεις οι οποίες επιχειρήθηκε να επαληθευτούν με τη μέθοδο των υπερήχων, καθώς και να αξιολογηθούν σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα αποδοχής ατελειών σε συγκολλήσεις με την μέθοδο της καμπύλης εύρους – απόστασης ( Distance Amplitude Curve - DAC ).

### 5.3 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>

#### 5.3.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

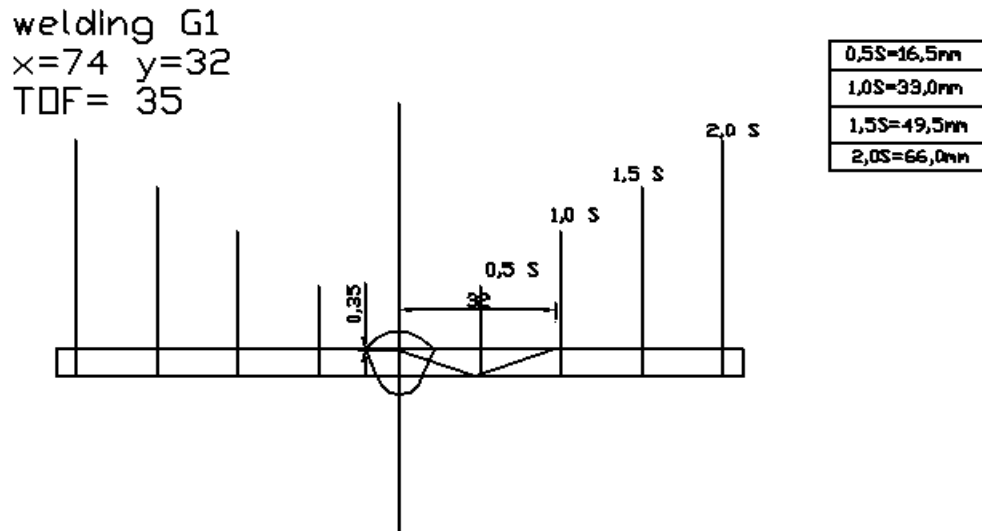
##### 5.3.1.α) ΘΕΣΗ $X = 74$ mm

Στη θέση  $x = 74$  mm παρατηρείται στη ραδιογραφία 1 μικρός πόρος αερίου πάνω στον άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της ραδιογραφίας ( Σχήμα 7 ) :



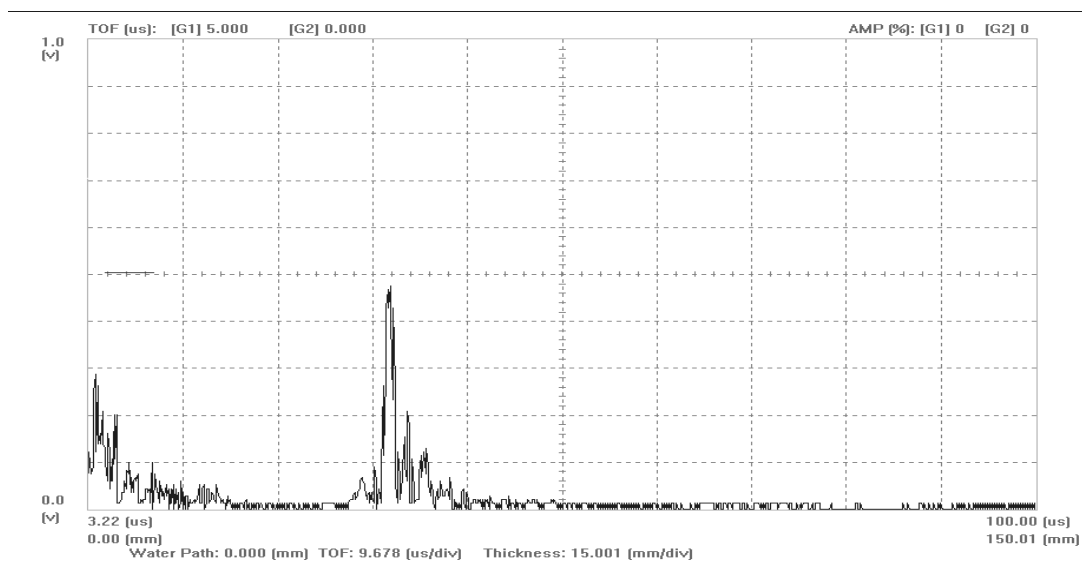
Σχήμα 7 : Ραδιογραφία δοκ.G<sub>1</sub> περιοχή από  $X = 0$  έως  $X = 15$  cm

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 74 \text{ mm}$  και  $y = 32 \text{ mm}$  ( Σχήμα 8 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 9.



Σχήμα 8 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 125 \text{ mm}$

Η ανάκλαση αυτή αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $35 \text{ mm}$  που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται μέσα στην υπερκάλυψη της συγκόλλησης και πάνω στον άξονα συμμετρίας της. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 0,35 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

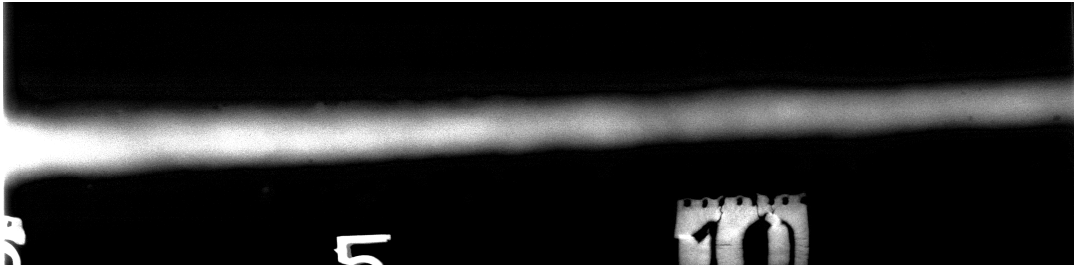


Σχήμα 9 : A-scan στη θέση  $x = 74 \text{ mm}$  δοκ. G<sub>1</sub>



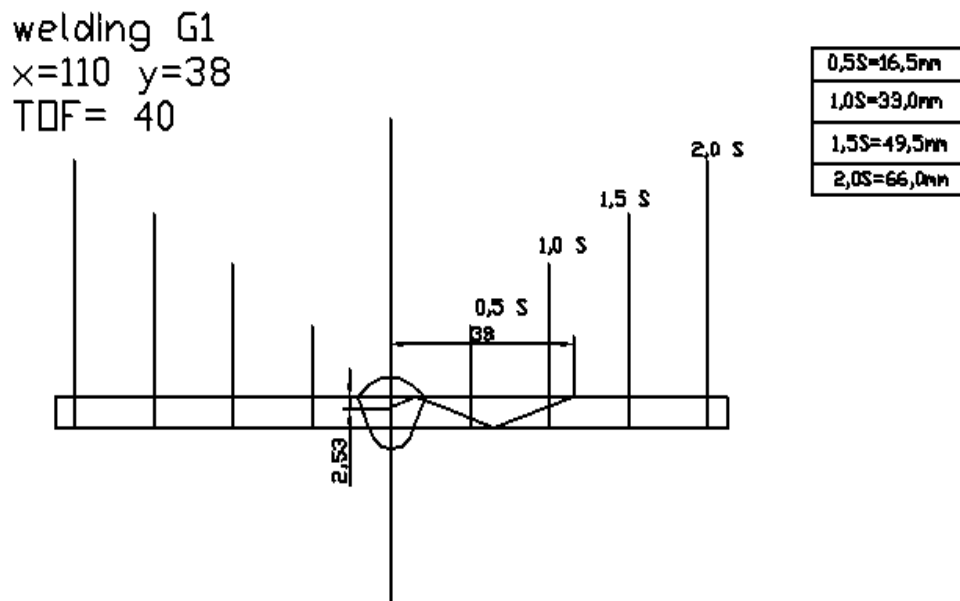
### 5.3.1.β) ΘΕΣΗ $X = 110 \text{ mm}$

Στη θέση  $x = 110 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία μεγάλος πόρος αερίου στον άξονα συγκόλλησης, όπως φαίνεται στην φωτογραφία της ραδιογραφίας (Σχήμα 10) :



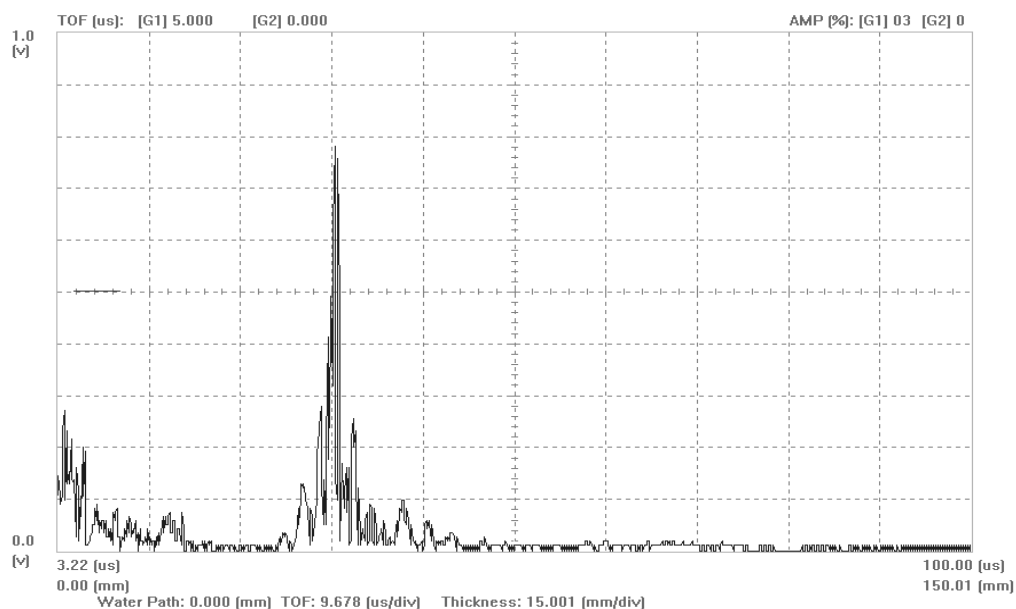
Σχήμα 10 : Ραδιογραφία δοκ. G<sub>1</sub> περιοχή από  $X = 0$  έως  $X = 15 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 110 \text{ mm}$  και  $y = 38 \text{ mm}$  ( Σχήμα 11) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 12.



Σχήμα 11 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 110 \text{ mm}$

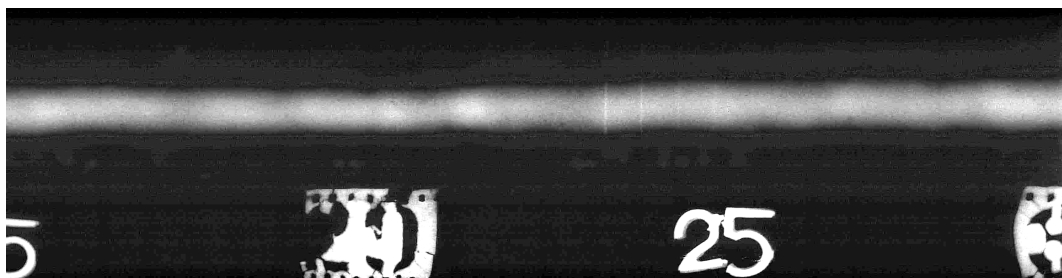
Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan είναι για διαδρομή ήχου 40 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται πάνω στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 2,53 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 12 : A-scan στη θέση  $x = 110 \text{ mm}$  δοκ.  $G_1$

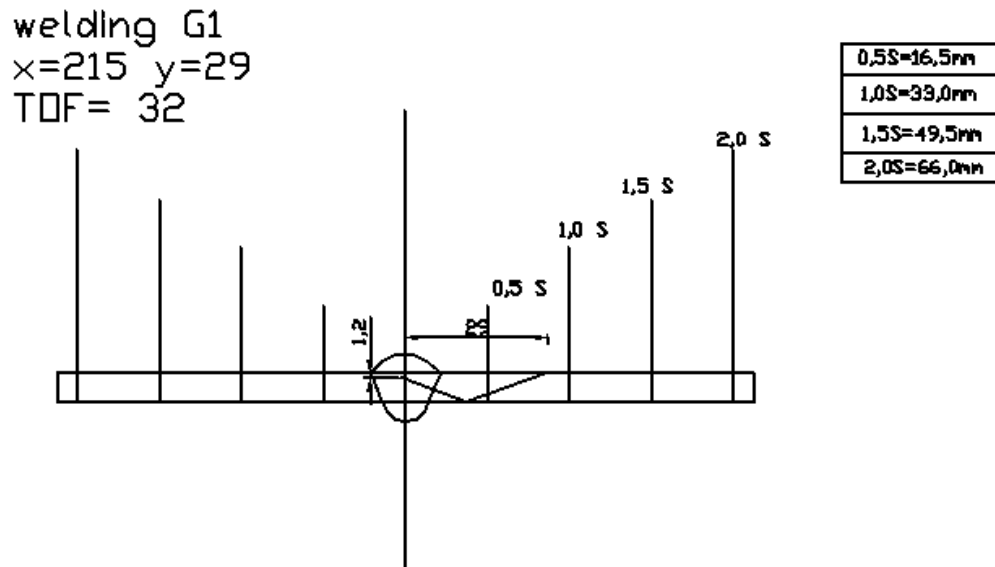
### 5.3.1.γ) ΘΕΣΗ $X = 215 \text{ mm}$

Στην θέση  $x = 215 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μεγάλος πόρος αερίου κέντρο και αριστερά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της ραδιογραφίας ( Σχήμα 13):



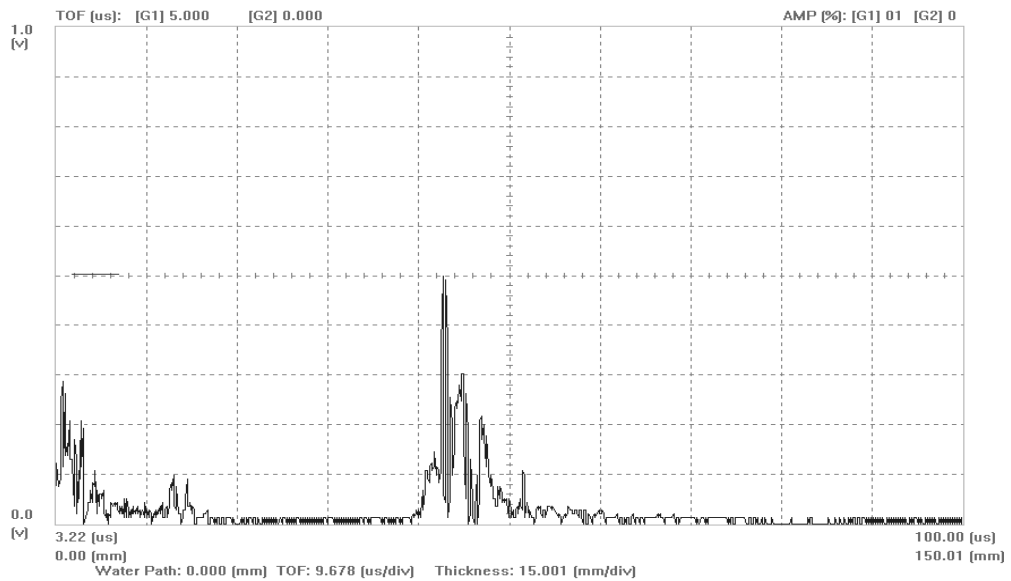
Σχήμα 13 : Ραδιογραφία δοκ.  $G_1$  περιοχή από  $X = 15$  έως  $X = 30 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 215 \text{ mm}$  και  $y = 29 \text{ mm}$  ( Σχήμα 14 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 15.



Σχήμα 14 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 215 \text{ mm}$

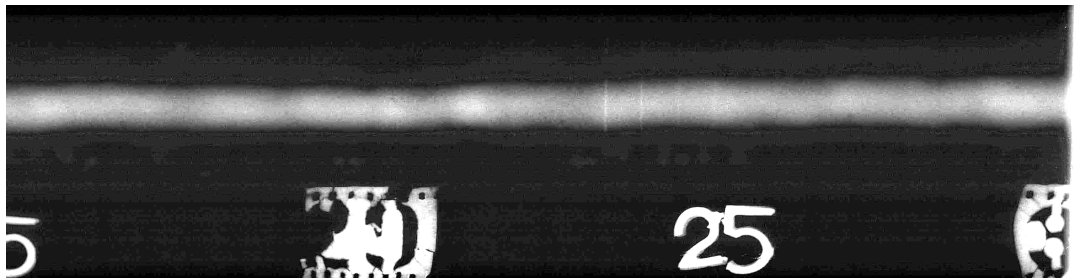
Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $32 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 1,2 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα15 : A-scan στη θέση  $x = 215\text{mm}$  δοκ.  $G_1$

#### 5.3.1.δ) ΘΕΣΗ $X = 230\text{ mm}$

Στη θέση  $x = 230\text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μικρός πόρος αερίου αριστερά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της ραδιογραφίας ( Σχήμα 16) :

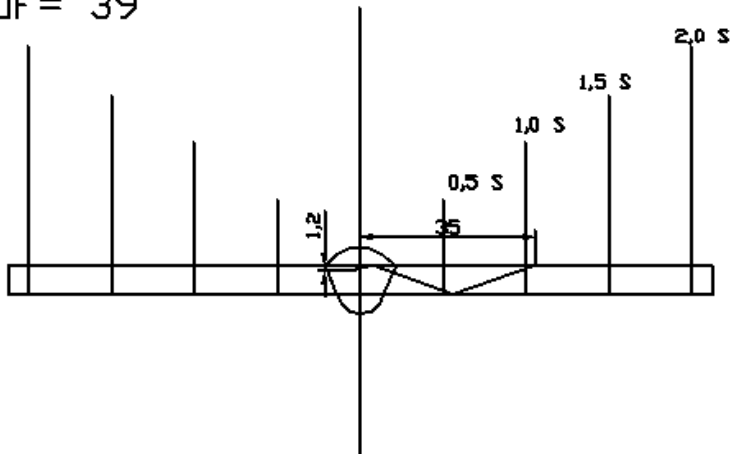


Σχήμα 16 : Ραδιογραφία δοκ.  $G_1$  περιοχή από  $X = 15$  έως  $X = 30\text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 230\text{ mm}$  και  $y = 35\text{ mm}$  ( Σχήμα 17 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 18.

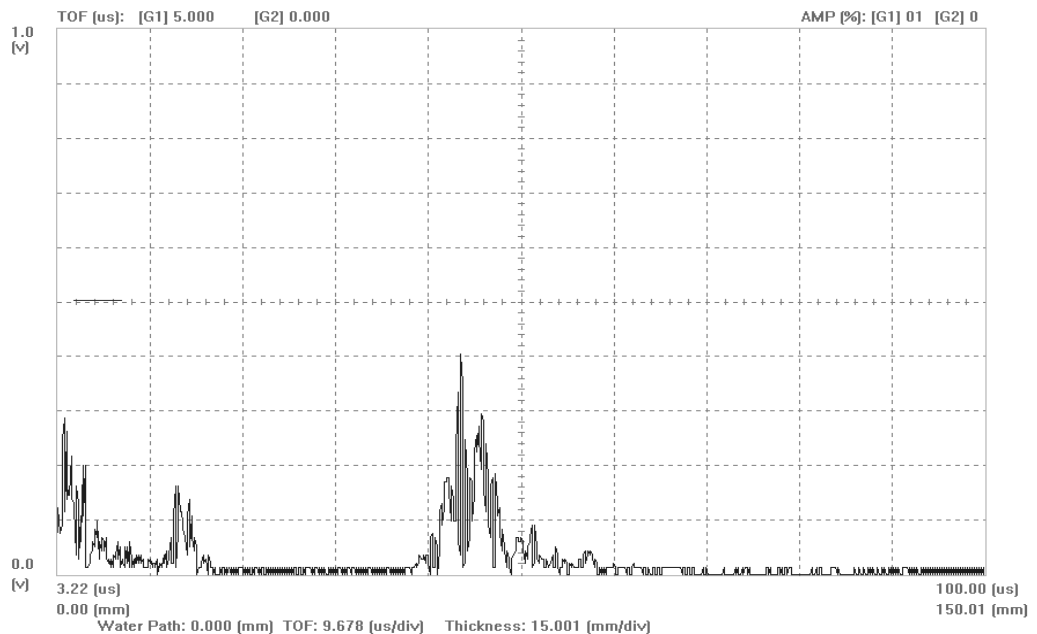
welding G1  
 x=230 y=35  
 TDF= 39

0,5S=16,5mm
1,0S=33,0mm
1,5S=49,5mm
2,0S=66,0mm



Σχήμα 17 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 230 \text{ mm}$

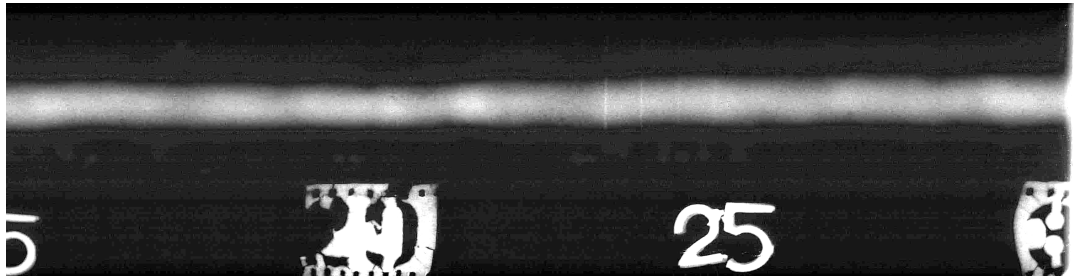
Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 39 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και περί το αριστερό άκρο της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 1,2 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα18 : A-scan στη θέση  $x = 230 \text{ mm}$  δοκ. G<sub>1</sub>

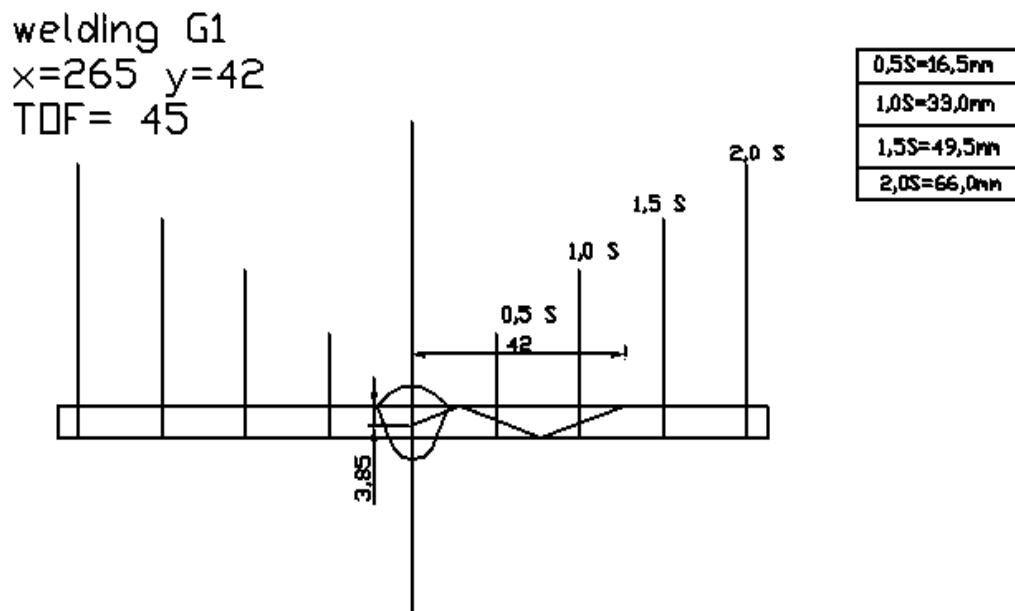
### 5.3.1.ε) ΘΕΣΗ $X = 265 \text{ mm}$

Στη θέση  $x = 265 \text{ mm}$  παρατηρείται στην ραδιογραφία μεμονωμένος πόρος αερίου στον άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της ραδιογραφίας ( Σχήμα 19):



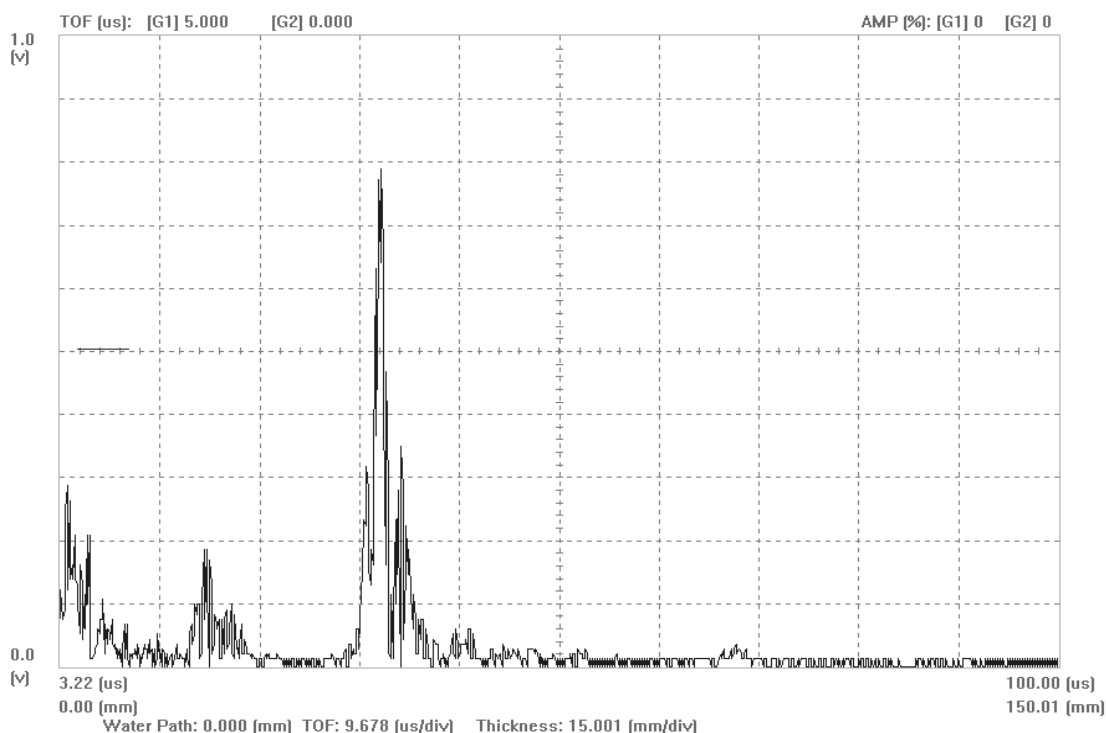
Σχήμα 19 : Ραδιογραφία δοκ. G<sub>1</sub> περιοχή από  $X = 15$  έως  $X = 30 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 265 \text{ mm}$  και  $y = 42 \text{ mm}$  ( Σχήμα 20 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 21.



Σχήμα 20 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 265 \text{ mm}$

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 45 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από την γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 3,85 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

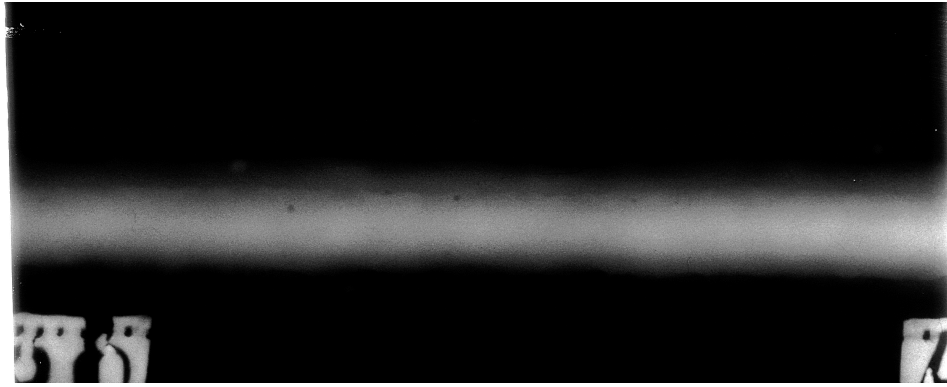


Σχήμα 21 : A-scan στη θέση  $x = 265 \text{ mm}$  δοκ.  $G_1$

### 5.3.1.στ) ΘΕΣΗ $X = 324 \text{ mm}$

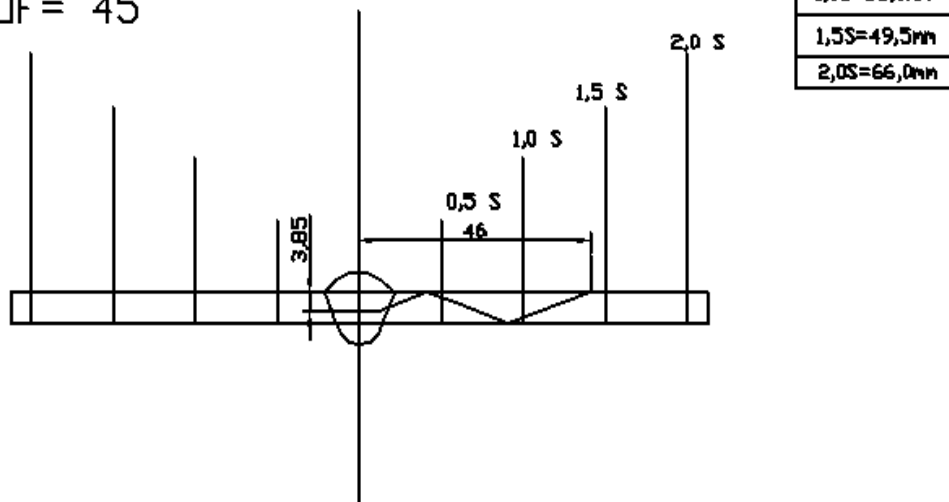
Στη θέση  $x = 324 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία μεμονωμένος πόρος αερίου δεξιά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 324 \text{ mm}$  και  $y = 46 \text{ mm}$  ( Σχήμα 22 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 23.



Σχήμα 22 : Ραδιογραφία δοκ. G<sub>1</sub> περιοχή από X = 30 εως X = 40 cm

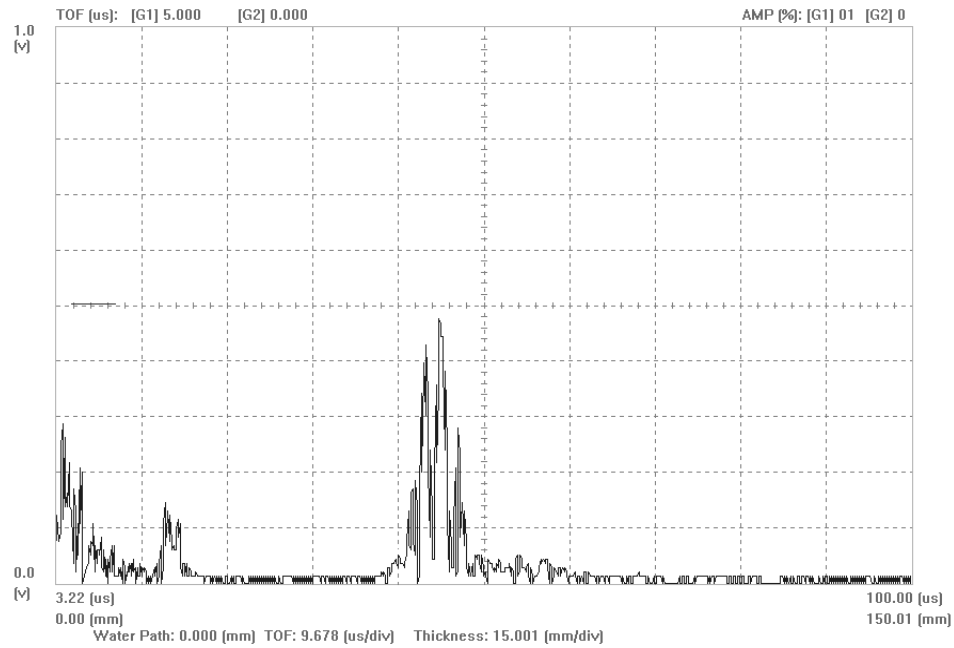
welding G1  
 x=324 y=46  
 TOF= 45



Σχήμα 23 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση x = 324 mm

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 45 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται δεξιά του άξονα της συγκόλλησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 23. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 3,85 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

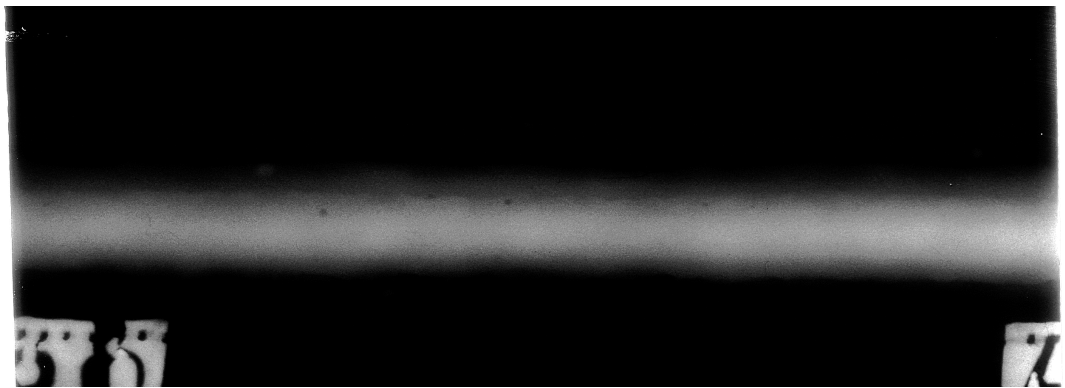




Σχήμα 24 : A-scan στη θέση  $x = 324 \text{ mm}$

### 5.3.1.ζ) ΘΕΣΗ $X = 380 \text{ mm}$

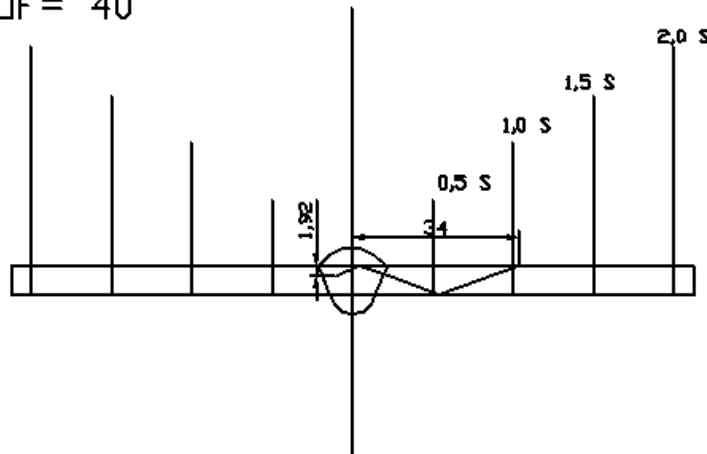
Στη θέση  $x = 380 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μικρός πόρος αερίου ελάχιστα αριστερά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.



Σχήμα 25 : Ραδιογραφία δοκ.  $G_1$  περιοχή από  $X = 30$  έως  $X = 40 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 380 \text{ mm}$  και  $y = 34 \text{ mm}$  ( Σχήμα 26 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 27.

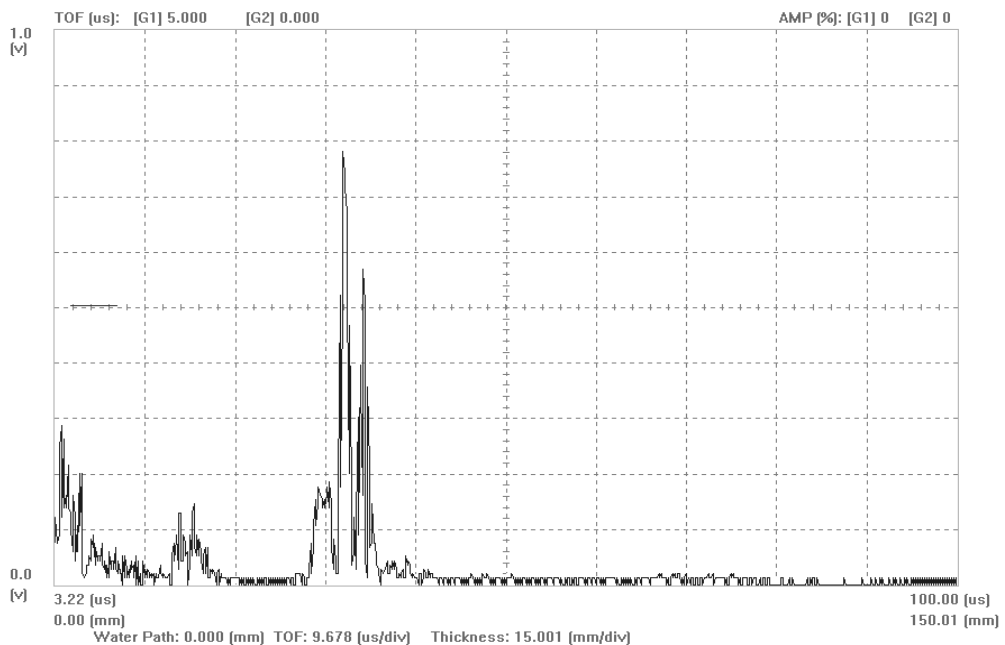
welding G1  
 $x=380$   $y=34$   
 TOF = 40



0,5S=16,5mm
1,0S=33,0mm
1,5S=49,5mm
2,0S=66,0mm

Σχήμα 26 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 380$  mm

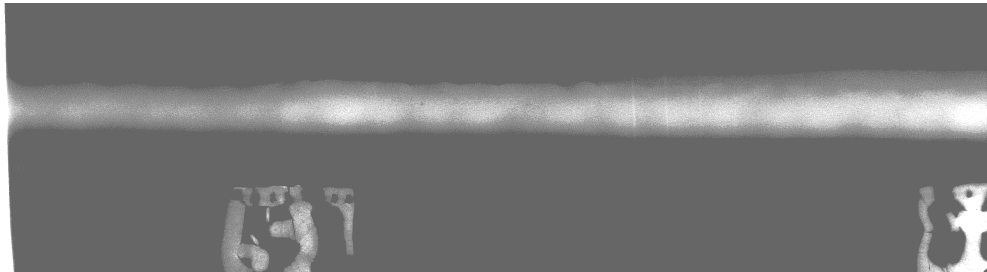
Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 40 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 1,92$  mm από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 27 : A-scan στη θέση  $x = 380$  mm

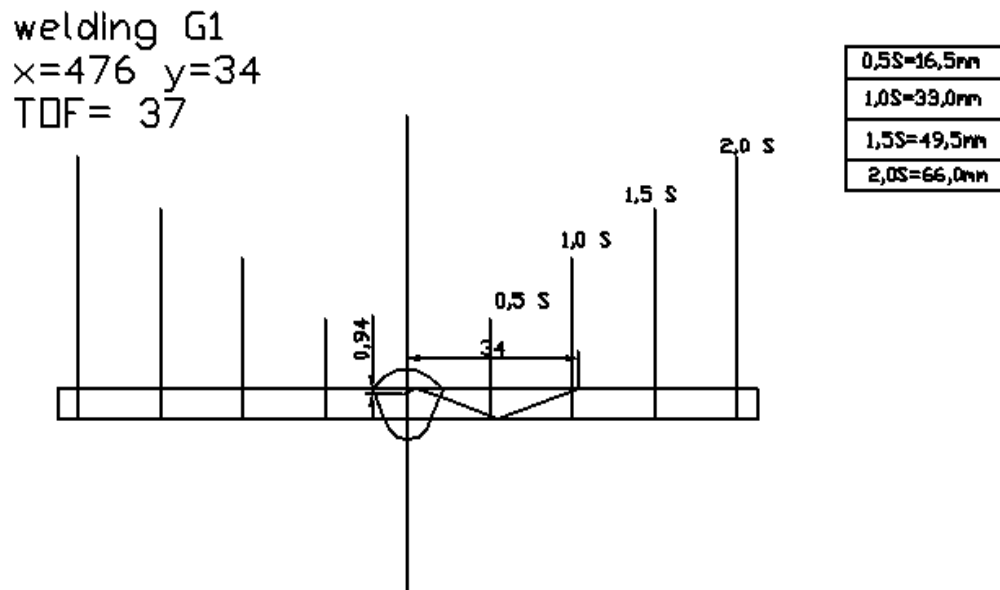
### 5.3.1.η) ΘΕΣΗ $X = 476 \text{ mm}$

Στη θέση  $x = 476 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μικρός πόρος αερίου αριστερά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.



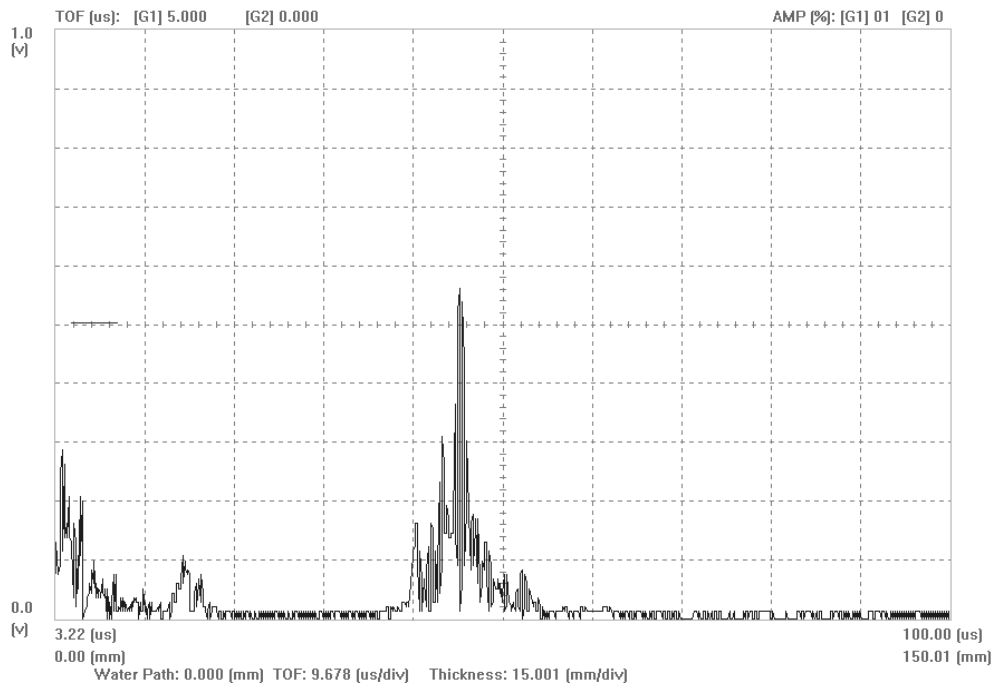
Σχήμα 28 : Ραδιογραφία δοκ. G<sub>1</sub> περιοχή από  $X = 45$  έως  $X = 60 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους της οπίσθιας όψης στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 476 \text{ mm}$  και  $y = 34 \text{ mm}$  ( Σχήμα 29 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 30.



Σχήμα 29 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 476 \text{ mm}$

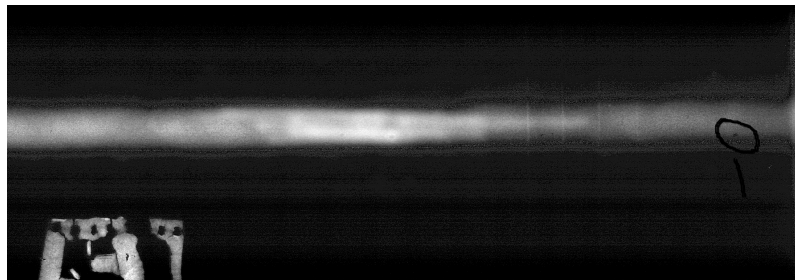
Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $37 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και επάνω στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 0,94 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 30 : A-scan στη θέση  $x = 476 \text{ mm}$

### 5.3.1.θ) ΘΕΣΗ $X = 656 \text{ mm}$

Στη θέση  $x = 656 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία μεμονωμένος πόρος αερίου στον άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης, όπως φαίνεται στη φωτογραφία της ραδιογραφίας ( Σχήμα 31):

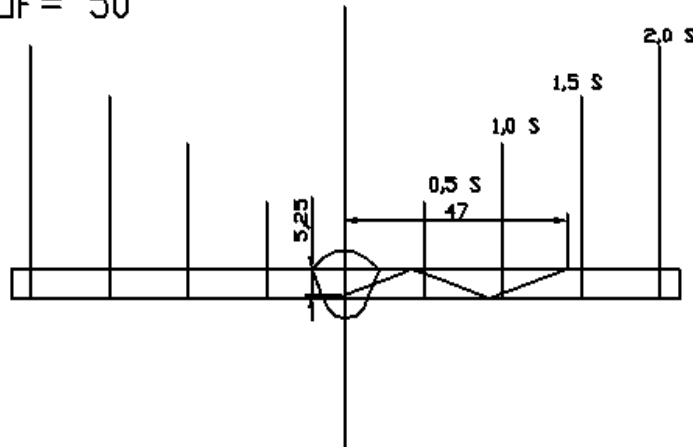


Σχήμα 31 : Ραδιογραφία δοκ.  $G_1$  περιοχή από  $X = 60$  έως  $X = 70 \text{ cm}$

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 656 \text{ mm}$  και  $y = 47 \text{ mm}$  ( Σχήμα 32 ) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 33.

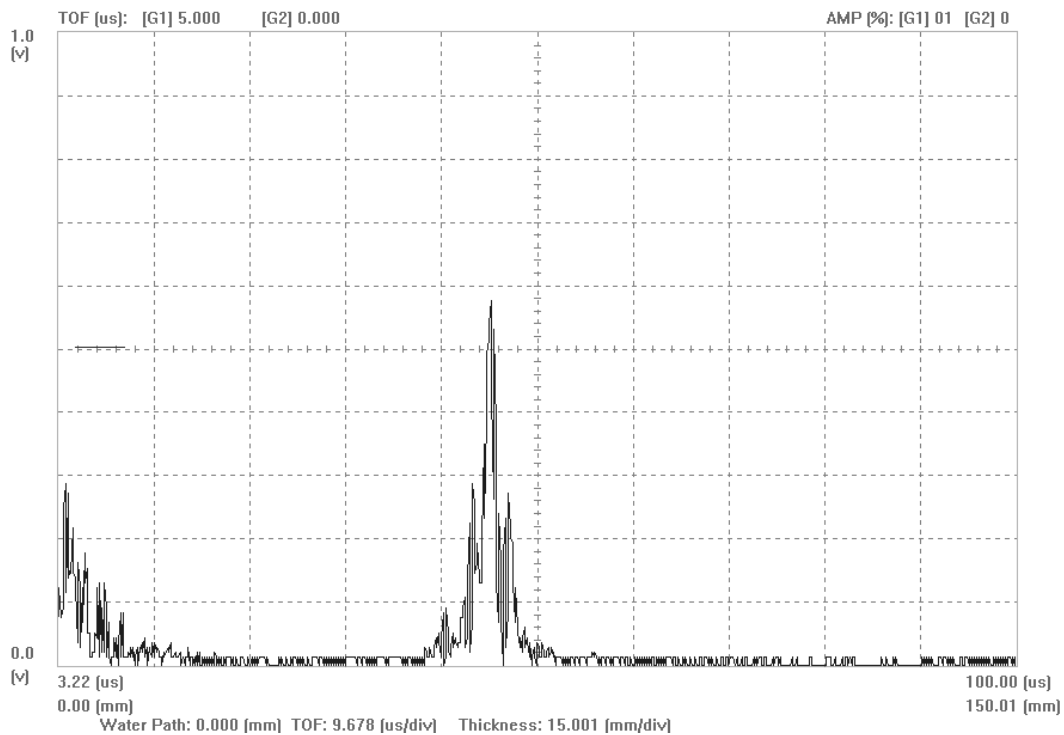
welding G1  
 x=656 y=47  
 TDF= 50

0,5S=16,5mm
1,0S=33,0mm
1,5S=49,5mm
2,0S=66,0mm



Σχήμα 32 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 656 \text{ mm}$

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 50 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και επάνω στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από την γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 5,25 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



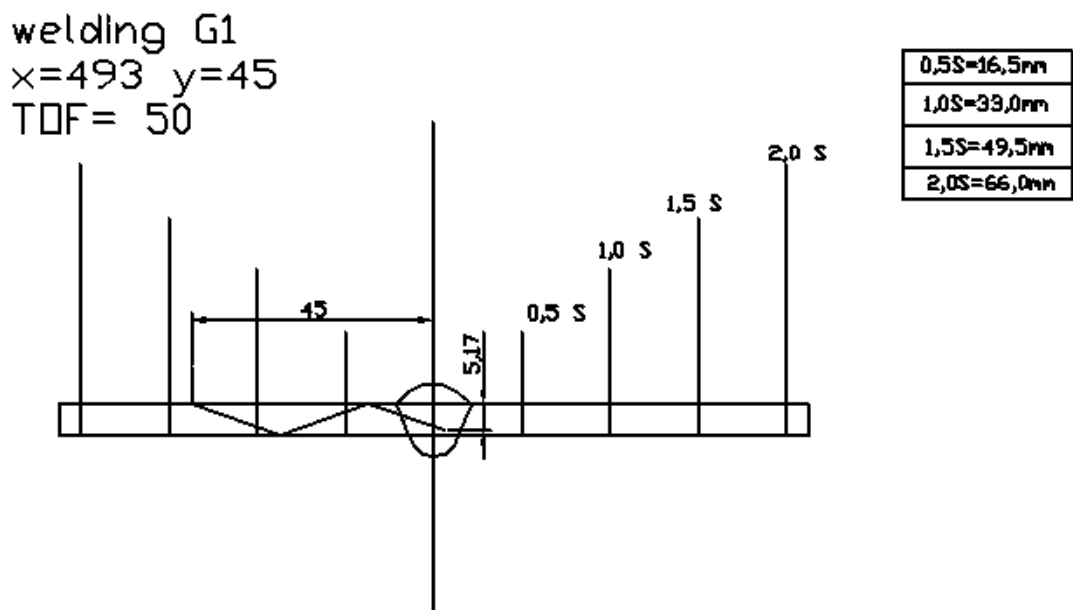
Σχήμα 33 : A-scan στη θέση  $x = 656 \text{ mm}$  δοκ. G<sub>1</sub>

### 5.3.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

#### 5.3.2.α) ΘΕΣΗ $x = 493 \text{ mm}$

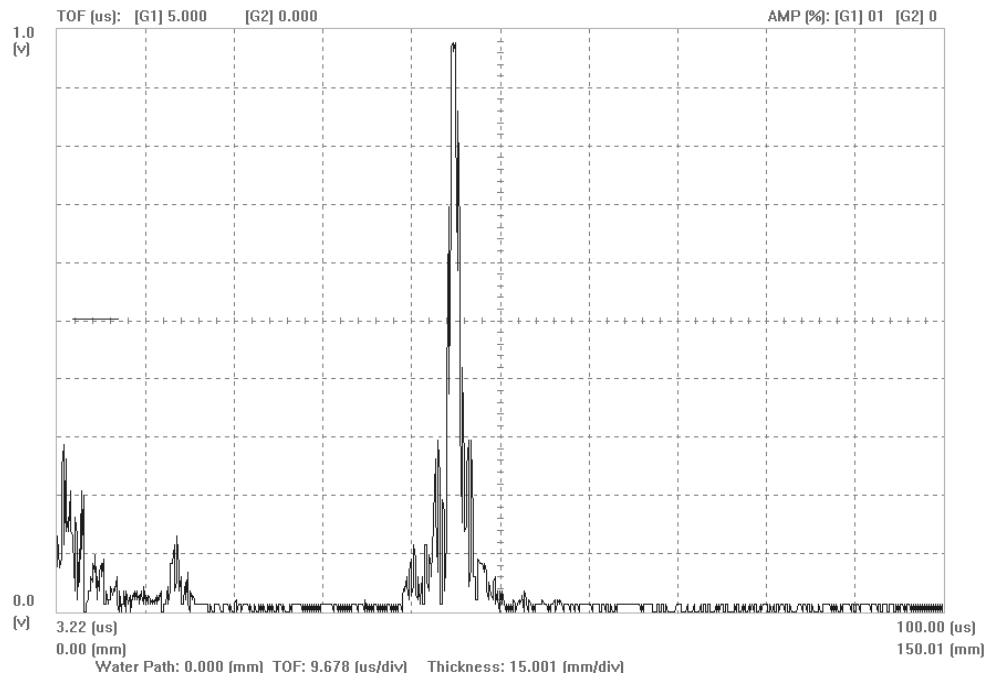
Στη θέση  $x = 493 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία μεμονωμένος πόρος αερίου δεξιά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους της οπίσθιας όψης στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 493 \text{ mm}$  και  $y = -45 \text{ mm}$  (Σχήμα 34) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 35.



Σχήμα 34 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 493 \text{ mm}$  ( οπίσθια όψη )

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 50 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται δεξιά στον άξονα της συγκόλλησης όπως φαίνεται στο Σχήμα 34. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 5,17 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

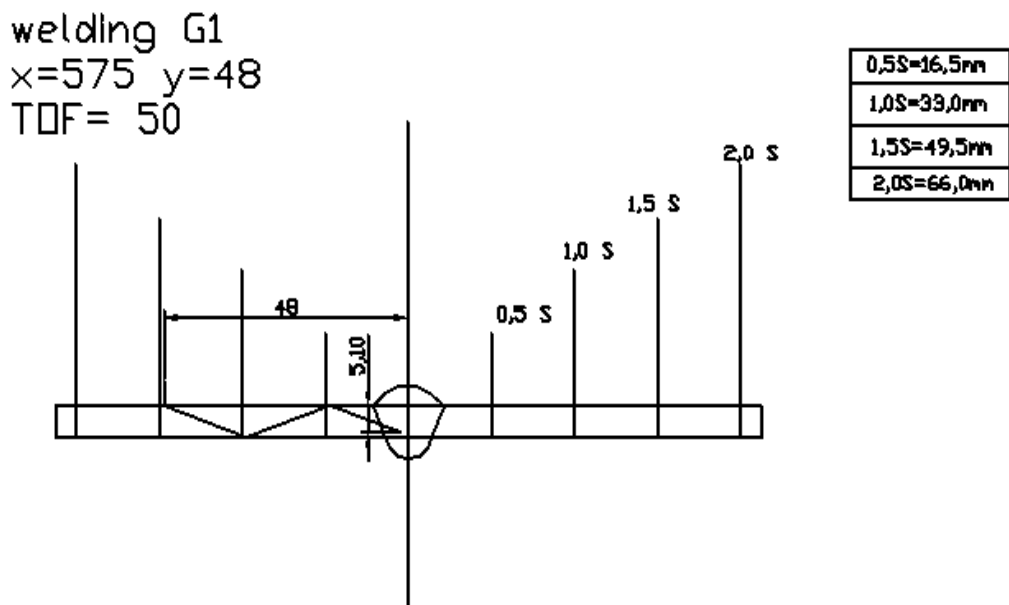


Σχήμα 35 : A-scan στη θέση  $x = 493 \text{ mm}$  ( οπίσθια όψη )

### 5.3.2.β) ΘΕΣΗ $X = 575 \text{ mm}$

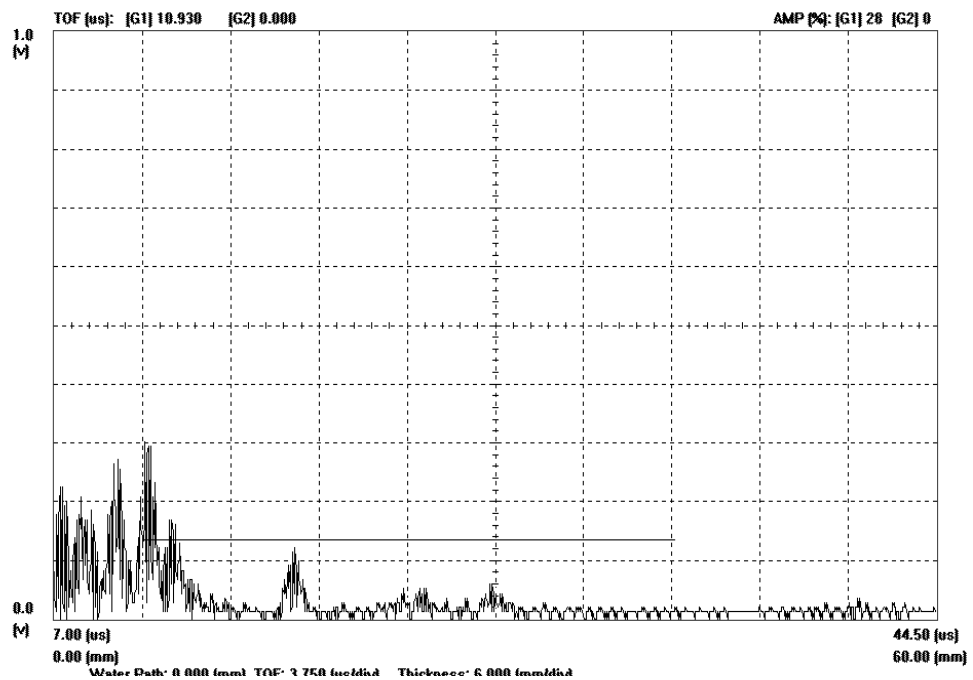
Στη θέση  $x = 575 \text{ mm}$  παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μικρός πόρος αερίου ελάχιστα αριστερά του άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους της οπίσθιας όψης στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 575 \text{ mm}$  και  $y = -48 \text{ mm}$  (Σχήμα 36) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 37.



Σχήμα 36 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 575 \text{ mm}$  (οπίσθια όψη )

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 50 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και ελάχιστα αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 5, 10$  mm από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 37 : A-scan στη θέση  $x = 575$  mm (οπίσθια όψη )

### 5.3.2.γ) ΘΕΣΗ $X = 600$ mm

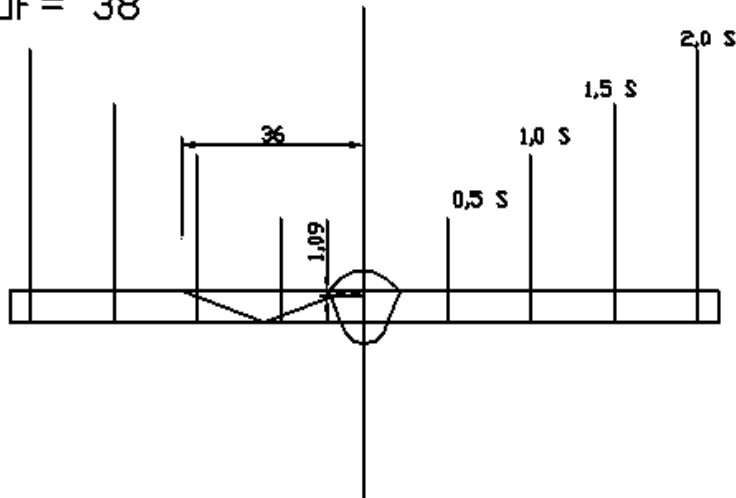
Στη θέση  $x = 600$  mm παρατηρείται στη ραδιογραφία ένας μικρός πόρος αερίου επάνω στον άξονα συμμετρίας της συγκόλλησης.

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους της οπίσθιας όψης στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 600$  mm και  $y = -36$  mm (Σχήμα 38) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 39.



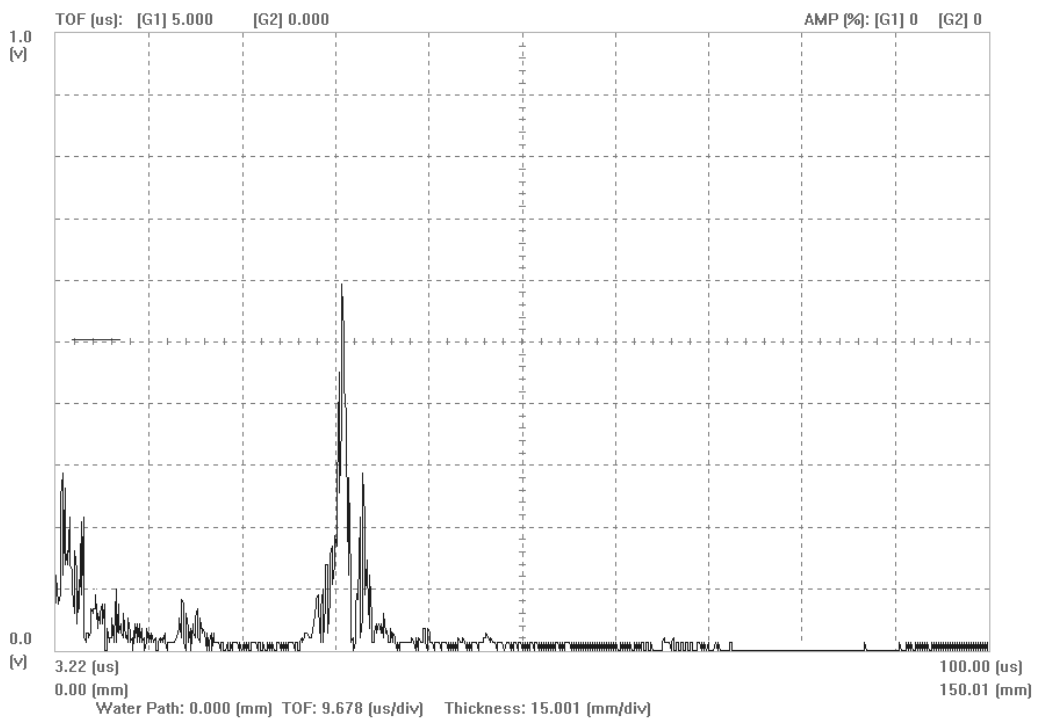
welding G1  
 $x=600$   $y=36$   
 TOF = 38

0,5S=16,5mm
1,0S=33,0mm
1,5S=49,5mm
2,0S=66,0mm



Σχήμα 38 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 600$  mm (οπίσθια όψη )

Η ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 38 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και επάνω στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 1,09$  mm από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 39 : A-scan στη θέση  $x = 600$  mm (οπίσθια όψη )

### 5.3.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>

Μετά τον έλεγχο με τη μέθοδο των υπερήχων, οι παρατηρήσεις που έγιναν στο δοκίμιο G<sub>1</sub> συνοψίζονται στον Πίνακα 4 :

**ΠΙΝΑΚΑΣ 4: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>  
ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ**

X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
74	32	35	0,35	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
110	38	40	2,53	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
215	29	32	1,20	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
230	35	39	1,20	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
265	42	45	3,85	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
324	46	45	3,85	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
380	34	40	1,92	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
476	34	37	0,94	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
656	47	50	5,25	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray

### ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ( ΡΙΖΑ )

X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
493	-45	50	5,17	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
575	-48	50	5,10	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray
600	-36	38	1,09	πόρος αερίου όπως φαίνεται στο X-ray

## 5.4 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>

Έπειτα από τη σάρωση του δοκιμίου G<sub>2</sub> και μη έχοντας κάποια ραδιογραφία εντοπιστήκαν κάποια σφάλματα των οποίων η διερεύνηση παρουσιάζεται παρακάτω.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>

ΔΟΚΙΜΙΟ G <sub>2</sub>	
ΘΕΣΗ X ( mm )	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
57	μικρός πόρος αερίου δεξιά στον άξονα συγκόλλησης
80	μεγάλος πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης
175	Έγκλεισμα στερεού δεξιά του άξονα συγκόλλησης
215	μικρός πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης
225	μικρός πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης
295	μικρός πόρος δεξιά στον άξονα συγκόλλησης
385	μικρός πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης εντός ρίζας
405	μικρός πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης
650	μικρός πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης

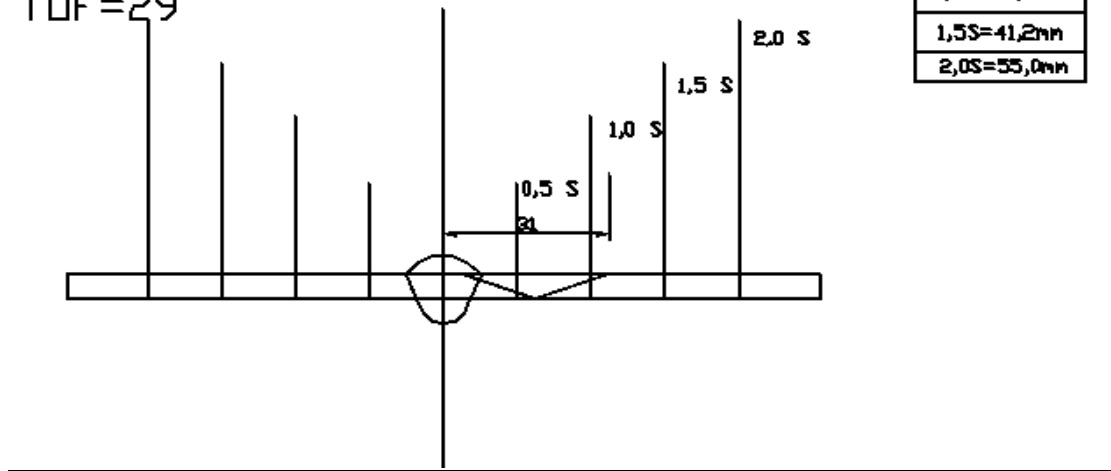
### 5.4.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

#### 5.4.1α) ΘΕΣΗ X = 57 mm

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 57 \text{ mm}$  και  $y = 31 \text{ mm}$  (Σχήμα 40) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 41.

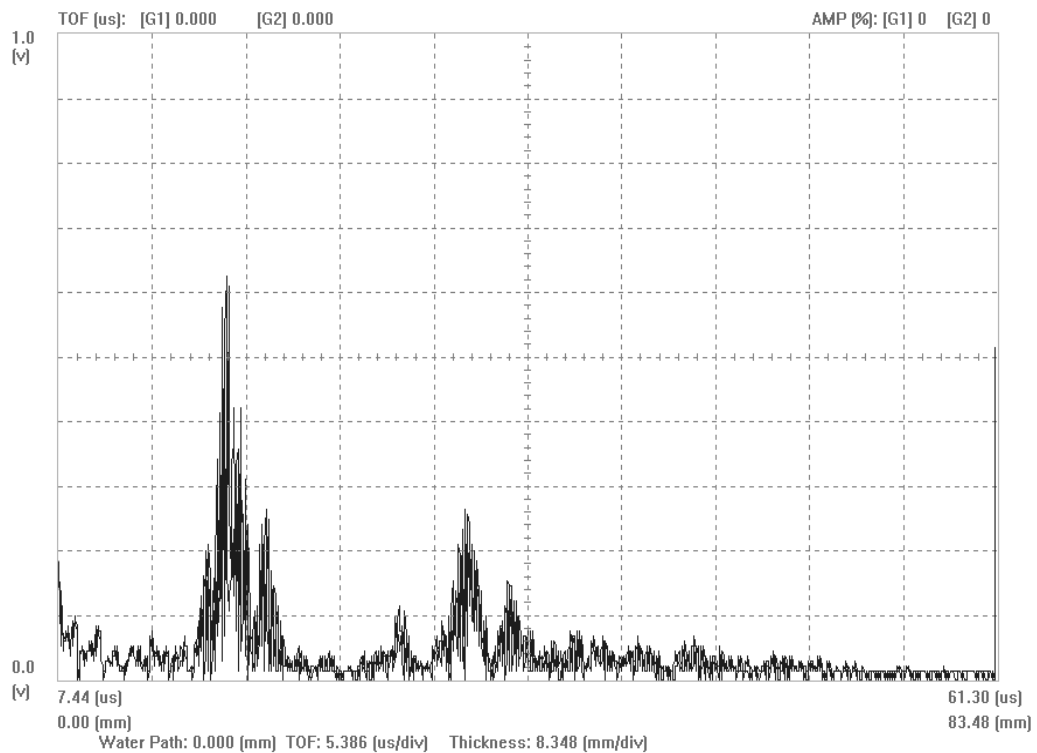
welding G2  
 x=57 y=31  
 TDF=29

0,5S=13,7mm
1,0S=27,5mm
1,5S=41,2mm
2,0S=55,0mm



Σχήμα 40 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 57 \text{ mm}$

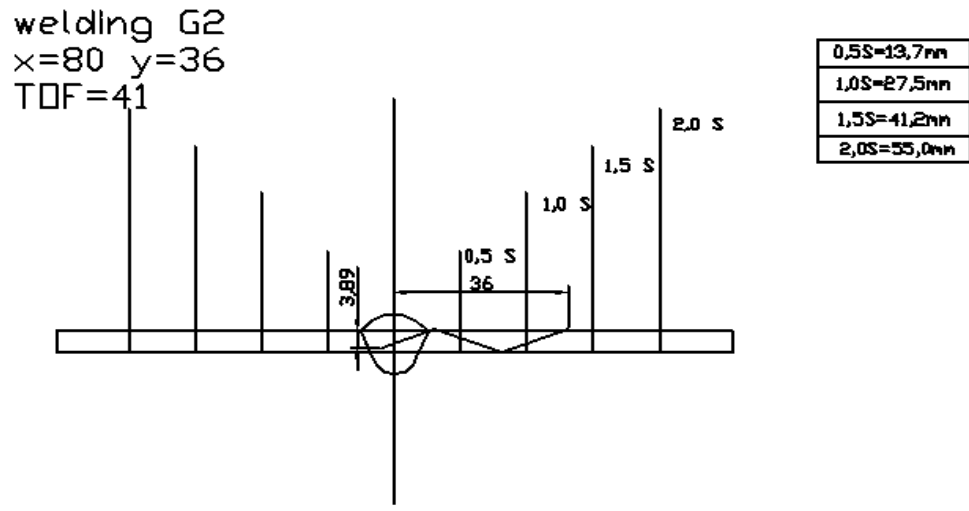
Η συστοιχία ανακλάσεων που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 29 mm, γεγονός που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στο ύψος της επιφάνειας του βασικού μετάλλου και δεξιά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από την γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 0 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 41 : A-scan στη θέση  $x = 57 \text{ mm}$

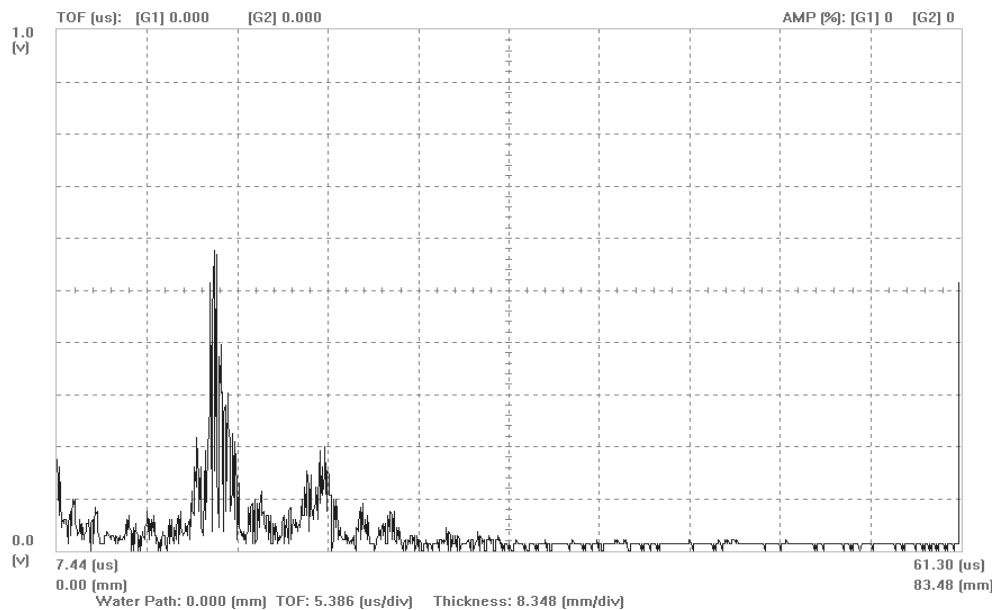
### 5.4.1β) ΘΕΣΗ X = 80 mm

Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 80 \text{ mm}$  και  $y = 36 \text{ mm}$  (Σχήμα 42) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 43.



Σχήμα 42 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 80 \text{ mm}$

Η ανάκλαση σε διαδρομή ήχου  $41 \text{ mm}$  αντιστοιχεί σε γεγονός που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στο ύψος της ρίζας της συγκόλλησης του βασικού μετάλλου και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης και σε βάθος  $z = 3,89 \text{ mm}$ .

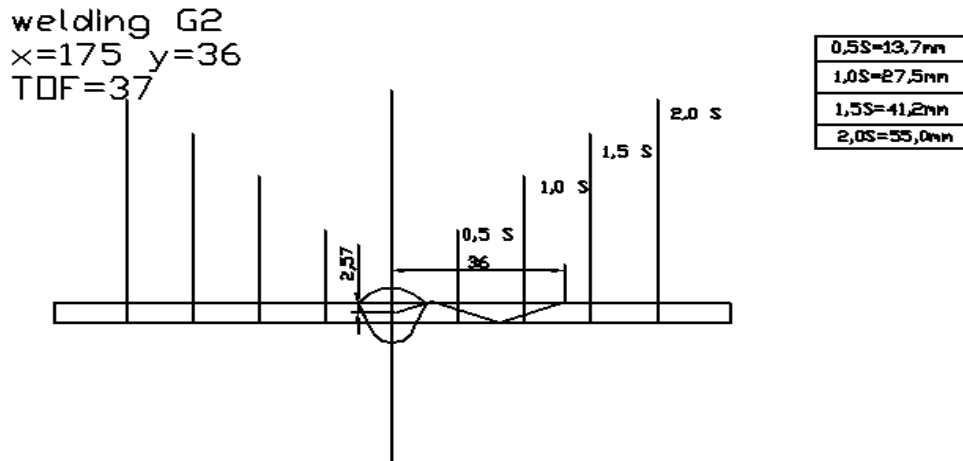


Σχήμα 43 : A-scan στη θέση  $x = 80 \text{ mm}$

### 5.4.1γ) ΘΕΣΗ X = 175 mm

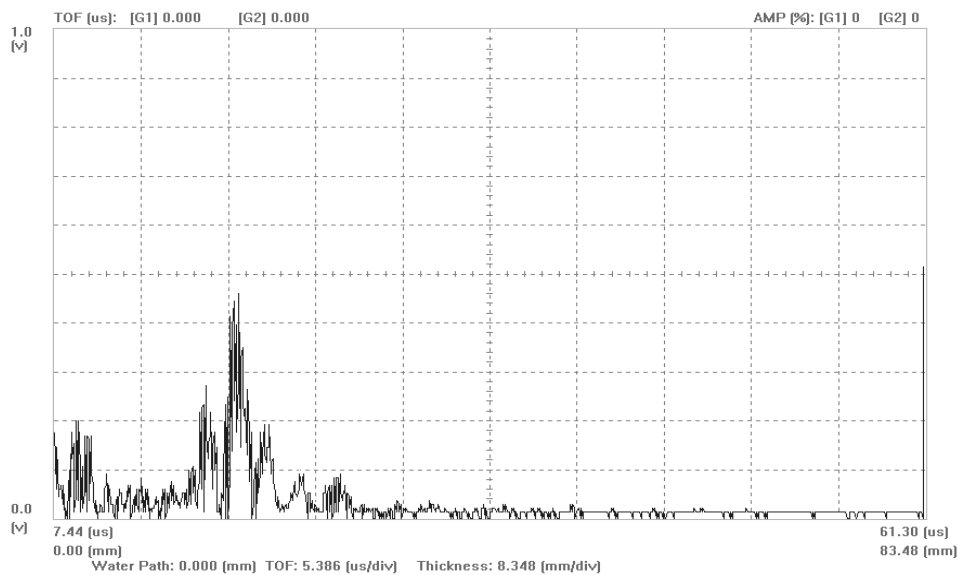
Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες

$x = 175 \text{ mm}$  και  $y = 36 \text{ mm}$  (Σχήμα 44) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 45.



Σχήμα 44 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 175 \text{ mm}$

Η συστοιχία ανακλάσεων με αμβλεία περιβάλλουσα που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $37 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται χαμηλότερα από την επιφάνεια του βασικού μετάλλου και δεξιά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι το στερεό έγκλεισμα βρίσκεται σε βάθος  $z = 2,57 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

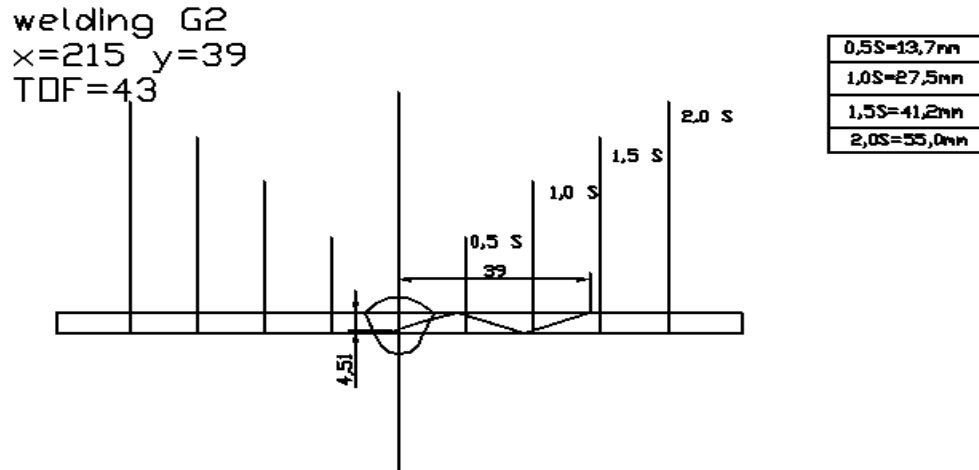


Σχήμα 45: A-scan στη θέση  $x = 175 \text{ mm}$

#### 5.4.15) ΘΕΣΗ X = 215 mm

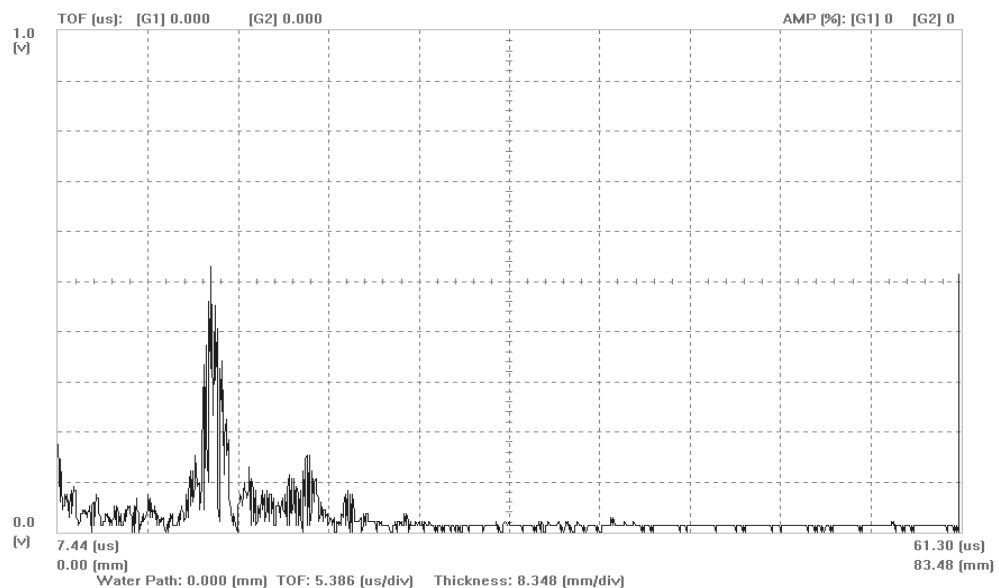
Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες

$x = 215 \text{ mm}$  και  $y = 39 \text{ mm}$  (Σχήμα 46) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 47.



Σχήμα 46 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 215 \text{ mm}$

Η συστοιχία ανακλάσεων που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 43 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται κοντά στην ρίζα και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 4,51 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

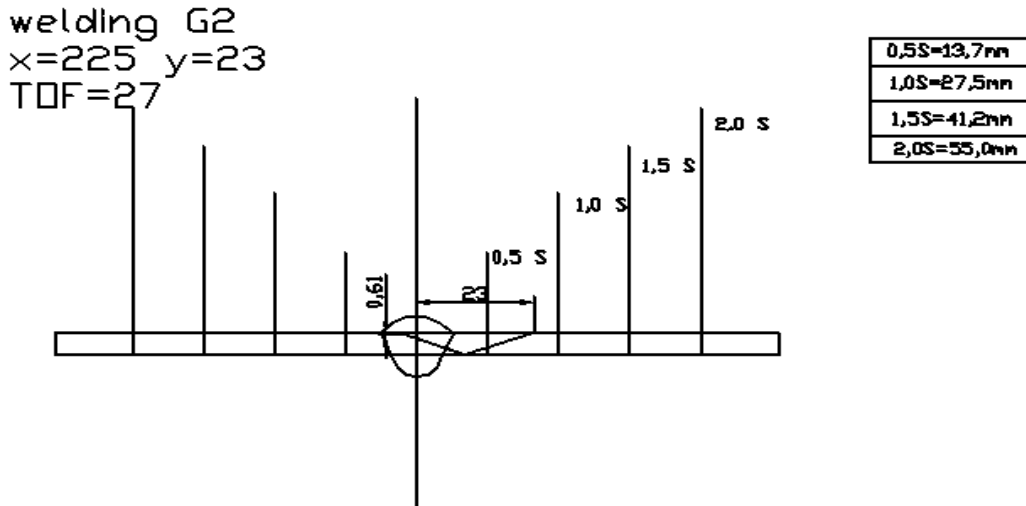


Σχήμα 47 : A-scan στη θέση  $x = 215 \text{ mm}$

### 5.4.1ε) ΘΕΣΗ $X = 225 \text{ mm}$

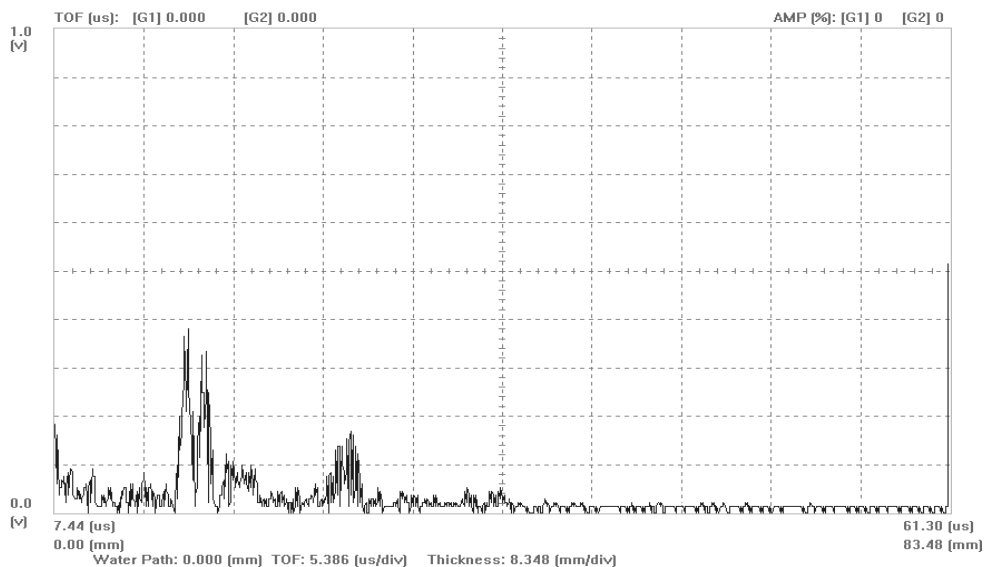
Κατά τον έλεγχο με υπερήχους στη θέση κεφαλής με συντεταγμένες

$x = 225 \text{ mm}$  και  $y = 23 \text{ mm}$  (Σχήμα 48) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 49.



Σχήμα 48 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 225 \text{ mm}$

Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $27 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 0,61 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

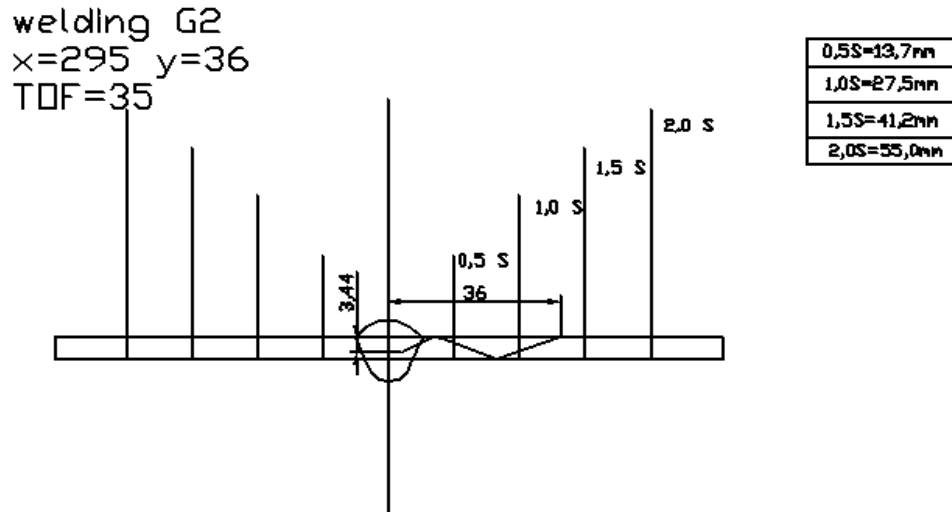


Σχήμα 49 : A-scan στη θέση  $x = 225 \text{ mm}$



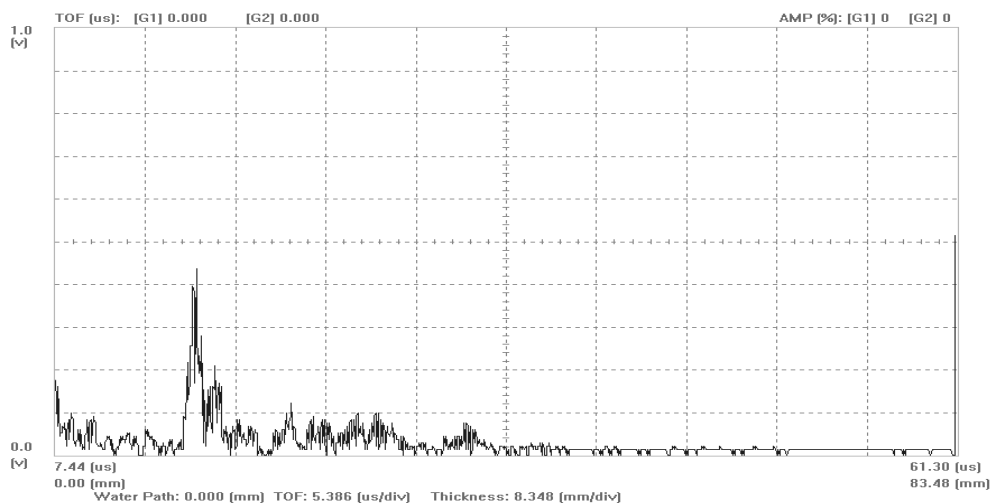
#### 5.4.1στ) ΘΕΣΗ X = 295 mm

Κατά την σάρωση του δοκιμίου για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 295 \text{ mm}$  και  $y = 36 \text{ mm}$  (Σχήμα 50) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 51.



Σχήμα 50 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 295 \text{ mm}$

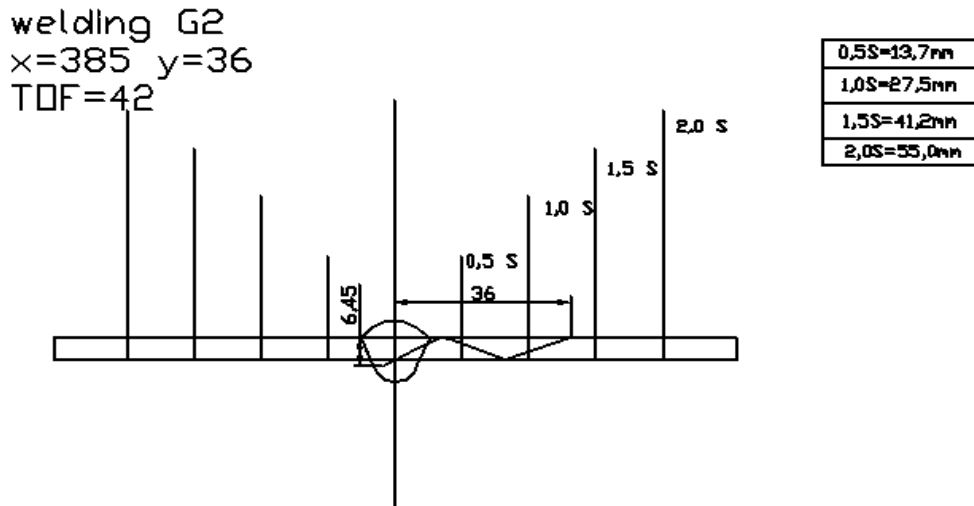
Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $35 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στο μέσο του βασικού μετάλλου και δεξιά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $= 3,44 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 51 : A-scan στη θέση  $x = 295 \text{ mm}$

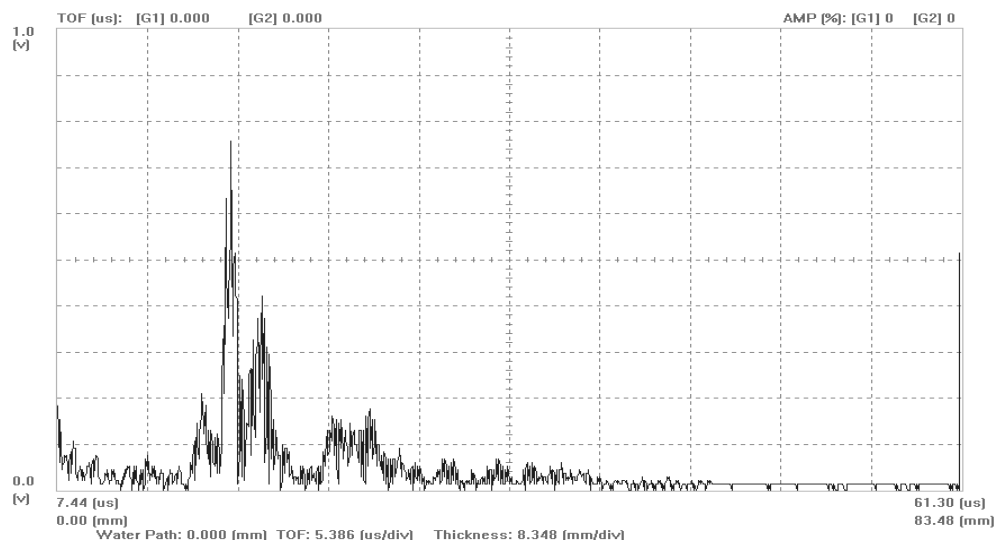
### 5.4.1ζ) ΘΕΣΗ $X = 385 \text{ mm}$

Κατά την σάρωση του δοκιμίου για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 385 \text{ mm}$  και  $y = 36 \text{ mm}$  (Σχήμα 52) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 53.



Σχήμα 52 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 385 \text{ mm}$

Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $42 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στη ρίζα του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 6,45 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

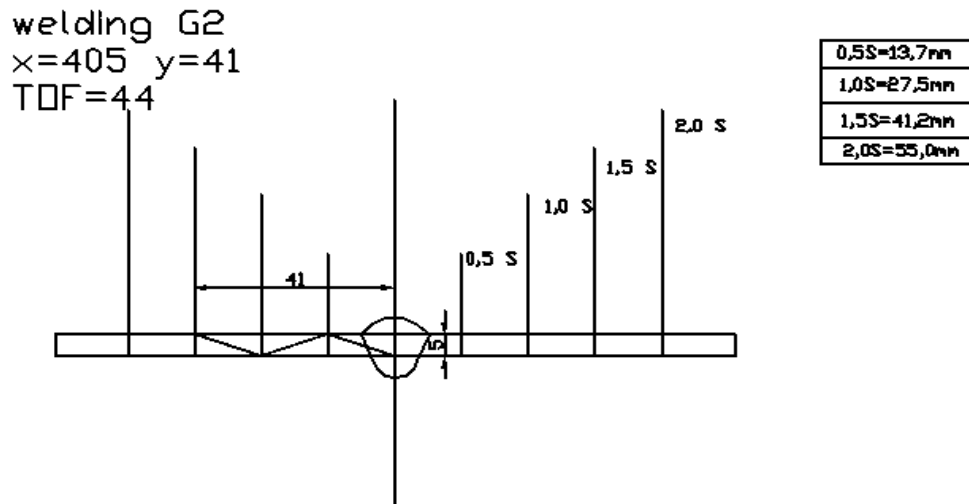


Σχήμα 53 : A-scan στη θέση  $x = 385 \text{ mm}$

## 5.4.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

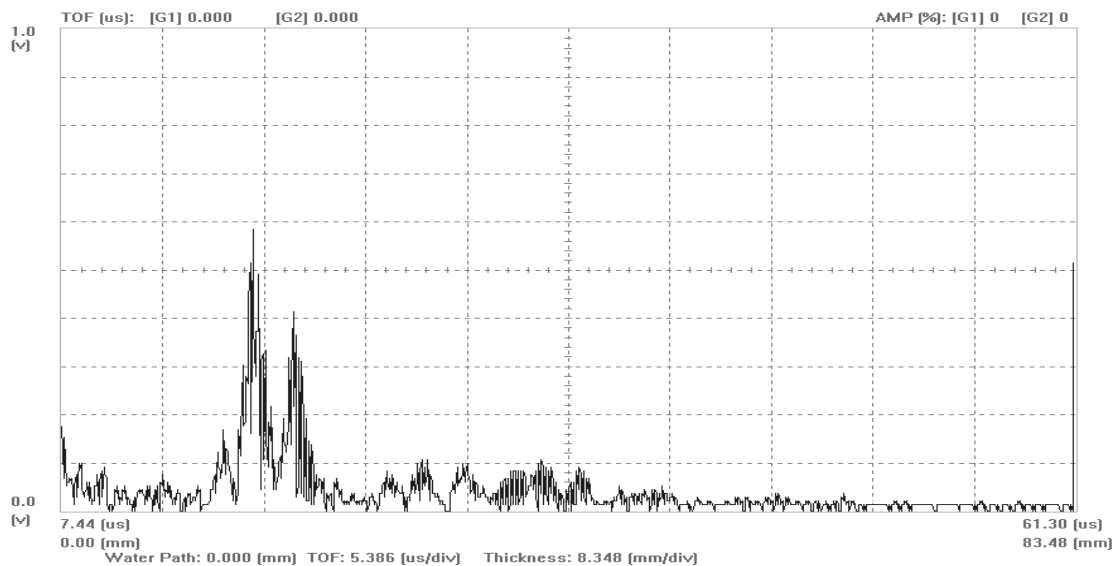
### 5.4.2α) ΘΕΣΗ $X = 405 \text{ mm}$

Κατά την σάρωση του δοκιμίου για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 405 \text{ mm}$  και  $y = -41 \text{ mm}$  (Σχήμα 54) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 55.



Σχήμα 54 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 405 \text{ mm}$

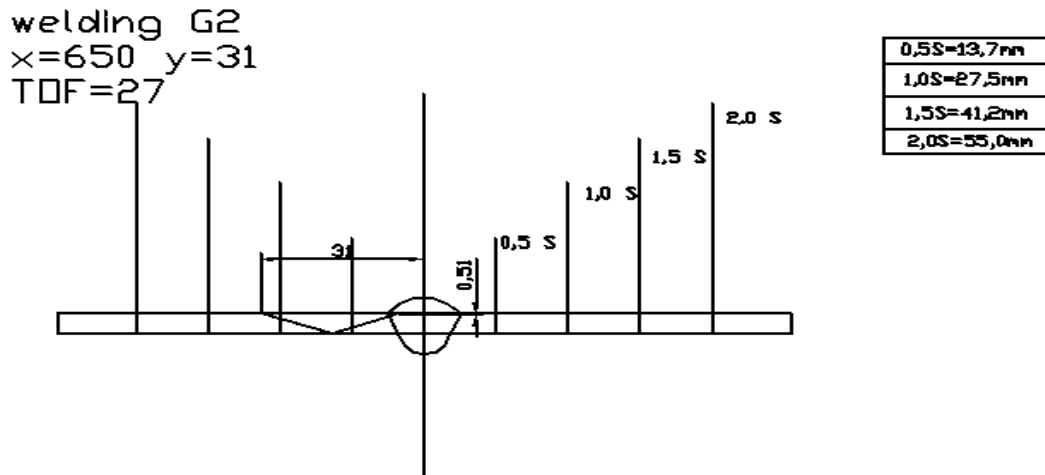
Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $44 \text{ mm}$  που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται στο ύψος της ρίζας και πάνω στον άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 5 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 55 : A-scan στη θέση  $x = 405 \text{ mm}$

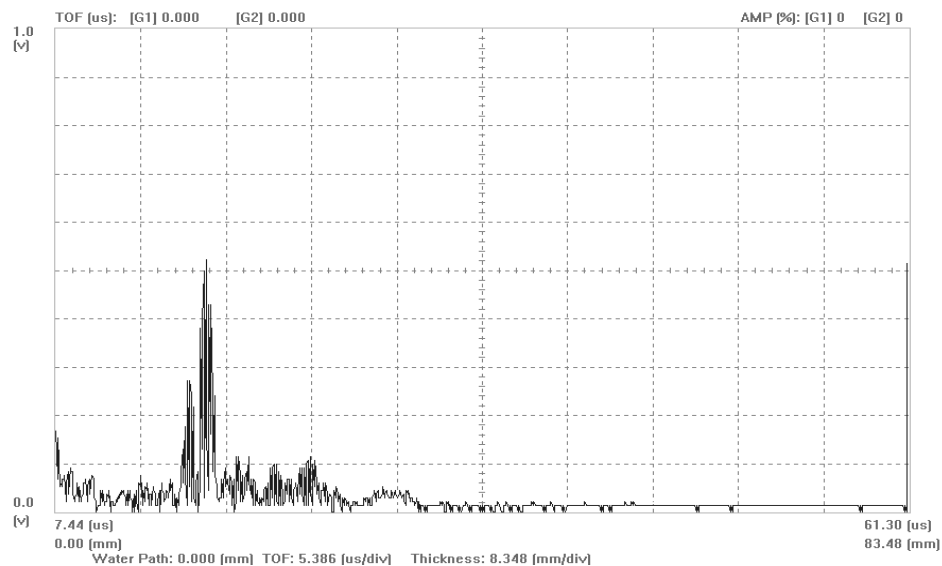
### 5.4.2β) ΘΕΣΗ X = 650 mm

Κατά την σάρωση του δοκιμίου για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 650 \text{ mm}$  και  $y = 31,2 \text{ mm}$  (Σχήμα 56) λαμβάνεται ανάκλαση που απεικονίζεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 57.



Σχήμα 56 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 650 \text{ mm}$

Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $27 \text{ mm}$ , που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια του βασικού μετάλλου και αριστερά του άξονα συγκόλλησης. Τέλος, από την γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 0,51 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 57 : A-scan στη θέση  $x = 650 \text{ mm}$

### 5.4.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>

Μετά τον έλεγχο του δοκιμίου G<sub>2</sub> με τη μέθοδο των υπερήχων οι παρατηρήσεις που έγιναν συνοψίζονται στον παρακάτω Πίνακα 6 :

ΠΙΝΑΚΑΣ 6: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>

X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
57	31	29	0	Πόρος δεξιά του άξονα
80	36	41	3,89	πόρος αερίου αριστερά του άξονα
175	36	37	2,57	στερεό έγκλεισμα κέντρο & δεξιά του άξονα
215	39	43	4,51	πόρος αερίου αριστερά του άξονα κοντά στη ρίζα
225	23	27	0,61	πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης
295	36	35	3,44	πόρος αερίου δεξιά του άξονα συγκόλλησης
385	36	42	6,45	πόροι αερίου στη ρίζα, αριστερά του άξονα συγκόλλησης στο άκρο
X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
405	-41	44	5	πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης
650	-31	27	0,51	πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης

## 5.5 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>

Έπειτα από την σάρωση του δοκιμίου G<sub>3</sub> και μη έχοντας κάποια ραδιογραφία εντοπιστήκαν κάποια σφάλματα των οποίων η διερεύνηση παρουσιάζεται παρακάτω.

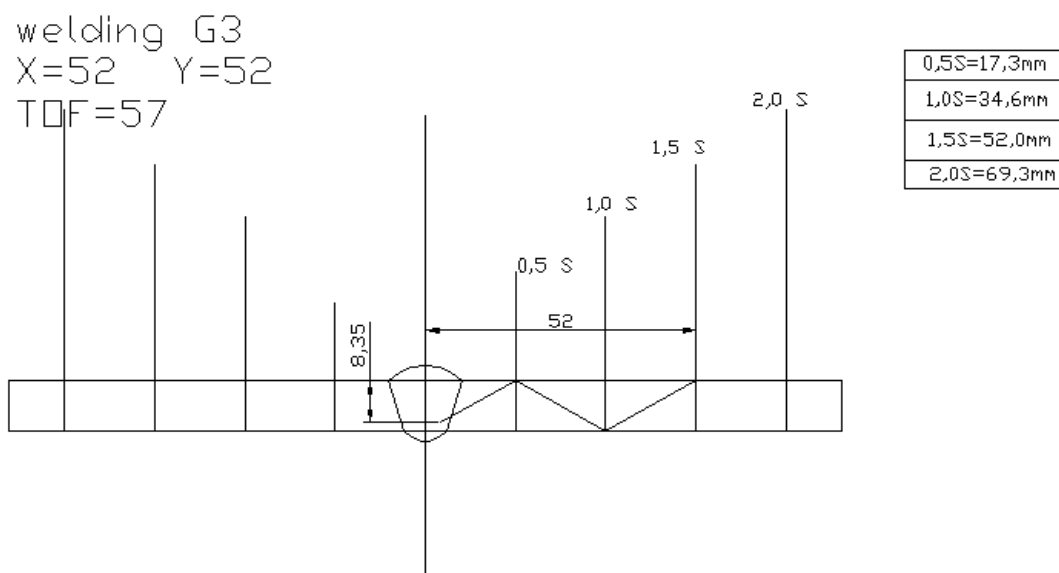
ΠΙΝΑΚΑΣ 7: ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>

ΔΟΚΙΜΙΟ G <sub>3</sub>	
ΘΕΣΗ X ( mm )	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗ
52	μικρός πόρος αερίου δεξιά στον άξονα συγκόλλησης
250	μεγάλος πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης
270	πόρος αερίου αριστερά στον άξονα συγκόλλησης
125	μικρός πόρος αερίου αριστερά του άξονα συγκόλλησης
180	μικρός πόρος αερίου δεξιά στον άξονα συγκόλλησης

### 5.5.1 ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

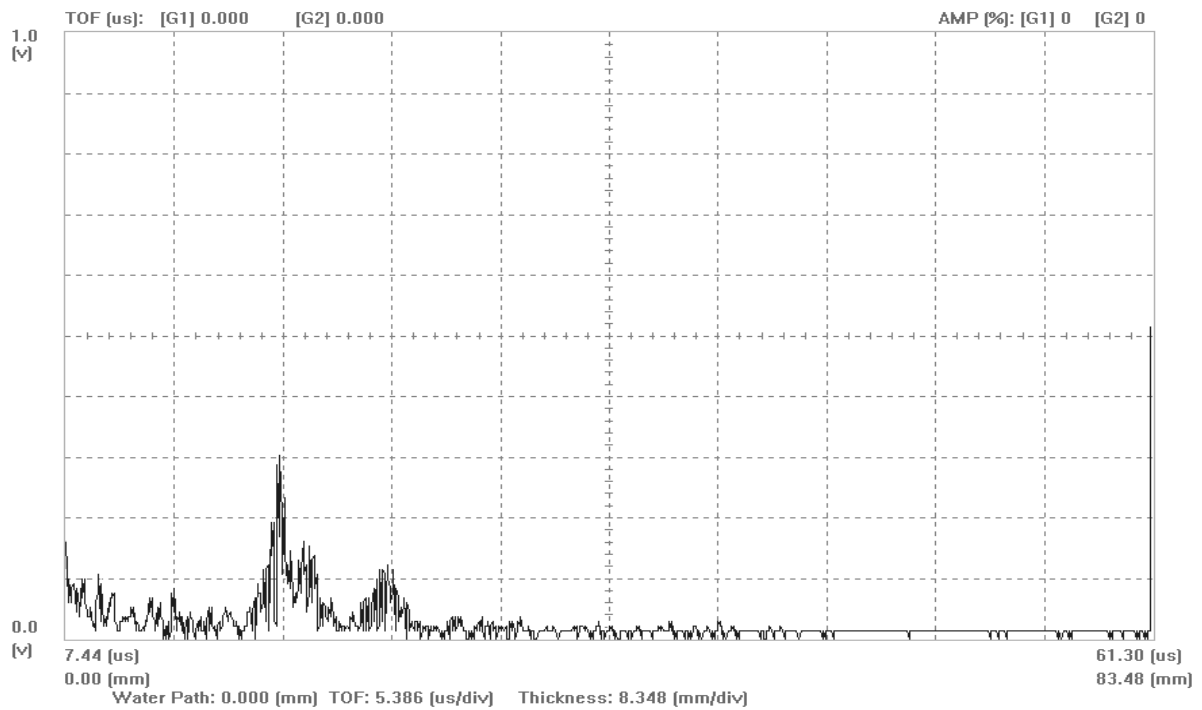
#### 5.5.1α) ΘΕΣΗ X = 52 mm

Κατά την σάρωση του δοκιμίου σε θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 52$  mm και  $y=52$  mm (Σχήμα 58) λαμβάνεται ανάκλαση όπως φαίνεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 59.



Σχήμα 58 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 52$  mm

Η συστοιχία ανακλάσεων που λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 57 mm, γεγονός που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται κοντά στη ρίζα και δεξιά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος από την γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 8,35 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.

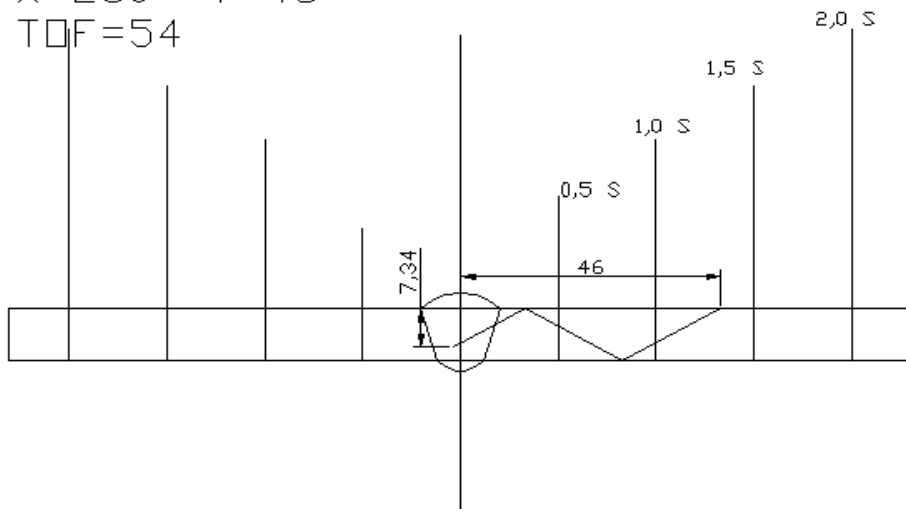


Σχήμα 59 : A-scan στη θέση  $x = 52 \text{ mm}$

### 5.5.1β) ΘΕΣΗ $X = 250 \text{ mm}$

Κατά την σάρωση του δοκιμίου σε θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 250 \text{ mm}$  και  $y = 46 \text{ mm}$  (Σχήμα 60) λαμβάνεται ανάκλαση, όπως φαίνεται στο διάγραμμα A-scan του Σχήματος 61.

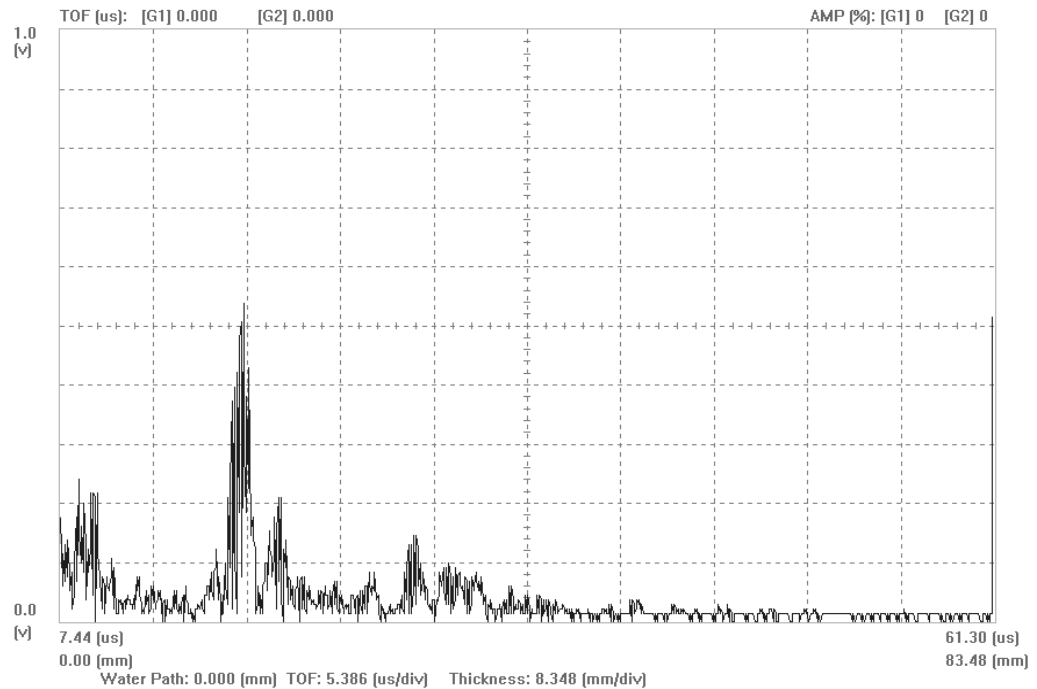
welding G3  
 X=250 Y=46  
 TOF=54



0,5S=17,3mm
1,0S=34,6mm
1,5S=52,0mm
2,0S=69,3mm

Σχήμα 60 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 250 \text{ mm}$

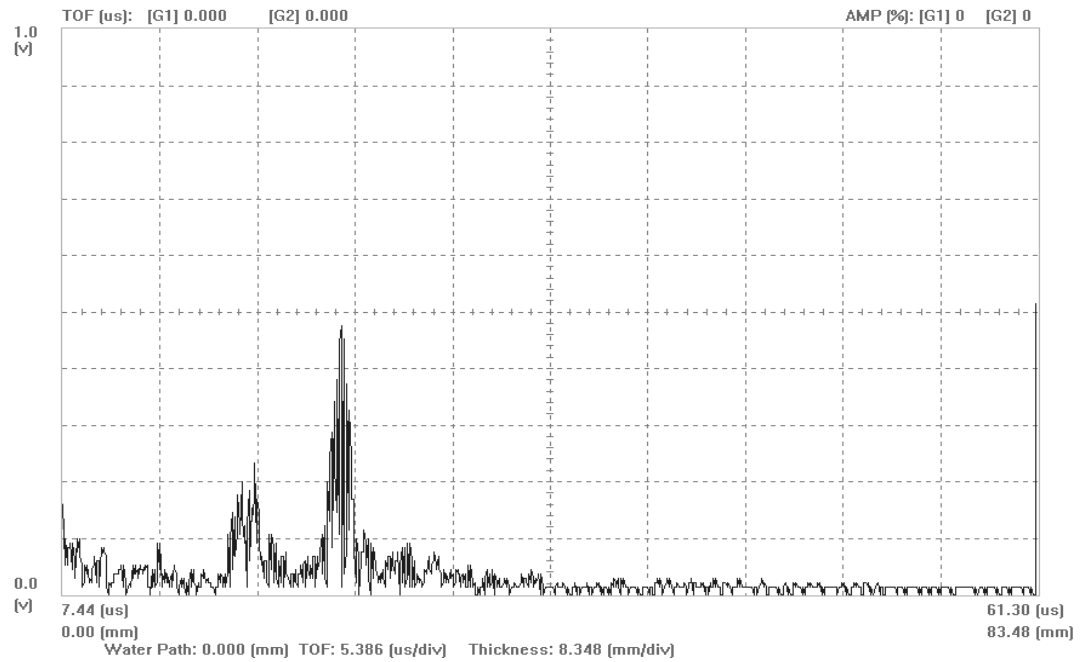
Η αμβλεία ανάκλαση που λαμβάνεται αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου 54 mm, που σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται ψηλότερα από την ρίζα και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 7,34 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 61 : A-scan στη θέση  $x = 250 \text{ mm}$





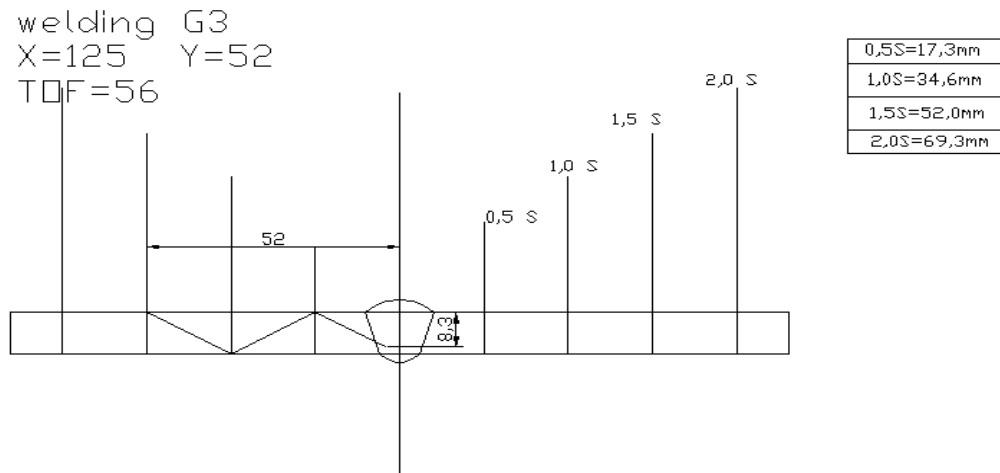


Σχήμα 63 : A-scan στη θέση  $x = 270 \text{ mm}$

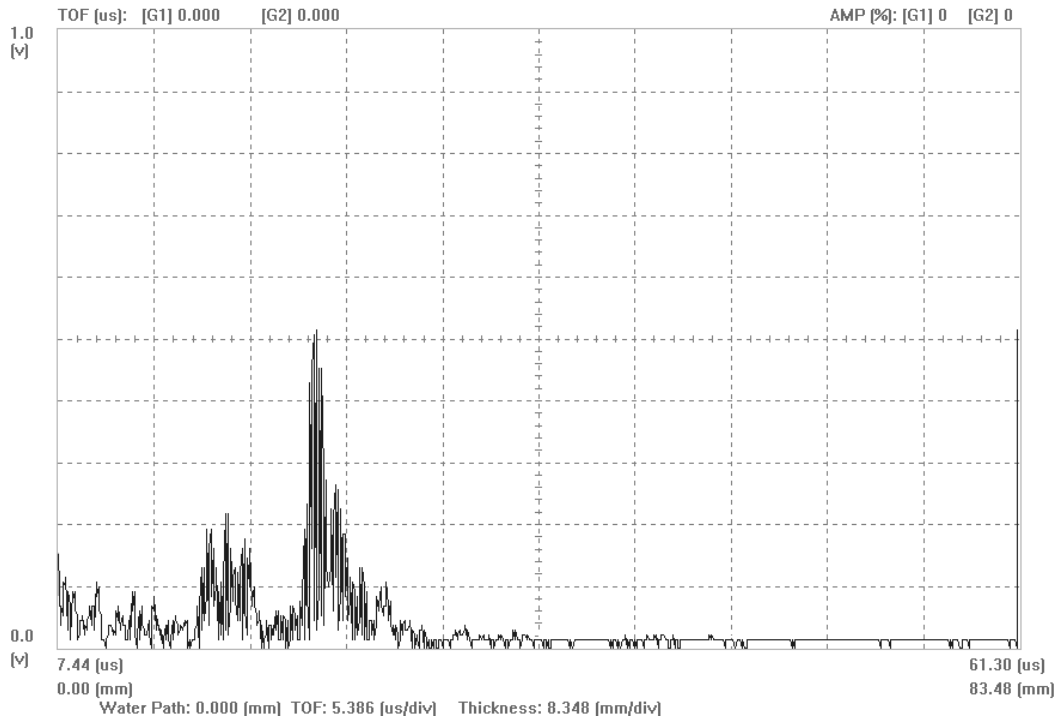
### 5.5.2 ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ

#### 5.5.2α) ΘΕΣΗ $X = 125 \text{ mm}$

Για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 125 \text{ mm}$  και  $y = -52 \text{ mm}$  (Σχήμα 64) λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan (Σχήμα 65) αμβλεία ανάκλαση που αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $56 \text{ mm}$ . Αυτό σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται ψηλότερα από τη ρίζα και αριστερά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 8,3 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



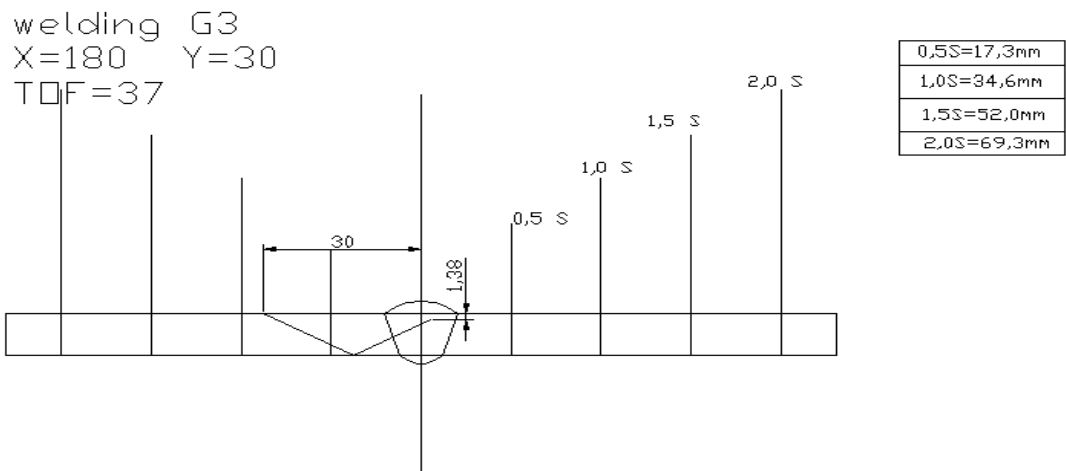
Σχήμα 64 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 125 \text{ mm}$  (οπίσθια όψη)



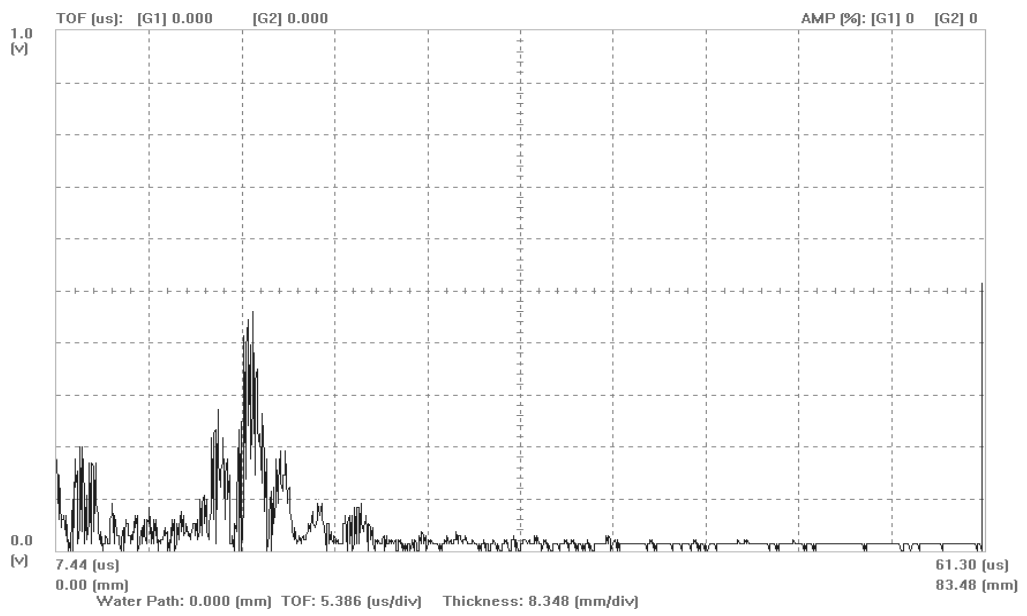
Σχήμα 65 : A-scan στη θέση  $x = 125 \text{ mm}$  (οπίσθια όψη)

### 5.5.2β) ΘΕΣΗ $X = 180 \text{ mm}$

Για θέση της κεφαλής με συντεταγμένες  $x = 180 \text{ mm}$  και  $y = -30 \text{ mm}$  (Σχήμα 66) λαμβάνεται στο διάγραμμα A-scan (Σχήμα 67) αμβλεία ανάκλαση που αντιστοιχεί σε διαδρομή ήχου  $37 \text{ mm}$ . Αυτό σημαίνει ότι η ατέλεια βρίσκεται δεξιά του άξονα της συγκόλλησης. Τέλος, από τη γεωμετρία της συγκόλλησης συμπεραίνεται ότι ο πόρος βρίσκεται σε βάθος  $z = 1,38 \text{ mm}$  από την επιφάνεια του μετάλλου.



Σχήμα 66 : Τοποθέτηση κεφαλής στη θέση  $x = 180 \text{ mm}$  (οπίσθια όψη)



Σχήμα 67 : A-scan στη θέση  $x = 180 \text{ mm}$  (οπίσθια όψη)

### 5.5.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΕΛΕΓΧΟΥ ΜΕ ΥΠΕΡΗΧΟΥΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>

Μετά τον έλεγχο του δοκιμίου G<sub>3</sub> με τη μέθοδο των υπερήχων οι παρατηρήσεις που έγιναν συνοψίζονται στον Πίνακα 8 :

#### ΠΙΝΑΚΑΣ 8:ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΥΠΕΡΗΧΩΝ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>

##### ΕΛΕΓΧΟΣ ΕΜΠΡΟΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
52	52	57	8,35	Πόρος δεξιά από τον άξονα κοντά στη ρίζα
250	46	54	7.34	Πόρος αριστερά από τον άξονα κοντά στη ρίζα
270	32	38	0.86	Πόρος αριστερά από τον άξονα

##### ΕΛΕΓΧΟΣ ΟΠΙΣΘΙΑΣ ΟΨΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

X ( mm )	Y ( mm )	TOF(mm)	Z ( mm )	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑ
125	-52	56	8.30	Πόρος αριστερά από τον άξονα κοντά στη ρίζα
180	-30	37	1.38	Πόρος δεξιά από τον άξονα

## 5.6 ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗΝ ΜΕΘΟΔΟ DAC Ø3

### 5.6.1 ΔΟΚΙΜΙΟ G<sub>1</sub>

Στον Πίνακα 9 παρουσιάζονται τα στοιχεία εύρους και απόστασης για τις ατέλειες του δοκιμίου G<sub>1</sub> και για την καμπύλη DAC Ø3 :

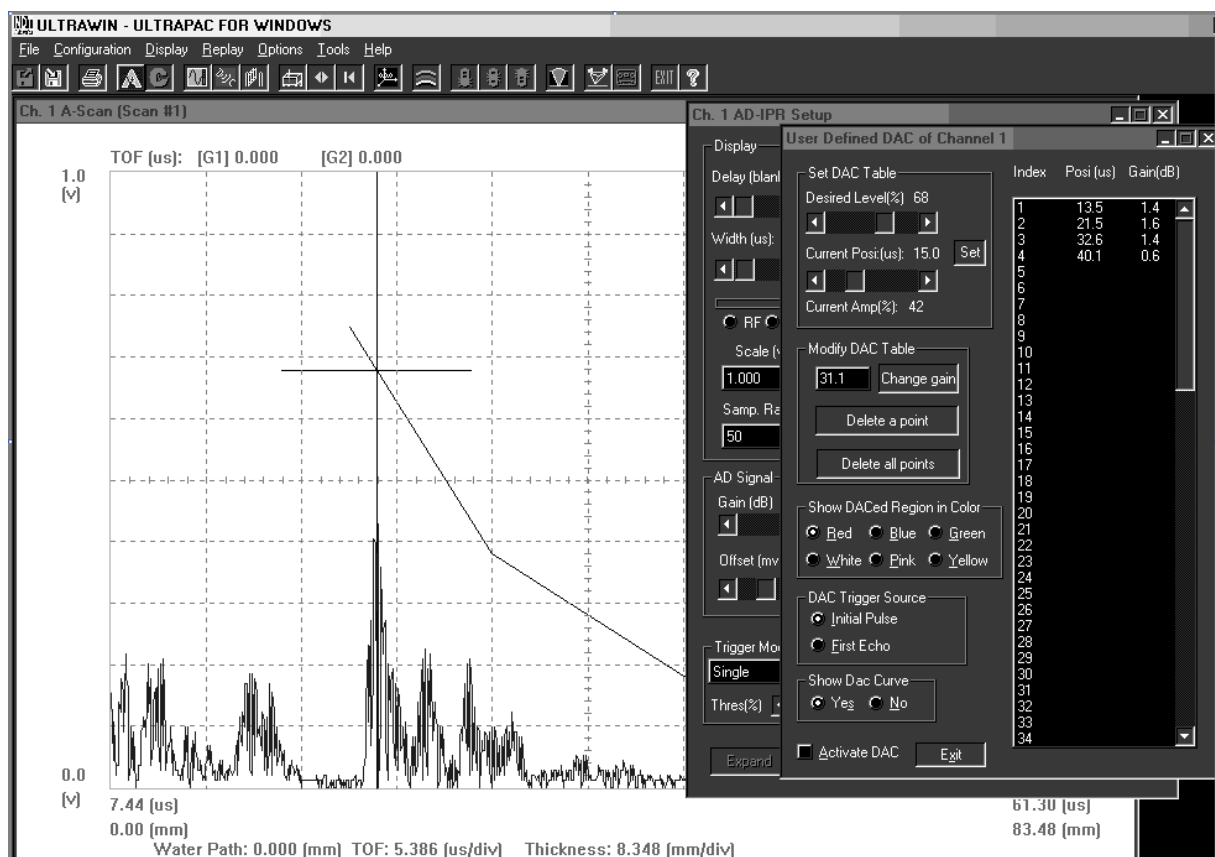
ΠΙΝΑΚΑΣ 9 : ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΥΡΟΥΣ- ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ( DISTANCE AMPLITUDE CURVE - DAC )		
ΘΕΣΗ X (mm )	ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ DAC	ΕΛΕΓΧΟΣ
74	20,35%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
110	31,70%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
215	41,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
230	17,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
265	39,9%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
324	32,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
380	29,15%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
476	23,80%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
493	25,50%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
575	29,40%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
600	30,30%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
656	24,78%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ

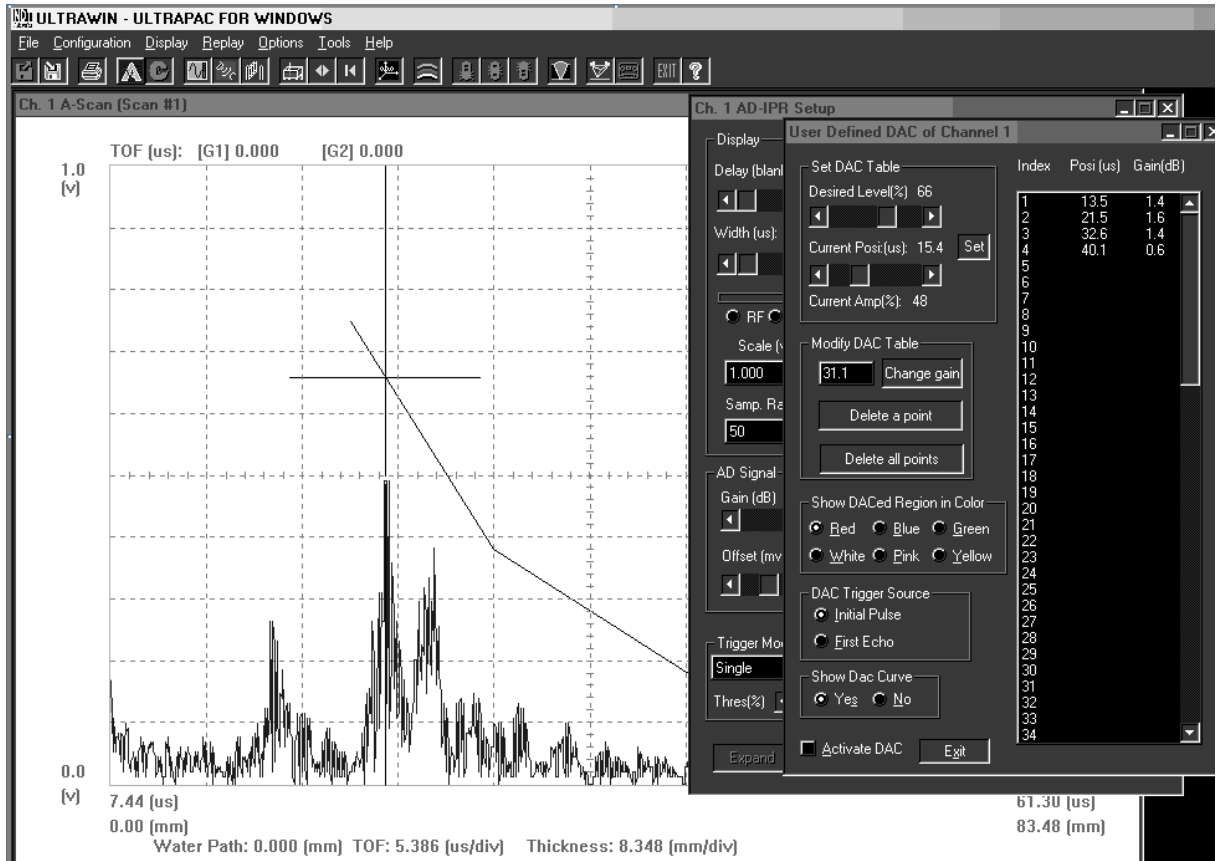
Η διαδικασία έχει αναλυθεί στο θεωρητικό μέρος. Εν συντομία επαναλαμβάνεται ότι στη διαδρομή ήχου στην οποία ένα ελάττωμα στη

συγκόλληση επιστρέφει σήμα, δίνοντας ανάκλαση στο διάγραμμα A-scan, σημειώνεται το εύρος του παλμού, δηλαδή το ποσοστό του ύψους της πλήρους οθόνης που καταλαμβάνει ( % Full Screen Height ή % FSH ), και στην συνέχεια το εύρος αυτό συγκρίνεται, για την ίδια βέβαια διαδρομή ήχου, με το ποσοστό του ύψους της πλήρους οθόνης που καταλαμβάνει η καμπύλη DAC στην εν λόγω θέση . Η αποδοχή σύμφωνα με τα πρότυπα του ΕΛΟΤ EN 1712 και EN 1714 γίνεται ως εξής : ατέλειες σε ποσοστό μικρότερο από 33 % της DAC δεν λαμβάνονται υπόψη και είναι πάντα αποδεκτές, ατέλειες σε ποσοστό μικρότερο από 50 % της DAC είναι αποδεκτές σύμφωνα με το επίπεδο αποδοχής 2 και ατέλειες σε ποσοστό μικρότερο από 80 % της DAC είναι αποδεκτές σύμφωνα με το επίπεδο αποδοχής 3.

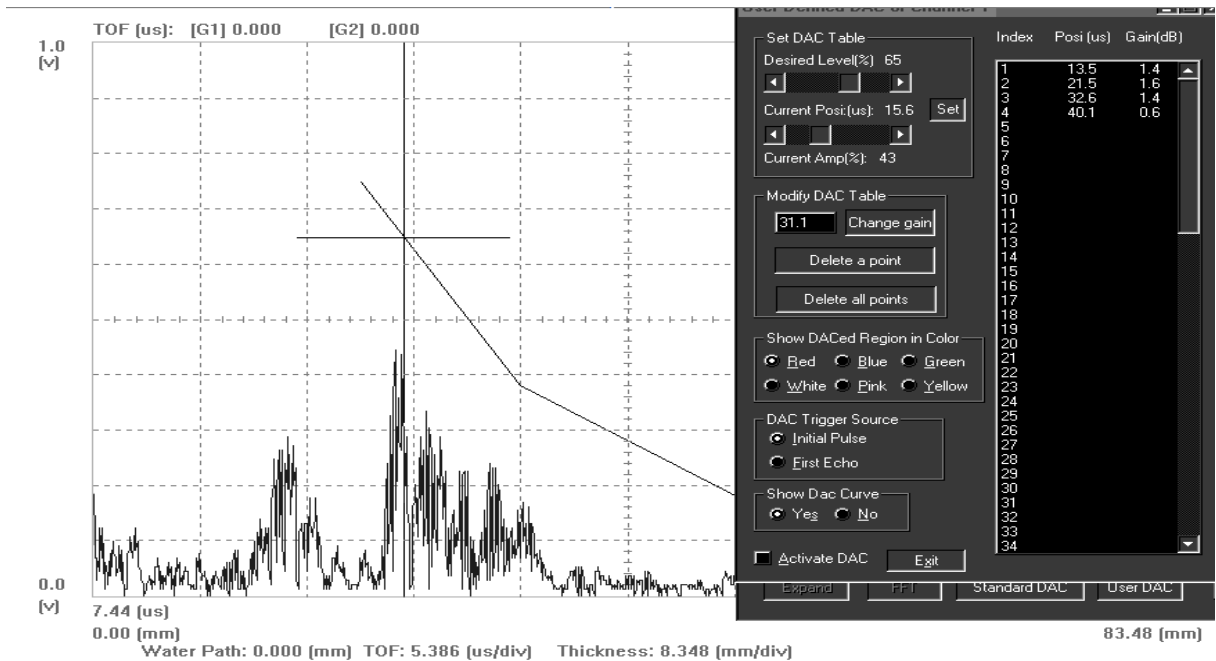
Στα διαγράμματα A-scan [ Σχήματα 68 έως 74] παρουσιάζονται οι ανακλάσεις των ελαττωμάτων σε σχέση με την καμπύλη DAC  $\varnothing 3$



Σχήμα 68 :Δοκίμιο G<sub>1</sub>: καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 74$  mm

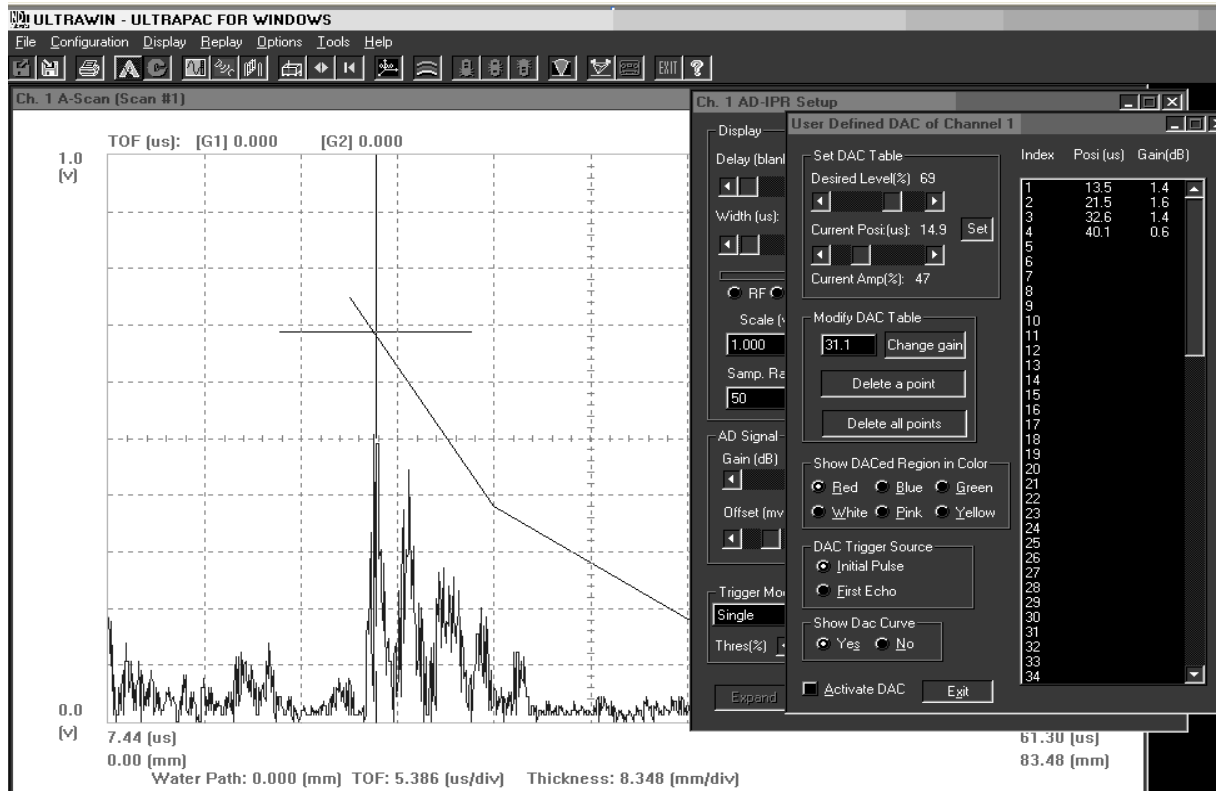


Σχήμα 69 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 110$  mm

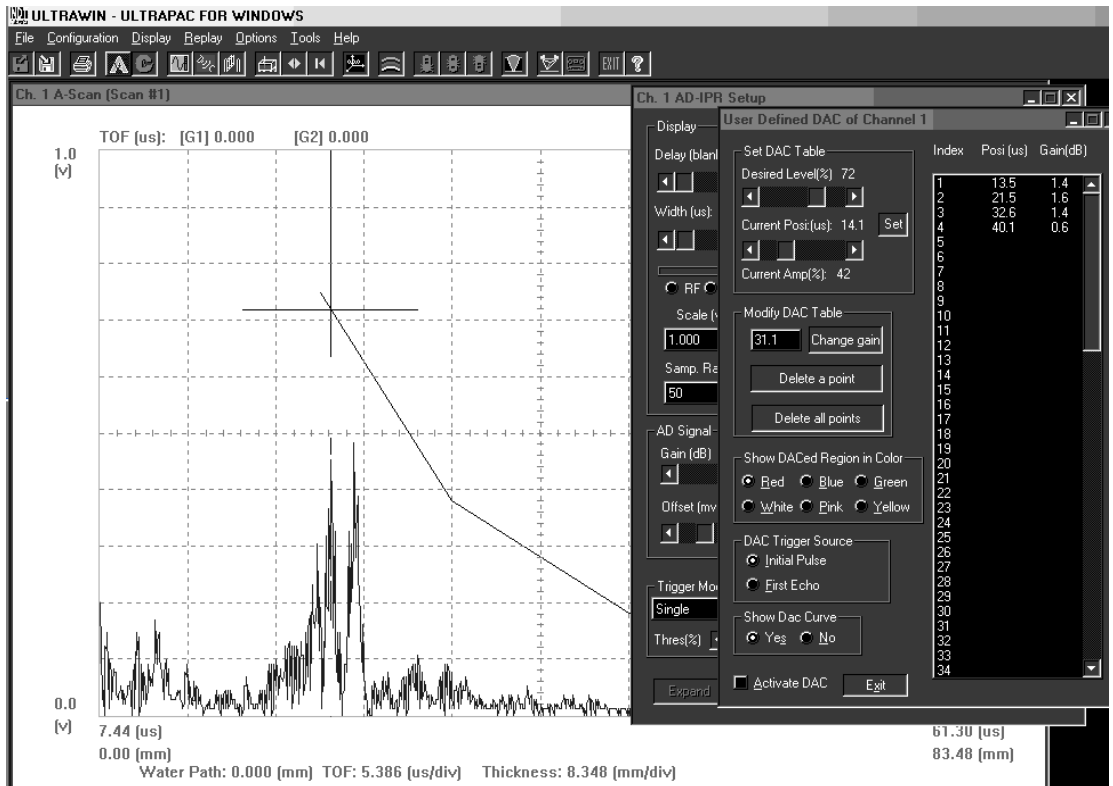


Σχήμα 70 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 215$  mm

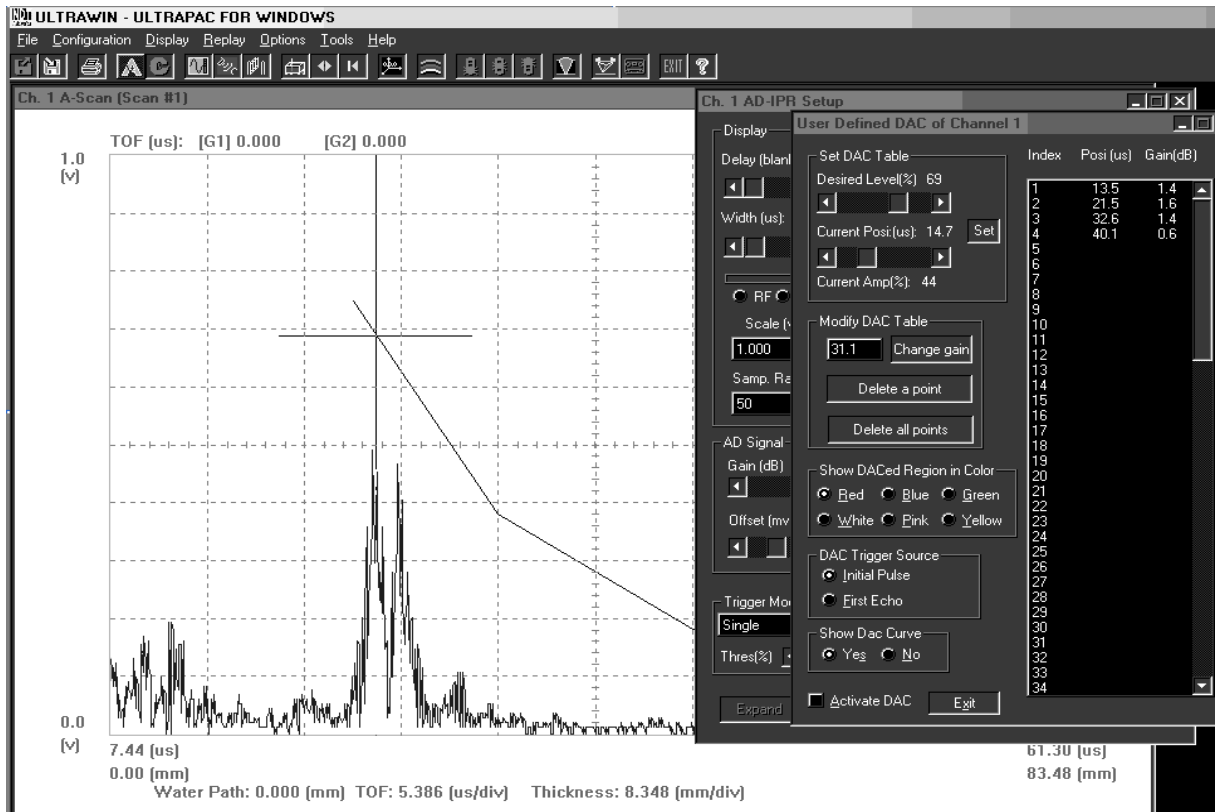




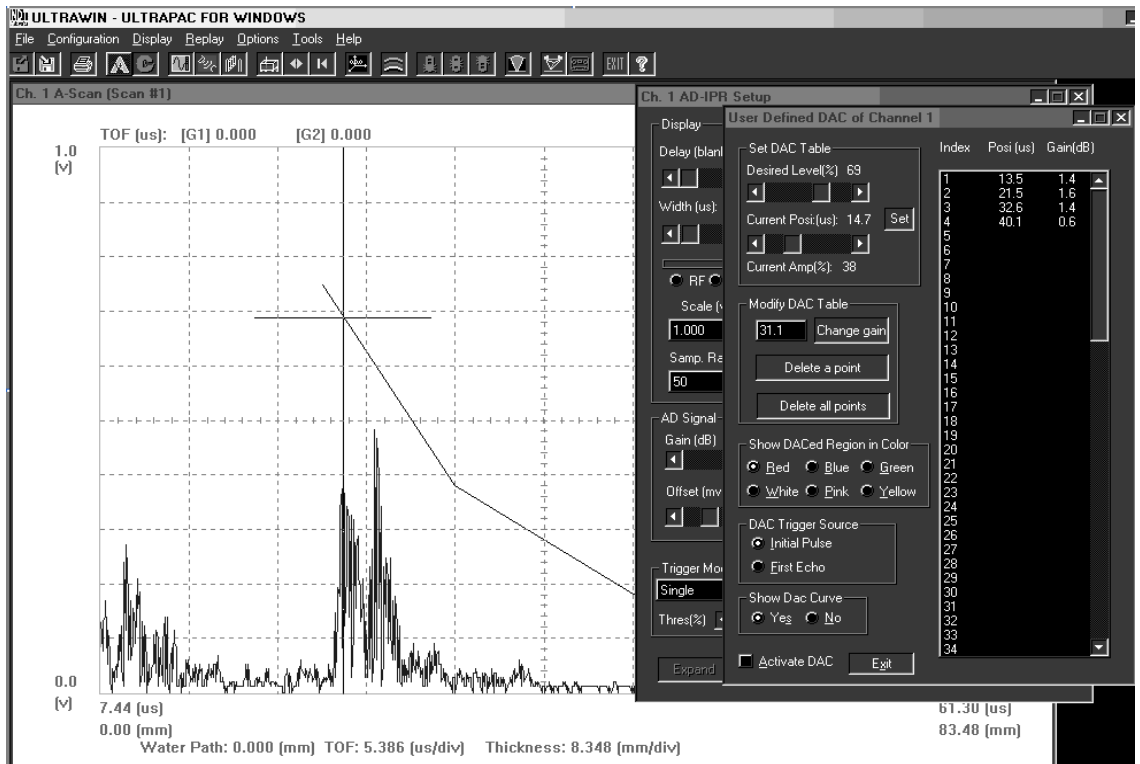
Σχήμα 71 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 230$  mm



Σχήμα 72 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 265$  mm



Σχήμα 73 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 324$  mm



Σχήμα 74 : Δοκίμιο  $G_1$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 380$  mm

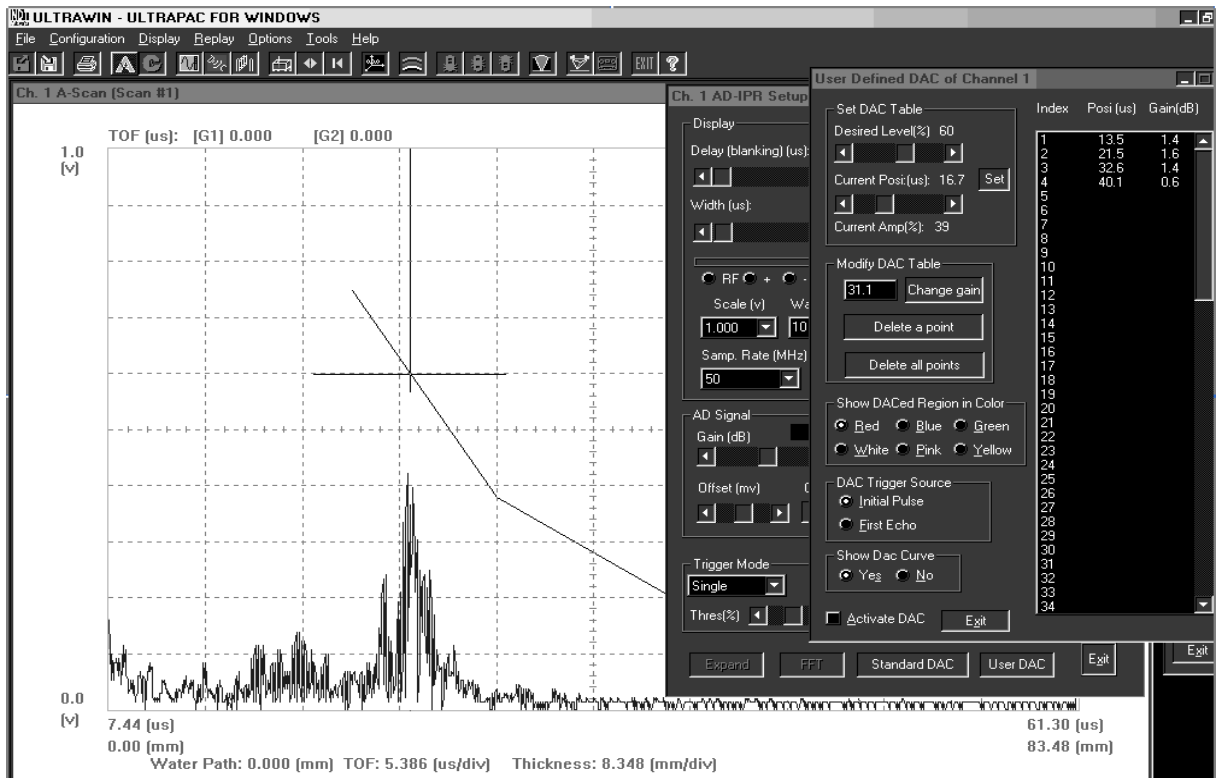
### 5.6.2 ΔΟΚΙΜΙΟ G<sub>2</sub>

Στον Πίνακα 10 παρουσιάζονται τα στοιχεία εύρους και απόστασης για τις ατέλειες του δοκιμίου G<sub>2</sub> και για την καμπύλη DAC  $\emptyset 3$ :

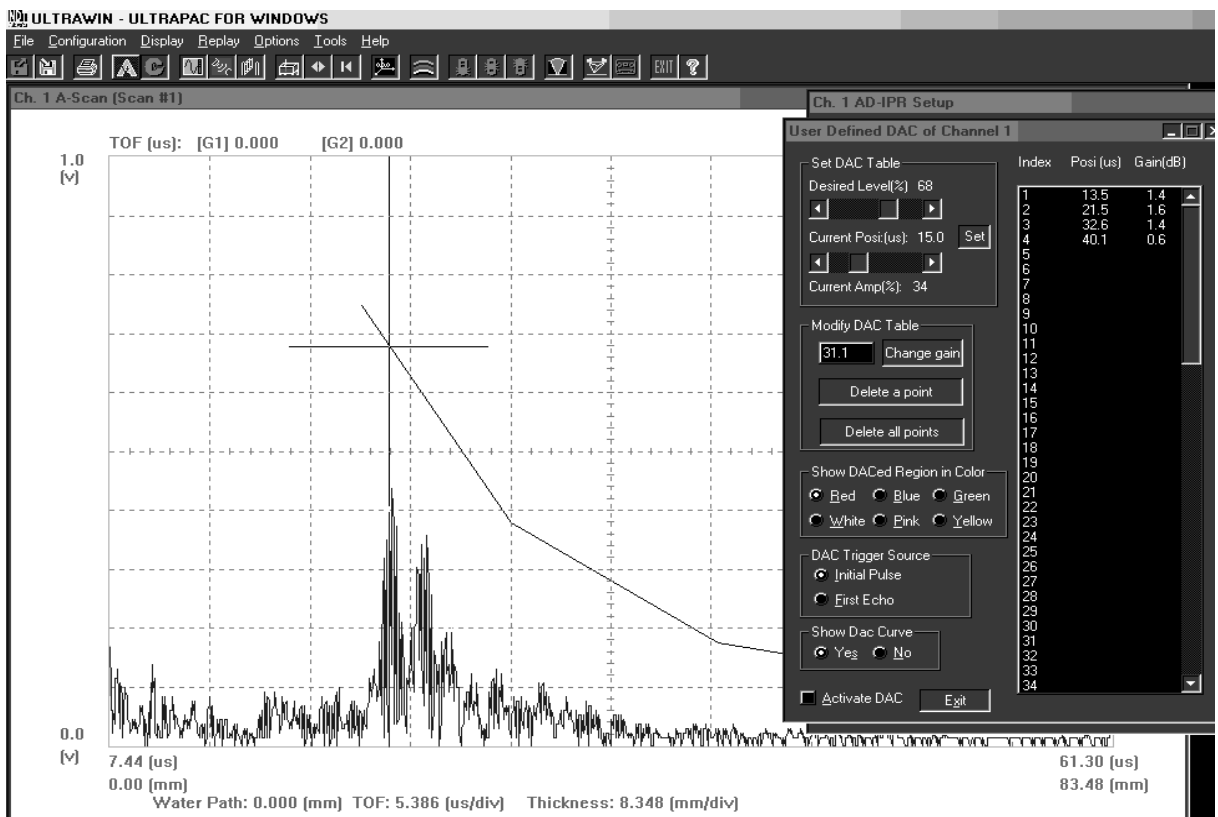
ΠΙΝΑΚΑΣ 10:ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>2</sub>

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΥΡΟΥΣ- ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ( DISTANCE AMPLITUDE CURVE - DAC )		
ΘΕΣΗ X ( mm)	ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ DAC	ΕΛΕΓΧΟΣ
57	22,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
80	40,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
175	18,90%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
215	35,20%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
225	23,40%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
295	37,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
385	41,40%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
405	23,10%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
650	15,60%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Στα διαγράμματα A-scan [ Σχήματα 75 έως 76] παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις ανακλάσεις των ελαττωμάτων σε σχέση με την καμπύλη DAC  $\emptyset 3$



Σχήμα 75 : Δοκίμιο  $G_2$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 225$  mm



Σχήμα 76 : Δοκίμιο  $G_2$ : καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 405$  mm

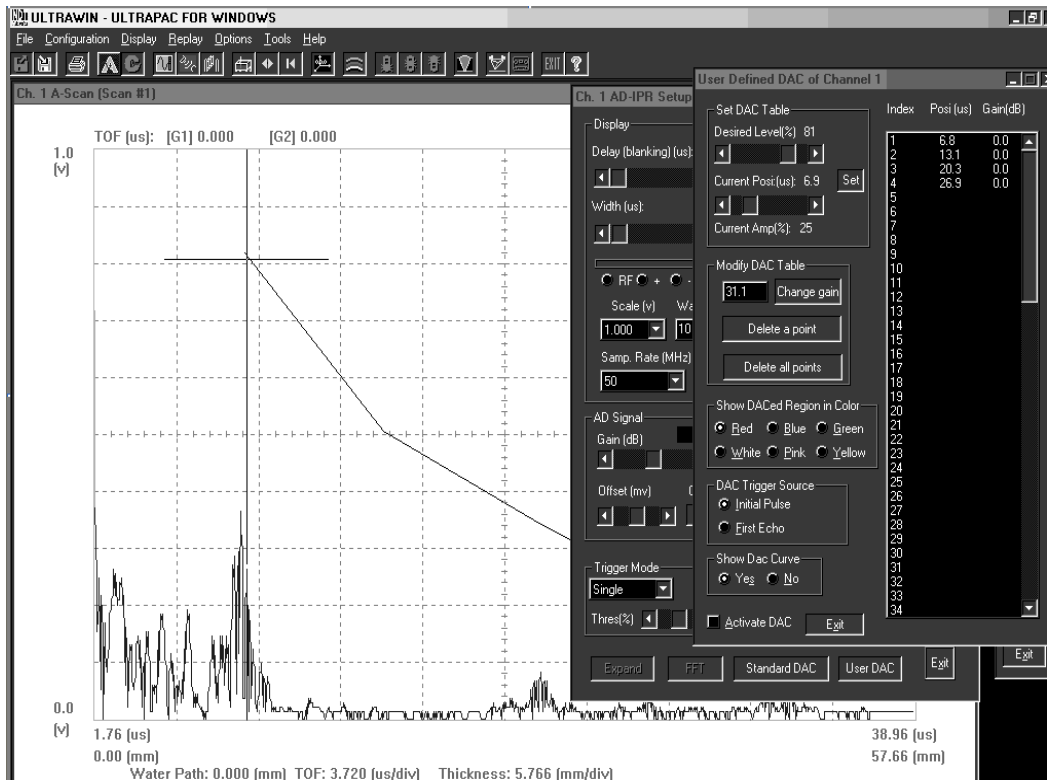
### 5.6.3 ΔΟΚΙΜΙΟ G<sub>3</sub>

Στον Πίνακα 11 παρουσιάζονται τα στοιχεία εύρους και απόστασης για τις ατέλειες του δοκιμίου N<sub>9</sub> και για την καμπύλη DAC  $\emptyset 3$ :

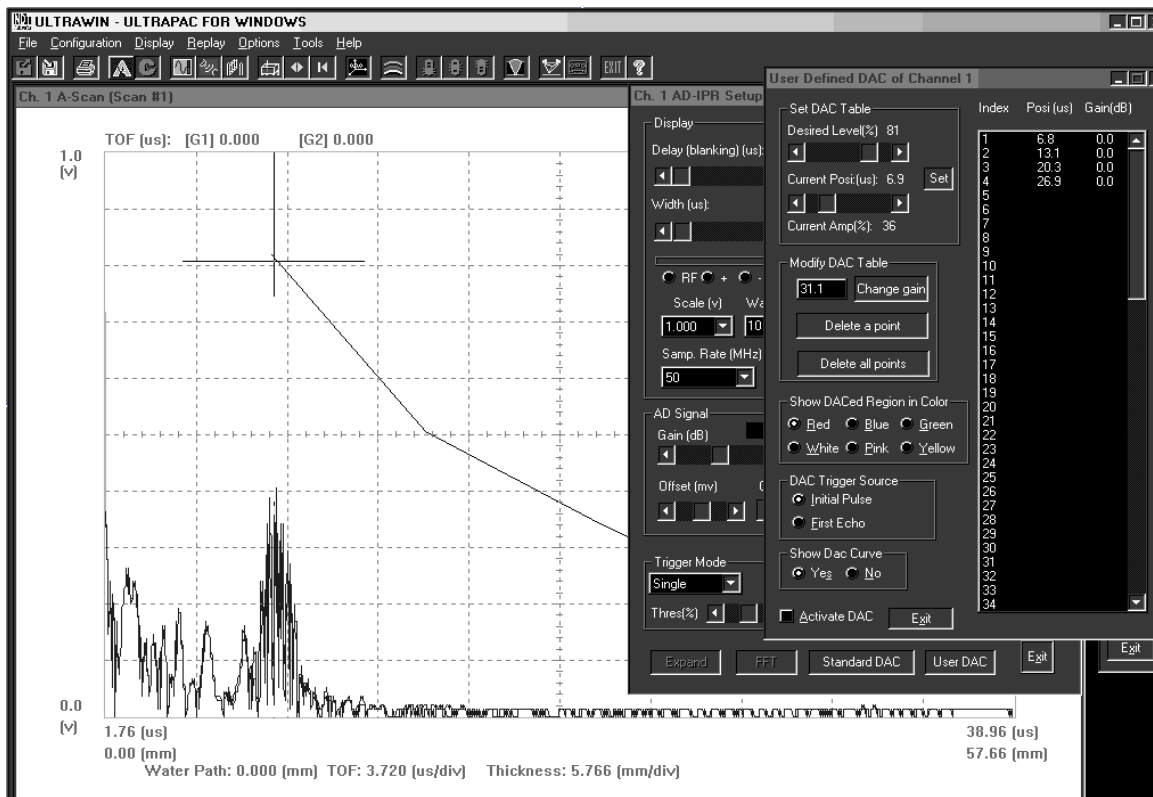
ΠΙΝΑΚΑΣ 11: ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ ΑΤΕΛΕΙΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>3</sub>

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΚΑΜΠΥΛΗ ΕΥΡΟΥΣ- ΑΠΟΣΤΑΣΗΣ ( DISTANCE AMPLITUDE CURVE - DAC )		
ΘΕΣΗ X ( mm )	ΠΟΣΟΣΤΟ ΤΗΣ DAC	ΕΛΕΓΧΟΣ
52	22,14%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
250	20,0%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
270	24,60%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
125	29,10%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ
180	17,20%	ΑΠΟΔΕΚΤΗ

Στα διαγράμματα A-scan [ Σχήματα 77 έως 78] παρουσιάζονται ενδεικτικά κάποιες από τις ανακλάσεις των ελαττωμάτων σε σχέση με την καμπύλη DAC  $\emptyset 3$



Σχήμα 77 : Δοκίμιο G<sub>3</sub>: καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 250$  mm



Σχήμα 78 : Δοκίμιο G<sub>3</sub>: καμπύλη DAC  $\varnothing 3$  στη θέση  $x = 125$  mm

## 6 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

### 6.1 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΣΤΟΝ ΕΛΕΓΧΟ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΩΝ ΥΠΕΡΗΧΩΝ

1. Τα χυτά, λόγω της χονδρόκοκκης δομής τους, προκαλούν "θόρυβο" και παραμόρφωση στη δέσμη των υπερήχων. Αυτό μπορεί να αποφευχθεί μεγαλώνοντας το μήκος κύματος του υπερήχου, ανάλογα με το μέγεθος των κόκκων του υλικού, και αλλάζοντας την κατεύθυνση της δέσμης, χρησιμοποιώντας διάφορες κεφαλές γωνιακής εκπομπής. Πάρα πολύ χονδρόκοκκα υλικά δεν είναι κατάλληλα για έλεγχο με υπερήχους. Γενικά, πάντως, τα χυτά τεμάχια, επειδή συνήθως έχουν πολύπλοκα σχήματα, δεν ευνοούν τον έλεγχο με υπερήχους.

2. Οι σφυρήλατοι χάλυβες, έχουν πολύ καλή κρυσταλλική δομή, με αποτέλεσμα να προκαλούν πολύ μικρή απόσβεση στη δέσμη των υπερήχων. Επομένως, ευνοείται η μέθοδος των υπερήχων για το μη καταστροφικό έλεγχο.

3. Ο έλεγχος με υπερήχους μπορεί να εφαρμοστεί σε προϊόντα εξέλασης και γενικά σε λεπτές πλάκες μετάλλου. Παράλληλες, προς την επιφάνεια σάρωσης, επικαλύψεις λεπτών στρωμάτων ελέγχονται με κεφαλές καθέτου ηχοσκοπήσεως, ενώ τα περισσότερα ελαττώματα εντοπίζονται με κεφαλές γωνιακής εκπομπής.

4. Τα εγκάρσια κύματα, δεν διαδίδονται στα υγρά, στα αέρια και σε μερικά πλαστικά. Το μήκος κύματός τους είναι σχεδόν το μισό από το μήκος κύματος των διαμηκών κυμάτων, με αποτέλεσμα να μπορούν να ανιχνεύσουν μικρότερες ασυνέχειες.

5. Η μετρητική διάταξη που χρησιμοποιείται, πρέπει να ελέγχεται και να βαθμονομείται κάθε φορά πριν από την έναρξη του ελέγχου.

6. Εάν το προς έλεγχο τεμάχιο έχει μεγάλη επιφανειακή τραχύτητα, μειώνεται το ύψος των αντηχήσεων στην οθόνη της συσκευής, εξαιτίας της σκέδασης που παρατηρείται στη δέσμη των υπερήχων.

7. Ελαττώματα με ανώμαλη επιφάνεια προκαλούν μεγαλύτερη σκέδαση στη δέσμη από αντίστοιχα με πιο λεία επιφάνεια.

8. Μη μεταλλικά εγκλείσματα έχουν γενικά ανώμαλη επιφάνεια, με αποτέλεσμα να προκαλούν μεγαλύτερη σκέδαση από ότι οι ρωγμές.
9. Οι κεφαλές μεγαλύτερης διαμέτρου παράγουν πιο αιχμηρή και λιγότερο αποκλίνουσα δέσμη για την ίδια συχνότητα.
10. Για τον εντοπισμό πολύ μικρών ελαττωμάτων χρησιμοποιούνται κεφαλές μικρής διαμέτρου και υψηλής συχνότητας.
11. Οι κεφαλές μεγάλης διαμέτρου και μικρής συχνότητας, παράγουν παλμό με μεγαλύτερη διεισδυτική ικανότητα.
12. Όσο πιο μεγάλη είναι η συχνότητα, τόσο πιο λεπτός είναι ο κρύσταλλος της κεφαλής. Για συχνότητες μεγαλύτερες των 10 MHz, ο κρύσταλλος είναι πολύ λεπτός και χρησιμοποιείται μόνο σε τεχνικές εμβαπτισμού.
13. Άσχετες ενδείξεις στην οθόνη της συσκευής μπορεί να οφείλονται σε φαινόμενα μετατροπής στον τύπο του κύματος. Τα εγκάρσια κύματα επιστρέφουν αργότερα στην κεφαλή από τα διαμήκη, λόγω της μικρότερης ταχύτητας μετάδοσής τους. Το πρόβλημα γίνεται πολύ έντονο όταν ελέγχουμε σε αποστάσεις μεγαλύτερες του "full skip".
14. Άσχετες ενδείξεις μπορεί να οφείλονται και στο σχήμα του τεμαχίου. Πρέπει, επομένως, να ελέγχεται με την κεφαλή από διάφορες θέσεις για να επαληθεύεται η ύπαρξη ή όχι ενός ελαττώματος.
15. Οι σωληνοειδής διατομές ελέγχονται με εγκάρσια κύματα.
16. Άσχετες ενδείξεις κατά τον έλεγχο συγκολλήσεων, πιθανόν να οφείλονται σε αντανάκλασεις από την κεφαλή, τη ρίζα ή και τη θερμικά επηρεασμένη ζώνη, εάν οι αντανάκλασεις αυτές παραμένουν σε όλο το μήκος της ραφής.
17. Το υγρό προσαρμογής πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν πιο λεπτό. Ένα παχύ στρώμα, θα επηρεάσει την κατευθυντικότητα της δέσμης και θα προκαλέσει ψεύτικες αντανάκλασεις, που υποτίθεται ότι οφείλονται στην επιφάνεια του τεμαχίου.
18. Κυλινδρικά τεμάχια πιθανόν να δώσουν ψεύτικους παλμούς, ιδίως όταν δεν χρησιμοποιούνται κατάλληλα διαμορφωμένα παπουτσάκια.
19. Κατά τον έλεγχο συγκολλήσεων, όσο αυξάνεται το πάχος του τεμαχίου, τόσο πρέπει να μειώνεται η γωνία της κεφαλής που χρησιμοποιούμε.
20. Λανθασμένες ή άσχετες ενδείξεις μπορεί, επίσης, να οφείλονται:



- σε παρεμβολές εξαιτίας ηλεκτρικών κυκλωμάτων
- σε σπασμένη κεφαλή
- σε φυσαλίδες αέρα στο υγρό προσαρμογής που βρίσκεται ανάμεσα στην κεφαλή και στο τεμάχιο
- αντανακλάσεις στον παλμό που συμβαίνουν μέσα στην ίδια την κεφαλή ή και μέσα στο παπουτσάκι (για κεφαλές γωνιακής εκπομπής). Αυτές παραμένουν και όταν απομακρυνθεί η κεφαλή από το τεμάχιο.
- στα όρια των κόκκων του υλικού
- σε μετατροπή στον τύπο του κύματος.

## **6.2 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΚΤΕΛΕΣΗ ΤΟΥ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ**

- 1) Με τους υπέρηχους είναι δύσκολο να εντοπίσουμε επακριβώς τη θέση των σφαλμάτων. Πάντα έχουμε μια εικόνα για την πιθανή θέση αυτών.
- 2) Ο έλεγχος της συγκόλλησης για την εύρεση πιθανών ατελειών-σφαλμάτων απαιτεί μεγάλη εμπειρία.
- 3) Ξεκινώντας τον έλεγχο της συγκόλλησης πάντα κάνουμε βαθμονόμηση (*calibration*) της κεφαλής που χρησιμοποιούμε για να επιβεβαιώσουμε ότι βρίσκεται σε καλή κατάσταση, δηλαδή ότι δεν έχει αλλάξει το σημείο εξόδου της δέσμης του υπέρηχου. Η βαθμονόμηση αναφέρεται στην κεφαλή και μόνο.
- 4) Ρυθμίζουμε την οθόνη μας - δηλαδή το *width* και το *delay* – με βάση την DAC 3 mm.
- 5) Για να παίρνουμε σωστές ενδείξεις θα πρέπει να υπάρχει αρκετή ποσότητα γλυκερίνης –όχι όμως και υπερβολική – και καλή επαφή μεταξύ κεφαλής και δοκιμίου.
- 6) Όταν ελέγχουμε μια συγκόλληση και οδηγούμε την κεφαλή πάνω στις ζώνες ελέγχου που έχουμε ήδη χαράξει είναι προτιμότερο να κινούμαστε πάνω στις κοντινότερες ζώνες ελέγχου προς τη συγκόλληση γιατί όσο απομακρυνόμαστε έχουμε απώλεια ενέργειας και εντοπίζουμε τα σφάλματα δυσκολότερα.

### 6.3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΟΣ

Τα συμπεράσματα των πειραματικών αποτελεσμάτων στα δοκίμια στα οποία εφαρμόστηκε η μέθοδος DAC 3 mm για την κατάταξη των ατελειών τους σύμφωνα με τις προδιαγραφές είναι:

#### Δοκίμιο G<sub>1</sub>

- Στο δοκίμιο G<sub>1</sub> τα σφάλματα που εντοπίστηκαν αφορούσαν κυρίως την ύπαρξη πόρων αερίου και περιπτώσεις ατελούς διείσδυσης, πράγμα το οποίο φάνηκε και στη ραδιογραφία.
- Η αξιολόγησή των σφαλμάτων με τη μέθοδο DAC 3 mm έδωσε ποσοστά από 17% - 40%.
- Τα περισσότερα από αυτά (περίπου το 80%) είναι μικρότερα από το 33% και κατατάσσονται στην ζώνη 1 (πάντα αποδεκτό σφάλμα).

#### Δοκίμιο G<sub>2</sub>

- Στο δοκίμιο G<sub>2</sub> τα σφάλματα που εντοπίστηκαν αφορούσαν κυρίως την ύπαρξη πόρων αερίου και περιπτώσεις ατελούς διείσδυσης.
- Η αξιολόγησή των σφαλμάτων με τη μέθοδο DAC 3 mm έδωσε ποσοστά από 15% - 40%.
- Περίπου τα μισά από αυτά κατατάσσονται στην ζώνη 2.

#### Δοκίμιο G<sub>3</sub>

- Στο δοκίμιο G<sub>3</sub> τα σφάλματα που εντοπίστηκαν αφορούσαν κυρίως την ύπαρξη πόρων αερίου και περιπτώσεις ατελούς διείσδυσης.
- Η αξιολόγησή των σφαλμάτων με τη μέθοδο DAC 3 mm έδωσε ποσοστά από 17% - 30%.
- Όλα τα σφάλματα κατατάσσονται στην ζώνη 1.

### 6.4 ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

1. Εκτίμηση - Σύγκριση ατελειών με την χρήση Ακουστικών Μεθόδων - Ακτίνων - X.
2. Έλεγχος συγκολλήσεων δοκιμίων πλακών διαφορετικού πάχους.
3. Έλεγχος συγκολλήσεων δοκιμίων διαφορετικής γεωμετρίας (π.χ. γωνιακές, ταυ).

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. I.N. Πρασιανάκη, “Μη Καταστροφικοί Έλεγχοι- Η Μέθοδος Των Υπερήχων “, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1993
2. Β.Ι. Παπάζογλου, “ Ναυπηγική Τεχνολογία “, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1995
3. Β.Ι. Παπάζογλου, Γ.Δ. Παπαδημητρίου “ Επιστήμη και τεχνική των συγκολλήσεων “, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1994
4. Baldev Raj. C.V. Subramanian, T. Jayakumar “ Non – Destructive Testing of Welds “, Alpha Science International LTD, India, 2000
5. Jack Blitz and Geoff Simpson “ Ultrasonic Method of Non – Destructive Testing “, Chapman & Hall, London, 1996
6. Μ. Κ. Κωτούζας “ Υπέρηχοι – Ultrasonic Testing – 1. Σημειώσεις Θεωρίας, 2. Ταξινόμηση Ασυνεχειών “, Κέντρο Τεχνολογίας και Ποιοτικού Ελέγχου, Βόλος, 2000
7. Commission V, Testing measurement and control of welds, International Institute of Welds, “ Handbook of the Ultrasonic examination of Welds “, Abington Hall, Cambridge, 1997
8. ASTM, “ Annual Book of ASTM Standards “, Section 3, Volume 03.03, ASTM Committee On Standards, Philadelphia, 1997
9. ΕΛΟΤ EN 1712 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους συγκολλημένων συνδέσμων – Επίπεδα αποδοχής “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 1997
10. ΕΛΟΤ EN 1714 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους συγκολλημένων συνδέσμων “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 1997
11. ΕΛΟΤ EN 583 – 5 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους – Μέρος 5: Χαρακτηρισμός και Διαστασιολόγηση ασυνεχειών “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 2001

12. ΕΛΟΤ EN 583.02 “ Μη καταστροφικοί Έλεγχοι συγκολλήσεων – Έλεγχος με υπερήχους – Μέρος 2: Ρύθμιση της ευαισθησίας και του εύρους “, © ΕΛΟΤ ΕΛΛΗΝΙΚΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗΣ Α. Ε., Αθήνα, 2001
13. Jim Houf “ Practical Contact Ultrasonic – Angle Beam Inspection “, TNT The NDT Technician A Quarterly Publication for The NDT Practitioner, Vol. 3 Number 2, A Publication of the American Society for Non-destructive Testing ( 2004 ), 5 – 8
14. Jim Houf “ Practical Contact Ultrasonic – IIW Based Angle Beam Calibration “, TNT The NDT Technician A Quarterly Publication for The NDT Practitioner, Vol. 3 Number 3, A Publication of the American Society for Non-destructive Testing ( 2004 ), 4 – 7
15. Jim Houf “ Practical Contact Ultrasonic – Angle Beam Calibration Using a Basic Calibration Block “, TNT The NDT Technician A Quarterly Publication for The NDT Practitioner, Vol. 3 Number 4, A Publication of the American Society for Non-destructive Testing ( 2004 ), 4 – 6 , 9
16. Jim Houf “ Practical Contact Ultrasonic – Angle Beam Scan Patterns and Defect Location “, TNT The NDT Technician A Quarterly Publication for The NDT Practitioner, Vol. 4 Number 1, A Publication of the American Society for Non-destructive Testing ( 2005 ), 4 – 6
17. Διπλωματική Εργασία “ Ο Μη καταστροφικός έλεγχος των συγκολλήσεων με τη μέθοδο των υπερήχων “, Θαναηλάκη Ξανθή, Ε.Μ.Π. Σχολή Χημικών Μηχανικών, Αθήνα, 2003
18. Διπλωματική Εργασία “ Η εφαρμογή της ραδιογραφίας για τον μη καταστροφικό έλεγχο συγκολλητών συνδέσεων στη βιομηχανία: εξέταση των μεταβλητών της μεθόδου και πειραματική επαλήθευση. “, Σ. Καϊρης, Ε.Μ.Π. Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών, τομέας Κατεργασιών, Αθήνα, 2009
19. [www.panametrics.ndt.com/ndt/ndt\\_technology/materials\\_analysis.html](http://www.panametrics.ndt.com/ndt/ndt_technology/materials_analysis.html)
20. [www.ndt.net/exhibit\\_stand/27\\_ky.html](http://www.ndt.net/exhibit_stand/27_ky.html)

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

### ΕΚΘΕΣΗ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΩΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ G<sub>1</sub>



#### General Applications of Technology and Science Testing Laboratories

60, Karamanli Ave., 136 71 Acharne  
Attica-Greece  
Tel: (01)2442411-4, Fax: (01)2442415  
E-mail: [gats@ath.forthnet.gr](mailto:gats@ath.forthnet.gr)

Agrotomachio 613, 570 08-Ionia  
P.O.B 51 Thessaloniki-Greece  
Tel: (031) 781 747, Fax: (031) 783 439  
E-mail: [gats@magnet.gr](mailto:gats@magnet.gr)

#### RADIOGRAPHIC REPORT- RT

GSNDTR1 (19/10/2001)

Report N°: <b>A05042 RT-001</b>	Page N°:	Sample Received Date (if applicable):	Contract N°:							
Client -Address : <b>E.M.Π.</b>		Test Location: <b>G.A.T.S LAB.</b>								
Contractor: <b>KONDYLIA EREVNAS</b>		Project :								
Item: <b>PLATE</b>		Material : <b>Al.</b>								
Test According To: <b>ASME V</b>		Accep. Standard According To: <b>ASME IX</b>								
Rad. source: <b>IR 192</b>	Activity (Ci): <b>34,51</b>	Source size (mm): <b>2.0x1.98</b>	Heat Treat: <b>-</b>							
Film: Agfa-Gevaert <b>D 3</b>	Density: <b>2-4</b>	Screens (mm): <b>0.027</b>	F.F.D. (mm): <b>300</b>							
Development	Automatic <input checked="" type="checkbox"/>	Manual	Time:							
			Temp. :							
		I.Q.I. Stand.: <b>EN 462.1</b>	Exp. Techn. <b>SWS/DWS/DWDI</b>							
		Loc.: <b>FS or SS</b>								
X-ray:	KV:	mA:	Exp. Time:							
Diam	Item	Joint N°	Zone (cm)	Thick. (mm)	Welder	I.Q.I.	Faults	Conclusion		Remarks
								A.	N.A.	
PLATE	THERMO LVDTS-3 Strains	W 2	0-36	6,0	-	2.0	D+Aa	A	-	
"	"	"	0-44	"	-	2.0	D+Aa	A	-	
"	"	"	31-70	"	-	2.0	D+Aa	A	-	
"	"	"	32-72	"	-	2.0	D+Aa	A	-	
Aa: Gas Pores		C: Incomplete Fusion		Eb: Transverse Cracks		FF: Film Defect				
Ab: Worm Holes		D: Incomplete Penetration		F: Undercut		Rx: Reshoot				
Ba: Slag Inclusions		Tr: Excess Penetration		Kv: Linear Misalignment		A: Accepted				
Bb: Slag Lines		Ea: Longitudinal Cracks		Ru: Root Concavity		N.A.: Non Accepted				
Ti: Tungsten Inclusions										
Report Approved By:		Issue Date :		Report Made By:		Test Made By:				
				 <b>P. DOAS</b> LEVEL II RT-PT-MT		 Test Date: <b>06.04.05</b>				

Certificate of Approval No.: Z1/96/8 I.Q.I.

The above results are only valid for the tested samples/items  
Partial reproduction of the report is not permitted without the permission of Gats Ltd.

