

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ



Διπλωματική Εργασία

Θέμα:

**«Διερεύνηση Εγκλεισμάτων σε
Χαλυβδοταινία Ελληνικής Παραγωγής»**

Εκπόνηση Εργασίας:

Κωνσταντίνος Κλέπκος

Επιβλέπων Καθηγητής:

Γ. Ν. Χαϊδεμενόπουλος

ΒΟΛΟΣ, 11 ΙΟΥΛΙΟΥ 2005



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗΣ & ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 4508/1
Ημερ. Εισ.: 13-07-2005
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2005
ΚΛΕ

Περίληψη

Η διπλωματική αυτή εργασία εκπονήθηκε σε συνεργασία με τη Sovel A.E., εταιρεία επεξεργασίας χάλυβος, θυγατρική εταιρία της ΣΙΔΕΝΟΡ και της ΒΙΟΧΑΛΚΟ και συγκεκριμένα με το τμήμα του ελασματοουργείου στις εγκαταστάσεις της στον Αλμυρό Μαγνησίας. Σκοπός της διπλωματικής είναι η περιγραφή της παραγωγής της χαλυβδοταινίας μικρού πάχους (τσέρκι) από 2 έως 8 mm, που παράγεται περιοδικά στις εγκαταστάσεις της εταιρείας και η διερεύνηση των εγκλεισμάτων που παρατηρήθηκαν σε χαλυβδοταινίες που προήλθαν από χάλυβα αποξειδωμένο με χρήση αλουμινίου για τον εντοπισμό των προβλημάτων που πιθανώς δημιουργούν. Η χαλυβδοταινία που παράγεται χρησιμοποιείται για παραγωγή σωλήνων ή κοιλοδοκών. Η διαδικασία της παραγωγής λαμβάνει χώρα στο ίδιο εργοστάσιο.

Οι μελέτες της χαλυβδοταινίας πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο των Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας. Ειδικότερα, αξιολογήθηκε η πρώτη ύλη της χαλυβδοταινίας που είναι το slab με χρήση μακροσκοπικών μεθόδων και αναλύθηκε η καθαρότητα των δειγμάτων σε εγκλείσματα με χρήση οπτικής μικροσκοπίας. Τέλος, εξετάστηκε η μικροδομή τους καθώς και οι μηχανικές τους ιδιότητες.

Από τις παραπάνω μελέτες προέκυψαν συμπεράσματα για την επίδραση των εγκλεισμάτων στην ποιότητα του υλικού. Τα συμπεράσματα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη βελτίωση της ποιότητας και για την αποφυγή αστοχιών των μελλοντικών παραγωγών χαλυβδοταινιών.

Ευχαριστίες

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον καθηγητή μου κ. Γρηγόρη Χαϊδεμενόπουλο που μου παρακίνησε το ενδιαφέρον για τον κλάδο των υλικών και που μου έδωσε την ευκαιρία να ασχοληθώ εκτενέστερα με το αντικείμενο των υλικών, προσφέροντας τη δυνατότητα να εκπονήσω την παρούσα διπλωματική εργασία καθώς και για την πολύτιμή του βοήθεια καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω την Έλενα Καμούτση για την ευχάριστη συνεργασία, την καθοδήγηση και την υπομονή της, παράγοντες που συνέβαλαν ουσιαστικά στην πραγματοποίηση της εργασίας.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Βασίλη Πίσκα, κ. Νίκο Ρουσμένη και κ. Χρήστο Καλμανίδη της Sovel A.E. για το ενδιαφέρον τους και την προθυμία τους κατά τη διάρκεια που βρισκόμουν στη Sovel A.E.. Η συνεργασία και βοήθεια τους με βοήθησαν ιδιαίτερα τόσο στην κατανόηση της παραγωγικής διαδικασίας όσο και στη συγγραφή της διπλωματικής μου.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Αποστόλη Βασιλάκο, που πάντα πρόθυμος βοηθούσε στην επίλυση αποριών μου και αλλά και στην επίλυση προβλημάτων που προέκυπταν κατά τη διάρκεια της ενασχόλησης μου με τη διπλωματική εργασία.

Τις βαθύτατες ευχαριστίες μου θα ήθελα να εκφράσω στον κ. Νίκο Χασιώτη για το ενδιαφέρον του, τις συμβουλές του αλλά και για το ευχάριστο κλίμα που δημιουργούσε πάντα στο εργαστήριο.

Ευχαριστώ επίσης τους κυρίους Αντώνη Κατσαμά και Σπύρο Σαμαρά και την κα. Άννα Ζερβάκη για τη βοήθεια τους κατά την ασχολιά μου στο εργαστήριο.

Θέλω να ευχαριστήσω τους φίλους μου, Χάρη Δουλγεράκη, Βασίλη Κουτρομπίνα, Γιώργο Μπώκο, Γιώργο Μουρούτσο, Δημήτρη Σταγιάνο, Σπύρο Τζαμτζή και Άρη Τυροθουλάκη για την ηθική τους υποστήριξη κατά τη διάρκεια της συγγραφής της εργασίας αλλά και για τις ατελείωτες ώρες διασκέδασης.

Τέλος θέλω να εκφράσω τη βαθιά ευγνωμοσύνη στους γονείς μου Σωτήρη και Ντίνα για τη δυνατότητα που μου δώσανε να ζήσω πέντε ευχάριστα χρόνια στο Βόλο σαν φοιτητής. Ως ελάχιστο δείγμα της ευγνωμοσύνης μου, τους αφιερώνω την παρούσα εργασία.

Κωνσταντίνος Κλέπκος

Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή	1
1.1. Αντικείμενο της εργασίας	1
1.2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση	3
1.3. Περιγραφή Γραμμής Παραγωγής	13
1.4. Διάρθρωση της Εργασίας	31
Κεφάλαιο 2. Πειραματικές Διαδικασίες	32
2.1. Εισαγωγή	32
2.2. Χαρακτηριστικά Παραγωγής Χαλυβδοταινίας	32
2.3. Πειραματική Διαδικασία για τα Slab	33
2.4. Δείγματα χαλυβδοταινίας	34
2.5. Μέτρηση καθαρότητας χαλυβδοταινιών σε εγκλείσματα	36
2.6. Μέτρηση Μεγέθους Κόκκου	38
2.7. Μηχανικές Ιδιότητες	39
Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση	41
3.1. Αξιολόγηση του slab	41
3.2. Μέτρηση καθαρότητας χαλυβδοταινιών	46
3.3. Μέγεθος Κόκκου	64
3.4. Μηχανικά Χαρακτηριστικά Χαλυβδοταινιών	65
Κεφάλαιο 4. Συμπεράσματα	70
Κεφάλαιο 5. Βιβλιογραφικές Αναφορές	71

Περιεχόμενα Φωτογραφιών

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Εικόνα 1.2.1 Έγκλεισμα MnS Type I SEM 1000X	4
Εικόνα 1.2.2 Έγκλεισμα MnS Type II SEM 1000X	4
Εικόνα 1.2.3 Έγκλεισμα MnS Type III SEM 1000X	5
Εικόνα 1.2.4 Έγκλείσματα σουλφιδίων του σιδήρου στα σύνορα των κόκκων	6
Εικόνα 1.2.5 Έγκλείσματα σουλφιδίου του μαγγανίου	6
Εικόνα 1.2.6 Έγκλείσματα MnS σε χάλυβα μετά από έλαση με μείωση 2X στους 800 °C 250X [3]	7
Εικόνα 1.2.7 Έγκλείσματα MnS σε χάλυβα μετά από έλαση με μείωση 2X στους 900 °C 250X	7
Εικόνα 1.3.8 Διάγραμμα Ροής Παραγωγής	14

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Εικόνα 3.1.1 Slab χυτηρίου 5179	42
Εικόνα 3.1.2 Πορώδες στο κέντρο στο slab χυτηρίου 5179	42
Εικόνα 3.1.3 Επιμήκεις ρωγμές στο εσωτερικό του slab χυτηρίου 5179	43
Εικόνα 3.1.4 Slab χυτηρίου 5179	43
Εικόνα 3.1.5 Πορώδες στο εσωτερικό του slab χυτηρίου 5181	44
Εικόνα 3.1.6 Οι τρεις ζώνες στη μικροδομή του χυτού	45
Εικόνα 3.3.1 Τυπική δομή χαλυβδοταινίας με προσβολή με Nital 2% σε μεγέθυνση 1000X (Δοκίμιο ST 02 07 LB)	64
Εικόνα 3.4.1 Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης	66
Εικόνα 3.4.2 Όρια Θραύσης και Διαρροής για τις χαλυβδοταινίες των χυτηρίων 5179 και 5181	67
Εικόνα 3.4.3 Παραμόρφωση υπό το Μέγιστο Φορτίο για τις χαλυβδοταινίες των χυτηρίων 5179 και 5181	67
Εικόνα 3.4.4 Σχέση θερμοκρασίας μεταβάσεως και ενέργειας συναρτήσει της περιεκτικότητας του άνθρακα	70

Περιεχόμενα Πινάκων

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

Πίνακας 1.3.1 Διαστάσεις Κλιβάνου Αναθέρμανσης	18
Πίνακας 1.3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά ελαστρων	30

Κεφάλαιο 2. Πειραματικές Διαδικασίες

Πίνακας 2.1 Κραματική Σύσταση Χυτηρίων 5179 και 5181	32
Πίνακας 2.2 Θερμοκρασίες Ελάσεως	33
Πίνακας 2.3 Κλίμακα καθαρότητας για τα σφαιρικά οξειδία	37

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα και Συζήτηση

Πίνακας 3.1.1 Αξιολόγηση του slab του χυτηρίου 5179	41
Πίνακας 3.1.2 Αξιολόγηση του slab του χυτηρίου 5181	41
Πίνακας 3.2.1 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF	46
Πίνακας 3.2.2 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 RF	47
Πίνακας 3.2.3 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 02 RB	48
Πίνακας 3.2.4 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 04 MB	49
Πίνακας 3.2.5 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF	50
Πίνακας 3.2.6 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 05 LB	51
Πίνακας 3.2.7 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 05 RB	52
Πίνακας 3.2.8 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 07 LB	53
Πίνακας 3.2.9 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 01 LF	54

Πίνακας 3.2.10 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 01 RF	55
Πίνακας 3.2.11 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 02 RB	56
Πίνακας 3.2.12 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF	57
Πίνακας 3.2.13 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 04 MB	58
Πίνακας 3.2.14 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 04 MF	59
Πίνακας 3.2.15 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 05 LB	60
Πίνακας 3.2.16 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 05 RB	61
Πίνακας 3.2.17 Ανάλυση εγκλεισμάτων για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179	62
Πίνακας 3.2.18 Ανάλυση εγκλεισμάτων για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5181	62
Πίνακας 3.3.1 Μέγεθος Κόκκου για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179	65
Πίνακας 3.3.2 Μέγεθος Κόκκου για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179	65
Πίνακας 3.4.1 Όρια Διαρροής, Θραύσης και Μέγιστη Επιμήκυνση	67
Πίνακας 3.4.2 Ενέργεια κρούσης (J) των χαλυβδοταινιών των χυτηρίων 5179 και 5181	68
Πίνακας 3.4.3 Σκληρομέτρηση για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179	68
Πίνακας 3.4.4 Σκληρομέτρηση για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5181	69

Κεφάλαιο 1. Εισαγωγή

1.1. Αντικείμενο της εργασίας

Η εταιρία Sovel A.E. παράγει χάλυβα σε μορφή μπιγιετών από τήξη παλιοσίδηρου (scrap) σε ηλεκτρικό φούρνο υψηλής ισχύος. Οι μπιγιέτες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή ράβδων χάλυβα για τον οπλισμό σκυροδέματος, διαδικασία που πραγματοποιείται στο ελασματοουργείο της εταιρείας.

Στις αρχές του 2004 προστέθηκε στο ελασματοουργείο του εργοστασίου, γραμμή παραγωγής χαλυβδοταινίας. Η παραγωγή της χαλυβδοταινίας δεν γίνεται ταυτόχρονα με την παραγωγή ράβδων στο ελασματοουργείο, αφού η γραμμή παραγωγής είναι μία. Έτσι, σε περίπτωση παραγωγής χαλυβδοταινίας αφαιρούνται τα έλαστρα που χρησιμοποιούνται για την έλαση των ράβδων και τοποθετούνται τα έλαστρα για την παραγωγή χαλυβδοταινίας.

Στις πρώτες παραγωγές χαλυβδοταινίας παρουσιάστηκε πρόβλημα στο τελικό προϊόν, γεγονός με αποτέλεσμα την υποβάθμιση των ιδιοτήτων του. Συγκεκριμένα, η χαλυβδοταινία παρουσίαζε σκασίματα στα πλάγια άκρα της, γεγονός που απαιτούσε την αφαίρεση των πλαϊνών άκρων για την περαιτέρω επεξεργασία της, σε μεγαλύτερο βάθος σε σχέση με τις χαλυβδοταινίες που δεν παρουσίαζαν ελαττώματα. Αποτέλεσμα ήταν η αύξηση της απορριπτέας ποσότητας του υλικού με συνέπεια την αύξηση του κόστους της χαλυβδοταινίας. Επιπρόσθετα, οι μηχανικές ιδιότητες της ταινίας ήταν υποβαθμισμένες και σε κάποιες παραγωγές, μικρότερες από τις απαιτούμενες προδιαγραφές.

Οι παραπάνω παραγωγές προϊόντων δημιούργησαν την ανάγκη για τη μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν την ποιότητα της χαλυβδοταινίας κατά τη διαδικασία της έλασης. Ειδικότερα ένας από τους παράγοντες που επηρεάζει τις ιδιότητες είναι τα εγκλείσματα σωματιδίων που υπάρχουν στα slab. Τα εγκλείσματα αυτά μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της διαδικασίας της έλασης και παραμένουν στο τελικό προϊόν. Τα μη μεταλλικά εγκλείσματα που θεωρούνται ως ακαθαρσίες σε ένα χάλυβα και τα οποία είναι ενώσεις μετάλλων με στοιχεία μη μεταλλικά όπως το άζωτο, το θείο και το οξυγόνο. Από τη στιγμή που ο χάλυβας δεν μπορεί να διαλύσει όλα τα μη μεταλλικά στοιχεία, τα εγκλείσματα εμφανίζονται σχεδόν σε όλους τους εμπορικούς χάλυβες.

Στόχος Εργασίας

Πρωταρχικός στόχος της εργασίας είναι η περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής της χαλυβδοταινίας στο ελασματοουργείο της εταιρείας Sovel A.E., με πρώτη ύλη το slab. Δεύτερος στόχος είναι η μελέτη των εγκλεισμάτων των χαλυβδοταινιών και η συσχέτισή τους με τις μηχανικές ιδιότητες και τη δομή των ανωτέρω ταινιών.

1.2. Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Εισαγωγή

Στα μελετηθέντα δοκίμια που παρατηρήθηκαν με οπτική μικροσκοπία, βρέθηκαν εγκλείσματα σουλφιδίων του μαγγανίου (MnS) και εγκλείσματα οξειδίων του αλουμινίου (Al_2O_3). Παρακάτω θα γίνει ανάλυση για την προέλευση των εγκλεισμάτων καθώς και προσδιορισμός των ιδιοτήτων που προσθέτουν στο χάλυβα.

Εγκλείσματα Σουλφιδίου του Μαγγανίου

Τα εγκλείσματα των σουλφιδίων του μαγγανίου ταξινομούνται σε τρεις κατηγορίες με κριτήριο το σχήμα τους [2],[3],[4].

- Τύπου 1: Έχουν σχήμα σφαιρικό και σχηματίζονται στους ημιαποξειδωμένους χάλυβες. Η υψηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο προκαλεί το κατακρέμνισμα των σουλφιδίων από την υγρή φάση σε υψηλή θερμοκρασία συχνά με τη συνένωση ενώσεων του οξυγόνου.
- Τύπου 2: Έχουν δενδριτικό σχήμα και παρατηρούνται στους αποξειδωμένους χάλυβες με χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο. Σχηματίζονται ως αποτέλεσμα της ευτηκτικής αντίδρασης $L \rightarrow Fe + MnS$. Το σουλφίδιο κατακρημνίζεται αργά στη διαδικασία στερεοποίησης στα ενδοδενδριτικά κενά.
- Τύπου 3: Έχουν γωνιακό ή ανώμαλο σχήμα και παρατηρούνται στους πλήρως αποξειδωμένους χάλυβες με περίσσεια αλουμινίου. Τα σουλφίδια κατακρημνίζονται από την υγρή φάση σε πιο υψηλή θερμοκρασία από τα σουλφίδια τύπου 2.

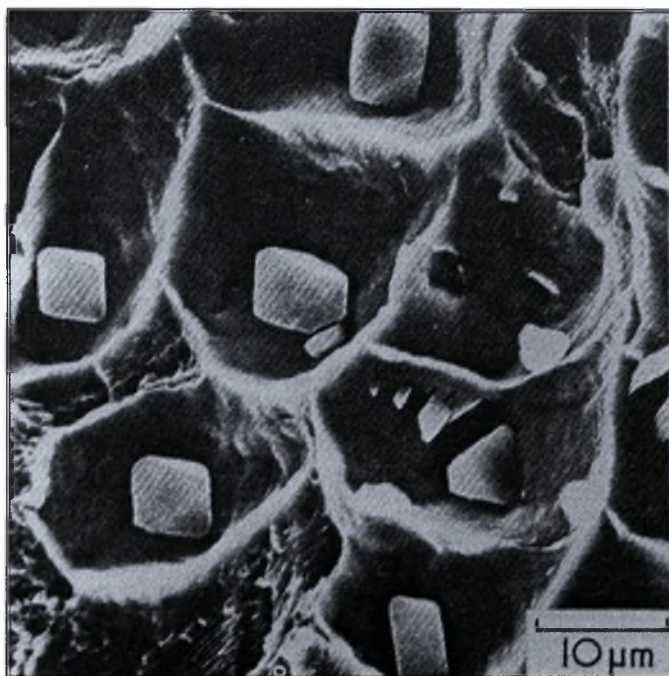
Τα δοκίμια που μελετήθηκαν προέρχονται από χυτήρια με περίσσεια αλουμινίου οπότε παρατηρήθηκαν σουλφίδια τύπου 3 όπως αναμενόταν.



Εικόνα 1.2.1 Έγκλεισμα MnS Type I SEM 1000X [5]



Εικόνα 1.2.2 Έγκλεισμα MnS Type II SEM 1000X [5]



Εικόνα 1.2.3 Έγκλεισμα MnS Type III SEM 1000X [5]

Σχηματισμός Σουλφιδίων

Για την αποφυγή σχηματισμού ενώσεων σουλφιδίων του σιδήρου (FeS) πρέπει να πραγματοποιηθεί αποθείωση του χάλυβα. Οι ενώσεις αυτές είναι ψαθυρές και προκαλούν ρωγμές κατά τη διάρκεια ψυχρών και θερμών κατεργασιών υποβαθμίζοντας πλήρως τις ιδιότητες του χάλυβα. Για το λόγο αυτό, προστίθεται στο υγρό διάλυμα κατά τη διάρκεια της τήξης μαγγάνιο για την δέσμευση του θείου. Αποτέλεσμα είναι ο σχηματισμός σουλφιδίων του μαγγανίου τα οποία και παραμένουν στο τελικό προϊόν.



Εικόνα 1.2.4 Έγκλεισματα σουλφιδίων του σιδήρου στα σύνορα των κόκκων



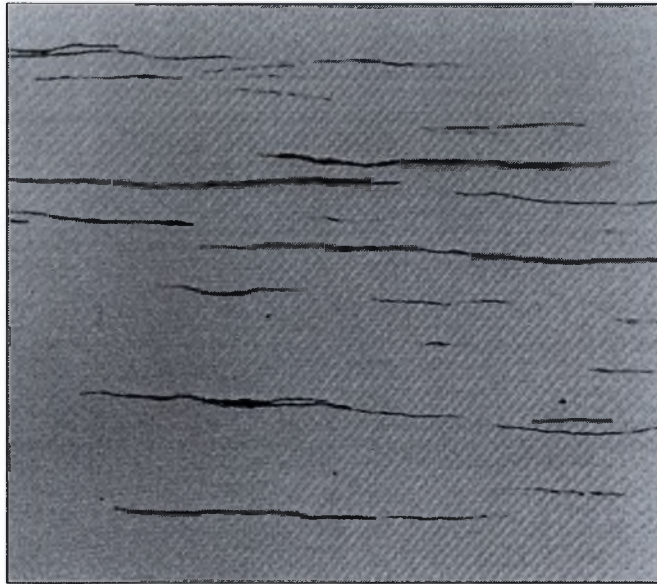
Εικόνα 1.2.5 Έγκλεισματα σουλφιδίου του μαγγανίου

Τα εγκλείσματα σχηματίζονται στην υγρή φάση του χάλυβα και κατά τη

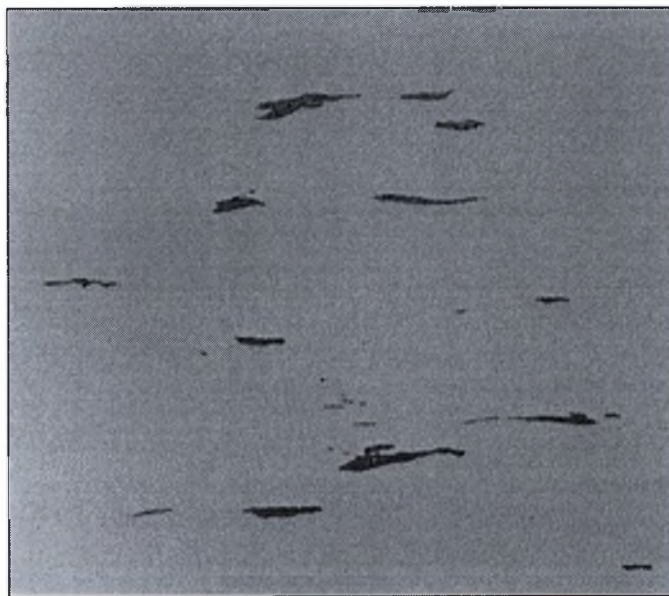
διάρκεια της ψύξης, κατακρεμνίζονται στα όρια των κόκκων του φερίτη, τείνοντας να σπάσουν σε κομμάτια, κάποια εκ των οποίων θα επιμηκυνθούν κατά τη διεύθυνση της έλασης. Την παραπάνω συμπεριφορά έχουν τα σουλφίδια Τύπου I και Τύπου III. Τα Τύπου II περιστρέφονται κατά την έλαση στο επίπεδο της και μειώνουν τη δυσθραυστότητα και την ολκιμότητα στην εγκάρσια διεύθυνση της έλασης [3].

Λόγω της αποξείδωσης με χρήση αλουμινίου, προκύπτουν εγκλείσματα με σχήμα γωνιακό. Αυτά, μπορούν να προκαλέσουν το σχηματισμό κενών (void formation), λόγω της διαφορετικής παραμόρφωσης που υφίστανται τα εγκλείσματα και ο χάλυβας υπό την διαδικασία της έλασης εξαιτίας της διαφορετικής πλαστικότητας των δύο υλικών. Οι συνέπειες, μπορεί να είναι το σχίσσιμο της μήτρας μεταξύ των κενών. Για το λόγο αυτό προστίθεται κέριο, το οποίο μετατρέπει το σχήμα των σουλφιδίων σε σφαιρικό, σχήμα το οποίο δυσκολεύει την παραπάνω διαδικασία [4].

Τα εγκλείσματα, λόγω της διαδικασίας της έλασης, επιμηκύνονται μαζί με το χάλυβα. Η υψηλή επιμήκυνση μπορεί να προκαλέσει προβλήματα στο τελικό προϊόν όπως όλκιμη θραύση. Αυτό μπορεί να συμβεί αν τα επιμηκυνόμενα εγκλείσματα έχουν υψηλό λόγο μήκους προς πλάτους άνω της τάξεως του 200. Ένας παράγοντας που επηρεάζει τον παραπάνω λόγο είναι η θερμοκρασία ελάσεως. Με υψηλή θερμοκρασία έλασης επιτυγχάνονται μικροί λόγοι μήκους προς πλάτος κάτι το ποίο είναι επιθυμητό [3].



Εικόνα 1.2.6 Εγκλείσματα MnS σε χάλυβα μετά από έλαση με μείωση 2X στους 800 °C 250X [3]



Εικόνα 1.2.7 Εγκλείσματα MnS σε χάλυβα μετά από έλαση με μείωση 2X στους 900 °C 250X [3]

Η θερμοκρασία επηρεάζει και την πλαστικότητα τόσο του χάλυβα όσο και των σουλφιδίων. Όταν η θερμοκρασία της έλασης είναι μεταξύ 800 και 900 °C τότε η σχετική πλαστικότητα του χάλυβα και των σουλφιδίων του μαγγανίου είναι ίση με ένα γεγονός που σημαίνει ότι τα σουλφίδια επιμηκύνονται όσο και ο

χάλυβας υπό την επίδραση των ιδίων δυνάμεων. Το παραπάνω γεγονός είναι πολύ σημαντικό αφού δεν δημιουργούνται κενά ανάμεσα στο μέταλλο και το έγκλεισμα κάτι που μπορεί να προκαλέσει μικρορωγμές.

Σημαντικός παράγοντας για το σχήμα των σουλφιδίων μετά την έλαση, είναι ο λόγος μείωσης στο έλαστρο. Μεγαλύτερη μείωση έχει αποτέλεσμα μεγαλύτερη απόκλιση των εγκλεισμάτων από το αρχικό τους σχήμα.

Θετικές επιδράσεις των σουλφιδίων του μαγγανίου

Η παρουσία μικρών ποσοτήτων μαγγανίου στα μέταλλα προσδίδει μερικές θετικές ιδιότητες στους χάλυβες. Έτσι μπορεί να συμβάλει στην πιο καλοσχηματισμένη μορφή φερρίτη και περλίτη. Το γεγονός αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητας του φερρίτη και τη μείωση της θερμοκρασίας μετάβασης από την ψαθυρή στην όλκιμη θραύση.

Εγκλείσματα Οξειδίων του Αλουμινίου

Σε χάλυβες όπου η αποξειδωση γίνεται με χρήση Αλουμινίου, δημιουργούνται οξείδια του Αλουμινίου, προϊόντα της ένωσης του Αλουμινίου με το οξυγόνο. Το Αλουμίνιο προστίθεται για να δεσμεύσει το οξυγόνο στο χάλυβα, το οποίο μειώνει δραματικά τη σκληρότητα του χάλυβα, οπότε πρέπει και να δεσμεύεται. Τα οξείδια μετά τη διαδικασία της τήξης λόγω της μικρότερης πυκνότητάς τους σε σχέση με το χάλυβα, ανεβαίνουν στην επιφάνεια του υγρού μίγματος που αποτελεί τη σκουριά. Λόγω του διαχωρισμού της σκουριάς υπάρχει δυνατότητα αφαίρεσής της κάτι το οποίο συμβαίνει κατά την παραγωγική διαδικασία. Παρόλα αυτά στο χυτήριο παραμένει ένα ποσοστό οξειδίων το οποίο εγκλωβίζεται και έτσι προκύπτουν τα εγκλείσματα.

Τα οξείδια του Αλουμινίου δεν είναι καθόλου πλαστικά σε καμία θερμοκρασία ελάσεως. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη θραύση τους υπό την επίδραση των τάσεων. Τα οξείδια σπάνε σε κομμάτια, διασπείρονται στο χάλυβα και κατακρεμνίζονται στα σύνορα των κόκκων. Η περιεκτικότητα των οξειδίων ελέγχεται από την περιεκτικότητα του οξυγόνου στο υγρό διάλυμα που ελέγχει την ενέργεια διεπιφάνειας του οξειδίου και του υγρού. Με τη μείωση της

συγκέντρωσης του οξυγόνου αυξάνεται η ενέργεια διεπιφάνειας και προωθείται η κατακρήμνιση των σφαιριδίων στα σύνορα των κόκκων, φαινόμενο που προκαλείται με γρηγορότερη ταχύτητα. Οι δενδρίτες σπάνε σε τάσεις χαμηλότερες του 0,4 ενώ οι σφαίρες για να σπάσουν σε σωματίδια ή σε stringers of particles απαιτούνται τάσεις μεγαλύτερες του 1,5 [4]. Η χαμηλή περιεκτικότητα σε οξυγόνο έχει αποτέλεσμα τη μικρή παραγωγή οξειδίων.

Έλεγχος Σχήματος και Μεγέθους μετά την Έλαση

Το σχήμα των εγκλεισμάτων μπορεί να αλλάξει μετά την έλαση με εφαρμογή θερμικών κατεργασιών [2]. Η σειρά μετατροπής του σχήματος είναι η εξής:

Κύλινδροι → Σφαιροειδή → Σφαίρες → Πολυεδρικά Σχήματα

Η παραπάνω διαδικασία ελέγχεται με επιφανειακή διάχυση.

Έλεγχος Σχήματος και Μεγέθους

Για τον έλεγχο του σχήματος των εγκλεισμάτων χρησιμοποιείται οξείδιο του ασβεστίου. Το οξείδιο του ασβεστίου ενώνεται με το οξείδιο του αλουμινίου και προκαλείται ένωση της μορφής $(\text{CaO})_x(\text{Al}_2\text{O}_3)_y$ (Calcium Aluminates). Ο σχηματισμός των ενώσεων αυτών μπορεί να πραγματοποιηθεί πριν ή κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης του χάλυβα.

Αυτές μπορεί να είναι επικίνδυνες σε μεγάλο βαθμό επειδή ο συντελεστής θερμικής διαστολής τους είναι πολύ χαμηλότερος απ' ότι αυτός του χάλυβα επομένως κατά τη στερεοποίηση του χάλυβα οι ενώσεις προκαλούν ένα πεδίο τάσεων γύρω απ' αυτές. Τα σωματίδια τείνουν να γίνουν σφαιρικά και όχι εύθραυστα. Παρόλα αυτά υπό θερμή έλαση, όπως στην περίπτωση μας, θα σπάσουν σε stringers.

Η παρουσία του ασβεστίου μπορεί να έχει αποτέλεσμα το σχηματισμό ενώσεων της μορφής $(\text{Ca Mn})\text{S}$. Οι ενώσεις που προκύπτουν έχουν σχήμα σφαιρικό αντιστέκονται στην παραμόρφωση [5]. Επίσης περιορίζεται ο σχηματισμός γαλαξιών των οξειδίων του αλουμινίου.

Οι ενώσεις αυτές έχουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα έναντι των ενώσεων του οξειδίου του αλουμινίου κατά τη διάρκεια της χύτευσης. Λόγω της μικρότερης πυκνότητας, κατά τη διαδικασία της χύτευσης στον κλίβανο, ανεβαίνουν

ευκολότερα στην επιφάνεια, στο στρώμα της σκουριάς και έπειτα απομακρύνονται με αποτέλεσμα ο χάλυβας που θα προκύψει, να είναι καθαρότερος.

Ένα πρόβλημα που παρουσιάζεται μερικές φορές είναι η παρεμπόδιση της ροής του ρευστού μετάλλου από τους κάδους στα καλούπια. Αυτό μπορεί να συμβεί αν η θερμοκρασία του υγρού μίγματος του χάλυβα πέσει κάτω από μία τιμή στην οποία όμως στερεοποιούνται κάποιες ενώσεις. Αυτές οι ενώσεις είναι πιθανό να φράξουν τη ροή του υγρού μίγματος με αρνητικές οικονομικές και παραγωγικές επιπτώσεις. Η παρουσία ασβεστίου μπορεί να τροποποιήσει το σημείο τήξης αυτών των ουσιών και μάλιστα να το ελαττώσει.

Όλκιμη Θραύση

Όταν ασκούνται δυνάμεις σε ένα χάλυβα ο οποίος περιέχει σωματίδια από άλλες φάσεις, τότε είναι πιθανό να σχηματιστούν κενά στις διεπιφάνειες των σωματιδίων με το πλέγμα. Αυτά τα κενά είναι προάγγελος της όλκιμης θραύσης [4].

Αρχικά τα κενά εμφανίζονται σε μεγαλύτερα εγκλείσματα, διότι όσο μεγαλύτερο είναι το μέγεθος του σωματιδίου τόσο υψηλότερες είναι οι τοπικές συγκεντρώσεις τάσεων. Αυτές οι τάσεις μπορούν να προκαλέσουν είτε σχίσιμο (rupture) είτε μικρορωγμές. Αποτέλεσμα είναι και η μείωση του ορίου διαρροής. Έπειτα, τα κενά εμφανίζονται σταδιακά σε ακόμα μικρότερα σωματίδια. Στους χάλυβες αυτά τα σωματίδια είναι είτε καρβίδια, είτε σουλφίδια είτε πυριτικά εγκλείσματα. Τα κενά σχηματίζονται είτε με το σπάσιμο των σωματιδίων είτε από την ασυνέχειες στις διεπιφάνειες σωματιδίων – πλέγματος. Επομένως είναι αναγκαίο να προσδιορίζεται ο όγκος, η διασπορά και η μορφολογία τόσο των καρβιδίων όσο και των εγκλεισμάτων για τον καθορισμό της όλκιμης συμπεριφοράς όχι μόνο σε μία απλή δοκιμή εφελκυσμού αλλά και σε πολύπλοκες συνθήκες διεργασίας όπως είναι η έλαση.

Για κάθε τύπο πλέγματος και εγκλείσματος υπάρχει ένα ελάχιστο μέγεθος για το οποίο δεν μπορεί να δημιουργηθεί κενό. Η όλκιμη θραύση ξεκινάει από τα σωματίδια με την πυρήνωση των κενών (voids) σε καρβίδια. Από τη στιγμή που πυρηνωθούν τα κενά, τείνουν να μεγαλώσουν μόνο κατά τη διεύθυνση της τάσης.

Ανάλογα με το πόσο δυνατός είναι ο δεσμός σωματιδίου – πλέγματος τα κενά σχηματίζονται σε διάφορες τάσεις αλλά για τα εγκλείσματα στους χάλυβες ο

δεσμός είναι πολύ αδύναμος επομένως παρατηρείται σχηματισμός κενών σε χαμηλές τάσεις.

Η παρουσία εγκλεισμάτων με μέγεθος 1 – 35 μm ευρύνει το θερμοκρασιακό εύρος της μετάβασης από την όλκιμη στη ψαθυρή θραύση στις δοκιμές κρούσης και ταυτόχρονα μειώνει την απορροφούμενη ενέργεια κατά τη διάρκεια της ψαθυρής αστοχίας. Μία υψηλή διασπορά από μη ψαθυρά εγκλείσματα όπως τα MnS μπορεί να καθυστερήσει το σχίσσιμο με τοπική χαλάρωση των τάσεων.

Σχηματισμός κενών

Για να βελτιώσουμε την ολκιμότητα του μετάλλου και να αποφευχθεί θραύση, είναι επιθυμητή η αύξηση του δεσμού μεταξύ του μετάλλου και του εγκλείσματος. Σύμφωνα με το Van Vlack [4], αν υπάρχει στενή συνοχή των ατόμων των μετάλλων στα μεταλλικά και στα μη μεταλλικά πλέγματα, υπάρχει πιθανότητα δημιουργίας ενός πολύ ισχυρού δεσμού. Παράδειγμα αποτελεί το μη μεταλλικό οξείδιο του αλουμινίου που συνδέεται ισχυρά με το αλουμίνιο. Ένα άλλο παράδειγμα αποτελεί ο δεσμός του οξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), με το χρώμιο. Αν το άτομο του μετάλλου είναι διαλυτό τόσο στο πλέγμα όσο και στο εγκλείσμα, όπως στην παραπάνω περίπτωση, τότε μπορεί να ενισχύσει το δεσμό μεταξύ της διεπιφάνειας. Έχει παρατηρηθεί ότι η προσθήκη Μολυβδαινίου ή Χρωμίου στον πλέγμα του σιδήρου προκαλεί βελτιώσεις στην ολκιμότητα του χάλυβα. Το Χρώμιο αυξάνει επίσης τη συνοχή μεταξύ του φερρίτη και των σουλφιδίων του μαγγανίου. Ο Μόλυβδος φαίνεται να μειώνει τη δύναμη του δεσμού μεταξύ των σουλφιδίων του μαγγανίου και του σιδήρου.

Lamellar Tearing

Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης μία χαλυβδοταινίας με χαμηλή εγκάρσια ολκιμότητα, για σχηματισμό κοιλοδοκού ή σωλήνα, είναι πιθανή η δημιουργία ρωγμών. Τα εγκλείσματα που προκαλούν υποβάθμιση της εγκάρσια ολκιμότητας είναι τα Type II σουλφίδια του μαγγανίου [5]. Οι ρωγμές μεταδίδονται μέσω της γραμμής των stringers και προκαλούν σοβαρό πρόβλημα στη συγκόλληση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται lamellar tearing.

Συμπεράσματα

Η παρουσία των εγκλεισμάτων μπορεί να έχει αρνητικές συνέπειες στο χάλυβα. Απαραίτητος είναι ο εντοπισμός των παραμέτρων που μπορούν να προκαλέσουν δυσάρεστα φαινόμενα. Κρίνεται δε αναγκαία η αντιμετώπιση τους σε πρώιμο στάδιο της παραγωγής, δηλαδή πριν τη χύτευση.

1.3. Περιγραφή Γραμμής Παραγωγής

Γενικά

Η παραγωγή της χαλυβδοταινίας, της εταιρείας Sovel A.E. πραγματοποιείται στην μονάδα του ελασματοουργείου. Ειδικότερα η πρώτη ύλη, το slab, μέσω της διαδικασίας της έλασης μετατρέπεται σε χαλυβδοταινία. Ειδικότερα, το slab, η παραγωγή του οποίου πραγματοποιείται στο χαλυβουργείο της εταιρείας, θερμαίνεται στον κλίβανο αναθέρμανσης στους 1200 °C για να μπορέσει να παραμορφωθεί φτάνοντας έτσι στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης.

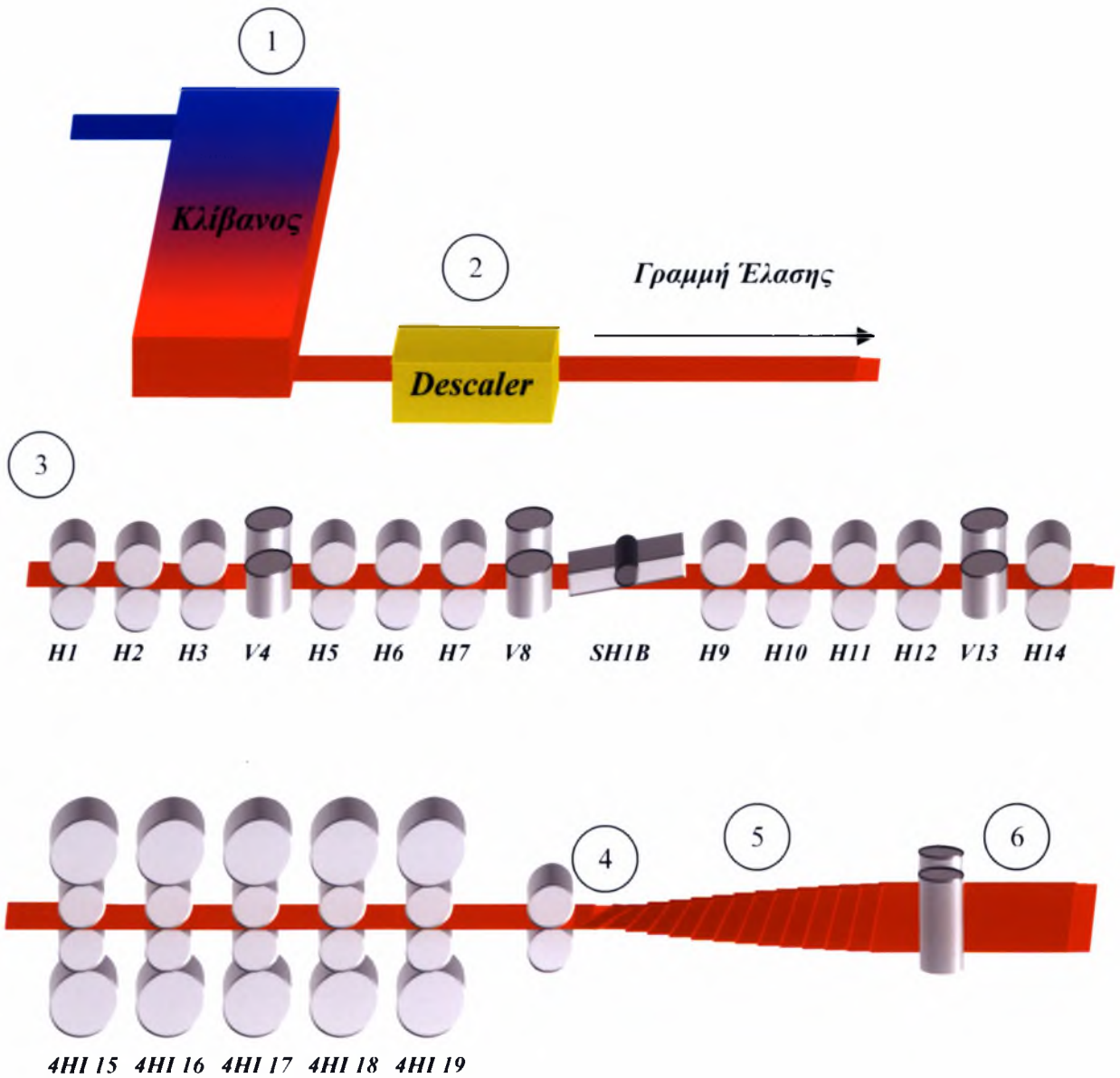
Επειδή, η έλαση γίνεται εν θερμώ, δηλαδή το slab αναθερμαίνεται πριν ελαθεί, δεν υπάρχει ανάγκη για περαιτέρω θερμικές κατεργασίες κατά τη διάρκεια της παραγωγικής διαδικασίας.

Η γραμμή είναι συνεχής. Τελικό προϊόν είναι η χαλυβδοταινία, η οποία τυλίγεται σε ρόλους και αποθηκεύεται στις αποθήκες του ελασματοουργείου.

Διάγραμμα Παραγωγής

Παρακάτω απεικονίζεται σχηματικά το διάγραμμα ροής της παραγωγής της χαλυβδοταινίας του ελασματοουργείου της Sovel A.E.

Εικόνα 1.3.1 Διάγραμμα Ροής Παραγωγής



Ανάλυση Διαγράμματος Παραγωγής

1. Κλίβανος

Ο κλίβανος αναθέρμανσης του slab είναι κινητού πατώματος με δυνατότητα φόρτωσης 120 έως 150 τόνων ανά ώρα ανάλογα με το είδος φόρτωσης (κρύα ή θερμή). Η θερμοκρασία εξόδου του slab ανέρχεται στους 1170 °C. Το μήκος του φούρνου είναι 28,75 μέτρα και το μέγιστο μήκος του slab 14 μέτρα.

2. Αποσκωριωτής (Descaler)

Ο αποσκωριωτής χρησιμοποιείται για την αφαίρεση της σκουριάς από την επιφάνεια του slab με χρήση πεπιεσμένου νερού (λόγου οξειδωσης κατά τη θέρμανση του slab) Αυτό είναι αναγκαίο ούτως ώστε η επιφάνεια του υλικού να αποκτήσει υψηλή ποιότητα.

3. Έλαστρα

Κατά την έλαση υπάρχει συνεχής μείωση της διατομής του slab μέχρι την δημιουργία του τελικού προϊόντος. Η διαδικασία της έλασης πραγματοποιείται με χρήση δεκαεννέα ελαστρων.

4. Οριζόντιο Ελκτικό

Το οριζόντιο ελκτικό βρίσκεται μετά το τελευταίο έλαστρο και έχει σκοπό να προωθήσει το τσέρκι στο twister.

5. Twister

Το twister είναι μία διάταξη που αναλαμβάνει την περιστροφή του επιπέδου του τσερκιού κατά 90 μοίρες..

6. Κάθετο Ελκτικό

Το κάθετο ελκτικό έλκει το τσέρκι από το Twister και το προωθεί στους ταινιομεταφορείς.

Υπόλοιπα Στάδια Γραμμής Παραγωγής

7. Ταλαντωτής

Ο ταλαντωτής έχει σκοπό τη διαμόρφωση της χαλυβδοταινίας προς εναπόθεση στον ταινιομεταφορέα, σε οφιοειδή μορφή, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται εξοικονόμηση χώρου.

8. Διανομέας

Ο διανομέας αποτελείται από εάν βραχίονα που κινείται με πνευματικό έμβολο ο οποίος ανάλογα με τη θέση του προωθεί τη χαλυβδοταινία σε ένα εκ των δύο ταινιομεταφορέων ανάλογα με την πληρότητα του καθένα.

9. Ταινιομεταφορέας

Η μέγιστη ταχύτητα του ταινιομεταφορέα είναι ίση με 1,5 m/sec.

10. Ελκτικό Τυλικτικού

Προώθηση μύτης τσερκιού από ταινιομεταφορέα στο coiler

11. Ψαλίδι τυλικτικού

Χρησιμοποιείται για την κοπή μύτης ή ουράς της χαλυβδοταινίας για ανάλυση ποιοτικού ελέγχου.

12. Τυλικτικό (Coiler)

Το τυλικτικό αναλαμβάνει το τύλιγμα της χαλυβδοταινίας σε ρόλους

13. Βραχίονες Μεταφοράς Προϊόντος

Χρησιμοποιούνται για μεταφορά των ρόλων προς την περιοχή παραλαβής

14. Αλυσοταινία

Χρησιμοποιείται για τη μεταφορά του ρόλου στη ζυγιστική μηχανή.

15. Δετική Μηχανή

Αναλαμβάνει να δέσει το ρόλο με τσέρκι.

16. Ζυγιστικό

Μετράει το τελικό βάρος του ρολού

17. Τράπεζα εναπόθεσης

Πάνω στην τράπεζα αυτή τοποθετείται ο ρόλος της χαλυβδοταινίας όπου παραλαμβάνεται από το περονοφόρο και ακολουθεί η αποθήκευσή του.

Αναλυτική Περιγραφή Παραγωγής

Κλίβανος

Γενικά

Πρώτη διεργασία της παραγωγής της τσερκιού αποτελεί η αναθέρμανση του slab, η οποία λαμβάνει χώρα στον κλίβανο. Καύσιμη ύλη του κλιβάνου είναι το μαζούτ αλλά υπάρχει δυνατότητα χρήσης και φυσικού αερίου. Ο κλίβανος χρησιμοποιείται για θέρμανση μπιγιετών ή slab χαμηλής και μέσης περιεκτικότητας σε άνθρακα και μέγιστου μήκους δεκατεσσάρων μέτρων. Υποστηρίζει κρύα φόρτωση, όπου τα slab προς θέρμανση βρίσκονται σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, η οποία είναι και η μέθοδος που εφαρμόζεται για τη συγκεκριμένη παραγωγή, με δυνατότητα θέρμανσης 120 τόνων ανά ώρα. Υπάρχει επίσης δυνατότητα θερμής φόρτωση κατά την οποία τα slab εισάγονται στον κλίβανο αμέσως μετά τη διαδικασία της χύτευσης, σε θερμοκρασία άνω των 500 °C με δυνατότητα φόρτωσης 150 τόνων ανά ώρα. Αποτελείται από 5 ζώνες θέρμανσης οι οποίες θα αναπτυχθούν αναλυτικά παρακάτω.

Βασικά Συστατικά Κατασκευής Κλιβάνου

Πίνακας 1.3.1 Διαστάσεις Κλιβάνου Αναθέρμανσης

Εσωτερικό Μήκος	28,745 m
Κέντρα Εισόδου – Εξόδου Μπιγιετών	27,470 m
Εσωτερικό Πλάτος	14,800 m
Εξωτερικό Μήκος (Φορέας)	28,745 m
Εξωτερικό Πλάτος (Φορέας)	18,950 m
Μήκος Κινητού Πατώματος	26,675 m

Μεταλλικές Κατασκευές

Ο κλιβανος αποτελείται από μεταλλικές κατασκευές οι οποίες εξασφαλίζουν αντοχή σε μηχανική και θερμική κόπωση σε κανονικές συνθήκες λειτουργίας του. Τα κάθετα δοκάρια οροφής είναι κατασκευασμένα από άκαμπτα συγκολλητά κομμάτια ενώ τα τοιχώματα αποτελούνται από χαλύβδινα φύλλα ικανοποιητικού πάχους με κατάλληλο θωρακισμένο και ενισχυμένο χάλυβα. Η οροφή είναι κατασκευασμένη από δοκάρια ενώ το πάτωμα του κλιβάνου αποτελείται από μεταλλικά κομμάτια. Όλος ο κλιβανος είναι επενδυμένος εσωτερικά με πυρίμαχη επένδυση διαφόρων ποιοτήτων, από κεραμικά υλικά.

Διάδρομοι

Οι διάδρομοι εξυπηρετούν στις ρυθμίσεις των καυστήρων του κλιβάνου καθώς επίσης και στη συντήρηση του.

Θυρίδες Επιθεώρησης

Οι θυρίδες επιθεώρησης χρησιμοποιούνται για δυνατότητα οπτικού ελέγχου κατά τη διάρκεια λειτουργίας του κλιβάνου καθώς επίσης και για λόγους συντήρησης. Βρίσκονται στα πλάγια τοιχώματα του κλιβάνου.

Μεταφορά Slab στο Εσωτερικό του Κλιβάνου

Για να επιτευχθεί η τελική επιθυμητή θερμοκρασία των slab, τα slab πρέπει να διασχίσουν όλο τον κλιβανο κατά το μήκος του. Η κίνηση του πατώματος πραγματοποιείται από δύο υδραυλικούς κυλίνδρους που βρίσκονται κάτω από το επίπεδο του κλιβάνου. Ο πρώτος κύλινδρος έχει διεύθυνση κάθετη στο οριζόντιο επίπεδο του κλιβάνου ενώ ο δεύτερος σχηματίζει γωνιά 11° με το οριζόντιο επίπεδο του κλιβάνου. Το δε κινητό πάτωμα πλαισιώνεται από μία μεταλλική κατασκευή που στηρίζεται σε ένα σύστημα τροχών σε κεκλιμένο επίπεδο. Ειδικότερα, κάθε η κίνηση πραγματοποιείται σε 4 στάδια. Κατά το πρώτο στάδιο το κινητό μέρος του πατώματος ανυψώνεται κατακόρυφα μαζί με τα slab μέσω του πρώτου υδραυλικού κυλίνδρου. Κατά το δεύτερο στάδιο το πάτωμα μετακινείται κατά την οριζόντια διεύθυνση με φορά προς την έξοδο του κλιβάνου. Η κίνηση επιτυγχάνεται μέσω του δεύτερου κυλίνδρου. Στο τρίτο στάδιο το πάτωμα βυθίζεται κάτω από το επίπεδο του σταθερού μέρους του πατώματος με χρήση του πρώτου υδραυλικού κυλίνδρου. Τέλος, στο

τελευταίο στάδιο του κύκλου μεταφοράς το πάτωμα επιστρέφει στην αρχική του θέση με κίνηση που γίνεται μέσω του δεύτερου υδραυλικού κυλίνδρου.

Σύστημα Ελέγχου Ανοίγματος – Κλεισίματος των Θυρών Φόρτωσης - Εκφόρτωσης

Οι δύο θύρες φόρτωσης και εκφόρτωσης βρίσκονται διαγώνια μεταξύ τους. Ειδικότερα από την πλευρά της εισόδου του κλιβάνου βρίσκεται η θύρα φόρτωσης ενώ από την απέναντι πλευρά και στο άλλο άκρο του φούρνου, προς το έλαστρο, βρίσκεται η θύρα εκφόρτωσης. Υπάρχει και τρίτη θύρα η οποία βρίσκεται στη διεύθυνση εξόδου απέναντι από τη θύρα εξόδου. Η θύρα αυτή χρησιμοποιείται για την εισαγωγή στον κλίβανο του προωθητικού μηχανήματος εξόδου του slab (Peel Bar). Η κίνηση των θυρών επιτυγχάνεται με χρήση πνευματικών κυλίνδρων και δεν υπάρχει δυνατότητα παραμονής των θυρών σε κάποια ενδιάμεση θέση μεταξύ των καταστάσεων ανοιχτής – κλειστής.

Σύστημα Φόρτωσης των slab

Αρχικά τα slab βρίσκονται πάνω στο τραπέζι φόρτωσης. Από εκεί με μετακίνηση του τραπεζιού προς το ραουλόδρομο μεταφοράς slab στον κλίβανο, τα slab φορτώνονται αυτόματα μέσω δύο αγκαλών φόρτωσης, πάνω στο ραουλόδρομο και εισέρχονται στον κλίβανο. Η φόρτωση πραγματοποιείται από την άκρη του κλιβάνου που βρίσκεται η ζώνη προθέρμανσης και από την πλευρά που βρίσκεται το τραπέζι φόρτωσης. Η φόρτωση μέσα στον κλίβανο επιτυγχάνεται μέσω δεκατριών ραούλων που βρίσκονται στο εσωτερικό του, καθένα από τα οποία έχει ξεχωριστό κινητήρα. Ο μηχανισμός είναι εφοδιασμένος με σύστημα φρεναρίσματος των εισερχόμενων slab, με διάταξη ακινητοποίησης των εισερχόμενων slab και με αισθητήρες για έλεγχο της θερμοκρασίας εισόδου των slab. Από τα εσωτερικά ράουλα το slab ξεφορτώνεται με μία διάταξη από ράβδους που σπρώχνουνε το slab προς τις ζώνες θέρμανσης του κλιβάνου.

Σύστημα Εκφόρτωσης των slab

Η εκφόρτωση λαμβάνει χώρα από την άκρη του κλιβάνου που βρίσκεται η ζώνη ομογενοποίησης και από την πλευρά των ελάστρων. Η εκφόρτωση επιτυγχάνεται με τη χρήση του μηχανισμού προωθητικού slab (Peel Bar). Αποστολή του συγκεκριμένου μηχανήματος είναι να προωθήσει το slab από τον κλίβανο στο

descaler. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται μέσω ενός εσωτερικά ψυχωμένου με νερό, ομοιώματος μπιγιέτας, διαστάσεων 166 X 180 X 16270 mm το οποίο εισέρχεται στον κλίβανο και σπρώχνει το τελευταίο slab που βρίσκεται στην αξονική γραμμή ελάσεως, προς το έλαστρο. Μόλις γίνει η αρπαγή του slab από το ελκτικό ράουλο του descaler, το ομοίωμα επιστρέφει στην αρχική του θέση και είναι έτοιμο για την προώθηση του επόμενου slab.

Για την ευθυγράμμιση του άξονα του προωθητικού με τον άξονα του slab υπάρχει δυνατότητα κίνησης του προωθητικού στην κάθετη γραμμή ελάσεως. Για τον προσδιορισμό της θέσης του slab στο εσωτερικό του κλιβάνου υπάρχουν ανιχνευτές. Για την κίνηση του ομοιώματος εμπρός και πίσω χρησιμοποιούνται δύο οριζόντια ράουλα διαμέτρου 545 mm, τα οποία έλκουν το ομοίωμα. Για τη δημιουργία κάθετης δύναμης των ραούλων χρησιμοποιούνται δύο πνευματικοί κύλινδροι διαμέτρου 200 mm. Το κάθε ράουλο κινεί ένας εμβολοφόρος υδραυλικός κινητήρας ισχύος 62kW και 450 στροφών ανά λεπτό.

Υδραυλικό Σύστημα

Το υδραυλικό σύστημα χρησιμοποιείται για

- Τη μετακίνηση των slab στο εσωτερικό του κλιβάνου
- Τη λειτουργία του Peel Bar

Το υδραυλικό σύστημα αποτελείται από

- 1 δεξαμενή λαδιού, χωρητικότητας 6000 λίτρων.
- 7 κύριες αντλίες ισχύος 55 kW η κάθε μία, εκ των οποίων η μία εφεδρική.
- 2 δευτερεύουσες αντλίες ανακυκλοφορίας λαδιού, ισχύος 5,5 kW έκαστη, εκ των οποίων η μία εφεδρική, που χρησιμοποιούνται για την ψύξη του λαδιού.
- 3 αναθερμαντήρες λαδιού ισχύος 2,5 kW ο καθένας.
- Ενδείξεις κατώτατης και ανώτατης στάθμης
- 4 θερμοστάτες



Καύση

Γενικά

Η καύσιμη ύλη που χρησιμοποιείται είναι το μαζούτ. Η καύση πραγματοποιείται με τη συμβολή του αέρα καύσης και του αέρα ατμοποίησης.

Μαζούτ

Το μαζούτ τροφοδοτείται στους καυστήρες του κλιβάνου από μία δεξαμενή στο εσωτερικό του εργοστασίου. Αρχικά προθερμαίνεται από έναν θερμαντήρα ισχύος 92 kW μόλις εξέρχεται από τη δεξαμενή. Έπειτα η θέρμανση συνεχίζεται στο διανομέα του καυσίμου και τέλος στην είσοδο κάθε ζώνης. Η τελική θερμοκρασία του μαζούτ ανέρχεται στους 120 °C και η πίεσή του κυμαίνεται από 3,5 bar έως 5,5 bar ανάλογα με τις συνθήκες λειτουργίας των καυστήρων. Όλοι οι αγωγοί μεταφοράς του μαζούτ είναι μονωμένοι για ελαχιστοποίηση των απωλειών θερμότητας. Η θερμογόνος δύναμη του μαζούτ ανέρχεται στις 9600 Kcal ανά κιλό καυσίμου.

Αέρας Καύσης

Ο αέρας καύσης είναι προθερμασμένος, στους 400 °C αέρας και χρησιμοποιείται στην πραγματοποίηση της καύσης. Η εισαγωγή του αέρα εξασφαλίζεται από έναν ανεμιστήρα που βρίσκεται στην είσοδο του συστήματος εισαγωγής.

Αέρας Ατμοποίησης

Ο αέρας ατμοποίησης είναι προθερμασμένος αέρας 120 °C που εισέρχεται στον καυστήρα με υψηλή πίεση. Ο πεπιεσμένος αέρας μεταφέρεται με αγωγούς, από αεροσυμπιεστή και αποθηκεύεται στο δοχείο διανομής χωρητικότητας δέκα κυβικών μέτρων (10 m³) σε πίεση 7 bar. Από εκεί ρυθμίζεται η τελική του πίεση στα 5,4 bar και ακολουθεί η διαδικασία της προθέρμανσης. Η διαδικασία της προθέρμανσης γίνεται από εναλλάκτη θερμότητας στις τελικές βαθμίδες του συστήματος εξόδου των καυσαερίων. Μετά την προθέρμανσή του, ο αέρας μεταφέρεται με αγωγούς στους καυστήρες.

Καυστήρες

Οι καυστήρες λειτουργούν με μαζούτ ή φυσικό αέριο. Είναι σχεδιασμένοι με τρόπο που εξασφαλίζεται η υψηλή ταχύτητα των ροών. Το καύσιμο εξέρχεται με πολύ υψηλές ταχύτητες από τους καυστήρες, έτσι ώστε να παράγει μεγάλο στροβιλισμό.

Καυσαέρια

Η απομάκρυνση των καυσαερίων στην ατμόσφαιρα πραγματοποιείται με την αρωγή ενός ανεμιστήρα που είναι τοποθετημένος πριν τον καπνοδόχο. Τα καυσαέρια του κλιβάνου εξέρχονται μέσα από τα ράουλα, από ανοίγματα κάτω από το ραουλόδρομο και μέσω μονωμένων αγωγών εισέρχονται στο Recuperator σε θερμοκρασία 980 °C. Η μέγιστη θερμοκρασία εισόδου στον Recuperator είναι 1030 °C. Από τον Recuperator, εξέρχονται με θερμοκρασία 450 °C ενώ η μέγιστη επιτρεπόμενη τιμή της θερμοκρασίας εξόδου είναι 460 °C. Πριν ελευθερωθούν τα καυσαέρια στην ατμόσφαιρα ελέγχεται η σύστασή τους σε CO, SO₂, NO, NO_x, CO₂, O₂ και από τη συγκέντρωση του O₂ υπολογίζεται η περίσσεια αέρα.

Εσωτερική Πίεση Κλιβάνου

Στο σύστημα μεταφοράς των καυσαερίων υπάρχει μία πεταλούδα που ρυθμίζει την παροχή των καυσαερίων. Μέσω της ρύθμισης παροχής των καυσαερίων επιτυγχάνεται η ρύθμιση της επιθυμητής πίεσης στο εσωτερικό του κλιβάνου η οποία πρέπει να είναι ελαφρώς θετική. Υψηλή πίεση μπορεί να προκαλέσει την έξοδο της φλόγας καύσης από τον κλιβάνο καθώς και των καυσαερίων από το άνοιγμα ή το κλείσιμο των θυρών, ενώ χαμηλή πίεση μπορεί να προκαλέσει εισαγωγή ατμοσφαιρικού αέρα στο εσωτερικό του κλιβάνου με συνέπεια την ψύξη του slab. Το εύρος των τιμών πίεσης κυμαίνεται από 0,5 έως 0,8 mm στήλης αέρα.

Recuperator

Το σύστημα του recuperator είναι υπεύθυνο για την προθέρμανση του αέρα καύσης. Αποτελεί έναν εναλλάκτη θερμότητας όπου έχουμε μετάδοση θερμότητας από τα καυσαέρια στον αέρα καύσης. Ο εναλλάκτης έχει δυνατότητα λειτουργίας με είτε με ομορροή είτε με αντιροή. Αν και η εναλλαγή θερμότητας με αντιροή έχει μεγαλύτερη απόδοση, στην καύση με μαζούτ, χρησιμοποιείται η εναλλαγή θερμότητας με ομορροή αφού παρέχει στον αέρα καύσης την επιθυμητή θερμοκρασία

για την είσοδό του στον καυστήρα μειώνοντας ταυτόχρονα την καταπόνηση των σωληνώσεων. Το σύστημα του recuperator είναι μονωμένο για λόγους ασφαλείας αφού τα ρευστά που διέρχονται μέσω αυτού έχουν υψηλές θερμοκρασίες και για την αποφυγή απωλειών θερμότητας του θερμού αέρα καύσης.

Ζώνες Θέρμανσης

Γενικά

Η θέρμανση του slab στον κλίβανο αποτελείται από τρεις φάσεις, τη φάση της προθέρμανσης, τη φάση της θέρμανσης και τη φάση της ομογενοποίησης. Οι ζώνες ελέγχου της θέρμανσης είναι πέντε. Μία για την προθέρμανση, μία για την κύρια θέρμανση και τρεις για την ομογενοποίηση.

Προθέρμανση

Η προθέρμανση καθορίζεται μόνο από μία ζώνη ελέγχου. Σ' αυτήν, υπάρχουν 12 καυστήρες τύπου MXB 200-80 με δυνατότητα παροχής 1360 Mcal ανά ώρα. Η θερμοκρασία του slab μετά το πέρας της προθέρμανσης ανέρχεται στους 1000 °C.

Κύρια Θέρμανση

Η κύρια θέρμανση καθορίζεται μόνο από μία ζώνη ελέγχου. Σ' αυτήν, υπάρχουν 11 καυστήρες τύπου MXB 250-100 με δυνατότητα παροχής 1828 Mcal ανά ώρα. Η μέγιστη θερμοκρασία της καύσης ανέρχεται στους 1230 °C. Η θερμοκρασία αυτή δεν είναι ταυτόσημη με τη θερμοκρασία του slab. Επίσης η θερμοκρασία του slab δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένη σε όλο του τον όγκο.

Ομογενοποίηση

Σκοπός της ομογενοποίησης είναι η δημιουργία ομοιόμορφης κατανεμημένης θερμοκρασίας στον όγκο του slab. Για τον καλύτερο έλεγχο της θερμοκρασίας του slab υπάρχουν τρεις ζώνες ελέγχου οι οποίες καθορίζουν τη θερμοκρασία των slab που θα προχωρήσουν στη διαδικασία της έλασης. Η πρώτη ζώνη ελέγχου καθορίζει τη θερμοκρασία της ουράς του slab, δηλαδή εκείνου του κομματιού του slab που θα ελασθεί τελευταίο. Η τρίτη ζώνη καθορίζει τη θερμοκρασία της μύτης του slab,

δηλαδή εκείνου του κομματιού του slab που θα ελαθεί πρώτο ενώ η δεύτερη ζώνη καθορίζει τη θερμοκρασία του κομματιού του slab που βρίσκεται μεταξύ της μύτης και της ουράς του slab. Η κάθε ζώνη αποτελείται από 4 όμοιους καυστήρες τύπου MXB 150-65 ο καθένας από τους οποίους έχει δυνατότητα πρόσδωσης 783 Mcal ανά ώρα. Η τελική θερμοκρασία εισόδου του slab ανέρχεται στους 1160- 1170 °C. Στη ζώνη της ομογενοποίησης ο χάλυβας φτάνει στη θερμοκρασία ωστενιτοποίησης όπου και παραμένει μέχρι η θερμοκρασία να πέσει στους 800 °C, όπου ο ωστενίτης αρχίζει να μετατρέπεται σε φερρίτη για να ακολουθήσει την υποευθηκτοειδή αντίδραση [1]. Η θερμοκρασία των 800 °C αναφέρεται με δεδομένο ότι οι χάλυβες που ελάσσονται περιέχουν περίπου $0,1\% \pm 0,02\%$.

Descaler

Γενικά

Κατά τη διαδικασία της αποξείδωσης αφαιρείται η σκουριά από την επιφάνεια των slab που εξέρχονται από τον κλίβανο. Η σκουριά αυτή δημιουργείται από τις θερμικές κατεργασίες που υπόκεινται τα slab μέσα στον κλίβανο. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη κατά την παραγωγή του τσερκιού διότι απαιτείται πολύ καλή ποιότητα της επιφάνειας του. Η αποξείδωση προκαλείται με χρήση πεπιεσμένου νερού.

Βασικά Στοιχεία Της Διάταξης Του Αποξειδωτή

Σύστημα Μεταφοράς Των slab

Η κίνηση των slab οφείλεται σε δύο ζευγάρια ραούλων και σε ένα μονό ράουλο. Η είσοδος των slab επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός οριζόντιου διπλού ελκτικού ράουλου. Οι άξονες περιστροφής των ραούλων είναι παράλληλοι μεταξύ τους ενώ το επίπεδο που σχηματίζουν είναι κάθετο προς οριζόντιο επίπεδο. Το κάτω ράουλο παραμένει σταθερό ως προς τους οριζόντιους άξονες και το κατακόρυφο επίπεδο ενώ το άνω ράουλο έχει δυνατότητα κίνησης στον κατακόρυφο άξονα. Η κίνηση του άνω ράουλου οφείλεται σε δύο υδραυλικούς κυλίνδρους οι οποίοι είναι

παράλληλοι προς τον κατακόρυφο άξονα. Η διάταξη κίνησης εξυπηρετεί στη έλξη του slab μέσα στο θάλαμο αποξείδωσης.

Για την κίνηση των ραούλων υπάρχει ένας κινητήρας ισχύος 37kW, μεγίστων στροφών ίσων με 1500 ο οποίος συνδέεται με μειωτήρα λόγου μείωσης 80:1 και εν συνεχεία με μειωτήρα 1:1 ο οποίος έχει έξοδο σε δύο άξονες. Το κάτω ράουλο συνδέεται με τον μειωτήρα με σταθερό άξονα ενώ το άνω ράουλο συνδέεται με το μειωτήρα με άξονα τύπου σταυρού. Μέσα στο θάλαμο αποξείδωσης υπάρχει ένα ράουλο το οποίο κινείται μέσω ενός ηλεκτρομειωτήρα ισχύος 3kW με λόγο μείωσης 49,42:1. Η σύνδεση του ράουλο με τον ηλεκτρομειωτήρα γίνεται μέσω ενός άξονα. Τέλος, η έξοδος του slab πραγματοποιείται μέσω ενός ζευγαριού ραούλων που έχουν την ίδια διάταξη με τα ράουλα εισόδου.

Οι υδραυλικοί κύλινδροι είναι αντικατεστημένοι από πνευματικούς αφού δεν είναι απαραίτητη άσκηση μεγάλων δυνάμεων για την εξαγωγή των slab. Η κίνηση των ραούλων επιτυγχάνεται μέσω δύο ηλεκτομειωτήρων ανεξαρτήτων μεταξύ τους, τα χαρακτηριστικά των οποίων είναι ίδια με αυτά του ηλεκτρομειωτήρα που κινεί το ράουλο στο θάλαμο αποξείδωσης. Η σύνδεση του κάτω ράουλου γίνεται με σταθερό άξονα ενώ του άνω, με άξονα τύπου σταυρού. Οι επιτρεπόμενες διαστάσεις του slab είναι 450 X 130 mm (πλάτος X ύψος).

Αποξείδωση

Μετά το πέραςμα του slab από το πρώτο ζεύγος ραούλων, το slab εισέρχεται στο θάλαμο αποξείδωσης. Στο θάλαμο αποξείδωσης υπάρχουν τέσσερις σειρές από μπέκ ψεκασμού πεπιεσμένου νερού τα οποία απομακρύνουν τη σκουριά. Δύο σειρές μπεκ, εύρους 450 mm, χρησιμοποιούνται για την αποσκωρίωση της κάτω πλευράς του slab ενώ οι άλλες δύο, εύρους 453 mm, για την αποσκωρίωση της άνω πλευράς. Κάθε σειρά αποτελείται από έντεκα μπεκ. Τα μπέκ βρίσκονται σε απόσταση 40 mm μεταξύ τους σε γωνία 30°, ενώ η γωνία πρόσπτωσης του νερού είναι ίση με 15°. Η πίεση του κάθε μπεκ ανέρχεται στα 270 bar με παροχή νερού ίση με 19,7 λίτρα ανά λεπτό και συνολική παροχή 52 m³/hr.

Προστασία Ψύξης του slab

Στην είσοδο του θαλάμου υπάρχουν αναρτημένες αλυσίδες καθ' όλο το ύψος της εισόδου. Σκοπός των αλυσίδων αυτών είναι να αποτρέψουν τη διασπορά του νερού προς την πλευρά του κλιβάνου για αποφυγή ψύξης του slab.

Για τον ίδιο λόγο αλλά και για την οριοθέτηση του χώρου ψεκασμού, χρησιμοποιούνται τα water barriers που αποτελούνται από δύο σειρές τριών μπεκ χαμηλής πίεσης και εύρους 470 mm,. Τα μπέκ βρίσκονται σε απόσταση 150 mm μεταξύ τους σε γωνία 15°. Η πίεση του κάθε μπεκ ανέρχεται στα 10 bar με παροχή νερού ίση με 22,4 λίτρα ανά λεπτό και συνολική παροχή 8,05 m³/hr.

Περιοχή Ελάστρων

Γενικά

Η διαδικασία έλασης περιλαμβάνει δεκαεννέα έλαστρα τριών ειδών, οριζόντια 2-ΗΙ και 4-ΗΙ και κάθετα.

Κατά τη διάρκεια της έλασης ο χάλυβας υφίσταται πλαστική παραμόρφωση. Επειδή έχουμε έλαση εν θερμώ, αφού η θερμοκρασία της έλασης παραμένει πάντα μεγαλύτερη από το 40% της θερμοκρασίας τήξης του χάλυβα, δεν υπάρχει ανάγκη για θερμικές κατεργασίες στον χάλυβα κατά τη διάρκεια της έλασης.

Διαδικασία Έλασης

Οριζόντια Έλαστρα Δύο Κυλίνδρων (2-ΗΙ) D1-5, 5-7, 9-12, 14

Τα έλαστρα δύο κυλίνδρων είναι εφοδιασμένα με κυλίνδρους μήκους και διαμέτρου 900 mm και 540 mm αντίστοιχα (έλαστρα 1-3), 900 mm και 510 mm (έλαστρα 5,6), 680 mm και 380 mm (έλαστρα 7, 9, 10) 550 mm και 380 mm (έλαστρα 11, 12, 14).

Κάθετα Έλαστρα Η4, 8, 13

Τα κάθετα έλαστρα χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο του πλάτους του τσερκιού.

Ψαλίδι Τσερκιού SH1B

Το ψαλίδι τσερκιού χρησιμοποιείται για την κοπή του slab σε περίπτωση εμπλοκής σε κάποιο σημείο της γραμμής παραγωγής μετά απ' αυτό. Μπορεί επίσης

να χρησιμοποιηθεί για την κοπή της ουράς ή της μύτης του slab -των πιο ψυχρών σημείων του slab- εάν αυτό απαιτηθεί.

Οριζόντια Έλαστρα Τεσσάρων Κυλίνδρων (4-HI)

Τα πέντε τελευταία έλαστρα είναι οριζόντιου τύπου αλλά αποτελούνται από δύο ζευγάρια κυλίνδρων, τα back up rolls και τα working rolls.

Όλα τα έλαστρα κινούνται από ηλεκτροκινητήρες ενώ χρησιμοποιούνται μειωτήρες για αύξηση της ροπής κίνησης των κυλίνδρων. Η διαδικασία της έλασης, προκαλεί φθορά των κυλίνδρων με αποτέλεσμα την ανάγκη συχνής αλλαγής τους. Τα χρησιμοποιημένα κύλινδρα τερνίζονται για να επαναχρησιμοποιηθούν γεγονός που έχει αποτέλεσμα τη μείωση της διαμέτρου τους. Για το κάθε έλαστρο υπάρχουν επιτρεπόμενες τιμές της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής της διαμέτρου.

Το διάκενο των ελάστρων 1-14 ρυθμίζεται χειροκίνητα με χρήση ατέρμονα κοχλία και κορώνας. Για τα έλαστρα 15, 16 χρησιμοποιείται διάταξη ατέρμονα κοχλία και κορώνας με ηλεκτρικό κινητήρα.. Για έλαστρα 17, 18, 19 η ρύθμιση του διακένου των κυλίνδρων γίνεται με τη χρήση υδραυλικού συστήματος AGC. Οι διατάξεις ρύθμισης των διάκενων των κυλίνδρων των πέντε τελευταίων ελάστρων γίνονται με πολύ μεγάλη ακρίβεια γιατί καθορίζουν το πάχος του τελικού προϊόντος.

Looper

Τα looper βρίσκονται μεταξύ δύο διαδοχικών ελάστρων από το H14 έως το H19. Χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της τάνυσης του τσερκιού μεταξύ των ελάστρων. Ο έλεγχος αυτός γίνεται μέσω της ρύθμισης των στροφών του πρώτου εκ των δύο ελάστρων. Μόλις περάσει το τσέρκι από το looper και προωθηθεί στο επόμενο έλαστρο τότε λόγω της αύξησης της ισχύος του κινητήρα του 2^{ου} ελάστρου, το looper ξεκινάει την λειτουργία του.

Η διάταξη του looper αποτελείται από ένα βραχίονα που είναι στερεωμένος από το ένα άκρο στο επίπεδο της γραμμής ελάσεως με προσανατολισμό παράλληλο στην αξονική γραμμή ελάσεως, ενώ στο άλλο άκρο του βραχίονα βρίσκεται ένας κύλινδρος στον οποίο κυλάει το τσέρκι, όταν είναι ανυψωμένος. Η βέλτιστη γωνία λειτουργίας του βραχίονα είναι 25 μοίρες. Αρχικά ο βραχίονας είναι παράλληλος στην αξονική γραμμή ελάσεως. Το διερχόμενο τσέρκι ασκεί πίεση στο looper η οποία υπολογίζεται από ανιχνευτή πίεσης στο υδραυλικό έμβολο. Από την υπολογιζόμενη πίεση, υπολογίζεται η δύναμη που ασκεί το τσέρκι στο βραχίονα και έπειτα

υπολογίζεται η τάνυση. Αν η τάνυση είναι μεγάλη τότε δίνεται εντολή για αύξηση των στροφών του προηγούμενου ελάστρου. Αν η τάνυση είναι κάτω από τη βέλτιστη τιμή τότε δίνεται εντολή για μείωση των στροφών του 1^{ου} κινητήρα.

Μέσω των πέντε συνολικά διατάξεων looper επιτυγχάνεται ο πλήρης έλεγχος των στροφών των κινητήρων με αποτέλεσμα τη βέλτιστη λειτουργία του συστήματος ελάσεως και τη μείωση της πιθανότητας εμπλοκής της γραμμής παραγωγής.

Τεχνικά Χαρακτηριστικά Ελάστρων

Πίνακας 1.3.2 Τεχνικά Χαρακτηριστικά ελάστρων

Αριθμός Ελάστρου	Ισχύς Κινητήρα KW	Ελάχιστη ροπή KNm	Μέγιστη ροπή KNm	Ελάχιστος Αριθμός στροφών κινητήρα min ⁻¹	Μέγιστος Αριθμός στροφών κινητήρα min ⁻¹	Λόγος Μείωσης Μειωτήρα	Διαστάσεις Κυλίνδρων, (Διάμετρος X Πλάτος), mm	Δύναμη κυλίνδρων, MN
H1	400	261	286	550	1500	117,26	540 X 900	4,3
H2	400	259	284	550	1500	85,008		
H3	500	239	263	550	1500	60,961		
V4	200	5,42	5,94	450	1200	17,674		
H5	500	157	172	550	1500	44,94	510 X 900	4,3
H6	400	50,3	100	550	1500	24,207	380 X 680	1,9
H7	400	62	74	550	1500	15,526		
V8	200	2,06	2,21	450	1200	8,968		
H9	595	56,9	80	550	1500	13,714	380 X 680	1,9
H10	400	39	43	550	1500	8,99		
H11	500	38	43	550	1500	6,217	380 X 550	
H12	500	32	35	550	1500	4,423		
V13	200	1,61	2,02	450	1200	2,9		
H14	650	29	32	550	1500	4,233	380 X 550	1,9
H15	1000	52	58	350	960	1,892	300/500 X 450	2,5
H16	1000	37	41	350	960	1,581		2,5
H17	1000	27	29	350	960	1,41		2
H18	1000	19,6	21,5	350	960	1,26		1,8
H19	1000	15,6	17,1	350	960	1		1,5

1.4. Διάρθρωση Εργασίας

Όπως αναφέρθηκε σε προηγούμενη ενότητα τα εγκλείσματα είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ποιότητα της χαλυβδοταινίας. Για την πλήρη κατανόηση της επιρροής των εγκλεισμάτων είναι απαραίτητη η μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού και η συσχέτιση τους με τη δομή του καθώς και με τον τρόπο παραγωγής. Επομένως για να είναι πλήρης η μελέτη απαιτείται η μελέτη όλων των παραγόντων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

Για το σκοπό αυτό στα επόμενα κεφάλαια θα περιγραφούν οι πειραματικές διαδικασίες που ακολουθήθηκαν και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα. Ειδικότερα πραγματοποιήθηκαν οι ακόλουθες μελέτες.

- Αξιολόγηση slab, δηλαδή την πρώτη ύλη της χαλυβδοταινίας
- Μελέτη εγκλεισμάτων σε χαλυβδοταινίες
- Μελέτη δομής και μεγέθους κόκκου των χαλυβδοταινιών
- Μηχανικές δοκιμές που περιλαμβάνουν
 - Δοκιμές εφελκυσμού
 - Δοκιμές κρούσης
 - Σκληρομετρήσεις

Οι παραπάνω εργασίες πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, όπου υπήρχε και ο απαραίτητος εξοπλισμός για την πραγματοποίηση των μελετών αυτών.

Οι δοκιμές εφελκυσμού και κρούσης πραγματοποιήθηκαν στις εγκαταστάσεις της Sovel και τα αποτελέσματα δόθηκαν τηλεφωνικά.

Κεφάλαιο 2. Πειραματικές Διαδικασίες

2.1. Εισαγωγή

Από την εταιρεία Sovel A.E. παρελήφθησαν 2 δείγματα από slab, διαστάσεων 360 X 140 mm και πάχους 20 mm από τα χυτήρια 5179 και 5181. Οι φέτες (δείγματα) slab κόπηκαν από την ουρά του slab.

Επίσης, παρελήφθησαν 2 δείγματα χαλυβδοταινίας, μήκους 500 mm, πλάτους 375mm και πάχους 3,3 mm από τα ίδια με το slab χυτήρια. Τα δοκίμια κόπηκαν ανάμεσα στην αρχή και τη μέση του ρόλου επειδή τα δείγματα από την αρχή και το τέλος του ρόλου δεν αντικατοπτρίζουν τις πραγματικές ιδιότητες της χαλυβδοταινίας. Σε αυτά μελετήθηκαν η καθαρότητά τους σε εγκλείσματα, το μέγεθος του κόκκου, η σκληρότητά τους και έγιναν μηχανικές δοκιμές εφελκυσμού και κρούσης.

2.2. Χαρακτηριστικά Παραγωγής Χαλυβδοταινίας

Η έλαση των χαλυβδοταινιών των χυτηρίων 5179 και 5181 πραγματοποιήθηκε στις 14 Δεκεμβρίου 2004. Η σύσταση των χυτηρίων παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.1 Κραματική Σύσταση Χυτηρίων 5179 και 5181

Αρ. Χυτ.	Grade	C (%)	Mn (%)	S (%)	P (%)	Si (%)	Cr (%)	Ni (%)	Cu (%)	Al (%)	N (%)	Nb (%)	Ti (%)	Ca (%)	Mn/S
5179	St 52	0,116	1,329	0,01	0,008	0,25	0,068	0,108	0,278	0,022	0,011	0,003	0,001	0,003	146,5
5181	St 37	0,097	0,702	0,01	0,005	0,26	0,06	0,097	0,189	0,023	0,011	0,002	0,002	0,003	63,2

Τα slab πριν την έλαση παρέμειναν στον κλίβανο αναθέρμανσης οκτώ ώρες, σε θερμοκρασία 1150 °C τις επτά πρώτες ώρες και σε θερμοκρασία 1215 °C (φάση ομογενοποίησης) την τελευταία ώρα. Από το γεγονός αυτό συμπεραίνουμε η θερμοκρασία στο slab ήταν ίδια σε όλα τα σημεία του.

Οι θερμοκρασίες της χαλυβδοταινίας μεταξύ των ελάστρων καταγράφηκε την ίδια μέρα σε παραγωγή χαλυβδοταινιών όπου ο χρόνος παραμονής των slab στον κλίβανο ήταν κοντά σε σχέση με τα slab των χυτηρίων 5179 και 5181.

Οι θερμοκρασίες μετρήθηκαν με χρήση οπτικού πυρομέτρου όπου ο συντελεστής εκπομπής ακτινοβολίας του σιδήρου, ρυθμίστηκε στο 0,8. Οι θερμοκρασίες παρουσιάζονται στο παρακάτω γράφημα και αναφέρονται στην έξοδο του κάθε ελάστρου.

Πίνακας 2.2 Θερμοκρασίες Ελάσεως

Θέση Χαλυβδοταινίας	Θερμοκρασία Έλασης σε °C
Έλαστρο 1	1120
Έλαστρο 2	1100
Έλαστρο 3	1050
Έλαστρο 4	1030
Έλαστρο 5	1020
Έλαστρο 6	1010
Έλαστρο 7	990
Έλαστρο 8	980
Έλαστρο 9	970
Έλαστρο 10	965
Έλαστρο 11	960
Έλαστρο 12	940
Έλαστρο 13	910
Έλαστρο 14	900
Έλαστρο 15	900
Έλαστρο 16	890
Έλαστρο 17	880
Έλαστρο 18	870
Έλαστρο 19	850
Ταλαντωτής	830
Τυλικτικό	690

2.3. Πειραματική Διαδικασία για τα Slab

Τα δείγματα slab προσβλήθηκαν μακροσκοπικά, όπως ελήφθησαν, χωρίς κάποια προετοιμασία, σε διάλυμα Nital 10 % για 45 λεπτά για τον εντοπισμό σφαλμάτων. Τα slab αξιολογήθηκαν σύμφωνα με τα ελαττώματα που παρουσίασαν. Τα ελαττώματα χωρίστηκαν σε τέσσερις τύπους.

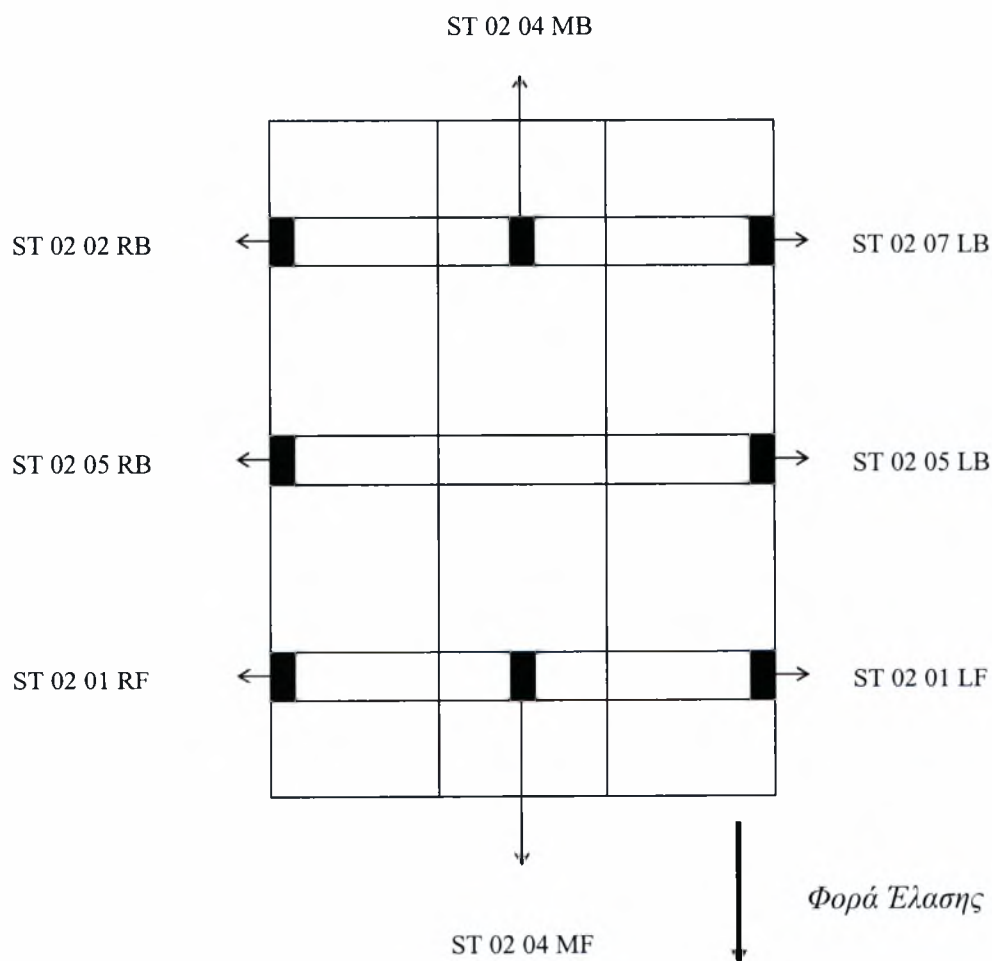
- Τύπος Α: Πορώδες στο κέντρο του slab
- Τύπος Β: Πορώδες στο εσωτερικό του slab, κοντά στην εξωτερική επιφάνεια
- Τύπος Γ: Επιμήκειες ρωγμές κοντά στην εξωτερική επιφάνεια του slab
- Τύπος Δ: Ρωγμές στο εσωτερικό του slab

Για την αξιολόγηση των slab χρησιμοποιήθηκε μία κλίμακα από το μηδέν ως το δέκα, όπου στο μηδέν δεν υπάρχουν καθόλου ελαττώματα και στο δέκα το slab κρίνεται απορριπτέο.

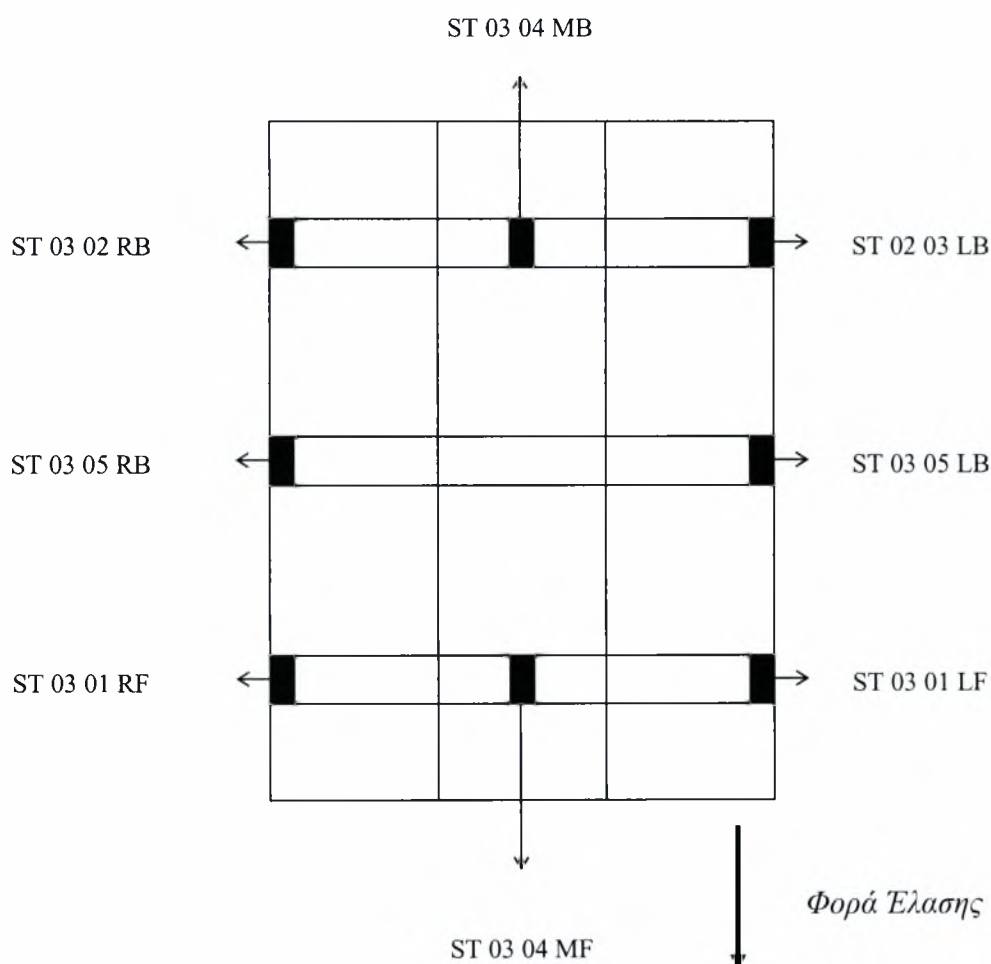
2.4. Δείγματα χαλυβδοταινίας

Από τα δύο δείγματα χαλυβδοταινίας, κόπηκαν 8 δοκίμια από το καθένα. Τρία δοκίμια κόπηκαν από την κάθε πλευρά και δύο από το κέντρο, όπως φαίνεται και στα παρακάτω σχήματα.

Δοκίμια από το 5179



Δοκίμια από το 5181



Προετοιμασία των Δοκιμίων

Τα δοκίμια κόπηκαν σε κοπτικό μηχάνημα του εργαστηρίου με χρήση αποξεστικού τροχού από αλουμίνα, χρησιμοποιώντας νερό ως ψυκτικό μέσο.

Τα δοκίμια εγκιβωτίστηκαν σε ακρυλική ρητίνη Acryfix. Ο εγκιβωτισμός έγινε με τέτοιο τρόπο ώστε η εξεταζόμενη επιφάνεια των δοκιμίων να αποτελεί μέρος της επιφάνειας της χαλυβδοταινίας. Στη συνέχεια τα δοκίμια λειάνθηκαν σε λειαντικά χαρτιά καρβιδίου του πυριτίου (SiC) με πρώτο μέγεθος κόκκου 80 grit και με ακολουθία 220, 320, 500, 800, 1000, 2400, με χρήση νερού ως ψυκτικό μέσο. Κατόπιν, στιλβώθηκαν σε λειαντικό πανί, με διάλυμα διαμαντιού 1 μm και ψυκτικό μέσο DP Lubricant Green.

2.5. Μέτρηση καθαρότητας χαλυβδοταινιών σε εγκλείσματα

Η μέτρηση και αξιολόγηση της καθαρότητας των χαλυβδοταινιών, διενεργήθηκε με βάση την προδιαγραφή ASTM E45 Method A (Worst Fields). Σύμφωνα με την παραπάνω μέθοδο τα εγκλείσματα ταξινομούνται σε τέσσερις τύπους με κριτήριο τη χημική τους σύσταση και τη μορφολογία τους. Οι τύποι είναι οι ακόλουθοι.

- Type A: Αναφέρεται σε επιμήκη σουλφίδια του μαγγανίου (MnS)
- Type B: Πυριτικά οξείδια ή σύμπλεγμα (clusters) οξειδίων τα οποία έχουν λόγο διαμέτρων μικρότερο του 5
- Type C: Πυριτικά οξείδια με λόγο διαμέτρων μεγαλύτερο του 5
- Type D: Σφαιρικά οξείδια

Επειδή τα δείγματα χαλυβδοταινίας προέκυψαν από χυτήρια στα οποία η αποξείδωση προέκυψε με χρήση Αλουμινίου παρατηρήθηκαν εγκλείσματα τύπου A και D.

Διαδικασία καταγραφής εγκλεισμάτων

Κάθε στιλβωμένο δοκίμιο από τη χαλυβδοταινία φωτογραφήθηκε στο μικροσκόπιο με μεγέθυνση 100 X χωρίς να προσβληθεί χημικά. Από το κάθε δοκίμιο προέκυψαν 12 με 38 πεδία στα οποία κρίθηκε υψηλή περιεκτικότητα σε εγκλείσματα.

Συνολικά εξετάστηκαν 358 φωτογραφίες (πεδία). Το κάθε πεδίο αναλύθηκε ψηφιακά με το λογισμικό Image Pro Plus 4.5 και μετρήθηκαν το μήκος και το πλάτος κάθε εγκλείσματος.

Για την περιεκτικότητα εγκλεισμάτων τύπου A μετρήθηκε το συνολικό μήκος των εγκλεισμάτων τύπου A σε κάθε πεδίο.

Ο προσδιορισμός της περιεκτικότητας της χαλυβδοταινίας σε εγκλείσματα τύπου D προκύπτει από το συνολικό αριθμό των εγκλεισμάτων ανά πεδίο με μεγέθυνση 100 X, τα οποία έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 2 μm . Τα εγκλείσματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες με κριτήριο τη διάμετρό τους.

- Thin (Λεπτά): Έχουν διάμετρο από 2 έως 8 μm
- Heavy (Χοντρά): Έχουν διάμετρο από 8 έως 13 μm
- Oversized (Υπερμεγέθη): Έχουν διάμετρο μεγαλύτερη από 13 μm

Για τον προσδιορισμό της περιεκτικότητας των δύο πρώτων κατηγοριών, χρησιμοποιείται μία κλίμακα από το μηδέν ως πέντε, όπου στο μηδέν δεν υπάρχει

κανένα οξείδιο ανά πεδίο ενώ στο πέντε υπάρχουν εκατό οξείδια ανά πεδίο. Η κλίμακα δεν είναι γραμμική και παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 2.3 Κλίμακα καθαρότητας για τα σφαιρικά οξείδια

Επίπεδο Σοβαρότητας	Ελάχιστος αριθμός εγκλεισμάτων ανά πεδίο
0,5	1
1	4
1,5	9
2	16
2,5	25
3	36
3,5	49
4	64
4,5	81
5	100

Έτσι στα οξείδια καταγράφεται ο βαθμός σοβαρότητας για την κάθε κατηγορία (thin, heavy, oversized), ενώ σημειώνονται οι διαστάσεις όλων των υπερμεγεθών σφαιρικών οξειδίων που εντοπίζονται. Για το κάθε δοκίμιο, υπολογίζεται η χειρότερη περίπτωση του κάθε δείκτη από τα καταγεγραμμένα πεδία και από τους μέσους όρους των χειρότερων περιπτώσεων του κάθε δοκιμίου προκύπτει ο δείκτης που χαρακτηρίζει την χαλυβδοταινία. Για μεγαλύτερη ακρίβεια αντί για μελέτη έξι δοκιμίων για κάθε χυτήριο, όπως ορίζει η προδιαγραφή, χρησιμοποιήθηκαν στο σύνολο οκτώ δοκίμια.

2.6. Μέτρηση Μεγέθους Κόκκου

Για την μέτρηση του κόκκου απαιτείται η χρήση οπτικού μικροσκοπίου. Ο χάλυβας που μελετάμε είναι υποευθηκτοειδής επειδή η περιεκτικότητά του σε άνθρακα είναι κάτω από 0,8 %. Λόγω της ήπιας ψύξης του χάλυβα από την ωστενιτική περιοχή προκύπτει φερρίτης και περλίτης. Για το λόγο αυτό θα μετρήσουμε το μέγεθος (G) του κόκκου του φερρίτη.

Δομή Χαλυβδοταινίας

Για να παρατηρήσουμε το μέγεθος του κόκκου θα πρέπει πρώτα να προσβάλουμε χημικά το δοκίμιο έτσι ώστε να αποκαλυφθεί η δομή του χάλυβα. Για την περίπτωση μας όπου έχουμε φάση περλίτη και φερρίτη το κατάλληλο αντιδραστήριο είναι το Nital το οποίο αποκαλύπτει τα όρια μεταξύ των κόκκων του φερρίτη και του σεμεντίτη και χρωματίζει το δεύτερο σκούρο γκρι ή μαύρο. Το Nital είναι διάλυμα με διαλύτη την αιθυλική αλκοόλη (οινόπνευμα) και διαλυμένη ουσία το νιτρικό οξύ (HNO_3). Για την περίπτωση μας χρησιμοποιήθηκε Nital 2 %. Ο χρόνος προσβολής κυμάνθηκε στα 15 δευτερόλεπτα, όπου φάνηκε έντονα η διαφορά των δύο φάσεων.

Διαδικασία Μέτρησης Μεγέθους Κόκκου

Για την μέτρηση κόκκου χρησιμοποιήσαμε την προδιαγραφή E 112 και ιδιαίτερα τη μέθοδο «Heyn». Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, φωτογραφίζουμε ένα δοκίμιο στο οποίο χρησιμοποιούμε μία ευθεία γραμμή η οποία τέμνει τους κόκκους του φερρίτη. Ο αριθμός των κόκκων του φερρίτη που τέμνονται από τη γραμμή, πρέπει να είναι τουλάχιστον ίσος με 50 κόκκους, για να είναι όσο το δυνατό πιο αντιπροσωπευτικό το δείγμα των κόκκων. Έπειτα, μετράμε τον αριθμό των κόκκων και τον διαιρούμε με το μήκος της παραπάνω γραμμής. Το αποτέλεσμα μας δίνει τον αριθμό των κόκκων ανά μονάδα μήκους. Τέλος, χρησιμοποιούμε τον ακόλουθο τύπο $G = (6,643856 \log_{10} \bar{N}_L) - 3,288$ για να υπολογίσουμε το μέγεθος κόκκου, όπου \bar{N}_L ο μέσος αριθμός κόκκων ανά χιλιοστό και G το μέγεθος του κόκκου. Η παραπάνω διαδικασία πραγματοποιήθηκε με χρήση του λογισμικού Image Pro Plus 4.5., όπως και για τον προσδιορισμό των εγκλεισμάτων. Για τον προσδιορισμό του μεγέθους κόκκου για τις χαλυβδοταινίες, εξετάστηκαν όλα τα δοκίμια από τα οποία φωτογραφήθηκε ένα πεδίο από κάθε δοκίμιο με μεγέθυνση 200X.

2.7. Μηχανικές Ιδιότητες

Από την εταιρεία Sovel A.E. εστάλησαν αποτελέσματα από δοκιμές εφελκυσμού, κρούσης και επίσης σχόλια για το τελικό προϊόν. Δεν θα γίνει περιγραφή της διαδικασίας των μετρήσεων λόγω έλλειψης πληροφοριών, οπότε θα γίνει παρουσίαση μόνο των αποτελεσμάτων.

Μέτρηση Αντοχής σε Εφελκυσμό

Οι μετρήσεις αντοχής σε εφελκυσμό, πραγματοποιήθηκαν σε μηχανή εφελκυσμού στις εγκαταστάσεις της Sovel A.E. Τα δείγματα που εξετάστηκαν, ελήφθησαν από χαλυβδοταινίες των χυτηρίων 5179 και 5181 από τους ίδιους ρόλους με τα δοκίμια τα οποία εξετάστηκαν στο εργαστήριο.

Μέτρηση Αντοχής σε Κρούση

Οι μετρήσεις αντοχής σε κρούση πραγματοποιήθηκαν σε μηχανή κρούσης στις εγκαταστάσεις της Sovel A.E. Λόγω της μη δυνατής χρήσης full size δοκιμίων 10 X 10 mm αφού το πάχος των χαλυβδοταινιών δεν ξεπερνά τα 8 mm, χρησιμοποιήθηκαν sub sized δοκίμια με διαστάσεις 10 mm επί το πάχος του υλικού. Τα δοκίμια από το εσωτερικό των χαλυβδοταινιών κόπηκαν παράλληλα στη φορά έλασης. Οι δοκιμές κρούσης πραγματοποιήθηκαν κατά EN 10045 σε θερμοκρασία – 20 °C. Η αναγωγή σε full sized δοκίμια πραγματοποιήθηκε βάσει της προδιαγραφής API - 5L με χρήση του ακόλουθου τύπου, όπου KV' η ανηγμένη ενέργεια κρούσης (σε J), σε full sized δοκίμια και $KV_{Sub - Sized}$, η ενέργεια κρούσης των sub sized δοκιμίων.

$$KV' = \frac{KV_{Sub-Sized}}{\text{Πλάτος}_{Sub-Sized} / \text{Πλάτος}_{Full-Sized}}$$

Σκληρομέτρηση

Για τη μέτρηση της σκληρότητας της χαλυβδοταινίας, έγινε σκληρομέτρηση με χρήση των δειγμάτων χαλυβδοταινίας. Η σκληρομέτρηση πραγματοποιήθηκε σε σκληρόμετρο στο εργαστήριο. Για την μέτρηση χρησιμοποιήθηκε η κλίμακα Rockwell B.

Για τη σκληρομέτρηση χρησιμοποιήθηκαν κομμάτια από τα αρχικά δείγματα, τα οποία είχαν κοπεί για τον εγκιβωτισμό των δοκιμίων για ανίχνευση των

εγκλεισμάτων. Από το κάθε δείγμα, μετρήθηκαν συνολικά 12 σημεία, εκ των οποίων 4 στο κέντρο, 4 στην αριστερή και 4 στη δεξιά πλευρά της χαλυβδοταινίας.

Κεφάλαιο 3. Αποτελέσματα Και Συζήτηση

3.1. Αξιολόγηση Slab

Εισαγωγή

Η αξιολόγηση του slab πραγματοποιήθηκε βάσει της διαδικασίας που περιγράφηκε στο 2ο κεφάλαιο. Στο slab του χυτηρίου 5179 παρουσιάστηκαν ελαττώματα τύπου A και D που αντιστοιχούν σε πορώδες στο κέντρο του slab και επιμήκειες ρωγμές στο εσωτερικό του slab αντίστοιχα. Η αξιολόγηση των slab παρουσιάζεται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.1.1 Αξιολόγηση του slab του χυτηρίου 5179

5179			
Type A	Type B	Type C	Type D
4	0	0	3

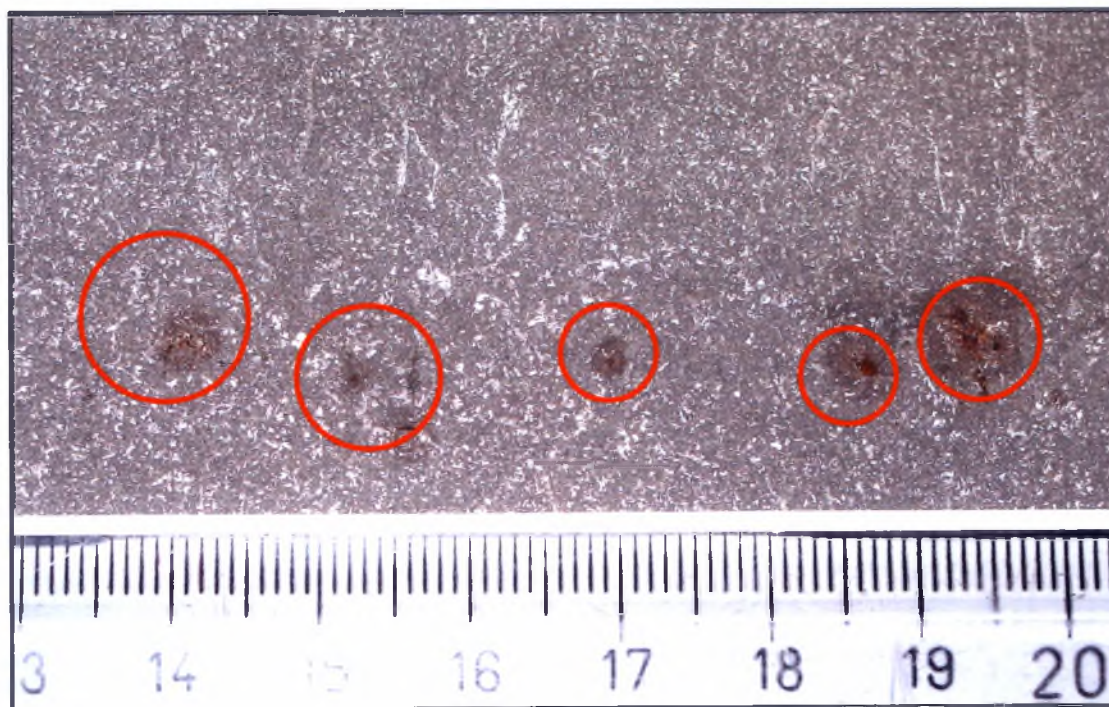
Πίνακας 3.1.2 Αξιολόγηση του slab του χυτηρίου 5181

5181			
Type A	Type B	Type C	Type D
1	0	0	0

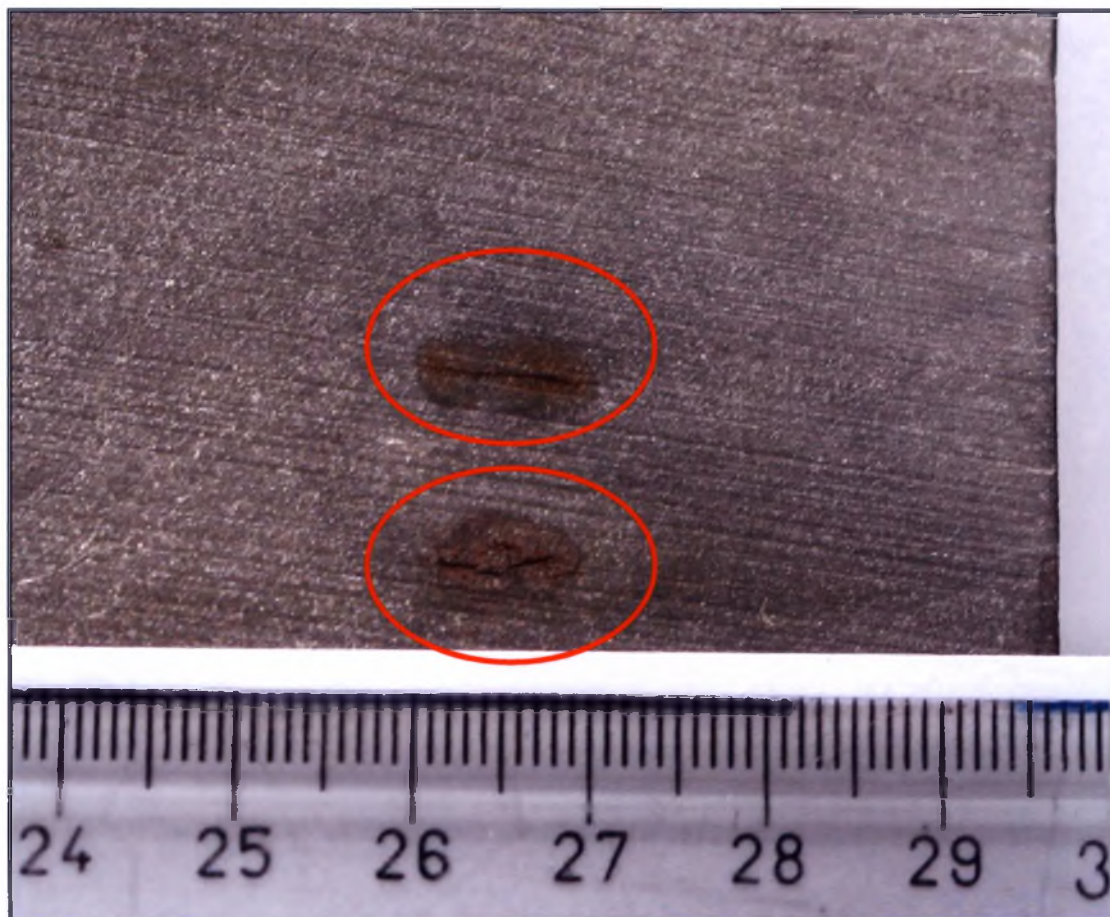
Στις παρακάτω φωτογραφίες διακρίνονται τα ελαττώματα που εντοπίστηκαν στα δοκίμια.



Εικόνα 3.1.1 Slab χυτηρίου 5179



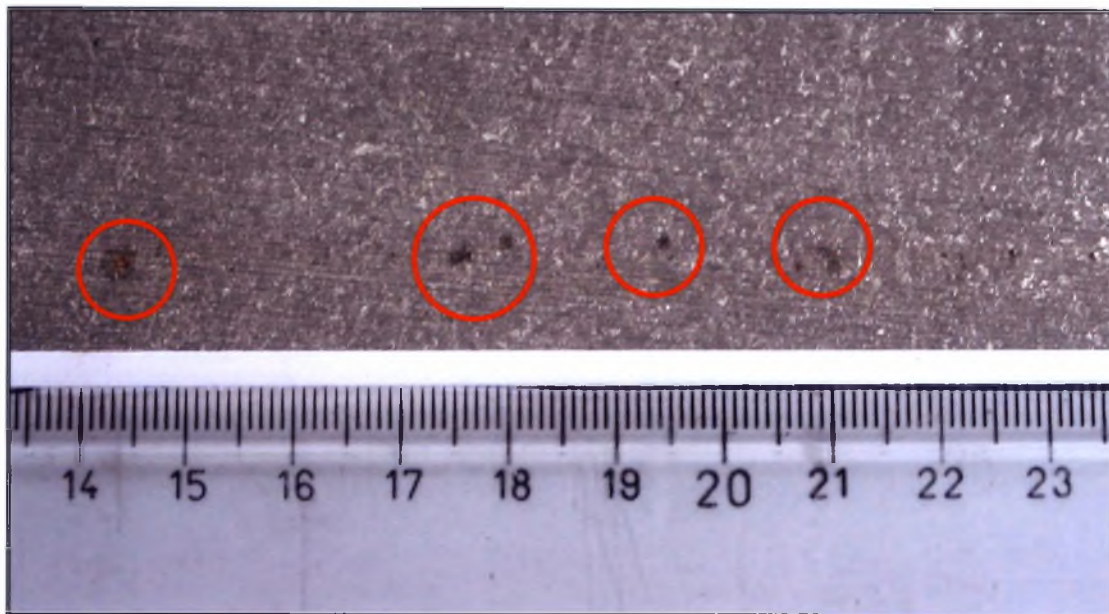
Εικόνα 3.1.2 Πορώδες στο κέντρο στο slab χυτηρίου 5179



Εικόνα 3.1.3 Επιμήκειες ρωγμές στο εσωτερικό του slab χυτηρίου 5179



Εικόνα 3.1.4 Slab χυτηρίου 5179



Εικόνα 3.1.5 Πορώδες στο εσωτερικό του slab χυτηρίου 5181

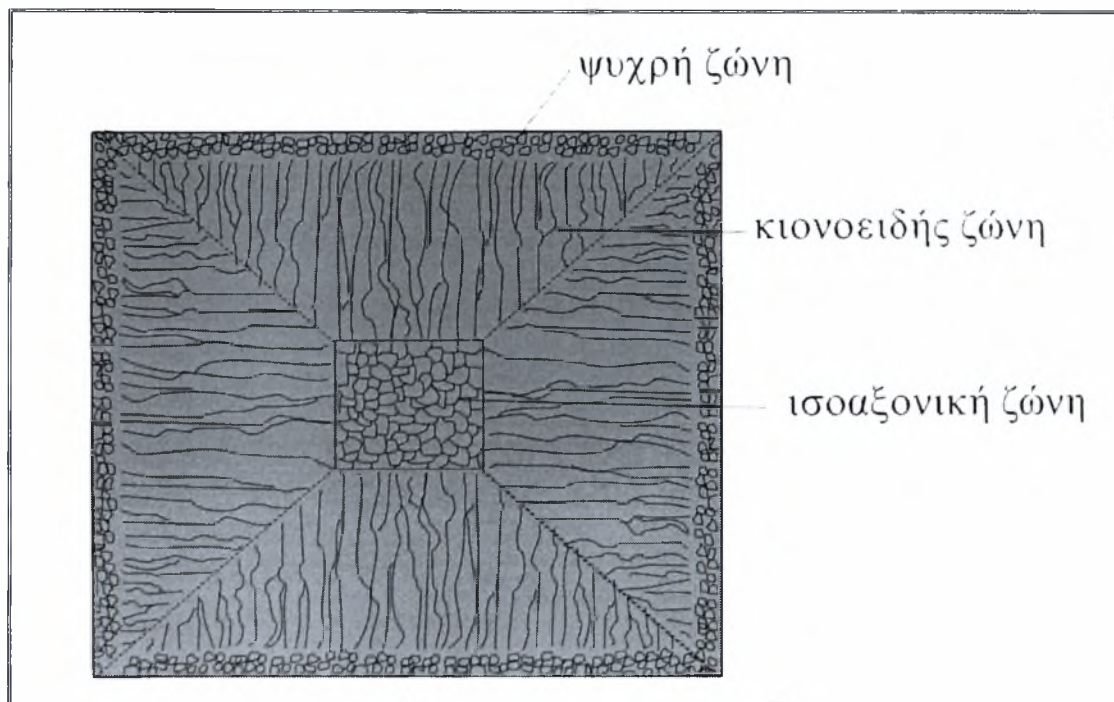
Παρατηρήσεις

Το slab του χυτηρίου 5181 παρουσιάζει σαφώς καλύτερη εικόνα σε σχέση με αυτό του 5179 αφού το μόνο ελάττωμα που παρατηρείται είναι το πορώδες στο εσωτερικό του, το οποίο είναι σε αποδεκτά πλαίσια. Παρόλο που τα ελαττώματα που παρουσιάζει το slab του 5179 η εικόνα που παρατηρήθηκε στο τελικό προϊόν (χαλυβδοταινία) είναι πολύ καλή.

Γενικά, τα πορώδη και οι ρωγμές στο εσωτερικό ενός υλικού είναι δείγματα ασυνέχειας και πρέπει να λαμβάνονται όλα τα δυνατά μέτρα για την αποφυγή τους, αφού μπορούν να προκαλέσουν υποβάθμιση των μηχανικών ιδιοτήτων του υλικού, και κατά συνέπεια αστοχία του υλικού. Υπάρχουν τρόποι για να αποφεύγονται ρωγμές οι οποίοι πρέπει να εφαρμόζονται κατά τη διάρκεια της χύτευσης.

Τέλος, στο slab λόγω της μακροσκοπικής προσβολής, παρατηρήθηκε και η δομή του υλικού. Όπως συμβαίνει και σε αντίστοιχα χυτά, σαν τις μπιγιέτες, η μικροδομή του στερεοποιημένου μετάλλου αποτελείται από τρεις ζώνες [1]. Αυτές είναι, με σειρά από την εξωτερική επιφάνεια προς το κέντρο του slab, οι εξής

- Η εξωτερική ψυχρή ζώνη
- Η κιονοειδή ζώνη
- Η κεντρική ισοαξονική ζώνη



Εικόνα 3.1. 6 Οι τρεις ζώνες στη μικροδομή του χυτού [1]

Η ψυχρή ζώνη οφείλει το όνομα της στο γεγονός ότι το υγρό μετά την εισαγωγή του στο καλούπι ψύχεται απότομα στα σημεία όπου έρχεται σε επαφή με τα ψυχρά τοιχώματα του καλουπιού. Στην κιονοειδή ζώνη οι κρύσταλλοι αναπτύσσονται δενδριτικά. Ο σχηματισμός της ισοαξονικής ζώνης στο κέντρο του χυτού δεν οφείλεται σε διεργασίες πυρηνώσεως νέων κρυστάλλων αλλά σε ένα μηχανισμό πολλαπλασιασμού κρυστάλλων.

3.2. Μέτρηση καθαρότητας χαλυβδοταινιών

Η μέτρηση και αξιολόγηση της καθαρότητας των χαλυβδοταινιών, διενεργήθηκε με βάση την προδιαγραφή ASTM E45 Method A (Worst Fields), με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο κεφάλαιο 2. Τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το κάθε δοκίμιο παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 3.2.1 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF

ST 02 01 LF

Specimen 1	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0	0,0296437	0,025077
2	0	0			0	0	0,0308	0,034
3	0	0			0,5	0,5	0,0313341	0,026469
4	0	0			1	0	0,0149217	0,012018
5	0	0			0,5	0,5		
6	0	0			1	0,5		
7	0	0			1	0		
8	0	0			1	0		
9	0	0			0,5	0		
10	0	0			1	0		
11	0	0			0	0,5	0,0389578	0,03457
12	0	0			0	0		
13	0	0			0,5	1		
14	0	0			0,5	0,5		
15	0	0			1	0		
16	0	0			0,5	0		
17	0	0			0,5	0,5		
18	0	0			0,5	0,5		
19	0	0			0	0		
20	0	0			1	0,5		
21	0	0			1	0		
22	0	0			0,5	0		
22	0	0			0	0		
Worst Field	0	0			1,0	1,0		

Πίνακας 3.2.2 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 RF

ST 02 01 RF

Specimen 2	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0,5		
2	0	0			0	0	0,0241833	0,023039
3	0	0			0	0		
4	0	0			0	0		
5	0	0			0	0		
6	0	0			0	0		
7	0	0			0	0,5	0,0155895	0,014464
8	0	0			0	0,5		
9	0	0			0,5	0		
10	0	0			0	0,5		
11	0	0			0	0	0,0207757	0,018239
12	0	0			0	0		
13	0	0			0	0		
14	0	0			0	0		
15	0	0			0	0		
16	0	0			0	0		
17	0	0			0	0		
18	0	0			0	0		
19	0	0			0	0		
20	0	0			0	0		
21	0	0			0,5	0		
22	0	0			0	0		
23	0	0			0	0		
24					0	0		
25					0	0		
26	0	0			1	0		
27	0	0			0	0		
28	0	0			0	0,5		
29	0	0			0	0		
30	0	0			0	0		
31	0	0			0	0		
32	0	0			0	0		
33	0	0			0	0		
34	0	0			0	0		
35	0	0			0	0		
36	0	0			0	0		
37	0	0			0	0		
Worst Field	0	0			1,0	0,5		

Πίνακας 3.2.3 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 02 RB

ST 02 02 RB

Specimen 3	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξείδια)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0		
2	0	0			3	1	0,0190407	0,014105
3	0	0			0	0	0,018827	0,016609
4	0	0			0	0		
5	0	0			0	0		
6	0	0			0,5	0	0,0182843	0,015884
							0,0387641	0,027916
7	0	0			0,5	0,5	0,0247164	0,02376
							0,0185179	0,015326
8	0	0			1	1	0,0210399	0,018198
9	0	0			0,5	0	0,0167018	0,014002
							0,0166965	0,013785
							0,0258062	0,018474
							0,0206948	0,018126
							0,0187773	0,015397
							0,0203859	0,016257
					0,5	1	0,0192025	0,016917
10	0	0			1,5	1	0,0153858	0,013262
							0,0249336	0,018474
							0,0234089	0,020289
							0,0171964	0,015881
							0,0240723	0,016344
							0,0172781	0,014327
11	0	0			1	0,5	0,0220862	0,013423
							0,0152715	0,013982
							0,0152597	0,013664
							0,0176856	0,015218
12	0	0			0	1		
13	0	0			0,5	0,5		
14	0	0			1	1	0,0185659	0,016006
							0,0182593	0,013971
15	0	0			2	1	0,0209109	0,019606
							0,0158026	0,015282
							0,0313957	0,014324
							0,0198394	0,017988
							0,0206282	0,016641
							0,0206913	0,019248
							0,0219143	0,015933
16	0	0			0	0		
Worst Field	0	0			2,0	1,0		

Πίνακας 3.2.4 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 04 MB

ST 02 04 MB

Specimen 4 Field	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0	0,0233565	0,019908
2	0	0			0	0		
3	0	0			0	0	0,0314115	0,028226
4	0	0			1	0		
5	0	0			0	0,5	0,0234399	0,019736
							0,0236674	0,020595
6	0	0			0	0	0,0210751	0,019566
7	0	0			0	0		
8	0	0			0	0		
9	0	0			1,5	0		
10	0	0			0	0,5		
11	0	0			0	0,5		
12	0	0			0	0	0,025977	0,023636
13	0	0			0	0		
14	0	0			0	0		
15	0	0			0	0		
16	0	0			0	0		
17	0	0			0	0		
18	0	0			0	0,5	0,0143752	0,01426
19	0	0			1	0,5		
20	0	0			0	0		
21	0	0			0	0		
22	0	0			0,5	0,5	0,0142869	0,013217
							0,0158952	0,014706
Worst Field	0	0			1,5	0,5		

Πίνακας 3.2.5 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF

ST 02 04 MF

Specimen 5	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0,5	0,0143749	0,013327
							0,0878147	0,041808
2	0	0			2	1		
3	0	0			2	1	0,0174702	0,016405
4	0	0			0,5	0,5		
5	0	0			2	0	0,0162706	0,015243
6	0	0			1,5	0		
7	0	0			1	0		
8	0	0			0	0		
9	0	0			0	0		
10	0	0			0,5	0,5		
11	0	0			1	0,5	0,0335877	0,031347
12	0	0			0,5	0	0,022853	0,021348
13	0	0			0	0		
14	0	0			0,5	0,5	0,0165869	0,013513
Worst Field	0	0			2,0	1,0		

Πίνακας 3.2.6 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 05 LB

ST 02 05 LB

Specimen 6	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξείδια)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0		
2	0	0			0,5	0,5		
3	0	0			0,5	0		
4	0	0			0,5	0	0,019782	0,018051
							0,018475	0,013679
5	0	0			0,5	0	0,021493	0,020405
6	0	0			0,5	0		
7	0	0			0	0	0,016804	0,016218
							0,015904	0,013166
8	0	0			0,5	0	0,020423	0,020008
9	0	0			0	0		
10	0	0			0	0,5	0,03576	0,025808
11	0	0			0	0,5	0,021703	0,017837
							0,014779	0,013773
							0,014865	0,014608
Worst Field	0	0			0,5	0,5		

Πίνακας 3.2.7 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 05 RB

ST 02 05 RB

Specimen 7 Field	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0,5		
2	0	0			0	0,5	0,0216254	0,016539
3	0	0			0	0,5	0,0185296	0,014154
4	0	0			0	0		
5	0	0			0	0	0,0137868	0,013362
6	0	0			0	0	0,0241561	0,019724
7	0	0			0	0	0,0174417	0,016092
8	0	0			0	0	0,0246077	0,02288
9	0	0			0	0,5		
10	0	0			0	0,5	0,0195761	0,015325
11	0	0			0	0		
12	0	0			1	0,5		
13	0	0			0	0		
14	0	0			0	0	0,018683	0,017369
15	0	0			0	0	0,0273558	0,017595
16	0	0			0	0		
17	0	0			0	0		
18	0	0			0,5	0		
Worst Field	0	0			1,0	0,5		

Πίνακας 3.2.8 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 07 LB

ST 02 07 LB

Specimen 8	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0,5		
2	0	0			0,5	0,5		
3	0	0			0,5	0		
4	0	0			0,5	0		
5	0	0			0,5	0		
6	0	0			0	0	0,0141023	0,013567
7	0	0			0	0		
8	0	0			0,5	0,5	0,0230328	0,020937
							0,0267419	0,024332
9	0	0			0,5	0,5	0,0133294	0,013129
							0,0186167	0,017016
10	0	0			0	0	0,0198758	0,018282
11	0	0			0,5	0	0,0165073	0,015872
12	0	0			0	0	0,0343188	0,032187
13	0	0			0	0,5	0,0169624	0,016591
14	0	0			0	0	0,0195876	0,019103
15	0	0			0	0	0,0178682	0,017648
16	0	0			0	0,5		
17	0	0			0,5	0		
18	0	0			0,5	0		
19	0	0			0,5	0		
20	0	0			0	0,5	0,0249147	0,02391
21	0	0			0,5	0		
22	0	0			0	0		
23	0	0			0	0		
24	0	0			0,5	0,5		
25	0	0			0	0		
26	0	0			0,5	0		
27	0	0			0	0,5		
28	0	0			0	0		
29	0	0			0	0		
30	0	0			0,5	0,5	0,0146692	0,013153
31	0	0			0,5	0,5	0,0162321	0,014485
32	0	0			0	0,5		
33	0	0			0	0,5		
Worst Field	0	0			0,5	0,5		

Πίνακας 3.2.9 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 01 LF

ST 03 01 LF

Specimen 1	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0,5		
2	0	0			0	0		
3	0	0			0	0	0,0329071	0,028293
4	0	0			0	0		
5	0	0			0,5	0		
6	0	0			0,5	0		
7	0	0			0,5	0		
8	0	0			0,5	0,5		
9	0	0			0,5	0		
10	0	0			0	0		
11	0	0			0,5	0,5		
12	0	0			0	0,5		
13	0	0			0	0,5		
14	0	0			0,5	0		
15	0	0			0,5	0		
16	0	0			0,5	0,5		
17	0	0			0	0		
18	0	0			0	0		
19	0	0			0,5	0		
20	0	0			0,5	0	0,0204918	0,017729
							0,0250986	0,01925
21	0	0			0	0		
22	0	0			0	0,5		
Worst Field	0	0			0,5	0,5		

Πίνακας 3.2.10 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 01 RF

ST 03 01 RF

Specimen 2 Field	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0	0,0167369	0,014084
2	0	0			0	0		
3	0	0			0,5	0		
4	0	0			1	0	0,0176751	0,014324
5	0	0			0,5	0,5		
6	0	0			0,5	0		
7	0	0			0,5	0,5		
8	0	0			1	0		
9	0	0			0,5	0,5		
10	0	0			0	0		
11	0	0			1	0,5	0,0290749	0,022078
							0,0279348	0,021725
12	0	0			1	0,5	0,0289192	0,022256
							0,0249195	0,016129
							0,0141727	0,013813
13	0	0			1,5	0		
14	0	0			1,5	0,5	0,0286035	0,015346
							0,0246465	0,018677
15	0	0			1,5	0,5	0,0185605	0,013126
16	0	0			0,5	0		
17	0	0			0,5	0	0,0246486	0,017055
18	0	0			0,5	0,5	0,0183297	0,013783
19	0	0			0,5	0,5	0,0185839	0,013101
20	0	0			0,5	0,5		
21	0	0			0,5	0,5		
22	0	0			0,5	0		
23	0	0			0,5	0		
24	0	0			1	0	0,0231343	0,015153
25	0	0			0,5	0		
26	0	0			0,5	0		
27	0	0			1	0	0,0227981	0,019136
28	0	0			0,5	0		
Worst Field	0	0			1,0	0,5		

Πίνακας 3.2.11 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 02 RB

ST 03 02 RB

Specimen 3	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			1	0,5		
2	0	0			1	0		
3	0	0			1	0	0,0171891	0,014702
4	0	0			1	0		
5	0	0			1	0,5		
6	0	0			1	0,5		
7	0	0			1	0,5	0,0193664	0,013406
8	0	0			1	0,5		
9	0	0			1	0,5	0,0243176	0,018889
							0,0188788	0,013487
10	0	0			1	0		
11	0	0			1	0,5	0,0247877	0,016128
12	0	0			1	0		
13								
14	0	0			0,5	0		
15	0	0			1,5	0,5		
16	0	0			1	0		
17	0	0			1,5	0,5		
18	0	0			1	0		
19	0	0			2	1,5		
20	0	0			1	0	0,0188279	0,016306
21	0	0			2	0,5		
22	0	0			1	0	0,0172891	0,016824
23	0	0			1	0,5		
24	0	0			1	0	0,0267009	0,026019
25	0	0			1,5	0	0,0252755	0,019117
26	0	0			0,5	0	0,0152384	0,014022
27	0	0			1	0		
28	0	0			0,5	0,5	0,0200911	0,017247
29	0	0			1	0		
30	0	0			0,5	0,5	0,0208498	0,019175
							0,0212426	0,017497
31	0	0			1	0		
32	0	0			1	0,5		
33	0	0			1	0,5	0,0247061	0,018738
Worst Field	0	0			1,5	1,5		

Πίνακας 3.2.12 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 02 01 LF

ST 03 03 LB

Specimen 4	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0	0,0137715	0,013076
2	0	0			0,5	0		
3	0	0			1	0,5		
4	0	0			1,5	0,5		
5	0	0			0,5	0		
6	0	0			0,5	0,5	0,0148941	0,014843
7	0	0			1	0,5		
8	0	0			0,5	0,5		
9	0	0			1	0,5		
10	0	0			1	0,5		
11	0	0			1	0,5	0,0180894	0,014183
12	0	0			1	0,5		
13	0	0			0,5	0,5		
14	0	0			0	0,5		
15	0	0			1	0		
16	0	0			0,5	0,5	0,014882	0,014499
17	0	0			0,5	0		
18	0	0			0,5	0		
19	0	0			1	0		
20	0	0			0	0	0,0196719	0,018829
21	0	0			0,5	0,5		
22	0	0			0,5	0		
23	0	0			0,5	0,5		
Worst Field	0	0			1,0	0,5		

Πίνακας 3.2.13 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 04 MB

ST 03 04 MB

Specimen 5	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0,5	0,5		
2								
3	0	0			1	0		
4	0	0			0,5	0		
5	0	0			1	0		
6	0	0			1	0,5		
7	0	0			1	0	0,0139286	0,013597
8	0	0			0,5	0,5		
9	0	0			1	0		
10	0	0			0,5	0		
11	0	0			1	0	0,0158682	0,014836
							0,015735	0,015182
12	0	0			1	0,5		
13	0	0			0,5	0,5		
14	0	0			0,5	0	0,0231739	0,01755
15	0	0			1	0		
16	0	0			1	0,5	0,0155471	0,014317
17	0	0			1	0,5		
18	0	0			0,5	0,5		
19	0	0			1,5	0		
20	0	0			1,5	0,5	0,0376096	0,031705
21	0	0			1	0	0,0178434	0,014387
22	0	0			2	0,5		
23	0	0			1	0		
24	0	0			1	0		
25	0	0			1	0		
26	0	0			1,5	0		
27	0	0			1	0	0,0179131	0,015066
28	0	0			0,5	0		
29	0	0			0,5	0	0,0363416	0,030767
30	0	0			1	0		
Worst Field	0	0			1,5	0,5		

Πίνακας 3.2.14 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 04 MF

ST 03 04 MF

Specimen 6 Field	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			1,5	0,5		
2	0	0			1,5	0,5	0,0196655	0,018491
							0,0179774	0,01727
3	0	0			0,5	0,5		
4	0	0			1	0,5		
5	0	0			1	0,5	0,0223344	0,014003
							0,0204494	0,015193
6	0	0			0	0	0,0203475	0,016371
7	0	0			1	0		
8	0	0			0,5	0,5		
9	0	0			0,5	0	0,0193896	0,015251
10	0	0			0,5	0		
11	0	0			1	0,5	0,0211127	0,014736
12	0	0			1	0,5	0,0227756	0,019135
							0,0175236	0,015251
13	0	0			0,5	0,5	0,0180866	0,01408
14	0	0			1,5	0	0,0337477	0,032298
15	0	0			0,5	0,5		
16	0	0			1	0,5	0,016614	0,01531
							0,0185823	0,018119
17	0	0			1	0,5		
18	0	0			0,5	0,5	0,0157607	0,015382
							0,0142106	0,013115
19	0	0			1	0,5		
Worst Field	0	0			1,5	0,5		

Πίνακας 3.2.15 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 05 LB

ST 03 05 LB

Specimen 7	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			0	0	0,0228533	0,02196
2	0	0			0,5	0		
3	0	0			0,5	0		
4	0	0			0	0		
5	0	0			0	0	0,0304389	0,014948
							0,0262406	0,015018
6	0	0			1,5	0		
7	0	0			1	0		
8	0	0			1	0,5	0,0146166	0,013812
9	0	0			1	0		
10	0	0			1	0,5		
11	0	0			0,5	0,5		
12	0	0			0	0,5		
13	0	0			1	0,5	0,0250619	0,020416
14	0	0			0,5	1	0,0244584	0,023685
Worst Field	0	0			1,5	1,0		

Πίνακας 3.2.16 Ανάλυση εγκλεισμάτων για το δοκίμιο ST 03 05 RB

ST 03 05 RB

Specimen 8	Type A (MnS)				Type D (Σφαιρικά Οξειδία)			
	Thin	Heavy	Oversized		Thin	Heavy	Oversized	
			Length	Width			Length	Width
1	0	0			1,5	0,5	0,0236456	0,015088
							0,030282	0,018127
							0,0197296	0,015326
2	0	0			1	0		
3	0	0			1	0		
4	0	0			1	0,5		
5	0	0			1	0	0,0212989	0,015337
6	0	0			0	0		
7	0	0			1	0,5		
8	0	0			1,5	0		
9	0	0			1	0		
10	0	0			1	0,5		
11	0	0			1	0,5		
12	0	0			1,5	0		
13	0	0			1	0	0,032054	0,015595
14	0	0			1	0,5		
Average	0	0			1,0	0,2		

Συγκεντρωτικός Πίνακας Αποτελεσμάτων

Πίνακας 3.2.17 Ανάλυση εγκλεισμάτων για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179

5179 Specimen	Type A (MnS)		Type D (Σφαιρικά Οξειδία)	
	Thin	Heavy	Thin	Heavy
1	0	0	1,0	1,0
2	0	0	1	0,5
3	0	0	2	1
4	0	0	1,5	0,5
5	0	0	2	1
6	0	0	0,5	0,5
7	0	0	1	0,5
8	0	0	0,5	0,5
Average	0	0	1,2	0,7

Πίνακας 3.2.18 Ανάλυση εγκλεισμάτων για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5181

5181 Specimen	Type A (MnS)		Type D (Σφαιρικά Οξειδία)	
	Thin	Heavy	Thin	Heavy
1	0	0	0,5	0,5
2	0	0	1	0,5
3	0	0	1,5	1,5
4	0	0	1	0,5
5	0	0	1,5	0,5
6	0	0	1,5	0,5
7	0	0	0,6	0,3
8	0	0	1,5	1
Average	0	0	1,1	0,7

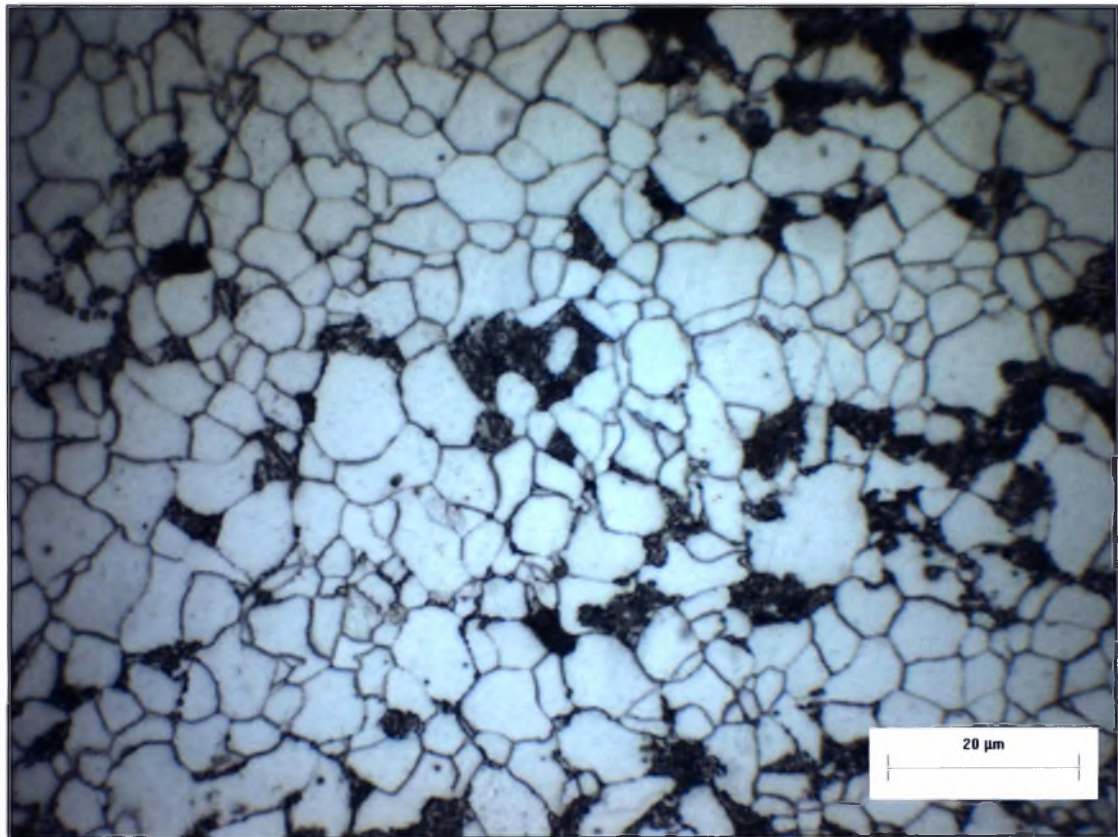
Συμπεράσματα για την καθαρότητα σε εγκλείσματα

Από τους παραπάνω συγκεντρωτικούς πίνακες, προκύπτει ότι και οι δύο χαλυβδοταινίες έχουν εγκλείσματα σουλφιδίων του μαγγανίου σε ποσότητες χαμηλότερες από την ελάχιστη τιμή της προδιαγραφής, επομένως μπορούν να θεωρηθούν σαν εξαιρετικής καθαρότητας. Επειδή το ελάχιστο μήκος που αναλύει η προδιαγραφή, ανέρχεται σε 3,7 χιλιοστά και σε όλα τα πεδία το συνολικό μήκος δεν ξεπερνούσε την παραπάνω τιμή, η ύπαρξη των συγκεκριμένων εγκλεισμάτων δεν προκαλεί πρόβλημα στο υλικό.

Όσον αφορά τα εγκλείσματα Τύπου D, δηλαδή τα σφαιρικά οξειδία, η χαλυβδοταινία που προέκυψε από το χυτήριο 5181 είναι ελαφρά καθαρότερη σε εγκλείσματα κατηγορίας thin έναντι αυτής του 5179 με τιμή 1,1 έναντι 1,2. Για τα εγκλείσματα κατηγορίας heavy η τιμή του βαθμού σοβαρότητας είναι κοινή και για τις δύο χαλυβδοταινίες και ίση με 0,7. Επειδή η κλίμακα ξεκινάει από το μηδέν και καταλήγει στο πέντε, μπορούμε να συμπεράνουμε ότι οι δύο χαλυβδοταινίες έχουν πολύ ικανοποιητικό βαθμό οξειδίων, τα οποία δεν δημιουργούν κάποιο πρόβλημα στο υλικό.

3.3. Μέγεθος Κόκκου

Για την μέτρηση του μεγέθους του κόκκου των χαλυβδοταινιών των χυτηρίων 5179 και 5181, ακολουθήθηκε η διαδικασία που περιγράφηκε στο 2^ο κεφάλαιο. Στην παρακάτω φωτογραφία διακρίνεται η φερριτοπερλιτική δομή που παρατηρήθηκε στα δοκίμια των χαλυβδοταινιών.



Εικόνα 3.3.1 Τυπική δομή χαλυβδοταινίας με προσβολή με Nital 2% σε μεγέθυνση 1000X (Δοκίμιο ST 02 07 LB)

Στους παρακάτω πίνακες ακολουθούν τα αποτελέσματα των μετρήσεων για το μέγεθος του κόκκου.

Πίνακας 3.3.1 Μέγεθος Κόκκου για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179

Αριθμός Δοκιμίου	Κόκκοι / mm	Μέγεθος Κόκκου (μm)
ST 02 01 LF	166,62	11,47
ST 02 01 RF	152,63	11,21
ST 02 02 RB	123,13	10,60
ST 02 04 MB	135,26	10,87
ST 02 04 MF	144,51	11,06
ST 02 05 LB	134,44	10,85
ST 02 05 RB	136,43	10,89
ST 02 07 LB	162,45	11,39
Μέσος Όρος		11,04

Πίνακας 3.3.2 Μέγεθος Κόκκου για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5181

Αριθμός Δοκιμίου	Κόκκοι / mm	Μέγεθος Κόκκου (μm)
ST 03 01 LF	150,85	11,18
ST 03 01 RF	106,94	10,19
ST 03 02 RB	101,39	10,03
ST 03 03 LB	108,46	10,23
ST 03 04 MB	118,46	10,48
ST 03 04 MF	147,84	11,12
ST 03 05 LB	117,27	10,45
ST 03 05 RB	132,87	10,81
Μέσος Όρος		10,56

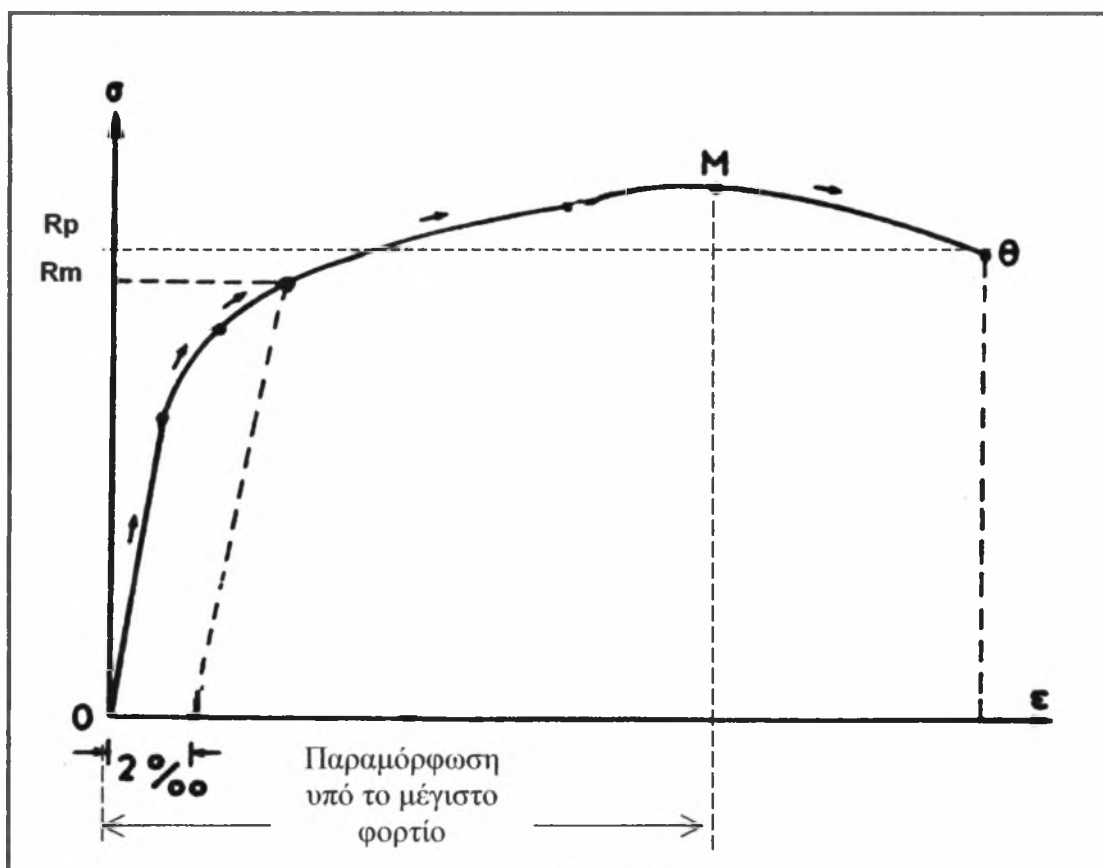
Παρατηρούμε ότι οι τιμές του μεγέθους του κόκκου των χαλυβδοταινιών των δύο χυτηρίων δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά μεταξύ τους.

3.4. Μηχανικά Χαρακτηριστικά Χαλυβδοταινιών

Στα μηχανικά χαρακτηριστικά των χαλυβδοταινιών περιλαμβάνονται η αντοχή των χαλυβδοταινιών σε εφελκυσμό και κρούση καθώς και η σκληρότητά τους.

Μέτρηση Αντοχής σε Εφελκυσμό

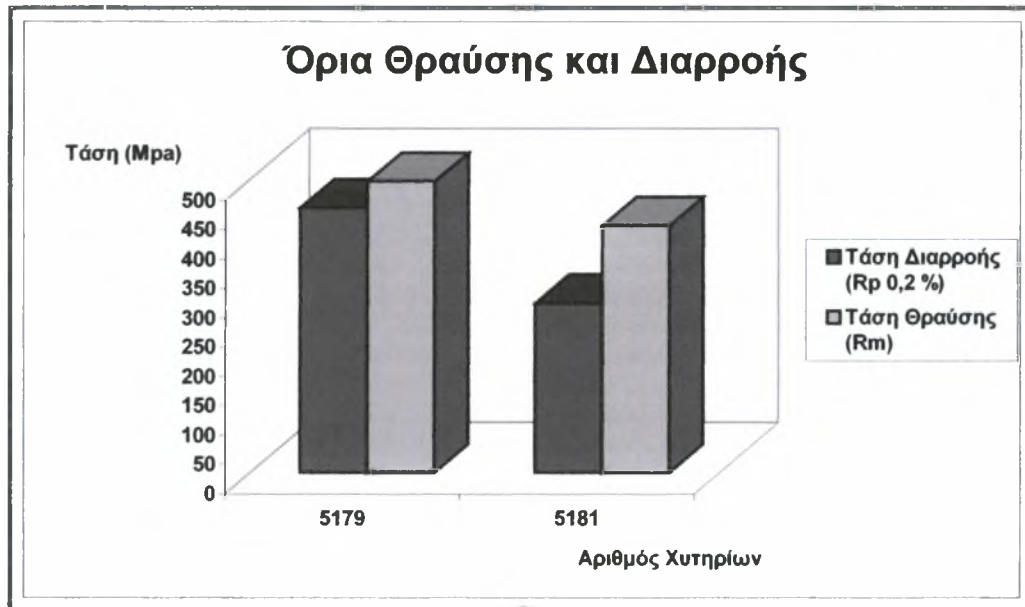
Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται η τάση διαρροής (R_p) για παραμένουσα παραμόρφωση 0,02%, όπου το υλικό περνάει στην πλαστική περιοχή και η τάση θραύσης (R_m), που εκφράζει την τάση στην οποία σπάει το υλικό. Οι τάσεις αυτές απεικονίζονται στο παρακάτω γράφημα, ενώ στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι αντοχές των χαλυβδοταινιών.



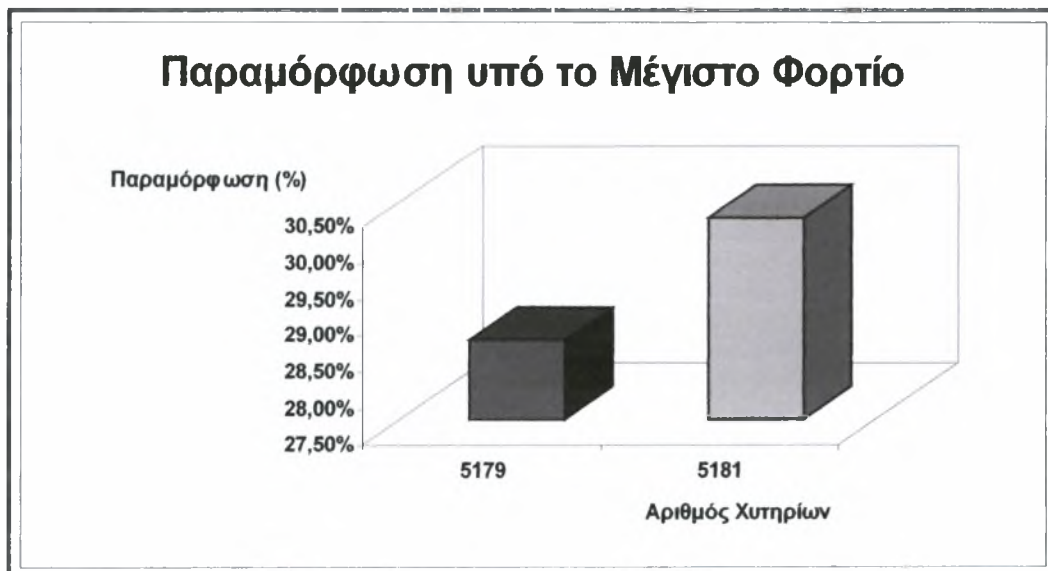
Εικόνα 3.4.1 Διάγραμμα Τάσης – Παραμόρφωσης [7]

Πίνακας 3.4.1 Όρια Διαρροής, Θραύσης και Μέγιστη Επιμήκυνση

	5179	5181
Τάση Διαρροής (Rp 0,2 %) (Μρα)	451	289
Τάση Θραύσης (Rm) (Μρα)	496	421
Παραμόρφωση υπό Μέγιστο Φορτίο	28,6 %	30,3 %



Εικόνα 3.4.2 Όρια Θραύσης και Διαρροής για τις χαλυβδοταινίες των χυτηρίων 5179 και 5181



Εικόνα 3.4.3 Παραμόρφωση υπό το Μέγιστο Φορτίο για τις χαλυβδοταινίες των χυτηρίων 5179 και 5181

Μέτρηση Αντοχής σε Κρούση

Η μέτρηση της αντοχής των χαλυβδοταινιών σε κρούση πραγματοποιήθηκε σύμφωνα με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο 2^ο κεφάλαιο και παρουσιάζεται στο παρακάτω στον παρακάτω πίνακα ενώ γραφικά στα παρακάτω διαγράμματα.

Πίνακας 3.4.2 Ενέργεια κρούσης (J) των χαλυβδοταινιών των χυτηρίων 5179 και 5181

Ενέργεια Κρούσης σε Joule	5179	5181
Δοκίμιο 1	103	112
Δοκίμιο 2	112	122
Δοκίμιο 3	112	106
Μέσος Όρος	109	113

Σκληρομέτρηση

Οι σκληρομετρήσεις πραγματοποιήθηκαν βάσει της διαδικασίας που περιγράφηκε στο 2^ο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα των σκληρομετρήσεων παρουσιάζονται στα παρακάτω διαγράμματα. Παρατηρήθηκε ότι ο χάλυβας του χυτηρίου 5179 παρουσιάζει μεγαλύτερη σκληρότητα έναντι του χάλυβα του χυτηρίου 5181 με τιμές 76,33 και 73,17 αντίστοιχα στην κλίμακα Rockwell.

Πίνακας 3.4.3 Σκληρομέτρηση για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179

Χαλυβδοταινία Χυτηρίου 5179	
Δοκίμιο 1	73
Δοκίμιο 2	75
Δοκίμιο 3	77
Δοκίμιο 4	76
Δοκίμιο 5	80
Δοκίμιο 6	80
Δοκίμιο 7	74
Δοκίμιο 8	78
Δοκίμιο 9	75
Δοκίμιο 10	76
Δοκίμιο 11	78
Δοκίμιο 12	74
Μέσος Όρος	76,33

Πίνακας 3.4.4 Σκληρομέτρηση για τη χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5181

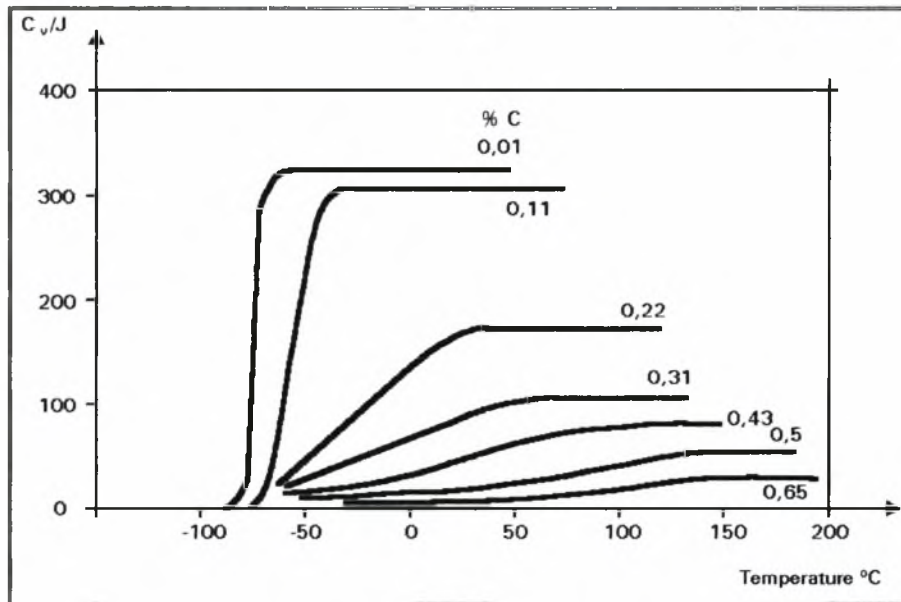
Χαλυβδοταινία Χυτηρίου 5181	
Δοκίμιο 1	74
Δοκίμιο 2	72
Δοκίμιο 3	71
Δοκίμιο 4	72
Δοκίμιο 5	71
Δοκίμιο 6	74
Δοκίμιο 7	76
Δοκίμιο 8	73
Δοκίμιο 9	75
Δοκίμιο 10	76
Δοκίμιο 11	73
Δοκίμιο 12	71
Μέσος Όρος	73,17

Σχολιασμός Αποτελεσμάτων

Το χυτήριο 5179 περιέχει 0,116 % άνθρακα σε σχέση με το 5181 του οποίου η περιεκτικότητα σε άνθρακα ανέρχεται σε 0,097 %. Το γεγονός αυτό συνεπάγεται ότι το ποσοστό του περλίτη στο 5179 θα είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό στο 5181. Η αύξηση του ποσοστού του περλίτη στους χάλυβες, οδηγεί σε αύξηση τόσο του ορίου διαρροής [1] όσο και της μέγιστης αντοχής εφελκυσμού γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα εφελκυσμού που αναφέρθηκαν παραπάνω. Συμπαράγοντα για την παραπάνω αύξηση αποτελεί και η αυξημένη περιεκτικότητα σε μαγγάνιο της χαλυβδοταινίας του χυτηρίου 5179.

Επίσης οι διεπιφάνειες του φερρίτη και του σεμεντίτη (περλίτης) λειτουργούν σαν θέσεις πυρήνωσης ρηγμάτων ενώ η αυξημένη εργοσκληρυνση περιορίζει την πλαστική παραμόρφωση μπροστά από τα ρήγματα με αποτέλεσμα τη μείωση της δυσθραυστότητας και της ολκιμότητας. Πράγματι, η μειωμένη ολκιμότητα επιβεβαιώνεται από τις τιμές παραμορφώσεως υπό τη μέγιστη φόρτιση, όπου το δοκίμιο του χυτηρίου 5179 παραμορφώθηκε λιγότερο σε σχέση με αυτό του 5181 παρά το γεγονός ότι η τάση διαρροής είναι μεγαλύτερη για το 5179.

Τέλος η αύξηση του άνθρακα έχει αποτέλεσμα τη μείωση της ενέργειας κρούσης γεγονός που αντικατοπτρίζεται και στα αποτελέσματα κρούσης όπου το 5179 παρουσιάζει μικρότερη ενέργεια κρούσης έναντι του 5179.



Εικόνα 3.4.4 Σχέση θερμοκρασίας μεταβάσεως και ενέργειας συναρτήσει της περιεκτικότητας του άνθρακα [1]

Η αντοχή των δειγμάτων σε εφελκυσμό πληροί την προδιαγραφή St. 37 για το όριο διαρροής που ορίζει ως κατώτατη επιτρεπτή τιμή τα 235 Mpa και για την επιμήκυνση το 26%. Η ενέργεια κρούσης βρίσκεται πάνω από το όριο των 27 J που ορίζει η προδιαγραφή API-5L. Επομένως τα δύο υλικά παρουσιάζουν πολύ καλές μηχανικές συμπεριφορές.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο μετρήθηκε το μέγεθος κόκκου. Πάρ' όλο που το μέγεθος κόκκου του 5181 είναι μεγαλύτερο σε σχέση με αυτό του 5179, θα περιμέναμε το 5181 να παρουσιάζει μεγαλύτερο όριο διαρροής. Όμως συμβαίνει το αντίθετο. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι η ύπαρξη περισσότερου άνθρακα και μαγγάνιου που αναφέραμε προηγουμένως ότι υπάρχει στο 5179 προσδίδει στο χάλυβα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες παρόλο που έχει μεγαλύτερο μέγεθος κόκκου.

Τέλος, η μεγαλύτερη σκληρότητα που παρουσιάζει η χαλυβδοταινία του χυτηρίου 5179 είναι αποτέλεσμα της μείωσης της δυσθραυστότητας και της ολκιμότητας, που αναλύθηκαν στις προηγούμενες παραγράφους.

4. Συμπεράσματα

Από της μελέτες που έγιναν προέκυψαν συμπεράσματα για τις ιδιότητες των χαλυβδοταινιών τα οποία συνοψίζονται παρακάτω.

1. Τα slab που μελετήθηκαν δεν παρουσίασαν ιδιαίτερα ελαττώματα. Παρόλο που το slab του χυτηρίου 5179 είχε περισσότερα ελαττώματα από το 5181 η χαλυβδοταινία που προήλθε απ' αυτό, δεν παρουσίασε προβλήματα στη μηχανική συμπεριφορά της. Απεναντίας η αντοχή σε εφελκυσμό και σε κρούση ήταν μεγαλύτερη σε σχέση με το 5181 γεγονός που οφείλεται στην υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και μαγγάνιο.
2. Οι χαλυβδοταινίες που μελετήθηκαν περιέχουν ελάχιστα εγκλείσματα σουλφιδίων του μαγγανίου (MnS) τα οποία βρίσκονται κάτω από την πρώτη τιμή της κλίμακας που ορίζει η προδιαγραφή E45, συμπεραίνουμε επομένως ότι το υλικό είναι υψηλής καθαρότητας και τα λίγα εγκλείσματα δεν επηρεάζουν τις ιδιότητές του.
3. Ακόμα και σε περίπτωση που η πρώτη ύλη, το slab, περιέχει σουλφίδια του μαγγανίου, η έλαση του σε υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να συμβάλλει στην ελαχιστοποίηση της επιρροής των εγκλεισμάτων αφού περιορίζεται με τον τρόπο αυτό η επιμήκυνσή τους.
4. Οι χαλυβδοταινίες που μελετήθηκαν περιέχουν μικρό αριθμό σφαιρικών εγκλεισμάτων τα οποία δεν προκαλούν πρόβλημα, λόγω του μικρού βαθμού σοβαρότητας που αντιστοιχεί στην συγκεκριμένη περιεκτικότητα. Επίσης η διασπορά τους στο υλικό όπως παρατηρήθηκε από τις φωτογραφίες είναι μεγάλη, γεγονός που δεν προκαλεί υποβάθμιση ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.
5. Οι δοκιμές εφελκυσμού και κρούσης είναι εντός των ορίων των προδιαγραφών που ορίζουν 235 Mpa ελάχιστη τάση διαρροής και 27 Joule για την ενέργεια κρούσης στους 20 °C.

5. Βιβλιογραφικές Αναφορές

- [1] Φυσική Μεταλλουργία Θεμελιώδεις Αρχές, Γρηγόριος Ν. Χαϊδεμενόπουλος, Βόλος 2000, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας
- [2] Προσωπικές Σημειώσεις κ. Γρηγόρη Χαϊδεμενόπουλου από το μάθημα της Φυσικής Μεταλλουργίας
- [3] Light Microscopy of Carbon Steels, Leonard E. Samuels, 1999, ASM International
- [4] Inclusions And Mechanical Properties W.C. Leslie
- [5] Steels, Microstructure and Properties, R.W.K. Honeybombe, 1981
- [6] Fundamentals of Rolling, Zygmunt Wusatowski, Pergamon Press
- [7] Μηχανική Παραμορφωσίμων Σωμάτων, Γ.Ι. Τσαμασφύρος



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000074718

