

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ
ΜΕ ΘΕΜΑ:**



**ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΧΥΤΩΝ
ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΚΑΙ ΠΥΡΙΜΑΧΩΝ**



ΧΑΛΥΒΩΝ

ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ ΙΑΤΡΙΔΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

Δρ. ΓΡΗΓΟΡΙΟΣ ΧΑΙΔΕΜΕΝΟΠΟΥΛΟΣ

ΒΟΛΟΣ, ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2000



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 2340/1
Ημερ. Εισ.: _____
Δωρεά: Συγγραφέα
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜΒ
2000
ΙΑΤ

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000062118

Οφείλω να εκφράσω θερμές ευχαριστίες στον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ. Γρηγόριο Χαΐδεμενόπουλο, για τις συμβουλές, παρατηρήσεις και σκέψεις του, προϋποθέσεις για μια σωστή, εμπειριστατωμένη και ακριβή εργασία.

Ευχαριστώ τον διδακτορικό φοιτητή Αντώνη Κατσαμά, χωρίς τη βοήθεια του οποίου δεν θα μπορούσα να βγάλω εις πέρας κάποια δύσκολα μέρη της διπλωματικής εργασίας, που απαιτούν ιδιαίτερη γνώση.

Ευχαριστώ τον Δρ. Νικόλαο Χασιώτη, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για την γνωστική αλλά και ψυχολογική βοήθειά του.

Ευχαριστώ τον Δρ. Γ. Πετρόπουλο, μέλος της εξεταστικής επιτροπής, για τις γνώσεις που μου παρείχε.

Επίσης, εκφράζω ευγνωμοσύνη στην οικογένειά μου, η οποία με στήριζε πάντοτε πνευματικά, ψυχολογικά και υλικά, σε οποιαδήποτε εργασία κι αν έκανα.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Για να υπάρξει επιβεβαίωση ότι έχει επιτευχθεί βελτιστοποίηση σε κάποια υλικά, των οποίων μεταβλήθηκαν οι συστάσεις των κραματικών στοιχείων για να αλλάξουν και οι ιδιότητες, ακολουθείται μια διαδικασία. Αυτή είναι η μεταλλογραφική ανάλυση κάποιων δειγμάτων, η εύρεση των ποσοστών της κάθε φάσης που παρατηρείται στη μικροδομή των υλικών, η εφαρμογή μικροσκληρομετρήσεων και σκληρομετρήσεων, ραδιογραφίες, δοκιμές εφελκυσμού.

Στην παρούσα διπλωματική εφαρμόζονται τα παραπάνω βήματα σε πέντε διαφορετικούς χυτούς ανοξείδωτους χάλυβες, τους GX40CrNiSi27-4, GX40NiCrSi35-25, X12Cr13, X20CrNi17-2 και GX25CrNiSi25-20, με συστάσεις που έχουν προεπιλεγθεί από τη διπλωματική του κ. Μπάμπη Νομίδη Βελτίωση Χυτών Αντικειμένων από Ανοξείδωτο και Πυρίμαχο Χάλυβα” για μελέτη και συμπεράσματα σχετικά με το αν έχουν βελτιωθεί.

Μελετώντας τις ιδιότητες των πέντε διαφορετικών χυτών ανοξείδωτων χαλύβων, οι οποίοι υλοποιήθηκαν με χύτευση και υποβλήθηκαν σε εξέταση με τα στάδια που προαναφέρθηκαν, βγαίνει το συμπέρασμα ότι τα υλικά δεν μπόρεσαν να βελτιστοποιηθούν και αυτό λόγω εξωτερικών παραγόντων όπως οι συνθήκες της χύτευσης (δημιουργία κενών, παρουσία εγκλεισμάτων) και η έντονη ύπαρξη καρβιδίων, λόγω ελλιπούς διαλυτοποίησης μετά τη χύτευση, που είχε ως αποτέλεσμα τη ψαθυροποίηση των χαλύβων.

Ωστόσο θεωρείται ότι τα υλικά όπως έχουν προδιαγραφεί είναι πράγματι βελτιστοποιημένα και αυτό συμπεραίνεται αν επαναληφθούν οι διαδικασίες χαρακτηρισμού που προαναφέρθηκαν, όπως και διαλυτοποίηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας (για πλήρη διασπορά καρβιδίων), με την προσπάθεια για αποφυγή των αρνητικών στοιχείων που παρουσιάστηκαν στην παρούσα έρευνα.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΑ

σελ.

1	Εισαγωγή	
1.1	Σκοπός Διπλωματικής	1
1.2	Γενικά για τους Ανοξειδωτους Χάλυβες	3
1.3	Οι Σημαντικότερες Κατηγορίες Ανοξειδωτων Χαλύβων	5
1.3.1	Μαρτενσιτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	5
1.3.2	Φερριτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	6
1.3.3	Ωστενιτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	8
1.3.4	Διπλοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	9
1.3.5	Ανοξειδωτοι Χάλυβες που έχουν Σκληρυνθεί με Καθίζηση	10
1.4	Ιδιότητες – Εφαρμογές Ανοξειδωτων Χαλύβων	11
1.4.1	Μαρτενσιτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	11
1.4.2	Φερριτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	12
1.4.3	Ωστενιτικοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	12
1.4.4	Διπλοί Ανοξειδωτοι Χάλυβες	13
1.4.5	Ανοξειδωτοι Χάλυβες που έχουν Σκληρυνθεί με Καθίζηση	13
2	Πειραματικές Διαδικασίες	
2.1	Χύτευση	14
2.2	Μεταλλογραφία Χαλύβων	19
2.3	Μέθοδος Εύρεσης Ποσοστού Φάσεων	21
2.4	Μικροσκληρομέτρηση	23
2.5	Σκληρομέτρηση	25
2.6	Ραδιογραφία	26
2.7	Δοκιμές Εφελκυσμού	29

3	Αποτελέσματα Πειραματικών Διαδικασιών	31
3.1	Χύτευση	32
3.2	Μεταλλογραφία	38
3.2.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	39
3.2.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	41
3.2.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	43
3.2.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	45
3.2.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	47
3.3	Μέθοδος Εύρεσης Ποσοστού Φάσεων	49
3.3.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	50
3.3.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	50
3.3.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	51
3.3.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	51
3.3.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	52
3.4	Μικροσκληρομέτρηση	53
3.4.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	53
3.4.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	53
3.4.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	54
3.4.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	54
3.4.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	54
3.4.5	Σκληρομέτρηση	96
3.5	Σκληρομέτρηση	55
3.5.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	55
3.5.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	56
3.5.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	56
3.5.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	56
3.5.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	57
3.6	Ραδιογραφία	58
3.6.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	59
3.6.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	60
3.6.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	60

3.6.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	61
3.6.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	61
3.7	Δοκιμή Εφελκυσμού	62
3.7.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	63
3.7.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	64
3.7.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	65
3.7.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	66
3.7.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	67
3.8	Μεταλλογραφική Ανάλυση Θερμικώς Κατεργασμένων Δοκιμίων	68
3.8.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	69
3.8.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	70
3.8.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	72
3.8.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	73
3.8.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	75
3.9	Παρατηρήσεις	76
3.9.1	Ανοξειδωτος Χάλυβας 1 – GX40CrNiSi27-4	78
3.9.2	Ανοξειδωτος Χάλυβας 2 – GX40NiCrSi35-25	79
3.9.3	Ανοξειδωτος Χάλυβας 3 – X12Cr13	80
3.9.4	Ανοξειδωτος Χάλυβας 4 – X20CrNi17-2	81
3.9.5	Ανοξειδωτος Χάλυβας 5 – GX40CrNiSi25-20	82
3.10	Έκθεση Εγκυρότητας Ραδιογραφικών Ελέγχων	84
4	Γενικά Συμπεράσματα – Προτάσεις	85
5	Βιβλιογραφικές Αναφορές	87

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ

Μια από τις επιδιώξεις μας είναι η βελτιστοποίηση της ήδη υπάρχουσας τεχνολογίας και αν είναι δυνατόν και η εύρεση νέα τεχνολογίας που θα ανοίξει νέους ορίζοντες στην πορεία της επιστήμης.

Μια τέτοια βελτιστοποίηση μπορεί να γίνει εφικτή με τη συνεργασία φορέων, τεχνολογικών ιδρυμάτων έρευνας και βιομηχανικών ίσως εργαστηρίων. Ένα ερευνητικό πρόγραμμα είναι και το ΠΑΒΕ, το οποίο συνδυάζει τη δουλειά – μελέτη τόσο της βιομηχανίας όσο και της έρευνας ενός τεχνολογικού ιδρύματος. Πιο συγκεκριμένα, το ΠΑΒΕ 97ΒΕ229, αποτελεί ένα πρόγραμμα συνεργασίας του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας με την εταιρεία ΒΜΤΕ και την ΕΒΕΤΑΜ Α.Ε.. Σκοπός της όλης συνεργασίας είναι η προσπάθεια για βελτιστοποίηση ανοξειδωτων χαλύβων, ώστε αυτοί να μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν στην αγορά με χαρακτηριστικά που να τους επιτρέπουν να αντιστέκονται καλύτερα κατά της διάβρωσης και ταυτόχρονα να είναι και πιο ισχυροί μηχανικά.

Έχοντας υπολογίσει ήδη κράματα με συγκεκριμένες συστάσεις στοιχείων μέσα σε αυτά, στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας του Διπλ. Μηχανολόγου Μηχανικού Χαράλαμπου Νομίδη, με θέμα: «Βελτίωση χυτών

αντικειμένων από ανοξείδωτο και πυρίμαχο χάλυβα», έρχεται τώρα μια ακόμη διπλωματική εργασία για να μελετήσει και να δείξει αν πράγματι τα παρουσιαζόμενα ως βελτιωμένα κράματα έχουν βελτιστοποιημένες ιδιότητες. Τα κράματα και οι συστάσεις των κραματικών στοιχείων τους που κρίθηκαν ως τα βελτιστοποιημένα, είναι τα εξής:

	C	Si	Mn	Cr	Ni
GX40CrNiSi27-4	0,3	1,0	1,5	25	3,5
GX40NiCrSi35-25	0,3	1,0	1,5	24	36
X12Cr13	0,08	1,0	1,0	12	-
X20CrNi17-2	0,08	1,0	1,5	15,5	1,5
GX25CrNiSi25-20	0,3	1,0	1,5	26	21

Πιν. 1.1 Κράματα και χημικές συστάσεις κραματικών στοιχείων που κρίθηκαν ως βελτιωμένοι χάλυβες

Στην παρούσα διπλωματική εργασία χυτεύτηκε ο χάλυβας GX40CrNiSi25-20 αντί του GX25CrNiSi25-20, κι αυτό λόγω δυσκολίας επίτευξης του τόσο χαμηλού ποσοστού σε άνθρακα που απαιτεί ο χάλυβας GX25CrNiSi25-20.

Τα στάδια που ακολουθήθηκαν για το χαρακτηρισμό των χυτών ανοξείδωτων κραμάτων που είχαν προταθεί, ήταν τα εξής:

- Χύτευση των χαλύβων με τις συστάσεις που είχαν προκαθοριστεί ως βέλτιστες, με πρωτύτερη χύτευση δειγμάτων και χημική ανάλυση αυτών.

- Αφαίρεση ενός δείγματος από το συνολικό υλικό που χυτεύτηκε και μεταλλογραφική μελέτη αυτού. Η μεταλλογραφική μελέτη περιλαμβάνει λείανση, στίλβωση, χημική προσβολή, παρατήρηση σε μικροσκόπιο και λήψη φωτογραφιών. Από κάθε έναν εκ των 5 διαφορετικών ειδών χαλύβων που χυτεύτηκαν, δημιουργήθηκαν 3 τεμάχια προς μεταλλογραφική μελέτη.

- Εφαρμογή μεθόδου εύρεσης ποσοστών φάσεων σε κάθε ένα χάλυβα, μέσα από τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν από το μικροσκόπιο, ώστε να παρουσιάζονται τα ακριβή ποσοστά κάθε φάσης που εμφανίζεται σε κάθε ένα από τους 5 χάλυβες.

- Μικροσκληρομετρήσεις των χαλύβων.
- Σκληρομετρήσεις των χαλύβων.
- Ραδιογραφία των χαλύβων, για εύρεση αστοχιών κατά τη χύτευση, όπως κενά λόγω συστολών, ρωγμές, πόροι λόγω ύπαρξης και κατακράτησης αερίων μέσα στα υλικά των χαλύβων, εγκλείσματα.
- Τεστ εφελκυσμού για εύρεση αντοχής των χαλύβων.

1.2 ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΟΥΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΥΣ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι ανοξειδωτοι χάλυβες είναι μια κατηγορία χαλύβων που περιέχουν χρώμιο, οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως για την αντοχή τους στη διάβρωση και για λειτουργία σε υψηλές θερμοκρασίες. Διακρίνονται από τους υπόλοιπους χάλυβες για την αυξημένη αντοχή στη διάβρωση και στην οξείδωση, που δημιουργείται από τις προσθήκες χρωμίου. Το χρώμιο προσδίδει παθητικότητα σε σιδηρούχα κράματα όταν υπάρχει σε ποσότητες μεγαλύτερες του 11% περίπου, ιδιαίτερα αν οι συνθήκες είναι έντονα οξειδωτικές. Συνεπώς, χάλυβες με περισσότερο από 10 ή 12% χρώμιο ορίζονται πολλές φορές ως ανοξειδωτοι χάλυβες.

Οι χυτοί ανοξειδωτοι χάλυβες μπορούν να καταταχθούν με βάση τη μικροδομή. Οι δομές μπορεί να είναι ωστενιτικές, φερριτικές, μαρτενσιτικές ή ωστενιτικές-φερριτικές (διπλές).

Η δομή κάθε κατηγορίας ανοξειδωτων χαλύβων καθορίζεται κυρίως απ'τη σύνθεση. Το χρώμιο, το πυρίτιο, το μολυβδένιο και το νιόβιο προωθούν το σχηματισμό φερριτη(μαγνητικός), ενώ το νικέλιο, ο άνθρακας, το άζωτο και το μαγγάνιο προωθούν το σχηματισμό ωστενίτη(μη μαγνητικός) στη δομή του κράματος.

Η σχέση μεταξύ σύνθεσης και δομής στους χυτούς ανοξειδωτους χάλυβες επιτρέπει την πρόβλεψη και τον έλεγχο του φερριτικού περιεχομένου

ενός κράματος, καθώς επίσης και τις ιδιότητες που προκύπτουν, ρυθμίζοντας τη σύνθεση του κράματος. Αυτό πραγματοποιείται με το διάγραμμα σύστασης Schaeffler. Η χρήση του απαιτεί όλα τα στοιχεία της σύνθεσης, που σταθεροποιούν το φερρίτη, να μετατραπούν σε ισοδύναμο χρωμίου και όλα τα στοιχεία, που σταθεροποιούν τον ωστενίτη, να μετατραπούν σε ισοδύναμο νικελίου με τη βοήθεια εμπειρικών προσδιορισμένων συντελεστών που παριστάνουν την ικανότητα φερριτοποίησης ή ωστενιτοποίησης κάθε στοιχείου. Τότε επιτυγχάνεται μια αναλογία σύνθεσης από το ολικό ισοδύναμο χρωμίου, Cr_c , και το ισοδύναμο νικελίου, Ni_c , υπολογισμένη για τη σύνθεση του κράματος από τους ακόλουθους τύπους :

$$Cr_c = \%Cr + 1.5(\%Si) + \%Mo + 0.5(\%Cb)$$

$$Ni_c = \%Ni + 30(\%C) + 0.5(\%Mn)$$

όπου οι συγκεντρώσεις των στοιχείων δίνονται σε ποσοστό επί τοις εκατό κατά βάρος.

Τα χυτά των ανοξείδωτων χαλύβων χωρίζονται συνήθως σε αντιδιαβρωτικά χυτά(τα οποία χρησιμοποιούνται σε υδατώδη περιβάλλοντα μέχρι 650 °C) και σε πυρίμαχα χυτά(τα οποία είναι κατάλληλα για θερμοκρασίες λειτουργίας άνω των 650 °C). Εντούτοις, αυτή η γραμμή οριοθέτησης δεν είναι πάντοτε διακριτή στις εφαρμογές, ιδιαίτερα για χυτοχάλυβες που χρησιμοποιούνται σε θερμοκρασίες από 480 ως 650 °C. Η συνήθης διάκριση μεταξύ πυρίμαχων και αντιδιαβρωτικών χυτοχαλύβων βασίζεται στην περιεκτικότητα σε άνθρακα.

Τα χυτά κατατάσσονται ως πυρίμαχα αν είναι ικανά να συνεχίζουν τη λειτουργία τους όταν εκτίθενται, είτε συνεχώς είτε κατά διαστήματα, σε θερμοκρασίες λειτουργίας, που έχουν ως αποτέλεσμα, οι θερμοκρασίες των μετάλλων να ξεπερνούν τους 650 °C. Τα χυτά πυρίμαχων χαλύβων μοιάζουν με τους αντιδιαβρωτικούς χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, εκτός απ'την υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα, η οποία προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία. Η υψηλότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και, σε

μικρότερη έκταση, οι κλίμακες των συνθέσεων των κραμάτων ξεχωρίζουν τους πυρίμαχους χυτοχάλυβες από τους αντίστοιχους κατεργασμένους.

Στις εφαρμογές των πυρίμαχων κραμάτων ενδιαφέρουσες είναι οι εξής ιδιότητες:

- Αντοχή στη διάβρωση σε υψηλές θερμοκρασίες
- Ευστάθεια(αντοχή στη στρέβλωση, στη ρηγματώση ή στη θερμική κόπωση)
- Αντοχή ερπυσμού(αντοχή στην πλαστική ροή)

Οι εμπορικές εφαρμογές των πυρίμαχων χυτών περιλαμβάνουν φούρνους κατεργασίας μετάλλων, αεροστρόβιλους, κινητήρες αεροσκαφών, στρατιωτικό εξοπλισμό, φούρνους διυλιστηρίων πετρελαίου, εξοπλισμό μύλων τσιμέντου, φούρνους πετροχημικών, εξοπλισμό χημικών διεργασιών, εξοπλισμό εργοστασίων ηλεκτρικής ενέργειας, εξοπλισμό χαλυβουργιών, στροβιλοκινητήρες, και εξοπλισμό χρησιμοποιούμενο στην κατασκευή υάλου και συνθετικού καουτσούκ.

1.3 ΟΙ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΕΣ ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

1.3.1 ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Η οικογένεια αυτή των χαλύβων περιέχει από 12-18% χρώμιο, με άνθρακα που φτάνει στο 1%. Η πρόσθεση Ni, Mo, Si, Ti, V, Nb, και άλλων στοιχείων δημιουργεί μια ολόκληρη ποικιλία ιδιοτήτων στο μαρτενσιτικό χάλυβα.

Ο μαρτενσίτης προκύπτει από τη γρήγορη ψύξη του ωστενίτη, ώστε να εμποδίζεται η διάχυση. Η FCC δομή τείνει να μετατραπεί σε BCC, αλλά τα άτομα του άνθρακα δεν έχουν χρόνο να μετακινηθούν, καταλήγοντας σε μια

υβριδική, ασταθή ισορροπία, έχοντας την ίδια περιεκτικότητα σε άνθρακα με τον ωστενίτη. Θεωρείται ότι υπάρχουν δυο βασικές οικογένειες μαρτενσιτών: αυτή που περιέχει πολύ μικρό ποσοστό άνθρακα, και αυτή που έχει μεγαλύτερο ποσοστό άνθρακα, κάτι που διαφοροποιεί την σκληρότητά τους, τείνοντας να την αυξήσει καθώς προσθέτεται άνθρακας. Σε μεγάλες άλλωστε περιεκτικότητες άνθρακα παρουσιάζονται και τα καρβίδια, κάτι που αποτελεί έναν από τους λόγους που προσθέτεται νικέλιο, ώστε να μειωθεί η τάση για διάβρωση, που επέρχεται από την προσθήκη άνθρακα.

Πρέπει να αναφερθεί η βαφή, ως μια από τις θερμικές κατεργασίες που γίνονται στον μαρτενσίτη, με την οποία ισχυροποιείται ο χάλυβας. Συνήθως όμως ακολουθείται και από ανόπτηση, ώστε το μέταλλο να είναι και σκληρό, αλλά συγχρόνως να μπορεί να πάρει και τη μορφή που πρέπει, να είναι δηλαδή όλκιμο. Ανάλογα με τις θερμοκρασίες και τους χρόνους που υποβάλλεται το μέταλλο σε βαφή και ανόπτηση, επιτυγχάνεται ένα ολόκληρο εύρος ιδιοτήτων για το μαρτενσίτη.

1.3.2 ΦΕΡΡΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι φερριτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες έχουν δομή BCC, παρουσιάζουν γενικά καλή όλκιμότητά και μπορούν έτσι να μεταβάλλουν σχετικά εύκολα το σχήμα τους. Σε εξελάσεις και γενικά τέτοιου είδους κατεργασίες έχουν πολύ καλή συμπεριφορά. Η σκληρότητα είναι κάπως μικρή. Στην κατάσταση μετά από ανόπτηση οι φερριτικοί προτιμούνται κατά το μεγαλύτερο ποσοστό τους.

Ανάλογα με την περιεκτικότητα σε χρώμιο μεταβάλλεται και η αντίσταση στη διάβρωση. Οι φερρίτες με χαμηλό ποσοστό χρωμίου (11-14% Cr) χρησιμοποιούνται κυρίως σε λειτουργικές εφαρμογές που απαιτούν μέτρια αντίσταση σε διάβρωση. Ανεβάζοντας το ποσοστό του χρωμίου (17% Cr), σημειώνονται φερρίτες με καλή αντίσταση σε διάβρωση ατμοσφαιρικών συνθηκών. Οι φερρίτες υψηλού ποσοστού σε χρώμιο χρησιμοποιούνται σε υψηλές θερμοκρασίες λόγω της αντίστασης στην οξείδωση.

Φερρίτης σε Χυτούς Ωστενιτικούς Ανοξειδωτους Χάλυβες. Τα χυτά ωστενιτικά κράματα συνήθως έχουν από 5 ως 20% φερρίτη, ανάλογα με την περιεκτικότητα σε νικέλιο, χρώμιο και άνθρακα, κατανεμημένο σε ασυνεχείς λάκκους σε όλη τη μήτρα. Η παρουσία του φερρίτη στον ωστενίτη μπορεί να είναι ωφέλιμη ή επιζήμια, ανάλογα με την εφαρμογή.

Ο φερρίτης είναι ωφέλιμος και σκοπίμως παρών σε ποικίλους αντιδιαβρωτικούς χυτοχάλυβες για τη βελτίωση της συγκολλητικότητας και για τη μεγιστοποίηση της αντοχής στη διάβρωση σε συγκεκριμένα περιβάλλοντα. Επίσης, χρησιμοποιείται για την ισχυροποίηση των διπλών κραμάτων.

Ο φερρίτης δύναται να είναι ωφέλιμος για τη συγκολλητικότητα επειδή οι πλήρως ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες είναι επιρρεπείς σε ένα πρόβλημα συγκολλητικότητας γνωστό ως θερμωρογμή. Η περικρυσταλλική θραύση συμβαίνει στην εναπόθεση και/ή στη θερμαινόμενη ζώνη της συγκόλλησης και μπορεί να αποφευχθεί αν η σύνθεση του μετάλλου συγκόλλησης ελέγχεται ώστε να παράγει περίπου 4% φερρίτη στην ωστενιτική εναπόθεση.

Ο φερρίτης είναι επιζήμιος σε μερικές εφαρμογές. Μια τέτοια περίπτωση μπορεί να είναι η μειωμένη δυσθραυστότητα εξαιτίας του φερρίτη, αν και αυτή δεν είναι σημαντική, δεδομένης της άκρως υψηλής δυσθραυστότητας της ωστενιτικής μήτρας. Σε εφαρμογές που απαιτούν θέρμανση στην περιοχή από 425 ως 650 °C, συμβαίνει καθίζηση καρβιδίων κατά προτίμηση στις άκρες των φερριτικών λάκκων, στα όρια κόκκων του ωστενίτη. Όταν ο χάλυβας θερμανθεί άνω των 540 °C, οι φερριτικοί λάκκοι μετασχηματίζονται σε μια χ ή σ φάση. Αν αυτοί οι λάκκοι είναι κατανεμημένοι έτσι ώστε να σχηματίζεται ένα συνεχές δίκτυο, μπορεί να συμβεί ψαθυροποίηση ή ένα δίκτυο διείσδυσης της διάβρωσης.

Σε εναποθέσεις συγκόλλησης, η παρουσία της σ ή της χ φάσης είναι άκρως επιζήμια στην ολκιμότητα. Όταν γίνεται συγκόλληση για λειτουργία σε θερμοκρασία δωματίου ή ως 540 °C, μπορεί να υπάρχει 4 ως 10% φερρίτης που μειώνει δραστικά την προδιάθεση για θραύση στη συγκόλληση. Εντούτοις, για λειτουργία σε θερμοκρασίες μεταξύ 540 και 815 °C, η ποσότητα του

φερρίτη στη συγκόλληση πρέπει να μειωθεί σε λιγότερο από 5% για την αποφυγή ψαθυροποίησης από υπερβολική σ ή χ φάση.

σ-φάση στους φερριτικούς ανοξειδωτους χάλυβες

Σημειώνεται σε εύρος θερμοκρασιών 540 – 870 °C η παρουσία μιας ακόμη φάσης, της σ-φάσης, που πρωτοεμφανίζεται στα όρια κόκκων. Μέχρι και σε πολύ χαμηλές περιεκτικότητες σε χρώμιο, αν υπάρχουν άλλα στοιχεία όπως μολυβδαίνιο, τιτάνιο ή άλλα, παρατηρείται η εμφάνιση της σ-φάσης, η οποία ξεκινά θεωρητικά από συστάσεις 14-15% σε χρώμιο. Η σ-φάση δημιουργεί μια ανεπιθύμητη ψαθυρότητα και για να αποφευχθεί συνήθως παρέχεται θέρμανση στους 900 °C και απότομη ψύξη στους 475 °C, για να αποφευχθεί η επικίνδυνη περιοχή των 540 – 870 °C.

1.3.3 ΩΣΤΕΝΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες, οι οποίοι έχουν FCC δομή σε θερμοκρασία δωματίου, παρουσιάζουν καλή ολκιμότητα, αντοχή κατά της διάβρωσης, κάτι που εξηγεί και την εφαρμογή τους σε πολλές περιπτώσεις. Η ποικιλία άλλωστε των ωστενιτικών ανοξειδωτων χαλύβων και στη βιομηχανία, οφείλεται στη μεγάλη επίδραση των πολλών κραματικών στοιχείων, στις πολλές διαφορετικές εφαρμογές ανάλογα με τις θερμοκρασίες (υψηλές ή χαμηλές), στην καλή συγκολλητότητα, στην αντοχή κατά διαφόρων τύπων διάβρωσης, στην ολκιμότητα που μπορούν αυτοί οι χάλυβες να αποκτήσουν. Παρατηρούνται έτσι στη βιομηχανία τροφίμων, σε οικιακές χρήσεις, στη βιομηχανία κατασκευών και σε βιομηχανικά εργαλεία.

Μεγάλη σημασία στον ωστενιτικό ανοξειδωτο χάλυβα έχει η αναλογία του χρωμίου και του νικελίου. Το **χρώμιο** σταθεροποιεί το φερρίτη (δ ή α ανάλογα με τη θερμοκρασία) και το **νικέλιο** σταθεροποιεί τον ωστενίτη και ευνοεί έτσι τη φάση γ. Ο **άνθρακας** σταθεροποιεί τη γ φάση, αλλά πέρα από κάποια όρια αποφεύγεται επειδή ευνοεί την ανάπτυξη καρβιδίων. Το

μολυβδαίνιο ευνοεί την ανάπτυξη φερρίτη όπως άλλωστε και το **πυρίτιο**, ευνοεί όμως και την ανάπτυξη της σ-φάσης, που προκαλεί ψαθυροποίηση σε θερμοκρασία δωματίου. Το **τιτάνιο** και το **νιόβιο** είναι επίσης σταθεροποιητές φερρίτη, και η λειτουργία τους είναι σε αντίθεση με αυτή του άνθρακα και του αζώτου, σε ό,τι αφορά την ανάπτυξη καρβιδίων και νιτριδίων. Ο **χαλκός** μειώνει την αντοχή.

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοί χάλυβες δεν σκληραίνουν με βαφή (γρήγορη ελάττωση της θερμοκρασίας), αλλά με ψυχρή κατεργασία (ώστε να σκληρύνει τελικά με τη βοήθεια του φαινομένου της εργοσκληρυνσης). Η μέγιστη αντοχή κατά της διάβρωσης και η βέλτιστη ολκιμότητα, επιτυγχάνονται με βαφή από θερμοκρασίες της τάξης 1000 – 1050 °C. Ο ωστενίτης άλλωστε παρουσιάζει καλύτερη συμπεριφορά στην ατμοσφαιρική διάβρωση και στη διάβρωση που προκαλείται από το νερό, σε σχέση με την αντοχή των μαρτενσιτικών και φερριτικών ανοξειδωτων χαλύβων.

1.3.4 ΔΙΠΛΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι duplex ανοξειδωτοί χάλυβες περιέχουν τις δύο φάσεις ωστενίτη και φερρίτη. Η θερμική κατεργασία και οι χημικές συστάσεις είναι αυτά που καθορίζουν το ποσοστό της κάθε φάσης (ωστενίτη και φερρίτη) που θα έχει το κράμα. Τα κύρια στοιχεία και εδώ που παρατηρούνται μέσα στο κράμα είναι το νικέλιο και το χρώμιο. Διακρίνονται για την αντοχή τους κατά της δυναμοδιάβρωσης, κατά της τριμματικής διάβρωσης εξαιτίας χλωριδίων, και γενικά για την καλή συμπεριφορά τους σε κατεργασίες. Θεωρούνται οι διπλοί ανοξειδωτοί χάλυβες πλέον σαν μια ακόμη κατηγορία ανοξειδωτων χαλύβων, ανήκοντας σε μια κατάσταση μεταξύ των φερριτών και των ωστενιτών. Έχουν καλύτερη σκληρότητα από τους φερριτικούς αλλά χειρότερη από τους ωστενιτικούς. Σε συγκεκριμένες κατηγορίες διπλού ανοξειδωτου χάλυβα, η αντοχή είναι 400-550 Mpa, έναντι 200-250 Mpa των ωστενιτών. Γενικά η αντοχή των διπλών είναι διπλάσια ή τριπλάσια από αυτή των ωστενιτών. Η

καλή σκληρότητα οφείλεται στο ότι τα περισσότερα κράματα περιέχουν περίπου 50% φερρίτη.

Το **χρώμιο** επιδρά πολύ κατά της διάβρωσης, αλλά στην πραγματικότητα είναι δύσκολο να ξεπεραστούν τα ποσοστά του 25%, ειδικά όταν υπάρχει και μολυβδαίνιο, λόγω της τάσης για δημιουργία σ-φάσης, και της ψαθυρότητας που αυτή επιφέρει. Το **νικέλιο** χρησιμοποιείται και κατά της δημιουργίας ρωγμών. Τα καλύτερα αποτελέσματα φαίνεται πως επιτυγχάνονται με 5-8 % περιεκτικότητα σε νικέλιο. Μεγαλύτερες περιεκτικότητες ευνοούν τη σ-φάση. Το **άζωτο** φαίνεται να είναι πιο συνηθισμένο στους διπλούς χάλυβες, σε σχέση με τα άλλα είδη ανοξείδωτων χάλυβων. Βελτιώνει τις μηχανικές ιδιότητες στις εφαρμογές, και βοηθά στην αντοχή κατά της ρηγματικής και τρημματικής διάβρωσης. Το **μολυβδαίνιο** αλληλοσυμπληρώνεται με το άζωτο. Ο **χαλκός** πολλές φορές αντικαθιστά το νικέλιο, προσδίδοντας καλή αντίσταση κατά της διάβρωσης, επηρεάζοντας πολύ την ισορροπία φερρίτη - ωστενίτη. Επειδή δεν διαλύεται εύκολα στο φερρίτη, καθίζει και προκαλεί σκλήρυνση με το φαινόμενο της γήρανσης. Δεν φαίνεται η καθίζηση του χαλκού να επηρεάζει την αντιμετώπιση του κράματος κατά της διάβρωσης.

1.3.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΣΚΛΗΡΥΝΘΕΙ ΜΕ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Αυτοί οι χάλυβες προήλθαν από την ανάγκη για δημιουργία υλικών με αντοχή σε διάβρωση και ταυτόχρονα με ιδιότητες υψηλής μηχανικής αντοχής. Η σκλήρυνση με καθίζηση λοιπόν, βρήκε μεγάλη εφαρμογή σε ωστενιτικούς χάλυβες, αλλά και σε μαρτενσιτικούς. Κυριαρχούν οι ακόλουθες τρεις σημαντικότερες κατηγορίες αυτού του είδους χάλυβων:

- Η τάξη των μαρτενσιτικών, που προέρχονται βασικά από γήρανση του μαρτενσίτη που ανεβαίνει σε πολύ μεγάλη θερμοκρασία και ψύχεται σε

θερμοκρασία δωματίου. Στη μικροδομή του μπορεί να βρεί κανείς και παραμένον ωστενίτη, μαζί με ελάχιστη ποσότητα φάσης δ-φερρίτη.

- Η τάξη των ωστενιτικών, στην οποία η σκλήρυνση επιτυγχάνεται με γήρανση του κορεσμένου ωστενίτη που παράγεται με κατεργασία διάχυσης σε πολύ ψηλή θερμοκρασία, ακολουθούμενη από ψύξη σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Δεν παρατηρείται δ-φερρίτης σε αυτά τα κράματα.

- Η τάξη των ημιωστενιτών, που μπορούν να περιέχουν σημαντικές ποσότητες δ-φερρίτη (μέχρι 20%) σε ισορροπία με ωστενίτη στη θερμοκρασία διάλυσης.

Μετά από θέρμανση σε θερμοκρασία άνω των 1000 °C και ψύξη στη θερμοκρασία περιβάλλοντος, η δομή θα περιλαμβάνει και μετασταθή ωστενίτη. Σε αυτή την κατάσταση μπορεί να γίνει η διαμόρφωση και η μηχανική κατεργασία. Σε αντιπαράθεση, θερμαίνοντας κάτω απ' τους 1000 °C, θεωρείται ως η επικρατέστερη δομή η μαρτενσιτική. Ο μετασταθής ωστενίτης μετατρέπεται σε μαρτενσίτη με κρυογενικές κατεργασίες.

1.4 ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ - ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ

1.4.1 ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Ανάλογα με τις εφαρμογές για τις οποίες χρησιμοποιείται, ο μαρτενσιτικός ανοξείδωτος χάλυβας απαιτείται κυρίως σε τρεις κατηγορίες χρήσεων:

- Χρήση σε θερμοκρασία δωματίου, επιζητώντας υψηλή αντοχή και σκληρότητα συγχρόνως.

- Χρήση σε υψηλές ταχύτητες και εργαλαιοχάλυβες, με ποσοστό σε άνθρακα άνω των 0,20%. Κι εδώ ζητείται μεγάλη σκληρότητα και θερμοκρασίες κατεργασιών σχεδόν περιβάλλοντος.

•Χρήση σε θερμοκρασίες της τάξης των 550 °C, όπως για παράδειγμα σε αεριοτουρμπίνες. Αυτό απαιτεί περιεκτικότητα σε χρώμιο 11~12%, 0,1~0,2% άνθρακα και στοιχεία όπως μολυβδαίνιο, βανάντιο, νιόμπιο, βολφράμιο, και ίσως και κοβάλτιο.

Σημειώνεται γενικά η προσπάθεια να βρεθεί μια χρυσή τομή μεταξύ σκληρότητας και αντοχής. Γι' αυτό και η πρώτη απ' τις τρεις κατηγορίες χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες, ακριβώς για μια προσπάθεια βελτιστοποίησης της σκληρότητας και ταυτόχρονα και της αντοχής.

1.4.2 ΦΕΡΡΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Η περιεκτικότητα σε χρώμιο από αυτή την κατηγορία ανοξειδωτων χαλύβων ποικίλει από 13% σε 30%. Η μετατροπή φερρίτη σε ωστενίτη, η δημιουργία μαρτενσίτη ελαττώνονται κατά πολύ, με τη βοήθεια στοιχείων που μεταβάλλουν τη μορφοποίηση των καρβιδίων (Si, Al, Mo, Ti, Nb).

Αυτοί οι χάλυβες δεν μπορούν να σκληρυνθούν με βαφή, αλλά απλά θερμαίνονται στους 750 – 900 °C, και ψύχονται γρήγορα για να αποφευχθεί η ψαθυροποίηση των 475 °C. Ψαθυροποίηση συμβαίνει κάτω των 750 °C στην πράξη όταν παρουσιάζονται φερρίτες με πολύ πλούσια περιεκτικότητα σε χρώμιο, που περιέχουν ταυτόχρονα και μολυβδαίνιο, πυρίτιο ή νικέλιο.

1.4.3 ΩΣΤΕΝΙΤΙΚΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Οι ωστενιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες έχουν καλή ολκιμότητα σε χαμηλές θερμοκρασίες. Έτσι, σημειώνεται καλή αντοχή σε επιμήκυνση, σε χαμηλές θερμοκρασίες, αλλά καθώς θερμαίνονται αυτή μειώνεται. Θερμαίνοντας εμφανίζεται μια ψαθυρή συμπεριφορά, που οφείλεται στην έλλειψη σημείου μετάβασης, κάτι που δημιουργεί τραχύτητα στους κόκκους.

Σε θερμοκρασίες άνω των 600 °C, και για μεγάλες χρονικές περιόδους, το μέταλλο υποβάλλεται σε περιβαλλοντική προσβολή όπως οξείδωση, σουλφιδοποίηση. Τότε είναι που χρησιμοποιούνται μέταλλα με αντοχή στη διάβρωση που προκαλείται από τις υψηλές θερμοκρασίες, κι αυτό πετυχαίνεται με την ύπαρξη του προστατευτικού φιλμ που αυτά τα μέταλλα έχουν στην επιφάνειά τους (οξείδια του χρωμίου Cr₂O₃, οξείδια του πυριτίου Si₂O₃, οξείδια του αλουμινίου Al₂O₃).

1.4.4 ΔΙΠΛΟΙ ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ

Σημειώνεται εδώ κατηγορία με υψηλή αντοχή σε διάβρωση, αλλά και κατηγορία με χρήση σε συγκολλήσεις. Ο φερρίτης φτάνει σε ποσοστό 30 – 75 %, με αποτέλεσμα αύξηση σκληρότητας από διασπορά, που δίνει καλύτερες ιδιότητες και χρήση σε εφαρμογές, πολλές φορές σε ευρύτερο πεδίο απ' ότι ο ωστενίτης.

1.4.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΠΟΥ ΕΧΟΥΝ ΣΚΛΗΡΥΝΘΕΙ ΜΕ ΚΑΘΙΖΗΣΗ

Αυτοί οι χάλυβες έχουν πολύ υψηλή περιεκτικότητα νικελίου (24 – 75%) και εκτός από την χρησιμότητα σε πολύ ψηλές θερμοκρασίες, διακρίνονται και για την πολύ μεγάλη αντοχή τους. Επίσης δεν είναι μαγνητικοί, κάτι που διατηρείται και σε χαμηλές θερμοκρασίες. Σημειώνονται και πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να εμφανίζονται οι διπλοί ανοξειδωτοί χάλυβες σε πολλές εφαρμογές.

2 ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΕΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ

2.1 ΧΥΤΕΥΣΗ

Στο ξεκίνημα των πειραματικών διαδικασιών σημειώνεται αρχικά η χύτευση των υλικών (των οποίων οι συστάσεις των επιμέρους στοιχείων είχαν προκαθοριστεί από τη διπλωματική του διπλ. Μηχανολόγου Μηχανικού Μπάμπη Νομίδα με τίτλο «Βελτίωση Χυτών Αντικειμένων από Ανοξείδωτο και Πυρίμαχο Χάλυβα», με τη βοήθεια του υπολογιστικού πακέτου Thermocalc). Η όλη διαδικασία της χύτευσης έγινε στην EBETAM A.E.

Έγινε παραγγελία πρώτων υλών, οι οποίες ήταν:

Ni 99.9% 80kg

FeCr 200kg (Cr~70%)

FeMn 10kg

FeSi 10kg

Πιο συγκεκριμένα, παραθέτονται και γενικά στοιχεία για τα υλικά των πρώτων υλών:

- Μικρά τεμάχια, Scrap κοινού ανθρακούχου χάλυβα με 0,1% άνθρακα (λαμαρίνα που αποτελεί απόκομμα από κοπή χαλυβδόφυλλων με laser).
- Χελώνα χυτοσιδήρου με 2-2,5% Si, 0,6-0,9% Mn, P σε ποσοστό μέχρι 0,04%, άνθρακας σε ποσοστό 3,7-4,1%. Το υλικό αυτό χρησιμοποιείται για την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα στο τήγμα στον επαγωγικό φούρνο.
- Ηλεκτρολυτικός σίδηρος με 0,01% C το μέγιστο ποσοστό, όπως και άλλα στοιχεία σε αμελητέα ποσότητα, για να μειωθεί ο άνθρακας στο μπάνιο (0,1% Mn, 0,01% P, 0,008% S κ.α.).
- FeMn (DIN 17564). Εδώ παρουσιάζονται στοιχεία με περιεκτικότητες: Mn 75-85%, 0,5-2% C, 0,5-1,5% Si, μέχρι 0,25% P, μέχρι 0,03% S). Ο σκοπός

ύπαρξης αυτής της πρώτης ύλης είναι η κραμάτωση και αποξείδωση του χάλυβα. Πιο συγκεκριμένα σημειώνεται περίπου 30% κατανάλωση Mn για αποξείδωση και περίπου 70% για κραμάτωση.

- FeSi (DIN 17560). Χρησιμοποιείται για κραμάτωση και αποξείδωση του τήγματος. Συστάσεις που εμφανίζονται είναι: 73-79% Si, 1-2%Al, P σε ποσοστά μέχρι 0,05%, άνθρακας μέχρι 0,1%.

- FeCr (DIN 17565). Πετυχαίνεται κραμάτωση του χάλυβα με προτεινόμενες συστάσεις: 65-72% Cr, 0,5-1% C, Si μέχρι 1,5%, P μέχρι 0,03%, S μέχρι 0,05%.

- FeMo (DIN 17561). Εδώ εμφανίζονται συστάσεις 58-65% Mo, Si μέχρι 1%, C μέχρι 0,1%, S μέχρι 0,1%, P μέχρι 0,1%.

Η τήξη πραγματοποιείται σε επαγωγικό φούρνο χωρητικότητας 100kg και ισχύος 125kw. Αρχικά τήκεται το Scrap, ενώ στη συνέχεια συμπληρώνεται ταυτόχρονα FeSi και FeMn. Μετά έρχεται η σειρά του νικελίου, του χρωμίου και τελευταίου του FeMo. Αποξείδωση επιτυγχάνεται με τη βοήθεια του καθαρού αλουμινίου, και πιο συγκεκριμένα με 50gr πριν από τη χύτευση. Η τελική θερμοκρασία του τήγματος είναι 1650 °C.

Η τύπωση των καλουπιών, μέσα στα οποία θα δημιουργηθούν τα δοκίμια, γίνεται με τη μέθοδο No-Bake, δηλαδή με αμμοχαλαζιακή και φουρανική ρητίνη για συνδετικό. Η ρητίνη είναι τύπου Alfa set και καταλύτης.

Έχοντας λοιπόν τις επιθυμητές συστάσεις των 5 διαφορετικών χυτών ανοξειδωτων χαλύβων, αρχίζει η χύτευση. Πρέπει βέβαια να ειπωθεί ότι δεν χυτεύτηκε κατευθείαν η συνολική ποσότητα των υλικών. Για να αποφευχθεί η σπατάλη μεγάλου όγκου υλικού, χυτεύτηκε αρχικά ένα μικρό δοκίμιο από κάθε χάλυβα και μελετήθηκε με χημική ανάλυση. Η χημική ανάλυση βέβαια προϋποθέτει ότι κάθε ένα δοκίμιο που παίρνεται από τη χύτευση, αφότου κρυώσει, κόβεται δημιουργώντας ένα μικρότερο, γυαλίζεται, λειαίνεται και μετά υποβάλλεται σε χημική ανάλυση, μια μέθοδος που βασίζεται στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από το υλικό, από όπου δικαιολογείται και η ύπαρξη θολής κυκλικής μορφοποίησης πάνω στο αντικείμενο που έχει

αναλυθεί χημικά (η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος δημιουργεί σπινθήρα, αλλοιώνοντας έτσι ελαφρώς την επιφάνεια του δοκιμίου). Ο σπινθήρας είναι αυτός που εξαχνώνει λίγο υλικό και μέσα από την εξάχνωση δημιουργείται καπνός που περιέχει τα στοιχεία του υλικού, των οποίων η σύσταση μετριέται, ώστε να εμφανίζονται τελικά τα αποτελέσματα της χημικής ανάλυσης.

Όταν πλέον επιβεβαιωθεί ότι κάθε δοκίμιο από τη χύτευση έχει την επιθυμητή χημική σύσταση, τότε συνεχίζεται η χύτευση του συνολικού όγκου των υλικών. Τα καλούπια μερικές φορές παρουσιάζουν τον κίνδυνο της θραύσης. Στη δική μας περίπτωση παρουσιάστηκε μια τέτοια θραύση, το οποίο συνέβη για ευνόητους λόγους: Υψηλές θερμοκρασίες, παροχή μεγάλου όγκου υλικού στο καλούπι, αστοχία στη γεωμετρία του καλουπιού.

Για κάθε έναν από τους 5 χάλυβες δημιουργήθηκε μια κατάσταση υπολογισμού της φουρνιάς. Ουσιαστικά αυτή η κατάσταση αποτελεί μια παροχή πληροφοριών για την εκάστοτε χύτευση. Οι πληροφορίες είναι οι εξής:

- Ονομασία ενώσεων που χρησιμοποιήθηκαν για τη χύτευση του υλικού. Αυτά είναι όπως άλλωστε προαναφέρθηκαν Scrap, FeCr, FeMn, FeSi, και ανάλογα με το προς χύτευση υλικό είναι: Al, Ni.

- Ποσότητα των στοιχείων που περιλαμβάνονται στο υλικό (C, Si, Mn, S, P, Cr, Ni. Στην περίπτωσή μας βέβαια μερικά από αυτά τα στοιχεία δεν υπάρχουν καθόλου, όπως το S, P).

- Σύνολα των στοιχείων που παρουσιάζονται τελικά από κάθε κραματική ένωση.

- Προδιαγραφή του υλικού, που δείχνει πόσο είναι το ποσοστό των στοιχείων που πρέπει να επιτευχθεί.

- Χώρος για σχόλια και παρατηρήσεις σχετικά με τη χύτευση.

Παρακάτω ακολουθεί μια τέτοια κατάσταση υπολογισμού φουρνιάς που χρησιμοποιήθηκε για παροχή πληροφοριών για τη χύτευση.

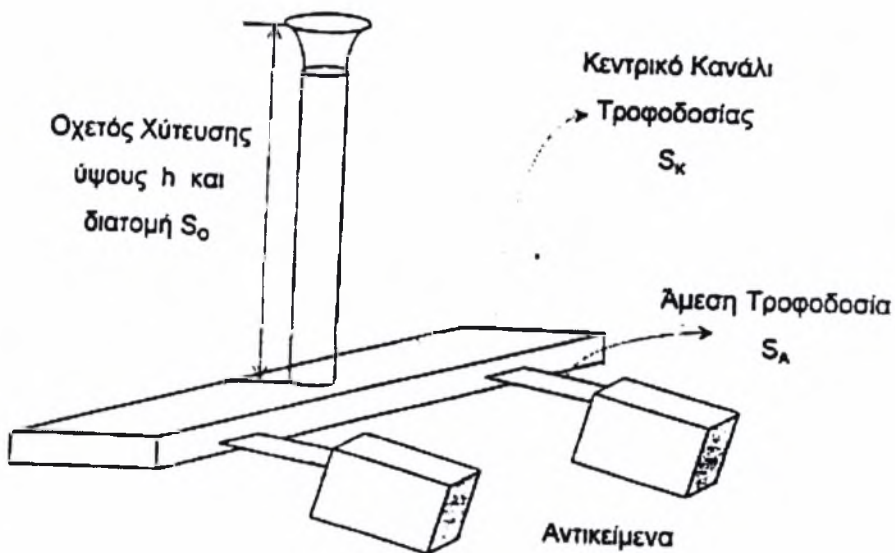
ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap								
FeCr								
FeMn								
FeSi								
Ni								
Al								
Σύνολα								
Προδιαγραφή υλικού								
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 2.1 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιας χύτευσης

Τροφοδοσία συστήματος χύτευσης

Το σύστημα τροφοδοσίας έχει σκοπό να παρέχει το υλικό προς χύτευση στο καλούπι. Αποτελείται βασικά από αγωγούς - κανάλια μέσα από τα οποία ρέει το ρευστό που θα στερεοποιηθεί και θα γίνει το μέταλλο με τη μορφή που πρέπει. Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται το σύστημα τροφοδοσίας.

Σχ. 2.2 Σύστημα τροφοδοσίας συστήματος χύτευσης



Από το σχήμα φαίνεται ότι το σύστημα τροφοδοσίας αποτελείται από:

- Τον οχετό χύτευσης
- Το κεντρικό κανάλι τροφοδοσίας
- Την άμεση τροφοδοσία
- Προσεπιχωνεύματα, των οποίων ο ρόλος είναι να αποφευχθούν συστολές στο εσωτερικό του αντικειμένου. Μπαίνουν συνήθως σε μέρη αλλαγής της διατομής

Η διατομή της άμεσης τροφοδοσίας εξαρτάται από τις παρακάτω μεταβλητές:

- Τη θερμοκρασία χύτευσης
- Το ύψος του οχετού χύτευσης
- Το χρόνο
- Το βάρος και το πάχος του τοιχώματος του αντικειμένου
- Τη γεωμετρία του αντικειμένου
- Το ειδικό βάρος του υγρού μετάλλου
- Το υλικό του καλουπιού (άμμος, μεταλλικό καλούπι, κεραμικό κλπ.)

2.2 ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ ΧΑΛΥΒΩΝ

Η διαδικασία της μεταλλογραφίας ξεκινά με κοπή των δοκιμίων σε μια γεωμετρία και σχήμα που βολεύει για να είναι εφικτή η λείανση. Έτσι, αφού κοπούν τα δοκίμια, εγκιβωτίζονται (με τη βοήθεια του Acryfix powder και του Acryfix liquid σε αναλογία 2:1) και στη συνέχεια λειαίνονται και στιλβώνονται για να μπορούν να παρατηρηθούν στο μικροσκόπιο, αφού πρώτα χρησιμοποιηθεί το χημικό αντιδραστήριο.

Χρησιμοποιήθηκε το αντιδραστήριο που είναι για γενικές εφαρμογές και εμφανίζει όλες τις συνήθεις φάσεις που φαίνονται σε έναν χυτό ανοξείδωτο χάλυβα. (general purposes etchant). Αυτό το αντιδραστήριο αποτελείται από $1/3$ HCl, $1/3$ HNO₃, $1/3$ H₂O. Χρησιμοποιήθηκαν και ακόμη δύο αντιδραστήρια: το Acua Retzia, που αποτελείται από 15ml HCl και 5ml HNO₃, και το Vilella, που αποτελείται από 1gr πικρικό οξύ, 5ml HCl, 100ml αιθανόλη. Τα αποτελέσματα ωστόσο που διαπιστώθηκαν με τα δύο αυτά αντιδραστήρια ήταν τα ίδια περίπου με το πρώτο (των γενικών χρήσεων που αναφέρθηκε), ώστε τελικά να προτιμηθεί το πρώτο, που είναι και εύκολο στη δημιουργία (έναντι του Acua Retzia, που είναι επικίνδυνο), και ταυτόχρονα δεν χρειάζεται πολύ ώρα (περίπου 7-10sec) για να αντιδράσει με το υλικό (έναντι του Vilella).

Αφού λοιπόν γίνουν και τα αντιδραστήρια, παρατηρούνται τα δοκίμια στο μικροσκόπιο. Έχοντας τοποθετήσει και τη φωτογραφική μηχανή στο μηχανισμό του μικροσκοπίου, τραβιούνται και φωτογραφίες. Αυτό επιτυγχάνεται αφού ρυθμισθεί η παροχή του φωτός έτσι ώστε να σημειώνεται άνοιγμα του διαφράγματος της φωτογραφικής μηχανής για χρόνο 1sec. Ρυθμίστηκε έτσι λοιπόν η μεταβλητή του φωτός σε κάθε φωτογραφία που πρέπει να τραβηχτεί, και τελικά βγήκε για κάθε έναν χάλυβα μια φωτογραφία από κάθε μεγέθυνση, δηλαδή x200, x500, x1000 (δεν χρειάστηκε να χρησιμοποιηθούν και άλλες μεγεθύνσεις). Επίσης βγήκαν ακόμη και επιπρόσθετες φωτογραφίες στη βέλτιστη μεγέθυνση που επιτρέπει καλύτερη παρατήρηση του εκάστοτε χάλυβα. Αυτό έγινε για να εφαρμοστεί η μέθοδος της εύρεσης του ποσοστού κάθε φάσης, η οποία μέθοδος απαιτεί την ύπαρξη φωτογραφιών του υλικού. Έχοντας 3 δοκίμια για κάθε χάλυβα και καθώς οι χάλυβες είναι 5, βγήκαν 45 φωτογραφίες. Φυσικά βγήκαν και ακόμα μερικές φωτογραφίες που είχαν ενδιαφέρον στη δομή τους, σε συγκεκριμένα σημεία. Η μεγέθυνση που επιτρέπει εφαρμογή της μεθόδου εύρεσης του ποσοστού κάθε φάσης είναι η εξής για κάθε χάλυβα:

- x500 για τον χάλυβα 1, που είναι ο Gx40CrNiSi27-4
- x200 για τον χάλυβα 2, που είναι ο Gx40NiCrSi35-25
- x500 για τον χάλυβα 3, που είναι ο x12Cr13
- x500 για τον χάλυβα 4, που είναι ο x20CrNi17-2
- x200 για τον χάλυβα 5, που είναι ο Gx40CrNiSi25-20

Υπενθυμίζεται ότι το αρχικό σύμβολο γράμμα G σημαίνει ότι ο συγκεκριμένος χάλυβας είναι πυρίμαχος.

Αναφέρεται επίσης ότι στις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν παρατηρούνται τριών ειδών χρωματισμοί – αποχρώσεις. Αυτό οφείλεται στο φίλτρο που είχε τοποθετηθεί στο μικροσκόπιο και ήταν σε κάθε ένα από τα τρία δοκίμια κάθε χάλυβα διαφορετικό.

2.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΦΑΣΗΣ

Η μέθοδος αυτή μπορεί να δείξει το ποσοστό κάθε φάσης που περιλαμβάνεται στο κράμα. Εφαρμόζοντας τη μέθοδο αυτή για τις διαφορετικές φάσεις που παρατηρούνται στους χάλυβες, διεξάγονται συμπεράσματα για το αν τελικά τα υλικά είναι αυτά που έπρεπε ή αν έχουν ξεφύγει από τις αρχικές προβλέψεις. Κι αυτό γιατί δεν αρκεί συνήθως να παρατηρηθεί η δομή σε μια φωτογραφία και να βγει συμπέρασμα για το τι είναι αυτό που φαίνεται. Πρέπει η διαπίστωση να συνοδεύεται και από αριθμούς, οι οποίοι αριθμοί να δείχνουν με ακρίβεια την ποσότητα κάθε φάσης σε σχέση βέβαια πάντα με το σύνολο του υλικού, εκτός και αν η συγκεκριμένη φάση βρίσκεται σε τόσο συντριπτική πλειοψηφία στη δομή που παρατηρείται, ώστε να είναι σίγουρο ότι ανήκει στην κατηγορία χαλύβων που αναμένεται, οπότε και είναι περιττή η εφαρμογή της μεθόδου. Αν π.χ. παρατηρείται ωστενιτική δομή στο 99% της δομής και παρουσιάζεται και ελάχιστη φερριτική δομή τότε γίνεται και απλά κοιτώντας τη φωτογραφία με το μάτι να βγει συμπέρασμα ότι όντως κυριαρχεί ωστενιτική δομή, και ανάλογα με το ποσοστό του φερρίτη να κρίνεται αν ο χάλυβας είναι διπλός.

Η μέθοδος στηρίζεται στην παρουσία ενός πλέγματος που αποτελείται από σημεία, τα οποία ισαπέχουν μεταξύ τους. Τοποθετώντας αυτό το πλέγμα πάνω σε κάθε φωτογραφία από μια δομή ενός χάλυβα μετρούνται πόσα σημεία πέφτουν πάνω σε κάθε φάση. Μετρώντας λοιπόν αυτά τα σημεία και διαιρώντας τα με το σύνολο των σημείων παρουσιάζεται ως αποτέλεσμα το ποσοστό της φάσης που μετρήθηκε επί του συνόλου. Επαναλαμβάνεται η διαδικασία κι άλλες φορές για σιγουριά της εγκυρότητας του αποτελέσματος.

+	-	+	+	+
+	+	+	+	-
-	+	+	+	+
-	+	+	+	-
-	+	+	-	+

σχ. 2.3 σχηματική απεικόνιση
5x5 σημείων σε πλέγμα

Είναι εμφανές ότι η μέθοδος αυτή στηρίζεται και στη στατιστική, καθώς η διαδικασία επαναλαμβάνεται και από τους αριθμούς που διεξάγονται βγαίνει ο μέσος όρος για το ποσοστό της φάσης που βρέθηκε. Βρίσκονται και αποκλίσεις από τη μέση τιμή, κάτι που δείχνει ότι πράγματι η διαδικασία έχει σχέση με τη στατιστική. Αναφέρεται κιόλας ότι κάθε φορά που εφαρμόζεται η μέθοδος, θα πρέπει απ' τη μια μεριά να μελετάται ένα πιο μακρινό μέρος από την προηγούμενη φωτογραφία που τραβήχτηκε, ώστε να είναι σίγουρα σωστό το αποτέλεσμα, και απ' την άλλη μεριά να υπάρχει σε όλες τις φωτογραφίες που τραβιούνται και εφαρμόζεται η μέθοδος, η ίδια μεγέθυνση, για σίγουρα σωστά αποτελέσματα. Έτσι εξηγείται και το γεγονός ότι τραβήχτηκαν περισσότερες φωτογραφίες σε ορισμένες συγκεκριμένες μεγεθύνσεις, ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος πολλές φορές και σε διαφορετικά σημεία, για να εξασφαλιστεί η σιγουριά των αποτελεσμάτων. Άλλωστε παρατηρείται ότι μόνο μια είναι η κατάλληλη μεγέθυνση για την

οποία μπορεί να εφαρμοστεί η μέθοδος σε κάθε χάλυβα, γιατί μόνο με αυτή τη μεγέθυνση φαίνονται όλες οι φάσεις καθαρότερα και ευκρινέστερα από κάθε άλλη.

Επίσης, η μέθοδος χρησιμοποιεί την κάναβη με 5x5 σημεία στο πλέγμα της, όταν αναμένεται να μετρηθεί κάποια φάση σε ποσοστό της τάξης των 10 – 20%. Όταν το ποσοστό της αναμενόμενης φάσης μικραίνει σε λιγότερο του 10% τότε γίνεται να χρησιμοποιηθεί πλέγμα με περισσότερα σημεία, για σιγουριά ότι τα σημεία θα μετρήσουν και λεπτομερείς φάσεις που τυχόν αγνοούνται όταν το πλέγμα έχει λίγα σημεία.

Η μέθοδος εύρεσης ποσοστού φάσεων σε ένα κράμα που αναφέρθηκε δεν είναι η μοναδική. Υπάρχουν και άλλες ακόμη. Μέχρι και σε υπολογιστή έχει αναπτυχθεί λογισμικό που μπορεί να βρει τα ποσοστά των φάσεων που επικρατούν σε μια δομή. Ωστόσο χρησιμοποιήθηκε αυτή η μέθοδος που περιγράφηκε, και η οποία δίνει πολύ καλά αποτελέσματα και με σεβαστή ακρίβεια.

2.4 ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Με τη διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης γίνεται εκτός από την εύρεση της σκληρότητας, να διεξαχθούν συμπεράσματα για τα υλικά. Από το στάδιο της μεταλλογραφίας των υλικών, είναι δυνατόν να δημιουργηθεί ήδη μια εικόνα για τα δοκίμια που μελετήθηκαν. Με τη μικροσκληρομέτρηση η εικόνα αυτή βελτιώνεται. Αν π.χ. κατά τη μεταλλογραφία συμπεραίνεται ότι μια δομή είναι φερριτική, και με το στάδιο της εφαρμογής της μεθόδου εύρεσης ποσοστών φάσεων βρεθούν συγκεκριμένα ποσοστά, τότε από πίνακες φαίνεται πόση σκληρότητα αναμένεται περίπου να εμφανισθεί. Η μικροσκληρομέτρηση είναι αυτή που έρχεται να δείξει αν πράγματι η τιμές

που φαίνονται σε πίνακες συμπίπτουν με τις πραγματικές των δοκιμίων, που θα δείχνει ότι πράγματι η δομή είναι φερριτική. Αν όμως οι τιμές διαφέρουν, θα συμπεραίνεται ότι δεν θεωρήθηκε εξ αρχής η σωστή δομή. Ίσως π.χ. να θεωρήθηκαν σκούρα σημεία στη δομή ως εγκλείσματα, ενώ στην πραγματικότητα είναι σ-φάση, κάτι που μπορεί αν αυτά τα σκούρα σημεία κατέχουν πολύ μεγάλο ποσοστό στη δομή, να οδηγήσει σε πολύ μεγάλα λάθη και εσφαλμένα συμπεράσματα. Αν βέβαια το ποσοστό των σημείων αυτών είναι πολύ μικρό, τότε δεν θα αποβεί μοιραία η λανθασμένη εκτίμηση, και ίσως δεν θα χρειάζεται και να δοθεί και πολύ μεγάλη έκταση.

Το μικροσκληρόμετρο (το οποίο είναι τύπου Vickers), αποτελείται κυρίως από ένα μικροσκόπιο, με το οποίο βρίσκεται η περιοχή προς μελέτη, μια ακίδα, με την οποία γίνεται η μικροσκληρομέτρηση, ένα computer, με το οποίο γίνονται υπολογισμοί.

Η διαδικασία στηρίζεται στα εξής βήματα: Αρχικά ρυθμίζεται η παροχή του φωτός. Στη συνέχεια καθορίζεται η ακριβής λειτουργία που θα κάνει το μικροσκληρόμετρο. Θέτοντας ως λειτουργία την άσκηση φορτίου, επιλέχτηκε η άσκηση φορτίου ίσου με 200 gr, για 15 sec. Με τη βοήθεια των φακών επιλέγεται και η περιοχή, η οποία πρόκειται να μελετηθεί. Ακολουθεί η τοποθέτηση της ειδικής ακίδας για να ασκήσει το φορτίο και η μέτρηση του μεγέθους του ρομβοειδούς σχήματος που η ακίδα αφήνει, για να συμπληρωθεί η διαδικασία. Με τη μέτρηση αυτή του ρόμβου, συμπεραίνεται η σκληρότητα του υλικού.

Τα αποτελέσματα της μικροσκληρομέτρησης μπορούν να εκτυπωθούν, καθώς στο μικροσκληρόμετρο υπάρχει εγκατεστημένος και ένας μηχανισμός εκτύπωσης. Αναφέρεται ότι για σωστή και πραγματική εικόνα των μεγεθών, η διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης επαναλήφθηκε 3 φορές σε διαφορετικά πάντα σημεία του ίδιου δοκιμίου ώστε παίρνοντας το μέσο όρο των τιμών σκληρότητας να βγαίνει τελικά μια τιμή που θεωρείται η αντιπροσωπευτική. Όπως είναι άμεσα αντιληπτό, είναι δυνατό σε μερικές περιοχές να αλλάζει η σκληρότητα λόγω διαφορετικής δομής ή λόγω λανθασμένης μέτρησης. Από σκληρομέτρηση σε σκληρομέτρηση επίσης, υπάρχει μεγάλη απόσταση μεταξύ

των σημείων που εφαρμόζεται το φορτίο της ακίδας, γιατί καθώς το φορτίο παραμορφώνει την επιφάνεια του δοκιμίου, η επιφάνεια σκληραίνει εξαιτίας του φαινομένου της εργοσκληήρυνσης, ώστε τυχόν μέτρηση σε μέρος της περιοχής αυτής να δείχνει σκληρότητα που δεν αντιπροσωπεύει αυτή του υλικού. Από σημείο σε σημείο διαφορετικής σκληρομέτρησης σημειώνεται απόσταση ίση με τουλάχιστον 5 φορές τη διαγώνιο του ρόμβου που δημιουργήθηκε κατά τη διάρκεια της διαδικασίας.

Με τη μικροσκληρομέτρηση αναπτύχθηκε μια κατάσταση για τους 5 χάλυβες που μετρήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκε η μικροσκληρομέτρηση σε 3 σημεία για κάθε δοκίμιο. Έχοντας κιάλας 3 δοκίμια για κάθε χάλυβα, τελικά συγκεντρώθηκαν 9 τιμές σκληρότητας για κάθε είδος ανοξείδωτου χάλυβα.

2.5 ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Με τη διαδικασία της σκληρομέτρησης μετριέται πάλι σκληρότητα, όπως και με τη διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης. Εδώ η διαφορά είναι ότι μετριέται σκληρότητα σε επίπεδο περισσότερο μακρόκοσμου, ενώ η μικροσκληρομέτρηση αναφέρεται σε μικρόκοσμο. Γι' αυτόν τον λόγο και το φορτίο που ασκείται στην πρώτη περίπτωση είναι πολύ μεγαλύτερο από την δεύτερη, επηρεάζοντας έτσι και μεγαλύτερη περιοχή κόκκων και φάσεων, και δείχνοντας τελικά με αυτόν τον τρόπο μια τιμή σκληρότητας που αντιπροσωπεύει μια ευρύτερη περιοχή σε σχέση με αυτή της μικροσκληρομέτρησης.

Ανάλογα με την κλίμακα μέτρησης που χρησιμοποιείται, η HRB (Hardness Rockwell B) ή η HRC (Hardness Rockwell C), τοποθετούνται τα ανάλογα αντίβαρα στο σκληρόμετρο. Τα αντίβαρα έχουν σκοπό τη θέση

φορτίου στο δοκίμιο ίση με 100kg στην περίπτωση της κλίμακας Rockwell B και 150kg στην περίπτωση της κλίμακας Rockwell C. Επίσης, ανάλογα με την κλίμακα πάλι από τις δύο που θα χρησιμοποιούνται, πρέπει να επιλεγθεί η ακίδα με την οποία θα γίνει η πρόσδωση του φορτίου. Έτσι, διαλέγεται ακίδα από διαμαντένιο κώνο στην περίπτωση της κλίμακας Rockwell C, και από σφαιρίδιο σκληρυνμένου χάλυβα στην περίπτωση της κλίμακας Rockwell B. Χρησιμοποιήθηκε σφαιρίδιο από σκληρυνμένο χάλυβα για τον εντυπωτή, καθώς προτιμήθηκε η κλίμακα Rockwell B. Σημειώνεται κιόλας ότι οι δύο κλίμακες είναι αλληλοσυμπληρούμενες, δηλαδή όταν μετριέται σκληρότητα μεγάλη με την κλίμακα Rockwell B, τότε δεν ενδείκνυται πλέον να συνεχίζεται η διαδικασία με την ίδια κλίμακα, αλλά με την κλίμακα Rockwell C. Η δεύτερη δηλαδή είναι για μεγαλύτερες σκληρότητες.

Αφού ετοιμαστεί ο εντυπωτής για τη διαδικασία της σκληρομέτρησης, ακολουθεί η διαδικασία της μέτρησης, στην οποία ασκήθηκε φορτίο 100kg (καθώς η μέτρηση έγινε σε κλίμακα Rockwell B).

Από πίνακες έγινε σύγκριση με τα αποτελέσματα της μικροσκληρομέτρησης που προηγήθηκε. Καταρτίστηκε μια κατάσταση, στην οποία αναφέρεται κάθε είδος χάλυβα και οι μετρήσεις που πάρθηκαν για κάθε έναν. Έχοντας επίσης 3 δοκίμια για κάθε χάλυβα, ή αλλιώς 3 φουρνιές για κάθε είδος χάλυβα, δημιουργήθηκε πίνακας με συμπεριλαμβανόμενες 45 τιμές σκληρότητας.

2.6 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ

Η διαδικασία της ραδιογραφίας των υλικών αποτελεί κάτι ενδιαφέρον αλλά ίσως και επικίνδυνο, αν δεν ακολουθηθούν κατά τη διάρκειά της μέτρα ασφαλείας. Η ραδιογραφία εφαρμόζεται για να παρατηρηθούν τυχόν ατέλειες

στο υλικό, ασυνέχειες, κενά από συστολές που συνέβησαν κατά τη πτώση της θερμοκρασίας από τη στερεοποίηση του υλικού, πόροι λόγω κατακράτησης αερίων μέσα στο υλικό, ρωγμές, εγκλείσματα. Η ύπαρξη αυτών των στοιχείων ή ορισμένων από αυτά και ο βαθμός ύπαρξης αυτών, είναι κάτι που δείχνει πόσο καλό είναι το δοκίμιο που ραδιογραφήθηκε και αν είναι δυνατή η συνέχεια στις διαδικασίες των τεστ εφελκυσμού. Γιατί πράγματι μερικές φορές το δοκίμιο αποδεικνύεται πως βρίσκεται σε κατάσταση που απαγορεύεται η περαιτέρω συνέχιση κατεργασιών σ' αυτό, για το λόγο ότι αυτό θα υποστεί θραύση.

Η διαδικασία ξεκινά με την τοποθέτηση ταυτότητας στα δοκίμια. Έχοντας σκοπό τη ραδιογράφιση πολλών δοκιμίων, πρέπει οπωσδήποτε να δημιουργηθούν ταυτότητες πάνω στα δοκίμια για να μην μπερδευτούν αργότερα οι πλάκες που θα έχουν φτιαχτεί με τις ραδιογραφίες. Πάνω στα δοκίμια του χυτού ανοξειδώτου χάλυβα που ήταν διαθέσιμα προς ραδιογράφιση, γράφτηκαν με μαρκαδόρο ο αριθμός του χάλυβα και ο αριθμός του δοκιμίου. Κάθε χάλυβας δηλαδή είχε τον δικό του αριθμό για εύκολη αναγνώριση. Έτσι, τα δοκίμια είχαν όλα από δυο αριθμούς πάνω τους. Κάθε είδος χάλυβα τοποθετήθηκε σε διαφορετική βάση, φτιαγμένη από χαρτόνι, και τα δοκίμια του κάθε χάλυβα ενώθηκαν με το χαρτόνι με τη βοήθεια κολλητικής ταινίας. Έτσι, παρουσιάστηκαν τελικά 5 διαφορετικές βάσεις φτιαγμένες από χαρτόνι και πάνω τους υπήρχαν τα δοκίμια. Κάθε βάση τοποθετήθηκε μετά στο ειδικό μέρος που εφαρμόζεται η ραδιογραφία, μέσα σε ειδικό θάλαμο. Πάνω στον πάγκο τοποθετήθηκε το υλικό προς ραδιογράφιση, και κάτω από το υλικό, τοποθετήθηκε το φιλμ. Έτσι, η ακτινοβολία έπεφτε πάνω στο υλικό, το διαπερνούσε και έπεφτε πάνω στο φιλμ, αποτυπώνοντας έτσι τα χαρακτηριστικά του υλικού πάνω στο φιλμ. Αυτό το φιλμ είναι επενδυμένο με προστατευτικό εξώφυλλο, για να μην μπορεί να έρθει σε επαφή με φως και έτσι καταστραφεί.

Αναφέρεται επίσης ότι για να είναι δυνατή η αναγνώριση των δοκιμίων στις πλάκες ραδιογραφιών, δεν αρκεί να γραφτούν με μαρκαδόρο πάνω στα χαρτόνια και στα δοκίμια. Έτσι, τοποθετήθηκαν πάνω από το φιλμ και πάνω

από τη χαρτονένια βάση αριθμοί φτιαγμένοι από πολυμερές υλικό. Οι αριθμοί αυτοί ήταν πρώτα ο αριθμός που αντιπροσωπεύει κάθε χάλυβας, και κατά δεύτερον ο αριθμός του πρώτου δοκιμίου και του τελευταίου, που τοποθετήθηκε δίπλα στο πρώτο και τελευταίο δοκίμιο για να ξεχωρίσουν πάνω στην πλάκα το πρώτο και το τελευταίο δοκίμιο στη σειρά. Επίσης, οι αριθμοί αυτοί τοποθετήθηκαν πάνω από πλακίδια, γιατί καθώς πέφτει η ακτινοβολία, στο φιλμ θα αποτυπωνόταν μια μουντζούρα και όχι ο αριθμός, λόγω της μεγάλης ποσότητας της ακτινοβολίας. Με τη βοήθεια των πλακιδίων, αυτή η μεγάλη ποσότητα ακτινοβολίας κάπως ελαφραίνει και φιλτράρεται, κάνοντας ορατούς τους αριθμούς στις πλάκες - φωτογραφίες που θα δημιουργηθούν. Στο φιλμ επίσης, εκτός από τον αριθμό της φουρνιάς (το είδος του χάλυβα) και την ένδειξη της ποσότητας των δοκιμίων και με δεδομένη τη σειρά αυτών, τοποθετήθηκε και η προτυποποίηση. Αυτή αποτελείται από λεπτά συρματάκια, τα οποία όταν φαίνονται στην τελική πλάκα - φωτογραφία, αποδεικνύουν την ύπαρξη και υπακοή στην προτυποποίηση και στην ύπαρξη ποιότητας στην ραδιογραφία και είναι αλλιώς ο δείκτης ποιότητας του ραδιογραφήματος.

Τα μηχανήματα που χειρίζονται την ακτινοβολία βρίσκονται εκτός θαλάμου. Σε αυτά ρυθμίστηκε η τάση, η ένταση, ο χρόνος διάρκειας, η ακτινοβολία. Κατά τη διάρκεια των ραδιογραφιών ρυθμίστηκε η τάση σε 140kVolt, η ένταση σε 4mAmpere, ο χρόνος σε 3min. Η τάση δείχνει τη διείσδυση της ακτινοβολίας στο υλικό, ενώ το γινόμενο της έντασης με το χρόνο δίνει μια εικόνα για την ποσότητα της διείσδυσης. Οι ακριβείς τιμές των τάσεων, εντάσεων, χρόνων μεταβάλλονται από υλικό σε υλικό και υπάρχουν σε πίνακες. Η συσκευή ρύθμισης των μεταβλητών έχει και ένα κλειδί, χωρίς το οποίο δεν είναι δυνατή η λειτουργία του. Αυτό ισχύει για λόγους ασφαλείας.

Σημαντικό είναι ότι το φιλμ πρέπει να είναι ορισμένης και συγκεκριμένης πυκνότητας, που φαίνεται από το πόσο σκούρο είναι ή διαφανές και ανοικτόχρωμο. Έτσι, κατά ASME ακολουθήθηκε πυκνότητα 1.5 ~ 4. Η πυκνότητα εκφράζει ποιοτικά τη σχέση της προσπίπτουσας στο φιλμ ακτινοβολίας, με την ακτινοβολία που τελικά εξέρχεται του φιλμ.

Μια παρατήρηση σχετικά με τις ραδιογραφίες που έγιναν στους χυτούς ανοξειδωτους χάλυβες, είναι ότι ο χάλυβας με αριθμό 3, αφέθηκε παραπάνω από τους άλλους χρονικά σε ακτινοβολία, λόγω μεγαλύτερου πάχους στα κυλινδρικά δοκίμιά του, και επίσης η ραδιογραφία του χωρίστηκε σε δύο διαφορετικές, γιατί δεν ήταν αρκετό το φιλμ.

Περνώντας στο στάδιο της εμφάνισης των πλακών - φωτογραφιών, πρώτα έχοντας κλείσει κάθε παροχή φωτός στο δωμάτιο εμφάνισης, και αφήνοντας μόνο ερυθρό, μικρό φως ανοικτό, βγαίνει το κάλυμμα του φιλμ, το οποίο αποτελείται εκτός από το ειδικό εξώφυλλο και από δύο επιμέρους χάρτινα προστατευτικά για σίγουρη ασφάλεια κατά της εισαγωγής φωτός μέσα στο φιλμ. Περνιέται το φιλμ μέσα από ειδικά μεταλλικά ελάσματα για να κρατηθεί και τοποθετείται μέσα σε ειδικό υγρό εμφάνισης για περίπου 3 min. Στη συνέχεια ξεπλένεται με νερό και μπαίνει στο υγρό στερέωσης για περίπου 10 min. Μετά ξαναμπαίνει στο νερό για να ξεπλυθεί καλά για περίπου 20 min και τελικά εμφανίζονται οι φωτογραφικές πλάκες των δοκιμίων που πρόκειται να μελετηθούν. Αυτές οι πλάκες ήταν σε σύνολο 6, μια για κάθε χάλυβα, εκτός από τον 3^ο, για τον οποίο χρησιμοποιήθηκαν 2 φιλμ.

2.7 ΔΟΚΙΜΕΣ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Οι δοκιμές εφεκκυσμού είναι μια διαδικασία με την οποία διεξάγονται πολλά συμπεράσματα για την κατάσταση των υλικών, και αποκτιέται μια εικόνα σφαιρική, αλλά και σχεδόν ολοκληρωμένη για τις ιδιότητες των υλικών που εξετάζονται.

Δημιουργήθηκαν όσο πιο πολλά δοκίμια, (ακολουθώντας το DIN 50125) από τους χυτούς ανοξειδωτους χάλυβες που χυτεύτηκαν, ώστε να εκτελεστούν όσο πιο πολλά πειράματα εφεκκυσμού (κατά DIN 50145) γίνεται, για δημιουργία πραγματικής εικόνας της αληθινής κατάστασης των χαλύβων.

Δημιουργήθηκαν κυλινδρικά δοκίμια με σπείρωμα στις άκρες για να βιδωθούν στη συνέχεια σε ειδικές βάσεις που θα πιαστούν στη μηχανή εφελκυσμού για να ασκηθεί το εφελκυστικό φορτίο. Τα περισσότερα από τα δοκίμια ήταν διαμέτρου $\Phi 12$, αλλά μερικά ήταν και $\Phi 10$. Επίσης, τελικά επειδή τα δοκίμια ήταν σχετικά μικρά, βιδώθηκαν σε δεύτερες κυλινδρικές βάσεις, οι οποίες με τη σειρά τους βιδώθηκαν στη μηχανή εφελκυσμού.

Η μέτρηση της επιμήκυνσης έγινε κατά τον ακόλουθο τρόπο:

Σχεδιάστηκε από ένα σημείο πάνω στις δύο αρχές του κυλινδρικού δοκιμίου (εκεί δηλαδή που τελειώνει το σπείρωμα και αρχίζει το καθαρά λείο κυλινδρικό μέρος του δοκιμίου). Από εκεί, μετρήθηκε και χαράχτηκε με μαρκαδόρο απόσταση $L = 5 d_0$. Αυτή η απόσταση ήταν για τα περισσότερα δοκίμια $5 d_0 = 5 \cdot 12 = 60 \text{ mm}$. Έτσι, μετά από κάθε πείραμα, παίρνονταν τα δύο σπασμένα μέρη του δοκιμίου, ενώνονταν και μετρούνταν πόσο διαφορετικό είναι το τμήμα μήκους του δοκιμίου από τα 60 mm, με τη βοήθεια των σημείων που χαράχτηκαν με το μαρκαδόρο. Έτσι, διαιρώντας τη διαφορά τους με το μήκος (που ήταν τις περισσότερες φορές όπως προαναφέρθηκε 60 mm) διεξαγόταν η επιμήκυνση και από εκεί και η % επιμήκυνση, για να είναι δυνατή στη συνέχεια η σύγκριση με πίνακες και η διεξαγωγή συμπερασμάτων για τους χάλυβες.

3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ

Για μια καλή μελέτη, παραθέτονται τα αποτελέσματα των πειραματικών διαδικασιών κατηγοριοποιημένα ανά κάθε πειραματική διαδικασία. Υπενθυμίζεται ότι οι πειραματικές διαδικασίες που πήραν μέρος στην παρούσα διπλωματική εργασία είναι η χύτευση των πέντε ανοξείδωτων χαλύβων, η μεταλλογραφική ανάλυση δοκιμίων σε κατάσταση as cast, η εύρεση ποσοστού φάσεων στα δοκίμια αυτά, η μικροσκληρομέτρηση και σκληρομέτρηση αυτών. Επίσης, λόγω μεγάλης σκληρότητας, οι χάλυβες ακολούθησαν θερμική κατεργασία, κατά την οποία θερμάνθηκαν στους 1000 °C. Έτσι, ενώ η μεταλλογραφική ανάλυση, η εύρεση ποσοστού φάσεων, η μικροσκληρομέτρηση και σκληρομέτρηση έγινε σε δοκίμια κατάστασης as cast, η ραδιογραφία και το πείραμα εφελκυσμού συνέβησαν σε θερμικώς κατεργασμένα δοκίμια, καθώς οι διαδικασίες αυτές πήραν μέρος στην EBETAM A.E.. Γι' αυτό το λόγο πάρθηκαν από αυτά τα δοκίμια που κατεργάστηκαν θερμικά, δείγματα και συνέχισε δεύτερη μεταλλογραφική ανάλυση, που περιγράφεται στο κεφάλαιο 3.8, για να διεξαχθούν συμπεράσματα σχετικά με αυτή την θερμική κατεργασία.

3.1 ΧΥΤΕΥΣΗ

Για τη χύτευση δημιουργήθηκε κατάσταση με τα υλικά – στοιχεία που χρησιμοποιήθηκαν, αλλά και τις αναλογίες αυτών, όπως και τις προδιαγραφές τους.

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
1								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
100kg								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
GX40CrNiSi27-4								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap	58	0,11	0,1	0,4	-	-	-	-
FeCr	36	0,36	-				25	
FeMn	1,5		-	1,05				
FeSi	1,5		0,9					
Ni	3,5							3,5
Σύνολα		0,47	1,0	1,45	-	-	25	3,5
Προδιαγραφή υλικού		0,3	1,0	1,5	-	-	25	3,5
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 3.1.1 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιας χύτευσης για το χάλυβα GX40CrNiSi27-4

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
2								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
100kg								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
GX40NiCrSi35-25								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap	25	0,05	0,1	0,15	-	-	-	-
FeCr	36	0,25	-				25	
FeMn	1,5		-	1,05				
FeSi	1,5		0,9					
Ni	36							36
Σύνολα		0,3	1,0	1,2	-	-	25	36
Προδιαγραφή υλικού		0,3	1,0	1,5	-	-	24	36
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 3.1.2 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιας χύτευσης για το χάλυβα GX40NiCrSi35-25

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
3								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
100kg								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
X12Cr13								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap	82	0,09	0,2	0,3	-	-	-	-
FeCr	18	0,18	-				12,6	
FeMn	1		0,6					
FeSi	1			0,6				
Σύνολα		0,27	0,8	0,9	-	-	12,6	
Προδιαγραφή υλικού		0,08	1,0	1,0	-	-	12	
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 3.1.3 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιας χύτευσης για το χάλυβα X12Cr13

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
4								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
100kg								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
X20CrNi17-2								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap	74	-	-	-	-	-	-	-
FeCr	22	0,23	-				15,4	
FeMn	1,5		-	1,05				
FeSi	1,5		1,05					
Ni	1,5							1,5
Σύνολα		0,23	1,05	1,05	-	-	15,4	1,5
Προδιαγραφή υλικού		0,08	1,0	1,5	-	-	15,5	1,5
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 3.1.4 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιας χύτευσης για το χάλυβα X20CrNi17-2

ΑΡΙΘΜΟΣ ΧΥΤΗΡΙΟΥ								
5								
ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΦΟΥΡΝΙΑΣ								
100kg								
ΟΝΟΜΑΣΙΑ ΥΛΙΚΟΥ								
GX40CrNiSi25-20								
Α' ύλη	Ποσότητα	Περιεκτικότητα						
		C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni
Scrap	40	0,08	0,12	0,28	-	-	-	-
FeCr	36	0,37	-				25	
FeMn	1,5		-	1,05				
FeSi	1,5		0,9					
Ni	21							21
Σύνολα		0,45	1,02	1,33	-	-	25	21
Προδιαγραφή υλικού		0,3	1,0	1,5	-	-	26	21
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ								

Σχ. 3.1.5 Κατάσταση υπολογισμού φουρνιάς χύτευσης για το χάλυβα GX40CrNiSi25-20

Η γραμμή που αναφέρεται στην Προδιαγραφή του υλικού είναι αποτέλεσμα της εργασίας στο Thermocalc (εργασία που έγινε σε προηγούμενη διπλωματική, η οποία έχει προαναφερθεί) και δείχνει την επιζητούμενη ποσότητα κάθε υλικού μέσα στο χυτήριο.

Η ακριβώς επάνω γραμμή από την Προδιαγραφή, η ονομαζόμενη Σύνολα, δείχνει τις ποσότητες των υλικών τελικά μέσα στο χυτήριο. Με

χημικές αναλύσεις επιβεβαιώνονται οι συστάσεις των υλικών. Συνήθως είναι σχεδόν αδύνατη η επίτευξη των ακριβών συστάσεων που θέτονται στην Προδιαγραφή.

Παρακάτω ακολουθούν και χημικές αναλύσεις που πάρθηκαν για επιβεβαίωση ότι είναι σωστές οι αναλογίες υλικών προς χύτευση. Μετά από τις αναλύσεις αυτές και με σιγουριά για την ακρίβεια των συστάσεων, τότε μόνο χυτεύεται το όλο χυτό, καθώς η διαδικασία μέχρι αυτή τη στιγμή έγινε χρησιμοποιώντας μόνο λίγο υλικό για οικονομικούς λόγους.

ΥΛΙΚΟ	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
Προδιαγραφή	0,3	1,0	1,5	-	-	25	3,5	-
GX40CrNiSi27-4	0,37	1,31	1,15	0,033	0,014	23,97	3,75	0,06

Σχ. 3.1.6 Χημική ανάλυση του χάλυβα GX40CrNiSi27-4

ΥΛΙΚΟ	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
προδιαγραφή	0,3	1,0	1,5	-	-	24	36	-
GX40NiCrSi35-25	0,29	1,00	0,84	0,028	0,012	22,08	28,01	0,04

Σχ. 3.1.7 Χημική ανάλυση του χάλυβα GX40NiCrSi35-25

ΥΛΙΚΟ	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
προδιαγραφή	0,08	1,0	1,0	-	-	12	-	-
X12Cr13	0,10	0,85	0,91	0,018	0,006	14,81	4,37	0,03

Σχ. 3.1.8 Χημική ανάλυση του χάλυβα X12Cr13

ΥΛΙΚΟ	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
προδιαγραφή	0,08	1,0	1,5	-	-	15,5	1,5	-
X20CrNi17-2	0,12	0,82	0,85	0,023	0,007	17,14	6,39	0,03

Σχ. 3.1.9 Χημική ανάλυση του χάλυβα X20CrNi17-2

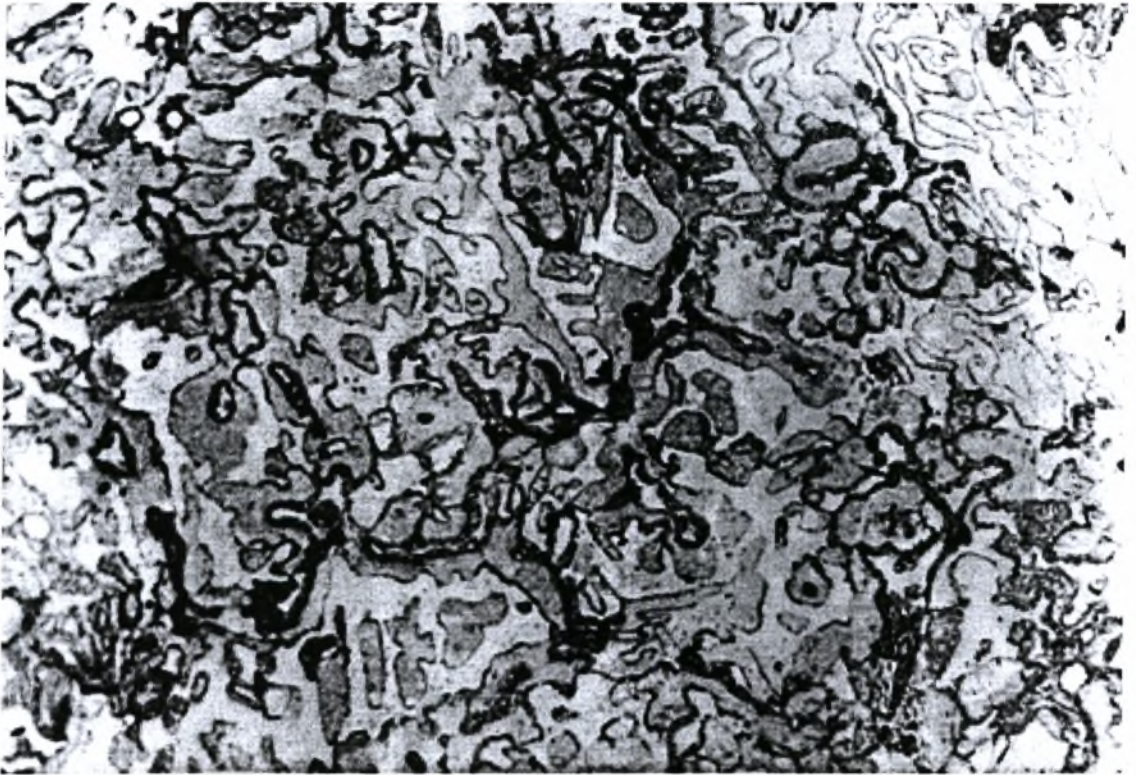
ΥΛΙΚΟ	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
προδιαγραφή	0,3	1,0	1,5	-	-	26	21	-
GX40CrNiSi25 -20	0,39	0,97	0,69	0,025	0,007	20,89	19,19	0,04

Σχ. 3.1.10 Χημική ανάλυση του χάλυβα GX40CrNiSi25-20

3.2 ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΑ

Οι φωτογραφίες που ακολουθούν είναι τρεις, μια από κάθε μεγέθυνση x200, x500, x1000, για κάθε χάλυβα. Φυσικά τραβήχτηκαν φωτογραφίες και με μεγέθυνση x100, αλλά δεν θα υπήρχε κάτι νέο να φανεί με την παράθεση κάποιας τέτοιας μεγέθυνσης. Επίσης, παραθέτονται μόνο λίγες από τις φωτογραφίες που τραβήχτηκαν, αυτές που θεωρήθηκαν πιο αντιπροσωπευτικές.

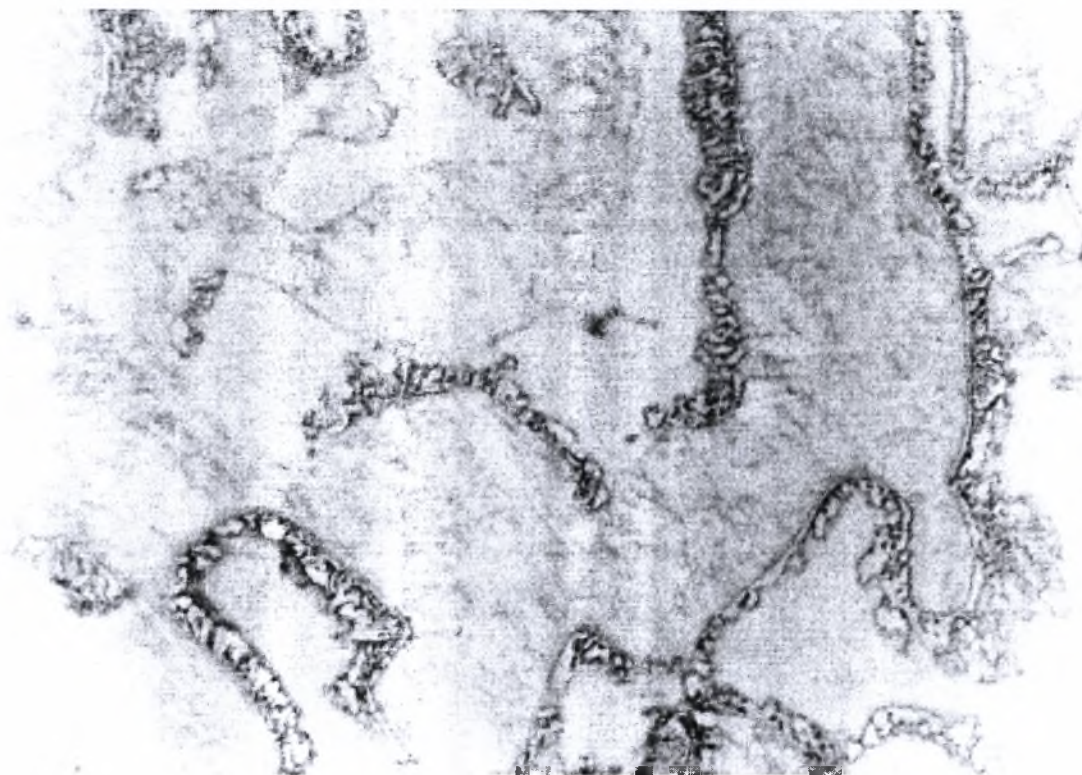
3.2.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4



Σχ. 3.2.1 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x200



Σχ. 3.2.2 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x500

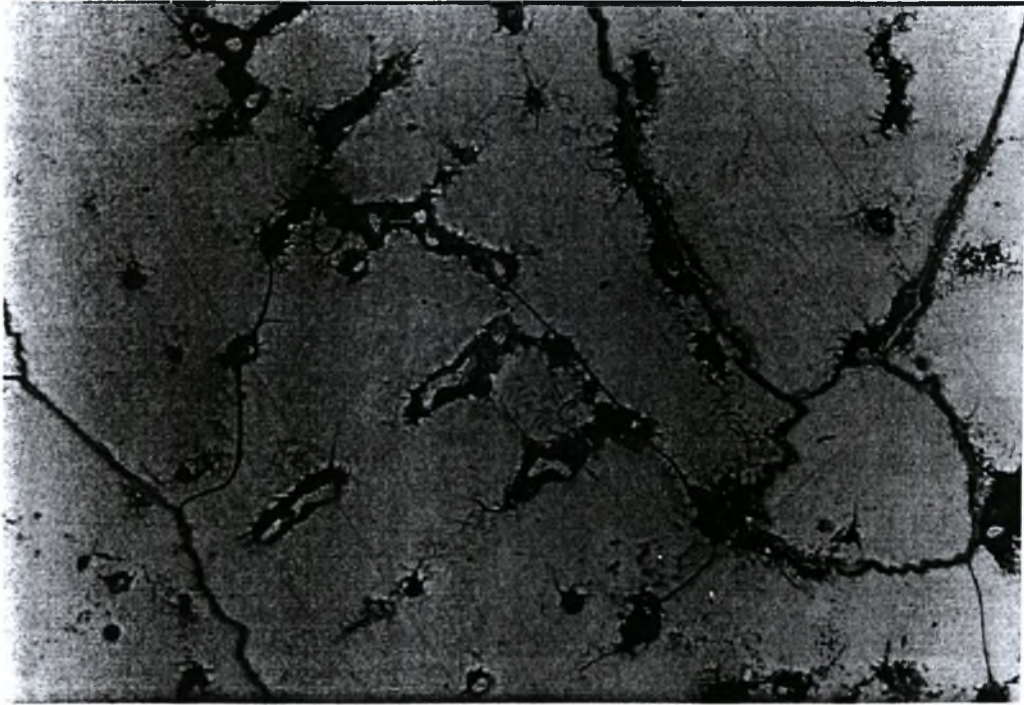


Σχ. 3.2.3 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x1000

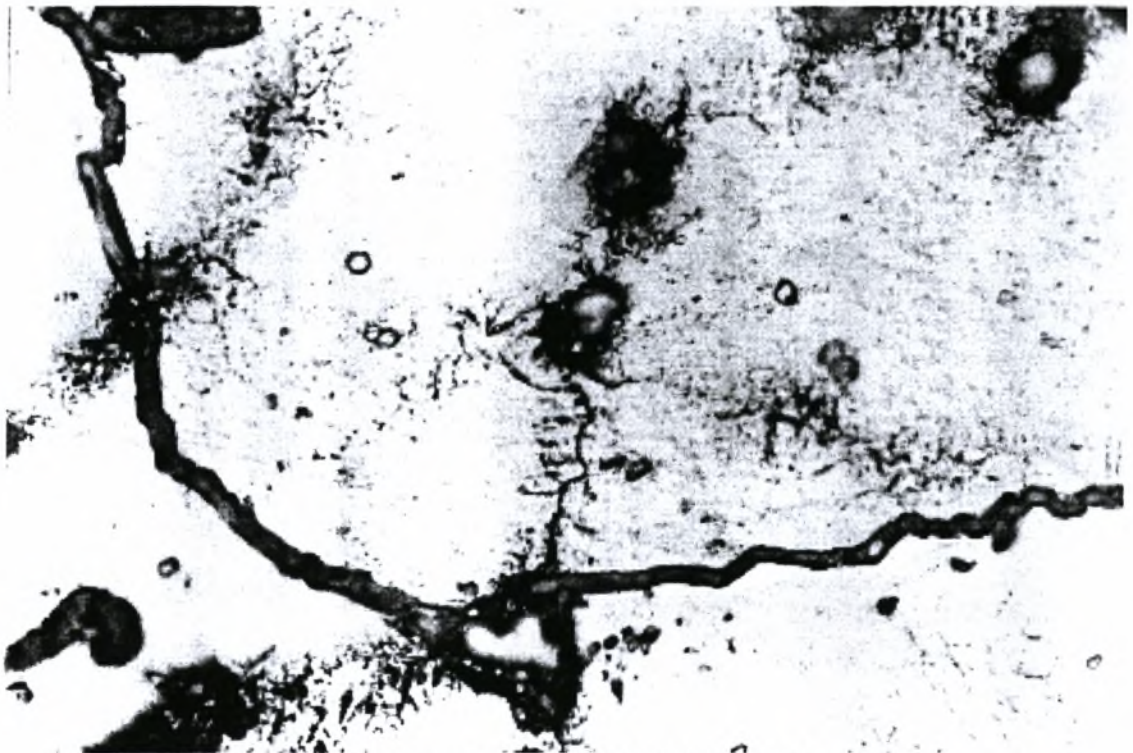
Από τις φωτογραφίες που παραθέτονται, αλλά και από άλλες ακόμη που τραβήχτηκαν, διαπιστώνεται ότι ο χάλυβας GX40CrNiSi27-4 είναι διπλός, περιέχει δηλαδή φερρίτη και ωστενίτη.

Η κύρια φάση που εμφανίζεται σε μεγαλύτερο ποσοστό είναι ο φερρίτης. Ξεχωρίζεται από το βαθύ του χρώμα, σε αντίθεση με τον ωστενίτη που είναι πιο διαυγής και ανοικτόχρωμος. Ο φερρίτης είναι επίσης αυτός που σχηματίζεται πρώτος και κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης περιβάλλει τον ωστενίτη ώστε τελικά να φαίνεται δομή που παρατηρείται. Οι πολύ σκούρες περιοχές είναι καρβίδιο, και πιο συγκεκριμένα ευτηκτικό. Είναι άλλωστε ευδιάκριτη η ευτηκτική δομή, κατά την οποία σχηματίζονται οι γνωστές ραβδώσεις – γραμμώσεις.

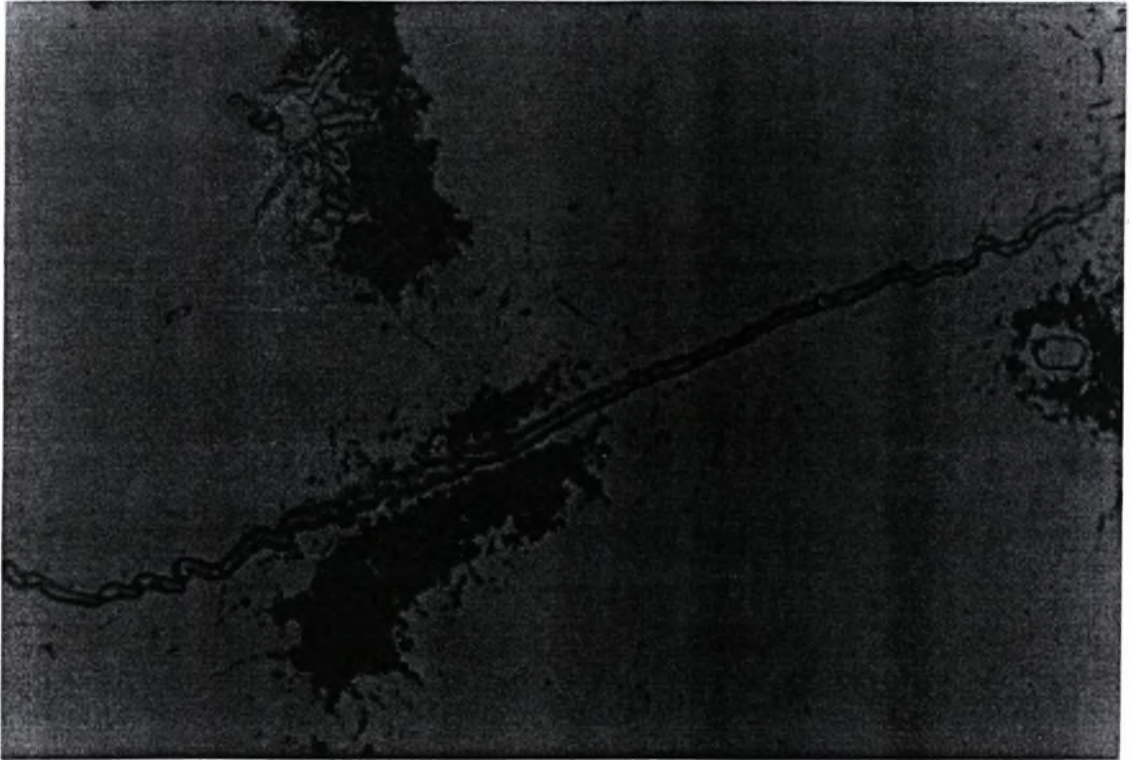
3.2.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25



Σχ. 3.2.4 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x200



Σχ. 3.2.5 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x500

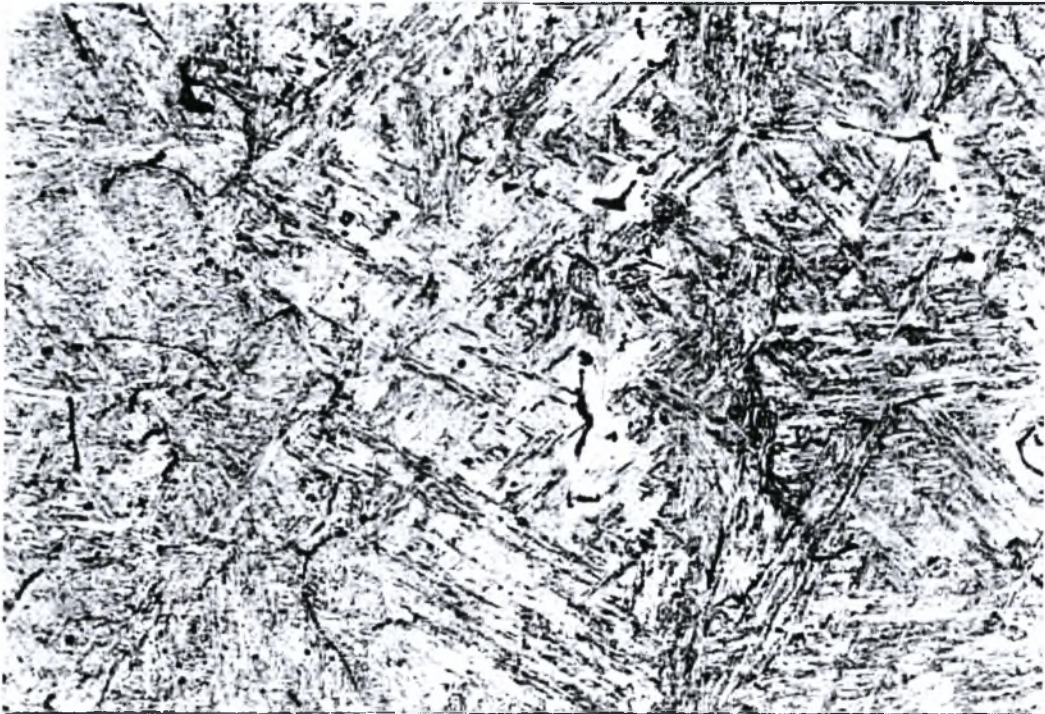


Σχ. 3.2.6 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x1000

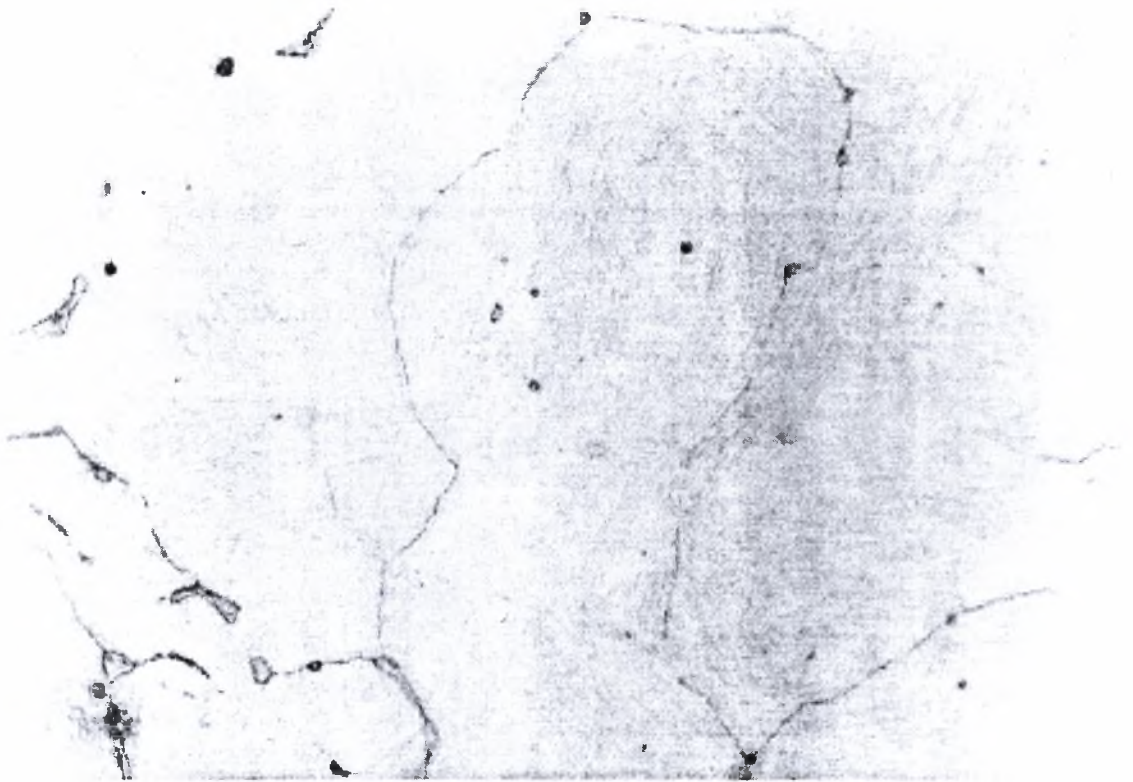
Ο χάλυβας GX40NiCrSi35-25 είναι κατά το συντριπτικό του ποσοστό ωστενίτης. Παρατηρείται και το σχηματιζόμενο δίκτυο καρβιδίων (πιθανότατα $M_{23}C_6$), το οποίο αναπτύσσεται στα όρια των κόκκων. Χαρακτηρίζεται από τα πολύ μικρά κυκλάκια από τα οποία δημιουργείται. Σημειώνονται επίσης και κάποια άλλα σωματίδια εκτός ορίων κόκκων, που είναι συνύπαρξη σ-φάσης και καρβιδίου.

Τα σωματίδια λοιπόν που αναφέρθηκαν και των οποίων η ταυτότητα είναι καρβίδια, σ-φάση ή και τα δυο ταυτόχρονα, φαίνονται πολύ όμοια με αυτά τα σωματίδια που έχουμε και στα όρια κόκκων. Τέλος, μια ακόμη μορφή σωματιδίων, που μοιάζουν με πολύ μικρές βούλες, είναι εγκλείσματα.

3.2.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13



Σχ. 3.2.7 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x200



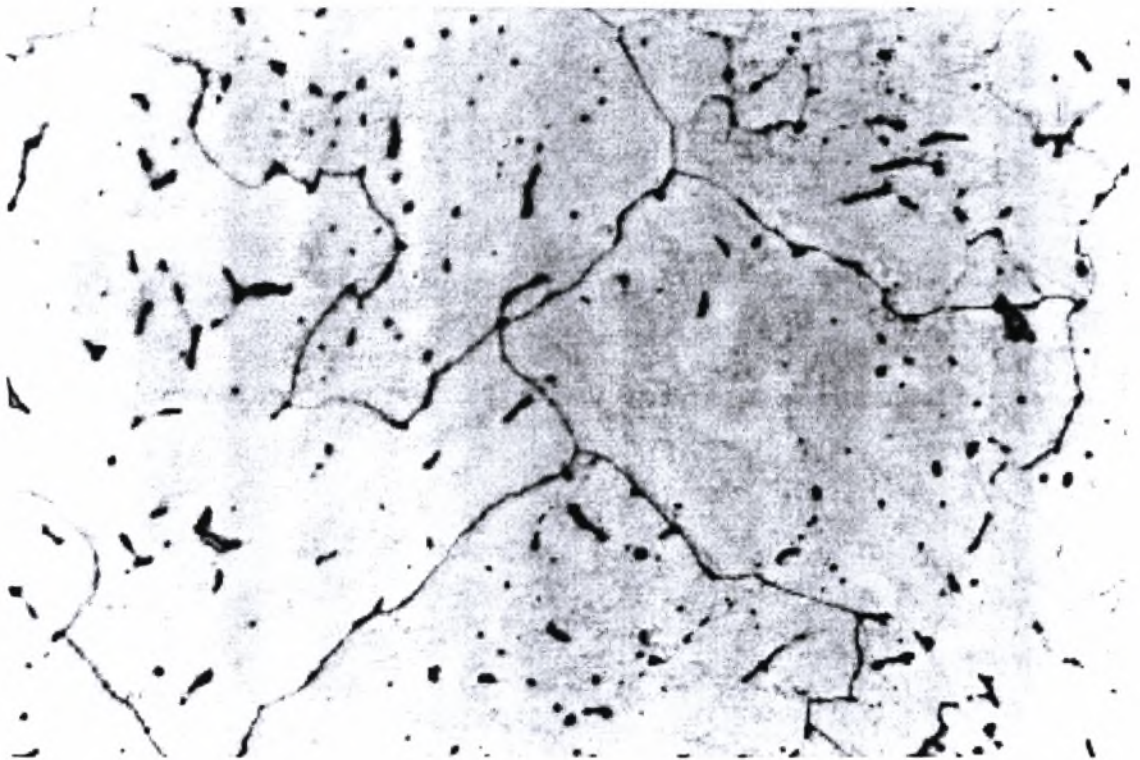
Σχ. 3.2.8 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x500



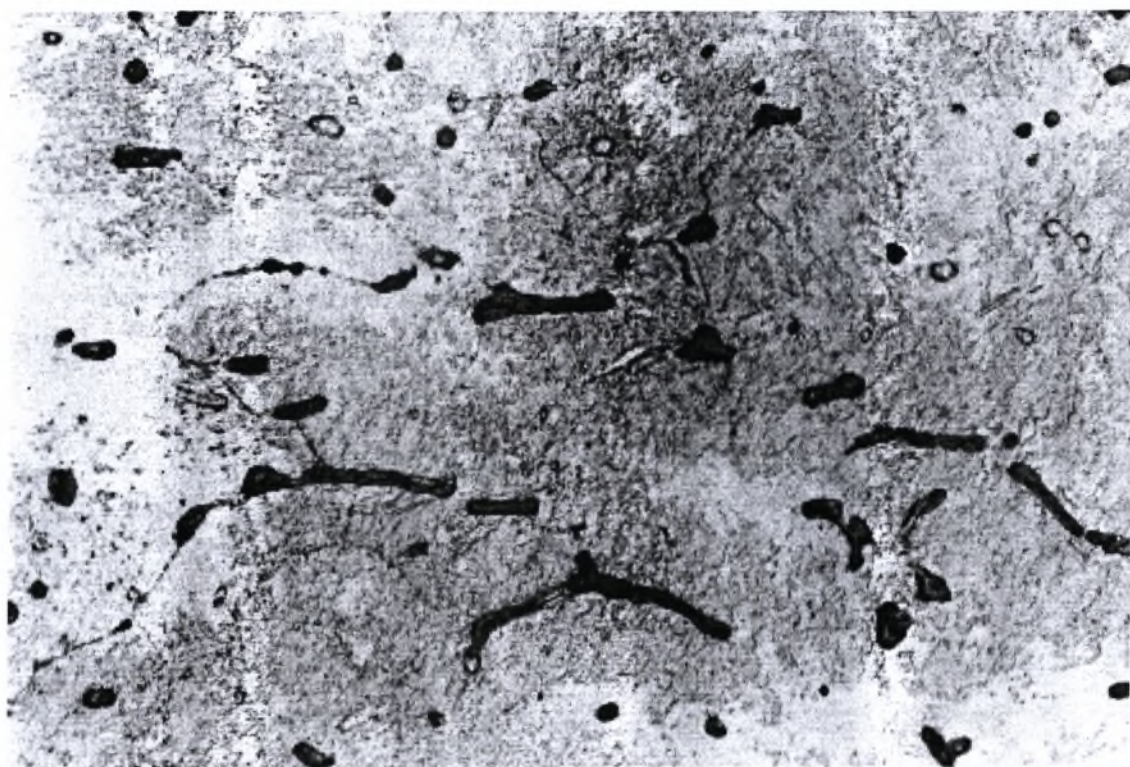
Σχ. 3.2.9 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x1000

Ο χάλυβας X12Cr13 είναι όπως φαίνεται ξεκάθαρα από την χαρακτηριστικότετη δομή του μαρτενσιτικός. Οι σκούρες περιοχές είναι καρβίδια, και οι αραιότερες περιοχές που περιβάλλουν τα καρβίδια είναι φερρίτης. Εμφανίζεται δηλαδή φερριτο-μαρτενσιτική δομή.

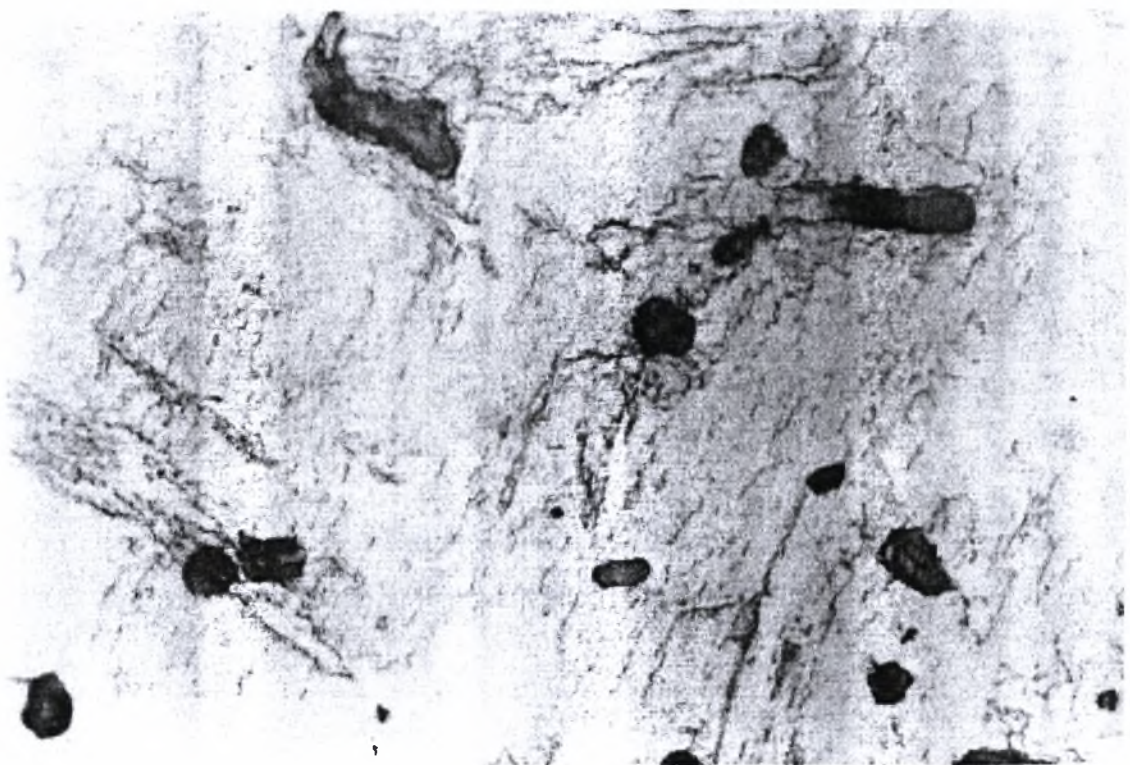
3.2.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2



Σχ. 3.2.10 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x200



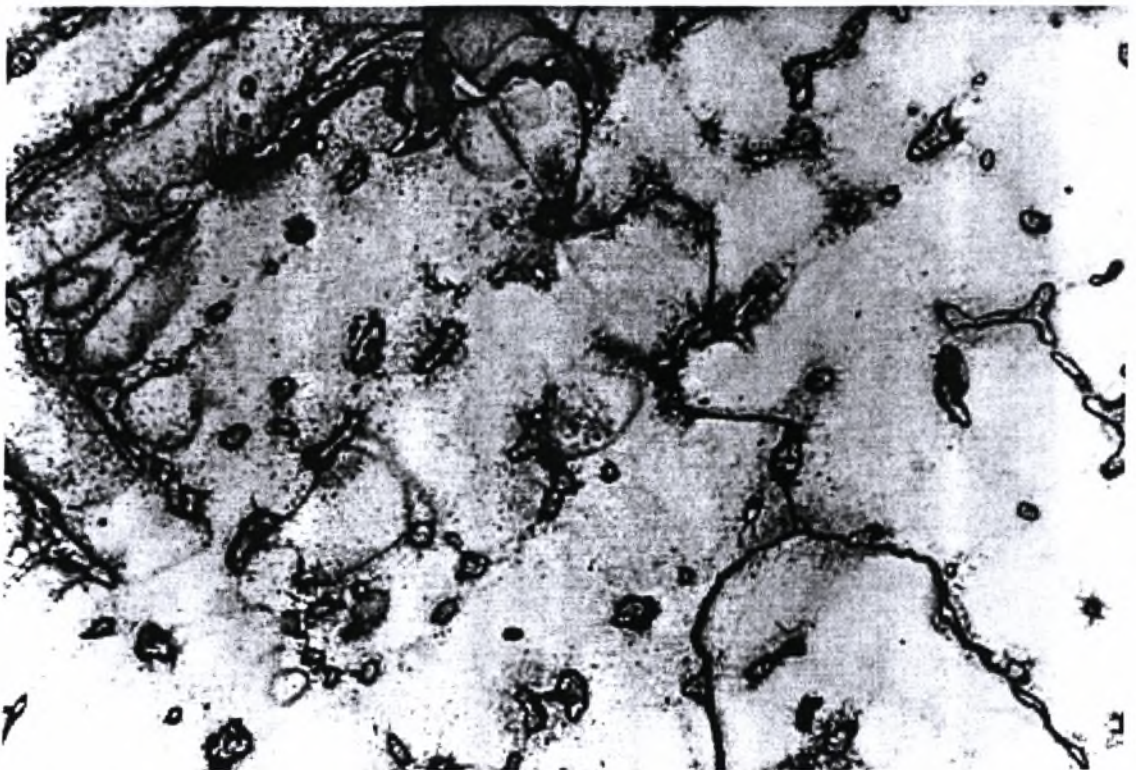
Σχ. 3.2.11 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x500



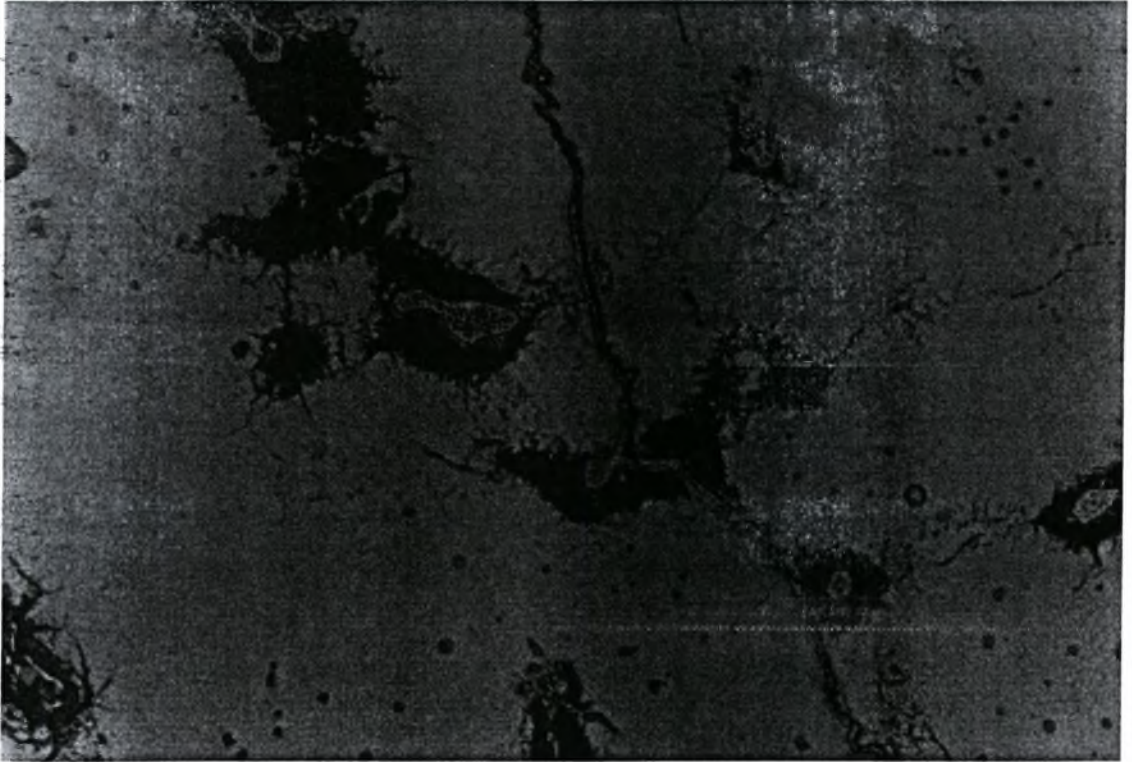
Σχ. 3.2.12 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x1000

Ο χάλυβας X20CrNi17-2 είναι όπως και ο χάλυβας GX40CrNiSi27-4 διπλός. Η κύρια διαφορά τους είναι στην περιεκτικότητα σε Ni και σε C. Πιο συγκεκριμένα, η μικρότερη περιεκτικότητα σε άνθρακα και νικέλιο, δίνει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη μεγαλύτερου ποσοστού σε φερρίτη. Είναι λοιπόν και εδώ κύρια φάση ο φερρίτης. Ακολουθεί ο ωστενίτης με το ανοικτότερο χρώμα του σε σχέση με το φερρίτη, ο οποίος φερρίτης άλλωστε δεν είναι τόσο ξεκάθαρος σε χρώμα, καθώς έχει ένα φάσμα αποχρώσεων. Τα σκούρα σωματίδια που έχουν μεγάλο σχετικά καμπυλοειδές μήκος, είναι σ-φάση. Τα δευτερεύοντα σωματίδια που παρατηρούνται, που είναι πολύ μικρά σαν βούλες, είναι εγκλείσματα.

3.2.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

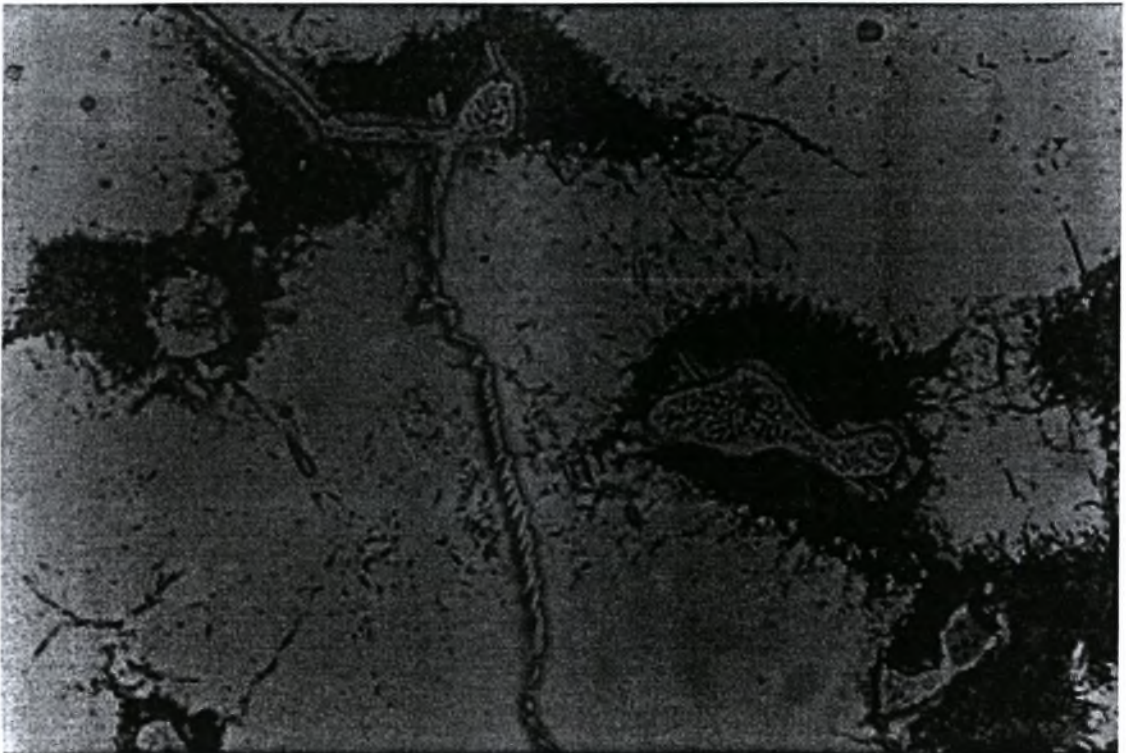


Σχ. 3.2.13 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x200



Σχ. 3.2.14 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x500

Σχ. 3.2.15 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x1000



Ο χάλυβας GX40CrNiSi25-20 μοιάζει στη δομή με το χάλυβα GX40NiCrSi35-25 με σημαντική διαφορά την περιεκτικότητα σε νικέλιο, κάτι που εξηγεί το μεγαλύτερο ποσοστό του χάλυβα GX40NiCrSi35-25 σε ωστενίτη. Ο χάλυβας GX40CrNiSi25-20 αποτελείται από ωστενιτική μήτρα και παρουσιάζει καρβίδια στα όρια κόκκων. Τα όμοια με τα καρβίδια σωματίδια, εκτός ορίων κόκκων είναι σ-φάση, η οποία περιβάλλεται από συσσωματώματα καρβιδίων. Σχηματικά αυτά φαίνονται με τη δομή που μοιάζει με ευτηκτική δομή. Μπορεί άλλωστε να είναι και ευτηκτικό καρβίδιο, κάτι που δεν γίνεται άμεσα να διεξαχθεί με τα μέσα που διατέθηκαν. Για το λόγο αυτό, παρατηρείται πως η μέθοδος εύρεσης ποσοστών φάσεων μπορεί εδώ κάπως να αστοχήσει, καθώς είναι πολύ δύσκολο να ξεχωριστεί η σ-φάση από τα συσσωματώματα καρβιδίων, αφού είναι σε κάποια σημεία πολύ κοντινά, ώστε να εφάπτονται. Κάποιοι μικροί σχηματισμοί σαν φουσκίτσες που παρατηρούνται από περιοχές σε περιοχές, είναι πιθανότατα εγκλείσματα.

3.3 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΥΡΕΣΗΣ ΠΟΣΟΣΤΟΥ ΦΑΣΕΩΝ

Εφαρμόζοντας τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων στους χάλυβες, καταρτίστηκε ένας πίνακας με τα ποσοστά κάθε φάσης, για κάθε μια φωτογραφία που εφαρμόστηκε η μέθοδος. Παρακάτω ακολουθούν τα αποτελέσματα.

3.3.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

Χάλυβας GX40CrNiSi27-4			
Φωτ.	Ωστενίτης	Φερρίτης	Καρβίδιο
1	0,24	0,52	0,24
2	0,16	0,6	0,24
3	0,24	0,6	0,16
4	0,32	0,52	0,16
5	0,16	0,36	0,48
6	0,24	0,44	0,32
Μέσος όρος (ποσοστό)	22,6%	50,6%	26,6%

Πιν. 3.3.1 Ποσοστά φάσεων χάλυβα GX40CrNiSi27-4

3.3.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

Χάλυβας GX40NiCrSi35-25			
Φωτ.	Ωστενίτης	Καρβίδιο	σ-φάση
1	0,8	0	0,2
2	0,8	0	0,2
3	0,96	0	0,04
4	0,88	0	0,12
5	0,84	0	0,16
6	0,72	0,04	0,24
7	0,8	0,12	0,08
8	0,8	0,08	0,12
9	0,64	0,24	0,12

Μέσος όρος (ποσοστό)	80,4%	5,3%	14,2%
-------------------------	-------	------	-------

Πιν. 3.3.2 Ποσοστά φάσεων χάλυβα GX40NiCrSi35-25

3.3.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

Χάλυβας X12Cr13			
Φωτ.	Φερρίτης	Μαρτενσίτης	Καρβίδιο
1	0,16	0,76	0,08
2	0,16	0,8	0,04
3	0,16	0,72	0,12
4	0,2	0,72	0,08
5	0,04	0,92	0,04
6	0,24	0,68	0,08
7	0,28	0,68	0,04
8	0,16	0,8	0,04
9	0,16	0,84	0
Μέσος όρος (ποσοστό)	17,3%	76,8%	5,7%

Πιν. 3.3.3 Ποσοστά φάσεων χάλυβα X12Cr13

3.3.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

Χάλυβας X20CrNi17-2			
Φωτ.	Ωστενίτης	Φερρίτης	σ-φάση
1	0,32	0,64	0,04
2	0,36	0,6	0,04
3	0,36	0,6	0,04
4	0,2	0,68	0,12
5	0,16	0,68	0,16

6	0,2	0,64	0,16
7	0,16	0,76	0,08
8	0,12	0,8	0,08
9	0,16	0,8	0,04
Μέσος όρος (ποσοστό)	22,6%	68,8%	8,4%

Πιν. 3.3.4 Ποσοστά φάσεων χάλυβα X20CrNi17-2

3.3.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

Χάλυβας GX40CrNiSi25-20			
Φωτ.	Ωστενίτης	Καρβίδιο	σ-φάση
1	0,72	0,12	0,16
2	0,6	0,4	0
3	0,68	0,28	0,04
4	0,8	0,12	0,08
5	0,68	0,12	0,2
6	0,76	0,12	0,12
7	0,76	0,12	0,12
8	0,76	0,12	0,12
9	0,8	0,12	0,08
Μέσος όρος (ποσοστό)	72,8%	16,8%	10,2%

Πιν. 3.3.5 Ποσοστά φάσεων χάλυβα GX40CrNiSi25-20

3.4 ΜΙΚΡΟΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Για τη μέτρηση της σκληρότητας με το μικροσκληρόμετρο, χρησιμοποιήθηκε πίνακας για καταγραφή των τιμών που πάρθηκαν για κάθε ένα από τα 3 δοκίμια. Συγκεντρώθηκαν έτσι 9 τιμές, αλλά και ακόμη περισσότερες όπως φαίνεται παρακάτω σε ορισμένους χάλυβες, επειδή η μεγάλη διασπορά τιμών ανάγκαζε επανάληψη του πειράματος.

3.4.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4						
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Vickers)						
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	240	273	246			
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	291	252	211	243	216	258
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	212	234	244	200		
Μέση τιμή	240					

Πιν. 3.4.1 Μικροσκληρομέτρηση χάλυβα GX40CrNiSi27-4

3.4.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Vickers)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	185	184	178
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	173	195	174
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	164	168	169
Μέση τιμή	176,6		

Πιν. 3.4.2 Μικροσκληρομέτρηση χάλυβα GX40NiCrSi35-25

3.4.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Vickers)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	394	380	392
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	328	392	402
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	361	358	371
Μέση τιμή	375,3		

Πιν. 3.4.3 Μικροσκληρομέτρηση χάλυβα X12Cr13

3.4.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2					
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Vickers)					
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	244	257	282	268	
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	254	216	230	228	243
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	232	216	248	231	
Μέση τιμή	242,2				

Πιν. 3.4.4 Μικροσκληρομέτρηση χάλυβα X20CrNi17-2

3.4.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20						
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Vickers)						
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	208	223	234	203	205	218

2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	191	178	177	187		
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	215	227	212			
Μέση τιμή	206					

Πιν. 3.4.5 Μικροσκληρομέτρηση χάλυβα GX40CrNiSi25-20

3.5 ΣΚΛΗΡΟΜΕΤΡΗΣΗ

Ανάλογα με τη μικροσκληρομέτρηση, έτσι και με τη σκληρομέτρηση καταρτίστηκε πίνακας με τις επίσης 9 τιμές που συγκεντρώνονται από τις 3 τιμές για κάθε δοκίμιο ή αλλιώς για κάθε μια από τις 3 διαφορετικές φουρνιές χάλυβα.

3.5.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Rockwell B)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	88	87	90
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	87	84,5	88,5
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	89	92	91
Μέση τιμή	97,5 HRB		

Πιν. 3.5.1 Σκληρομέτρηση χάλυβα GX40CrNiSi27-4

3.5.2 ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Rockwell B)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	86	81	86,5
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	79	83,5	76
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	85	85,5	86,5
Μέση τιμή	83.2 HRB		

Πιν. 3.5.2 Σκληρομέτρηση χάλυβα GX40NiCrSi35-25

3.5.3 ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Rockwell B)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	96	109,5	111
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	115	117	116
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	106,5	114	115
Μέση τιμή	112,8 HRB		

Πιν. 3.5.3 Σκληρομέτρηση χάλυβα X12Cr13

3.5.4 ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Rockwell B)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	86	91,5	87,5
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	87,5	89	89
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	91	94	93,5
Μέση τιμή	89.8 HRB		

Πιν. 3.5.4 Σκληρομέτρηση χάλυβα X20CrNi17-2

3.5.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20			
ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ (μονάδες σε Rockwell B)			
1ο δοκίμιο (1 ^η φουρνιά)	88	87	90
2ο δοκίμιο (2 ^η φουρνιά)	87	84,5	88,5
3ο δοκίμιο (3 ^η φουρνιά)	89	92	91
Μέση τιμή	88,5 HRB		

Πιν. 3.5.5 Σκληρομέτρηση χάλυβα GX40CrNiSi25-20

Υλικό	Σκληρότητα	Μικροσκληρότητα (μονάδες Vickers)	Προδιαγραφή
GX40CrNiSi27-4	97,5 HRB	240	81 HRB
GX40NiCrSi35-25	83,2 HRB	176.6	75 HRB
X12Cr13	112,8 HRB	375.3	93,5 HRB
X20CrNi17-2	242,2 HB	242.2	295 HB
GX40CrNiSi25-20	88,5 HRB	206	75 HRB

Παρατηρώντας τις τιμές από τη σκληρομέτρηση για όλους τους χάλυβες, σε HRB (hardness Rockwell B), και μετά κοιτώντας και τις αντίστοιχες τιμές από τη μικροσκληρομέτρηση, παρατηρείται ότι και στις δύο περιπτώσεις η σκληρότητα κυμαίνεται στο ίδιο πεδίο τιμών. Κατατρέχοντας σε ένα πίνακα μετατροπής τιμών από Rockwell B σε Vickers, και έχοντας μαζί και τα αποτελέσματα των δύο πειραματικών διαδικασιών, διαπιστώνεται μεγάλη ομοιότητα μεταξύ των πειραματικών οργάνων, του μικροσκληρομέτρου και του σκληρόμετρου.

Η μικρή ωστόσο διαφοροποίηση στις τιμές μεταξύ των δύο οργάνων οφείλεται στο ότι το μικροσκληρόμετρο μετρά πολύ ευαίσθητα και σε πολύ περιορισμένο χώρο, ενώ το σκληρόμετρο σε μεγαλύτερο χωρικό διάστημα, κάτι που το κάνει να μετρά περισσότερο μέσες τιμές μικρότερων εμβαδών. Το

σκληρόμετρο δηλαδή, καθώς καταλαμβάνει με τον εντυπωτή – ακίδα μεγαλύτερο εμβαδόν, αλλά και ασκεί φορτίο πολύ μεγαλύτερο του αντιστοίχου του μικροσκληρόμετρου, βγάζει ως αποτέλεσμα σκληρότητα που αντιπροσωπεύεται από πολλές περιοχές, στις οποίες αναπτύσσονται διαφορετικές φάσεις ενδεχομένως, οπότε και δεν παρατηρούνται και μεγάλες διασπορές τιμών στα δοκίμια, σε έκταση όσο στη περίπτωση που αυτά μελετήθηκαν από το μικροσκληρόμετρο.

Αντίθετα, στο μικροσκληρόμετρο, μελετήθηκαν περιοχές πολύ πιο ευαίσθητα, με αποτέλεσμα να υπάρχουν τιμές που αντιπροσωπεύουν σχεδόν αποκλειστικά μεμονωμένες φάσεις, οπότε και κάποιες τιμές να είναι πολύ διαφορετικότερες από άλλες, που πάρθηκαν σε ισχυρότερες φάσεις. Η διαφοροποίηση αυτή των τιμών δεν περιορίζεται μεταξύ των μετρήσεων του μικροσκληρόμετρου, αλλά όπως είναι εμφανές και των τιμών του μικροσκληρομέτρου σε σχέση με τις τιμές του σκληρόμετρου.

3.6 ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ακολουθούν διαγράμματα με γενικές πληροφορίες για τις ραδιογραφίες που έγιναν, όπως και διαγράμματα για τα τελικά δοκίμια.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΛΕΓΧΟΥ

ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΕΛΕΓΧΟΥ:	ΤΥΠΟΣ ΦΙΑΜ: D7
ΣΥΣΚ. ΑΚΤ. Χ Η γ: X-RAY	ΕΝΙΣΧΥΤΙΚΑ ΦΥΛΛΑ PB: 0,02
ΜΕΓ. ΚV Η ΙΣΧ. C: 225KV	ΣΥΝ. ΧΡΟΝ. ΕΜΦΑΝ. ΦΙΑΜ: 15min
ΤΑΣΗ ΛΥΧΝΙΑΣ: 120KV	ΥΛΙΚΟ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ: STEEL
ΕΝΤΑΣΗ ΛΥΧΝΙΑΣ: 4mA	ΠΑΧΟΣ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ: 3-20MM
ΧΡΟΝΟΣ ΕΚΘΕΣΗΣ: 1min	ΥΛ.-ΔΙΑΣΤ. ΠΕΝ-ΤΡΟΥ: 10-16
ΑΠΟΣΤΑΣΗ ΠΗΓΗΣ-ΑΝΤΙΚ.: 700MM	ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ ΠΗΓΗΣ: 2,3x3

Πιν. 3.6.1 Στοιχεία ελέγχου ραδιογραφίας

3.6.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ASME VIII APPENDIX 7 PART 2 ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40CrNiSi27-4

Αρ. αντικειμένου	Αρ. Χυτηρίου	Περιγραφή ελαττωμάτων	Ταξινόμηση		Μέγιστο αποδεκτό επίπεδο Accept Level	Όψη View	Παραδεκτό Accept	Μη Παραδεκτό Reject
			KAT	ΕΠΙΠ. CAT LEVEL				
1	1	Εγκλείσματα	B	3	2	-		X
2	1	-	-	-		-	X	
3	1	-	-	-		-	X	
4	1	-	-	-		-	X	
5	1	-	-	-		-	X	
6	1	-	-	-		-	X	
7	1	-	-	-		-	X	
8	1	Εγκλείσματα	B	3	2	-		X
9	1	-	-	-		-	X	
10	1	-	-	-		-	X	
11	1	-	-	-		-	X	
12	1	-	-	-		-	X	
13	1	-	-	-		-	X	
14	1	-	-	-		-	X	

Πιν. 3.6.2 Αποτελέσματα ακτινογραφικού ελέγχου για τον χάλυβα GX40CRNISI27-4

3.6.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ASME VIII APPENDIX 7 PART 2 ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40NiCrSi35-25

Αρ. αντικειμένου	Αρ. Χυτηρίου	Περιγραφή ελαττωμάτων	Ταξινόμηση		Μέγιστο αποδεκτό επίπεδο Accept Level	Όψη View	Παραδεκτό Accept	Μη Παραδεκτό Reject
			KAT	ΕΠΙΠ. CAT LEVEL				

1	2	-	-	-	-	X	
2	2	-	-	-	-	X	
3	2	-	-	-	-	X	
4	2	-	-	-	-	X	
5	2	-	-	-	-	X	
6	2	-	-	-	-	X	
7	2	-	-	-	-	X	
8	2	-	-	-	-	X	
9	2	-	-	-	-	X	
10	2	-	-	-	-	X	
11	2	-	-	-	-	X	
12	2	-	-	-	-	X	
13	2	-	-	-	-	X	
14	2	-	-	-	-	X	
15	2	-	-	-	-	X	
16	2	-	-	-	-	X	
17	2	-	-	-	-	X	

Πιν. 3.6.3 Αποτελέσματα ακτινογραφικού ελέγχου για τον χάλυβα

GX40NiCrSi35-25

3.6.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ASME VIII APPENDIX 7 PART 2 ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ X12Cr13

Αρ. αντικειμένου	Αρ. Χυτηρίου	Περιγραφή ελαττωμάτων	Ταξινόμηση		Μέγιστο αποδεκτό επίπεδο Accept Level	Όψη View	Παραδεκτό Accept	Μη Παραδεκτό Reject
			KAT CAT	ΕΠΙΠ. LEVEL				
1	3	-						
2	3	-						
3	3	-	-	-		-	X	
4	3	-	-	-		-	X	
5	3	-	-	-		-	X	
6	3	-	-	-		-	X	
7	3	-	-	-		-	X	
8	3	-	-	3		-	X	
9	3	-	-	-		-	X	
10	3	-	-	-		-	X	
11	3	-	-	-		-	X	
12	3	Πόροι	A	3	1	-		X
13	3	-	-	-	-	-	X	

14	3	-	-	-	-	-	X	
15	3	-	-	-	-	-	X	
16	3	-	-	-	-	-	X	

Πιν. 3.6.4 Αποτελέσματα ακτινογραφικού ελέγχου για τον χάλυβα X12Cr13

3.6.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ASME VIII APPENDIX 7 PART 2 ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ X20CrNi17-2

Αρ. αντικειμένου	Αρ. Χυτηρίου	Περιγραφή ελαττωμάτων	Ταξινόμηση		Μέγιστο αποδεκτό επίπεδο Accept Level	Όψη View	Παραδεκτό Accept	Μη Παραδεκτό Reject
			KAT	ΕΠΙΠ. CAT LEVEL				
1	4	-	-	-	-	-	X	
2	4	Πόροι	A	3	2	-		X
3	4	Εγκλείσματα	B	3	2			X
4	4	Πόροι	A	3	2	-		X
5	4	Πόροι	A	3	2	-		X
6	4	-	-	-	-	-	X	
7	4	-	-	-	-	-	X	
8	4	-	-	-	-	-	X	
9	4	-	-	-	-	-	X	
10	4	-	-	-	-	-	X	
11	4	-	-	-	-	-	X	
12	4	-	-	-	-	-	X	
13	4	-	-	-	-	-	X	
14	4	-	-	-	-	-	X	
15	4	-	-	-	-	-	X	
16	4	-	-	-	-	-	X	

Πιν. 3.6.5 Αποτελέσματα ακτινογραφικού ελέγχου για τον χάλυβα X20CrNi17-2

3.6.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΑΚΤΙΝΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ASME VIII APPENDIX 7 PART 2 ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40CrNiSi25-20

Αρ. αντικειμένου	Αρ. Χυτηρίου	Περιγραφή ελαττωμάτων	Ταξινόμηση		Μέγιστο αποδεκτό επίπεδο Accept Level	Όψη View	Παραδεκτό Accept	Μη Παραδεκτό Reject
			KAT	ΕΠΙΠ. CAT LEVEL				
1	5	-	-	-	-	-	X	
2	5	-	-	-	-	-	X	
3	5	Πόροι	A	3	2	-		X
4	5	-	-	-	-	-	X	
5	5	-	-	-	-	-	X	
6	5	Πόροι	A	3	2	-		X
7	5	-	-	-	-	-	X	
8	5	-	-	-	-	-	X	
9	5	-	-	-	-	-	X	
10	5	-	-	-	-	-	X	
11	5	-	-	-	-	-	X	
12	5	Πόροι	A	3	2	-		X
13	5	-	A	3	2	-		X
14	5	-	-	-	-	-	X	
15	5	-	-	-	-	-	X	
16	5	-	-	-	-	-	X	

Πιν. 3.6.6 Αποτελέσματα ακτινογραφικού ελέγχου για τον χάλυβα

GX40CrNiSi25-20

3.7 ΔΟΚΙΜΗ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

Για τη διαδικασία των δοκιμών εφελκυσμού, δημιουργήθηκαν όσο το δυνατόν περισσότερα δοκίμια για κάθε χάλυβα, για καλύτερη ακρίβεια, στα οποία και στη συνέχεια ασκήθηκε εφελκυστικό φορτίο μέχρι θραύσης. Παρακάτω ακολουθεί και πίνακας με τις τιμές που πάρθηκαν για κάθε δοκίμιο.

Υλικό	Τάση θραύσης N/mm ²	Προδιαγραφόμενη τάση θραύσης(as cast) N/mm ²

GX40CrNiSi27-4	506	515
GX40NiCrSi35-25	463.5	440
X12Cr13	1058.5	650
X20CrNi17-2	642.75	950
GX40CrNiSi25-20	450.8	440

3.7.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40CrNiSi27-4			
Δοκίμιο	Elongation % (l=5 d ₀)	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²
1	2,1	457	-
2	15,1	711	254
3	2,0	447	-
4	0,0	291	-
5	1,6	348	-
6	0,6	607	226
7	1	471	-
8	3,8	1087	-
9	0,0	415	-
10	1	372	-
11	2	398	-
12	0,0	429	-
13	0,0	381	-
14	2	443	-
15	0,0	470	-
16	2,4	398	-

Πιν. 3.7.1 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού για το χάλυβα
GX40CrNiSi27-4

Οι τιμές του 4^{ου} και 5^{ου} δοκιμίου βγήκαν έξω κατά τον υπολογισμό του τελικού ορίου θραύσης και μέσης επιμήκυνσης, γιατί προφανώς αντιστοιχούν σε ελαττωματικά δοκίμια, αφού είναι τόσο χαμηλές. Συμπεραίνεται ότι το όριο θραύσης είναι 506,14 ΜΡΑ και η επιμήκυνση 2,98 %.

3.7.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40NiCrSi35-25			
Δοκίμιο	Elongation (l=5 d ₀)	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²
1	0.0	325	-
2	4,6	473	-
3	2,1	327	-
4	2,1	388	-
5	2,1	338	-
6	3,6	499	-
7	1,1	390	-
8	4,5	450	-
9	4,8	482	-
10	4,8	453	-
11	9,6	548	-
12	6,3	475	-
13	3,1	478	-

Πιν. 3.7.2 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού για το χάλυβα
GX40NiCrSi35-25

Οι τιμές του 1^{ου}, 3^{ου} και 5^{ου} δοκιμίου βγήκαν έξω κατά τον υπολογισμό του τελικού ορίου θραύσης και μέσης επιμήκυνσης, γιατί προφανώς

αντιστοιχούν σε ελαττωματικά δοκίμια, αφού είναι τόσο χαμηλές. Έτσι το όριο θραύσης είναι 463,6 MPA και η επιμήκυνση 4,45 %.

3.7.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ			
ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ X12Cr13			
Δοκίμιο	Elongation ($l=5 d_0$)	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²
1	5,3	1192	-
2	3,0	1086	-
3	1,5	960	-
4	3,6	1031	-
5	3,0	1062	-
6	2,0	1056	-
7	3,0	1086	-
8	1,6	991	-
9	1,5	1026	-
10	2,3	1084	-
11	2,3	895	-
12	3,6	1071	-

Πιν. 3.7.3 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού για το χάλυβα X12Cr13

Οι τιμές του 11^{ου} δοκιμίου δεν συμπεριελήφθησαν στον υπολογισμό του τελικού ορίου θραύσης και μέσης επιμήκυνσης, γιατί προφανώς αντιστοιχούν σε ελαττωματικό δοκίμιο, αφού είναι τόσο χαμηλές. Βγήκε όριο θραύσης 1058,6 MPA και επιμήκυνση 2,78 %.

3.7.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ			
ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ X20CrNi17-2			
Δοκίμιο	Elongation ($l=5 d_0$)	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²
1	15,1	676	254
2	11,0	603	246
3	11,6	590	264
4	6,8	418	244
5	15	749	257
6	6,6	417	250
7	10,5	563	252
8	11,0	581	250
9	14,8	694	235
10	12,5	678	247

Πιν. 3.7.4 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού για το χάλυβα X20CrNi17-2

Οι τιμές του 4^{ου} και 6^{ου} δοκιμίου δεν συμπεριελήφθησαν στον υπολογισμό του τελικού ορίου θραύσης και μέσης επιμήκυνσης, γιατί προφανώς αντιστοιχούν σε ελαττωματικά δοκίμια, αφού είναι τόσο χαμηλές. Έτσι το όριο θραύσης είναι 641,75 MPa, το όριο ροής 250,6 MPa και η επιμήκυνση 12,68 %.

3.7.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΔΟΚΙΜΩΝ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ			
ΓΙΑ ΤΟΝ ΧΑΛΥΒΑ GX40CrNiSi25-20			
Δοκίμιο	Elongation (l=5 d ₀)	Tensile strength N/mm ²	Yield strength N/mm ²
1	0,0	260	-
2	0,0	301	-
3	3,0	507	-
4	1,1	308	-
5	2,3	428	-
6	2,5	418	-
7	2,1	387	-
8	4,0	489	-
9	1,5	358	-
10	2,6	518	-
11	3,5	502	-

Πιν. 3.7.5 Αποτελέσματα δοκιμών εφελκυσμού για το χάλυβα
GX40CrNiSi25-20

Οι τιμές του 1^{ου}, 2^{ου} και 4^{ου} δοκιμίου δεν υπολογίστηκαν για το τελικό όριο θραύσης και μέση επιμήκυνση, γιατί προφανώς αντιστοιχούν σε ελαττωματικά δοκίμια, αφού είναι τόσο χαμηλές. Βγήκε έτσι όριο θραύσης 450,87 MPA και επιμήκυνση 2,68 %.

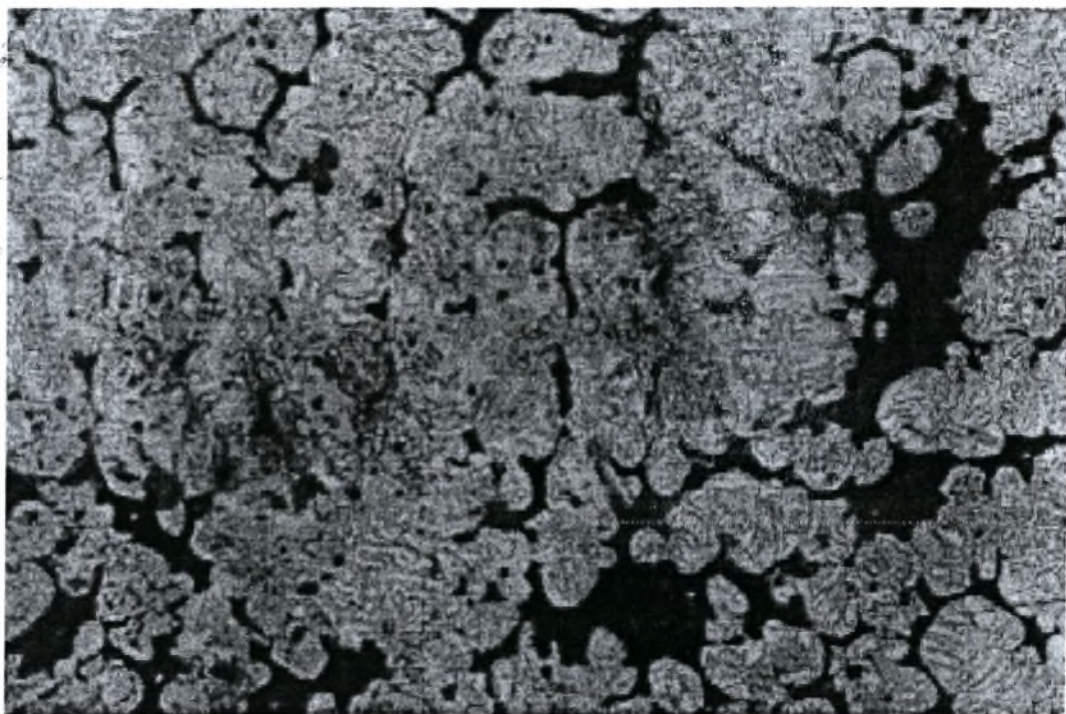
3.8 ΜΕΤΑΛΛΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ ΘΕΡΜΙΚΩΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΜΕΝΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ

Κατά την δεύτερη μεταλλογραφική ανάλυση που έγινε σε δοκίμια μετά τη θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης, κατά την οποία δοκίμια θερμάνθηκαν στους 1000°C επί 1 ώρα, παρατηρήθηκε ότι ο σκοπός της διαλυτοποίησης δεν επιτεύχθηκε, τουλάχιστον σε επιθυμητό βαθμό. Τα καρβίδια, όπως φαίνεται και στις παρακάτω φωτογραφίες δεν μπόρεσαν να διαλυθούν. Πιο συγκεκριμένα, παρατηρείται πως σε όλους τους χάλυβες υπάρχουν περιοχές, στις οποίες συγκεντρώνονται καρβίδια και καθιστούν το δοκίμιο ευαίσθητο. Η παρατεταμένη θέρμανση για περισσότερο χρόνο μπορεί να διαλύσει τα τόσο έντονα καρβίδια που παρουσιάζονται στις μεταλλογραφίες.

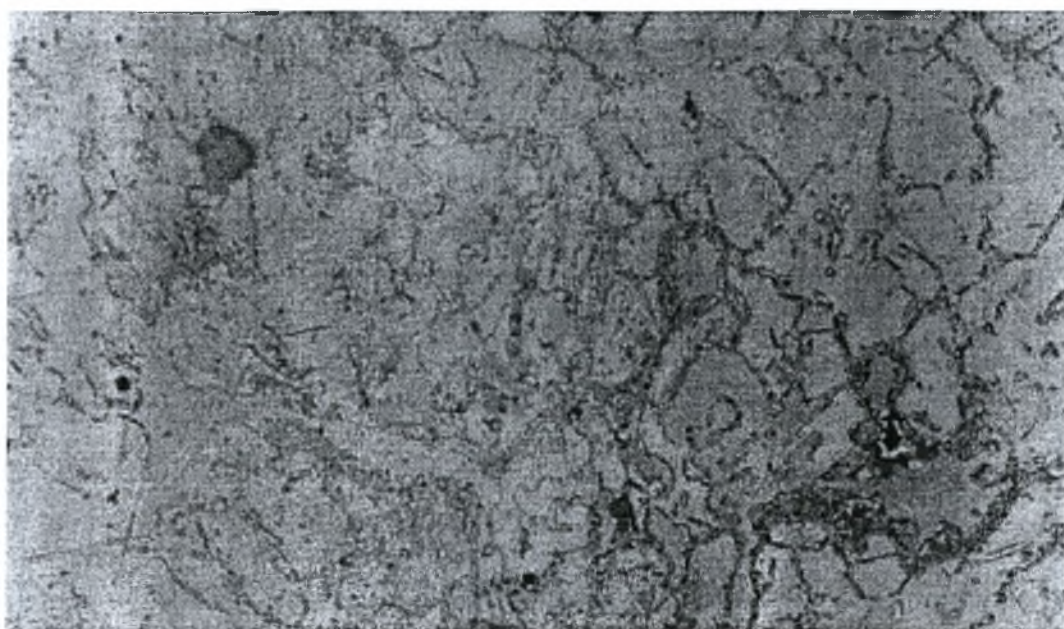
Γενικό φαινόμενο που παρατηρείται επίσης είναι και ο διαφορισμός, κατά τον οποίο οι χημικές συστάσεις ενός χάλυβα μεταβάλλουν έντονα από περιοχή σε περιοχή, δημιουργώντας έτσι στο χάλυβα διαφορετικά τμήματα που διαφέρουν σε ιδιότητες μεταξύ τους, κάτι ανεπιθύμητο, το οποίο επιλύεται επίσης με την παρατεταμένη θέρμανση, μέχρι επίτευξης καλύτερης διαλυτοποίησης. Ο διαφορισμός διακρίνεται από τα έντονα και απότομα μεταβαλλόμενα διαφορετικά χρώματα, με τα οποία εμφανίζεται κάθε φάση στις μεταλλογραφίες.

Αλλαγές στις δομές των χάλυβων κατά τη διάρκεια της θερμικής κατεργασίας δεν σημειώθηκαν και ισχύουν οι παρατηρήσεις που αναφέρονται στα δοκίμια προ της θερμικής κατεργασίας της διαλυτοποίησης.

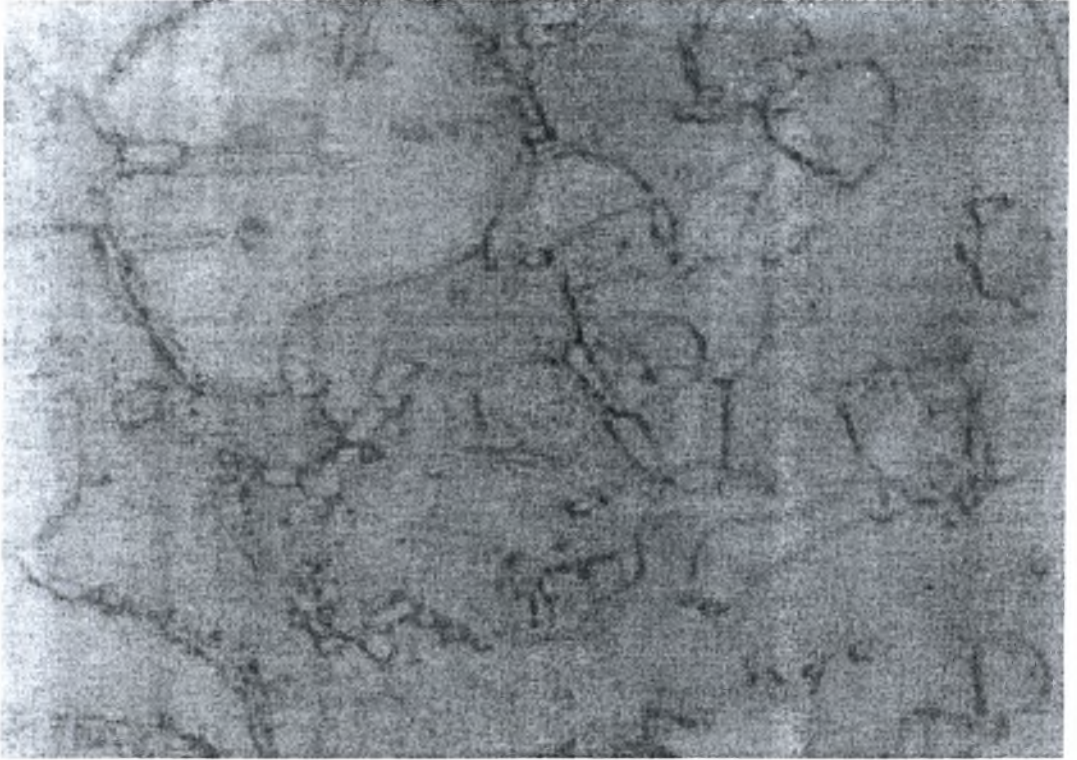
3.8.1 ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4



Σχ. 3.8.1 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x100

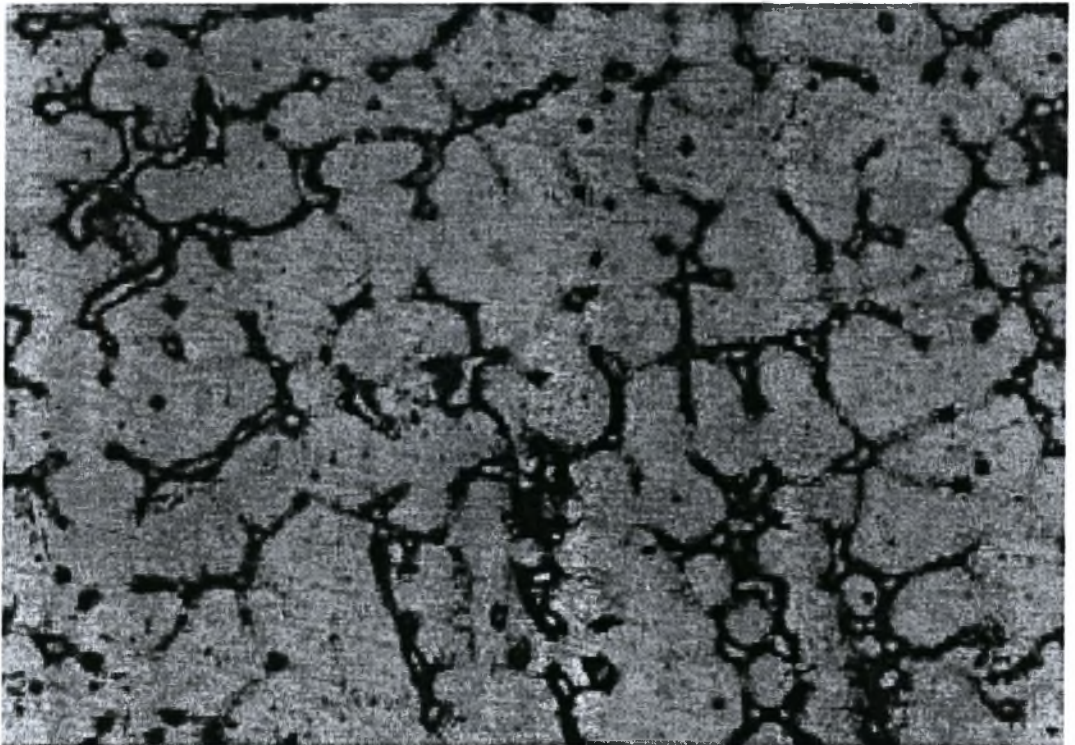


Σχ. 3.8.2 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x500

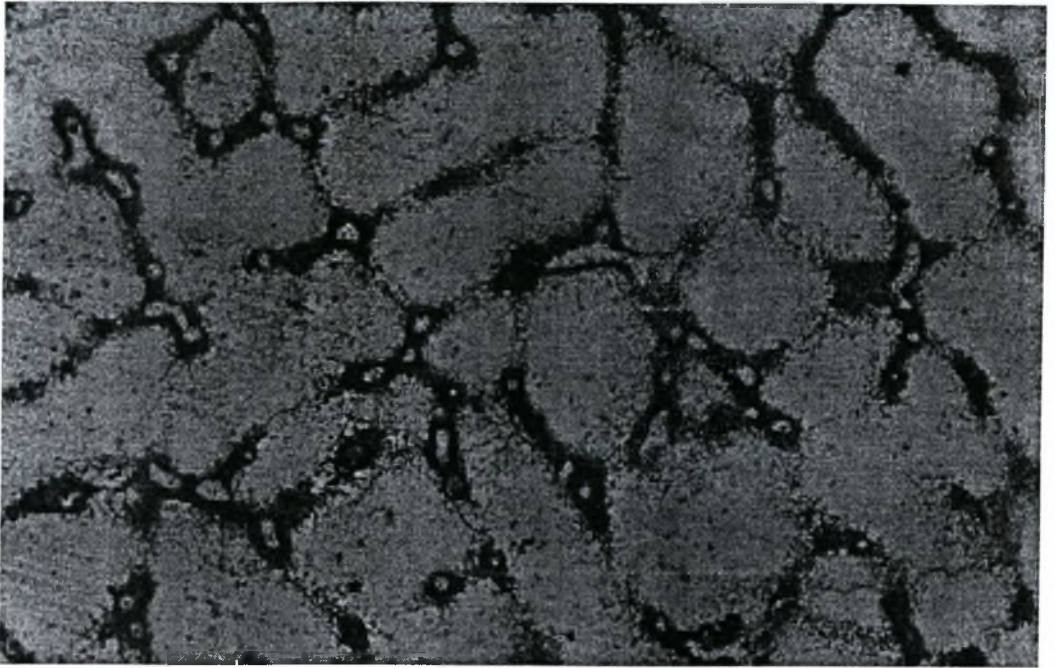


Σχ. 3.8.3 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi27-4, x1000

3.8.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

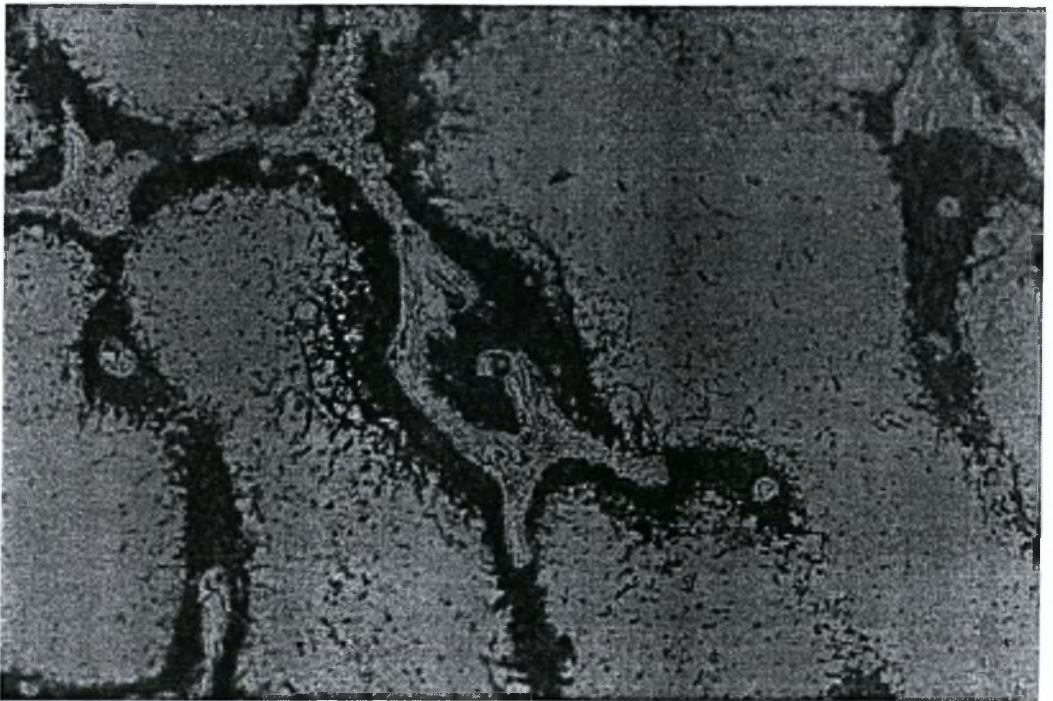


Σχ. 3.8.4 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x100



Σχ. 3.8.5 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x200

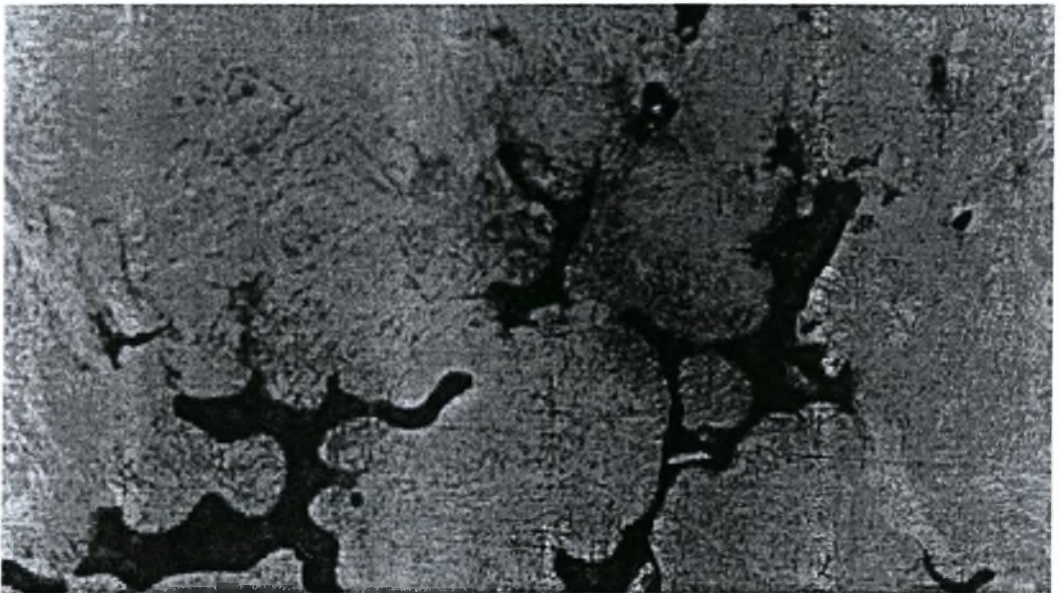
Σχ. 3.8.6 Φωτογραφία χάλυβα GX40NiCrSi35-25, x500



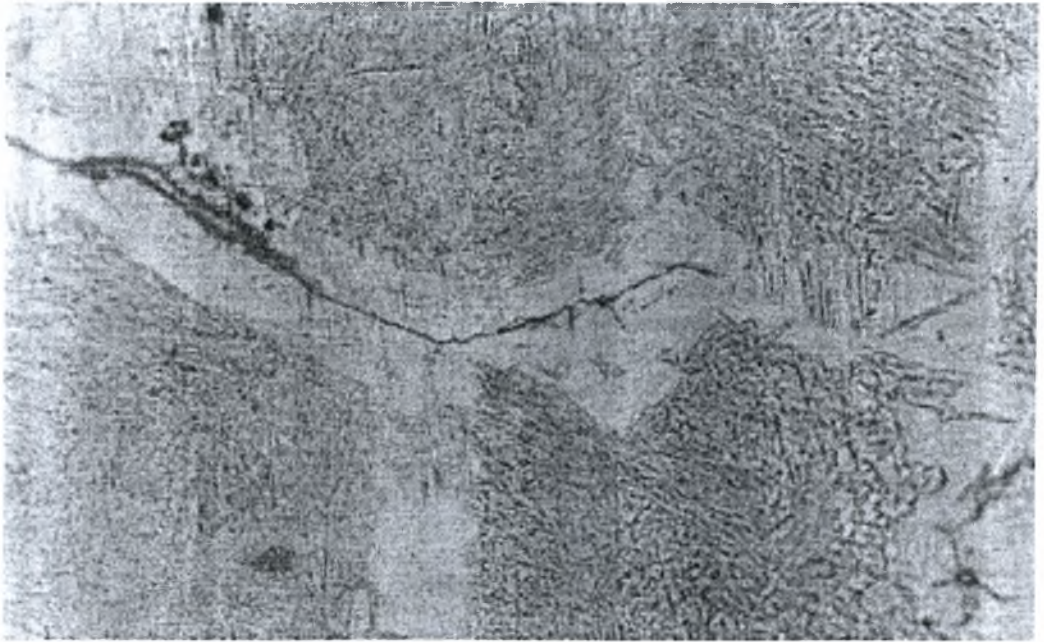
3.8.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13



Σχ. 3.8.7 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x200

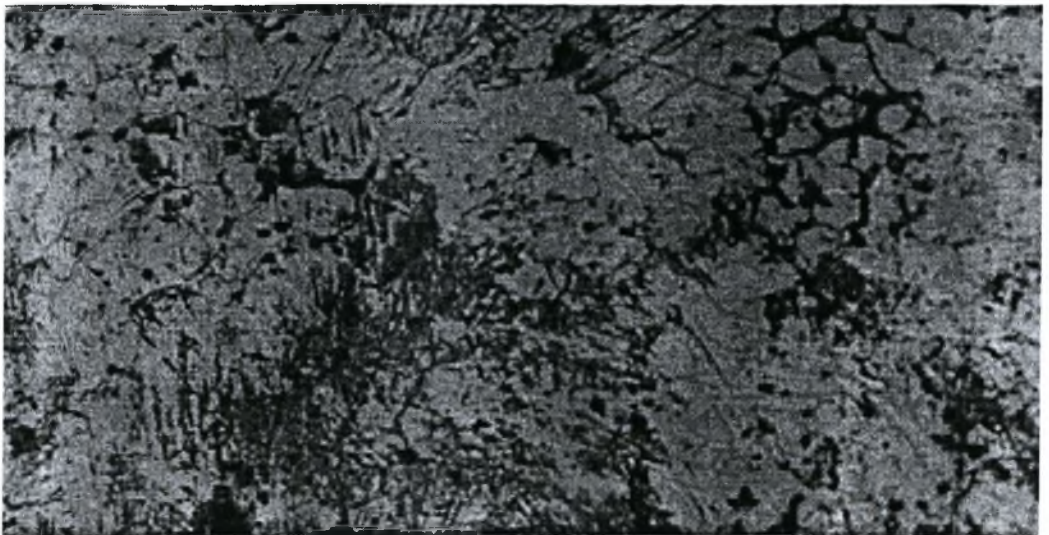


Σχ. 3.8.8 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x200



Σχ. 3.8.9 Φωτογραφία χάλυβα X12Cr13, x500

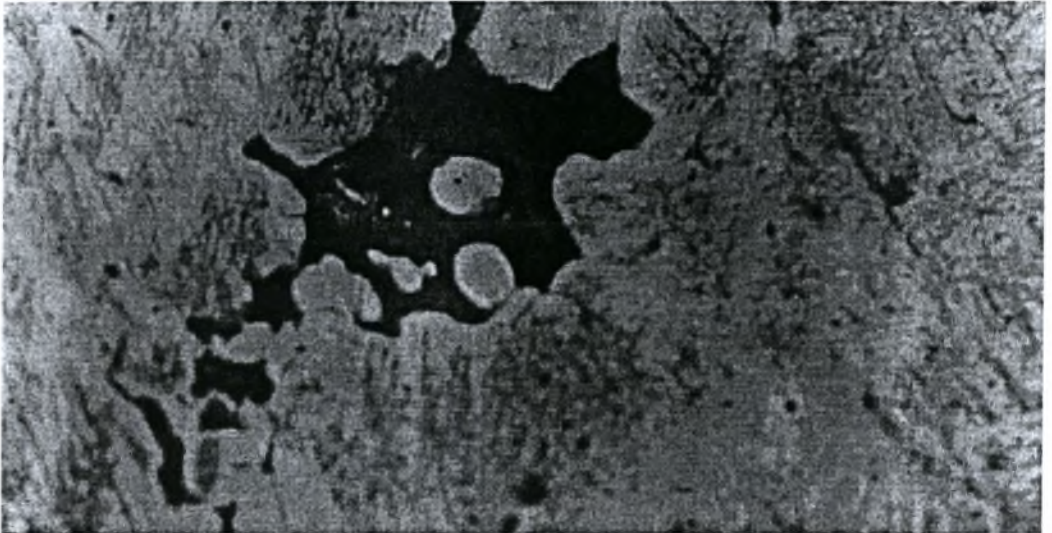
3.8.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2



Σχ. 3.8.10 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x100



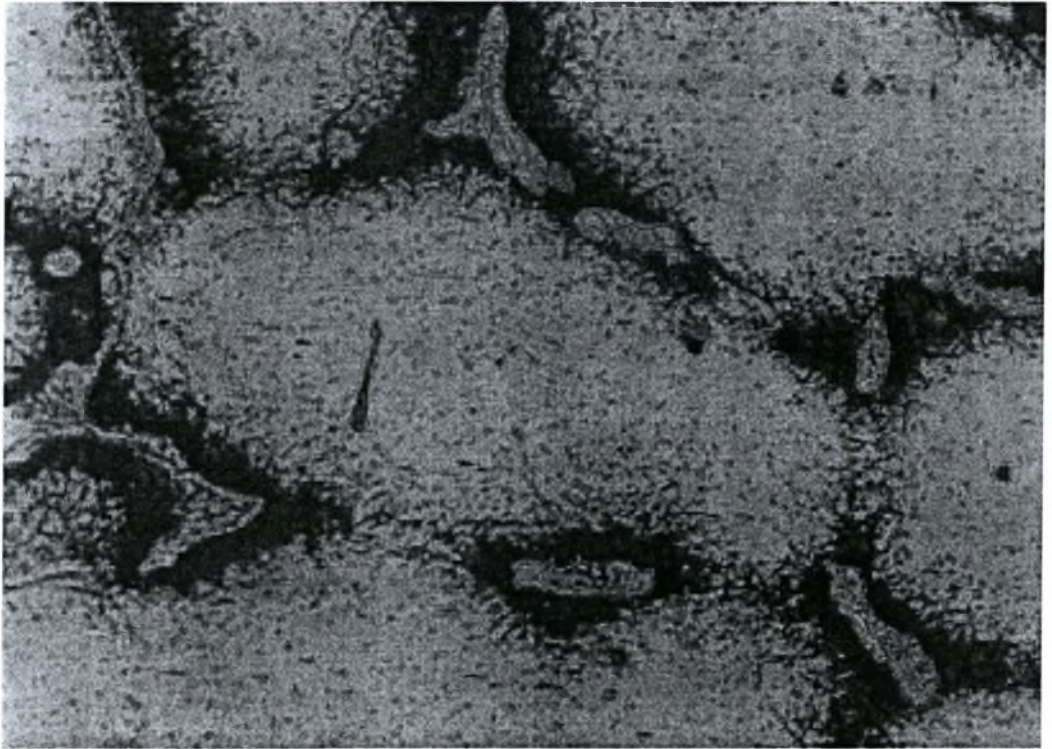
Σχ. 3.8.11 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x200



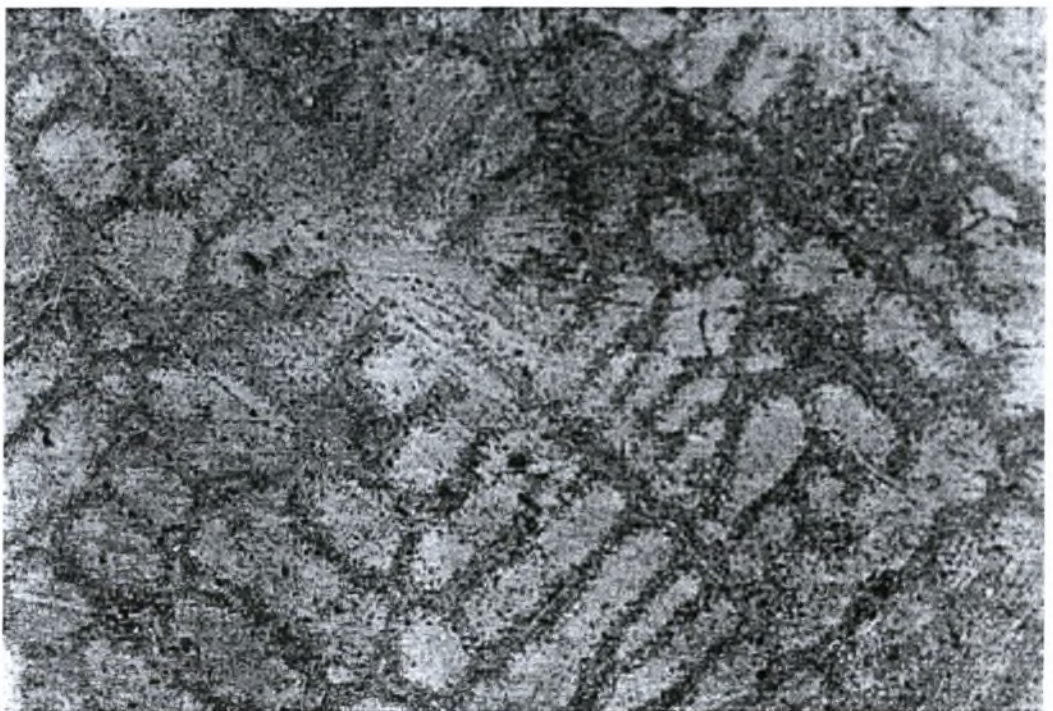
Σχ. 3.8.12 Φωτογραφία χάλυβα X20CrNi17-2, x200

3.8.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

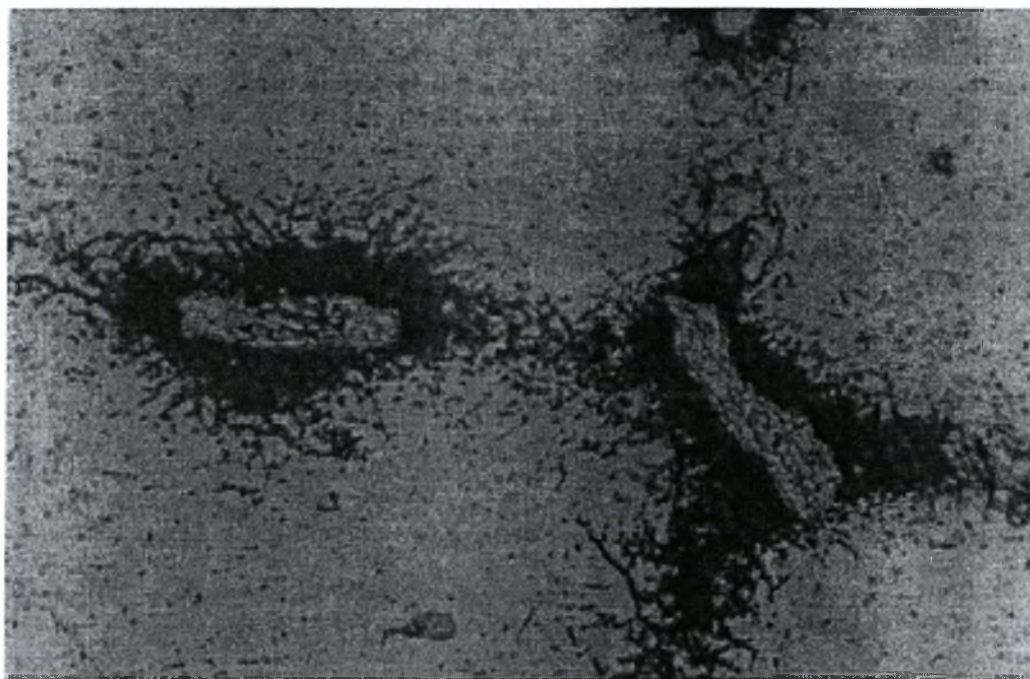
Σχ. 3.8.13 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x200



Σχ. 3.8.14 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x1000



Σχ. 3.8.15 Φωτογραφία χάλυβα GX40CrNiSi25-20, x1000



3.9 ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Αρχικά αναφέρεται ότι οι συστάσεις στη χύτευση ξέφυγαν από αυτές που είχαν τεθεί ως επιθυμητές, σε όλους τους χάλυβες, σε άλλους λίγο και σε άλλους περισσότερο, όπως δείχνουν και οι χημικές αναλύσεις. Πράγματι είναι δύσκολο να επιτευχθούν οι συστάσεις, έτσι ακριβώς όπως προδιαγράφονται κι αυτό εξ αιτίας παραγόντων που αφορούν τη χύτευση (παράγοντες που εξαρτώνται από τον τρόπο και από το είδος χύτευσης που επιλέγονται και είναι η γεωμετρία των καλουπιών, η καθίζηση κάποιων κραματικών στοιχείων και η

απελευθέρωση αυτών σε κάποια άλλη χρονική στιγμή που ίσως είναι ανεπιθύμητη, η δημιουργία αερίων από τα κραματικά στοιχεία και η απελευθέρωση αυτών ή η δέσμευση αυτών κ.α.).

Αναφέρεται ότι κατά τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων βγήκε ποσοστό καρβιδίου 5,3% για τον δεύτερο χάλυβα (Gx40NiCrSi35-25), 5,7% για τον τρίτο (x12Cr13), και 8,4% σ-φάση για τον τέταρτο (x20CrNi17-2). Τα ποσοστά αυτά είναι μικρότερα του 10%, κάτι που σημαίνει ότι θα μπορούσε εδώ να μετρηθεί το ακριβές ποσοστό του καρβιδίου με πλέγμα 10x10 σημείων και όχι 5x5, για μεγαλύτερη ακρίβεια. Ωστόσο το αποτέλεσμα παραμένει σε αποδεκτά επίπεδα και δεν χρειάζεται να χρησιμοποιηθεί μεγαλύτερο πλέγμα.

Στη διαδικασία της μικροσκληρομέτρησης και της σκληρομέτρησης, παρατηρείται ότι τα αποτελέσματα των δύο αυτών διαδικασιών συμπίπτουν, δηλαδή μετατρέποντας τα αποτελέσματα της μικροσκληρομέτρησης που είναι σε μονάδες Vickers σε μονάδες Rockwell B, που είναι η μετρητική μονάδα της σκληρομέτρησης, σημειώνονται κοινές τιμές. Αυτό σημαίνει ότι τα πειράματα είναι αξιόπιστα.

Θα μπορούσε να γίνει μια περαιτέρω θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης για να ομαλοποιηθεί η κατάσταση διαλύοντας τα καρβίδια που εμφανίζονται σε όλους τους χάλυβες και διασπείροντας τα, ώστε να αποφευχθούν ακραίες καταστάσεις κατά τις οποίες το υλικό σε κάποια σημεία δείχνει πολύ ευαίσθητο. Προφανώς, η ήδη προυπάρχουσα διαλυτοποίηση που συνέβη στα πλαίσια των πειραματικών διαδικασιών, η οποία απαίτησε θέρμανση των υλικών στους 1000°C για 1 ώρα, δεν ήταν αρκετή για ομαλή διασπορά των καρβιδίων, καθιστώντας απαραίτητη μια διαλυτοποίηση μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας. Στις μεταλλογραφίες επίσης φαίνεται και η ύπαρξη πολλών τελικά εγκλεισμάτων, κάτι που οδηγεί στο προηγούμενο συμπέρασμα σχετικό με τις ενδεχόμενες μη βελτιστοποιημένες συνθήκες χύτευσης, αλλά και προβληματικότητα στις πρώτες ύλες.

3.9.1 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 1 – GX40CrNiSi27-4

Κατά τη χύτευση ξέφυγε κατά κύριο λόγο από το κανονικό η σύσταση του χρωμίου κατά 1%.

Από τις μεταλλογραφικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, συμπεραίνεται ότι πράγματι ο χάλυβας είναι διπλός, όπως αναμενόταν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σκληροτήτων με αυτά που υπάρχουν σε πίνακες για το ίδιο υλικό, συμπεραίνεται ότι επιτεύχθηκε πολύ καλή σκληρότητα σε σχέση με αυτή που δίνουν οι πίνακες (97,5 HRB έναντι 81 HRB που δίνουν οι πίνακες).

Στη ραδιογραφία τα κομμάτια που χυτεύτηκαν ήταν σε γενικές γραμμές καλά. Μόνο δύο δοκίμια χρειάστηκε να απορριφθούν λόγω εσωτερικών προβλημάτων στη συνέχεια τους.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με αυτά από πίνακες, παρατηρείται ότι ο χάλυβας δεν βελτιστοποιήθηκε κι αυτό γιατί α) η επιμήκυνση είναι ελάχιστη, κάτι που φαίνεται και από τη μη εμφάνιση ορίου ροής, δηλαδή ο χάλυβας είναι ψαθυρότατος και καθόλου όλκιμος, β) το όριο θραύσης είναι μικρότερο από αυτό των πινάκων (506 MPA έναντι 515 MPA που μας δίνουν οι πίνακες). Επίσης αναφέρεται ότι ο χάλυβας έχει υποστεί θερμική κατεργασία, ενώ οι πίνακες δίνουν τιμές για κατάσταση as cast, γιατί ο συγκεκριμένος χάλυβας δεν χρησιμοποιείται ευρέως σε κατάσταση μετά από θερμική κατεργασία. Ωστόσο περιπλανόμενοι στο διαδίκτυο και μπαίνοντας σε ηλεκτρονική σελίδα που περιέχει στοιχεία για χάλυβες θερμικά κατεργαζόμενους (www.mtls.com) παρατηρείται ότι σε κατάσταση annealed το όριο θραύσης είναι ακόμη μεγαλύτερο (720 MPA).

Το πολύ μεγάλο ποσοστό σε καρβίδιο, που φαίνεται στις μεταλλογραφίες και επαληθεύεται με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, είναι κάτι που δικαιολογεί την κορυφαία ψαθυρότητα.

3.9.2 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 2 – GX40NiCrSi35-25

Κατά τη χύτευση ξέφυγε κατά κύριο λόγο από το κανονικό η σύσταση του μαγγανίου (0.6%), του χρωμίου (2%) και του νικελίου (8%).

Από τις μεταλλογραφικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, συμπεραίνεται ότι πράγματι ο χάλυβας είναι ωστενίτης, όπως αναμενόταν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σκληροτήτων με αυτά από πίνακες για το ίδιο υλικό, συμπεραίνεται ότι επιτεύχθηκε πολύ καλή σκληρότητα σε σχέση με αυτή που δίνουν οι πίνακες (83,2 HRB έναντι 75 HRB που δίνουν οι πίνακες).

Στη ραδιογραφία τα κομμάτια που χυτεύτηκαν ήταν καλά, καθώς δεν χρειάστηκε να απορριφθεί κανένα δοκίμιο λόγω εσωτερικών πόρων, ασυνεχειών, εγκλεισμάτων ή κάτι ανάλογο που θέτει το δοκίμιο ακατάλληλο προς περαιτέρω μηχανική κατεργασία.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με αυτά από πίνακες, παρατηρείται ότι ο χάλυβας βελτιστοποιήθηκε μόνο μερικώς κι αυτό γιατί α) η επιμήκυνση είναι ελάχιστη, κάτι που φαίνεται και από τη μη εμφάνιση ορίου ροής, δηλαδή ο χάλυβας είναι ψαθυρότατος και καθόλου όλκιμος, ενώ απ' την άλλη β) το όριο θραύσης είναι μεγαλύτερο από αυτό των πινάκων (463,5 MPA έναντι 440 MPA που δίνουν οι πίνακες). Επίσης αναφέρεται ότι ο χάλυβας έχει υποστεί θερμική κατεργασία, ενώ οι πίνακες δίνουν τιμές για κατάσταση as cast, γιατί ο συγκεκριμένος χάλυβας δεν χρησιμοποιείται ευρέως μετά από θερμική κατεργασία. Ωστόσο μπαίνοντας σε ηλεκτρονική σελίδα που περιέχει στοιχεία για χάλυβες θερμικά κατεργαζόμενους (www.mtls.com) διαπιστώνεται ότι σε κατάσταση annealed το όριο θραύσης είναι ακόμη μεγαλύτερο (~640 MPA) που σημαίνει τελικά ότι η βελτιστοποίηση δεν έγινε. Εξάλλου παραδεχόμενοι τη πολύ μικρή διαφορά 463,5 από 440 MPA πάλι φαίνεται ότι δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

Το ποσοστό σε καρβίδιο και σε σ-φάση, που παρατηρείται στις μεταλλογραφίες και επαληθεύεται με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, είναι κάτι που δικαιολογεί τη ψαθυρότητα.

3.9.3 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 3 – X12Cr13

Κατά τη χύτευση ξέφυγε από το κανονικό η σύσταση του χρωμίου (1%) και του νικελίου (4.3%).

Από τις μεταλλογραφικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, διαπιστώνεται ότι πράγματι ο χάλυβας είναι μαρτενσίτης, όπως αναμενόταν. Αναφέρεται επίσης ότι κατά τη διάρκεια της όλης μεταλλογραφικής διαδικασίας, η συμπεριφορά του συγκεκριμένου χάλυβα ήταν διαφορετικότερη από τους άλλους χάλυβες, κάτι που εξηγείται από τη κορυφαία τιμή στη σκληρότητά του, σε σχέση με τους άλλους χάλυβες.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σκληροτήτων με αυτά από πίνακες για το ίδιο υλικό, συμπεραίνεται ότι επιτεύχθηκε πολύ καλή σκληρότητα σε σχέση με αυτή που δίνουν οι πίνακες (112,8 HRB έναντι 93,5 HRB που δίνουν οι πίνακες).

Στη ραδιογραφία τα κομμάτια που χυτεύτηκαν ήταν αρκετά καλά. Μόνο ένα δοκίμιο χρειάστηκε να απορριφθεί λόγω εσωτερικών προβλημάτων στη δομή του.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με αυτά από πίνακες, παρατηρείται ότι ο χάλυβας βελτιστοποιήθηκε, καθώς το όριο θραύσης είναι μεγαλύτερο από αυτό των πινάκων (1058,5 MPA έναντι 650 MPA που μας δίνουν οι πίνακες). Αναφέρεται επίσης ότι ανατρέχοντας σε πίνακες φαίνεται ότι ακόμη και μετά από θερμική κατεργασία το όριο θραύσης ανεβαίνει σε περίπου 1030 MPA, δηλαδή ακόμη και τότε ο χάλυβας υπερέχει. Ωστόσο δεν έχει επιφερθεί βελτιστοποίηση ως προς το όριο ροής και ως προς

τη μέγιστη επιτυγχανόμενη επιμήκυνση (elongation), κάτι που προβληματίζει και οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η διαδικασία ψύξης μετά από τη χύτευση πρέπει να μην ήταν η βέλτιστη, ψαθυροποιώντας πολύ το χάλυβα. Πιο συγκεκριμένα, φαίνεται ότι η ψύξη ήταν πολύ βίαιη και γρήγορη ώστε ο χάλυβας να έγινε πολύ ψαθυρός τελικά.

3.9.4 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 4 – X20CrNi17-2

Κατά τη χύτευση, φαίνεται πως ξέφυγε από το κανονικό η σύσταση του μαγγανίου (0.7%), του χρωμίου (1.5%) και του νικελίου (4.9%).

Από τις μεταλλογραφικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, παρατηρείται ότι πράγματι ο χάλυβας είναι διπλός, όπως αναμενόταν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σκληροτήτων με αυτά από πίνακες για το ίδιο υλικό, συμπεραίνεται ότι δεν επιτεύχθηκε πολύ καλή σκληρότητα σε σχέση με αυτή που δίνουν οι πίνακες (242,2 HB έναντι 295 HB που δίνουν οι πίνακες).

Στη ραδιογραφία τα κομμάτια που χυτεύτηκαν ήταν σχετικά καλά, καθώς χρειάστηκε να απορριφθούν 4 δοκίμια λόγω εσωτερικών προβλημάτων στην εσωτερική δομή τους, κάτι που έκρινε αυτά τα δοκίμια ακατάλληλα προς περαιτέρω μηχανική κατεργασία.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με αυτά από πίνακες, συμπεραίνεται ότι ο χάλυβας δεν φαίνεται να βελτιστοποιήθηκε κι αυτό γιατί το όριο θραύσης είναι μικρότερο από αυτό των πινάκων (642,75 MPA έναντι 950 MPA που μας δίνουν οι πίνακες). Βέβαια αναφέρεται ότι οι πίνακες σε αυτόν τον συγκεκριμένο χάλυβα γράφουν ότι το όριο θραύσης είναι μικρότερο ή ίσο του 950 MPA, αλλά το 642,75 MPA κρίνεται πολύ μικρό για βελτιστοποιημένη τιμή. Σημειώνεται κιόλας ότι τόσο η επιμήκυνση (elongation), όσο και το όριο ροής δεν υπάρχουν στην περίπτωση του συγκεκριμένου χάλυβα, ενώ στο πείραμα εφελκυσμού βγαίνουν

τιμές και για τα δύο μεγέθη, ερχόμενοι ακριβώς σε αντιδιαστολή με τους άλλους χάλυβες, στους οποίους βγήκαν μικρή επιμήκυνση και ανύπαρκτο όριο ροής, ενώ οι πίνακες δίνουν μεγαλύτερη επιμήκυνση και υπαρκτό όριο ροής. Αναφέρεται βέβαια ότι εφόσον η σύσταση των κραματικών στοιχείων ξέφυγε μερικώς, δεν μπορεί να υφίσταται μια απόλυτα σωστή σύγκριση όπως γίνεται αντιληπτό.

Το ποσοστό σε σ-φάση, που παρατηρείται στις μεταλλογραφίες και επαληθεύεται με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, είναι κάτι που δικαιολογεί τη ψαθυρότητα.

3.9.5 ΑΝΟΞΕΙΔΩΤΟΣ ΧΑΛΥΒΑΣ 5 – GX40CrNiSi25-20

Κατά τη χύτευση ξέφυγε από το κανονικό η σύσταση του άνθρακα (0.1%), του μαγγανίου (0.8%), του χρωμίου (5.1%) και του νικελίου (1.8%).

Από τις μεταλλογραφικές αναλύσεις, σε συνδυασμό με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, συμπεραίνεται ότι πράγματι ο χάλυβας είναι ωστενίτης, όπως αναμενόταν.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των σκληροτήτων με αυτά από πίνακες για το ίδιο υλικό, συμπεραίνεται ότι επιτεύχθηκε πολύ καλή σκληρότητα σε σχέση με αυτή που δίνουν οι πίνακες (88,5 HRB έναντι 75 HRB που δίνουν οι πίνακες).

Στη ραδιογραφία τα κομμάτια που χυτεύτηκαν ήταν σχετικά καλά, καθώς χρειάστηκε να απορριφθούν 4 δοκίμια λόγω εσωτερικών προβλημάτων στην εσωτερική δομή τους, κάτι που έκρινε αυτά τα δοκίμια ακατάλληλα προς περαιτέρω μηχανική κατεργασία.

Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού σε σχέση με αυτά από πίνακες, συμπεραίνεται ότι ο χάλυβας βελτιστοποιήθηκε μόνο μερικώς κι αυτό γιατί α) η επιμήκυνση είναι ελάχιστη, κάτι που φαίνεται και από τη μη εμφάνιση ορίου ροής, δηλαδή ο χάλυβας είναι ψαθυρότατος και καθόλου όλκιμος, ενώ απ' την άλλη β) το όριο θραύσης είναι μεγαλύτερο από

αυτό των πινάκων (450.8 MPA έναντι 440 MPA που δίνουν οι πίνακες). Αναφέρεται βέβαια ότι εφόσον η σύσταση των κραματικών στοιχείων ξέφυγε, δεν μπορεί να υφίσταται μια σωστή σύγκριση όπως γίνεται αντιληπτό. Επίσης ο χάλυβας έχει υποστεί θερμική κατεργασία, ενώ οι πίνακες δίνουν τιμές για κατάσταση as cast, γιατί ο συγκεκριμένος χάλυβας δεν χρησιμοποιείται ευρέως μετά από θερμική κατεργασία. Ωστόσο μπαίνοντας σε ηλεκτρονική σελίδα που περιέχει στοιχεία για χάλυβες θερμικά κατεργαζόμενους (www.mtls.com) παρατηρείται ότι σε κατάσταση annealed το όριο θραύσης είναι ακόμη μεγαλύτερο (655 MPA) που σημαίνει τελικά ότι η βελτιστοποίηση δεν έγινε. Εξάλλου παραδεχόμενοι τη πολύ μικρή διαφορά 450,8 από 440 MPA φαίνεται ότι δεν υπάρχει ουσιαστική βελτίωση.

Το σεβαστό ποσοστό σε καρβίδιο, αλλά και της σ-φάσης που φαίνεται στις μεταλλογραφίες και επαληθεύεται με τη μέθοδο εύρεσης ποσοστού φάσεων, είναι κάτι που δικαιολογεί τη ψαθυρότητα.

3.10 ΕΚΘΕΣΗ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

Παρακάτω ακολουθεί και το πιστοποιητικό που δηλώνει την ποιότητα των ραδιογραφικών ελέγχων.

Σχ. 3.10.1 Έκθεση εγκυρότητας ραδιογραφικών ελέγχων



ΕΤΑΙΡΕΙΑ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ Α.Ε.
METALLURGICAL INDUSTRIAL RESEARCH & TECHNOLOGICAL DEVELOPMENT S.A.

ΕΛΛΑΔΙΣ Πιστοποιημένο Σύστημα Ποιότητας - Εργαστήριο Δοκιμών - ΕΛΟΤ ΕΝ ISO 9002 - ΑΡ. 02.35.03.021

ΕΚΘΕΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΩΝ ΕΛΕΓΧΩΝ

Σχετικά πρότυπα για σύνταξη Έκθεσης EN 45001 - ISO GUIDE 25

01. ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ	:	ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΟΥ ΕΛΕΓΧΟΥ
02. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	:	Α' ΒΙ.ΠΕ. - 385 00 ΒΟΛΟΣ
03. ΗΜΕΡ. ΠΑΡΑΛΑΒΗΣ ΔΕΙΓΜΑΤΟΣ	:	12.05.2000
04. ΟΝΟΜΑ ΠΕΛΑΤΗ	:	ΠΑΒΕ 97 ΒΕ 299
05. ΔΙΕΥΘΥΝΣΗ ΠΕΛΑΤΗ	:	
06. ΚΩΔ. ΕΡΓΟΥ	:	
07. ΚΩΔ. ΕΙΣΕΡΧΟΜ. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	:	13766-13805

ΔΗΛΩΣΗ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ ΕΛΕΓΧΟΥ

Τα αποτελέσματα της παρούσας εξέτασης αφορούν αποκλειστικά και ΜΟΝΟΝ τα δείγματα που υποβλήθηκαν σε αυτόν τον έλεγχο.

ΔΗΛΩΣΗ ΕΓΚΥΡΟΤΗΤΑΣ ΑΝΑΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΠΑΡΟΥΣΙΑΣ ΕΚΘΕΣΗΣ

Η παρούσα έκθεση επιτρέπεται να αναπαράχθει ΜΟΝΟΝ στο σύνολο των σελίδων της, χωρίς την έγκριση του εργαστηρίου. Επιμέρους αναπαραγωγή του παρόντος εντύπου εγγράφου δεν έχει την ισχύ έγκυρης έκθεσης.

08. ΑΡΙΘ. ΕΚΘΕΣΗΣ ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟΥ	:	145
09. ΗΜΕΡ. ΕΚΤΕΛΕΣΗΣ	:	15.05.2000
10. ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΔΟΚΙΜΙΟΥ	:	-
11. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΕΡΓΟΥ	:	ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ ΔΟΚΙΜΙΩΝ
12. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	:	ΧΥΤΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΧΑΛΥΒΑ
13. ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ	:	Π. ΚΩΤΟΥΛΑΣ
14. ΕΙΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ / ΔΟΚΙΜΗΣ	:	ΡΑΔΙΟΓΡΑΦΙΚΟΣ ΕΛΕΓΧΟΣ
15. ΣΥΣΚΕΥΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΗΘΗΚΑΝ	:	ANDREX SMART 225
16. ΠΡΟΤΥΠΑ / ΠΡΟΔΙΑΓΡΑΦΕΣ	:	ASME VIII - ASTM E155
17. ΤΑΥΤΟΤΗΤΑ ΜΗ ΤΥΠΟΠ. ΔΙΑΔΙΚ.	:	-

Σελ. 1 από 4

ΕΒΤΙΜ - 0378 / 10 Οκτ. '97

U2353W

Γραφείο Θεσσαλονίκης: Βασιλίσσης Παυλίδης, 579 22 Σίνδου
Προϊσταμένη επίσημα: Ιωάννα Λαλά, 579 22 Σίνδου, Θεσσαλονίκη
Tel & Fax: +30-57-797367

Κεντρικό: Α' Βιομηχανική Περιοχή, 505 00 Βόλος
Head office: A' Industrial Area, 505 00 Volos, Greece
Tel: +30-421-86240/1/2, Fax: +30-421-86264
E-MAIL: mirtec@mirtec.gr

Γραφείο Αθηνών: Βασιλίσσης 84, 117 40 Αθήνα
Αθήνα office: Vasilissis 84, 117 40 Athens, Greece
Tel.: +30-1-4270616, Fax: +30-1-4270941

4 ΓΕΝΙΚΑ ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

- Το κύριο στοιχείο που επηρέασε αρνητικά τις ιδιότητες των χαλύβων, είναι πως επειδή μετά τη χύτευση τα υλικά ήταν πολύ σκληρά και δεν επιδεχόντουσαν κοπή, για να μαλακώσουν θερμάνθηκαν στους 1000 °C επί μια ώρα, κάτι που όπως φάνηκε δεν ήταν αρκετό για να διαλυθούν τα καρβίδια, τα οποία χρειάζονται περισσότερη ώρα θέρμανσης για να διαλυθούν. Έτσι, παρατηρούνται σημαντικά ποσοστά καρβιδίων και περιοχών που βρίσκονται συγκεντρωμένα καρβίδια επιφέροντας ιδιότητες μεγάλης ψαθυρότητας στα υλικά.
- Η χύτευση παρουσιάζει κάποια σημεία προβληματισμού, καθώς εκτός από τις ελαφρώς διαφορετικές συστάσεις των κραματικών στοιχείων, σημειώνεται και ύπαρξη πολλών εγκλεισμάτων. Αυτά ακριβώς τα εγκλείσματα, συντελούν στην όλη αρνητική εικόνα που έχουν οι χάλυβες, και αυτό γιατί αν ακόμη υποθεθεί τέλεια και ιδεατή βελτιστοποίηση στα ποσοστά στοιχείων και φάσεων, η ύπαρξη κάποιων εγκλεισμάτων και κενών στη δομή των υλικών, αποφέρει εντελώς διαφορετικές ιδιότητες από αυτές που αναμένονται.
- Άμεση και προφανής βελτιστοποίηση σε εφαρμογές στατικών και μη κρουστικών φορτίων έχει επιτευχθεί στον ανοξειδωτο χάλυβα X12Cr13 (χάλυβας 3). Οι άλλοι χάλυβες δεν βελτιστοποιήθηκαν.

- Έχει επιτευχθεί βελτιστοποίηση ως προς τη σκληρότητα των τεσσάρων από τους πέντε χάλυβες. Ο χάλυβας X20CrNi17-2 (χάλυβας 4) δεν βελτιστοποιήθηκε ως προς τη σκληρότητα.
- Το κοινώς αποδεχόμενο στοιχείο πως οι διπλοί χάλυβες έχουν καλύτερη αντοχή από τους ωστενίτες ισχύει και στην περίπτωση μας. Η αντοχή μάλιστα αυτή αυξάνει με την αύξηση του ποσοστού σε φερρίτη. Πράγματι ο 4^{ος} χάλυβας (X20CrNi17-2) είναι ο καλύτερος διπλός, έχοντας και περισσότερο φερρίτη από τον 1^ο (GX40CrNiSi27-4). Κάτι ανάλογο ισχύει και για τη σχέση του 2^{ου} (GX40NiCrSi35-25) και 5^{ου} (GX40CrNiSi25-20) χάλυβα, με το ποσοστό του ωστενίτη (που αυξάνει την ολκιμότητα), αλλά εδώ μεγαλώνει πολύ το ποσοστό καρβιδίων, που αλλάζει την συμπεριφορά.
- Συνίσταται μια θερμική κατεργασία διαλυτοποίησης, συμπληρώνοντας την προηγούμενη διαλυτοποίηση και ολοκληρώνοντας τη διασπορά των καρβιδίων, κατά την οποία καρβίδια θα διαλυθούν, αλλά και τυχόν ανεπιθύμητες ατέλειες θα ομαλοποιηθούν. Αποτέλεσμα της θερμικής κατεργασίας θα είναι εξάλλου η αύξηση της αντοχής, αλλά και η μείωση της μεγάλης ψαθυρότητας που σημειώνεται. Βέβαια όλα είναι ανάλογα της χρήσης, για την οποία πρόκειται να χρησιμοποιηθούν οι χάλυβες και η οποία θα οδηγήσει στη δημιουργία χάλυβα ψαθυρότατου αλλά συγχρόνως ισχυρού σε υψηλές θερμοκρασίες και στατικά φορτία ή μαλακότερου, όλκιμου αλλά συγχρόνως αδύνατου να αντέξει υψηλά φορτία.
- Συνίσταται να γίνει ακόμη μια χύτευση και επανάληψη όλων των διαδικασιών μελέτης από την αρχή, για μελέτη και επαλήθευση της βελτιστοποίησης. Έχοντας αποκτήσει πείρα πλέον με την πρώτη χύτευση, θα αποφευχθούν λάθη και τυχόν παραλήψεις.

5 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- **Stainless Steels**, *R. A. Lula*, American Society for metals (ASM), 1986
- **Stainless Steels**, *P. Lacombe, B. Baroux, G. Beranger*, UGINE, Physique Les Ulis, 1993
- **Βελτίωση ποιότητας χυτών αντικειμένων από ανοξείδωτο και πυρίμαχο χάλυβα**, *Μπάμπης Νομίδης*, διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας, 1999
- **Handbook of materials selection for engineering applications**, *G. T. Murray*, Marcel Dekker Inc., 1997
- **Duplex Stainless Steels '91**, Volume 1-2, *J. Charles, S. Bernhardson*, Les editions de physique, 1991