

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΥΛΙΚΩΝ

ΜΕΛΕΤΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΕ ΑΝΤΑΙΑ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΘΕΕΟΣ

ΜΕΛΕΤΗ: ΕΛΕΝΗ ΑΜΑΝΑΤΙΔΟΥ
ΕΠΙΒΛΕΨΩΝ: Γ. Ν. ΧΑΪΔΕΜΕΝΟΠΟΥΛΟΣ, ΕΠΙΚΟΥΡΟΣ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 1996



αρ. εισ. 38/π.Α.



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

Αριθ. Εισ.: 1509/1

Ημερ. Εισ.: 12-09-1997

Δωρεά:

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ - ΜΜΒ

1996

ΑΜΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εξετάζει το φαινόμενο της διάβρωσης όπως αυτό εμφανίζεται στην αντλία φωσφορικού οξέος που λειτουργεί στη μονάδα συμπύκνωσης φωσφορικού οξέος στις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος.

Η εργασία ανατέθηκε στο Εργαστήριο Υλικών, για να δώσει απαντήσεις σε σημαντικά ερωτήματα των ΧΒΒΕ που αφορούν τα είδη της διάβρωσης των υλικών της αντλίας (ανοξειδωτους χάλυβες Fonte ά Cr και 904L) και την αντιμετώπισή της. Παράλληλα το τμήμα συντήρησης των ΧΒΒΕ ενδιαφέρθηκε για τη μελέτη των αναγομώσεων στην αντλία Fonte ά Cr.

Η εργασία περιλαμβάνει μελέτη των υλικών Fonte ά Cr και 904L και επισημάνονται οι μορφές διάβρωσης που παρατηρούνται. Επιπλέον εξετάζονται τα χαρακτηριστικά των αναγομώσεων και η συγκολλησιμότητα του χάλυβα Fonte ά Cr για κάθε ένα από τα πέντε ηλεκτρόδια που χρησιμοποιούνται.

Όπως προκύπτει τα στερεά SiO_2 και γύψος που περιέχονται στο φωσφορικό οξύ είναι η αιτία της μηχανικής διάβρωσης που εξελίσσεται σε τρηματική και διάβρωση των σχισμών. Επιπλέον ο διαφορισμός της δομής των υλικών Fonte ά Cr και 904L ευνοεί την περικρυσταλλική διάβρωση.

Οι αναγομώσεις στο φερριτικό χάλυβα γενικά δεν παρουσιάζουν καλές ιδιότητες με εξαίρεση την περίπτωση του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17.

Για την αντιμετώπιση του προβλήματος προτείνεται να γίνει ομογενοποίηση της δομής των χαλύβων. Στην περίπτωση των αναγομώσεων να χρησιμοποιείται το ηλεκτρόδιο Soudocrom S 17.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1.	ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	σελ. 1.1
2.	ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ.....	σελ. 1.3
3.	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ.....	σελ. 1.4
4.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	σελ. 1.6
4.1.	Διάγραμμα ροής.....	σελ. 1.6
4.2.	Ιδιότητες του οξέος και συνθήκες λειτουργίας.....	σελ. 1.8
4.3.	Τα είδη διάβρωσης στην αντλία.....	σελ. 1.10
4.3.1.	Εισαγωγή.....	σελ. 1.10
4.3.2.	Τρηματική διάβρωση.....	σελ. 1.12
4.3.3.	Σπηλαιώση.....	σελ. 1.14
4.3.4.	Μηχανική διάβρωση.....	σελ. 1.15
4.4.	Τα υλικά.....	σελ. 1.16
4.4.1.	Χαρακτηρισμός των υλικών.....	σελ. 1.16
4.4.2.	Επίδραση των κραματικών στοιχείων στις ιδιότητες του χάλυβα.....	σελ. 1.18
5.	ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ.....	σελ. 1.20
5.1.	Εισαγωγή.....	σελ. 1.20
5.2.	Χάλυβες Fonte ά Cr και 904L.....	σελ. 1.21
5.3.	Αναγόμωση της αντλίας Fonte ά Cr.....	σελ. 1.22
6.	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ -ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	σελ. 1.24
6.1.	Χάλυβες Fonte ά Cr και 904L.....	σελ. 1.24
6.1.1.	Αποτελέσματα οπτικής μικροσκοπίας.....	σελ. 1.24
6.1.2.	Αποτελέσματα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας.....	σελ. 1.25
	του χάλυβα Fonte ά Cr	
6.1.3.	Θερμοδυναμική μελέτη.....	σελ. 1.26
6.1.4.	Παρατηρήσεις.....	σελ. 1.27
6.2.	Αναγομώσεις.....	σελ. 1.29
6.2.1.	Soudofonte B 24.....	σελ. 1.29
6.2.2.	Soudocrom S 17.....	σελ. 1.31
6.2.3.	Fox Eas 2-A, E 308L-16.....	σελ. 1.34
6.2.4.	Soudonickel.....	σελ. 1.35
6.2.5.	Fox GFW.....	σελ. 1.36

7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	σελ. 1.37
8.	ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	σελ. 1.38
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	σελ. 1.39
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι (Σχήματα, Φωτογραφίες και Πίνακες)	
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ (Φωτογραφίες)	

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι

<u>Σχήμα/Πίνακας/Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Σχ.1: Μονάδα φωσφορικού οξέος. Διάγραμμα ροής.....	2.1
Σχ. 2: Διάγραμμα Schaeffler. Επίδραση των κραματικών στοιχείων στη βασική δομή των χρωμιονικελιούχων ανοξειδωτων χαλύβων.....	2.2
Σχ. 3: Καμπύλες χρόνου-θερμοκρασίας-ευαισθητοποίησης για τον ανοξειδωτο χάλυβα 304.....	2.2
Σχ. 4: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας από την περιοχή των δενδριτών.....	2.3
Φώτο I: Δενδρίτες του χάλυβα Fonte ά Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου.....	2.3
Σχ. 5: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας στην περιοχή μεταξύ των δενδριτών.....	2.4
Φώτο II: Χάλυβας Fonte ά Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Η γκρι περιοχή είναι το υλικό μεταξύ των δενδριτών....	2.4
Σχ. 6: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σε καρβίδια του χρωμίου....	2.5
Σχ 7: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας στους κρατήρες που σχηματίζονται από τη διάβρωση του υλικού.....	2.6
Φώτο III: Χάλυβας Fonte ά Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου από τους κρατήρες.....	2.6
Φώτο IV: Χάλυβας Fonte ά Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το υλικό απογυμνώνεται από τις λευκές περιοχές (δενδρίτες). Το γκρι φόντο είναι το υλικό γύρω από τους δενδρίτες. Στους κρατήρες φαίνονται οι διάφορες επικαθίσεις.....	2.7
Φώτο.V: Χάλυβας Fonte ά Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το υλικό απογυμνώνεται από τις λευκές περιοχές (δενδρίτες). Το γκρι φόντο είναι το υλικό γύρω από τους δενδρίτες. Στους κρατήρες φαίνονται οι διάφορες επικαθίσεις.....	2.7
Σχ. 8: Διάγραμμα φάσης του χάλυβα Fonte ά Cr.....	2.8
Σχ. 9: Διάγραμμα NP του χάλυβα Fonte ά Cr. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.9

<u>Σχήμα/Πίνακας/Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Σχ. 10: Διάγραμμα NP του χάλυβα Fonte á Cr. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης. Λεπτομέρεια του σχήματος 9.....	2.10
Σχ. 11: Διάγραμμα φάσης του χάλυβα 904 L.....	2.11
Σχ. 12: Διάγραμμα NP του χάλυβα 904 L. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.12
Πιν.1: Χημική σύσταση των ηλεκτροδίων και συνθήκες αναγόμεσης..	2.13
Σχ. 13: Αναγόμεση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμεσης. Φαρδύ τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναγόμεση 55A.....	2.14
Σχ. 14: Αναγόμεση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμεσης. Λεπτό τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναγόμεση 55A.....	2.14
Σχ. 15: Αναγόμεση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμεσης. Φαρδύ τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναγόμεση 60A.....	2.15
Σχ. 16: Αναγόμεση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμεσης για το λεπτό (1ds) και το φαρδύ (1dl) τμήμα. I=55A.....	2.16
Σχ. 17: Αναγόμεση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμεσης για το λεπτό (1ds) , το φαρδύ (1dl) τμήμα, με I=55A και το φαρδύ τμήμα με I=60A (1e).....	2.16
Σχ. 18: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24.....	2.17
Σχ. 19: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.18
Σχ. 20: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24. Λεπτομέρεια του σχήματος 19.....	2.19
Φώτο.VI-VII: Περιοχή μικροσκληρομέτρησης δοκιμίου Soudocrom S 17 (φαρδιά διατομή, 2l).....	2.20
Φώτο.VIII-IX: Περιοχή μικροσκληρομέτρησης δοκιμίου Soudocrom S 17 (λεπτή διατομή, 2s).....	2.21

<u>Σχήμα/Πίνακας/Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Σχ. 21: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (2l) τμήμα.....	2.22
Σχ. 22: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers- απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (2s) τμήμα.....	2.22
Σχ. 23: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (2l) και το λεπτό (2s) τμήμα.....	2.23
Σχ. 24: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - διατομής (z). Η μέτρηση έγινε κατά μήκος της αναγόμευσης, στο υλικό του χάλυβα Fonte á Cr, σε απόσταση 1mm από την επαφή.....	2.23
Σχ. 25: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17.....	2.24
Σχ. 26: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.25
Σχ. 27: Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (3l) τμήμα.....	2.26
Σχ. 28: Αναγόμευση με Fox Eas 2-A E 308L-16. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (3s) τμήμα.....	2.26
Σχ. 29: Αναγόμευση με Fox Eas 2-A E 308L-16. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (3l) και το λεπτό (3s) τμήμα.....	2.27
Σχ. 30: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Fox Eas 2-A E 308L-16.....	2.28
Σχ. 31: Διάγραμμα NP του Fox Eas 2-A E 308L-16. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.29
Σχ. 32: Αναγόμευση με Soudonickel. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (4l) τμήμα.....	2.30
Σχ. 33: Αναγόμευση με Soudonickel. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (4s) τμήμα.....	2.30

<u>Σχήμα/Πίνακας/Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Σχ. 34: Αναγόμευση με Soudonickel. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (4l) και το λεπτό (4s) τμήμα.....	2.31
Σχ. 35: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudonickel.....	2.32
Σχ. 36: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudonickel. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	3.33
Σχ. 37: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudonickel. Λεπτομέρεια του σχήματος 36.....	3.34
Σχ. 38: Αναγόμευση με Fox GFW. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (5l) τμήμα.....	2.35
Σχ. 39: Αναγόμευση με Fox GFW. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (5s) τμήμα.....	2.35
Σχ. 40: Αναγόμευση με Fox GFW. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (5l) και το λεπτό (5s) τμήμα.....	2.36
Σχ. 41: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Fox GFW.....	2.37
Σχ. 42: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Fox GFW. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.....	2.38
Σχ. 43: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers- απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων. Η μέτρηση #12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.....	2.39
Σχ. 44: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers- απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων (φαρδιές διατομές). Η μέτρηση #12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.....	2.40
Σχ. 45: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers- απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων (λεπτές διατομές). Η μέτρηση #12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.....	2.41

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

<u>Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Φώτο 1: (X10). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.1
Φώτο 2: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.1
Φώτο 3: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.2
Φώτο 4: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.2
Φώτο 5: Διάβρωση του εσωτερικού της αντλίας Fonte á Cr.....	3.3
Φώτο 6: (X6,5). Τρηματική διάβρωση (pitting) του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.3
Φώτο 7: (X16). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.4
Φώτο 8: (X16). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.4
Φώτο 9: (X50). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.5
Φώτο 10: (X50). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.5
Φώτο 11: (X50). Επιλεκτική διάβρωση του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.6
Φώτο 12: (X50). Δομή του χάλυβα 904L. Η φωτογραφία είναι από τη ρέπλικα.....	3.7
Φώτο 13: (X50) Δομή του χάλυβα 904L. Η φωτογραφία είναι από τη ρέπλικα.....	3.7
Φώτο 14: (X100). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.8
Φώτο 15: (X100). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr.....	3.8
Φώτο 16: (X500). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr. Οι λευκές περιοχές είναι οι δενδρίτες, οι γκρίζες το υλικό ανάμεσά τους και οι μαύρες τα καρβίδια. Στα όρια των κόκκων έχουμε καθίζηση φάσης High Sigma.....	3.9
Φώτο 17: (X500). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr. Οι λευκές περιοχές είναι οι δενδρίτες, οι γκρίζες το υλικό ανάμεσά τους και οι μαύρες τα καρβίδια. Στα όρια των κόκκων έχουμε καθίζηση φάσης High Sigma.....	3.9
Φώτο 18: Το τεμάχιο από Fonte á Cr, έντονα διαβρωμένο από την πλευρά της ροής.....	3.10
Φώτο 19: Το ίδιο τεμάχιο από Fonte á Cr, εδώ από την άλλη πλευρά, και με τις αναγομώσεις.....	3.10
Φώτο 20: (X6,5). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι και ρωγμή εφαπτομενικά.....	3.11

<u>Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Φώτο 21: (X10). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1ε). Πόροι και ρωγμή εφαπτομενικά B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια και αλλαγή δομής σε σχέση με την απόσταση από αυτήν.....	3.11
Φώτο 22: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Δενδριτική δομή ηλεκτροδίου.....	3.12
Φώτο 23: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ).....	3.12
Φώτο 24: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια και αλλαγή δομής σε σχέση με την απόσταση από αυτήν.....	3.13
Φώτο 25: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Παρατηρώ ότι η δομή αλλάζει σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.....	3.13
Φώτο 26: (X1000). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια που σχηματίζουν μια διακριτή γραμμή.....	3.14
Φώτο 27: (X500). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια που σχηματίζουν μια διακριτή γραμμή.....	3.14
Φώτο 28-29: (X50). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Εξέλιξη της διάβρωσης. Το ρήγμα που προϋπήρχε αναπτύχθηκε λόγω θερμικών τάσεων και συνάντησε το ρήγμα που δημιουργήθηκε στα όρια της ΘΕΖ.	3.15
Φώτο 30: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Ρήγμα που εισέρχεται στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.....	3.16
Φώτο 31: (X1000). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Λεπτομέρεια της φωτ. 30 όπου φαίνεται ο μηχανισμός διάδοσης του ρήγματος στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.....	3.16
Φώτο 32: (X500). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1ε). Πόροι και ανομοιογένεια στην περιοχή της επαφής.....	3.17
Φώτο 33: (X6,5). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Ρωγμή στο τέλος της ραφής.....	3.18
Φώτο 34: (X6,5). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Καλή επαφή ηλεκτροδίου-Fonte ά Cr.....	3.18
Φώτο 35: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Σχηματισμοί δενδριτών στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.....	3.19
Φώτο 36: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Σχηματισμοί δενδριτών στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.....	3.19

<u>Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Φώτο 37: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Διεπιφάνεια. Παρατηρώ πως στην περιοχή σύντηξης των μετάλλων δεν σχηματίζονται πολλά καρβίδια του χρωμίου λόγω διάχυσης του νιόβιου από το υλικό του ηλεκτροδίου.....	3.20
Φώτο 38-40: (X200). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Μεταβολή της δομής σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.....	3.21
Φώτο 41: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Δεν αναπτύσσονται ρήγματα στη ΘΕΖ.....	3.22
Φώτο 42: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Δεν αναπτύσσονται ρήγματα στη ΘΕΖ.....	3.22
Φώτο 43: (X50). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Ρήγμα που φτάνει ως τη διεπιφάνεια.....	3.23
Φώτο 44: (X200). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Το ρήγμα της φωτ.43 διακόπτεται στην περιοχή του ηλεκτροδίου.....	3.23
Φώτο 45: (X6,5). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγμές στο τέλος της ραφής.....	3.24
Φώτο 46: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγμή στα όρια της ΘΕΖ.....	3.25
Φώτο 47: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγμή στα όρια της ΘΕΖ.....	3.25
Φώτο 48-49: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Μεταβολή της δομής του Fonte á Cr σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.....	3.26
Φώτο 50: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Διεπιφάνεια. Παρατηρείται μια συσσώρευση καρβιδίων.....	3.27
Φώτο 51: (X16). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων με την αναγόμευση.....	3.28
Φώτο 52: (X100). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων τόσο στο μέταλλο του ηλεκτροδίου όσο και στην επαφή των δύο μετάλλων. Συσσώρευση καρβιδίων στη περιοχή της επαφής.....	3.29
Φώτο 53: (X100). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων τόσο στο μέταλλο του ηλεκτροδίου όσο και στην επαφή των δύο μετάλλων. Συσσώρευση καρβιδίων στην περιοχή της επαφής.....	3.29

<u>Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Φώτο 54: (X100). Μία έγχρωμη διάσταση της φωτ. 52.....	3.30
Φώτο 55: (X500). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Ανάπτυξη πόρων στη διεπιφάνεια.....	3.30
Φώτο 56: (X100). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Μεταβολή της δομής του χάλυβα Fonte ά Cr σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.....	3.31
Φώτο 57: (X100). Αναγόμευση με Soudonickel (4). Συσσώρευση καρβιδίων στη διεπιφάνεια και πολύχρωμοι δενδρίτες στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.....	3.31
Φώτο 58: (X6,5). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Πόροι και ρωγμές στη ραφή.....	3.32
Φώτο 59: (X25). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Θραύση κάθετα στην αναγόμευση.....	3.32
Φώτο 60: (X6,5). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Επιφάνεια θραύσης 1...	3.33
Φώτο 61: (X6,5). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Επιφάνεια θραύσης 2...	3.33
Φώτο 62: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Δεν υπάρχουν ρήγματα στα όρια της ΘΕΖ.....	3.34
Φώτο 63: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Δεν υπάρχουν ρήγματα στα όρια της ΘΕΖ.....	3.34
Φώτο 64: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης στη διεπιφάνεια.....	3.35
Φώτο 65: (X500). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης στη διεπιφάνεια.....	3.35
Φώτο 66: (X100). Αναγόμευση με Fox GFW (φαρδιά διατομή). Δομή διεπιφάνειας.....	3.36
Φώτο 67: (X100). Αναγόμευση με Fox GFW (λεπτή διατομή). Δομή διεπιφάνειας. Παρατηρείται μεγαλύτερη συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης από τη φαρδιά διατομή καθώς η θερμοκρασία κατά την αναγόμευση αυξάνεται περισσότερο.....	3.36
Φώτο 68: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δενδρίτες.....	3.37
Φώτο 69: (X50). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού.....	3.37

<u>Φωτογραφία</u>	<u>σελίδα</u>
Φώτο 70: (X500). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δειδρίτες.....	3.38
Φώτο 71: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δειδρίτες.....	3.38
Φώτο 72: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δειδρίτες.....	3.39

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Αντικείμενο της παρούσας διπλωματικής είναι η μελέτη του φαινομένου της διάβρωσης μέσω ενός υπαρκτού βιομηχανικού προβλήματος.

Η διάβρωση αποτελεί ένα σημαντικό λόγο αστοχίας των υλικών, κυρίως στη βιομηχανία και μάλιστα στη χημική βιομηχανία, όπου το περιβάλλον είναι ιδιαίτερα διαβρωτικό. Οι δαπάνες για επισκευή και αντικατάσταση του εξοπλισμού είναι τεράστιες. Πολλές φορές, μάλιστα, δεν είναι δυνατόν να δοθούν άμεσες λύσεις, καθώς οι γνώσεις μας για το πολύπλοκο φαινόμενο της διάβρωσης δεν είναι αρκετές.

Η εργασία μου έχει ως θέμα μελέτης τη διάβρωση της αντλίας φωσφορικού οξέος στις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος (ΧΒΒΕ). Η συγκεκριμένη βιομηχανία αντιμετωπίζει τεράστια προβλήματα που πηγάζουν από την αστοχία του εξοπλισμού, λόγω διάβρωσης. Το κόστος επισκευών αγγίζει τα εκατοντάδες εκατομμύρια ετησίως. Επιπλέον η διακοπή της παραγωγικής διαδικασίας δημιουργεί καθυστερήσεις στη ροή της παραγωγής, γεγονός που ισοδυναμεί με κόστος νεκρού χρόνου.

Θα πρέπει να επισημάνω μια ιδιαιτερότητα της διπλωματικής μου εργασίας που σχετίζεται με την πραγματικότητα της βιομηχανίας, η οποία επιζητά λύσεις πρακτικές και όχι ουτοπικές. Η επιχείρηση δεν διατίθεται να προχωρήσει σε αλλαγές στις συνθήκες ροής του φωσφορικού οξέος, για να αντιμετωπίσει το πρόβλημα της διάβρωσης στην αντλία. Άλλωστε κάτι τέτοιο απαιτεί επανασχεδιασμό του τμήματος, χρονοβόρα και υπεύθυνη δουλειά, που σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να γίνει μέσα στα στενά χρονικά όρια μιας διπλωματικής εργασίας. Συγχρόνως δεν είναι δυνατή η αντικατάσταση της αντλίας, μετά από κάθε αστοχία. Το κόστος κτήσεως είναι πολύ υψηλό. Για τους παραπάνω λόγους οι μηχανικοί της επιχείρησης έχουν προσανατολιστεί σε μια διαδικασία συντήρησης της αντλίας. Χρησιμοποιούν τη μέθοδο της αναγόμωσης, για να καλύψουν τις διαβρωμένες περιοχές της αντλίας. Με αυτόν τον τρόπο αντιμετωπίζουν το πρόβλημα. Το ζήτημα είναι το κατά πόσο αποτελεσματική είναι αυτή η μέθοδος και πιο είναι το καλύτερο ηλεκτρόδιο.

Στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας μου, γίνεται αρχικά μια αναφορά στα είδη της διάβρωσης που παρατηρούνται στην αντλία και μια εκτενέστερη αναφορά στη μελέτη της αποτελεσματικότητας των ηλεκτροδίων που χρησιμοποιούνται για την αναγόμευση της αντλίας.

Σκοπός της εργασίας μου είναι να προτείνει λύσεις και να παρουσιάσει αποτελέσματα, χρήσιμα για τις ΧΒΒΕ. Προσπάθησα με απλό και απέριπτο τρόπο να προσεγγίσω το θέμα.

Για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων χρησιμοποίησα μια πληθώρα φωτογραφιών, οι οποίες τεκμηριώνουν όσα αναφέρω στο κείμενο.

Τελειώνοντας, ευχαριστώ θερμά τους μηχανικούς των ΧΒΒΕ κ. Κερασίδη, κ. Τουλόπουλο και κ. Αποστολέρη για τη συνεργασία τους. Επίσης οφείλω να ευχαριστήσω την ΕΒΕΤΑΜ και συγκεκριμένα την κα Άν. Ζερβάκη και τον κ Π. Πολατίδη για τη διάθεση του τεχνολογικού εξοπλισμού της εταιρίας.

2. ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Είναι σκόπιμο να αναφέρω συνοπτικά τα κεφάλαια που ακολουθούν, ώστε να διαμορφώσει ο αναγνώστης από την αρχή μια γενική εικόνα της εργασίας.

Στο τρίτο κεφάλαιο γίνεται αναφορά στη μεθοδολογία που ακολούθησα κατά τη διάρκεια της μελέτης. Καταγράφονται οι μέθοδοι και τα εργαλεία επίλυσης του προβλήματος.

Ακολουθεί μια βιβλιογραφική ανασκόπηση, στο τέταρτο κεφάλαιο, τόσο των μορφών διάβρωσης που παρατηρούνται στην αντλία, όσο και στις ιδιότητες των υλικών που χρησιμοποιούνται.

Το πέμπτο κεφάλαιο περιλαμβάνει μια περιγραφή της πειραματικής διαδικασίας. Δίνονται πληροφορίες για τα όργανα που χρησιμοποιήσα κατά τη συλλογή των στοιχείων που απαιτούνται για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων.

Για αυτά ακριβώς τα αποτελέσματα γίνεται λόγος στο έκτο κεφάλαιο. Καταγράφονται τα αποτελέσματα και γίνεται συζήτησή τους.

Τα συμπεράσματα και οι προτάσεις της εργασίας αναφέρονται στο έβδομο και όγδοο κεφάλαιο αντίστοιχα.

Την εργασία ολοκληρώνουν το παράρτημα I, όπου περιέχονται όλα τα σχήματα και το παράρτημα II, που περιλαμβάνει όλες τις φωτογραφίες που αναφέρονται στο κείμενο.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΟΣ

Το σημαντικότερο πρόβλημα που είχα να αντιμετωπίσω ήταν η έλλειψη δοκιμίων τόσο από το χάλυβα 904L όσο και από το χάλυβα Fonte á Cr. Το μόνο που μπορούσε να γίνει ήταν να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ρέπλικας. Το πρώτο βήμα που έγινε ήταν η ρέπλικα στην αντλία από το χάλυβα 904L.

Το στοιχείο αυτό δεν ήταν αρκετό. Εξάλλου η εταιρία ενδιαφέρεται περισσότερο για το υλικό Fonte á Cr και αυτό γιατί η αντλία 904L παρουσιάζει μεγάλο ρυθμό μηχανικής κυρίως διάβρωσης. Στην αντλία που λειτουργούσε και ήταν από το υλικό Fonte á Cr δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της ρέπλικας, για δύο λόγους. Πρώτον, η επιφάνεια είχε αρκετή τραχύτητα και απαιτούσε μεγάλη προσπάθεια, για να λειανθεί και να στιλβωθεί. Δεύτερον, η θερμοκρασία ήταν υψηλή, αν συσχετιστεί με τη θερμοκρασία του οξέος γύρω στους 65 C. Σε αυτή τη θερμοκρασία το χαρτί της ρέπλικας δεν είναι δυνατόν να αποτυπώσει τη δομή του χάλυβα.

Με την πρώτη ευκαιρία, όταν δηλαδή η αντλία Fonte á Cr τέθηκε εκτός λειτουργίας για επισκευή, έγινε ρέπλικα στο υλικό, η οποία δεν ήταν επιτυχής. Τα οξέα προσβολής δεν ήταν αρκετά ισχυρά, για να προσβάλλουν την επιφάνεια που είχε στιλβωθεί.

Ευτυχώς μου παραχωρήθηκε από τις XBBE ένα τεμάχιο από το υλικό Fonte á Cr, το οποίο προέρχεται από τη μονάδα φωσφορικού οξέος και του οποίου η διάβρωση είχε τα ίδια χαρακτηριστικά όπως και στην αντλία.

Το τεμάχιο αυτό αρχικά εξετάστηκε και φωτογραφήθηκε στο στερεοσκόπιο. Κόπηκαν δοκίμια τα οποία επίσης εξετάστηκαν στο στερεοσκόπιο. Επιπλέον έγινε μεταλλογραφική ανάλυσή τους. Ακολούθησε η χημική ανάλυση και η μελέτη στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο SEM.

Στο μεταξύ προέκυψε από τις XBBE ότι ενδιαφέρονταν για τις αναγομώσεις στο υλικό Fonte á Cr. Έτσι το επόμενο βήμα ήταν να γίνουν αναγομώσεις στο τεμάχιο που υπήρχε, με πέντε διαφορετικά ηλεκτρόδια.

Μετά από αυτό έγινε η στερεοσκοπική ανάλυση των επιφανειών που προέκυψαν. Στη συνέχεια κόπηκαν δοκίμια από τις αναγομώσεις τα οποία εξετάστηκαν στο οπτικό μικροσκόπιο και σκληρομετρήθηκαν.

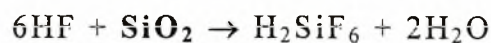
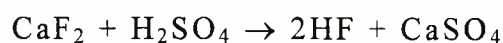
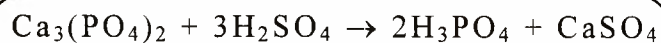
Τελευταίο βήμα ήταν η συλλογή στοιχείων από το Thermo Calc. Για κάθε ηλεκτρόδιο αλλά και για τους χάλυβες Fonte ά Cr και 904L σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα φάσεων και τα διαγράμματα ποσοστού φάσεων ανά θερμοκρασία.

4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

4.1. ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΡΟΗΣ

Μια από τις πολλαπλές δραστηριότητες των Χημικών Βιομηχανιών Βορείου Ελλάδος είναι η παραγωγή φωσφορικού οξέος. Η διαδικασία που ακολουθείται παρουσιάζεται αναλυτικά παρακάτω. Το διάγραμμα ροής (Σχ.1) περιέχεται στο Παράρτημα Ι.

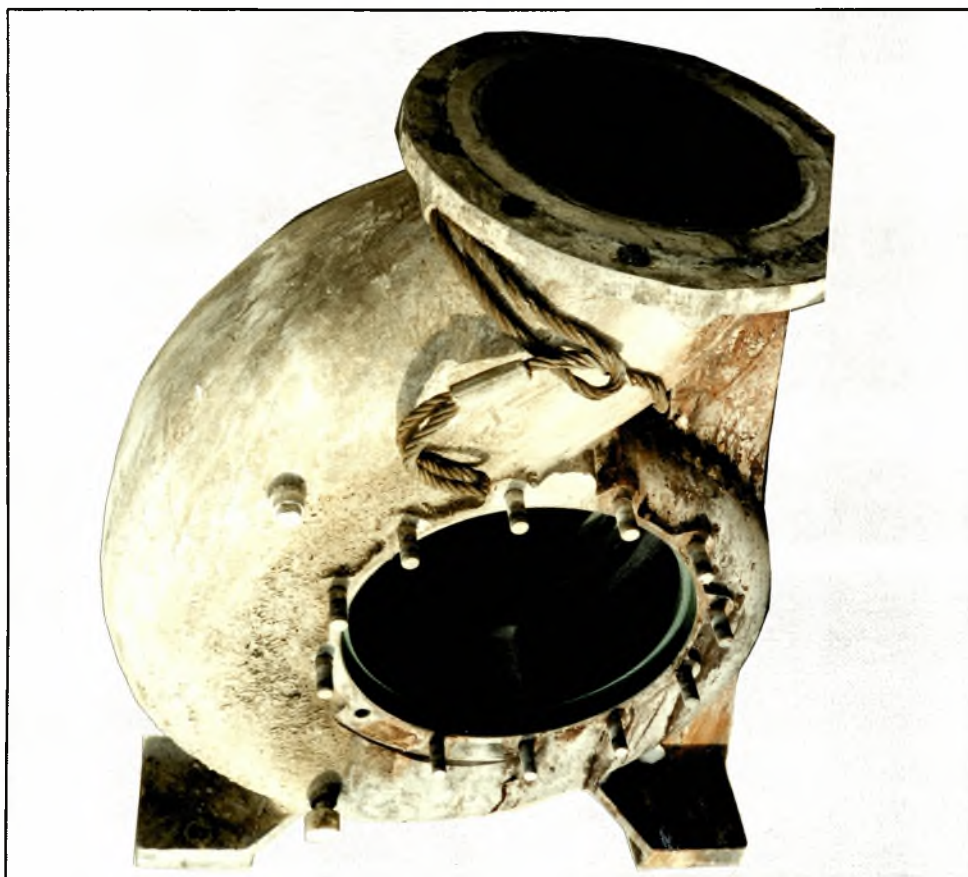
Ο φωσφορίτης αποτελεί την πρώτη ύλη της διαδικασίας. Εισάγεται από το εξωτερικό και από το λιμάνι της Θεσσαλονίκης φτάνει στις αποθήκες. Στη συνέχεια κοσκινίζεται, περνάει από έναν σπαστήρα, και αποθηκεύεται σε σιλό. Από εκεί τροφοδοτείται σε δύο δεξαμενές όπου συγχρόνως εισέρχεται H_2SO_4 . Ο πολτός της μιας δεξαμενής οδηγείται στη δεύτερη και όλο μαζί σε ένα περιστρεφόμενο φίλτρο όπου γίνεται διήθηση υπό κενό. Το πρώτο διήθημα είναι το προϊόν (αραιό φωσφορικό οξύ) το οποίο αποθηκεύεται στις δεξαμενές, και τα επόμενα διηθήματα είναι οξέα πλύσεως τα οποία ανακυκλώνονται στις δεξαμενές αντιδράσεως. Στο φωσφορίτη περιέχεται και CaF_2 το οποίο αντιδρά και δίνει HF . Η επιθετικότητα του φωσφορικού οξέος οφείλεται κυρίως στο υδροφθορικό οξύ, γι' αυτό το λόγο προστίθεται SiO_2 (χαλαζίας) που αντιδρά με το HF και δίνει H_2SiF_6 το ποίο είναι λιγότερο διαβρωτικό. Οι παραπάνω αντιδράσεις έχουν ως εξής:



Τα απαέρια των αντιδράσεων περνούν από ένα σύστημα πλύσης και φεύγουν στην ατμόσφαιρα. Ακολουθεί η συμπύκνωση του φωσφορικού οξέος. Η δυναμικότητα συμπύκνωσης είναι 80-140 tn/ημέρα P_2O_5 σε οξύ. Από τη δεξαμενή αποθήκευσης διοχετεύεται αραιό οξύ στο βραστήρα στον οποίο υπάρχει ταυτόχρονα ανατροφοδοσία από την αντλία 210.1.19. Το οξύ περνάει

μέσα από έναν εναλλάκτη θερμότητας (210.1.04) και αυξάνει τη θερμοκρασία του, και μετά πηγαίνει στο βραστήρα όπου υπάρχει κενό, γίνεται ο βρασμός και το οξύ χάνει νερό. Στη συνέχεια εισάγεται στο φίλτρο 210.1.07. Στο σημείο αυτό κατακρατούνται τα στερεά και το οξύ μέσω της αντλίας 210.1.19 ανακυκλοφορείται. Το προϊόν φεύγει από το βραστήρα υπερχειλιστικά μέσω της αντλίας 210.1.20.

Τα αέρια φεύγουν από το πάνω μέρος του βραστήρα και καταλήγουν στους πύργους πλύσεως 210.1.02 και 210.1.03. Ο πρώτος πύργος είναι για τη δέσμευση του φθορίου, επειδή το φθόριο αν περάσει από την αντλία κενού δημιουργεί προβλήματα, ενώ στο δεύτερο πύργο πλύσεως συμπυκνώνεται το νερό. Κατόπιν υπάρχει ένα ατμοσφαιρικό ψυγείο, 210.1.11, όπου ψύχεται το νερό και ανακυκλοφορείται στο δεύτερο πύργο πλύσεως.



Αντλία 210.1.19 από Fonte á Cr

4.2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΟΞΕΟΣ και ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Στην αντλία κυκλοφορεί φωσφορικό οξύ. Η σύσταση του οξέος εξαρτάται από τη φύση του φωσφορίτη, ο οποίος αποτελεί την πρώτη ύλη της διαδικασίας. Για αυτόν το λόγο το οξύ δεν έχει σταθερή σύσταση, οπότε δίνεται μια τυπική ανάλυση, που έχει ως εξής :

- P_2O_5 : 45/54 %
- F: 10-17 gr/l
- Fe_2O_3 : 1,4 %
- Al_2O_3 : 0,5 %
- SiO_2 : 15 gr/l
- Cl: 150 ppm
- MgO: 0,1 %
- $CaSO_4$: 1 %
- H_2SO_4 : 3 %.

Οι ιδιότητες του οξέος καθώς και οι συνθήκες λειτουργίας είναι οι ακόλουθες:

- πυκνότητα: 1,54-1,66 Kg/dm³
- ιξώδες: 12,5-18 m PaS
- θερμοκρασία: 70-85 °C
- παροχή: 1200 m³/h
- πίεση λειτουργίας: 0,4 bar
- πίεση κατάθλιψης: 3,5 bar.

Υπάρχει μια μικρή απόκλιση της θερμοκρασίας λειτουργίας από τη θερμοκρασία που προτείνει η εταιρία κατασκευής της αντλίας Fonte á Cr.H απόκλιση αυτή είναι της τάξεως των 5-10°C. Από τα στοιχεία που παρουσιάζονται στη συνέχεια, φαίνεται πως η αντιμετώπιση της διάβρωσης έχει να κάνει με το υλικό και όχι με τις συνθήκες λειτουργίας. Ακόμη και αν αλλάξουν αυτές το πρόβλημα δε αντιμετωπίζεται ικανοποιητικά. Για το λόγο

αυτό δε θεώρησα σκόπιμο να μελετήσω την επίδραση των συνθηκών λειτουργίας στο ρυθμό διάβρωσης.

4.3. ΤΑ ΕΙΔΗ ΤΗΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΣΤΗΝ ΑΝΤΛΙΑ

4.3.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Σε προηγούμενες μελέτες που έχουν γίνει από τις Χημικές Βιομηχανίες Βορείου Ελλάδος έχουν παρατηρηθεί οι εξής μορφές διάβρωσης :

- τρηματική (pitting)
- σπηλαιώση (cavitation)
- μηχανική (erosion) - φθορά (abrasion)

Τα στερεά που περιέχει το οξύ παίζουν σημαντικό ρόλο στο είδος της διάβρωσης που παρατηρείται. Η αλουμίνα (Al_2O_3), η γύψος και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) είναι υλικά με μεγάλη σκληρότητα. Αν αυτό σχετιστεί και με την ταχύτητα του οξέος, είναι φανερό πως η τριβή που δημιουργούν είναι σημαντική. Από τις φωτογραφίες φαίνεται ο τρόπος με τον οποίο προσβάλλεται η επιφάνεια (Φώτο:1-4). Με τη σύγκρουση των στερεών στην επιφάνεια σπάει το προστατευτικό στρώμα Cr_2O_3 του ανοξειδωτού χάλυβα της αντλίας και η διάβρωση προχωράει στο εσωτερικό του υλικού. Η ύπαρξη οπών ευνοεί τη διαδικασία της **διάβρωσης σχισμών** (crevice corrosion), και λαμβάνει χώρα η προσβολή κάτω από την επιφάνεια. Στις φωτογραφίες φαίνεται η **τρηματική διάβρωση** (pitting) που προκύπτει. Η επιφάνεια είναι καλυμμένη με τρήματα (Φώτο: 5). Η εικόνα δίνει την εντύπωση πως η διάβρωση δεν έχει προχωρήσει πέρα από το βάθος των τρημάτων (Φώτο: 6). Η φωτογράφιση της τομής φανέρωσε την πραγματική διάσταση του προβλήματος. Το υλικό έχει προσβληθεί σε όλο του το βάθος (Φώτο: 7-10).

Ιδιαίτερα προβλήματα δημιουργεί και η **σπηλαιώση**. Η μείωση της πίεσης του ρέοντος οξέος (σε περιοχές όπου αυξάνεται η ταχύτητα), μέχρι την τάση ατμών του, στις συνθήκες λειτουργίας, συνεπάγεται την έναρξη βρασμού και την εμφάνιση φυσαλίδων ατμού. Ακολουθώντας η μετακίνηση των φυσαλίδων σε περιοχές όπου η τοπική πίεση είναι μεγαλύτερη της τάσης ατμών τους, οδηγεί σε άμεση διάσπαση. Το κενό που δημιουργείται, λόγω της διάσπασης, καλύπτεται με ορμή από το υπόλοιπο υγρό. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται

πολύ μεγάλες τοπικές πιέσεις, ενώ το φαινόμενο συνοδεύεται παράλληλα από θόρυβο και κραδασμούς. Αν η παραπάνω διαδικασία διάσπασης συμβεί πάνω από την επιφάνεια του υλικού, επιφέρει την καταστροφή του προστατευτικού στρώματος που υπάρχει και ευνοεί της παραπέρα διάβρωση. Είναι φανερό πως αυτό επαναλαμβάνεται διαρκώς οπότε η διαβρωτική δράση είναι εκτεταμένη.

Πέρα από τις μακροσκοπικές αυτές μορφές διάβρωσης, παρατηρείται και το φαινόμενο της **περικρυσταλλικής διάβρωσης**. Με την εκτέλεση αναγομώσεων το υλικό ευαισθητοποιείται. Καρβίδια χρωμίου επικάθονται στα όρια των κόκκων και το εσωτερικό αυτών φτωχαίνει σε χρώμιο. Αυτό συνεπάγεται μείωση της αντίστασης στη διάβρωση, αλλά και γαλβανική επαφή δύο διαφορετικών περιοχών. Η προσβολή στην περιοχή που πρόσκειται στα όρια των κόκκων είναι ταχεία (Φώτο: 11).

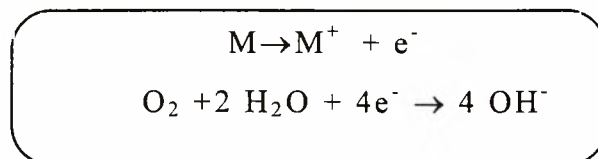
4.3.2. ΤΡΗΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

[1]

Ο τύπος αυτός της διάβρωσης εμφανίζεται τοπικά και έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία οπών στην επιφάνεια του υλικού. Στις περισσότερες περιπτώσεις οι οπές είναι σχετικά μικρού μεγέθους και με διάμετρο περίπου ίση με το βάθος τους. Η επιφάνεια αποκτά μια τραχιά υφή. Αποτελεί μια από τις πλέον καταστροφικές μορφές διάβρωσης, καθώς λόγω του μικρού μεγέθους των οπών και του ό,τι αυτές καλύπτονται συχνά από προϊόντα της διάβρωσης, είναι δύσκολο να ανιχνευτεί.

Οι οπές αναπτύσσονται κυρίως στην κατεύθυνση της βαρύτητας. Σπάνια εμφανίζονται στις κάθετες επιφάνειες και σχεδόν ποτέ αντίθετα από τη βαρύτητα. Ο ρυθμός δημιουργίας των οπών εξαρτάται τόσο από το υλικό όσο και από το διαβρωτικό και τις συνθήκες που επικρατούν.

Οι γνώσεις πάνω στη διάβρωση και ειδικά αυτής της μορφής, είναι λίγες. Ωστόσο θεωρείται πως μία τοπική, αύξηση των κατιόντων του μετάλλου, είναι η αιτία. Κατά την επαφή του μετάλλου με το διαβρωτικό (οξύ), λαμβάνει χώρα μια ταυτόχρονη οξειδωση της μεταλλικής επιφάνειας και αναγωγή του οξυγόνου που έχει ως συνέπεια την παραγωγή κατιόντων μετάλλου και ανιόντων υδροξυλίου.



Από την άλλη το οξύ περιέχει κατιόντα υδρογόνου και ανιόντα όπως Cl^- , F^- . Τα ανιόντα αυτά είναι πιο ευκίνητα από ότι τα υδροξύλια και έτσι σε περίπτωση απότομης αύξησης των κατιόντων μετάλλου τοπικά, σπεύδουν να εξισώσουν το φορτίο με συνέπεια την διαρκώς περισσότερη διάλυση του μετάλλου στην συγκεκριμένη περιοχή. Έτσι αυξάνεται το μέγεθος των οπών, αρκεί να υπάρξει η κινητήρια “δύναμη”, η αύξηση τοπικά των M^+ . Στην περίπτωση που εξετάζω η δημιουργία κάποιων ανωμαλιών στην επιφάνεια προέρχεται και από την τριβή των στερεών που περιέχονται στο οξύ, όπως η γύψος και ο χαλαζίας (SiO_2). Υπάρχουν επομένως εστίες ανάπτυξης οπών. Ταυτόχρονα η κίνηση του οξέος παρασύρει και μεταβάλλει διαρκώς τη συγκέντρωση και τη σύσταση των ιόντων με άμεση συνέπεια τη διακοπή της

τοπικής προσβολής σε ένα σημείο, αλλά ενδεχομένως τη δημιουργία συνθηκών κατάλληλων για ανάπτυξη οπής σε κάποιο άλλο. Η αύξηση της ταχύτητας ροής οδηγεί σε μείωση της τρηματικής διάβρωσης και έτσι δεν παρέχεται ο απαραίτητος χρόνος για την εξέλιξη του φαινομένου. Δεδομένης της παροχής, η ταχύτητα είναι μεγαλύτερη στα σημεία της αντλίας όπου η διατομή μικραίνει. Στα σημεία αυτά αναμένεται πιο ήπια τρηματική διάβρωση. Σε σχέση πάντα με την παρούσα μορφή, καθώς αυτό που φαίνεται στην επιφάνεια της αντλίας είναι η συνισταμένη των επιμέρους μορφών της διάβρωσης.

4.3.3. ΣΠΗΛΑΙΩΣΗ

[2]

Η μείωση της πίεσης του ρέοντος οξέος (σε περιοχές όπου αυξάνεται η ταχύτητα), μέχρι την τάση ατμών του, στις συνθήκες λειτουργίας, συνεπάγεται την έναρξη βρασμού και την εμφάνιση φυσαλίδων ατμού. Ακολούθως η μετακίνηση των φυσαλίδων σε περιοχές όπου η τοπική πίεση είναι μεγαλύτερη της τάσης ατμών τους, οδηγεί σε άμεση διάσπαση. Το κενό που δημιουργείται, λόγω της διάσπασης, καλύπτεται με ορμή από το υπόλοιπο υγρό. Με αυτόν τον τρόπο αναπτύσσονται πολύ μεγάλες τοπικές πιέσεις, ενώ το φαινόμενο συνοδεύεται παράλληλα από θόρυβο και κραδασμούς. Αν η παραπάνω διαδικασία διάσπασης συμβεί πάνω από την επιφάνεια του υλικού, επιφέρει την καταστροφή του προστατευτικού στρώματος που υπάρχει και ευνοεί της παραπέρα διάβρωση. Είναι φανερό πως αυτό επαναλαμβάνεται διαρκώς οπότε η καταστροφή είναι εκτεταμένη. Ο παράγοντας που καθορίζει τη δημιουργία σπηλαιώσης είναι η διαφορά της τάσης ατμών του οξέος από την απόλυτη πίεση του στο σημείο αναφοράς. Η πυκνότητα και η ταχύτητα επιδρούν επίσης. Όλα αυτά περιλαμβάνονται στη σχέση:

$$\sigma = 2 \frac{p - p^{\circ}}{\rho V^2}$$

όπου σ η παράμετρος σπηλαιώσης που χαρακτηρίζει τον κίνδυνο σπηλαιώσης (αδιάστατο μέγεθος), p και p° η απόλυτη πίεση και η τάση ατμών αντίστοιχα (N/m^2), ρ η πυκνότητα (Kg/m^3) και V η ταχύτητα (m/s). Αύξηση του σ εκφράζει μείωση του κινδύνου σπηλαιώσης. Στις περιοχές μικρότερης διατομής όπου η ταχύτητα αυξάνεται ο κίνδυνος σπηλαιώσης αυξάνεται επίσης.

4.3.4. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

[3]

Χαρακτηρίζεται από την επιτάχυνση ή την αύξηση στο ρυθμό προσβολής ενός μετάλλου εξαιτίας της σχετικής κίνησης μεταξύ ενός διαβρωτικού ρευστού και της επιφάνειας του μετάλλου. Συνήθως στην κίνηση αυτή εμπλέκονται και κάποιες τριβές και επιδράσεις στη μηχανική αντοχή. Το μέταλλο αποσπάται από την επιφάνεια με τη μορφή διαλυμένων ιόντων ή σχηματίζει χημικές ενώσεις και παρασύρεται από το ρέον υγρό. Ενώ σε άλλες μορφές διάβρωσης η κίνηση μειώνει την προσβολή, εδώ αντίθετα αύξηση της ταχύτητας επιταχύνει τη διάβρωση. Η επιφάνεια που προσβάλλεται αποκτά μια κυματοειδή μικροδομή στην κατεύθυνση της ροής. Πιο ευαίσθητα σε αυτή τη μορφή της διάβρωσης εμφανίζονται τα μαλακά μέταλλα που υφίστανται εύκολα μηχανικές φθορές. Η μηχανική διάβρωση είναι εντονότατη όταν το οξύ που ρέει περιέχει στερεές ουσίες. Τότε η φθορά (abrasion) είναι αυξημένη. Η περίπτωση αυτή χαρακτηρίζει και τη διάβρωση της αντλίας καθώς το οξύ περιέχει στερεές ουσίες και συγκεκριμένα γύψο και χαλαζία. Η προστασία με επιφανειακά προστατευτικά films είναι κάτι που βοηθά εν μέρει, μόλις όμως τμήμα του film καταστραφεί η διάβρωση προχωρά με ταχύ ρυθμό. Από τα παραπάνω είναι εμφανές πως η ταχύτητα του ρευστού και η ικανότητα του προστατευτικού film να ανανεώνεται γρήγορα και να έχει αυξημένη αντοχή, παίζουν καθοριστικό ρόλο. Τα περισσότερα διαβρωτικά μέσα είναι καταστροφικά και κυρίως εκείνα που περιέχουν στερεά.

Οι ανοξειδωτοί χάλυβες στις περισσότερες περιπτώσεις αυτοπροστατεύονται με τη δημιουργία προστατευτικών films. Οι φερριτικοί και ωστενιτικοί χάλυβες αυτοπροστατεύονται σχηματίζοντας ένα στρώμα Cr_2O_3 . Ο σχηματισμός του προστατευτικού στρώματος κάτω από έντονο οξειδωτικό περιβάλλον ονομάζεται **παθητικοποίηση**. Η πυκνότητα του οξέος και η ταχύτητα του καθορίζουν την περιοχή στην οποία το υλικό μπορεί να εμφανίζεται παθητικοποιημένο και η οποία είναι διαφορετική για κάθε υλικό.

4.4. ΤΑ ΥΛΙΚΑ

4.4.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Υπάρχουν δύο υλικά που έχω να εξετάσω και αυτό, γιατί χρησιμοποιούνται εναλλάξ δύο αντλίες για την ανατροφοδοσία του οξέος. Η κύρια αντλία είναι κατασκευασμένη από ανοξείδωτο χάλυβα Fonte á 30% Cr. Για λόγους ευκολίας την ονομάζω αντλία (F). Η δεύτερη (A), η οποία χρησιμοποιείται μόνο όταν τεθεί η (F) εκτός λειτουργίας για συντήρηση, είναι κατασκευασμένη από τον εμπορικό ανοξείδωτο χάλυβα με την κοινή ονομασία Uranus B6 ή 904L ή κατά UNS:N08904. Η χημική σύσταση των δύο υλικών αναφέρεται αμέσως παρακάτω:

Χημική Σύσταση									
	C	Cr	Ni	Mo	Cu	Si	Mn	P	S
Fonte á 30%Cr	1,342	31,75	-	1,83	-	1,755	0,42	-	-
N08904	≤0,02	19-22	24-27	4-5	1-2	≤1	≤2	0,035	0,025
Fe:υπόλοιπο									

Η χημική σύσταση του χάλυβα Fonte á 30% Cr είναι γνωστή από χημική ανάλυση του υλικού που έγινε στην EBETAM (ΒΙΠΕ Βόλου). Ο χάλυβας N08904 είναι τυποποιημένος οπότε η χημική του σύσταση περιέχεται σε όλα τα εγχειρίδια που έχουν να κάνουν με υλικά.

Ο χάλυβας Fonte á Cr ανήκει στους φερριτικούς ανοξείδωτους χάλυβες. Περιέχει Cr περισσότερο από 10,5% και καθόλου νικέλιο. Ο χάλυβας 904L είναι ωστενιτικός ανοξείδωτος χάλυβας. Αυτό προκύπτει και από το διάγραμμα Schaeffler (Σχ. 2), όπου

$$\text{Cr equivalent}=(\text{Cr})+2(\text{Si})+1,5(\text{Mo})+5(\text{V})+5,5(\text{Al})+1,75(\text{Nb})+1,5(\text{Ti})+0,75(\text{W})$$

$$\text{Ni equivalent}=(\text{Ni})+(\text{Co})+0,5(\text{Mn})+0,3(\text{Cu})+25(\text{N})+30(\text{C})$$

είναι τα ισοδύναμα του χρωμίου και του νικελίου αντίστοιχα και (X) το εκατοστιαίο ποσοστό του στοιχείου X στο χάλυβα. Για τους δύο χάλυβες προκύπτει:

Υλικό	Cr equivalent	Ni equivalent
Fonte á Cr	38,005	0,21
904L	29,25	27

Από το Σχ.2 φαίνεται πως ο χάλυβας Fonte á Cr είναι φερριτικός ενώ ο 904L είναι ωστενιτικός. Για τον υπολογισμό των ισοδυναμιών του χρωμίου και του νικελίου, λαμβάνονται υπόψη τα κυριότερα κραματικά στοιχεία σταθεροποίησης του φερρίτη και του ωστενίτη αντίστοιχα. Κάθε ένα στοιχείο έχει συγκεκριμένο αποτέλεσμα στις ιδιότητες και τη συμπεριφορά του χάλυβα.

4.4.2. ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΣΤΙΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ.

4.4.2.1. Χρώμιο (Cr).

[5]

Η αντίσταση στη διάβρωση οφείλεται στο προστατευτικό film παθητικότητας που σχηματίζει το χρώμιο. Περιεκτικότητα γύρω στο 20% είναι πολύ καλή γιατί αυξάνει την αντίσταση σε διάβρωση, χωρίς να δημιουργεί προβλήματα στις μηχανικές ιδιότητες ή στη συγκολλησιμότητα όπως συμβαίνει για περιεκτικότητες πάνω του 29%. Το χρώμιο παίζει το ρόλο του σταθεροποιητή του φερρίτη (χωροκεντρωμένο κρυσταλλικό πλέγμα, BCC). Ο άνθρακας διαλύεται δύσκολα μέσα στο φερρίτη γι αυτό οι περισσότεροι φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες περιέχουν μικρό ποσοστό άνθρακα. Αντίθετα ο χάλυβας Fonte ά Cr έχει αρκετά υψηλό ποσοστό άνθρακα (1,342%). Το γεγονός αυτό τον κάνει πολύ ευαίσθητο στην περικρυσταλλική διάβρωση, καθώς αν για οποιοδήποτε λόγο η θερμοκρασία αυξηθεί για κάποιο χρονικό διάστημα, σχηματίζονται καρβίδια του χρωμίου τα οποία επικάθονται στα όρια των κόκκων με αποτέλεσμα η περιοχή κοντά στα όρια των κόκκων να απογυμνώνεται από το χρώμιο και να μην είναι σε θέση πλέον να λειτουργήσει αντιοξειδωτικά. Η συμπεριφορά αυτή μειώνει στο ελάχιστο τη συγκολλησιμότητα των φερριτικών χαλύβων. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ευαισθητοποίηση**. Ο χρόνος στον οποίο ευαισθητοποιείται το υλικό, ελαχιστοποιείται για χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Στο Σχ. 3 φαίνεται, για το χάλυβα 304, η επίδραση της περιεκτικότητας σε άνθρακα στο χρόνο που απαιτείται για την ευαισθητοποίηση του υλικού. Δεξιά κάθε καμπύλης αρχίζει η δημιουργία και καθίζηση καρβιδίων του χρωμίου στα όρια των κόκκων.

4.4.2.2. Νικέλιο (Ni).

[5]

Το νικέλιο λειτουργεί ως σταθεροποιητής της ωστενιτικής δομής. Αυξάνει την αντίσταση του χάλυβα στα υγρά οξέα. Η παρουσία του σε αυξημένες ποσότητες βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα και επιταχύνει την εργοσκήρυνση.

4.4.2.3. Μαγγάνιο (Mn).

[5]

Το μαγγάνιο σε μέτριες ποσότητες και σε συνδυασμό με το νικέλιο, έχει ιδιότητες παράλληλες με του νικελίου.

4.4.2.4. Θείο (S).

[5]

Σε συνδυασμό με το μαγγάνιο δημιουργεί σουλφίδια. Η μορφολογία και η σύνθεση αυτών αυξάνει την αντίσταση στη διάβρωση και ιδιαίτερα στην τρηματική διάβρωση.

4.4.2.5. Φώσφορος (P).

[5]

Μαζί με το θείο βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες των χαλύβων.

4.4.2.6. Μολυβδαίνιο (Mo).

[5]

Αυξάνει την αντίσταση στη διάβρωση.

4.4.2.7. Πυρίτιο (Si).

[5]

Μεγαλώνει την αντίσταση στη θερμότητα.

4.4.2.8. Χαλκός (Cu).

[5]

Βελτιώνει την εν ψυχρώ κατεργασία.

4.4.2.9. Τιτάνιο (Ti) - Νιόβιο (Nb).

[6]

Η παρουσία σταθεροποιητών, δηλαδή κραματικών στοιχείων όπως τιτάνιο (Ti) και νιόβιο (Nb) είναι δυνατόν να βελτιώσει τη συμπεριφορά των φερριτικών χαλύβων ενάντια στην ευαισθητοποίηση. Τα στοιχεία αυτά δεσμεύουν τον άνθρακα υπό μορφή καρβιδίων και αποτρέπουν το σχηματισμό καρβιδίων του χρωμίου.

5. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Κατά την πειραματική διαδικασία και τη μελέτη των υλικών στο εργαστήριο χρησιμοποιήθηκαν τα όργανα:

- Κοπτικό μηχάνημα της εταιρίας Struers, τύπου Labotom.
- Λειαντικοί δίσκοι της εταιρίας Struers, τύπου Knuth-Rotor-3 με χαρτία λείανσης No 120-320-500-1000 διαδοχικά.
- Στιλβωτικός δίσκος της Struers, τύπου DAP-V με διαμαντόσκονη 3μm τύπου DP-Spray, M 3μm της Struers.
- Μικροσκληρόμετρο τύπου HMV-2000 από την εταιρία SHIMADZU. Μετρήθηκε η σκληρότητα Vickers των δοκιμίων που προήλθαν από τις αναγομώσεις χρησιμοποιώντας φορτίο 500gr και χρόνο διείσδυσης 15sec.
- Στερεοσκόπιο της εταιρίας Leica, τύπου Wild M3Z με δυνατότητα μεγέθυνσης 6,5-10-16-25 και 40 φορές.
- Οπτικό μικροσκόπιο (No 1) τύπου Leitz Aristomet με δυνατότητα μεγέθυνσης 50-200-100-500 και 1000 φορές.
- Οπτικό μικροσκόπιο (No 2) της Leica με δυνατότητα μεγέθυνσης 50-100-200 και 500 φορές.
- Αυτόματο σύστημα φωτογράφισης της Leica τύπου Wild MPS48 το οποίο προσαρμόζεται τόσο στο στερεοσκόπιο όσο και στα δύο οπτικά μικροσκόπια του εργαστηρίου υλικών.

Ο εγκιβωτισμός των δοκιμίων έγινε με υλικό εγκιβωτισμού Technovit 4071 (υγρό και σκόνη) της εταιρίας Kulzer.

Η εμφάνιση των φιλμ και η εκτύπωση των ασπρόμαυρων φωτογραφιών έγινε στο εργαστήριο. Για την εκτύπωση των φωτογραφιών χρησιμοποιήθηκε μεγεθυντήρας τύπου M 670 BW από την Burst Polytechnic, Brixen, Italy.

Ο σχεδιασμός των διαγραμμάτων φάσεων και ποσοστού φάσεων (NP) έγινε στο πρόγραμμα Thermo-Calc, στον σταθμό εργασίας του εργαστηρίου υλικών.

Εκτός από τα παραπάνω όργανα του εργαστηρίου υλικών, χρησιμοποιήθηκαν:

- το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, SEM
- το φορητό μηχάνημα λείανσης και στίλβωσης (για τη διεξαγωγή της ρέπλικας) της EBETAM. Η χημική ανάλυση του χάλυβα Fonte á Cr έγινε επίσης στην EBETAM.

5.2. ΧΑΛΥΒΕΣ Fonte á Cr και 904L

Απαραίτητη προϋπόθεση για τη μελέτη ενός υλικού είναι η ύπαρξη δοκιμίου. Δεν είναι δυνατόν, όμως να κοπεί δοκίμιο από το σώμα της αντλίας. Το πρόβλημα αντιμετωπίστηκε για τον 904L με τη μέθοδο της ρέπλικας. Η μέθοδος περιλαμβάνει αρχικά λείανση και στίλβωση μιας μικρής περιοχής του υλικού με ένα φορητό λειαντικό-στιλβωτικό μηχάνημα. Στη συνέχεια η περιοχή προσβάλλεται με το κατάλληλο αντιδραστήριο. Μετά την προσβολή, επικολλάται στην επιφάνεια αυτή ένα ειδικό χαρτί. Στο χαρτί αυτό αποτυπώνεται η δομή του υλικού, και μπορεί να εξεταστεί στο μικροσκόπιο με το γνωστό τρόπο. Για την προσβολή της επιφάνειας του χάλυβα 904L χρησιμοποιήθηκε το οξύ Marbel's (40ml HCl, 40ml αλκοόλη, 4gr CuSO₄).

Η ρέπλικα από την αντλία 904L εξετάστηκε στο οπτικό μικροσκόπιο (No 1) και φωτογραφήθηκε με μεγέθυνση 50, 100, 500, 1000 φορές.

Στη συνέχεια έγινε ρέπλικα και στην αντλία Fonte á Cr. Τα οξέα προσβολής που είχα μαζί μου δεν ήταν κατάλληλα, για να προσβάλουν το υλικό και έτσι η ρέπλικα δεν αποτύπωσε τη δομή του χάλυβα.

Στα δοκίμια της φλάντζας από Fonte á Cr έγινε χημική ανάλυση και ηλεκτρονική μικροσκοπία, διαδικασία που δεν ήταν δυνατόν να γίνει στο υλικό 904L, λόγω έλλειψης δοκιμίων.

Και για τα δύο υλικά όμως πήρα στοιχεία από το Thermo-Calc.

5.3. ΑΝΑΓΟΜΩΣΗ ΤΗΣ ΑΝΤΛΙΑΣ Fonte á Cr.

Οι αναγομώσεις διεξήχθησαν στις Χ.Β.Β.Ε. από πεπειραμένο τεχνίτη, ο οποίος αντιμετωπίζει συχνά παρόμοιες περιπτώσεις. Το μέταλλο βάσης είναι Fonte á Cr, και προέρχεται από μία διαβρωμένη φλάντζα, που όπως προαναφέρθηκε, λειτουργούσε στο ίδιο τμήμα με την αντλία Fonte á Cr, κάτω από τις ίδιες συνθήκες λειτουργίας. Το γεγονός αυτό είναι ευνοϊκό για την αξιόπιστη μελέτη των αναγομώσεων, καθώς έτσι κι αλλιώς οι αναγομώσεις διεξάγονται σε διαβρωμένες επιφάνειες. Οι αναγομώσεις φαίνονται στον Πίν. 1 (σελ. 2.13).

Τα ηλεκτρόδια προθερμάνθηκαν, εκτός του FOX GFW το οποίο χρησιμοποιήθηκε χωρίς προηγούμενη προθέρμανση. Η θερμοκρασία, ο χρόνος προθέρμανσης, η ένταση και η πολικότητα αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Η τάση δεν ρυθμίστηκε, όπως καθορίζουν οι προδιαγραφές των ηλεκτροδίων.

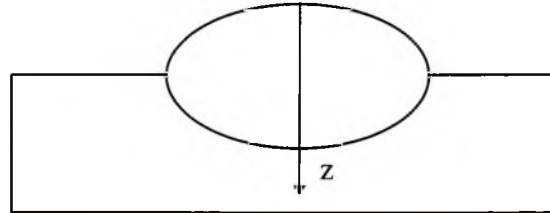
Πρέπει να σημειωθεί πως η διαδικασία που ακολουθήθηκε στηρίζεται κατά κύριο λόγο στην εμπειρία του τεχνίτη, με αποτέλεσμα κάθε φορά που αναλαμβάνει άλλος τεχνίτης τα χαρακτηριστικά να αλλάζουν μερικώς.

Η προθέρμανση των ηλεκτροδίων έγινε χωρίς ιδιαίτερη ακρίβεια στη θερμοκρασία και το χρόνο που αναφέρονται στις προδιαγραφές, αλλά αυτό δεν είναι τόσο σημαντικό καθώς η προθέρμανση γίνεται, για να απαλλαγούμε από την υγρασία. Η ένταση του ρεύματος καθορίστηκε από τον τεχνίτη κυρίως. Ξεκινούσε τη ραφή με την ένταση που αναφέρεται στις προδιαγραφές, και ανάλογα με τη ροή που είχε, αυξομείωνε την τιμή της. Οι τιμές που αναφέρονται στον Πιν. 1 είναι οι πραγματικές.

Στη συνέχεια ακολουθήθηκαν οι εξής διαδικασίες:

1. **Φωτογράφιση** στο στερεοσκόπιο των επιφανειών που προέκυψαν.
2. **Μεταλλογραφία** των αναγομώσεων. Από κάθε αναγόμωση χρησιμοποιήθηκαν δύο δοκίμια, διαφορετικού πάχους. Η λείανση έγινε διαδοχικά με χαρτί 120-320-500-1000 και η στίλβωση με διαμαντόσκονη 3 μm. Για την προσβολή χρησιμοποιήθηκε οξύ Marble's (4gr CuSO₄, 20 ml HCl, 20 ml νερό). Ο χρόνος προσβολής ήταν μερικά δευτερόλεπτα.
3. **Μικροσκληρομέτρηση** της διατομής που φαίνεται στο σχήμα, ξεκινώντας από την κορυφή της συγκόλλησης. Η σκληρότητα μετρήθηκε σε Vickers, και τα αποτελέσματα δίνονται στη συνέχεια σε διαγράμματα. Το φορτίο που

χρησιμοποιήθηκε είναι 500gr και ο χρόνος διείδυσης 15sec. Για το ίδιο z έγιναν τρεις μετρήσεις, ώστε να βγει μία μέση τιμή, σε περίπτωση μεγάλων αποκλίσεων.



Στα διαγράμματα που ακολουθούν παρατηρώ πως στην περιοχή των ηλεκτροδίων οι τρεις μετρήσεις είναι περίπου ισότιμες. Στην περιοχή του χάλυβα η σκληρότητα έχει πολλές διακυμάνσεις, λόγω της ανομοιογένειας του υλικού (ύπαρξη δενδριτών, πόρων λόγω περικρυσταλλικής διάβρωσης) ή τρόπου αναδόμωσης. Παρόλα αυτά είναι εμφανές σε ποια σημεία μειώνεται και σε ποια αυξάνεται πάντα σε σχέση με τη θερμική επίδραση της αναδόμωσης. Η σκληρότητα στην επαφή εξαρτάται από το ηλεκτρόδιο και τις συνθήκες της διαδικασίας αναδόμωσης, επομένως διαφοροποιείται ανά περίπτωση. Για το βασικό υλικό η συμπεριφορά είναι σταθερή. Παρατηρείται μια απότομη αύξηση της σκληρότητας στην θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη, στη συνέχεια μια πτώση, και στη συνέχεια ξανά μια αύξηση.

4 . **Σχεδιασμός των διαγραμμάτων φάσεων στο Thermo Calc.** Για το κάθε υλικό ηλεκτροδίου σχεδιάστηκε το διάγραμμα φάσεων και υπολογίστηκαν τα ποσοστά των φάσεων στη θερμοκρασία $T=300$ K, καθώς επίσης και τα συστατικά κάθε φάσης. Το διάγραμμα NP παρουσιάζει τη μεταβολή του ποσοστού των φάσεων με τη θερμοκρασία.

6. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ-ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

6.1. ΧΑΛΥΒΕΣ Fonte á Cr και 904L.

6.1.1. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΟΠΤΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ

Η εξέταση της ρέπλικας στο οπτικό μικροσκόπιο έδειξε πως η δομή του χάλυβα είναι δενδριτική (Φώτο 12-13), χαρακτηριστική της διαδικασίας στερεοποίησης που ακολούθησε μετά τη χύτευση της αντλίας.

Το ίδιο συμβαίνει και με τον χάλυβα Fonte á Cr. Για τη μελέτη του χάλυβα χρησιμοποιήθηκαν δοκίμια από μία φλάντζα του ιδίου υλικού που λειτουργούσε πριν την αστοχία της, επίσης στη μονάδα συμπυκνώσεως του οξέος. Η δομή του χάλυβα είναι επίσης δενδριτική (Φώτο. 14-15).

Και οι δύο αντλίες είναι χυτές. Κατά τη στερεοποίηση οι κόκκοι δεν αναπτύσσονται ομογενώς και ακαριαία, αλλά καθένας τους σχηματίζει πρώτα ένα δομικό σκελετό επιπέδων ή ράβδων (δενδρίτης), μεταξύ των οποίων υπάρχει υγρό που στερεοποιείται αργότερα. Η υγρή και η στερεή φάση δεν έχουν την ίδια σύσταση. Το υλικό που στερεοποιείται πρώτο είναι φτωχότερο σε κάποια συστατικά με αποτέλεσμα να υπάρχουν στο υλικό δύο διαφορετικές περιοχές. Το φαινόμενο αυτό λέγεται **διαφορισμός**. Αυτό έχει μεγάλη σημασία στους ανοξείδωτους χάλυβες. Οι δενδρίτες που σχηματίστηκαν πρώτοι, είναι φτωχοί σε συστατικά όπως το χρώμιο και εμφανίζουν ιδιότητες διαφορετικές από εκείνες που θα περίμενε κανείς να έχει το υλικό. Η διάβρωση προχωράει με ταχείς ρυθμούς σε αυτά τα σημεία (Φώτο.11). Η ανεπιθύμητη αυτή κατάσταση μπορεί να αποφευχθεί με ομογενοποίηση του χυτού, δηλαδή θέρμανση σε υψηλές θερμοκρασίες μέχρι να ομοιογενοποιηθεί η χημική σύσταση μέσω του μηχανισμού της διάχυσης.

6.1.2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗΣ ΜΙΚΡΟΣΚΟΠΙΑΣ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ Fonte á Cr.

Εξετάστηκε μόνο ο χάλυβας Fonte á Cr στο ηλεκτρονικό μικροσκόπιο, καθώς δεν υπήρχαν δοκίμια από τον 904L.

Τα φάσματα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, που έγιναν για τέσσερις διαφορετικές περιοχές του υλικού, έδωσαν μια ποιοτική αλλά και ποσοτική ανάλυση της δομής του χάλυβα. Στα φάσματα δεν αναφέρεται ο άνθρακας, γιατί έχει μικρό ατομικό βάρος. Το σύστημα μικροανάλυσης EDAX του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου μπορεί να εντοπίσει στοιχεία με A.B. μεγαλύτερο του 12. Οι τέσσερις περιοχές παρουσιάζονται στα σχήματα 4-7.

- Φάσμα 1 - (Σχ. 4) - (Φώτο. I)
- Φάσμα 2 - (Σχ. 5) - (Φώτο. II)
- Φάσμα 3 - (Σχ. 6)
- Φάσμα 4 - (Σχ. 7) - (Φώτο. III)

Η περιοχή που παρουσιάζεται στο (Φάσμα 1) περιέχει κυρίως Fe και Cr, σε σύγκριση, όμως με το (Φάσμα 2) το Cr είναι λιγότερο. Το (Φάσμα 1) αναφέρεται στους δενδρίτες που σχηματίστηκαν πρώτοι και είναι φτωχοί σε χρώμιο. Το (Φάσμα 2) παρουσιάζει την περιοχή του υλικού γύρω από τους δενδρίτες, το οποίο είναι πλουσιότερο σε χρώμιο.

Στο (Φάσμα 3) παρατηρώ μια υπερίσχυση του χρωμίου. Πρόκειται φυσικά για περιοχή καρβιδίου του χρωμίου.

Το (Φάσμα 4) έχει γίνει σε κάποιον κρατήρα του υλικού. Εμφανίζεται το ασβέστιο (Ca) και το θείο (S) που δεν αποτελούν συστατικά του χάλυβα. Επίσης παρατηρείται μια μικρή αύξηση του πυριτίου (Si). Τα τρία αυτά στοιχεία είναι συστατικά του οξέος (βλ. Σύσταση του φωσφορικού οξέος) και έχουν εισχωρήσει στους κρατήρες (Φώτο. IV-V). Το πυρίτιο ως χαλαζίας (SiO₂) και το ασβέστιο με τη μορφή γύψου, αποτελούν τους κύριους λόγους για την τρηματική διάβρωση του υλικού. Το παρόν φάσμα δεν δίνει καθόλου μολυβδαίνιο (Mo), όπως και το φάσμα από τα καρβίδια του χρωμίου, ενώ παρουσιάζει πολύ υψηλό ποσοστό χρωμίου, λίγο μικρότερο από το σίδηρο. Κατά την προσβολή του χάλυβα, διαβρώνονται αρχικά οι δενδρίτες και απομένει το υλικό γύρω από αυτούς που είναι πλούσιο σε χρώμιο (Φώτο. IV-V). Το φάσμα

παρουσιάζει υψηλές κορυφές, γιατί η κλίμακα είναι διαφορετική, ώστε να εντοπιστούν ακόμη και τα μικρά ποσοστά των στοιχείων.

6.1.3. ΘΕΡΜΟΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ

Για τα υλικά Fonte á Cr και 904L σχεδιάστηκαν τα διαγράμματα φάσεων και τα διαγράμματα ποσοστού φάσης/θερμοκρασίας. Υπολογίστηκαν επίσης τα ποσοστά των φάσεων και η χημική σύσταση αυτών στη θερμοκρασία των 300 K. (Σχ. 8-12)

T=300 K				
Fonte á Cr				
ΦΑΣΗ	BCC (φερρίτης)	Διμεταλλική ένωση (Cr ₃ Si)	High Sigma	Καρβίδιο χρωμίου (Cr ₂₃ C ₆)
ΠΟΣΟΣΤΟ %	58,96	11,7	1,46	27,86
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Fe:9,919 10 ⁻¹ Si:6,29 10 ⁻³ Cr:1,75 10 ⁻³ Mn:5,58 10 ⁻⁷ Mo:1,1 10 ⁻¹² C:8,44 10 ⁻³⁰	Cr:8,72 10 ⁻¹ Si:1,27 10 ⁻¹ C:0 Fe:0 Mn:0 Mo:0	Cr:7,22 10 ⁻¹ Mn:2,77 10 ⁻¹ C:0 Fe:0 Mn:0 Mo:0	Cr:8,69 10 ⁻¹ Mo:7,48 10 ⁻² C:5,48 10 ⁻⁴ Fe:2,6 10 ⁻⁴ Mn:1,23 10 ⁻⁴ Si:0

T=300 K					
904L					
ΦΑΣΗ	BCC (φερρίτης)	FCC (ωστενίτης)	FCC (καρβίδιο Nb)	Laves Phase	Sigma (σ)
ΠΟΣΟΣΤΟ %	25,34	58,25	0,2	7,36	8,83
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Cr:6,84 10 ⁻¹ Fe:2,79 10 ⁻¹ Si:3,46 10 ⁻² Mn:7,78 10 ⁻⁴ Ni:5,04 10 ⁻⁹ Mo:4,15 10 ⁻⁹ Nb:2,95 10 ⁻¹² Cu:4,27 10 ⁻¹⁴ C:4,27 10 ⁻²³	Fe:5,11 10 ⁻¹ Ni:4,21 10 ⁻⁹ Cu:6,74 10 ⁻² Mn:2,86 10 ⁻⁷ Mo:1,04 10 ⁻⁷ Cr:3,98 10 ⁻⁹ Si:5,87 10 ⁻¹⁰ Nb:1,04 10 ⁻¹⁵ C:3,32 10 ⁻²⁶	Nb:9 10 ⁻¹ C:9,94 10 ⁻² Mo:1,45 10 ⁻¹¹ Cr:7,94 10 ⁻¹² Mn:5,52 10 ⁻¹⁶ Fe:9,03 10 ⁻²¹ Ni:2,42 10 ⁻²³ Si:2,5 10 ⁻²⁶ Cu:6,15 10 ⁻³¹	Fe:5,25 10 ⁻¹ Mo:4,43 10 ⁻¹ Nb:1,87 10 ⁻² Cr:1,24 10 ⁻² C:0 Ni:0 Cu:0 Mn:0 Si:0	Cr: 6,06 10 ⁻¹ Fe:2,87 10 ⁻¹ Mn:1,05 10 ⁻¹ Mo:3,7 10 ⁻⁵ Ni:4,08 10 ⁻⁶ C:0 Nb:0 Cu:0 Si:0

Στους παραπάνω πίνακες δίνονται, πάντα για τη θερμοκρασία $T=300\text{K}$, οι φάσεις που υπάρχουν, το ποσοστά κάθε φάσης σε ένα mole υλικού, και τα moles κάθε στοιχείου σε ένα mole της φάσης.

Από τα παραπάνω στοιχεία είναι εμφανές το σημαντικότερο μειονέκτημα του χάλυβα Fonte á Cr. Η ανυπαρξία σταθεροποιητών, όπως νιόβιο (Nb) και τιτάνιο (Ti), ευνοεί το σχηματισμό καρβιδίων του χρωμίου. Από το διάγραμμα φάσης φαίνεται πως για κανένα ποσοστό άνθρακα δεν είναι δυνατόν να αποφύγουμε το σχηματισμό ανεπιθύμητων φάσεων, όπως καρβιδίων του χρωμίου, διμεταλλικών ενώσεων και κυρίως της φάσης (σ), η οποία εμφανίζεται και ως φάση High Sigma. Οι φάσεις αυτές είναι πλούσιες σε χρώμιο και μαγγάνιο. Η High Sigma φάση διαφέρει από τη (σ) στο ό,τι δεν περιέχει καθόλου σίδηρο. Οι φάσεις αυτές επικάθονται στα όρια των κόκκων και απογυμνώνουν τη γύρω περιοχή από το χρώμιο. Το αποτέλεσμα είναι η ευαισθητοποίηση της περιοχής στη διάβρωση. Η συμπεριφορά των καρβιδίων του χρωμίου είναι ανάλογη.

Στο χάλυβα 904L είναι εμφανής η θετική συμβολή του νιόβιου. Δεσμεύει τον άνθρακα με τη μορφή καρβιδίων και αποτρέπει το σχηματισμό καρβιδίων του χρωμίου. Η δομή του χάλυβα είναι κατά κύριο λόγο ωστενιτική, υπάρχει όμως και ένα ποσοστό φερρίτη. Ο φερρίτης έχει πολύ μεγάλη περιεκτικότητα σε χρώμιο. Αυτό γιατί στερεοποιείται αργότερα. Αρχικά στερεοποιείται ο ωστενίτης με τη μορφή δενδριτών. Ο ωστενίτης δε διαλύει μεγάλο ποσοστό χρωμίου το οποίο παραμένει στην υγρή φάση, και λαμβάνεται από το φερρίτη. Το αρνητικό στοιχείο του χάλυβα είναι πως φάση (σ) υπάρχει για όλα τα ποσοστά άνθρακα.

6.1.4. ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

Συνδυάζοντας τα στοιχεία της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας και του Thermo Calc μπορούν να βγουν αρκετά συμπεράσματα για τη δομή του χάλυβα Fonte á Cr. Η δομή του αποτελείται από δενδρίτες φερρίτη, περιοχή φτωχή σε χρώμιο, σε μήτρα φερρίτη. Όπως φαίνεται στις (Φώτο. 16-17), η λευκή περιοχή είναι οι δενδρίτες. Η γκρι περιοχή είναι ο φερρίτης που στερεοποιήθηκε αργότερα και περιέχει περισσότερο χρώμιο. Η μικρές περιοχές με το έντονο μαύρο περίγραμμα είναι τα καρβίδια Cr_{23}C_6 , τα οποία βρίσκονται κυρίως μέσα στην γκρι περιοχή που είναι πλούσια στα στοιχεία που απαιτούνται για το

σχηματισμό τους. Διακρίνω επίσης στα όρια μερικών δενδριτών ένα έντονο περίγραμμα, το οποίο αντιστοιχεί στη High Sigma φάση.

6.2. ΑΝΑΓΟΜΩΣΕΙΣ

Στη (Φώτο. 19) φαίνεται η πλευρά του τεμαχίου όπου έγιναν οι αναγομώσεις, ενώ στη (Φώτο. 18) η άλλη πλευρά.

6.2.1. Soudofonte B 24

Από τις αναγομώσεις με το ηλεκτρόδιο Soudofonte B 24 μελέτησα την περίπτωση 1δ και 1ε που έχουν γίνει με αρνητική πολικότητα, όπως ορίζεται από τις προδιαγραφές.

- Μακροσκοπικά. Η επιφάνεια της ραφής έχει πολλούς πόρους, ενώ περιφερειακά της ραφής δημιουργήθηκε ρήγμα μετά την αναγόμωση και στις δύο περιπτώσεις, 1δ και 1ε (Φώτο.20 και 21)

- Μικροσκοπικά. Το μέταλλο του ηλεκτροδίου έχει δομή δενδριτική (Φώτο.22). Είναι πορώδες ειδικά στο σημείο όπου τέμνεται με το υλικό της βάσης. Σε όλο το μήκος της τομής αναπτύχθηκαν πόροι, σχηματίζοντας μια διακριτή γραμμή (Φώτο.23-27) Στα όρια της Θερμικά Επηρεαζόμενης Ζώνης παρατηρήθηκαν ρήγματα (Φώτο. 28-29). Εδώ φαίνεται πως επιδρά η διαβρωμένη επιφάνεια στην αποτελεσματικότητα των αναγομώσεων. Οι τάσεις που δημιουργήθηκαν με τη θερμική καταπόνηση του υλικού ευνόησαν την εξέλιξη του προϋπάρχοντος ρήματος από την εσωτερική πλευρά προς τα πάνω. Σε συνδυασμό με την πολύ κακή ποιότητα ΘΕΖ που προκύπτει με αυτό το ηλεκτρόδιο, είχε ως αποτέλεσμα να δημιουργηθεί ένα διαμπερές ρήγμα. Κάτι τέτοιο ισοδυναμεί με αστοχία της αντλίας. Άρα οι συνθήκες αναγόμωσης πρέπει να είναι ικανές να αντιμετωπίσουν το πρόβλημα και όχι να το εντείνουν. Οι (Φώτο. 30-31) παρουσιάζουν το ίδιο γεγονός. Στη (Φώτο. 31) διακρίνουμε τον τρόπο ανάπτυξης του ρήματος στο υλικό του ηλεκτροδίου. Το ρήγμα αναπτύσσεται στην περιοχή ανάμεσα στους δενδρίτες.

Το υλικό της βάσης (Fonte á Cr) έχει επηρεαστεί θερμικά. Το μέγεθος των κόκκων έχει μειωθεί στην περιοχή επαφής με το μέταλλο του ηλεκτροδίου. Η υπερευνηκτοειδής δομή (μαύρες λουρίδες σε λευκό φόντο και λευκές περιοχές) φαίνεται πιο έντονα στο σημείο αυτό. Το μέγεθος των κόκκων

μεγαλώνει όσο απομακρυνόμαστε από τη συγκόλληση και μετά ένα σημείο παραμένει σταθερό (Φώτο. 24-25). Αυτό το φαινόμενο παρατήθηκε σε όλες τις περιπτώσεις. Καθώς το ηλεκτρόδιο δεν περιέχει Ti ή Nb ο ανοξειδωτος χάλυβας ευαισθητοποιήθηκε στη ΘΕΖ κάτι που φαίνεται και κατά τη διαδικασία χημικής προσβολής, αφού η περιοχή αυτή προσβάλλεται εντονότερα από την υπόλοιπη επιφάνεια.

Στην περίπτωση 1ε που η αναγόμευση έγινε με μεγαλύτερη ένταση ρεύματος παρατηρώ την ίδια συμπεριφορά της ΘΕΖ. Μάλιστα εδώ φαίνεται πιο έντονα ο κακός συνδυασμός ηλεκτροδίου-Fonte ά Cr (Φώτο. 32). Η επαφή εμφανίζεται με παράλληλες με αυτήν ρηγματώσεις και συγκέντρωση καρβιδίων.

- Σκληρομέτρηση. (Σχ. 13-17). Οι διατομές της αναγόμευσης που έχει γίνει με 55A, όπως αναφέρουν άλλωστε οι προδιαγραφές, παρουσιάζουν την ίδια συμπεριφορά. Η σκληρότητα στη διεπιφάνεια πέφτει, ενώ στο χάλυβα αυξάνει απότομα στην περιοχή την προσκείμενη στην τομή. Στη συνέχεια πέφτει μέχρι ενός σημείου, από εκεί και πέρα εμφανίζεται πιο σταθερή. Στο λεπτό δοκίμιο (1δς) η σκληρότητα στο χάλυβα είναι πιο χαμηλή. Εξάλλου στις μικρότερες διατομές η θερμότητα διαχέεται πιο αργά με αποτέλεσμα το μέταλλο να είναι πιο μαλακό.

Στην αναγόμευση που έγινε με 60A η συμπεριφορά διαφοροποιείται σημαντικά. Το μέταλλο του ηλεκτροδίου εμφανίζεται πιο σκληρό από τον χάλυβα, ενώ στη ΘΕΖ μόλις που αυξάνει η σκληρότητα του χάλυβα. Γενικά οι τιμές είναι υψηλότερες σε σχέση με τις δύο προηγούμενες μετρήσεις. Αυτό έχει να κάνει με την περισσότερη ενέργεια που έλαβε η αναγόμευση, λόγω της αύξησης της έντασης.

- Thermo Calc. Πρόκειται για ένα διμερές κράμα, το οποίο στην ισορροπία έχει δύο φάσεις, τις (Ni) και (C, γραφίτη). Τις περισσότερες φορές αντί του γραφίτη εμφανίζεται η ασταθής φάση του σεμεντίτη (Σχ. 18-20). Για $T=300\text{ K}$:

T=300 K Soudofonte B 24		
ΦΑΣΗ	FCC	Σεμεντίτης
ΠΟΣΟΣΤΟ %	71,06	28,93
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Ni:9,99 10^{-1} C:3,64 10^{-4}	Ni:9,36 10^{-1} C:6,38 10^{-2}

Από τα παραπάνω διαπιστώνεται πως το υλικό που στερεοποιείται πρώτο απορρίπτει το μεγαλύτερο ποσοστό άνθρακα, καθώς διαλύει πολύ μικρό ποσοστό, και το περισσότερο στερεοποιείται με το υπόλοιπο υλικό. Γι αυτό η περιοχή γύρω από τους δενδρίτες περιέχει περισσότερο άνθρακα, με αποτέλεσμα να είναι πιο ψαθυρή και το ρήγμα να προχωράει εκεί.(Φώτο. 31).

6.2.2. Soudocrom S 17

- Μακροσκοπικά. Στο στερεοσκόπιο το κορδόνι φαίνεται να έχει καλή ποιότητα (Φώτο.34). Δεν εμφανίστηκαν πόροι ή ρωγμές στη ΘΕΖ. Το μόνο μειονέκτημα είναι η δημιουργία μιας ρωγμής στο τέλος της αναγόμωσης (Φώτο.33), κάτι που συμβαίνει στις περισσότερες συγκολλήσεις.
- Μικροσκοπία. Η συγκόλληση είναι πολύ καλή. Το ηλεκτρόδιο έχει αποκτήσει δενδριτική δομή (Φώτο. 35-36). Η διεπιφάνεια είναι ομαλή, χωρίς ρωγμές και πόρους (Φώτο: 37). Το ηλεκτρόδιο περιέχει Nb (0,35%). Το στοιχείο αυτό δεν ευνοεί την ευαισθητοποίηση. Παρατηρώ πως η περιοχή του χάλυβα Fonte á Cr, δίπλα στην επαφή με το ηλεκτρόδιο, εμφανίζει μια αρκετά καλή δομή. Κάτι που δεν συμβαίνει στο υπόλοιπο τμήμα της ΘΕΖ (Φώτο:38-40). Κατά την αναγόμωση, τα δύο υλικά αναμίχθηκαν με αποτέλεσμα να διαχυθεί νιόβιο στη δομή του Fonte á Cr. Το νιόβιο ως γνωστόν δημιουργεί καρβίδιο και αποτρέπει το σχηματισμό καρβιδίου του χρωμίου. Η παρατήρηση αυτή είναι ιδιαίτερα σημαντική, γιατί δίνει μία εικόνα του Fonte á Cr αν περιείχε νιόβιο.

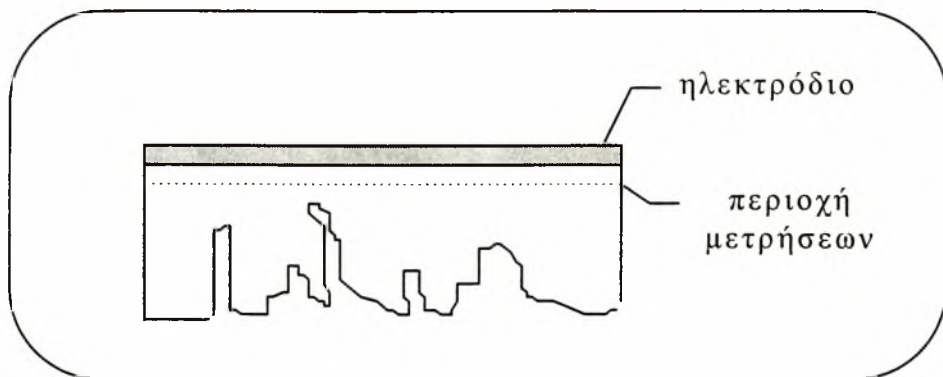
Στα άκρα της αναγόμωσης, η ΘΕΖ δεν εμφανίζει ρηγματώσεις, αλλά έχει πολύ καλή μορφή (Φώτο:41-42). Στις (Φώτο:43-44) φαίνεται η εξέλιξη ενός ρήγματος που προϋπήρχε λόγω διάβρωσης. Το ρήγμα διακόπτεται στο ηλεκτρόδιο και δεν προχωράει προς το εσωτερικό του, κάτι που είναι πολύ θετικό για την αποτελεσματικότητα αυτού του ηλεκτροδίου.

- Σκληρομέτρηση. (Σχ. 21-23). Η σκληρότητα είναι μικρή στο ηλεκτρόδιο και αυξάνει απότομα στην περιοχή του χάλυβα δίπλα στην επαφή. Οι τιμές σκληρότητας στην περιοχή του ηλεκτροδίου δεν παρουσιάζουν διακυμάνσεις και ταυτίζονται για τα δύο δοκίμια, το λεπτό (2s) και το φαρδύ (2l). Στην περιοχή του χάλυβα το λεπτό δοκίμιο εμφανίζει σαφώς μικρότερες τιμές σκληρότητας. Λόγω της μικρότερης διατομής η θερμότητα διαχέεται με πιο αργό ρυθμό και το

μέταλλο γίνεται πιο μαλακό. Στη φαρδιά διατομή η θερμότητα απορρίπτεται ταχύτερα και το μέταλλο γίνεται πιο σκληρό. Η θερμότητα απάγεται ταχύτερα στο μέταλλο από ό,τι στον αέρα, γι αυτό η διατομή παίζει τόσο σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της σκληρότητας. Στις (Φώτο: VI-IX) παρουσιάζονται οι μικροσκληρομετρήσεις στα δοκίμια 2l και 2s, ώστε να φανεί πως επιδρά η δομή του υλικού στην σκληρότητά του.

Ένα αρνητικό στοιχείο είναι πως η σκληρότητα του ηλεκτροδίου είναι αρκετά χαμηλή και η αναγόμωση θα καταστρέφεται εύκολα από τα στερεά του οξέος. Το υλικό Soudocrom S 17 είναι το ίδιο με το χάλυβα 904L, έχουν απλώς διαφορετική ονομασία. Αναφέρω το γεγονός αυτό, γιατί η έλλειψη δοκιμίου από το χάλυβα 904L δεν επέτρεψε μεταξύ των άλλων και τη σκληρομέτρηση του. Η σκληρότητα του ηλεκτροδίου δείχνει πως ο συγκεκριμένος χάλυβας έχει μικρή σκληρότητα. Αυτός άλλωστε είναι ο λόγος που η αντλία 904L παρουσιάζει μεγάλο ρυθμό διάβρωσης (κυρίως μηχανική διάβρωση) και γι αυτό χρησιμοποιείται μόνο κατά τη διάρκεια συντήρησης της αντλίας Fonte á Cr.

Για το ηλεκτρόδιο αυτό έγινε σκληρομέτρηση και κατά μήκος της αναγόμωσης. (Σχ. 24)



Οι μετρήσεις έγιναν σε μια περιοχή με όχι σταθερή διατομή, λόγω διάβρωσης, για να διαπιστωθεί η επίδραση της διάβρωσης στη σκληρότητα που αποκτά ο χάλυβας Fonte á Cr μετά την αναγόμωση. Τα σημεία των μετρήσεων απέχουν 1 mm από την επαφή και βρίσκονται στα όρια της ΘΕΖ. Για κάθε διατομή έγιναν τρεις μετρήσεις, ώστε να βγει μία μέση τιμή.

Όπως φαίνεται και στο Σχ. 24, η διάβρωση δεν επιδρά στη σκληρότητα. Δεν θα πρέπει, όμως να δημιουργηθούν εσφαλμένες εντυπώσεις. Ασφαλώς ένα μη διαβρωμένο δοκίμιο θα παρουσίαζε άλλες τιμές σε σχέση με το διαβρωμένο. Στην περίπτωση που εξετάσα η διάβρωση είχε προχωρήσει σε

αρκετό βάθος με αποτέλεσμα η διατομή να έχει τεράστιες αλλαγές, συνεχείς όμως. Έτσι σε γενικά πλαίσια η θερμότητα απάγεται σε όλα τα σημεία με τον ίδιο ρυθμό.

- Thermo Calc: (Σχ. 25-26).

Οι φάσεις και τα ποσοστά τους για $T=300\text{K}$, παρουσιάζονται παρακάτω. Το υλικό του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17 είναι το ίδιο με το χάλυβα 904L. Οι παρατηρήσεις είναι οι ίδιες. Το Nb δεσμεύει τον άνθρακα με τη μορφή καρβιδίου και αποτρέπει το σχηματισμό καρβιδίου του χρωμίου. Επηρεάζει ευνοϊκά και τη δομή του Fonte ά Cr στην επαφή όπου έχουμε διάχυση των κραματικών στοιχείων του Soudocrom S 17 στο χάλυβα Fonte ά Cr. Από το διάγραμμα φάσης (Σχ. 25) φαίνεται πως για τη μικρή περιεκτικότητα άνθρακα, που έχει το υλικό, αποφεύγεται ο σχηματισμός καρβιδίων που αρχίζει για περιεκτικότητες άνω του 0,035% περίπου. Ανάλογα για περιεκτικότητα κάτω του 0,01% περίπου μπορούμε να απαλλαγούμε και από την ανεπιθύμητη φάση (σ). Στο διάγραμμα NP (Σχ. 26) βλέπουμε ακριβώς την ανυπαρξία των καρβιδίων σε όλες τις θερμοκρασίες.

T=300 K Soudocrom S 17					
ΦΑΣΗ	BCC (φερρίτης)	FCC (ωστενίτης)	FCC (καρβίδιο Nb)	Laves Phase	Sigma (σ)
ΠΟΣΟΣΤΟ %	25,34	58,25	0,2	7,36	8,83
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Cr:6,84 10^{-1} Fe:2,79 10^{-1} Si:3,46 10^{-2} Mn:7,78 10^{-4} Ni:5,04 10^{-9} Mo:4,15 10^{-9} Nb:2,95 10^{-12} Cu:4,27 10^{-14} C:4,27 10^{-23}	Fe:5,11 10^{-1} Ni:4,21 10^{-9} Cu:6,74 10^{-2} Mn:2,86 10^{-7} Mo:1,04 10^{-7} Cr:3,98 10^{-9} Si:5,87 10^{-10} Nb:1,04 10^{-15} C:3,32 10^{-26}	Nb:9 10^{-1} C:9,94 10^{-2} Mo:1,45 10^{-11} Cr:7,94 10^{-12} Mn:5,52 10^{-16} Fe:9,03 10^{-21} Ni:2,42 10^{-23} Si:2,5 10^{-26} Cu:6,15 10^{-31}	Fe:5,25 10^{-1} Mo:4,43 10^{-1} Nb:1,87 10^{-2} Cr:1,24 10^{-2} C:0 Ni:0 Cu:0 Mn:0 Si:0	Cr: 6,06 10^{-1} Fe:2,87 10^{-1} Mn:1,05 10^{-1} Mo:3,7 10^{-5} Ni:4,08 10^{-6} C:0 Nb:0 Cu:0 Si:0

6.2.3. Fox Eas 2-A, E 308L-16

- Μακροσκοπικά. Η συγκόλληση έχει καλή επιφάνεια, χωρίς πόρους. Μόνο κάποιες πολύ λεπτές ρηγματώσεις εμφανίστηκαν στο τέλος του κορδονιού, ενώ εφαπτομενικά της συγκόλλησης αναπτύχθηκε ρήγμα (Φώτο:45).
- Μικροσκοπικά. Στο μικροσκόπιο φαίνονται τα ρήγματα που ξεκινούν στα όρια της ΘΕΖ (Φώτο:46-47). Η δομή του χάλυβα στη ΘΕΖ έχει γίνει πιο λεπτόκοκκη και ταυτόχρονα έχει ευαισθητοποιηθεί (Φώτο:48-49). Το ηλεκτρόδιο έχει υψηλό ποσοστό χρωμίου, χωρίς σταθεροποιητικά στοιχεία, οπότε προσφέρει στο χάλυβα επιπλέον ποσό χρωμίου, στην περιοχή σύντηξης, για σχηματισμό καρβιδίων. Η περιοχή της επαφής είναι ανομοιογενής και έχουμε συσσώρευση καρβιδίων (σκούρη λωρίδα στη Φώτο:50). Επιπλέον στο σημείο αυτό αναπτύσσονται ρηγματώσεις (Φώτο:50).
- Σκληρομέτρηση. Τα διαγράμματα (Σχ. 27-29) δείχνουν τις διακυμάνσεις της σκληρότητας. Στη λεπτή διατομή (3s) παρατηρείται μια μικρή πτώση στην τομή και στη συνέχεια αύξηση από την πλευρά του χάλυβα. Στη φαρδιά διατομή (31) η σκληρότητα αρχίζει να αυξάνεται στην περιοχή της επαφής. Η συμπεριφορά αυτή μάλλον δεν αφορά τα δοκίμια, αλλά τον τρόπο που έγινε η μέτρηση. Η περιοχή της επαφής είχε μεγάλη ανομοιογένεια (Φώτο:50) και ίσως γι αυτό να υπάρχει αυτή η απόκλιση.

Παρατηρούμε ξανά πως οι τιμές για τη λεπτή διατομή είναι μικρότερες, λόγω μικρότερου ρυθμού απαγωγής της θερμότητας. Οι τιμές στο χάλυβα έχουν μεγάλες διακυμάνσεις λόγω ανομοιογένειας του υλικού.

- Thermo Calc. (Σχ. 30-31).

T=300 K Fox Eas 2-A E 308L				
ΦΑΣΗ	FCC (ωστενίτης)	FCC	Cr ₂₃ C ₆ (καρβίδιο)	Sigma (σ)
ΠΟΣΟΣΤΟ %	20,37	49,38	0,66	29,58
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Fe:5,23 10 ⁻¹ Ni:4,76 10 ⁻¹ Cr:3,44 10 ⁻⁸ Mn:7,91 10 ⁻⁹ Si:5,3 10 ⁻¹⁷ C:1,08 10 ⁻²³	Fe:9,75 10 ⁻¹ Si:1,61 10 ⁻² Cr:6,71 10 ⁻³ Ni:1,38 10 ⁻³ Mn:2,85 10 ⁻⁶ C:1,78 10 ⁻¹⁹	Cr:9,35 10 ⁻¹ C:5,68 10 ⁻² Mn:4,04 10 ⁻³ Fe:3,72 10 ⁻³ Ni:2,4 10 ⁻⁸ Si:0	Cr: 6,6 10 ⁻¹ Fe:3,11 10 ⁻¹ Mn:2,77 10 ⁻² Ni:5,85 10 ⁻⁵ C:0 Si:0

Το υλικό του ηλεκτροδίου σχηματίζει ακόμη και στη θερμοκρασία δωματίου φάσεις όπως καρβίδια και (σ). Χρησιμοποιείται για την προστασία του χάλυβα ενώ έχει χειρότερες ιδιότητες.

6.2.4. Soudonickel

- Μακροσκοπικά. Η συγκόλληση έχει πολλούς πόρους, ενώ δεν παρατηρήθηκαν εφαπτομενικές ρωγμές (Φώτο:51)
- Μικροσκοπικά. Τα δυο μέταλλα δεν έχουν καλή επαφή. Στα άκρα φανερώνεται μια τάση για δημιουργία ρήγματος (Φώτο:52-54). Στην τομή δημιουργήθηκαν πόροι, όπως και σε όλη τη ΘΕΖ και το ηλεκτρόδιο (Φώτο:55). Η ΘΕΖ στο χάλυβα έχει λεπτόκοκκη δομή με εμφανή ανάπτυξη καρβιδίων (Φώτο:56-57). Το ηλεκτρόδιο περιέχει τιτάνιο το οποίο δείχνει να μην επιδρά καθόλου στη δομή του χάλυβα, στην περιοχή σύντηξης.
- Σκληρομέτρηση. (Σχ. 32-34).

Παρατηρώ πως η λεπτή διατομή (4s) έχει στην περιοχή του ηλεκτροδίου μικρότερη σκληρότητα από τη φαρδιά διατομή (4l). Στην περιοχή του χάλυβα η σκληρότητα ανεβαίνει κατακόρυφα και είναι πολύ υψηλότερη από ό,τι στο δοκίμιο (4l). Αυτή η συμπεριφορά οφείλεται στον τρόπο που έγινε η αναδόμηση. Στο λεπτό τμήμα η περιοχή του ηλεκτροδίου είναι μεγαλύτερη. Επομένως η ταχύτητα αναδόμησης στην περιοχή αυτή ήταν μικρή με αποτέλεσμα η θερμοκρασία να ανεβεί υψηλότερα από ό,τι στο φαρδύ τμήμα, και ο ρυθμός ψύξης να είναι ανάλογα μεγαλύτερος. Έτσι προκύπτουν υψηλότερες τιμές σκληρότητας στο χάλυβα της διατομής 4s.

- Thermo Calc. (Σχ. 35-37).

T=300 K Soudonickel			
ΦΑΣΗ	BCC	FCC	FCC (καρβίδιο Ti)
ΠΟΣΟΣΤΟ %	4,08	95,68	0,23
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Ti:7,57 10 ⁻¹ Si:2,42 10 ⁻¹ Fe:6,09 10 ⁻⁶ Ni:2,09 10 ⁻¹¹ Mn:5,47 10 ⁻¹⁶ C:5,75 10 ⁻¹⁷	Ni:9,93 10 ⁻¹ Mn:3,09 10 ⁻³ Fe:3,09 10 ⁻³ Ti:1,15 10 ⁻⁶ Si:1,41 10 ⁻¹⁹ C:2,04 10 ⁻³¹	Ti:8,51 10 ⁻¹ C:1,48 10 ⁻¹ Ni:3,42 10 ⁻²⁸ Mn:1,21 10 ⁻³⁰ Fe:9,92 10 ⁻³¹ Si:4,99 10 ⁻³¹

6.2.5. FOX GFW

- Μακροσκοπικά. Η αναδόμωση έγινε χωρίς προθέρμανση του ηλεκτροδίου. Η επιφάνεια που δημιουργήθηκε είναι πορώδης και με θραύσεις κάθετα στη συγκόλληση (Φώτο:58-61). Τα ρήγματα πιθανότατα προϋπήρχαν, καθώς το τμήμα του τεμαχίου, όπου έγινε η αναδόμωση, ήταν έντονα διαβρωμένο. Όμως, έτσι κι αλλιώς οι αναγομώσεις γίνονται σε διαβρωμένα σημεία, και δεν πρέπει να αυξάνουν το πρόβλημα.
- Μικροσκοπικά. Η αναδόμωση δεν εμφανίζει πρόβλημα ρωγμών στη ΘΕΖ (Φώτο:62-63). Στη ΘΕΖ του χάλυβα έχουν αναπτυχθεί καρβίδια που συσσωρεύτηκαν στα όρια των δενδριτών του φερρίτη, όπως και η φάση High Sigma (Φώτο:64-65). Η περιοχή της επαφής δεν έχει ομαλή δομή (Φώτο:66-67). Το ηλεκτρόδιο εμφανίζει μια χαρακτηριστική εικόνα. Γύρω από τα όρια των κόκκων δημιουργήθηκαν ρηγματώσεις (Φώτο:68-72). Η μη προθέρμανση του ηλεκτροδίου είχε ως αποτέλεσμα τη συγκράτηση της υγρασίας και τη δημιουργία τάσεων. Το ηλεκτρόδιο δείχνει να υφίσταται διάσχιση (Φώτο:69), ενώ φαίνεται η κατευθυντικότητα που έχουν αποκτήσει οι κόκκοι του υλικού με τη θραύση της αναδόμωσης (Φώτο:68).
- Σκληρομέτρηση. (Σχ. 38-40). Η σκληρότητα στο ηλεκτρόδιο είναι σταθερή μέχρι την τομή, ενώ αυξάνεται καθώς μπαίνουμε στην περιοχή του χάλυβα. Μετά τη ΘΕΖ πέφτει η σκληρότητα. Η λεπτή διατομή (5s) έχει μικρότερη σκληρότητα από τη φαρδιά (5l), όπως και στις προηγούμενες περιπτώσεις.
- Thermo Calc. (Σχ. 41-42).

T=300 K Fox GFW		
ΦΑΣΗ	Σεμεντίτης	BCC
ΠΟΣΟΣΤΟ %	7,86	92,13
ΧΗΜΙΚΗ ΣΥΣΤΑΣΗ (mol στοιχείου/ mol φάσης)	Ni:9,36 10 ⁻¹ C:6,38 10 ⁻² Fe:9,38 10 ⁻⁶ Cu:0	Ni:6,62 10 ⁻¹ Cu:3,2 10 ⁻¹ Fe:1,7 10 ⁻² C:4,6 10 ⁻¹⁵

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

- I. Ο λόγος της ταχείας διάβρωσης είναι:
 - A. τα στερεά σωματίδια, η γύψος και το SiO_2 που περιέχονται στο φωσφορικό οξύ. Όπως έδειξε και το φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας, στους κρατήρες της διάβρωσης έχει ανιχνευθεί Si, S και Ca.
- II. Το υλικό Fonte ά Cr έχει μειωμένη αντίσταση στη διάβρωση γιατί:
 - A. μετά τη χύτευση δεν έχει ομογενοποιηθεί ή δεν έχει ομογενοποιηθεί επαρκώς με αποτέλεσμα οι δενδρίτες του φερρίτη να είναι φτωχοί σε χρώμιο και να μην αντιστέκονται στη διάβρωση.
 - B. γίνεται κακός συνδυασμός υψηλού ποσοστού Cr και C, χωρίς την παρουσία σταθεροποιητών (Ti, Nb), γεγονός που δημιουργεί τις ιδανικές συνθήκες για σχηματισμό καρβιδίων του χρωμίου, φάσης High Sigma και (σ) που καθιζάνουν στα όρια των κόκκων και δεσμεύουν το Cr από το φερρίτη. Το υλικό μένει χωρίς αντιδιαβρωτική προστασία λόγω του φαινομένου της ευαισθητοποίησης.
- III. Οι αναγομώσεις όχι μόνο δεν βελτιώνουν την κατάσταση, αλλά την επιβαρύνουν. Οι φερριτικοί χάλυβες γενικά δεν επιδέχονται συγκολλήσεων, για να μην ευαισθητοποιηθεί το υλικό. Στην περίπτωση των ηλεκτροδίων Soudofonte B 24, Fox Eas 2-A E 308L-16, Soudonickel και Fox GFW το υλικό Fonte ά Cr υποβαθμίζεται σημαντικά στη ΘΕΖ. Επιπλέον η σκληρότητά τους είναι πολύ μικρότερη του Fonte ά Cr με αποτέλεσμα να διαβρώνονται ταχύτατα και να μη διαρκεί η προστασία τους για πολύ. Το ηλεκτρόδιο Soudocrom S 17 εμφανίζει καλύτερα αποτελέσματα. Η περιοχή της τομής είναι καλή, όμως και πάλι στη ΘΕΖ έχουμε σχηματισμό και καθίζηση καρβιδίων χρωμίου και φάσης High Sigma. Πάντως το ηλεκτρόδιο αυτό είναι το πιο κατάλληλο για την αναγόμωση του Fonte ά Cr.

8. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Καταλήγω στο συμπέρασμα πως το υλικό Fonte ά Cr δεν παρουσιάζει τις απαραίτητες ιδιότητες για τη λειτουργία που έχει. Αν δε γίνει αλλαγή του υλικού της αντλίας, είναι απαραίτητο να ομογενοποιηθεί το υλικό, ώστε να μην είναι τόσο ευάλωτο στην επιλεκτική και περικρυσταλλική διάβρωση.

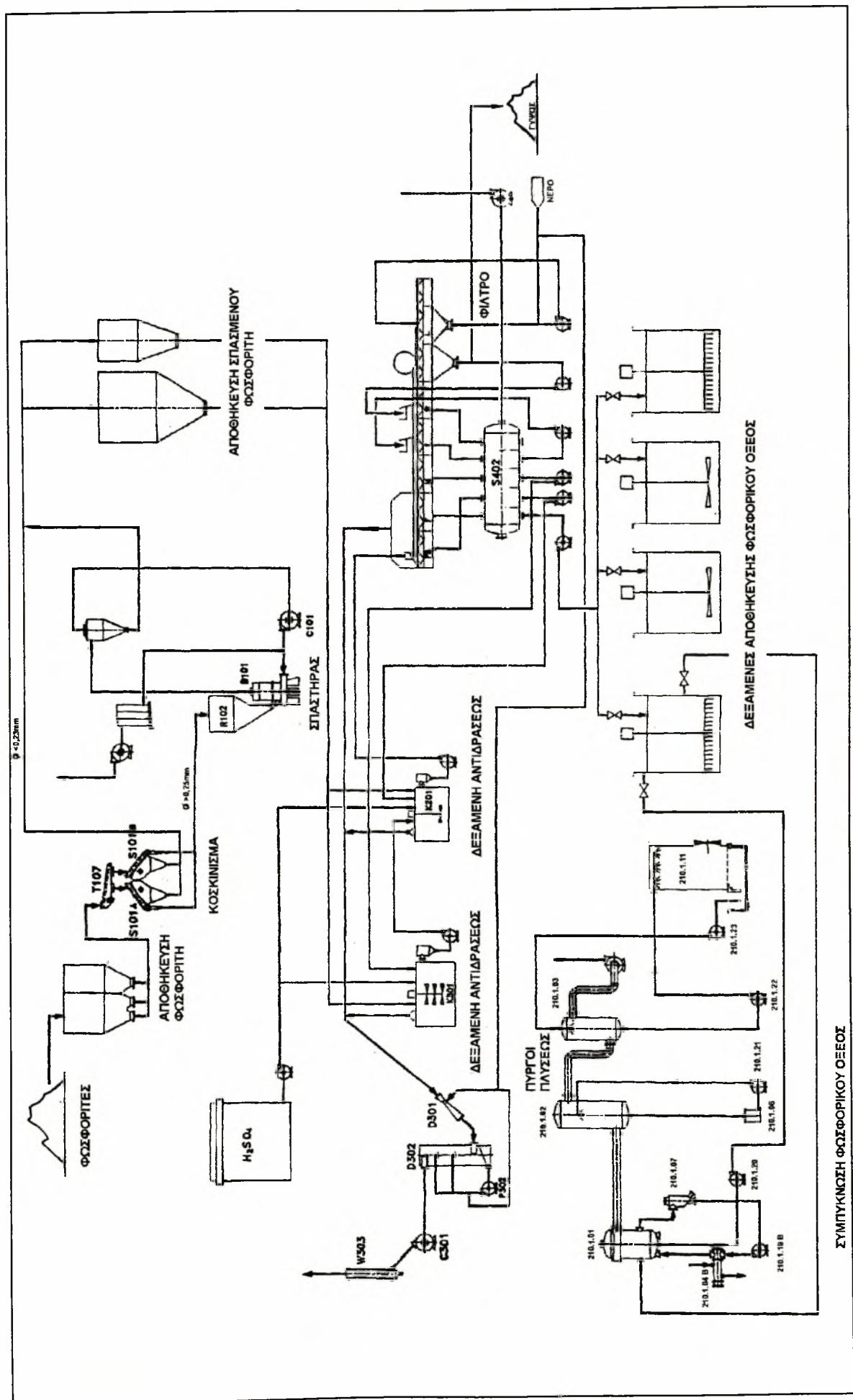
Αν συνεχίσουν να γίνονται συγκολλήσεις, προτείνω το ηλεκτρόδιο Soudocrom S 17. Μπορεί να έχει μικρή σκληρότητα, παρουσιάζει όμως την καλύτερη περίπτωση επαφής με το χάλυβα Fonte ά Cr.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- [1]. M. G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, Inc., p. 63-73, 1987
- [2]. V. L. Streeter, E. B. Wylie, Fluid Mechanics, McGraw-Hill, Inc., p. 208-209
- [3]. M. G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, Inc., 1987, p. 91-105, 1987
- [4]. R. W. K. Honeycombe, Steels Microstructure and Properties, ASM, p. 214-216
- [5]. R. M. Davison, T. DeBold, M. J. Johnson, Corrosion of Stainless Steels, ASM Volume 13, p. 550-551
- [6]. K. F. Krysiak, J. F. Grubb, B. Pollard, R. D. Campell, Selection of Wrought Ferritic Stainless Steels, ASM Volume 6, p. 444-445

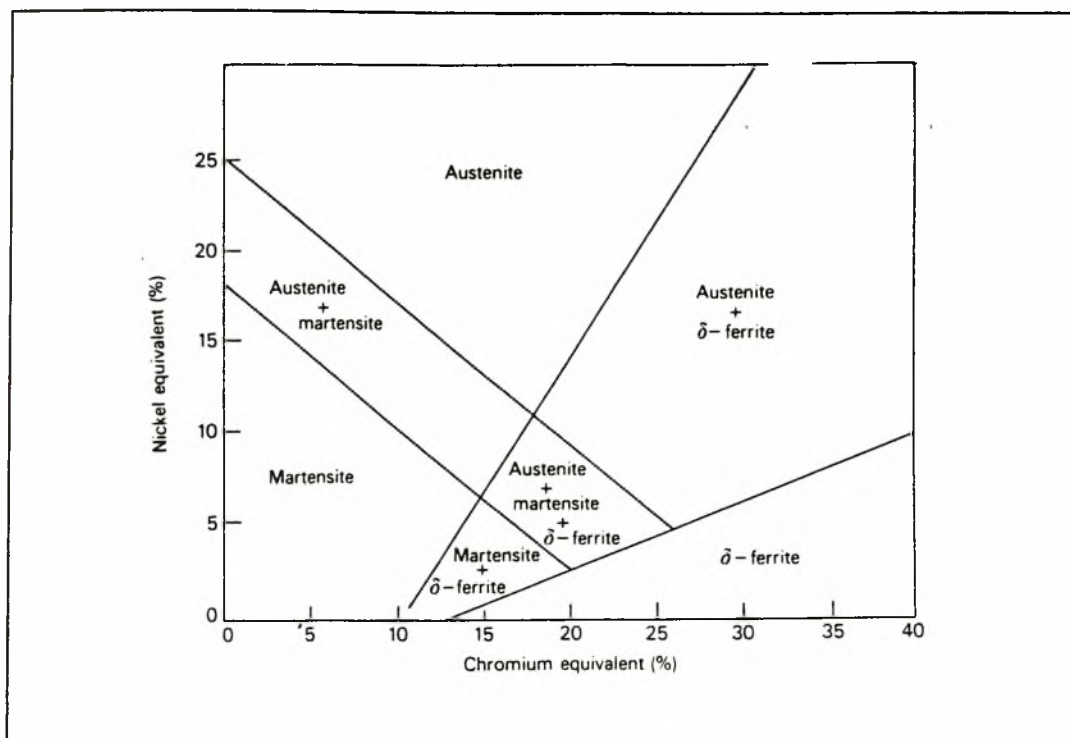
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ Ι



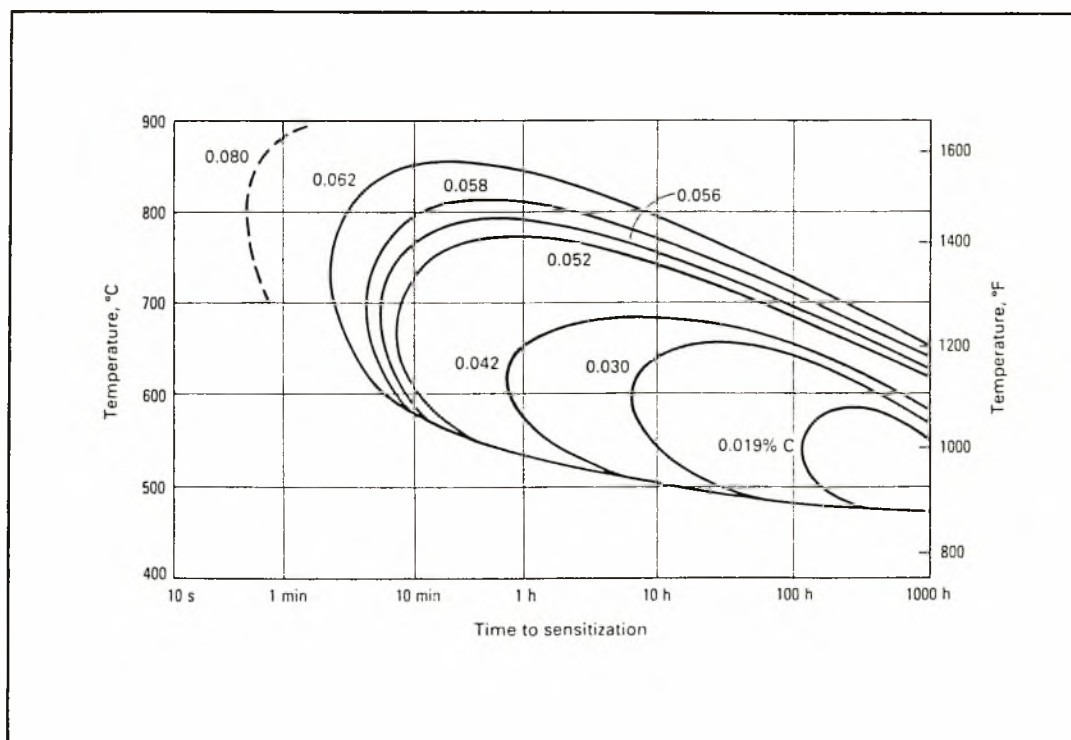


Σχ.1: Μονάδα φωσφορικού οξέος. Διάγραμμα ροής

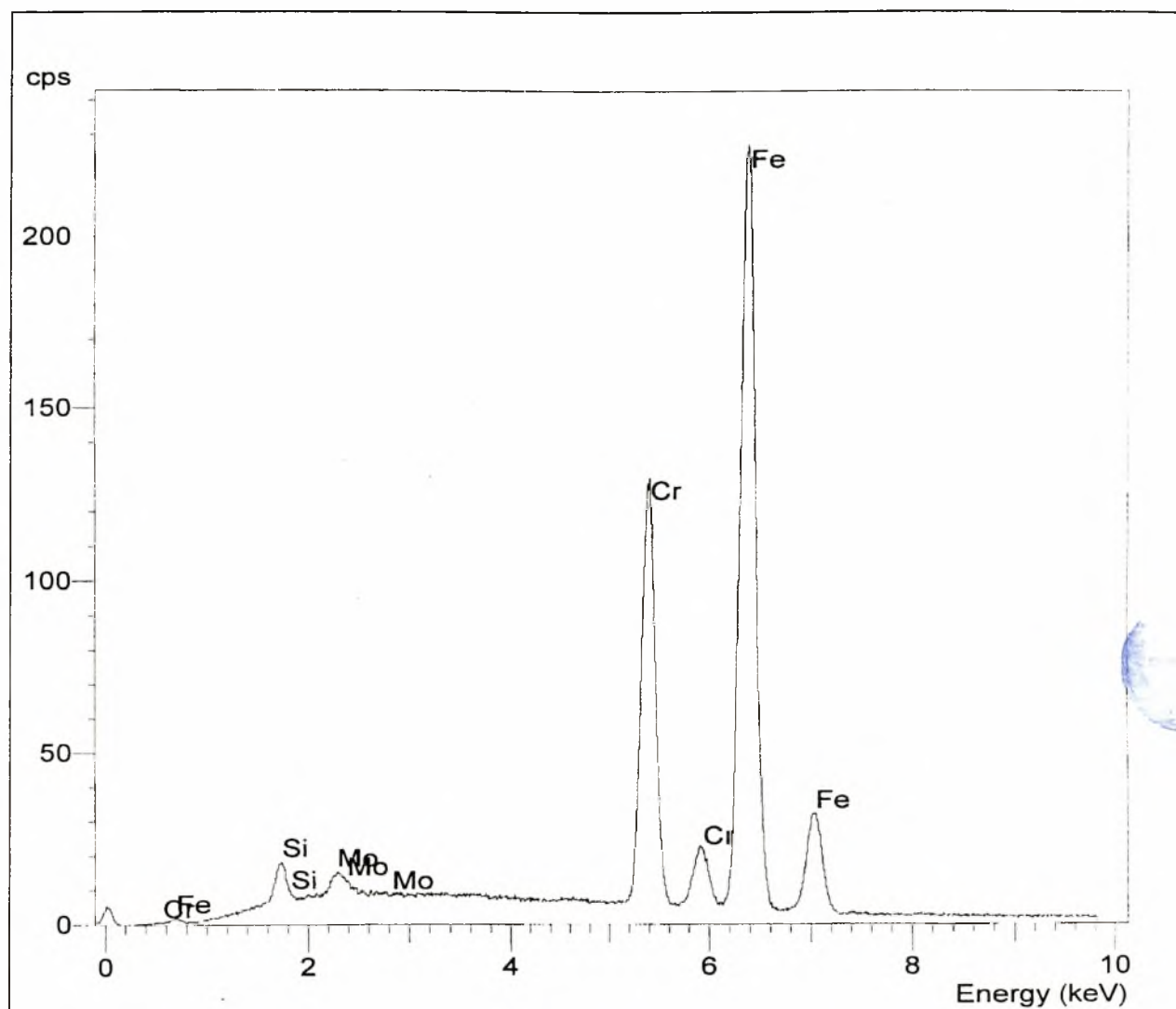
ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ ΦΩΣΦΟΡΙΚΟΥ ΟΞΕΟΣ



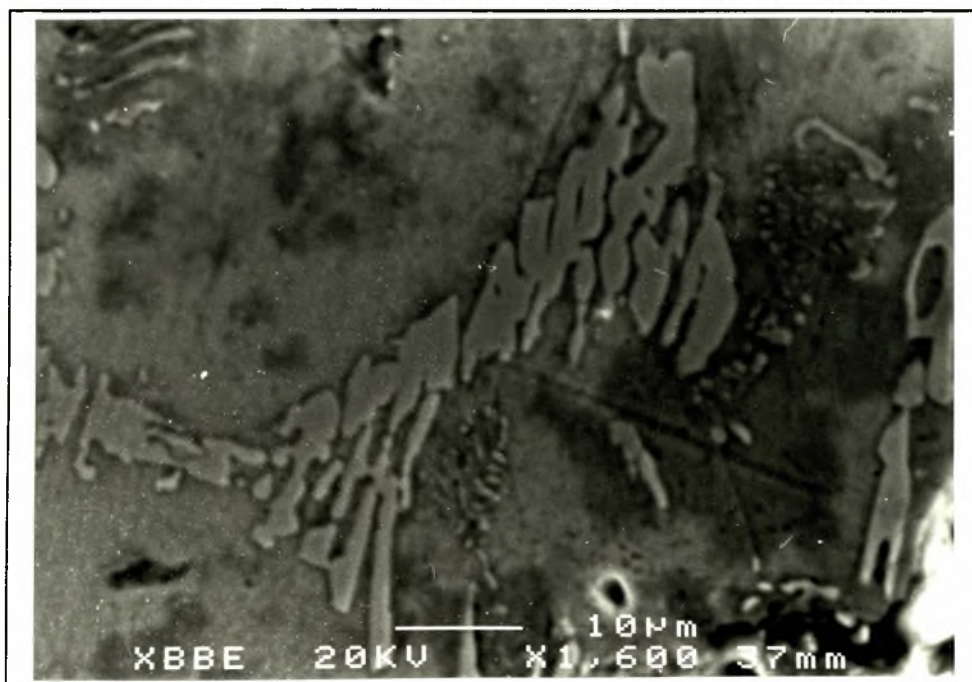
Σχ. 2: Διάγραμμα Schaeffler. Επίδραση των κραματικών στοιχείων στη βασική δομή των χρωμιονικελιούχων ανοξειδωτων χαλύβων.



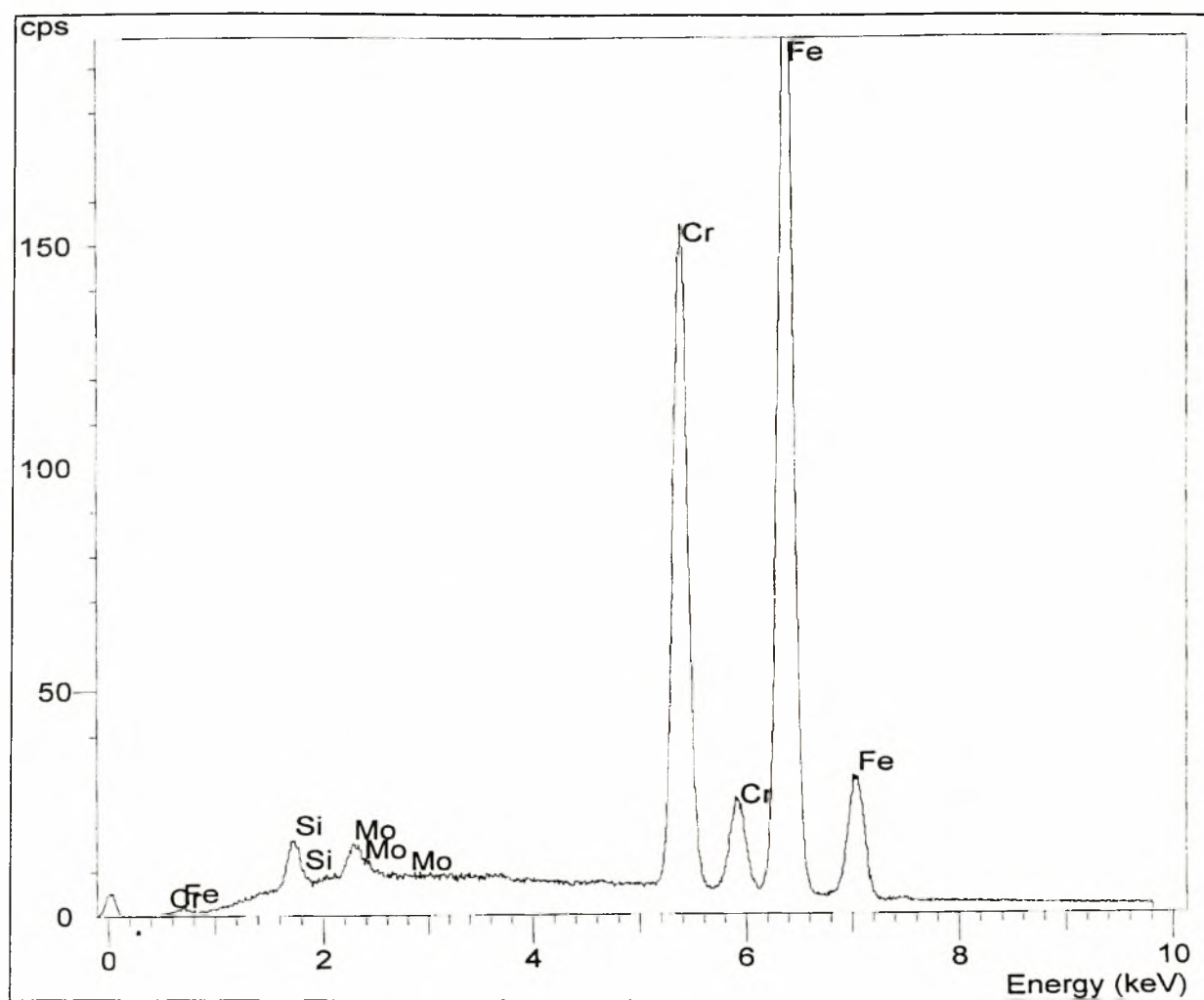
Σχ. 3: Καμπύλες χρόνου-θερμοκρασίας-εναισθητοποίησης για τον ανοξειδωτο χάλυβα 304.



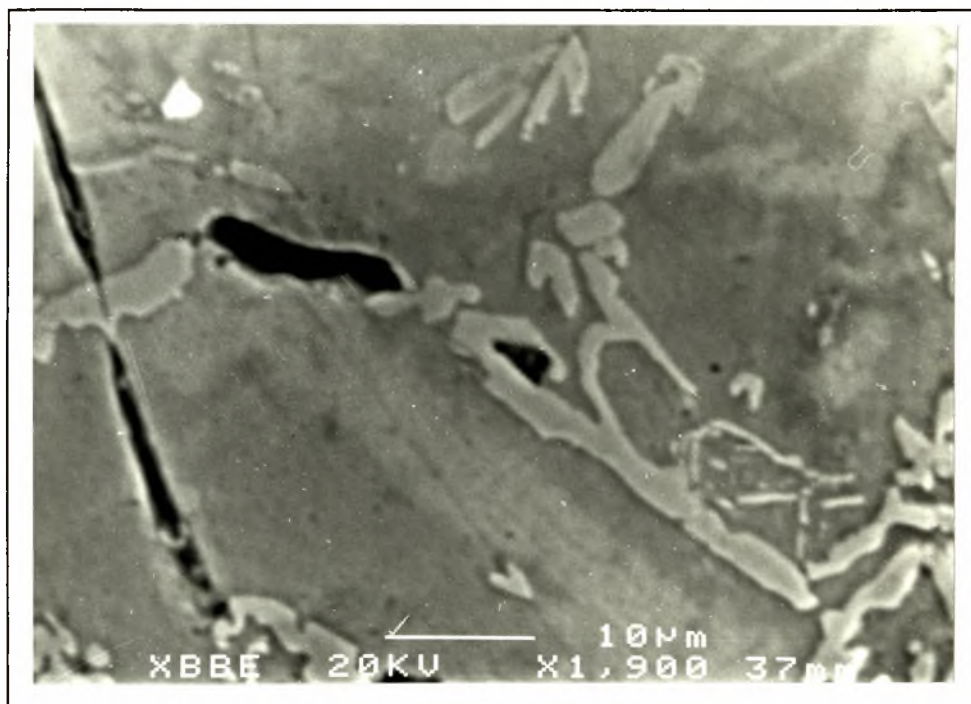
Σχ. 4: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας από την περιοχή των δενδριτών.



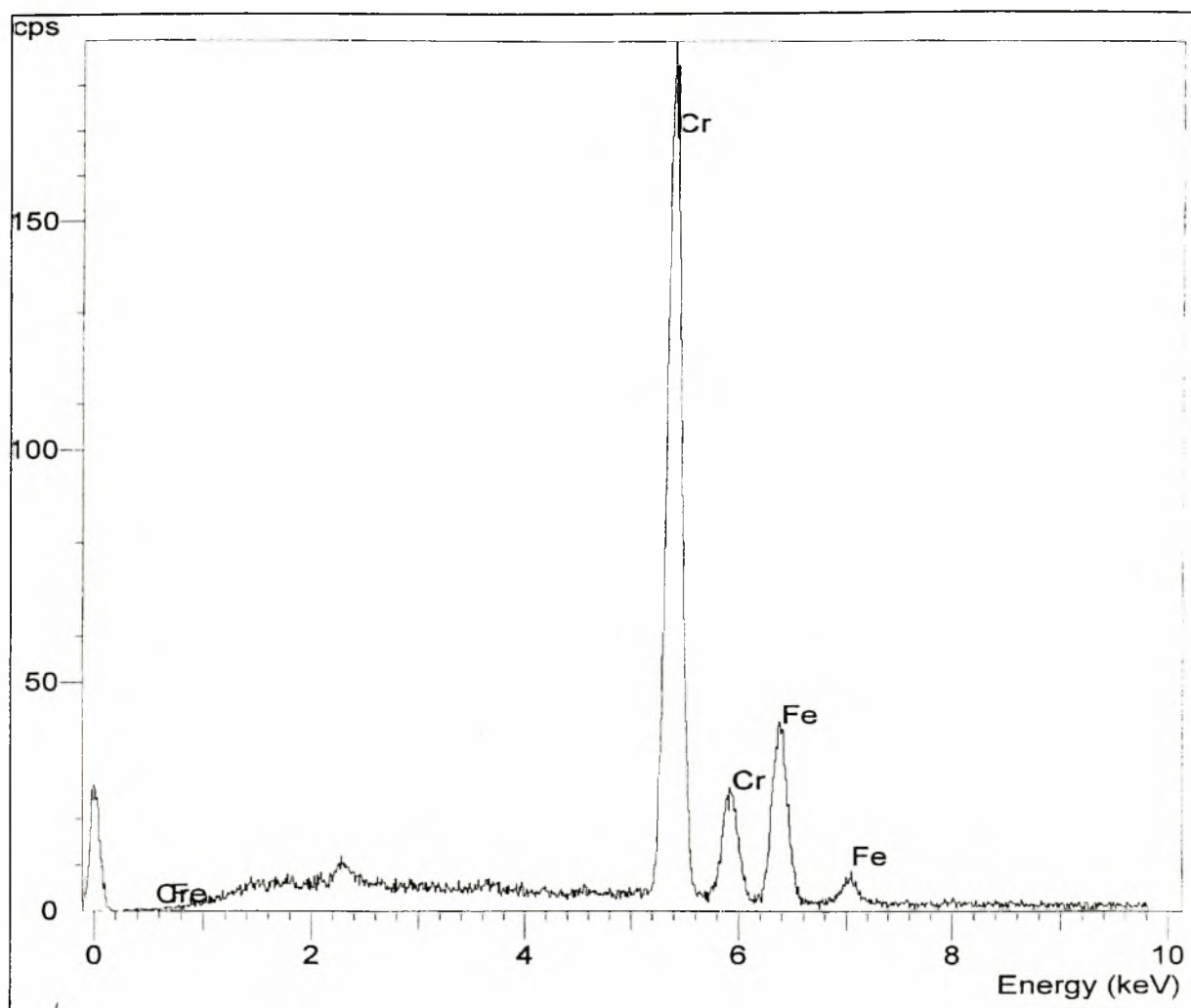
Φώτο I: Δενδρίτες του χάλυβα Fonte á Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου



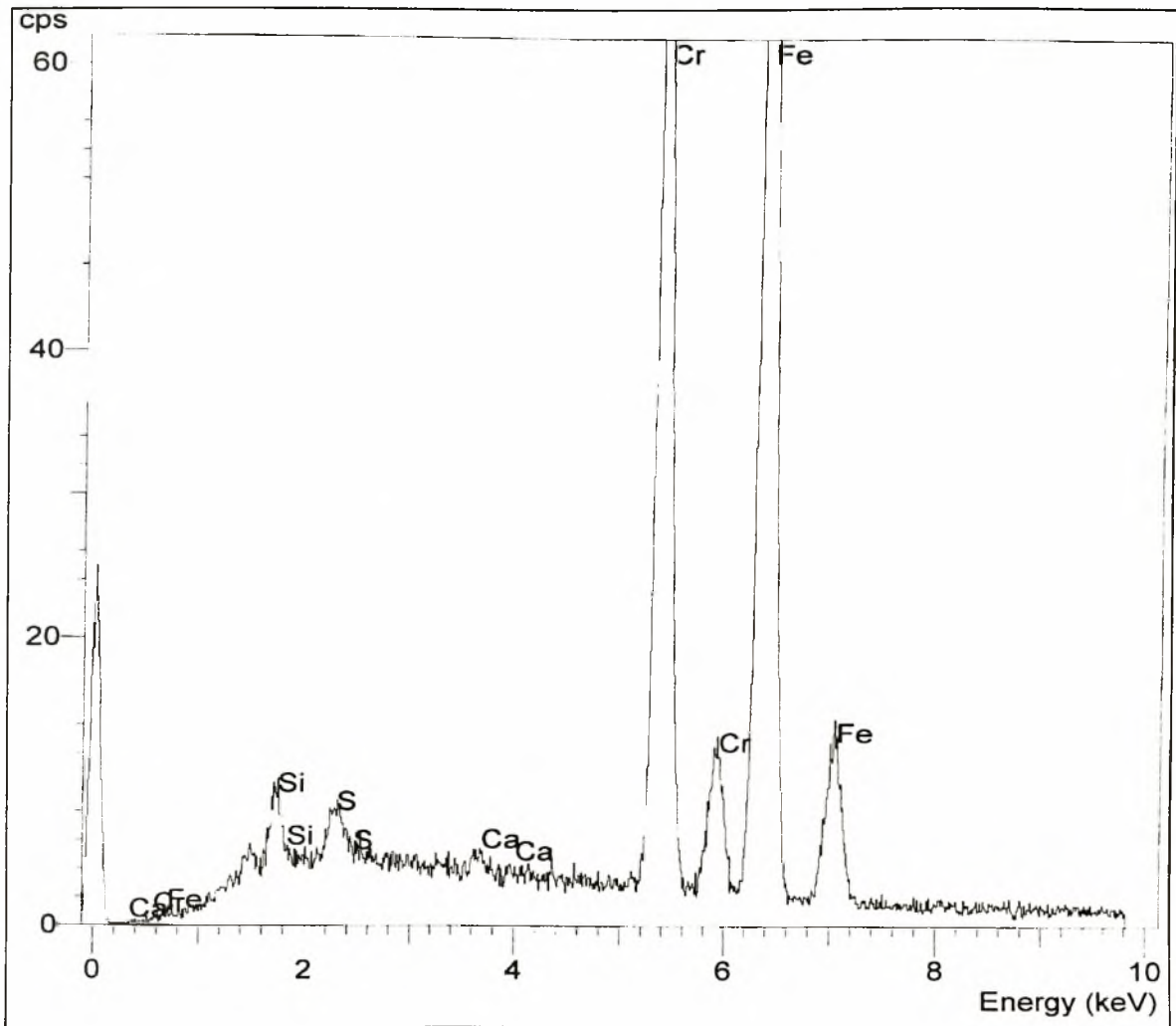
Σχ. 5: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας στην περιοχή μεταξύ των δενδριτών.



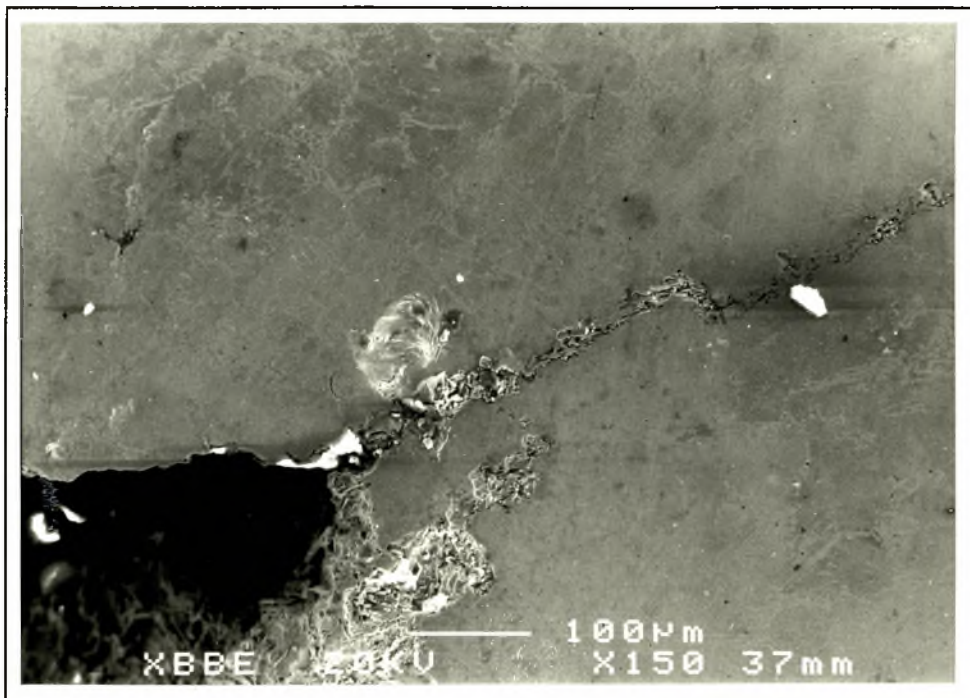
Φώτο II: Χάλυβας Fonte á Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Η γκρι περιοχή είναι το υλικό μεταξύ των δενδριτών.



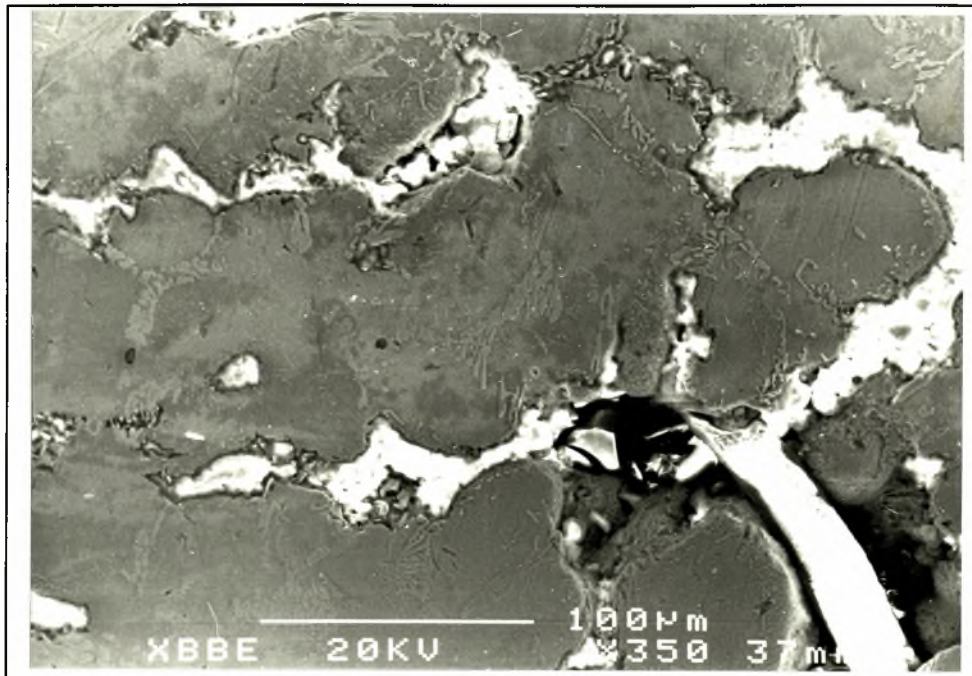
Σχ. 6: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας σε καρβίδια του χρωμίου.



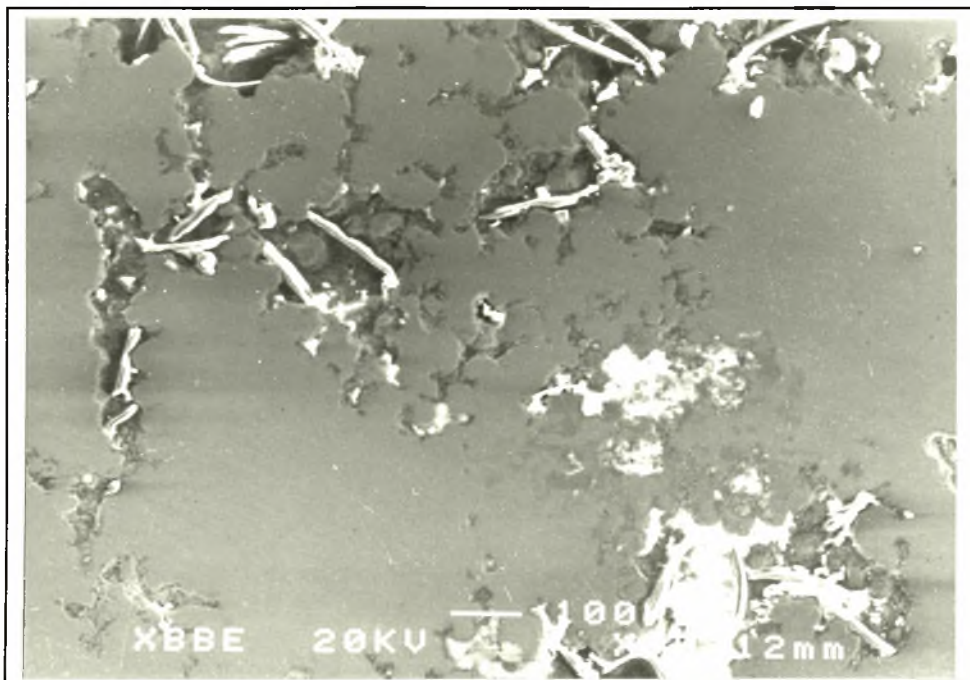
Σχ 7: Φάσμα ηλεκτρονικής μικροσκοπίας στους κρατήρες που σχηματίζονται από τη διάβρωση του υλικού.



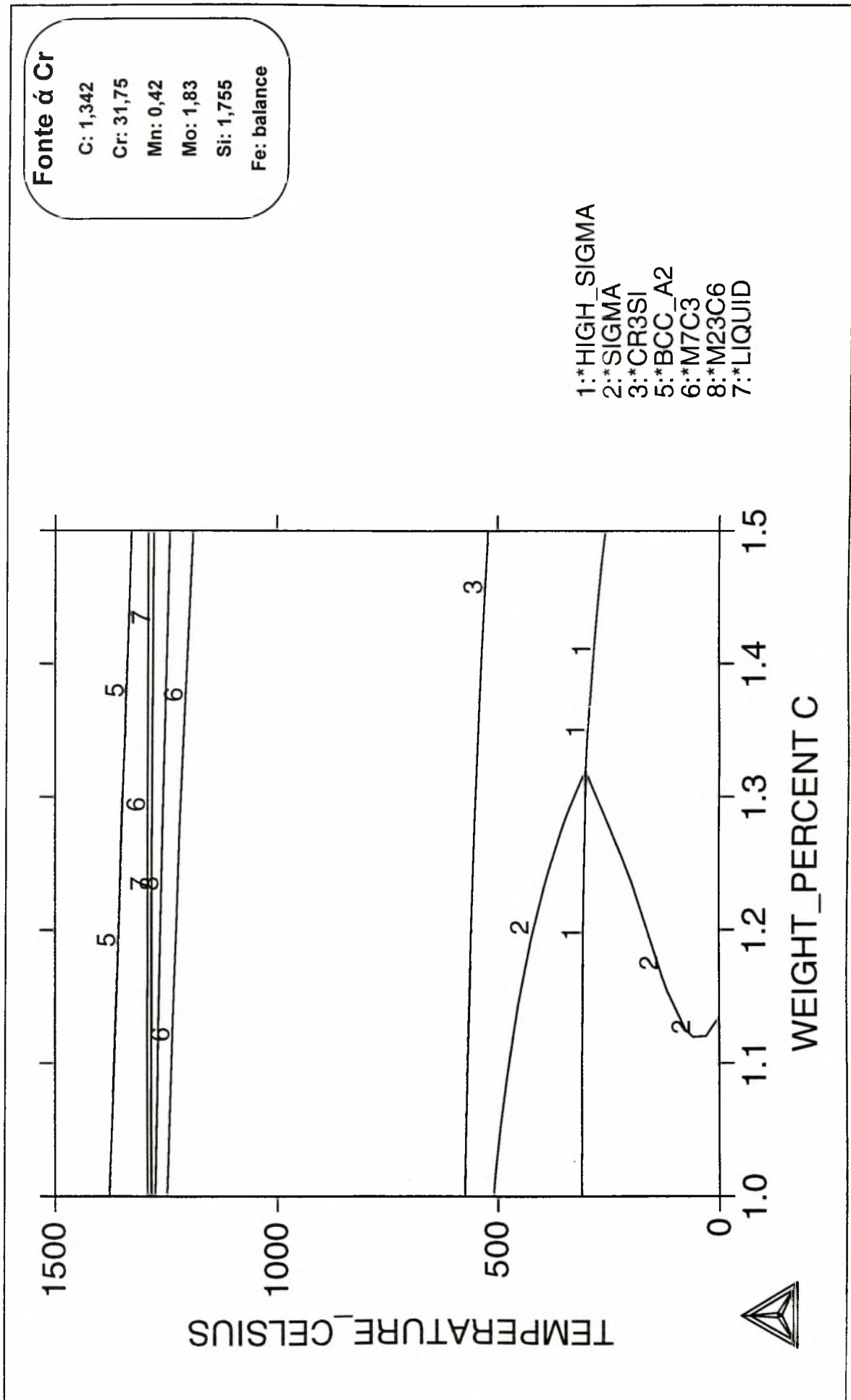
Φότο III: Χάλυβας Fonte á Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου από τους κρατήρες.



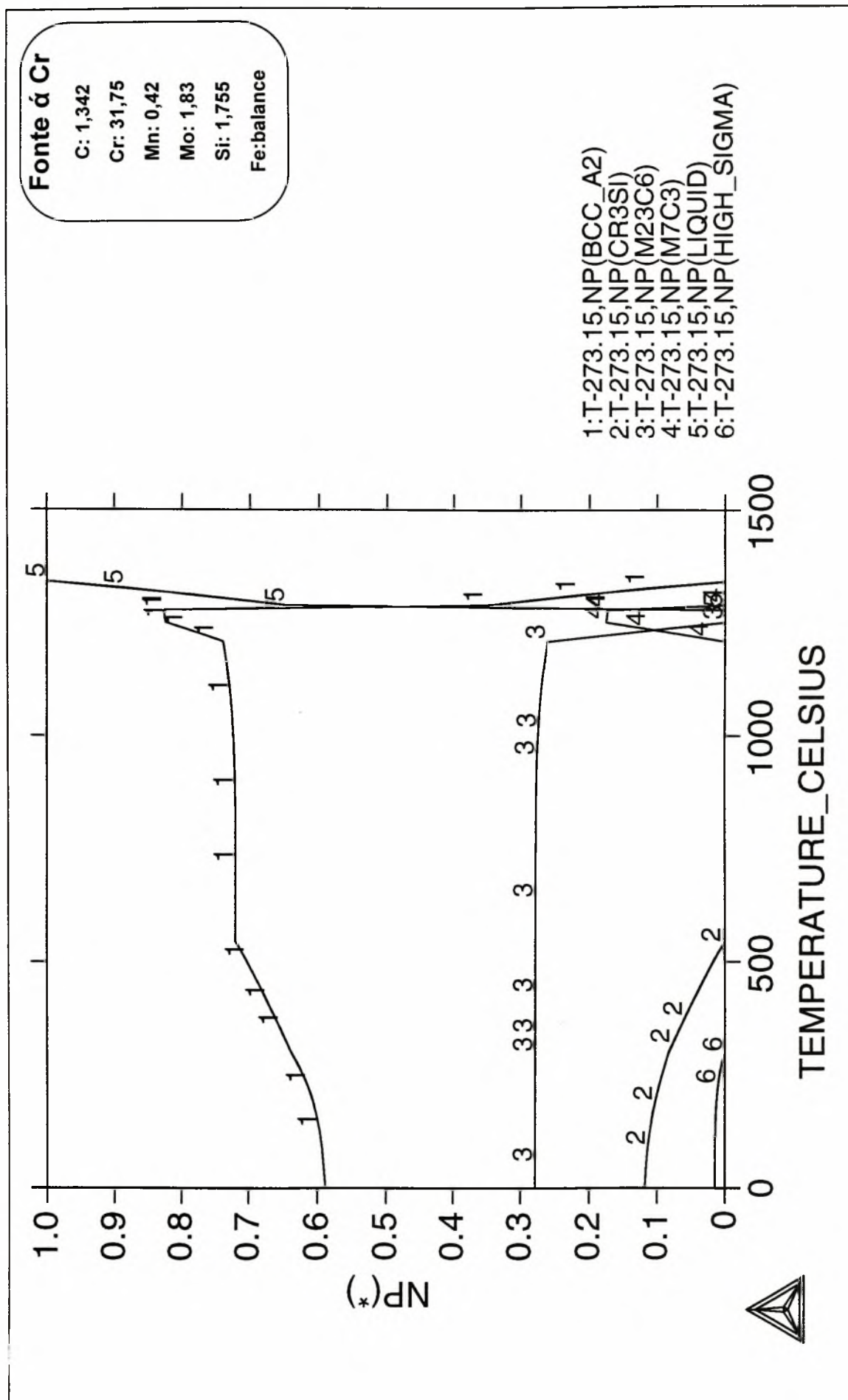
Φώτο IV: Χάλυβας Fonte á Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το υλικό απογυμνώνεται από τις λευκές περιοχές (δενδρίτες). Το γκρι φόντο είναι το υλικό γύρω από τους δενδρίτες. Στους κρατήρες φαίνονται οι διάφορες επικαθίσεις.



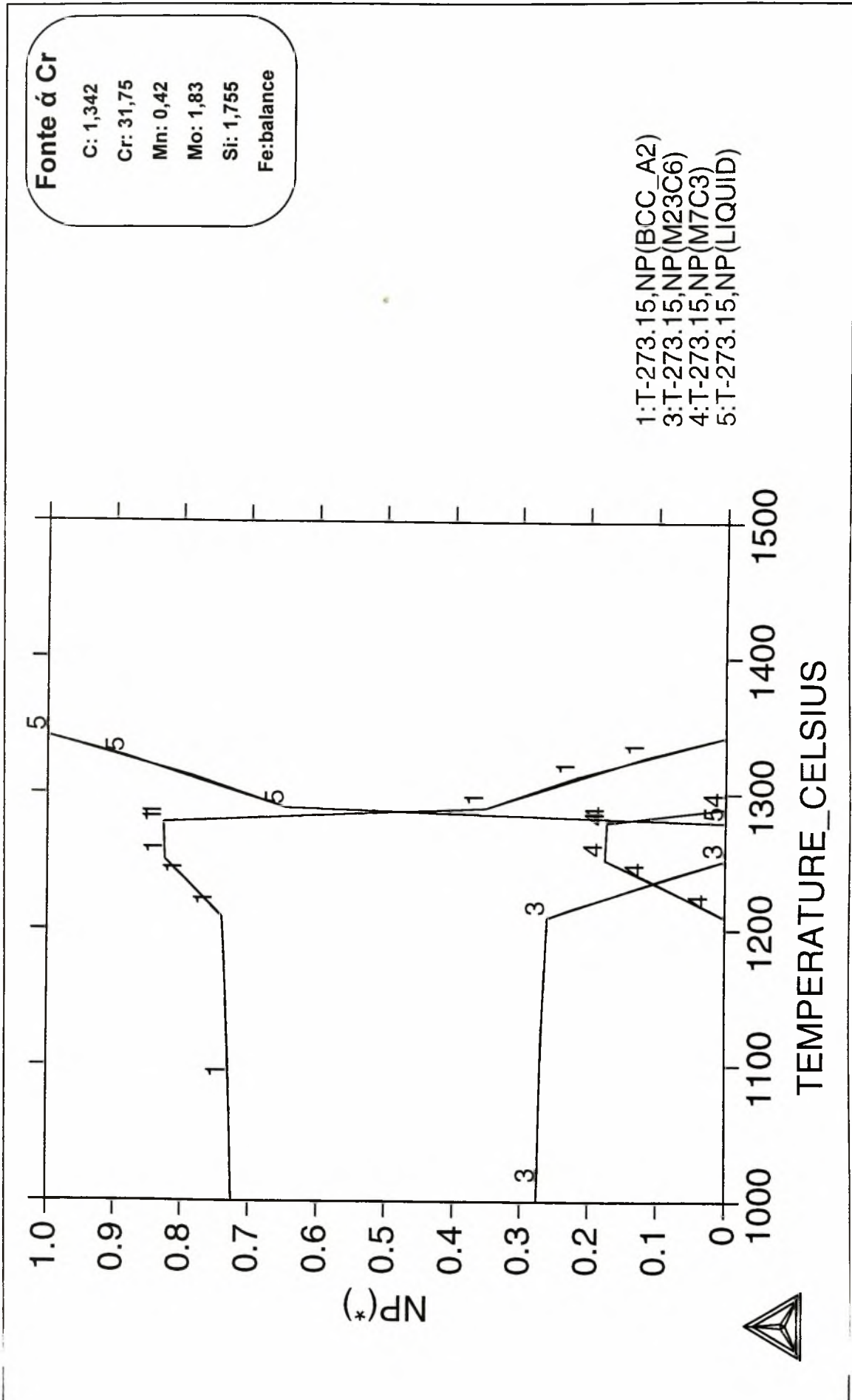
Φώτο.V: Χάλυβας Fonte á Cr. Φωτογραφία ηλεκτρονικού μικροσκοπίου. Το υλικό απογυμνώνεται από τις λευκές περιοχές (δενδρίτες). Το γκρι φόντο είναι το υλικό γύρω από τους δενδρίτες. Στους κρατήρες φαίνονται οι διάφορες επικαθίσεις.



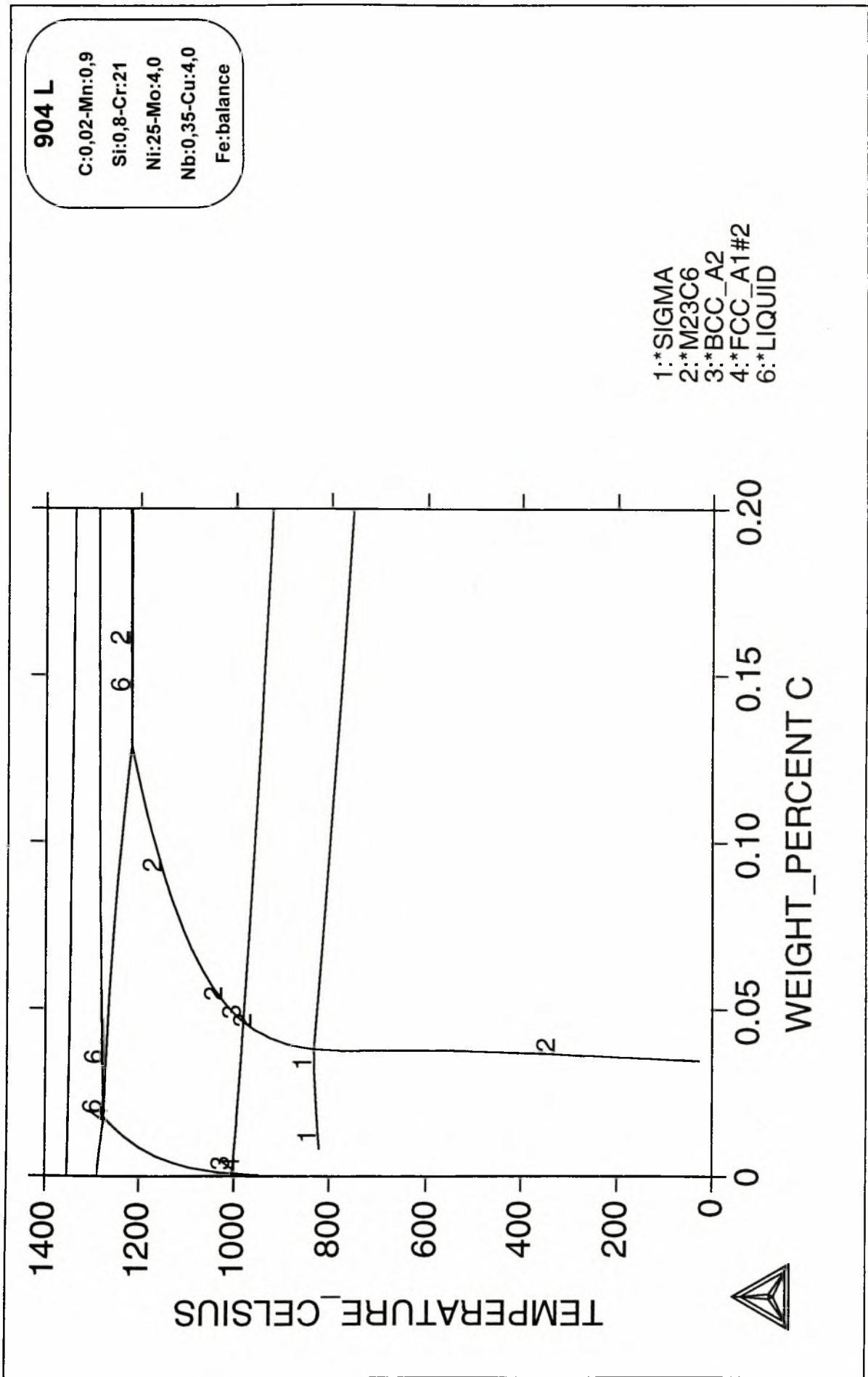
Σχ. 8: Διάγραμμα φάσης του Χάλυβα Fonte á Cr.



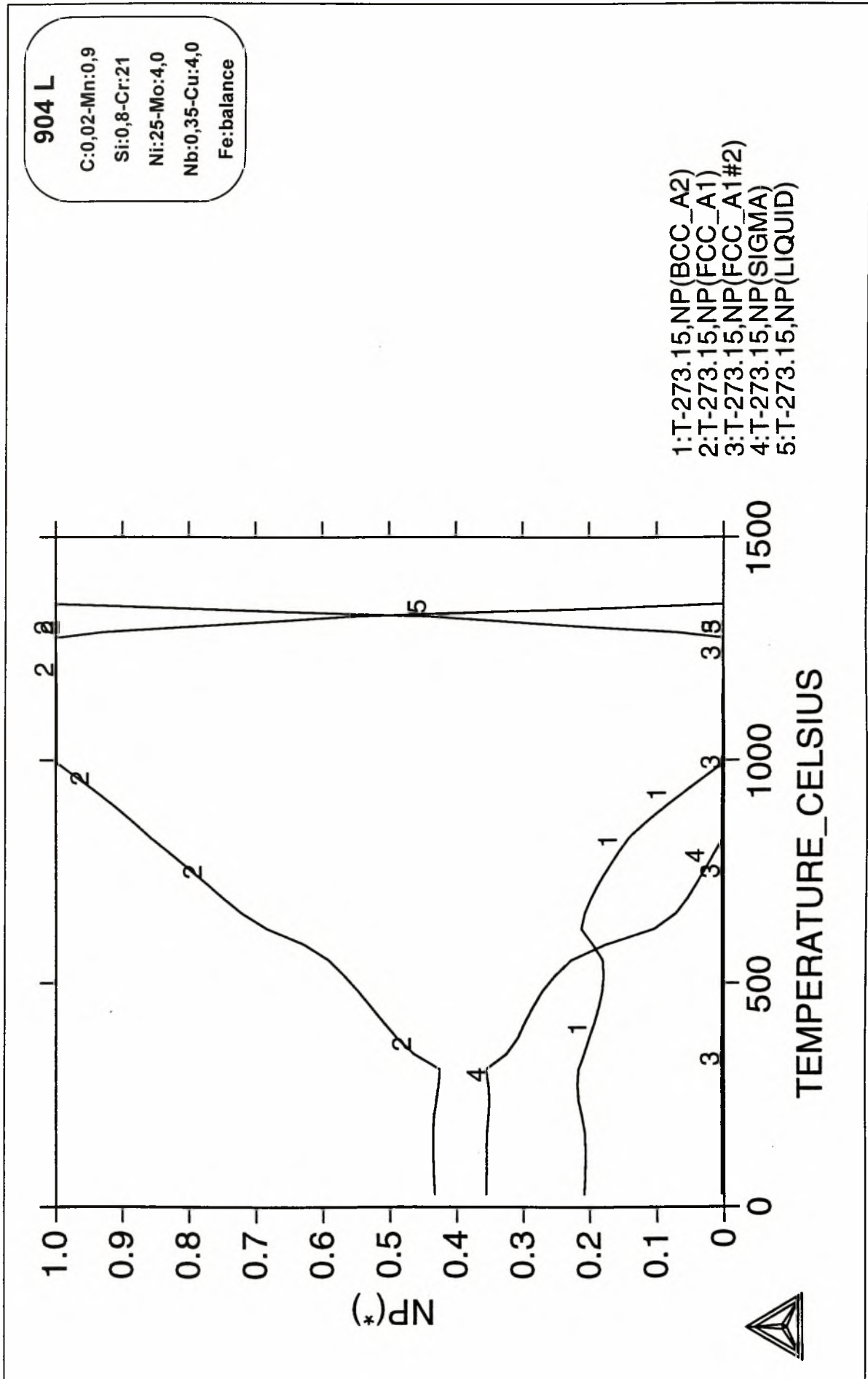
Σχ. 9: Διάγραμμα NP του χάλυβα Fonte á Cr. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.



ΣΧ. 10: Διάγραμμα NP του χάλυβα Fonte á Cr. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης. Λεπτομέρεια του σχήματος 9.



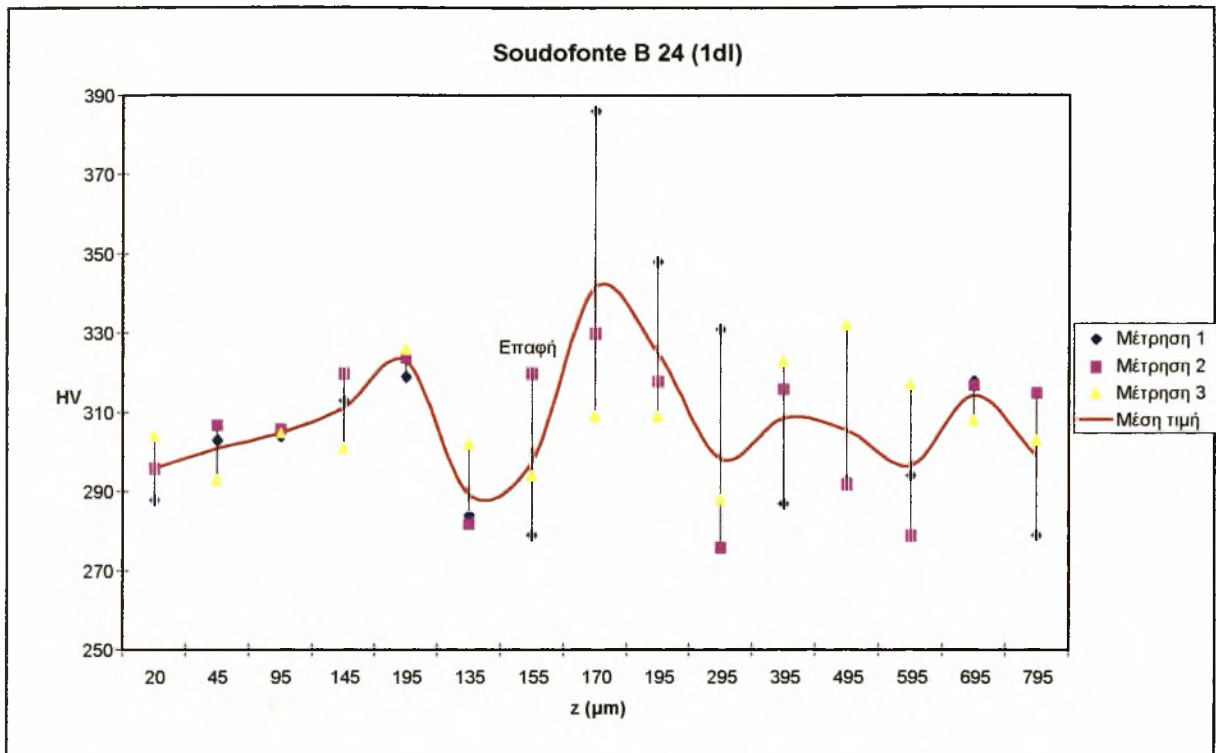
Σχ. 11: Διάγραμμα φάσης του χάλυβα 904 L.



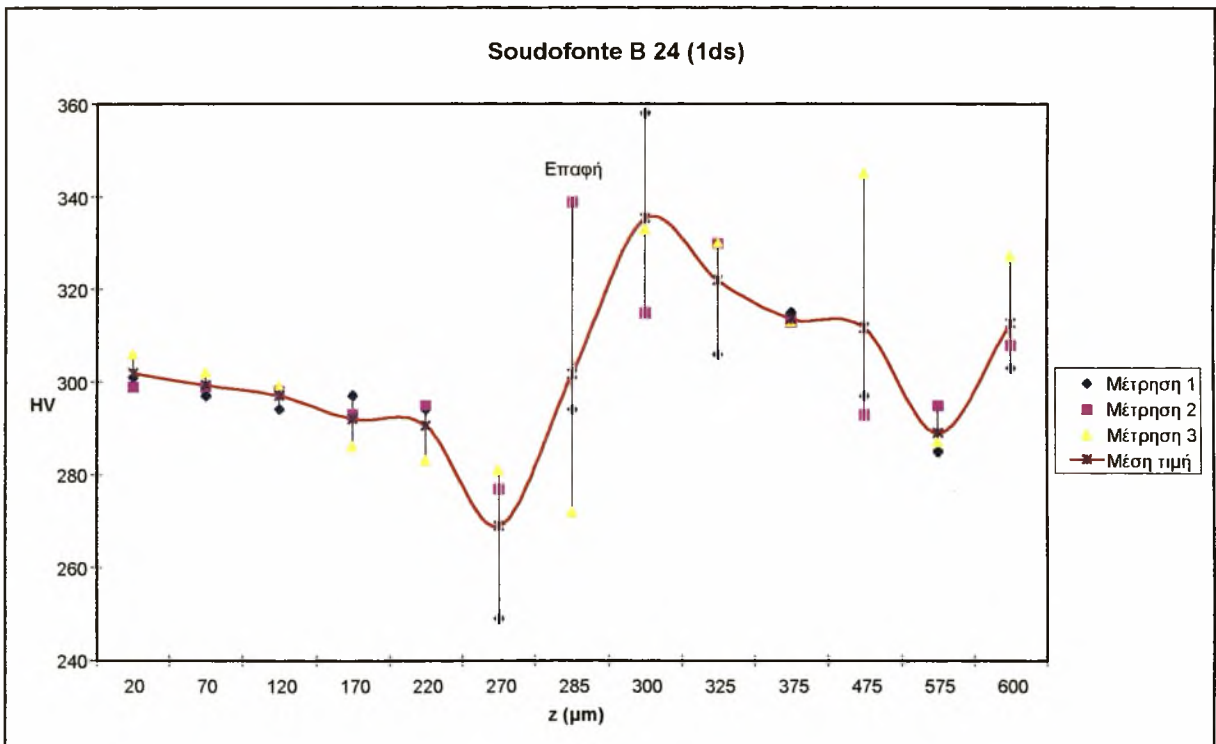
ΣΧ. 12: Διάγραμμα NP του χάλυβα 904 L. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.

<u>α/α</u>	<u>Όνομασία</u>	<u>Χημική Σύσταση</u>	<u>Προθέρμανση</u> (min/°C)	<u>Πολικότητα</u>	<u>Ένταση</u> (A)	<u>Παρατηρήσεις</u>
1α	<u>Soudofonte B 24</u>	C:1,6-Ni:*	-	+	~60	Έγιναν 5 κορδόνια.
1β			15/300	+	~60	
1γ			"	+	"	
1δ			"	-	~55	
1ε			"	-	~60	
2	<u>Soudocrom S 17</u>	C:0,02-Mn:0,9 Si:0,8-Cr:21 Ni:25-Mo:4,0 Nb:0,35-Cu:4,0 Fe:*	60/300	+	~45	
3	<u>Fox Eas 2-A</u> <u>E 308L-16</u>	C<0,03-Si:0,8 Mn:0,8-Cr:19,8 Ni:10,2-Fe:*	60/300	+	~50	
4	<u>Soudonickel</u>	C:0,02-Mn:0,3 Si:0,7-Fe:0,3 Ti:2,3-Ni:*	60/300	+	~65	Έγιναν δύο κορδόνια. Το μικρό έγινε σε δύο περάσματα.
5	<u>Fox GFW</u>	C:0,4-Ni:68 Cu:30	-	+	~60	
Fe*, Ni*:Υπόλοιπο						

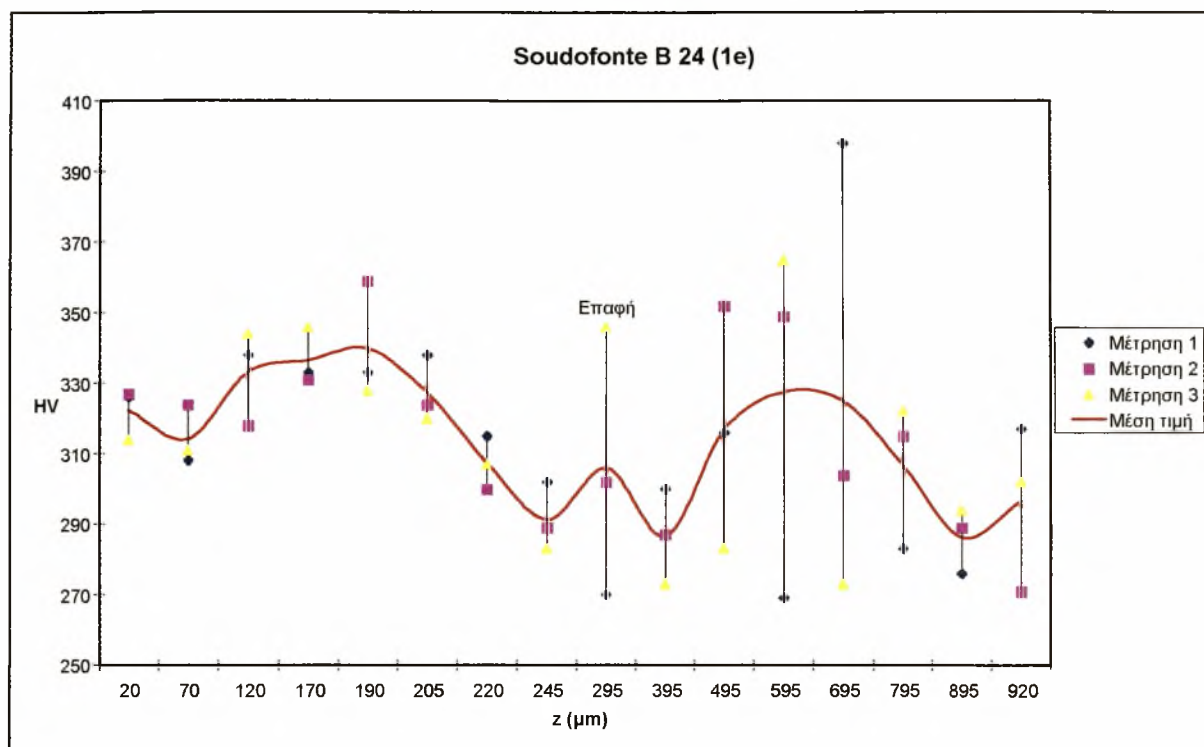
Πιν.1: Χημική σύσταση των ηλεκτροδίων και συνθήκες αναγόμωσης.



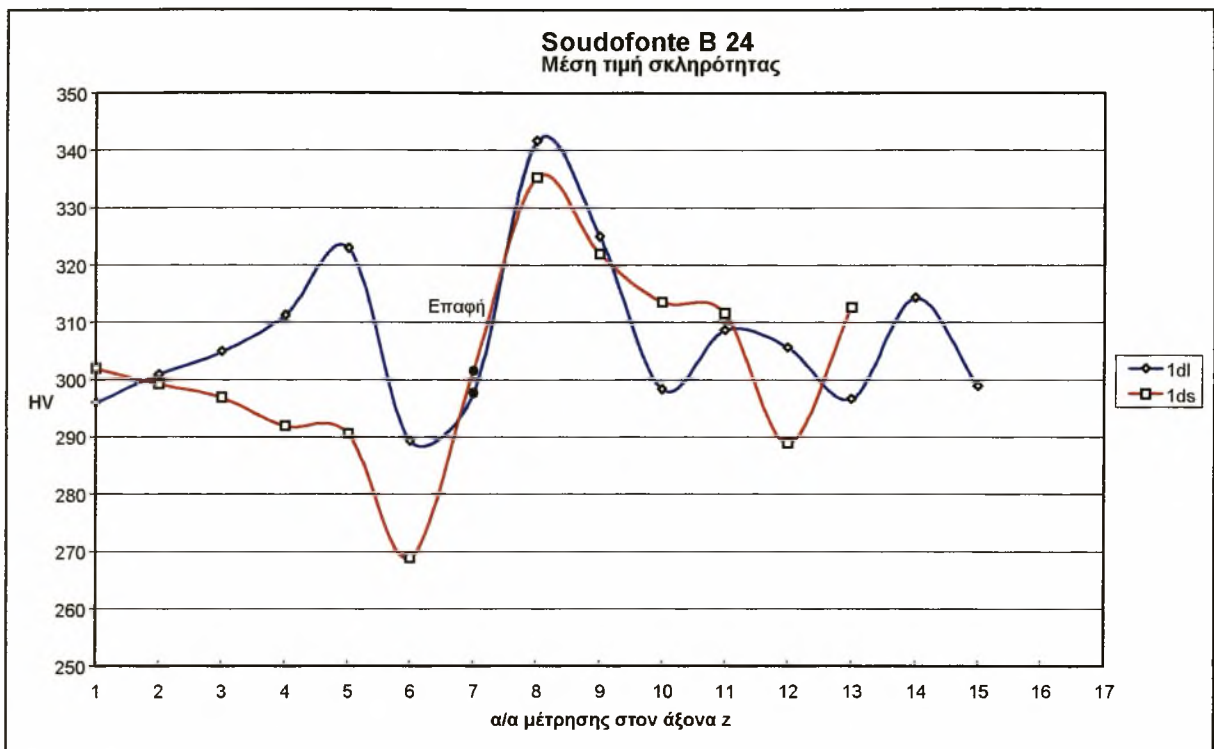
Σχ. 13: Αναγόμωση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης. Φαρδύ τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναγόμωση 55A.



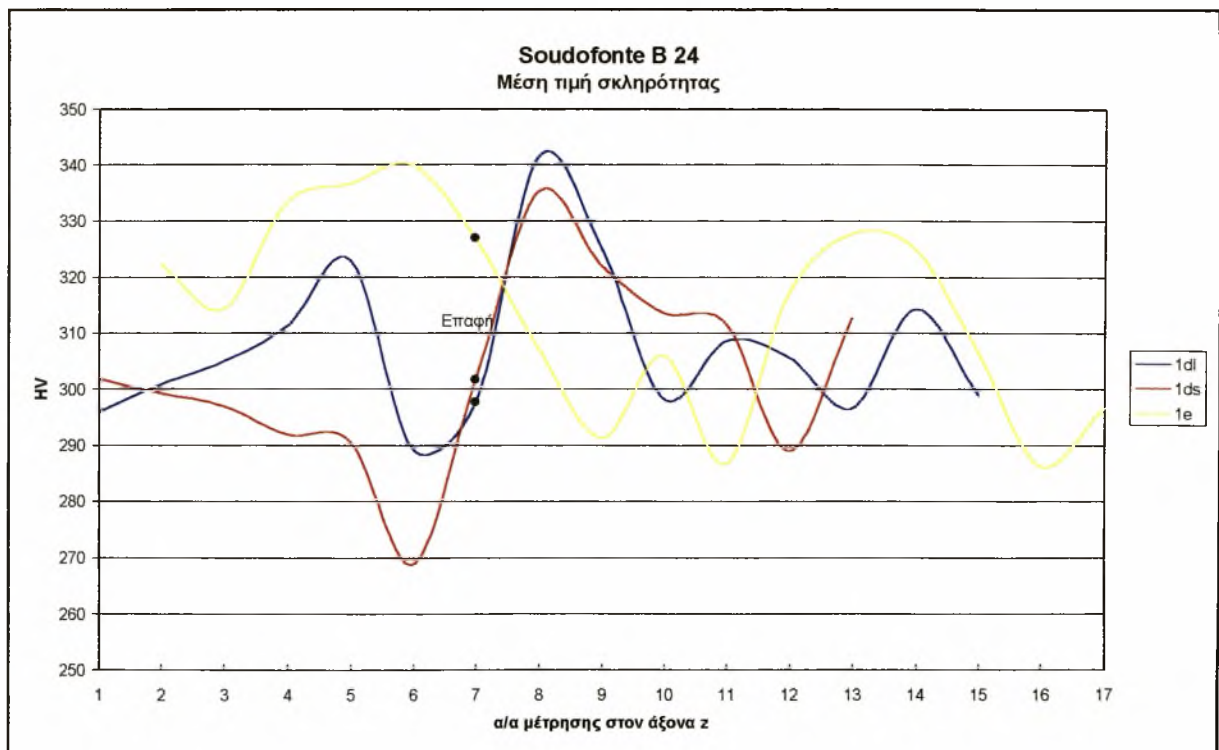
Σχ. 14: Αναγόμωση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης. Λεπτό τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναγόμωση 55A.



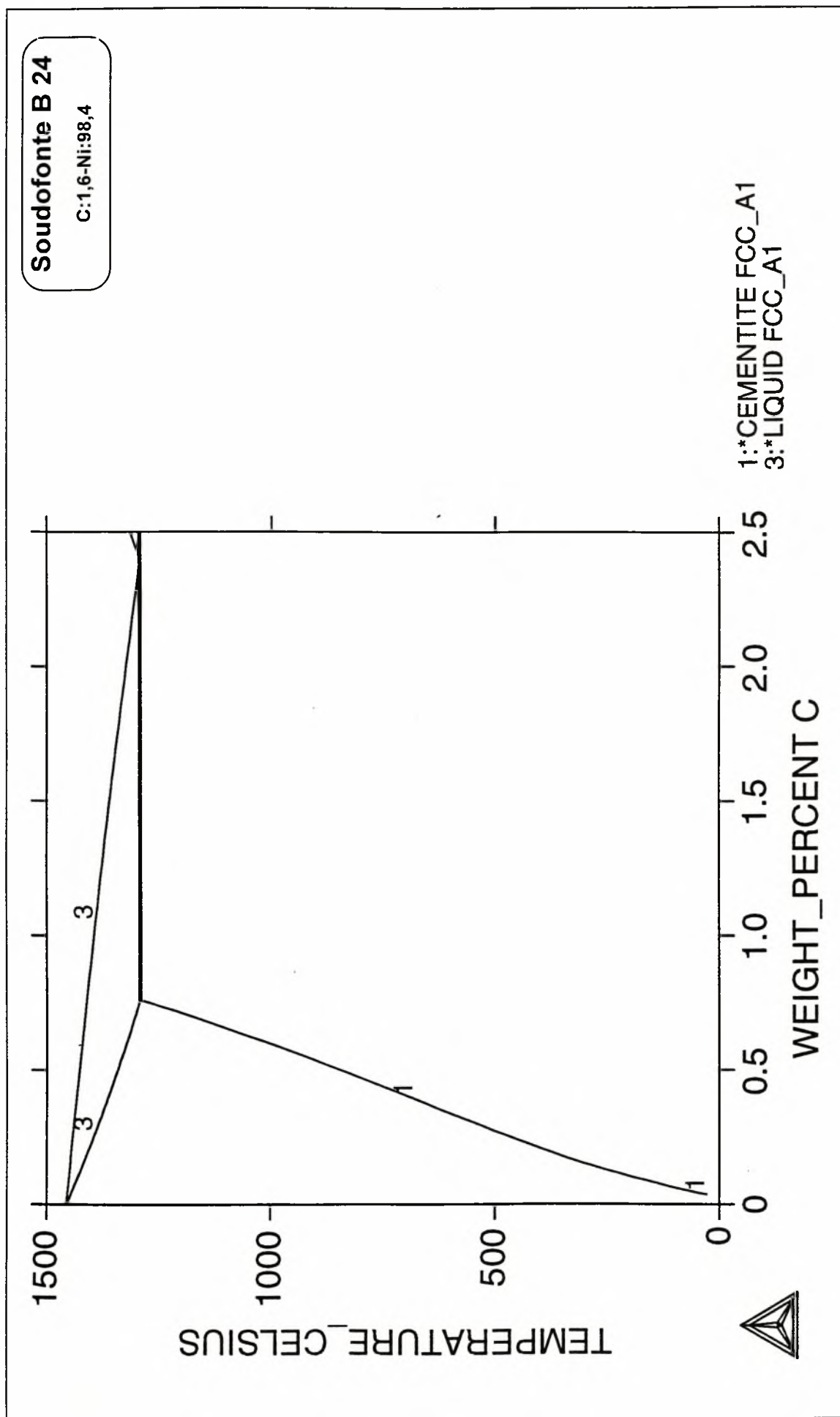
Σχ. 15: Αναδόμωση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναδόμωσης. Φαρδύ τμήμα, ένταση ρεύματος κατά την αναδόμωση 60A.



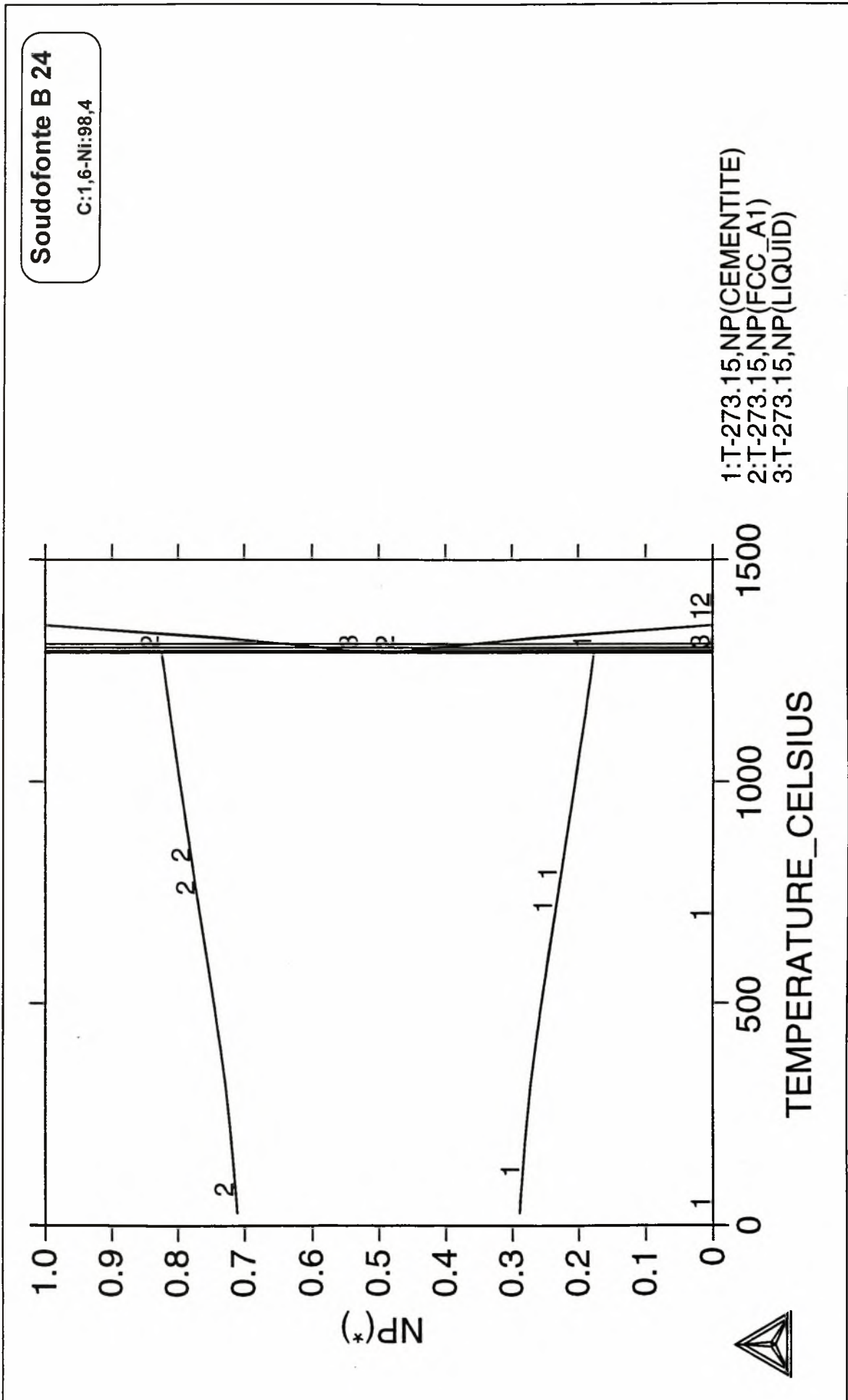
Σχ. 16: Αναδόμωση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναδόμωσης για το λεπτό (1ds) και το φαρδύ (1dl) τμήμα. $I=55A$.



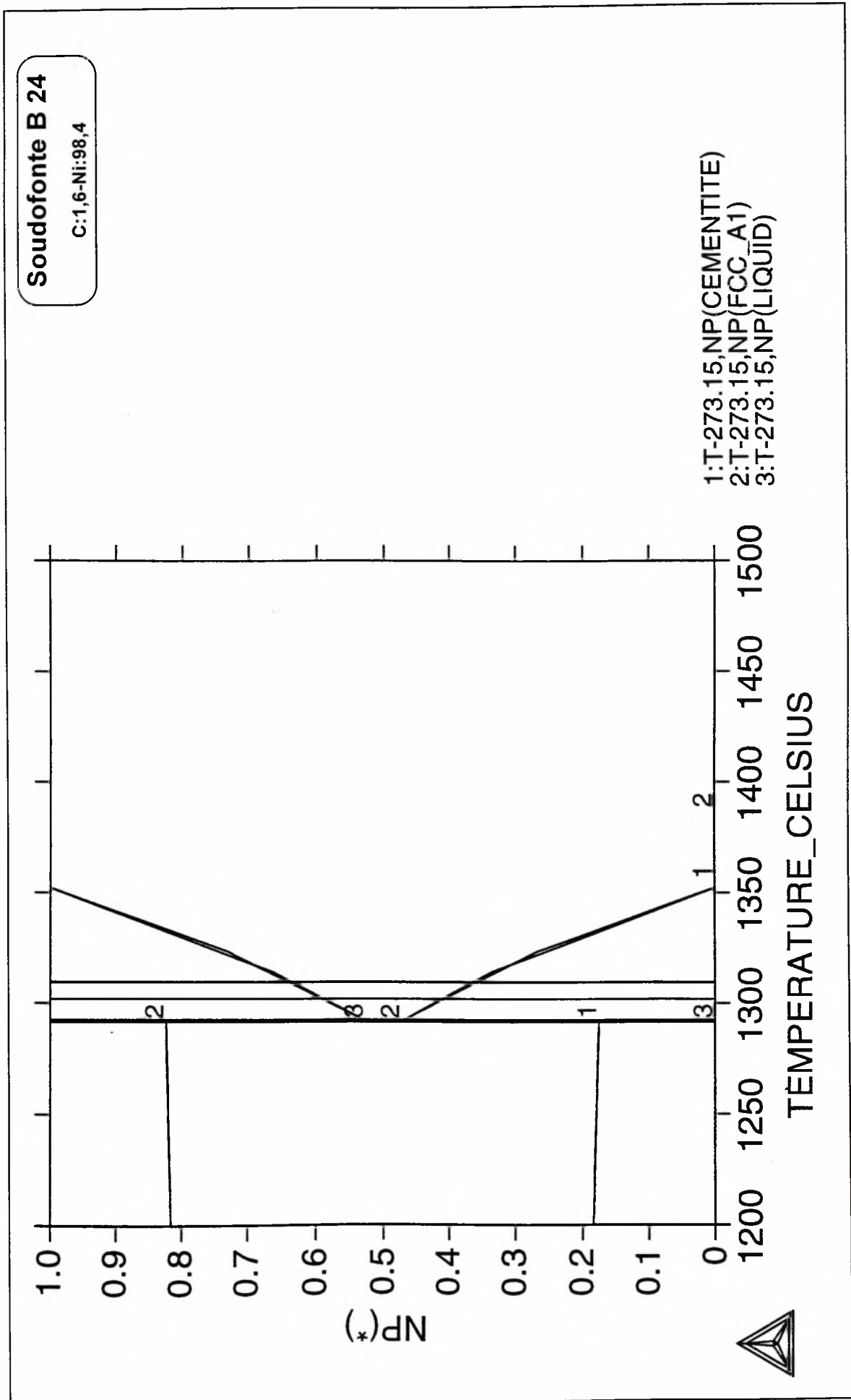
Σχ. 17: Αναδόμωση με Soudofonte B 24. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναδόμωσης για το λεπτό (1ds), το φαρδύ (1dl) τμήμα, με $I=55A$ και το φαρδύ τμήμα με $I=60A$ (1e).



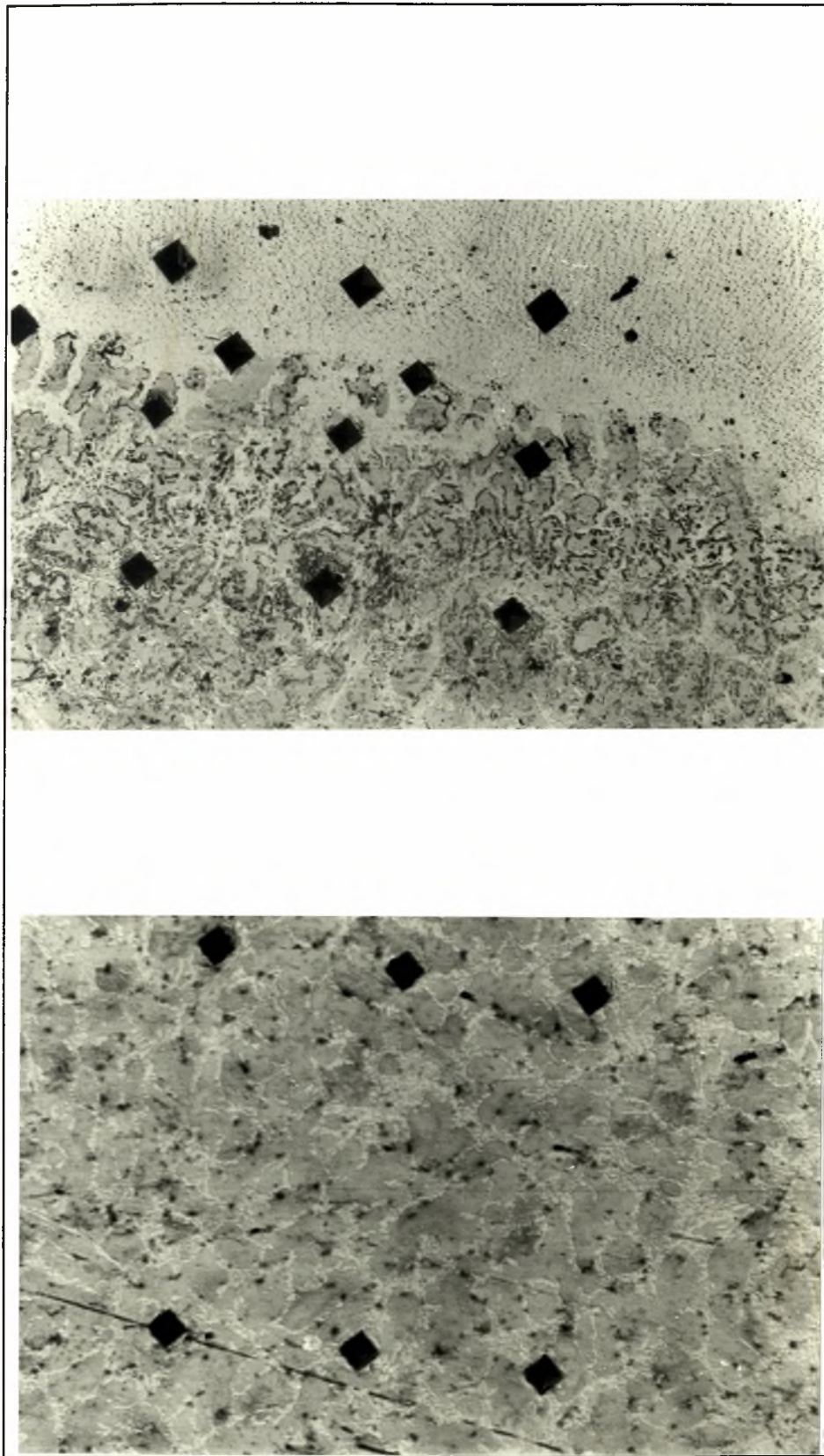
Σχ. 18: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24.



Σχ. 19: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.

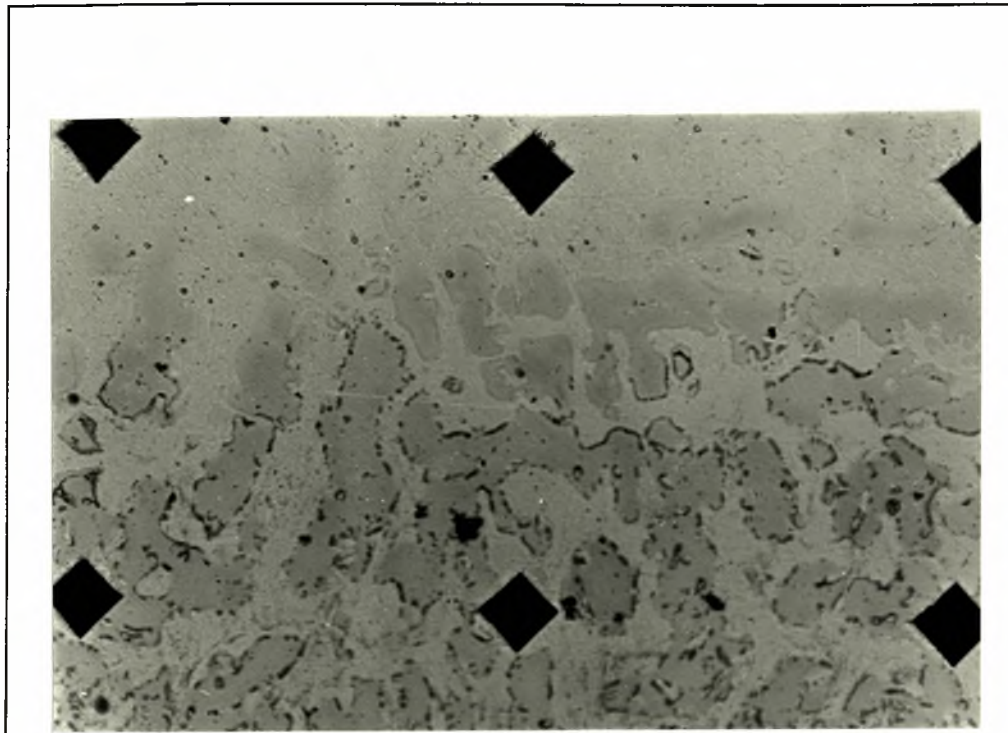


Σχ. 20: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudofonte B 24. Λεπτομέρεια του σχήματος 19.



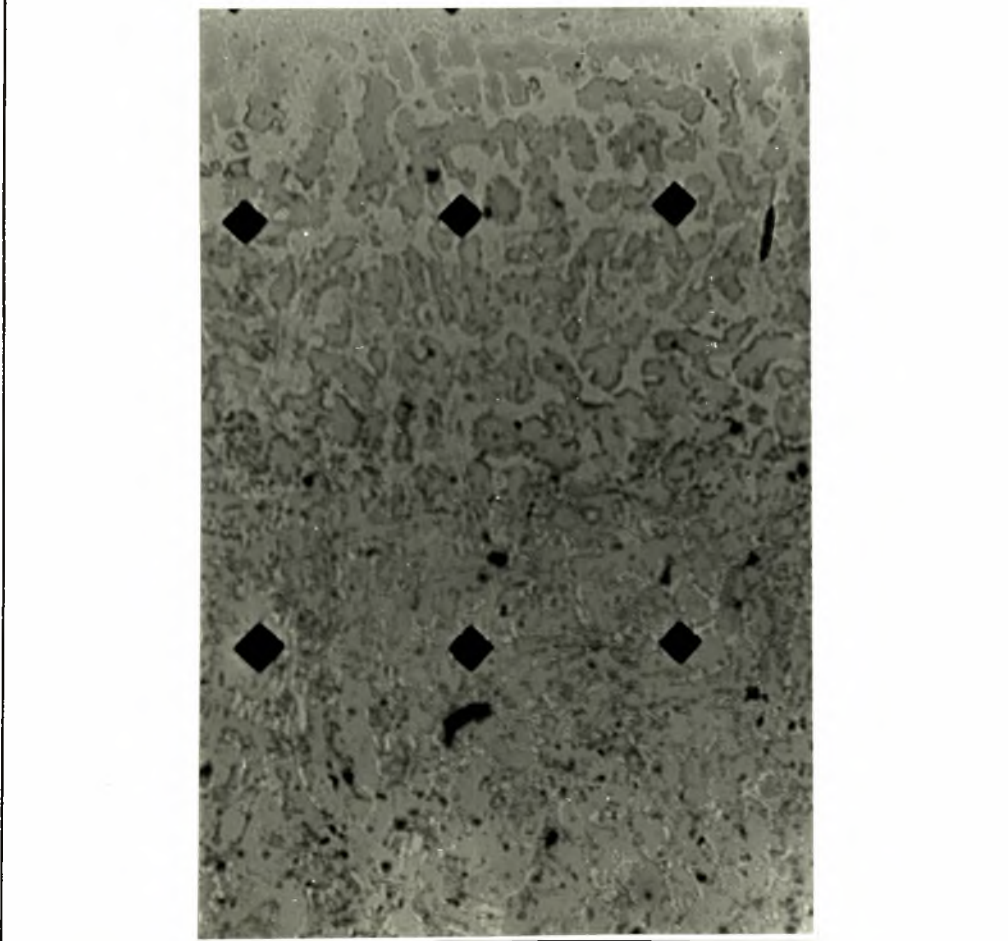
- Μέτρηση # 5
- Μέτρηση # 6
- Μέτρηση # 7
- Μέτρηση # 8
- Μέτρηση # 9,10

Φώτο.VI-VII: Περιοχή μικροσκληρομέτρησης δοκιμίου Soudocrom S 17
(φαρδία διατομή, 21)



Μέτρηση # 6

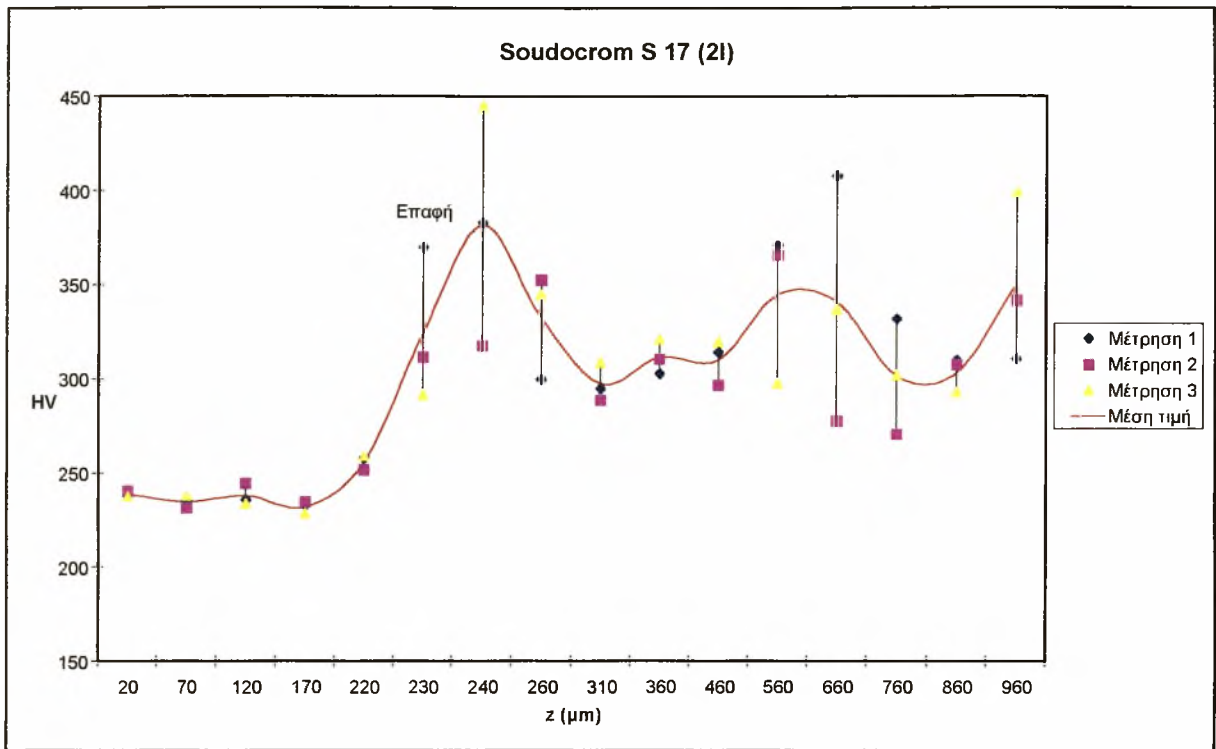
Μέτρηση # 7



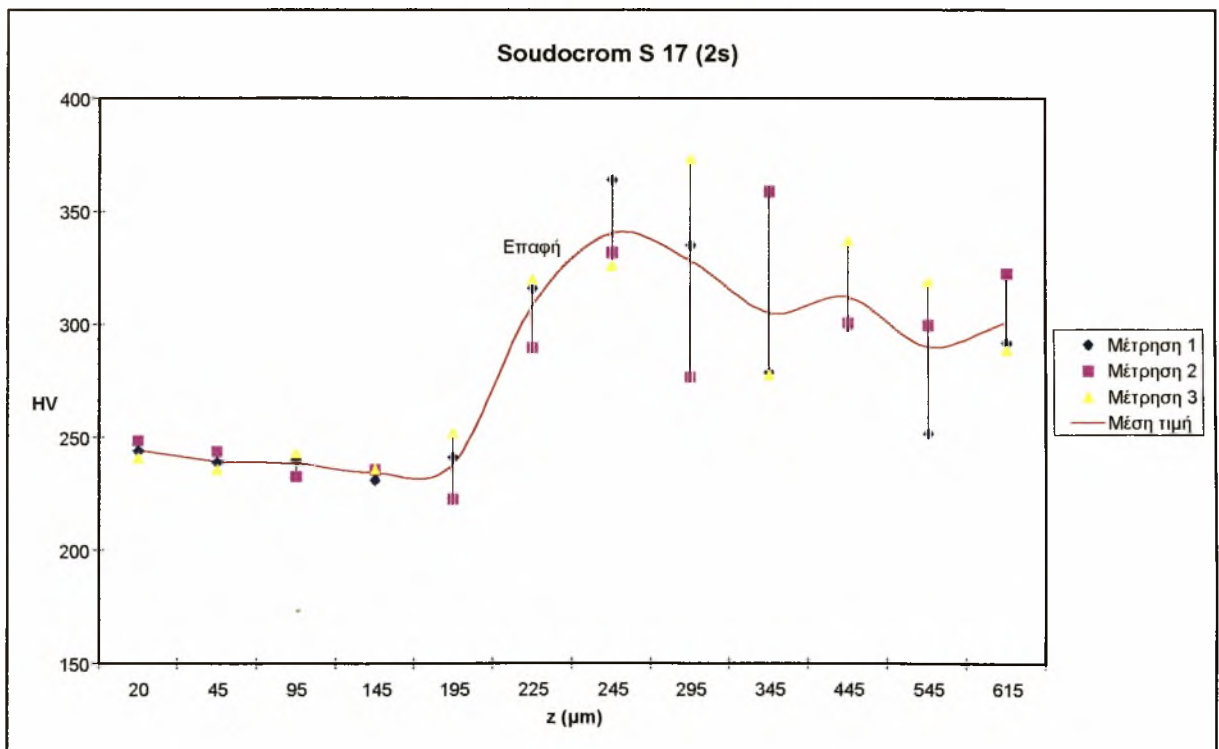
Μέτρηση # 67

Μέτρηση # 8

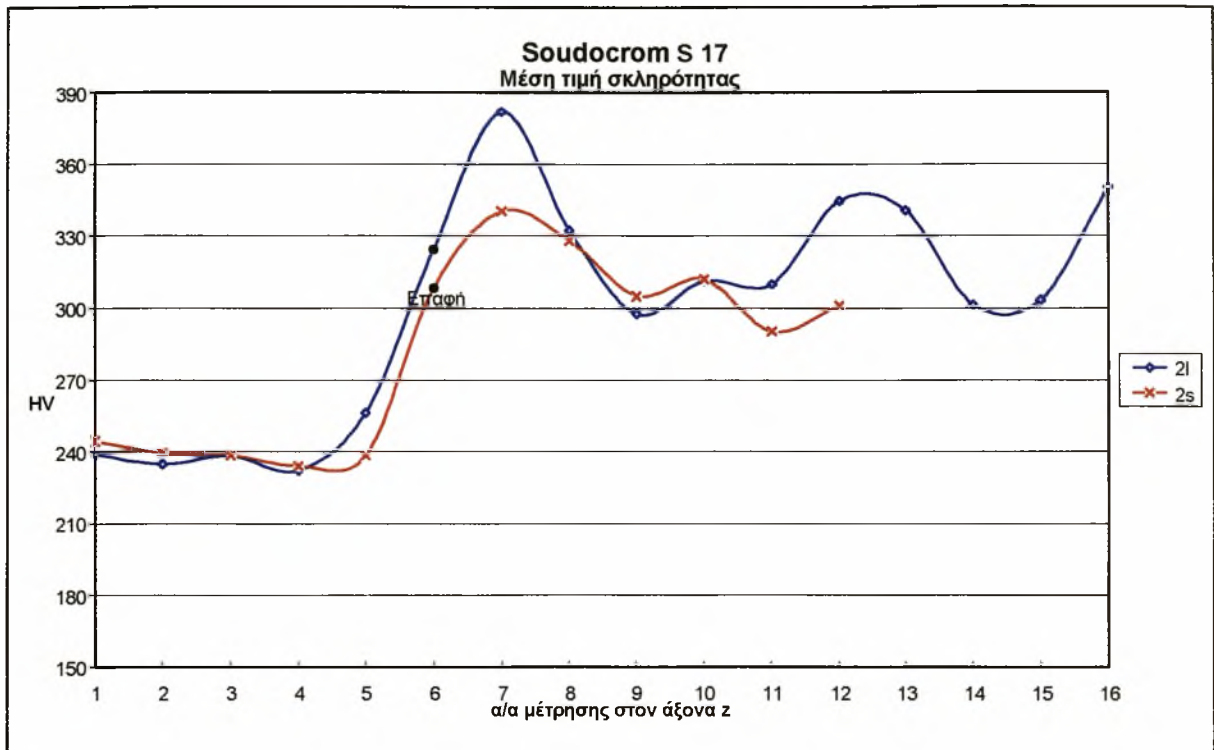
Φώτο.VIII-IX: Περιοχή μικροσκληρομέτρησης δοκιμίου Soudocrom S 17 (λεπτή διατομή, 2s).



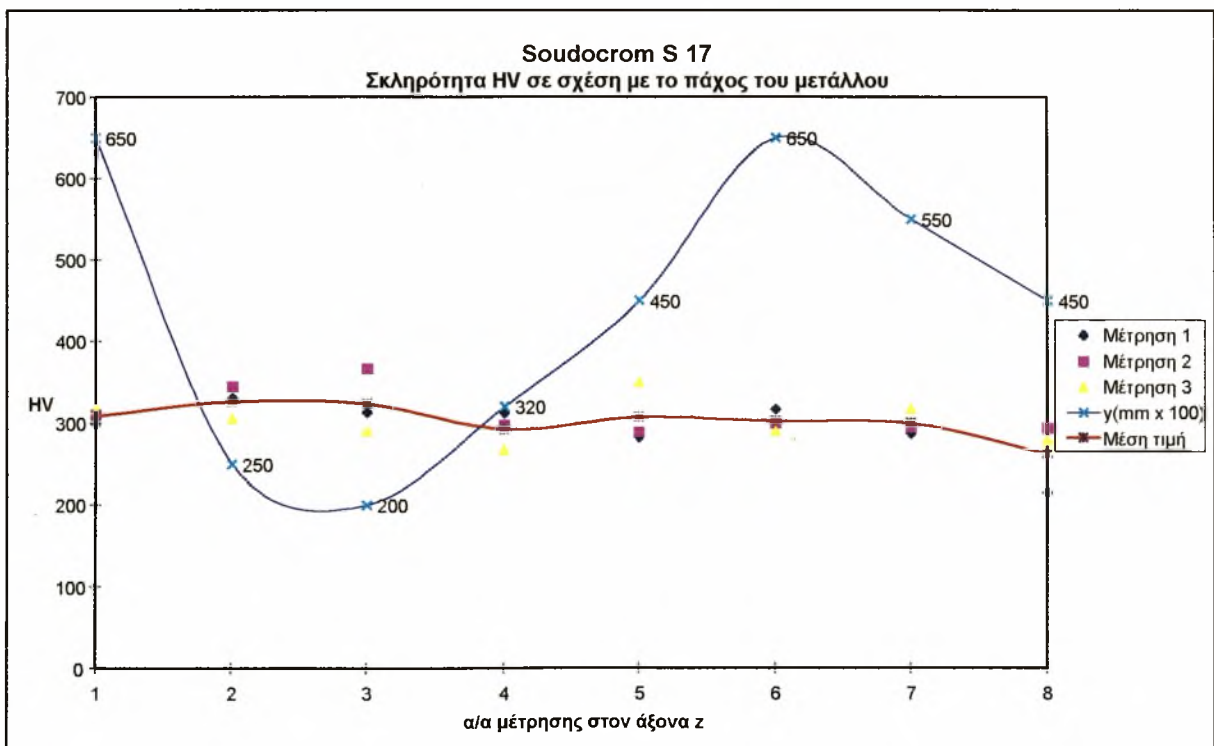
Σχ. 21: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (2l) τμήμα.



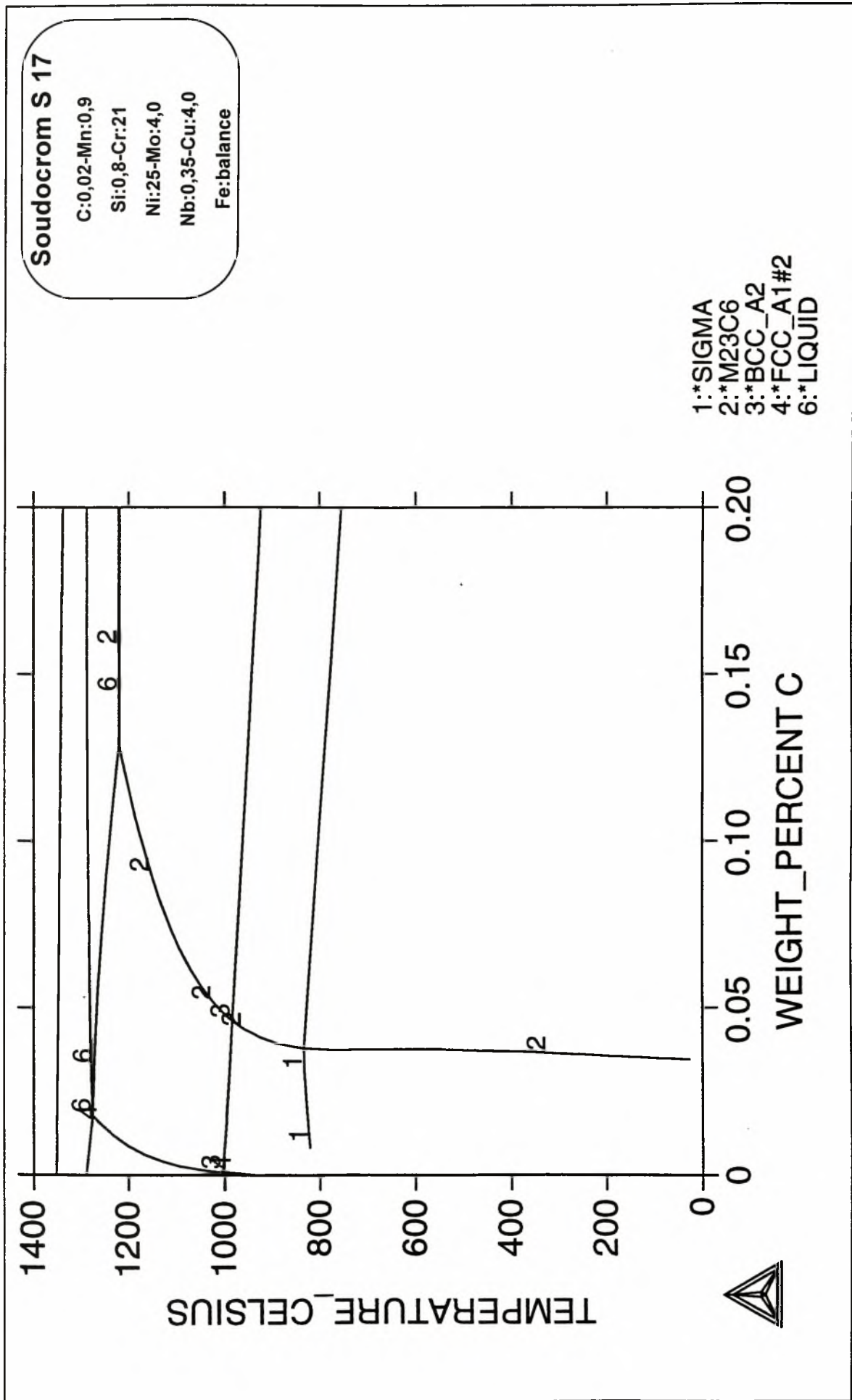
Σχ. 22: Αναγόμευση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (2s) τμήμα.



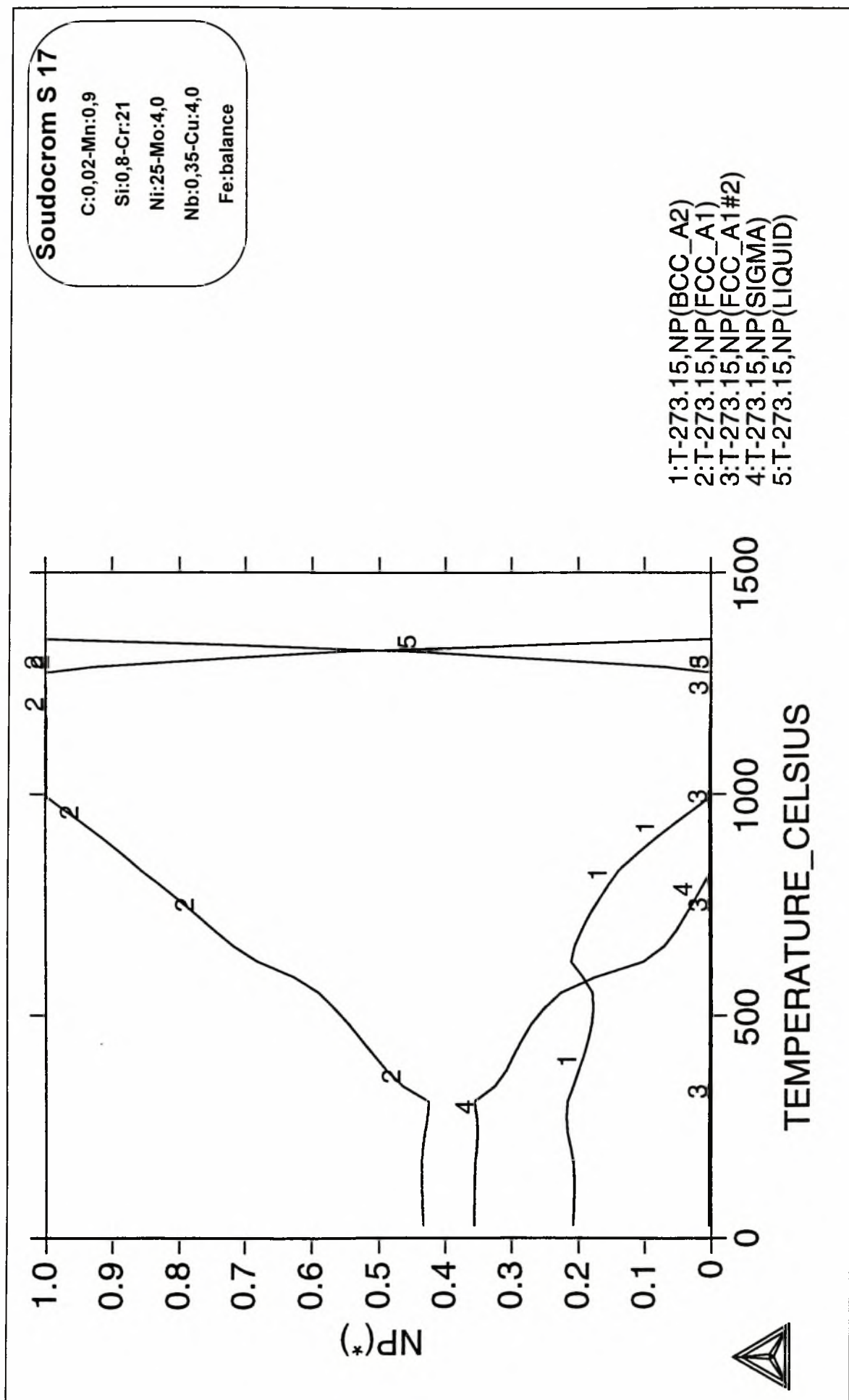
Σχ. 23: Αναγόμωση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το φαρδύ (21) και το λεπτό (2s) τμήμα.



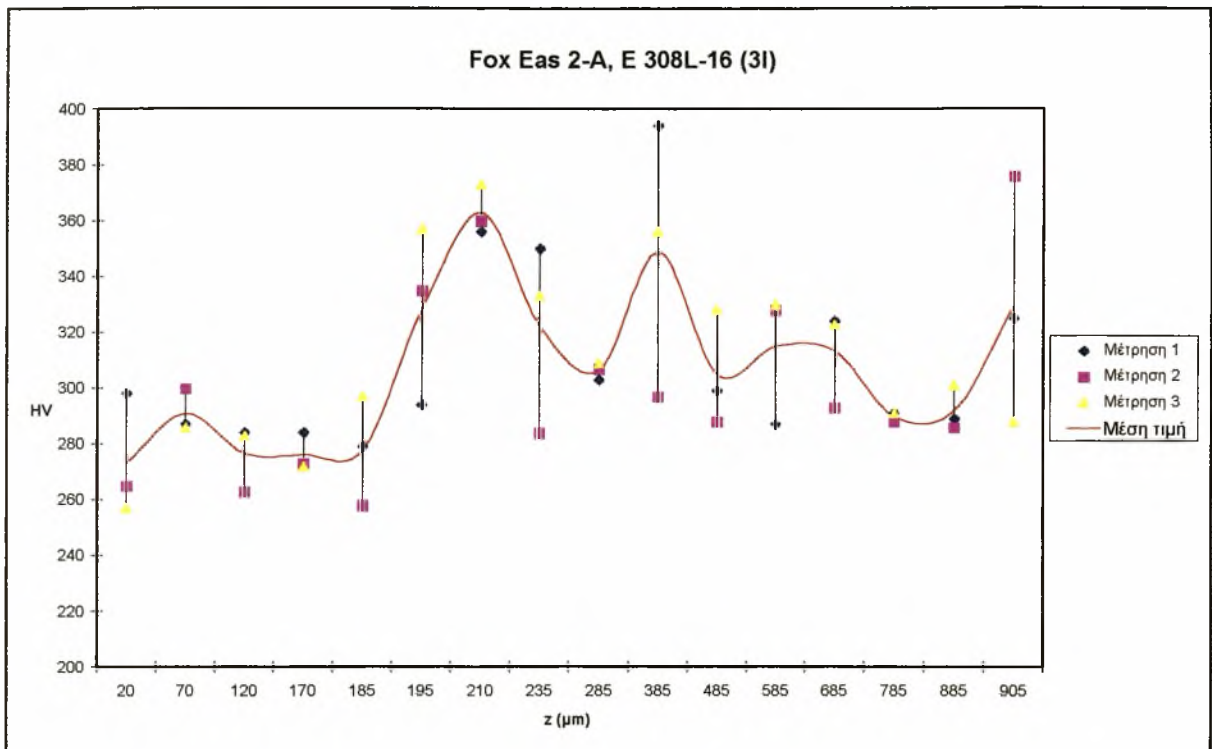
Σχ. 24: Αναγόμωση με Soudocrom S 17. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - διατομής (z). Η μέτρηση έγινε κατά μήκος της αναγόμωσης, στο υλικό του χάλυβα Fonte á Cr, σε απόσταση 1mm από την επαφή.



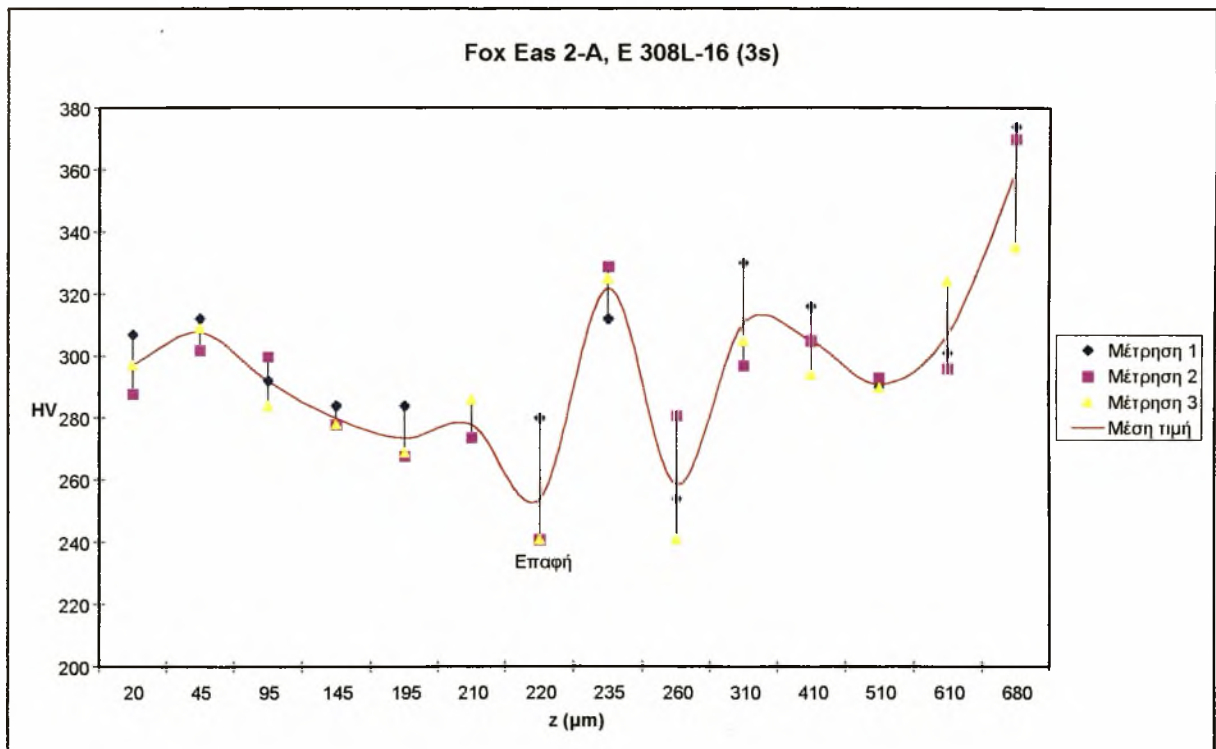
Σχ. 25: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17.



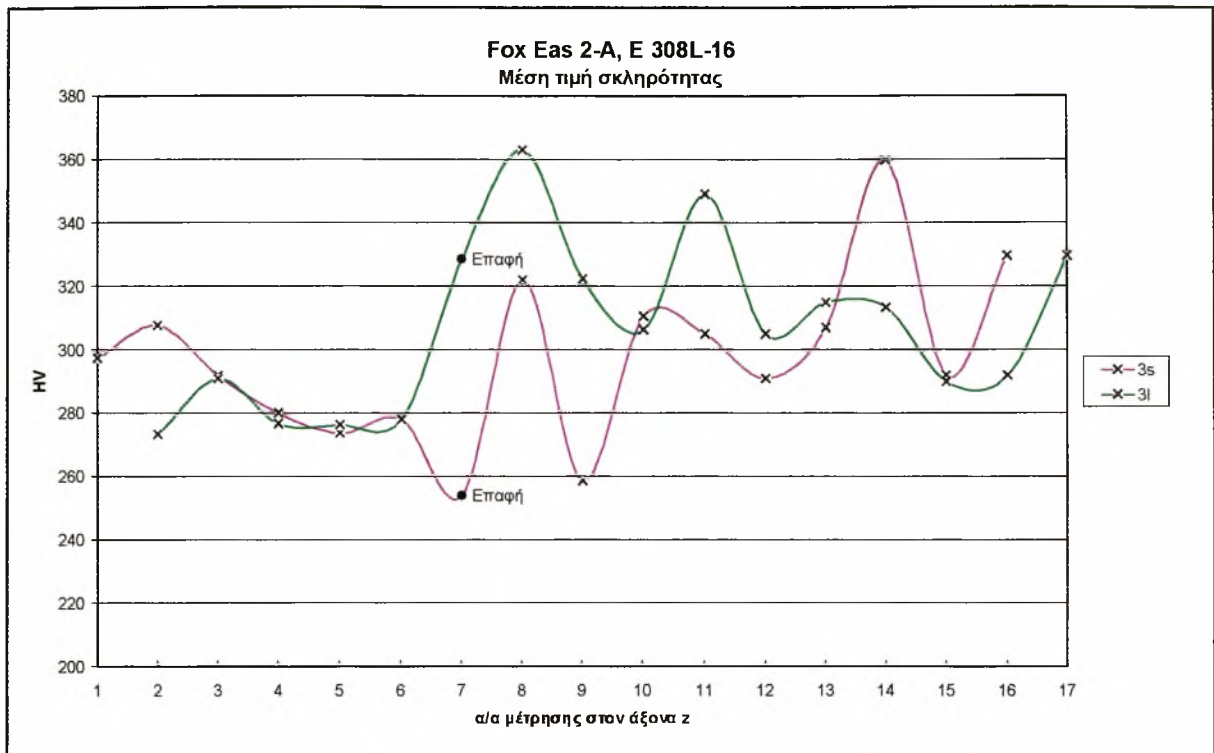
ΣΧ. 26: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudocrom S 17. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης



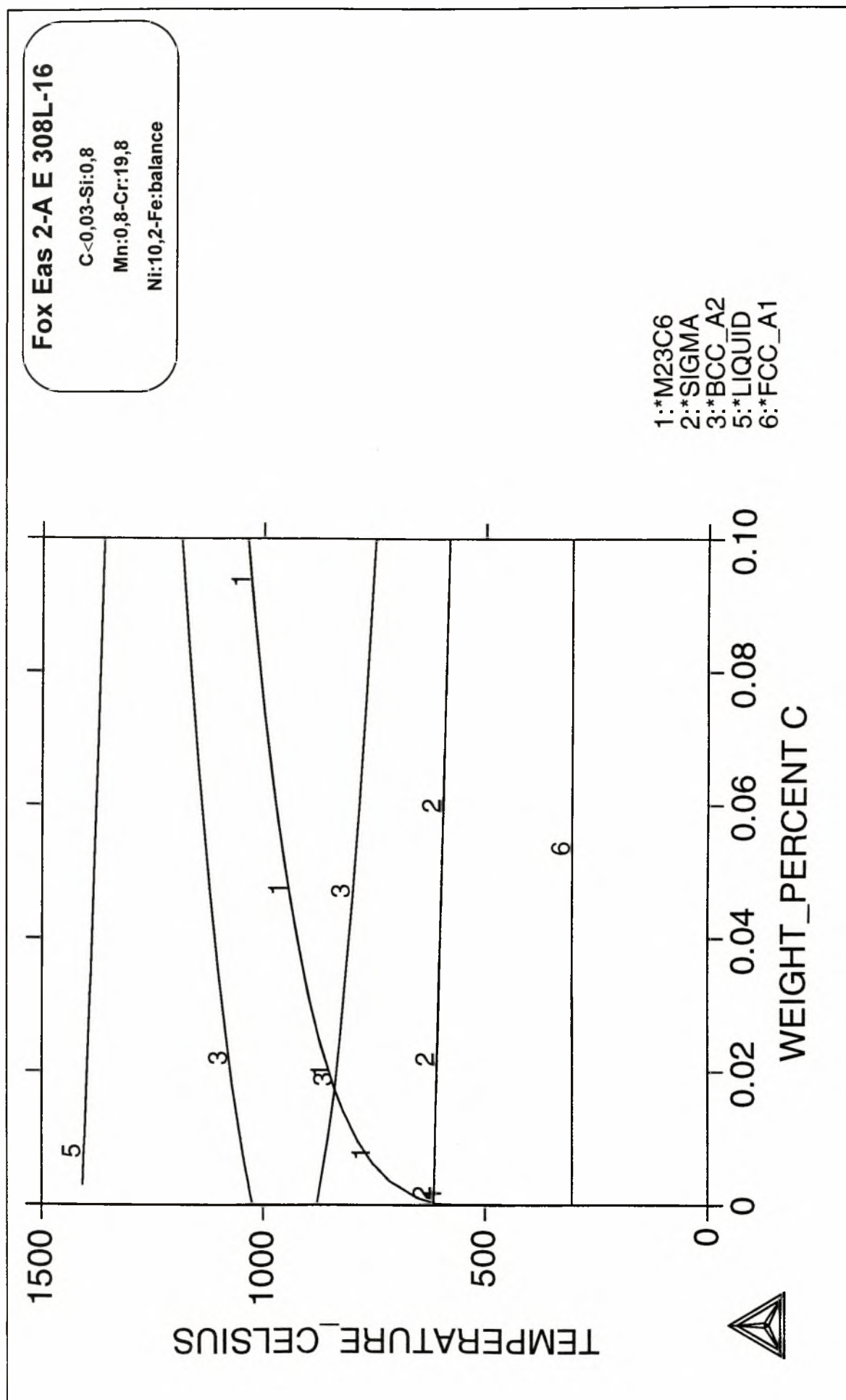
Σχ. 27: Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το φαρδύ (3l) τμήμα.



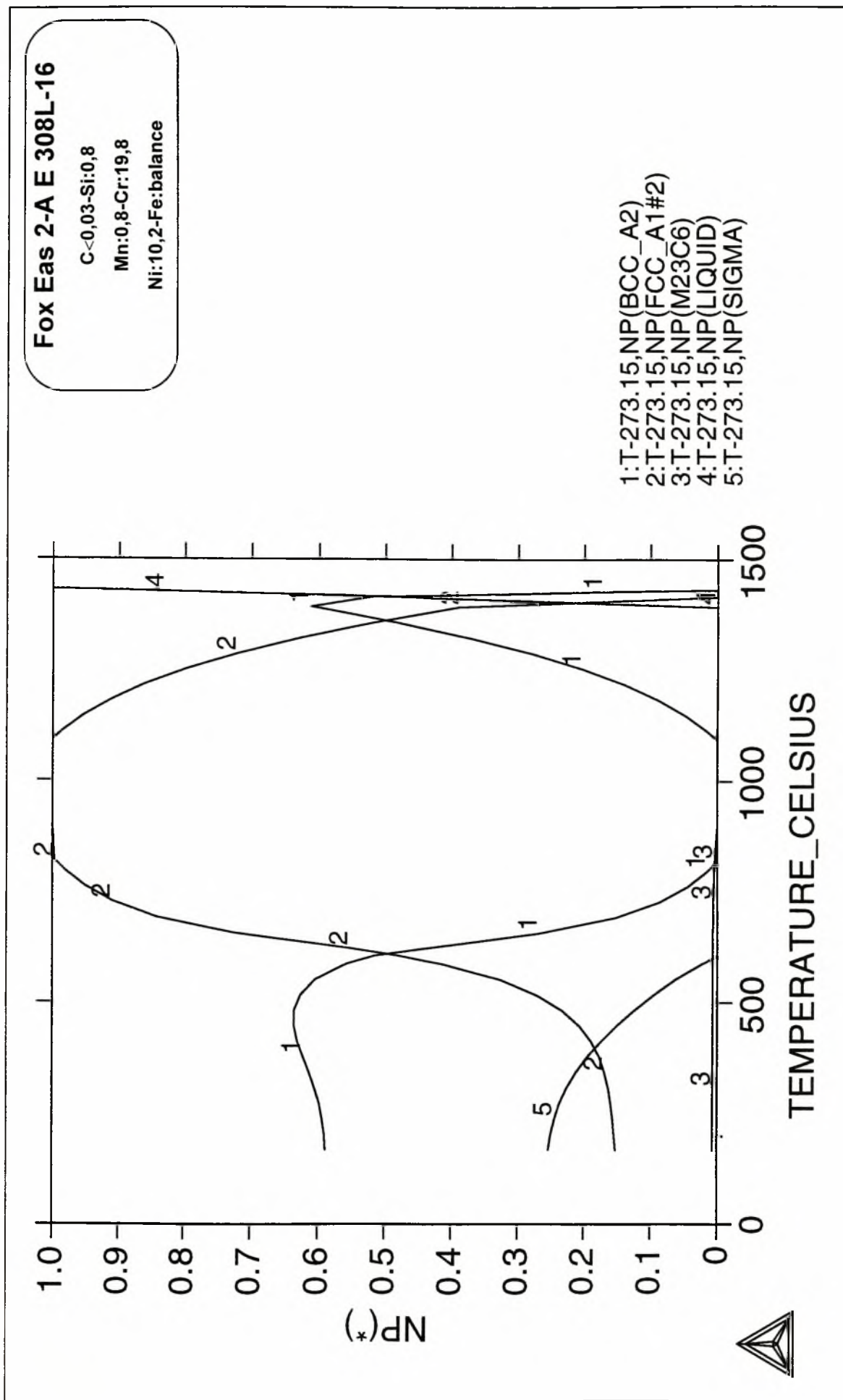
Σχ. 28: Αναγόμωση με Fox Eas 2-A E 308L-16. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το λεπτό (3s) τμήμα.



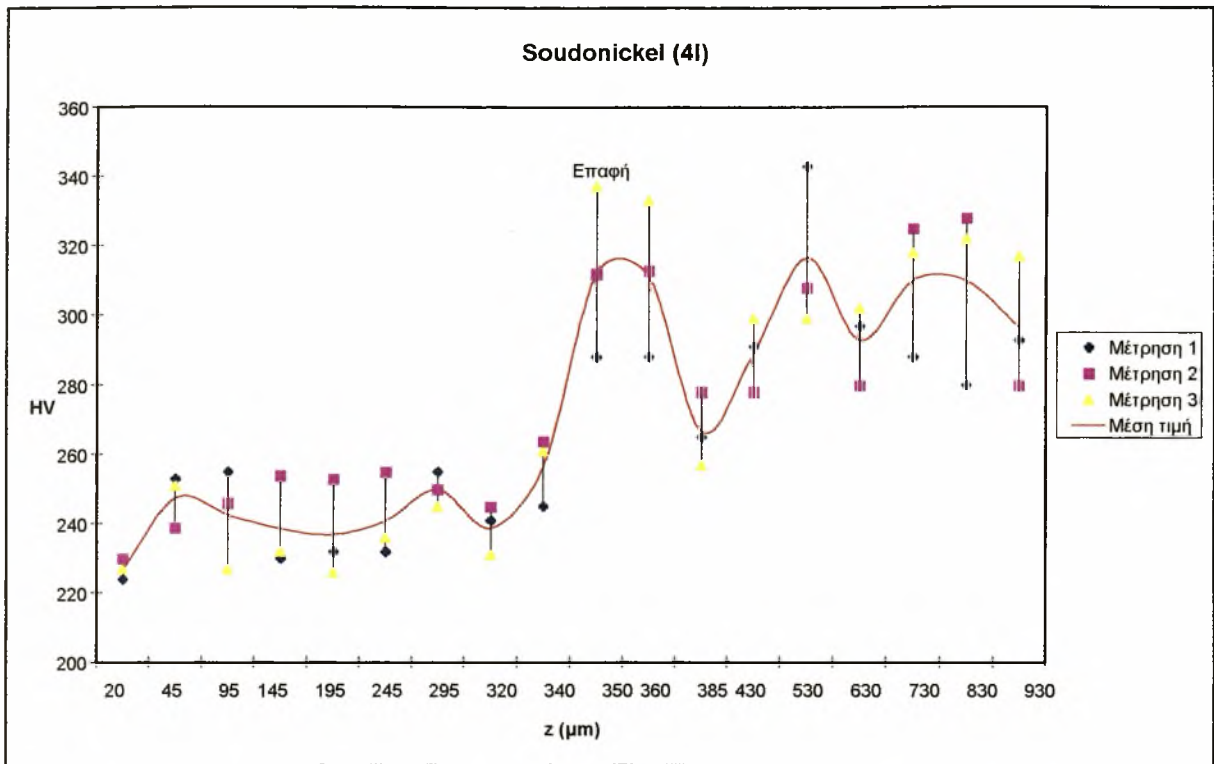
Σχ. 29: Αναδόμωση με Fox Eas 2-A E 308L-16. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναδόμωσης για το φαρδύ (3l) και το λεπτό (3s) τμήμα.



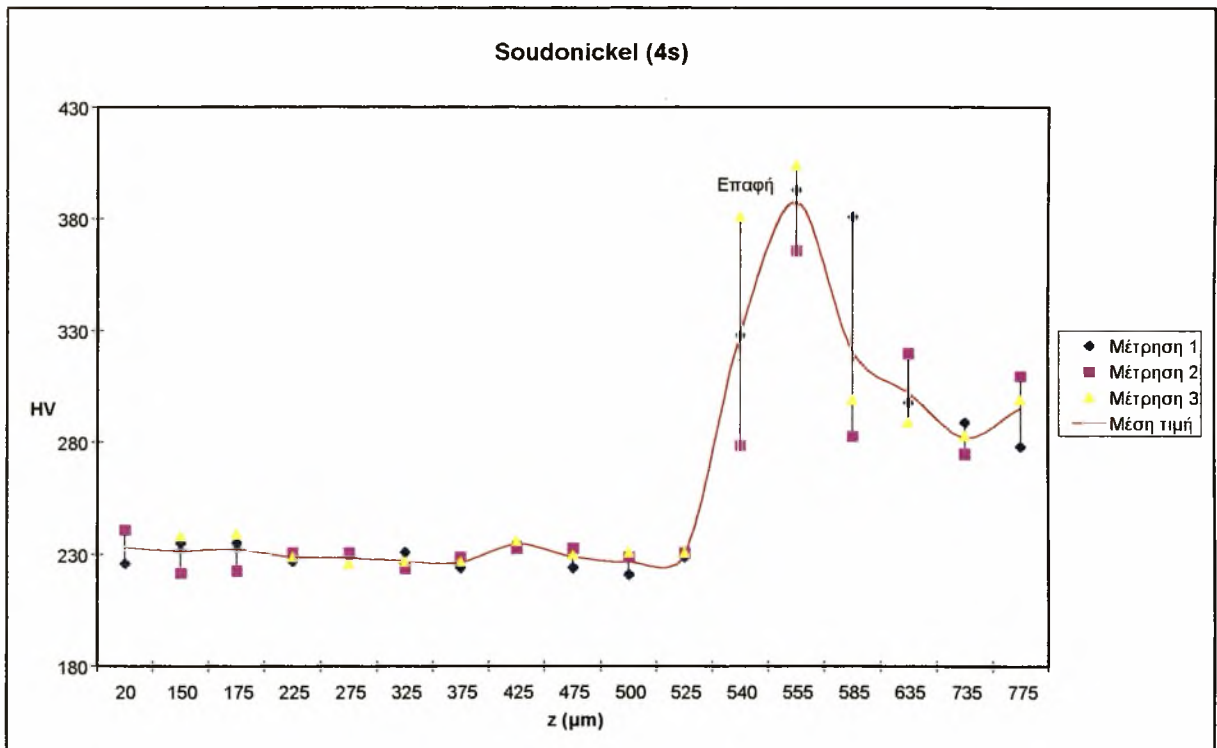
Σχ. 30: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Fox Eas 2-A E 308L-16.



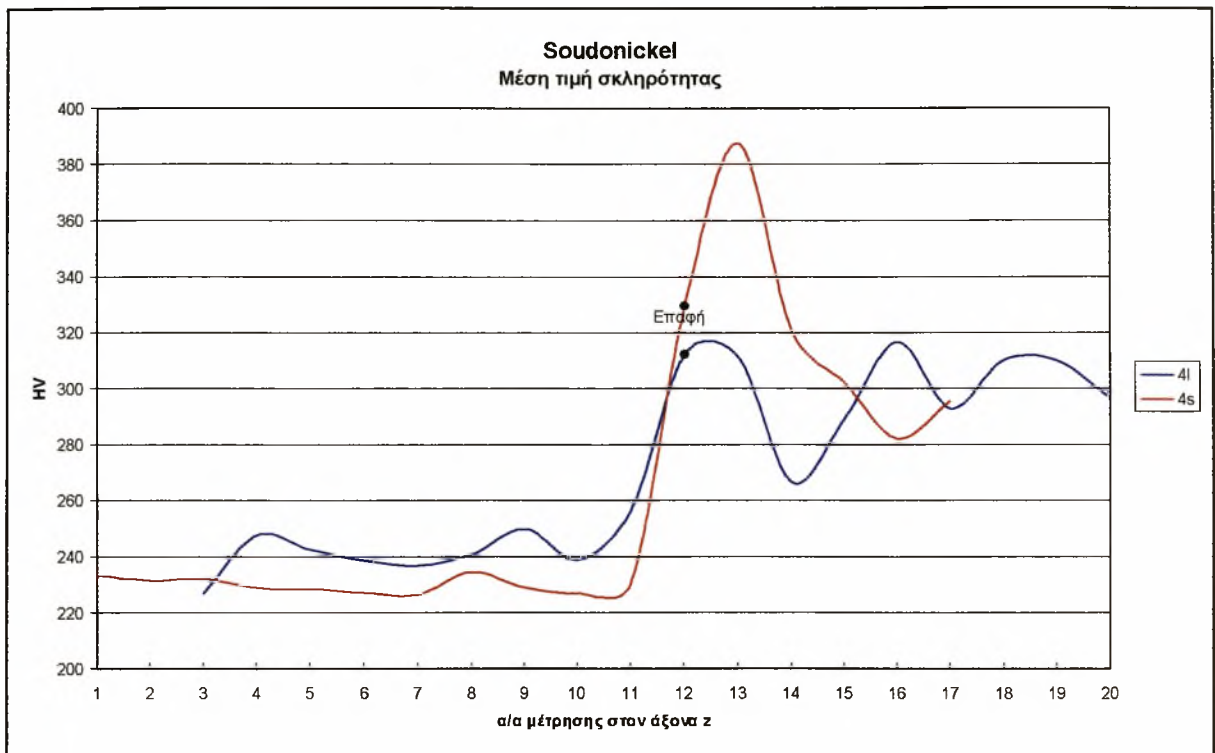
Σχ. 31: Διάγραμμα NP του Fox Eas 2-A E 308L-16. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.



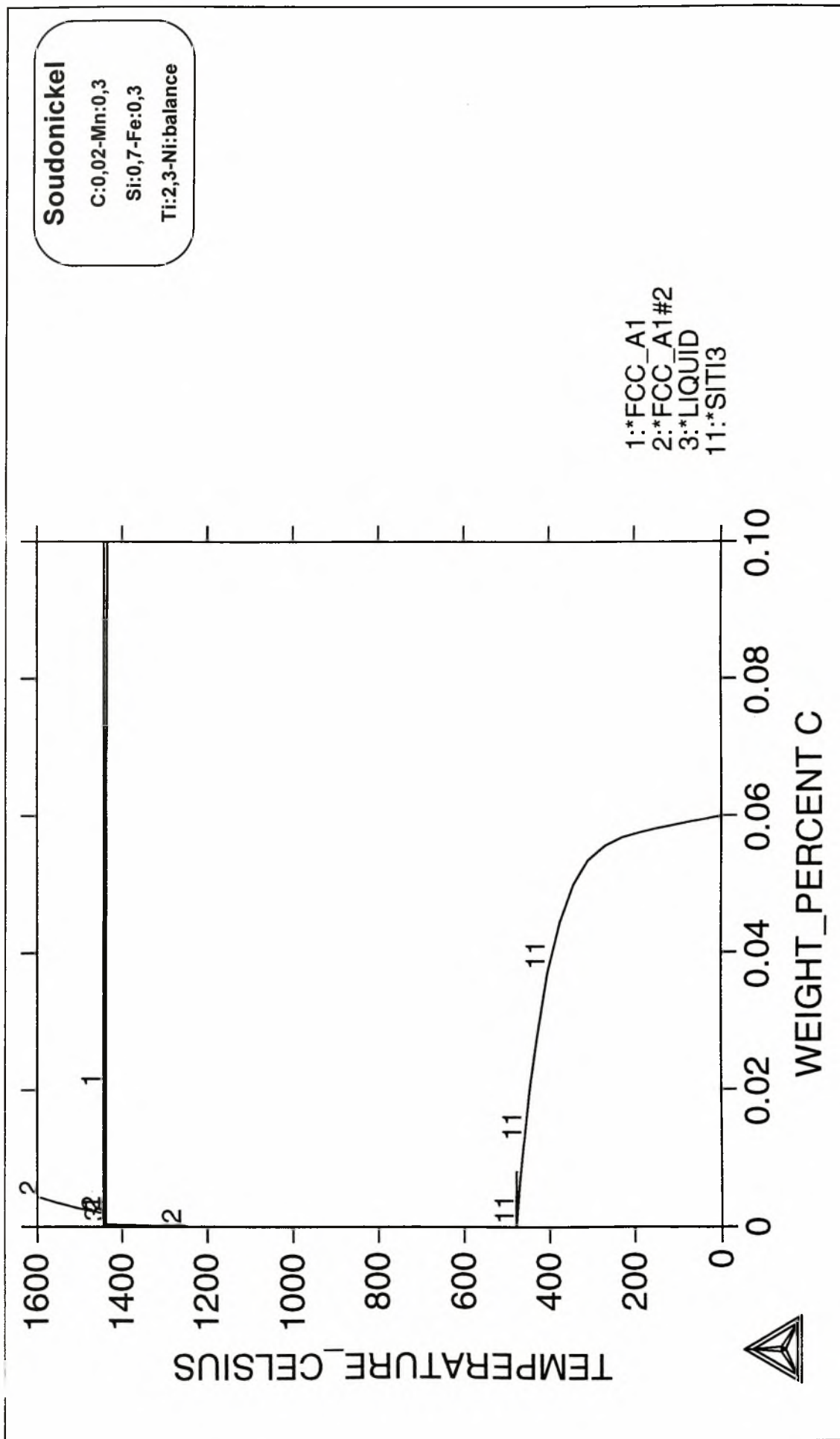
Σχ. 32: Αναγόμευση με Soudonickel. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το φαρδύ (4l) τμήμα.



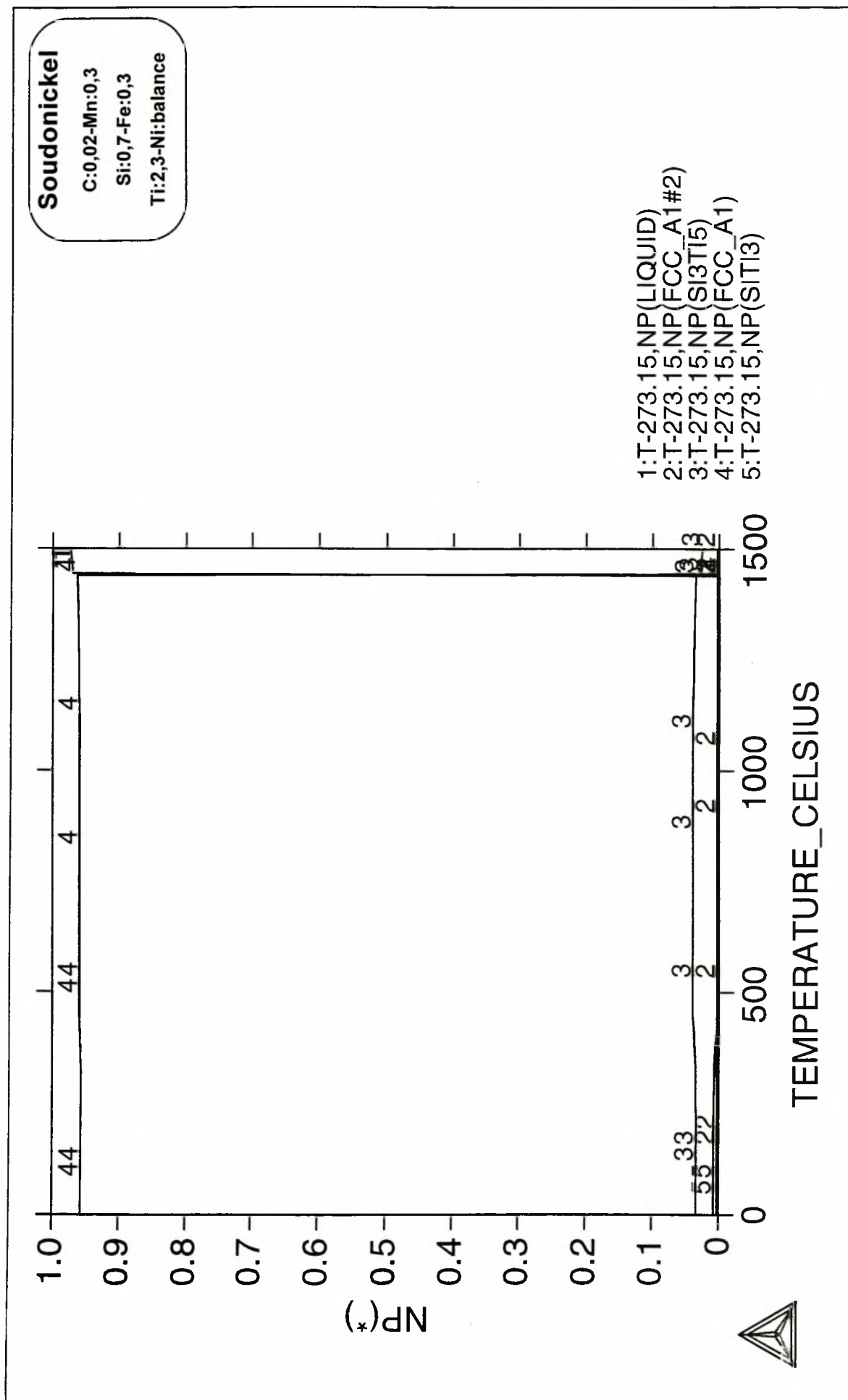
Σχ. 33: Αναγόμευση με Soudonickel. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμευσης για το λεπτό (4s) τμήμα.



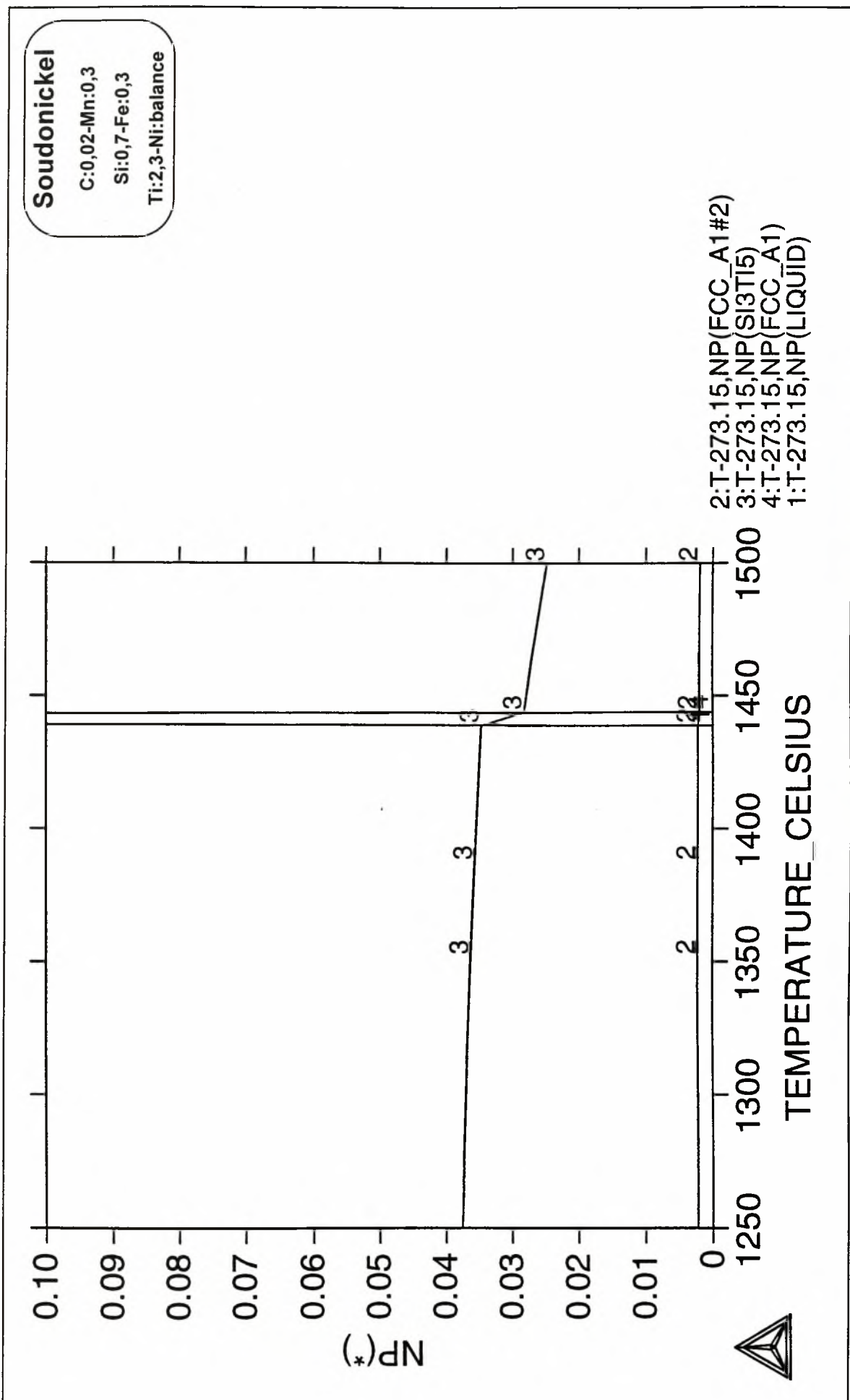
Σχ. 34: Αναγόμωση με Soudonickel. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το φαρδύ (4l) και το λεπτό (4s) τμήμα.



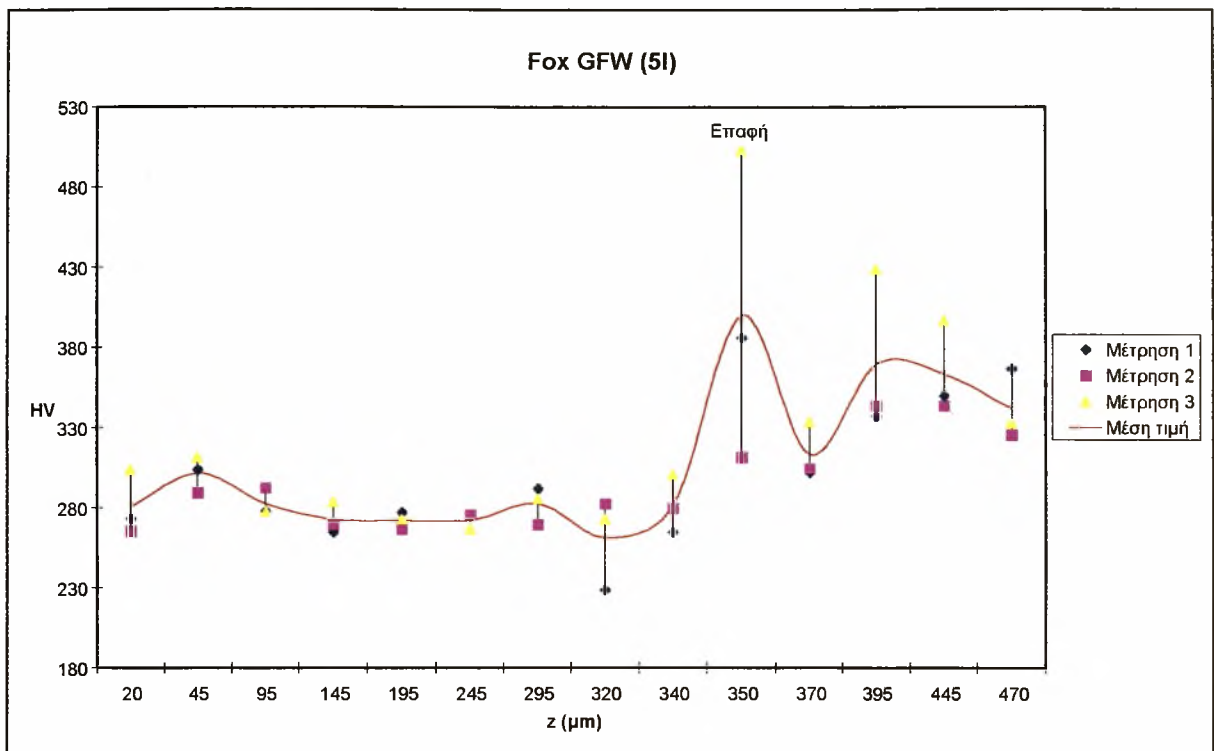
Σχ. 35: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Soudonickel.



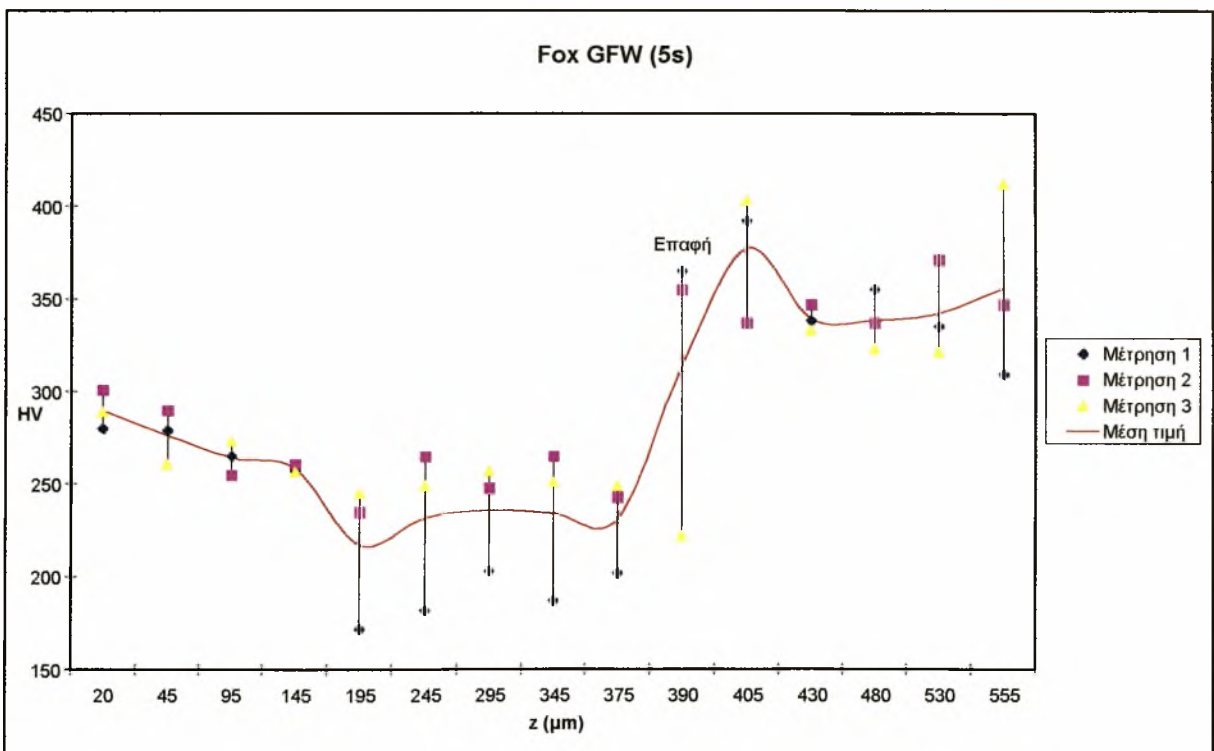
Σχ. 36: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudonickel. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.



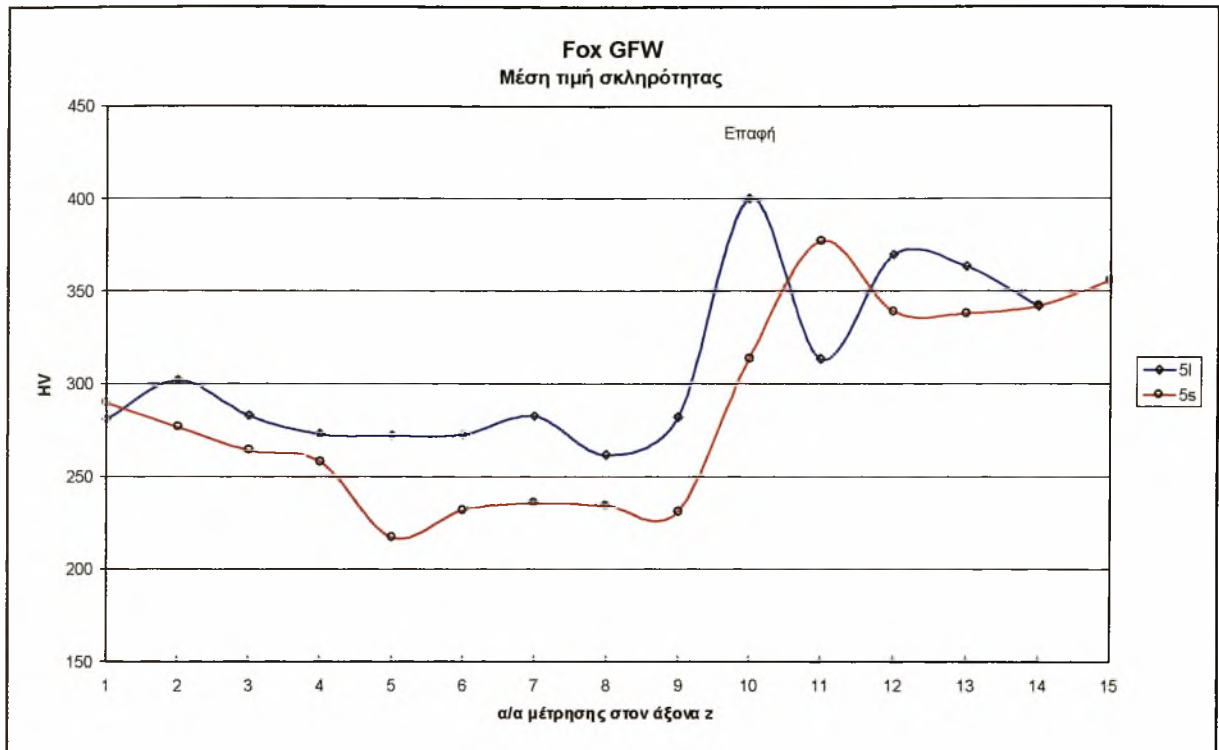
Σχ. 37: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Soudonickel. Λεπτομέρεια του σχήματος 36.



Σχ. 38: Αναγόμωση με Fox GFW. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το φαρδύ (5l) τμήμα.



Σχ. 39: Αναγόμωση με Fox GFW. Γραφική παράσταση σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για το λεπτό (5s) τμήμα.

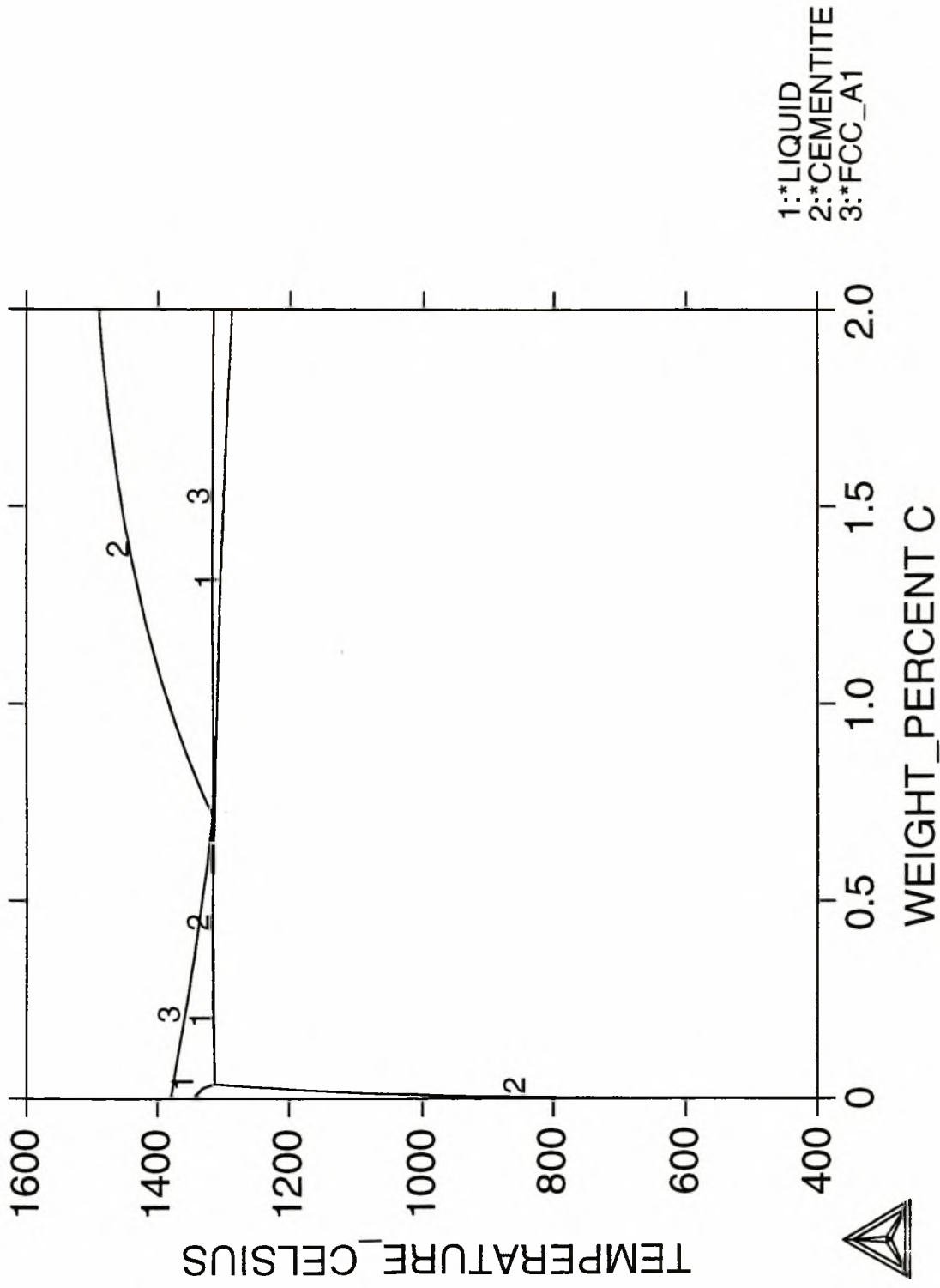


Σχ. 40: Αναδόμωση με Fox GFW. Γραφική παράσταση μέσης τιμής σκληρότητας Vickers - απόστασης από την κορυφή της αναδόμωσης για το φαρδύ (5l) και το λεπτό (5s) τμήμα.

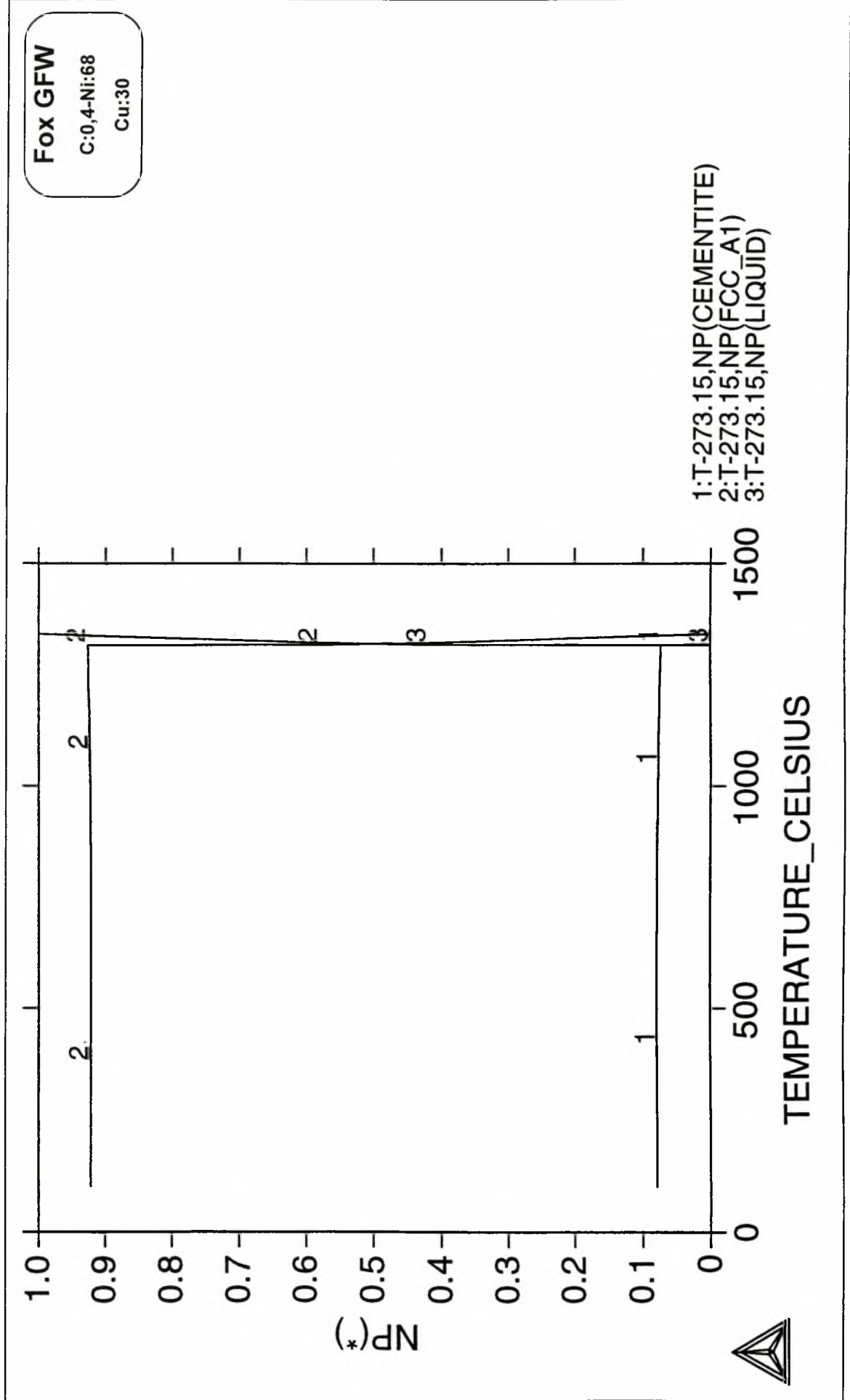
Fox GFW

C:0,4-Ni:68

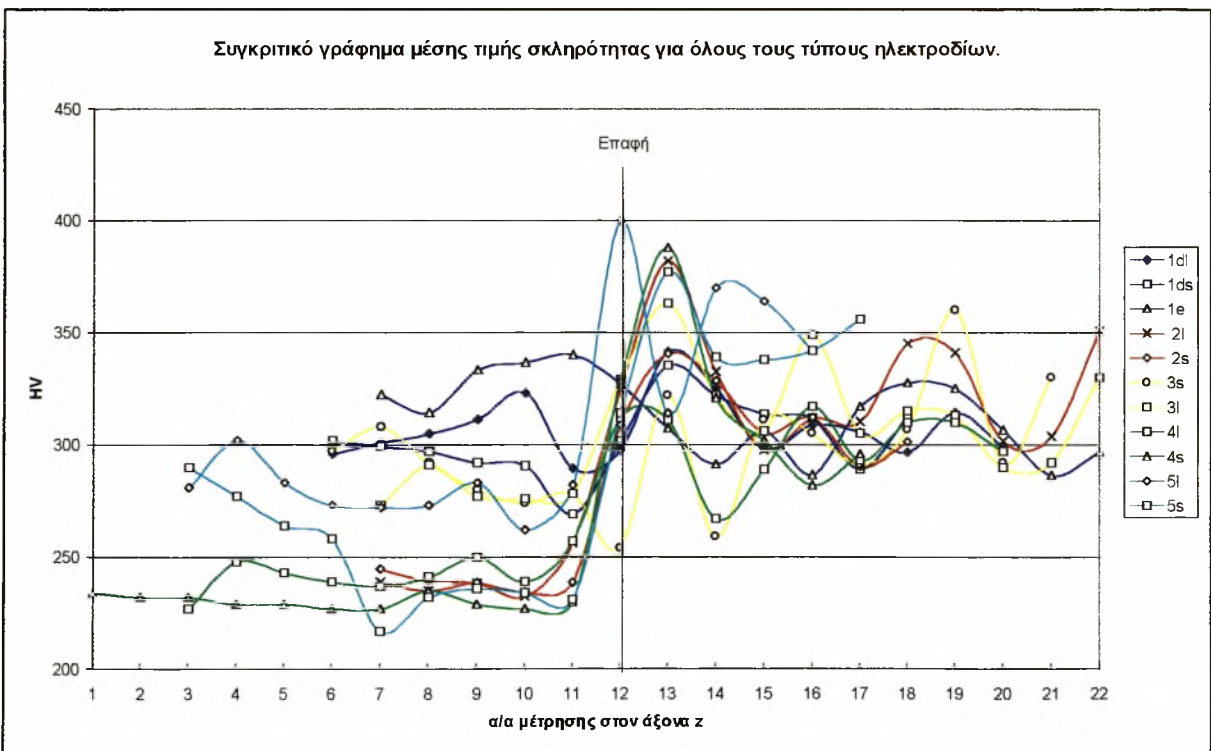
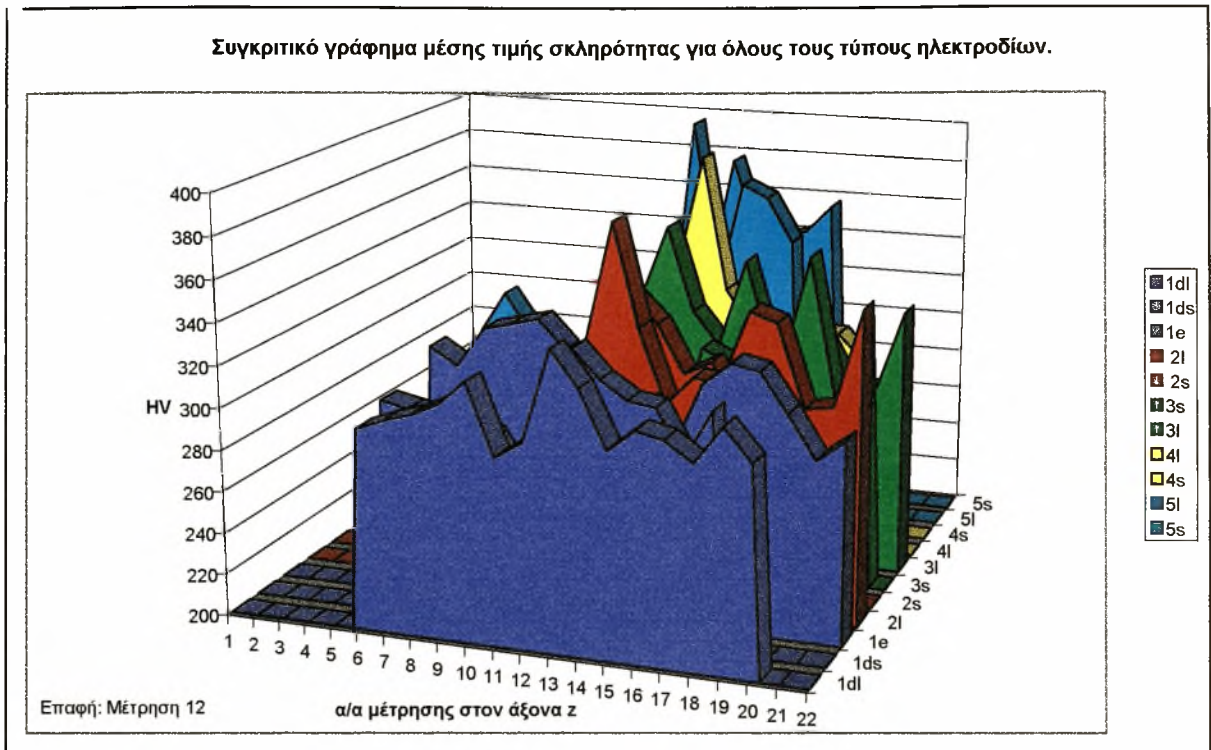
Cu:30



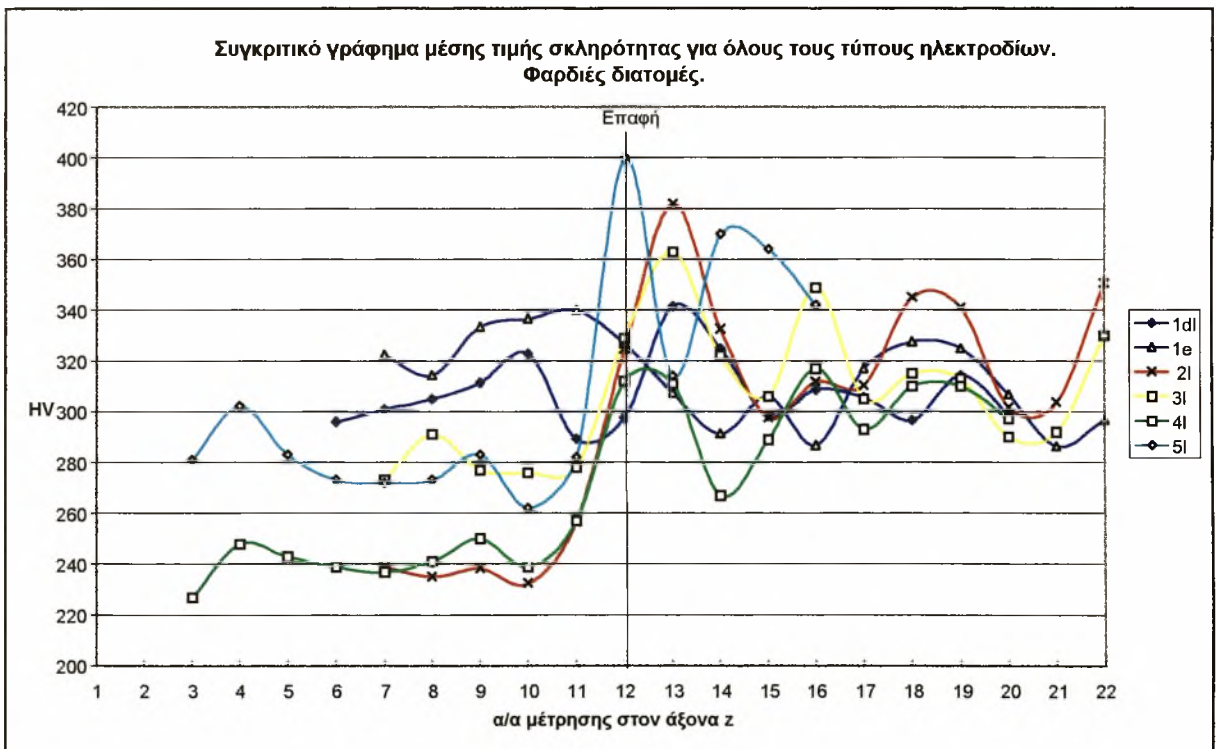
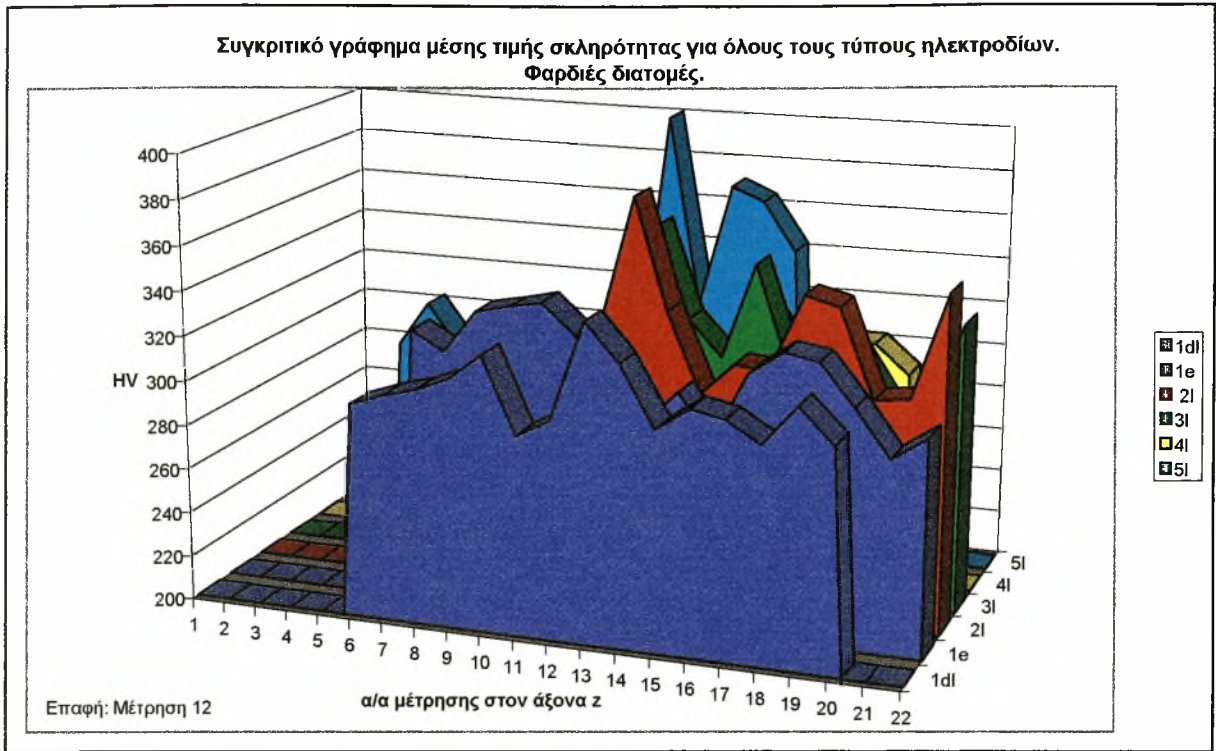
Σχ. 41: Διάγραμμα φάσης του ηλεκτροδίου Fox GFW.



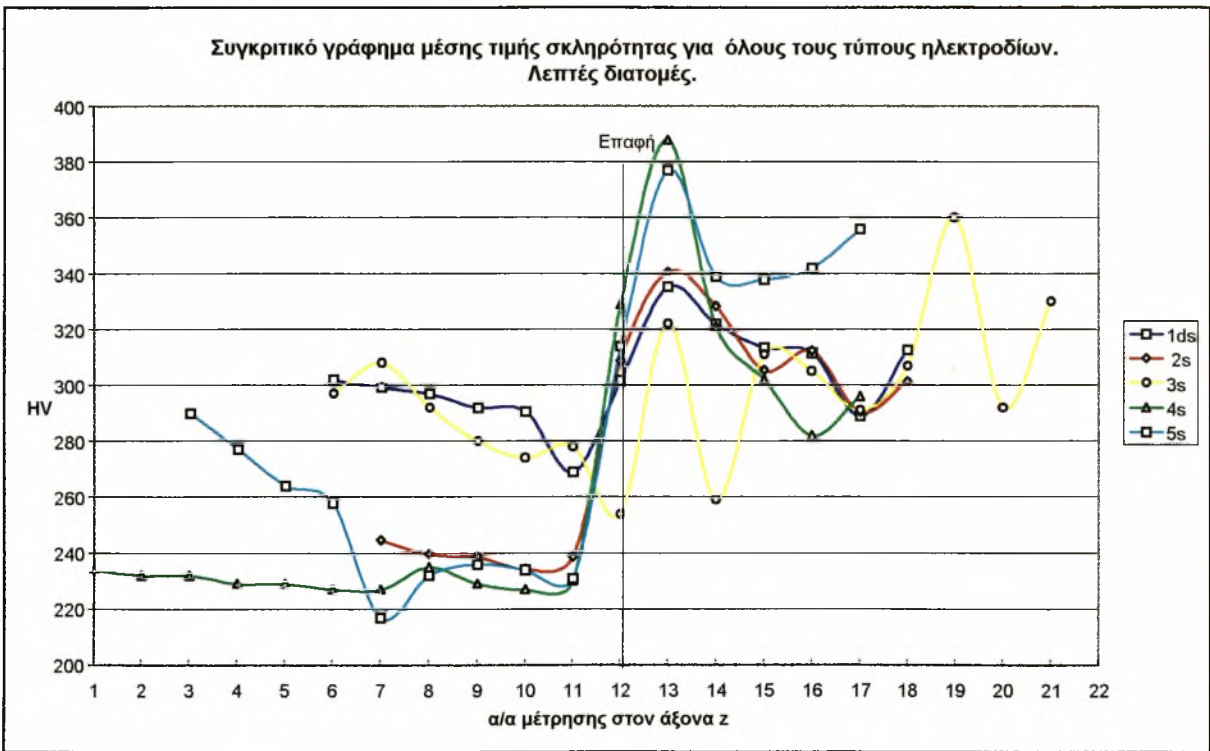
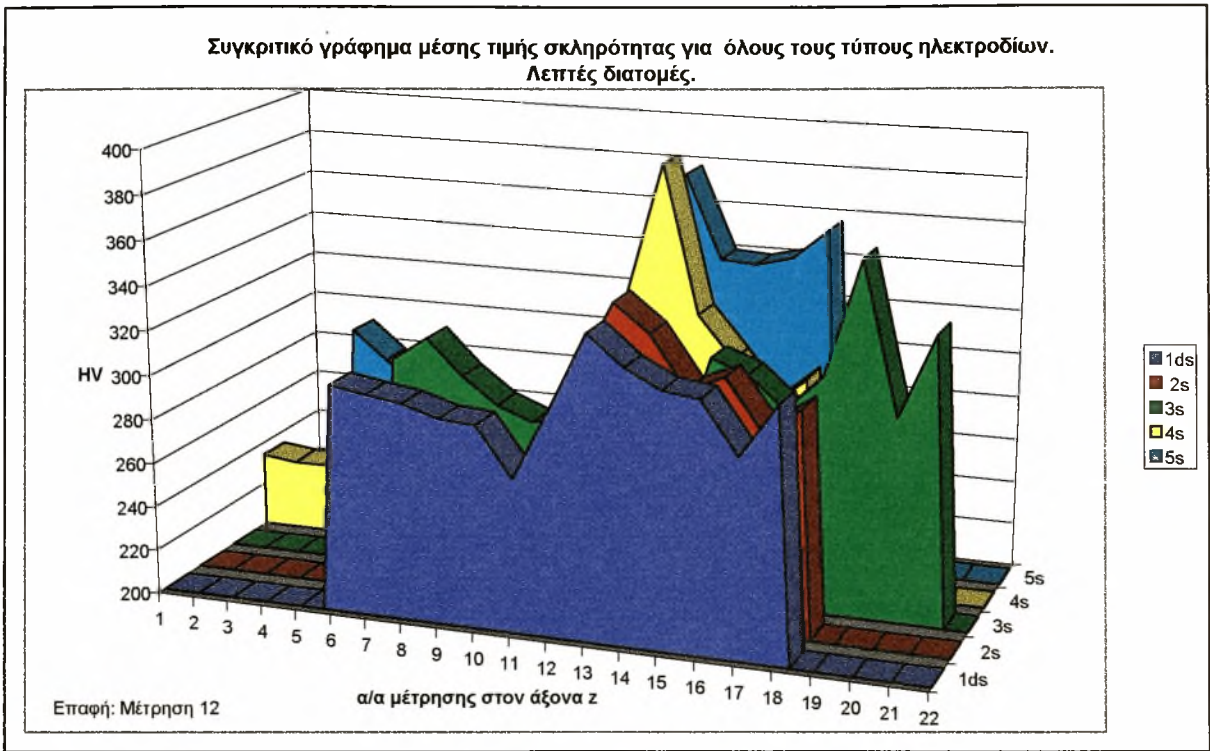
Σχ. 42: Διάγραμμα NP του ηλεκτροδίου Fox GFW. Ο x άξονας απεικονίζει τη θερμοκρασία και ο y το ποσοστό κάθε φάσης.



Σχ. 43: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμεως για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων. Η μέτρηση #12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.



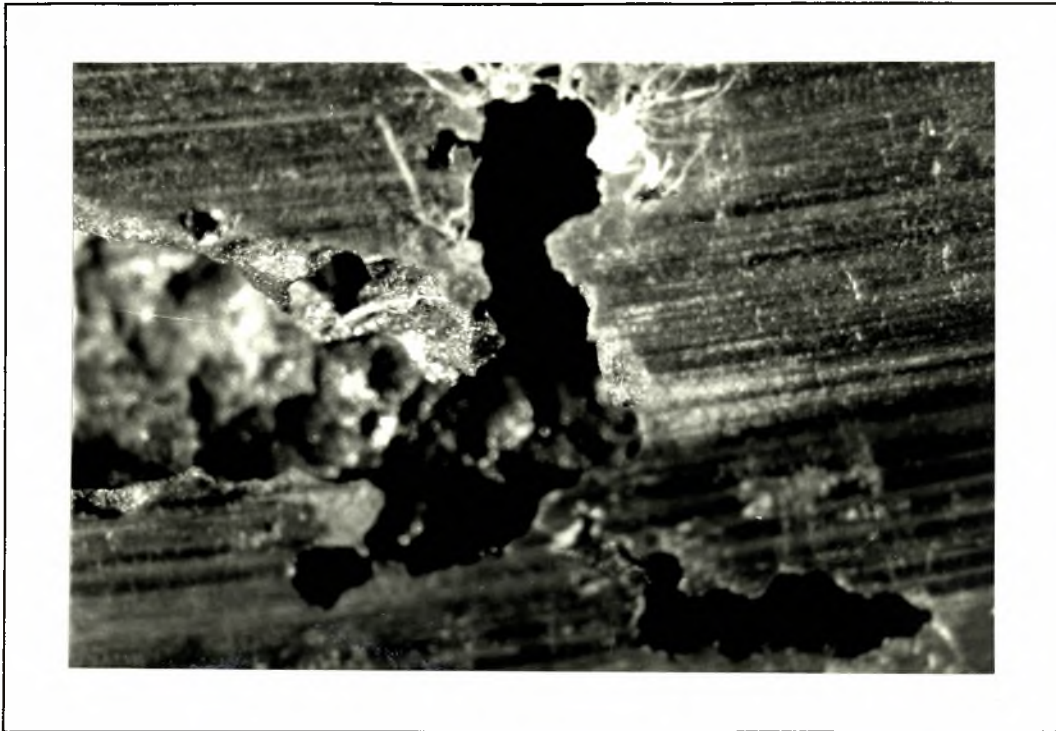
Σχ. 44: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμενης για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων (φαρδιές διατομές). Η μέτρηση #12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.



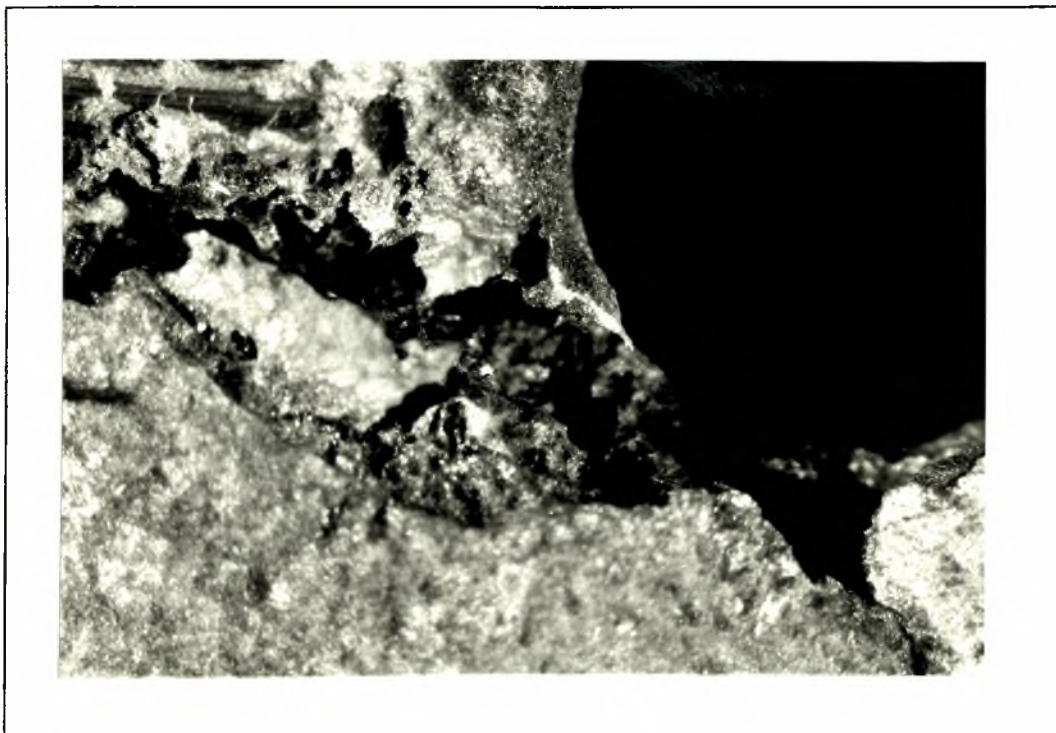
Σχ. 45: Συγκριτικό γράφημα μέσης τιμής σκληρότητας Vickers-απόστασης από την κορυφή της αναγόμωσης για όλους τους τύπους ηλεκτροδίων (λεπτές διατομές). Η μέτρηση # 12 έχει γίνει στην επαφή του ηλεκτροδίου με το χάλυβα.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΙΙ

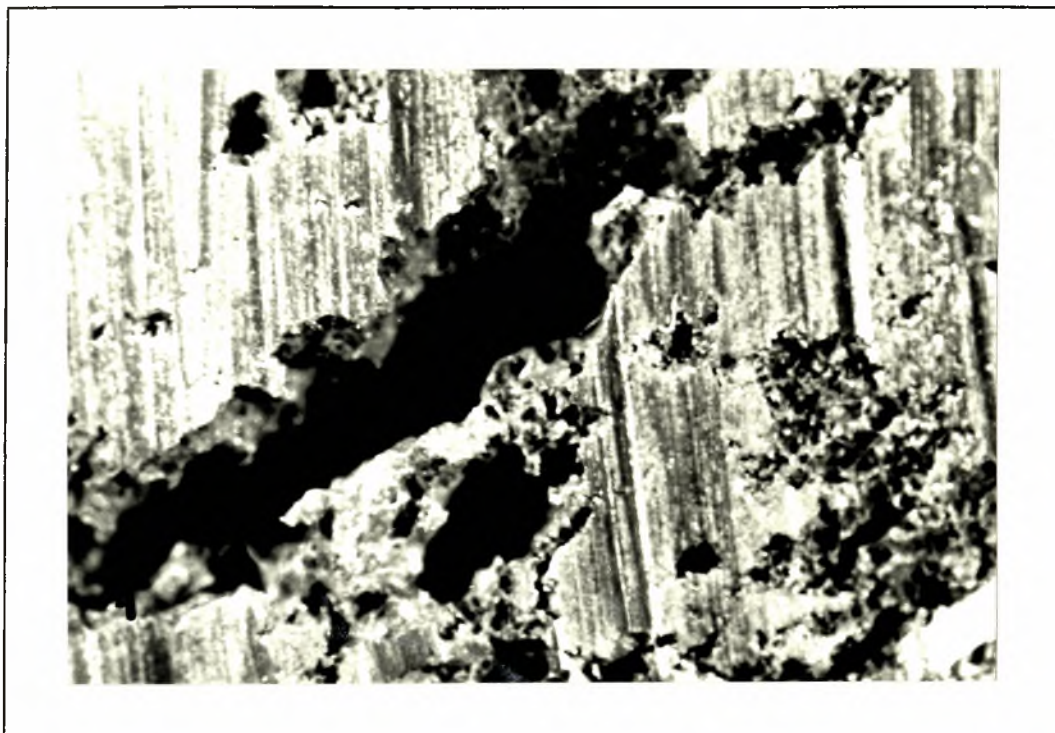




Φώτο. 1: (X10). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



Φώτο. 2: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



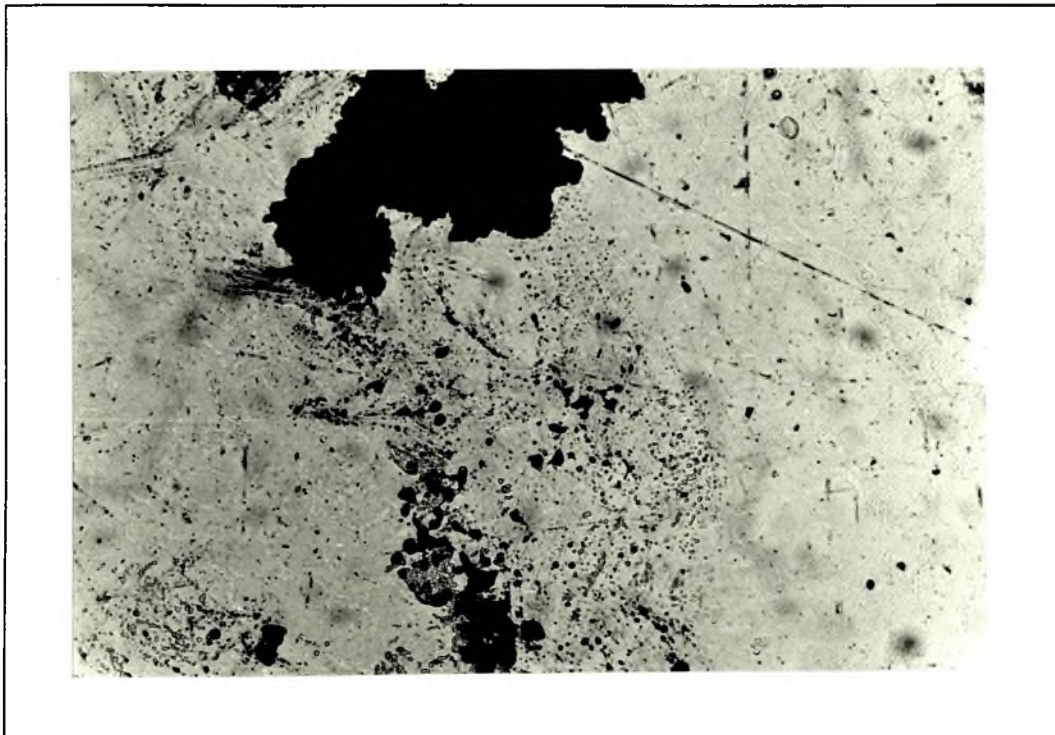
Φώτο. 3: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



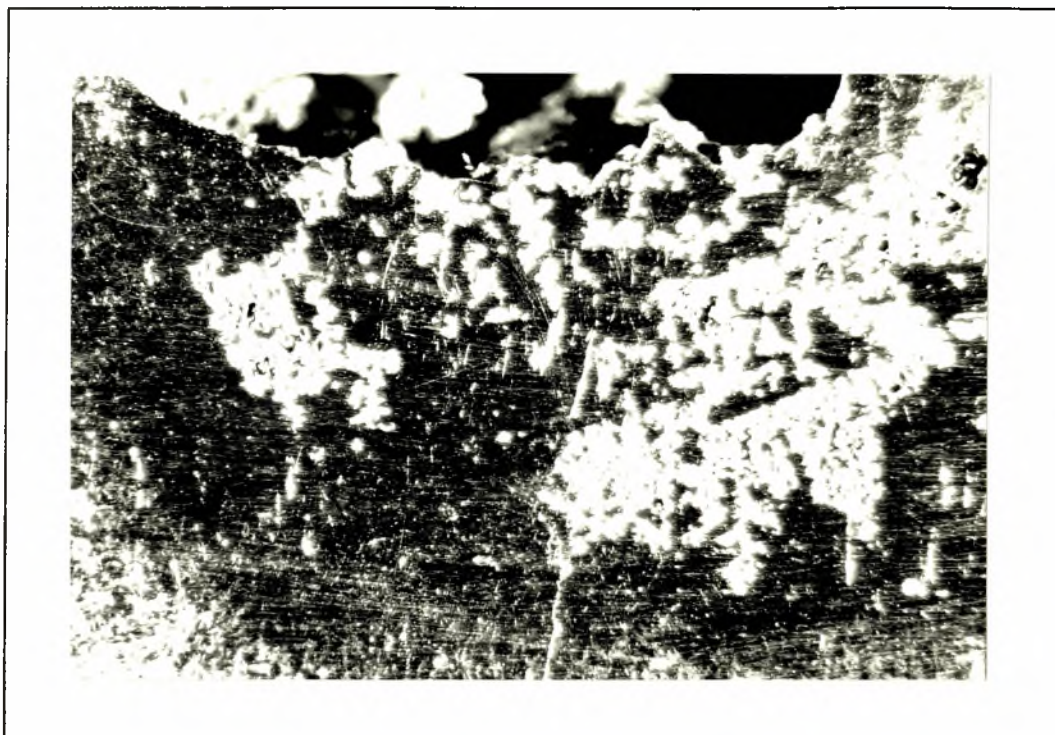
Φώτο. 4: (X6,5). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



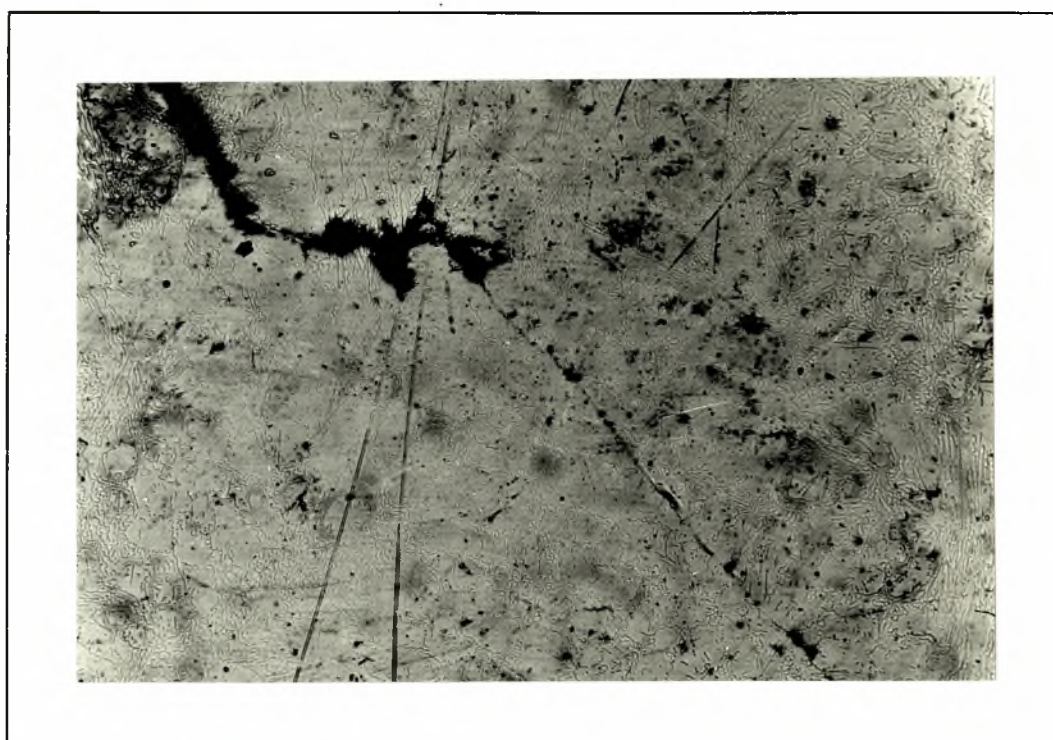
Φώτο. 5: Διάβρωση του εσωτερικού της αντλίας Fonte á Cr.



Φώτο. 6: (X6,5). Τρηματική διάβρωση (pitting) του χάλυβα Fonte á Cr.



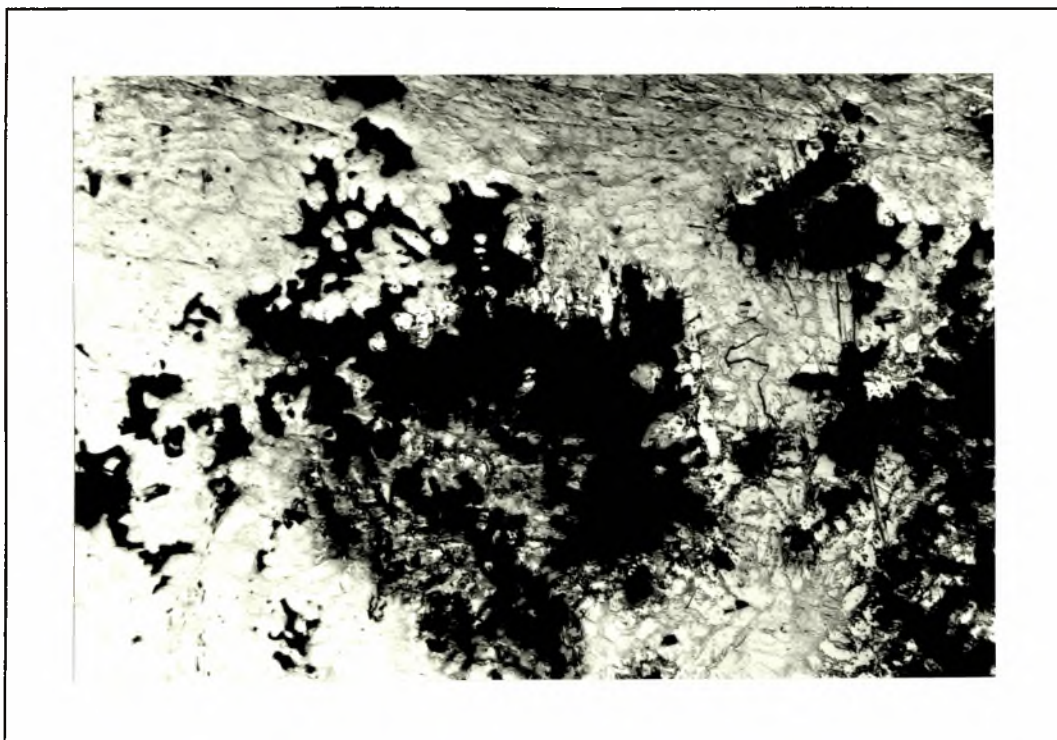
Φώτο.7: (X16). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



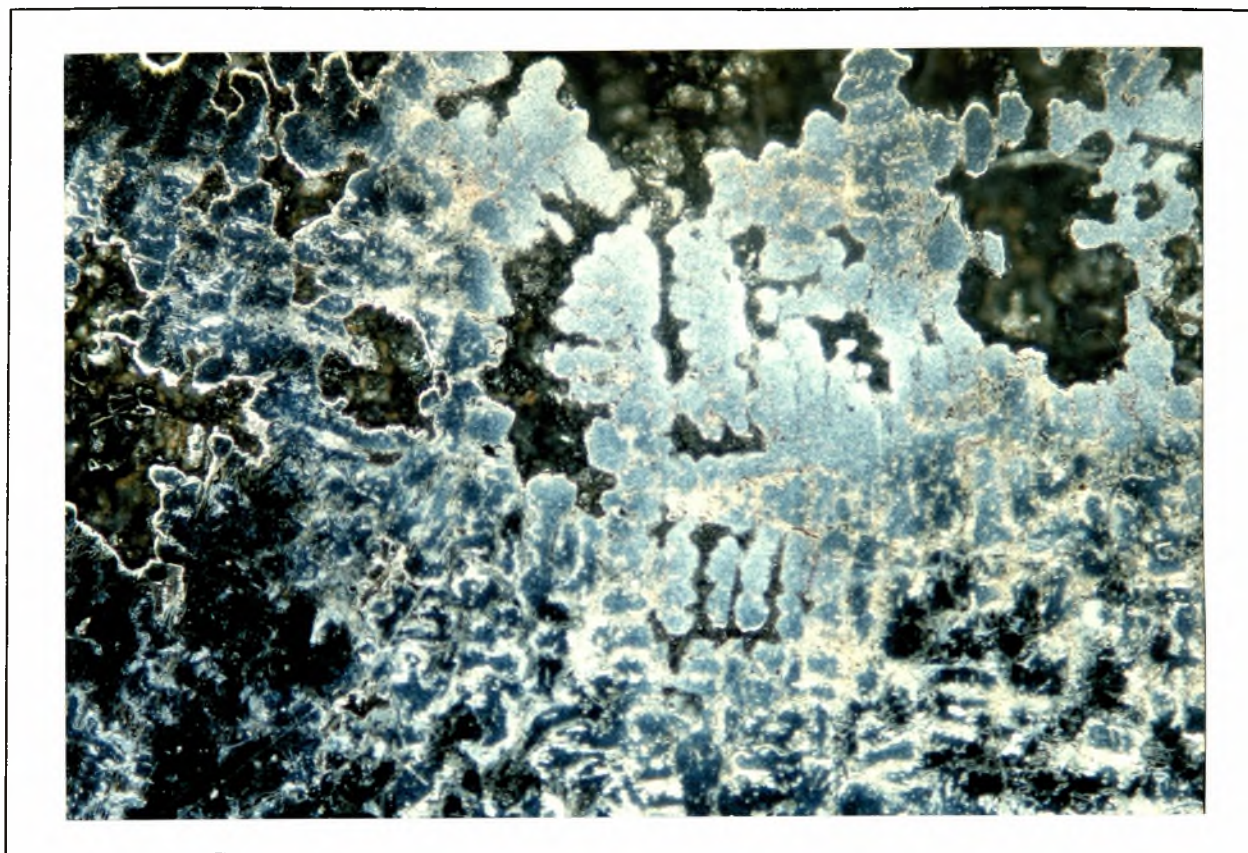
Φώτο.8: (X16). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



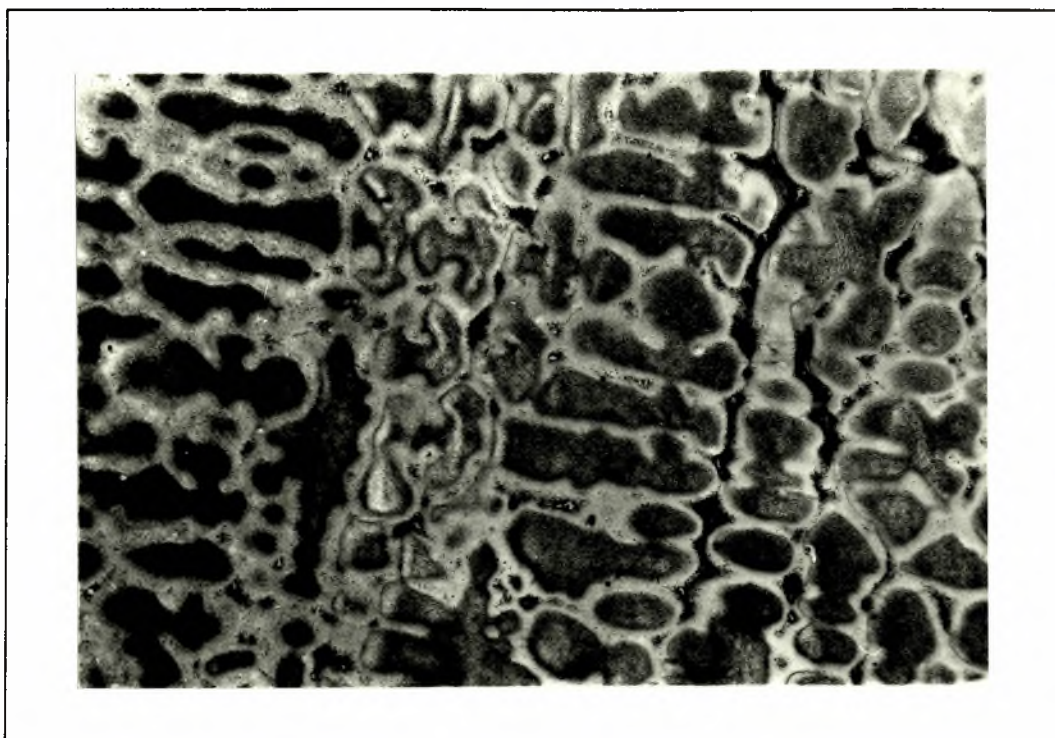
Φώτο. 9: (X50). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



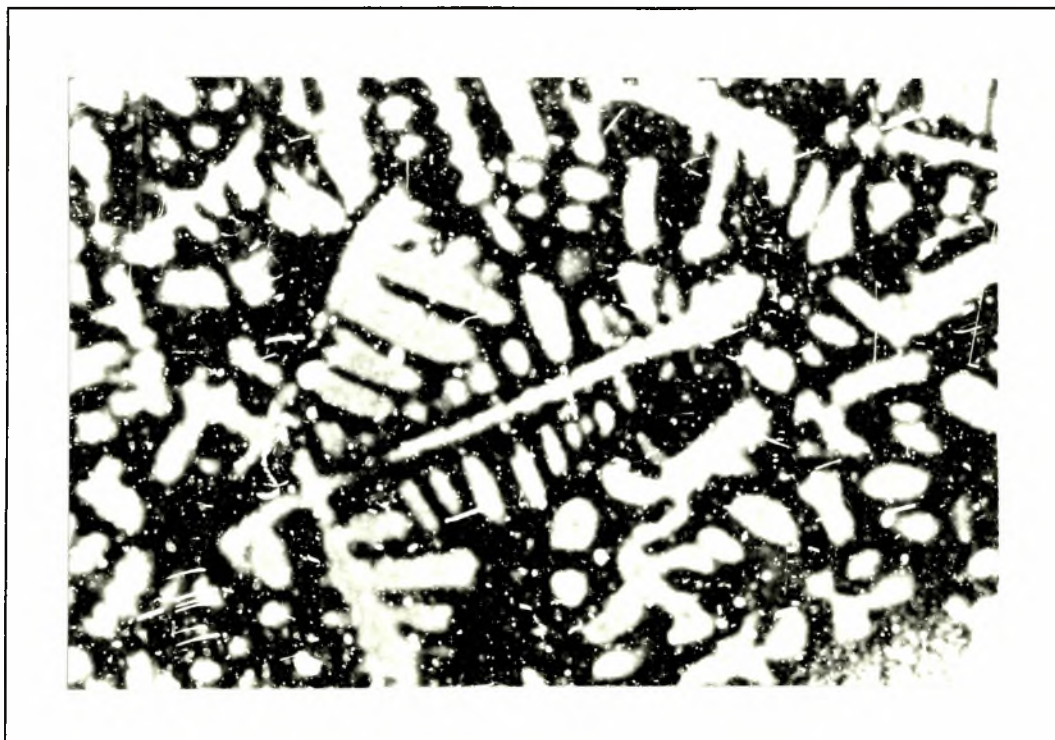
Φώτο. 10: (X50). Διάβρωση σε βάθος του χάλυβα Fonte á Cr.



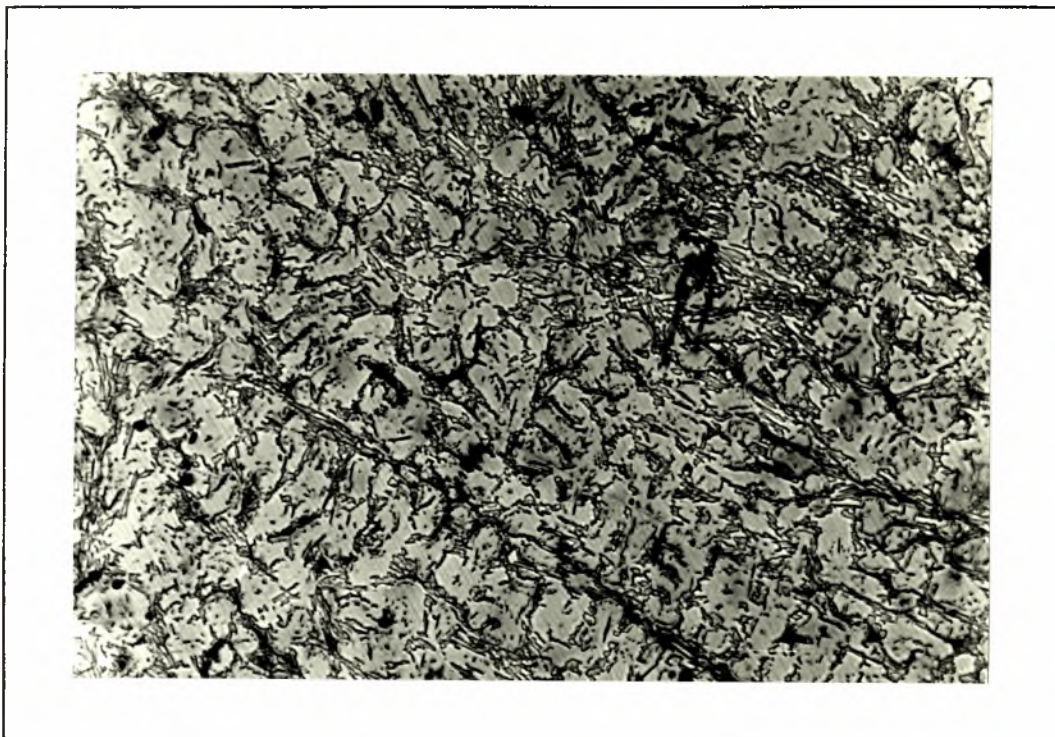
Φώτο. 11: (X50). Επιλεκτική διάβρωση του χάλυβα Fonte á Cr.



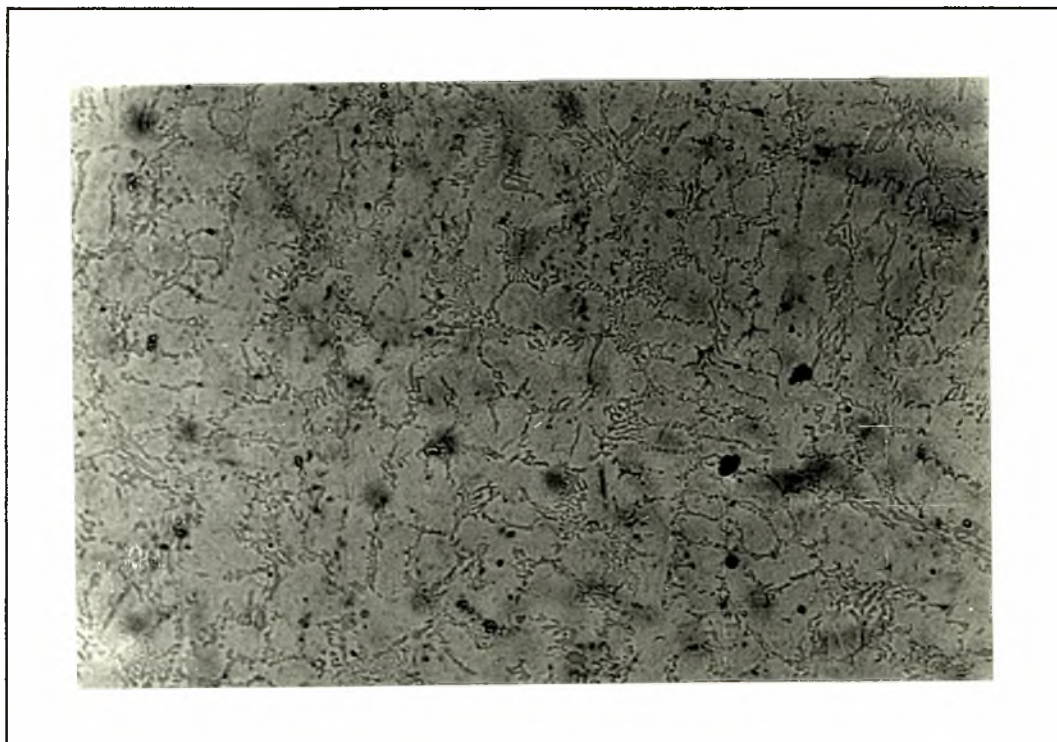
Φώτο.12: (X50). Δομή του χάλυβα 904L. Η φωτογραφία είναι από τη ρέπλικα.



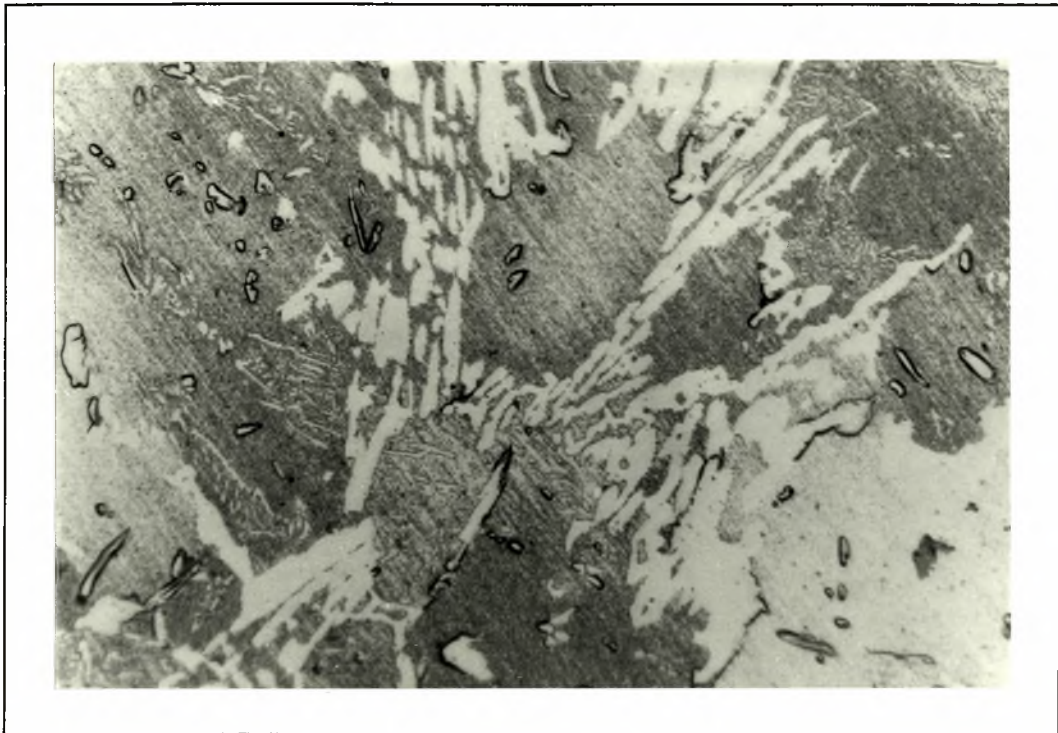
Φώτο.13: (X50) Δομή του χάλυβα 904L. Η φωτογραφία είναι από τη ρέπλικα.



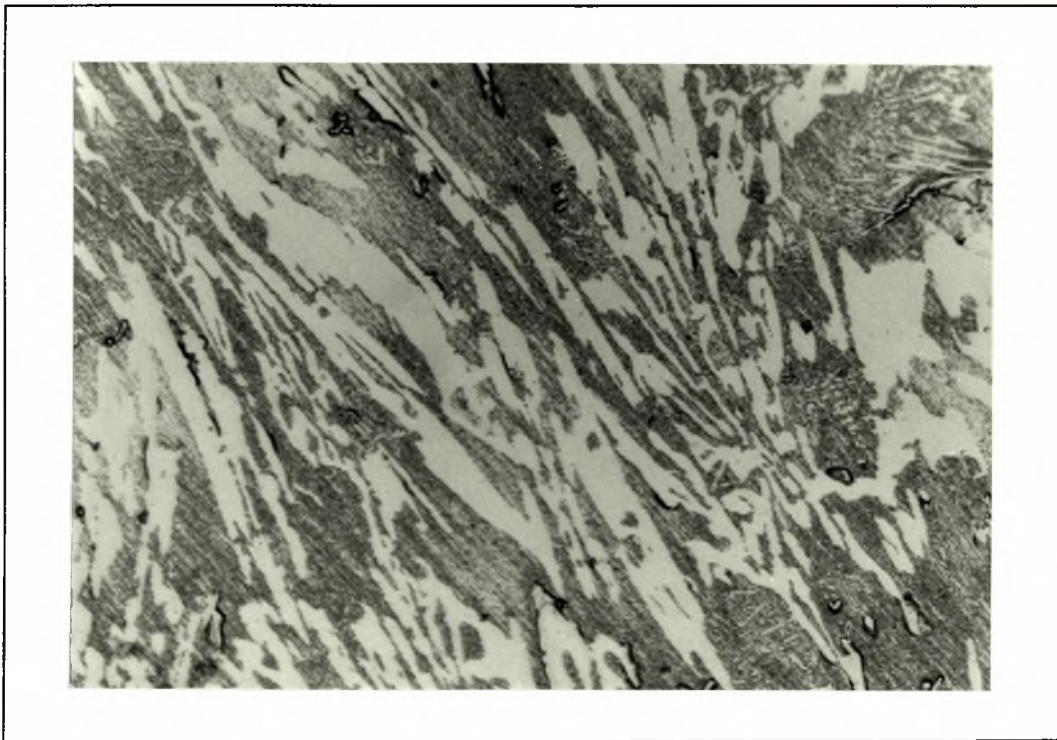
Φώτο.14: (X100). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr.



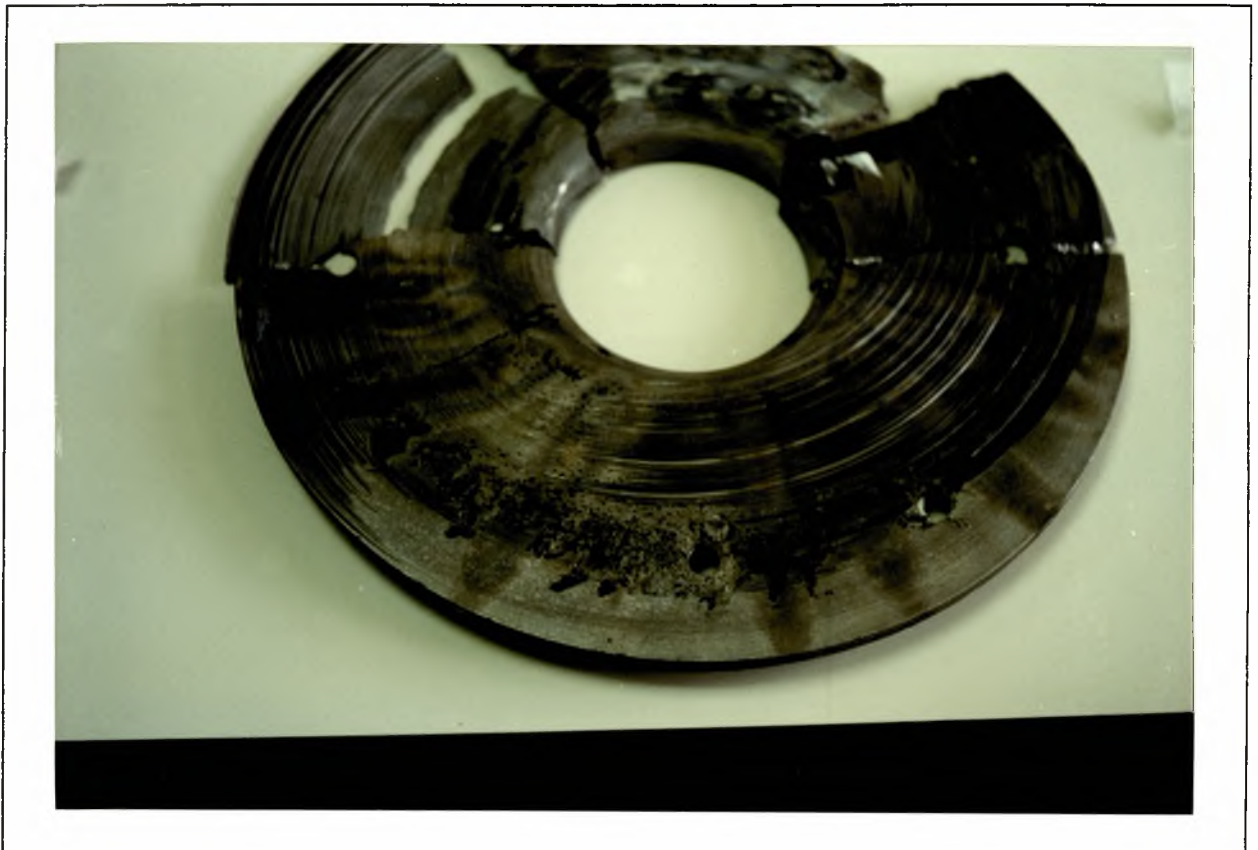
Φώτο. 15: (X100). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr.



Φώτο. 16: (X500). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr. Οι λευκές περιοχές είναι οι δενδρίτες, οι γκρίζες το υλικό ανάμεσά τους και οι μαύρες τα καρβίδια. Στα όρια των κόκκων έχουμε καθίζηση φάσης High Sigma.



Φώτο. 17: (X500). Δομή του χάλυβα Fonte á Cr. Οι λευκές περιοχές είναι οι δενδρίτες, οι γκρίζες το υλικό ανάμεσά τους και οι μαύρες τα καρβίδια. Στα όρια των κόκκων έχουμε καθίζηση φάσης High Sigma.



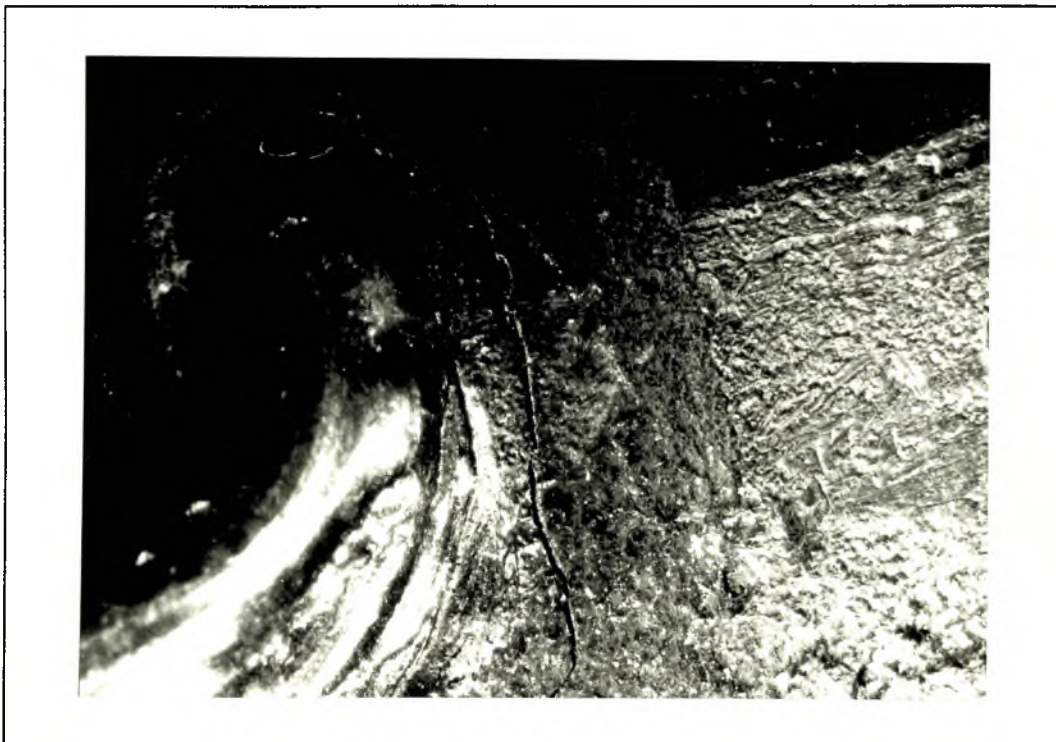
Φώτο. 18: Το τεμάχιο από Fonte á Cr, έντονα διαβρωμένο από την πλευρά της ροής.



Φώτο. 19: Το ίδιο τεμάχιο από Fonte á Cr, εδώ από την άλλη πλευρά, και με τις αναγομώσεις.



Φώτο. 20: (X6,5). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι και ρωγή εφαπτομενικά.



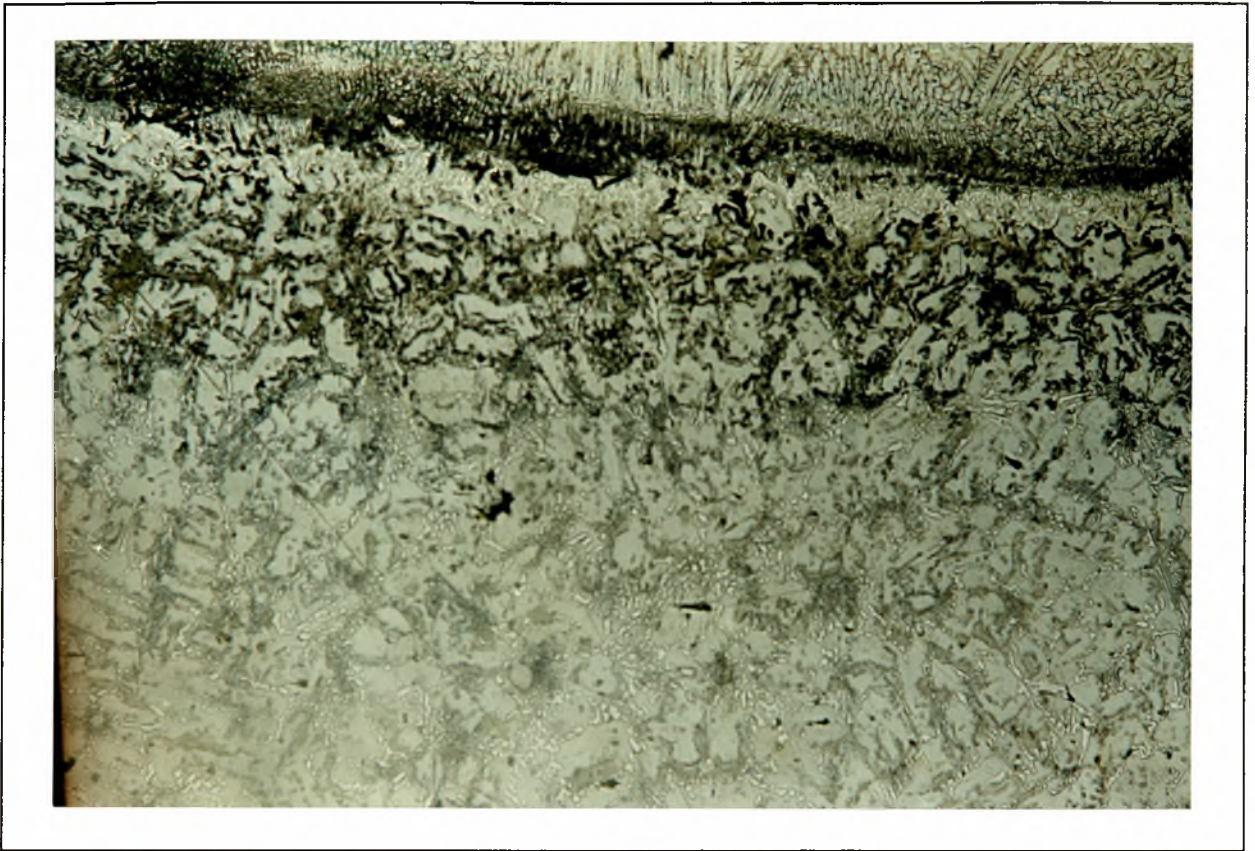
Φώτο. 21: (X10). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1ε). Πόροι και ρωγή εφαπτομενικά.



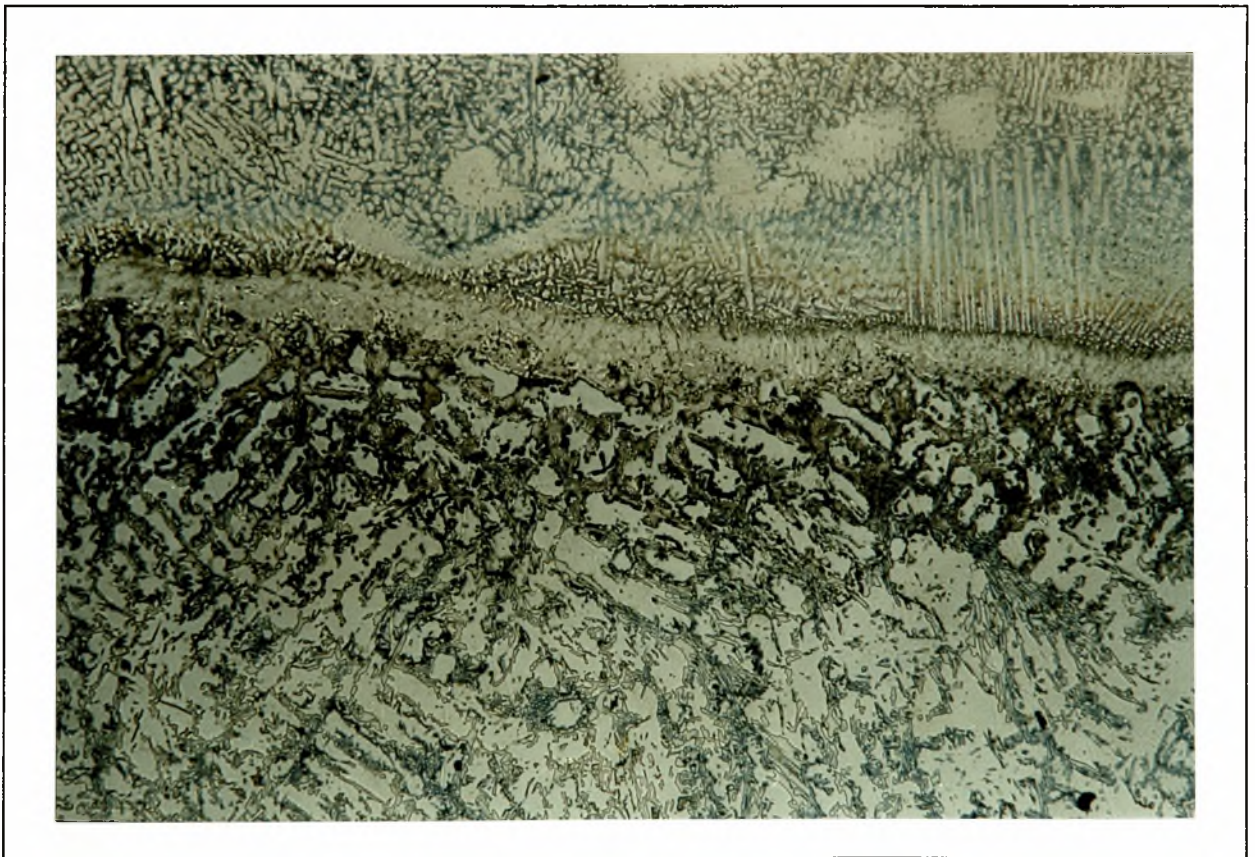
Φώτο. 22: (X100). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1δ). Δενδριτική δομή ηλεκτροδίου.



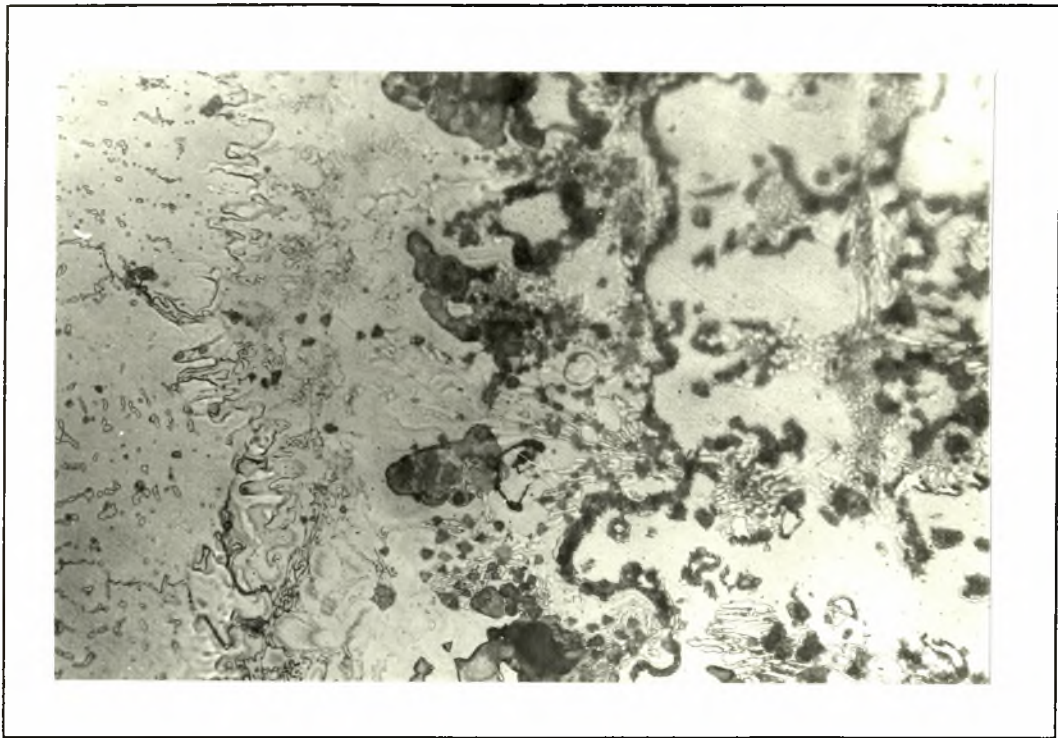
Φώτο. 23: (X100). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1δ).



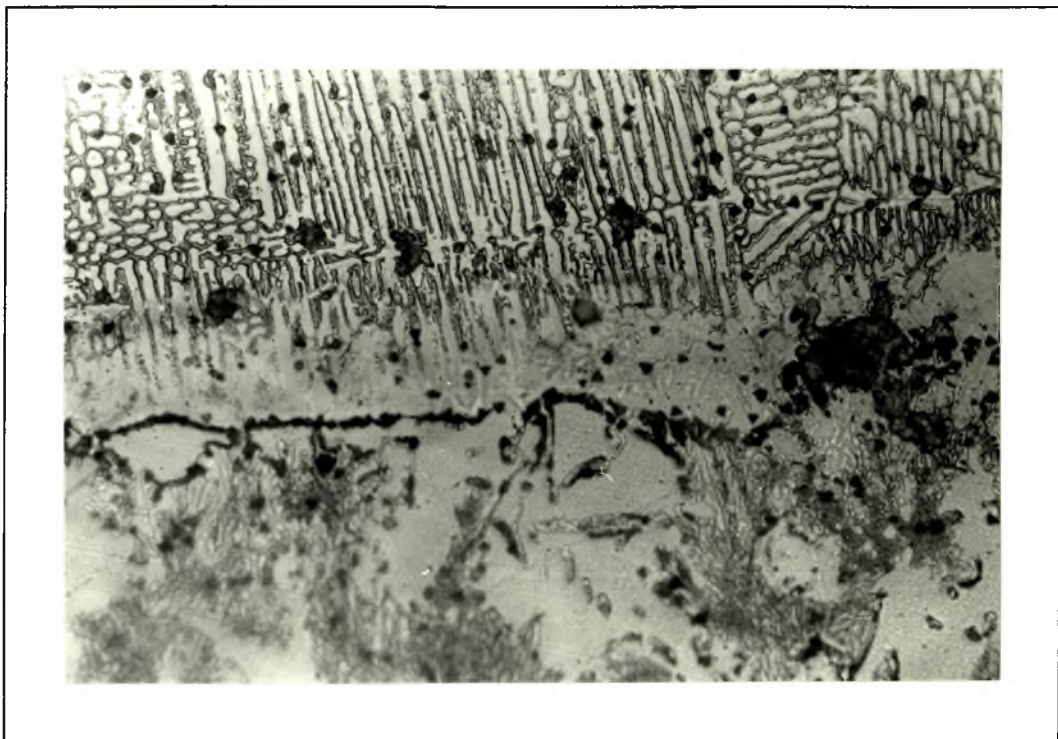
Φώτο. 24: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια και αλλαγή δομής σε σχέση με την απόσταση από αυτήν.



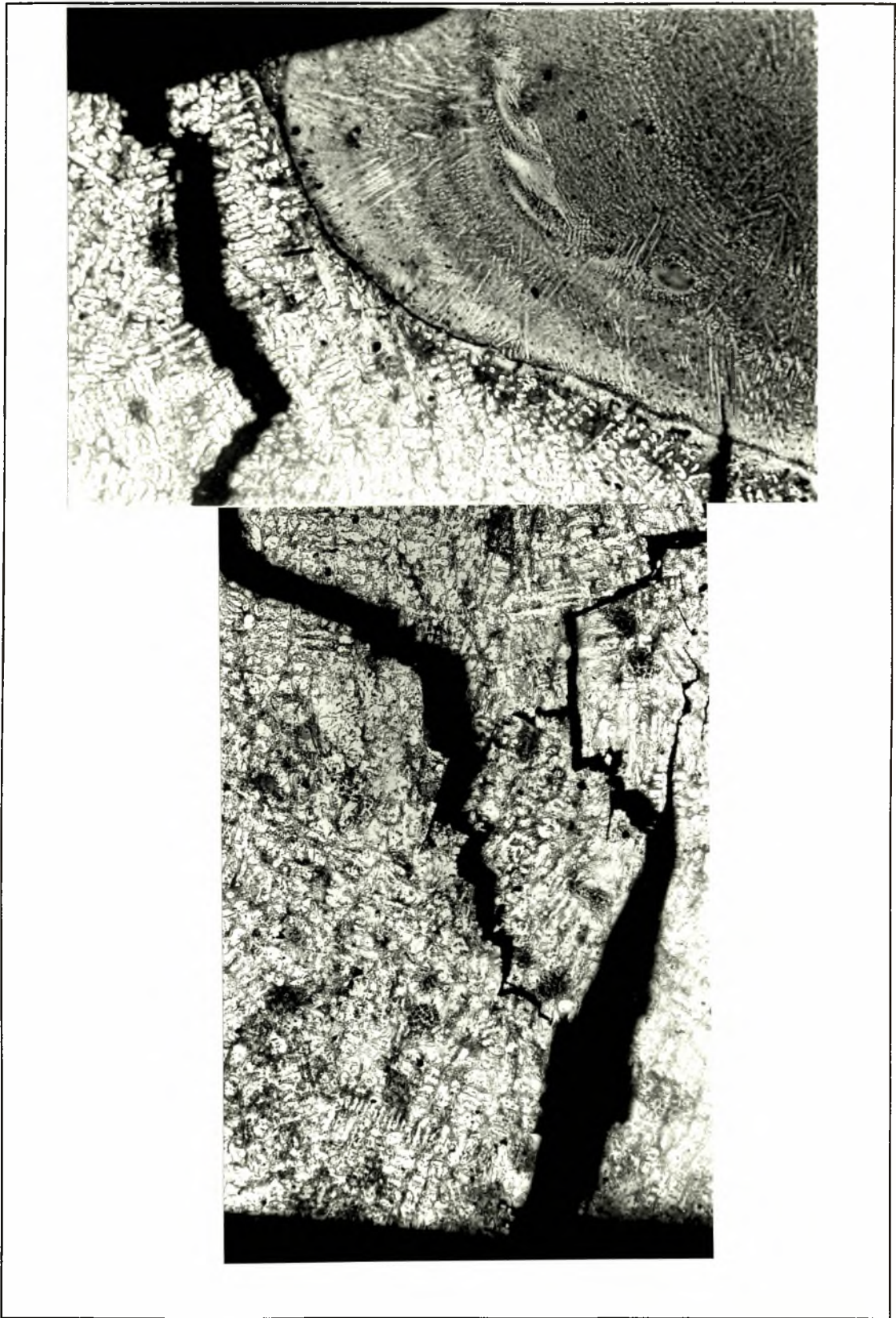
Φώτο. 25: (X100). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Παρατηρώ ότι η δομή αλλάζει σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.



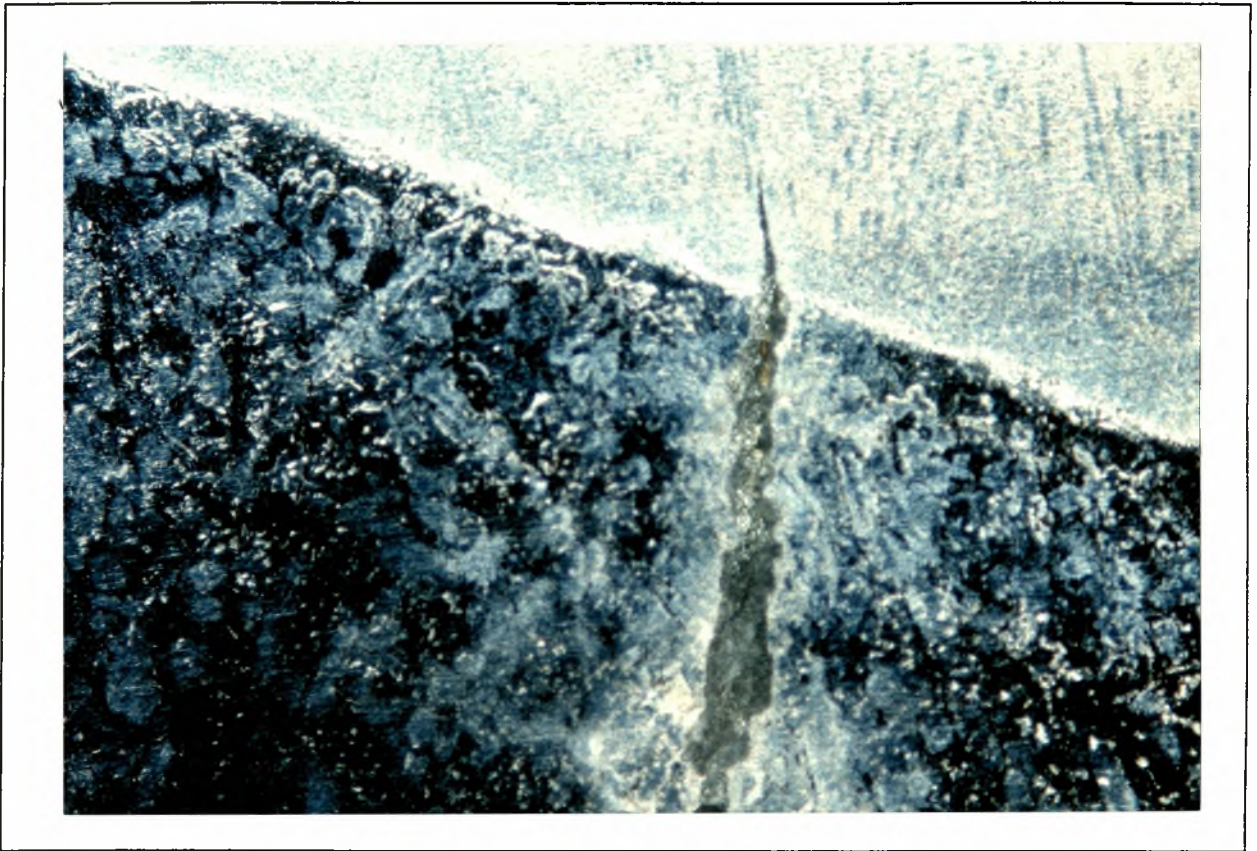
Φώτο. 26: (X1000). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια που σχηματίζουν μια διακριτή γραμμή.



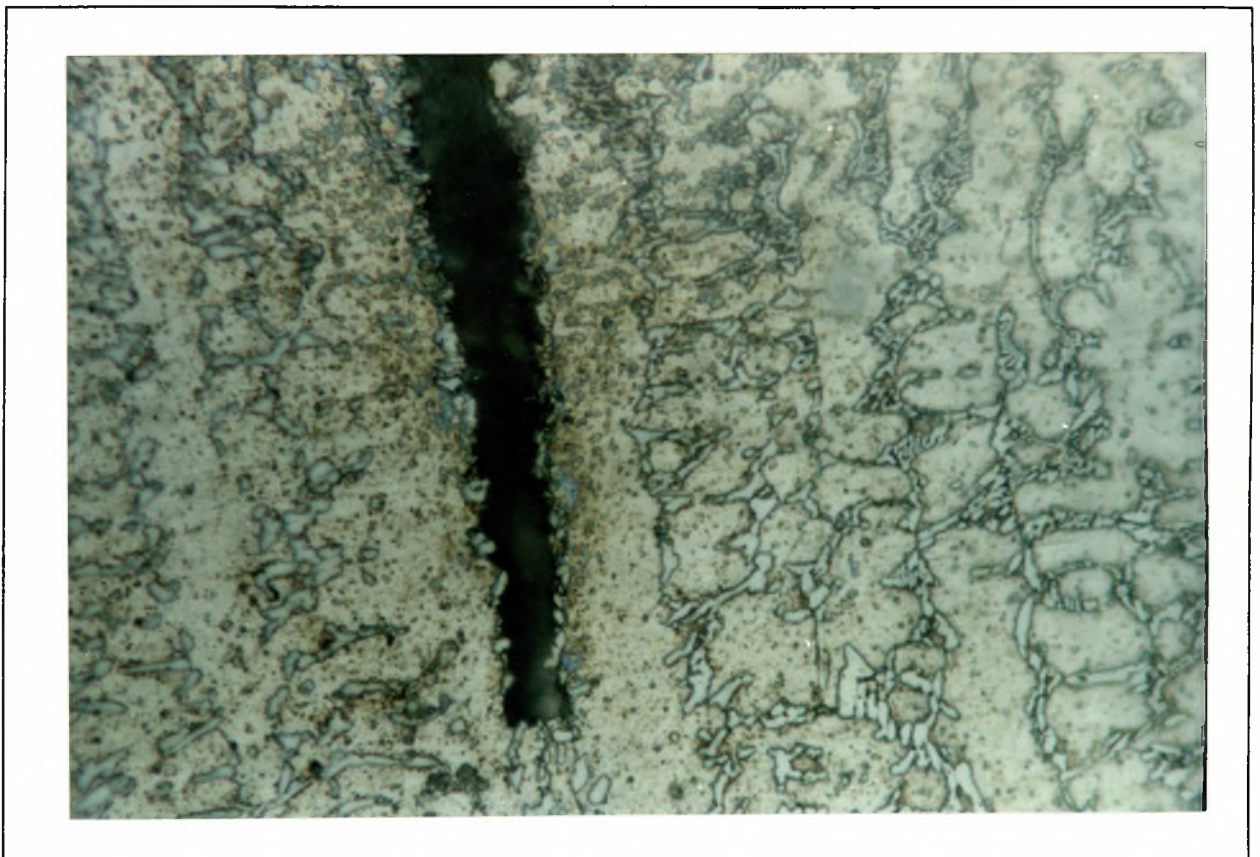
Φώτο.27: (X500). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Πόροι στη διεπιφάνεια που σχηματίζουν μια διακριτή γραμμή.



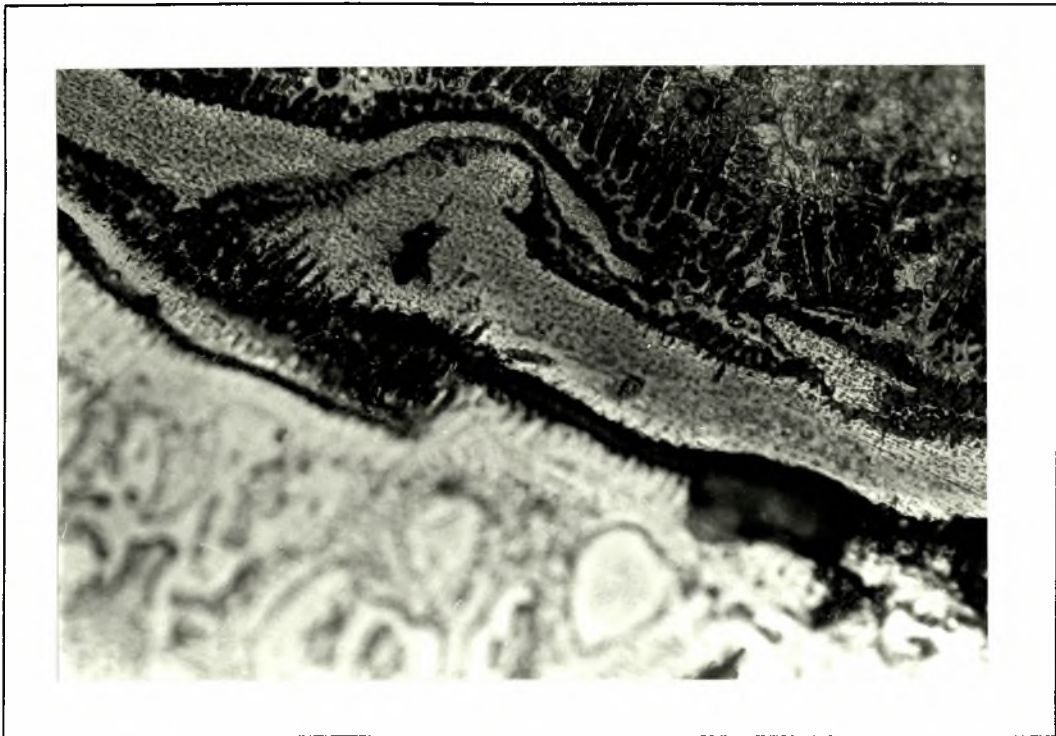
Φώτο. 28-29: (X50). Αναγόμευση με Soudofonte B 24 (1δ). Εξέλιξη της διάβρωσης. Το ρήγμα που προϋπήρχε αναπτύχθηκε λόγω θερμικών τάσεων και συνάντησε το ρήγμα που δημιουργήθηκε στα όρια της ΘΕΖ.



Φώτο. 30: (X100). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1δ). Ρήγμα που εισέρχεται στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.



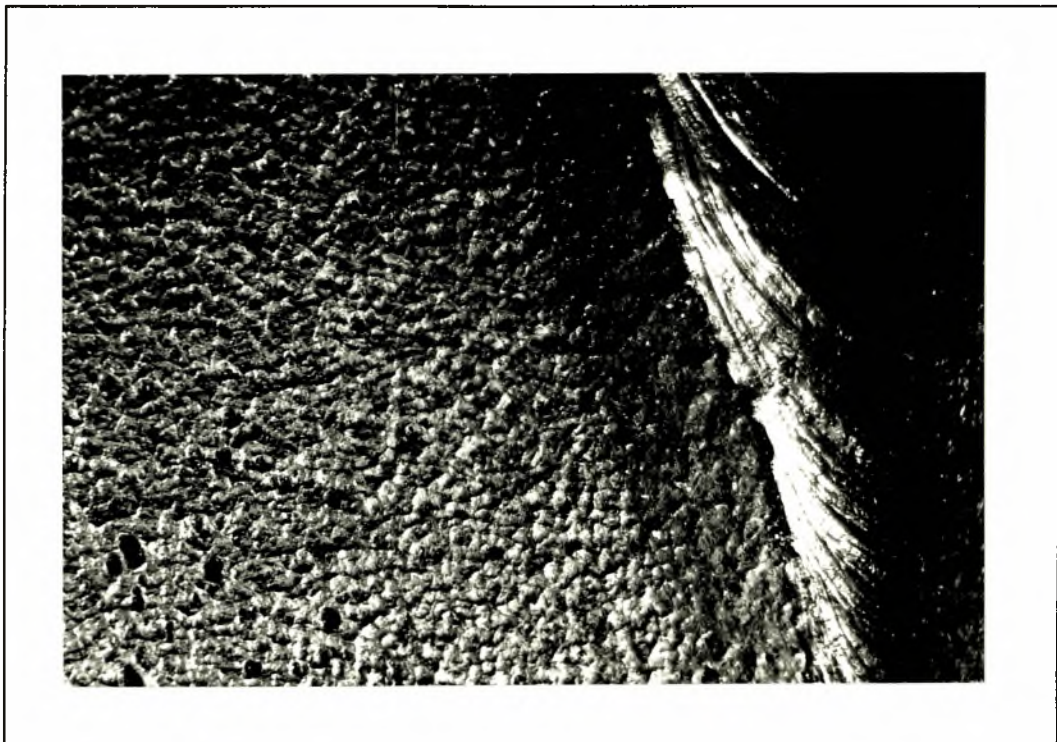
Φώτο. 31:(X1000). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1δ). Λεπτομέρεια της φωτ. 30 όπου φαίνεται ο μηχανισμός διάδοσης του ρήγματος στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.



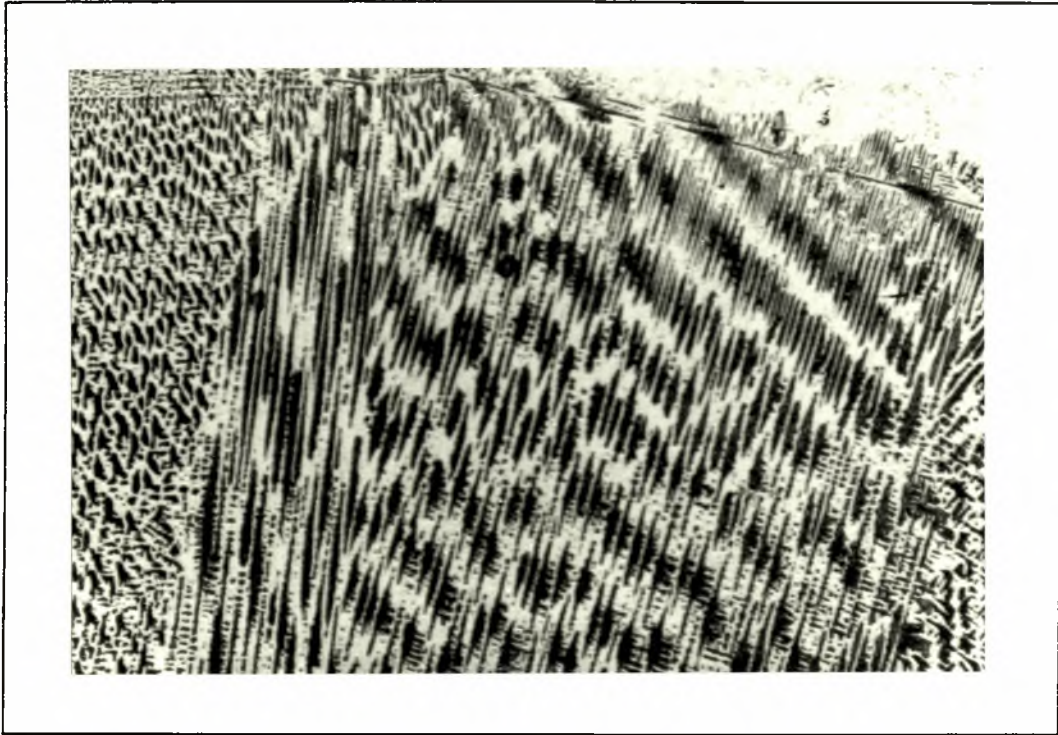
Φώτο. 32: (X500). Αναγόμωση με Soudofonte B 24 (1ε). Πόροι και ανομοιογένεια στην περιοχή της επαφής.



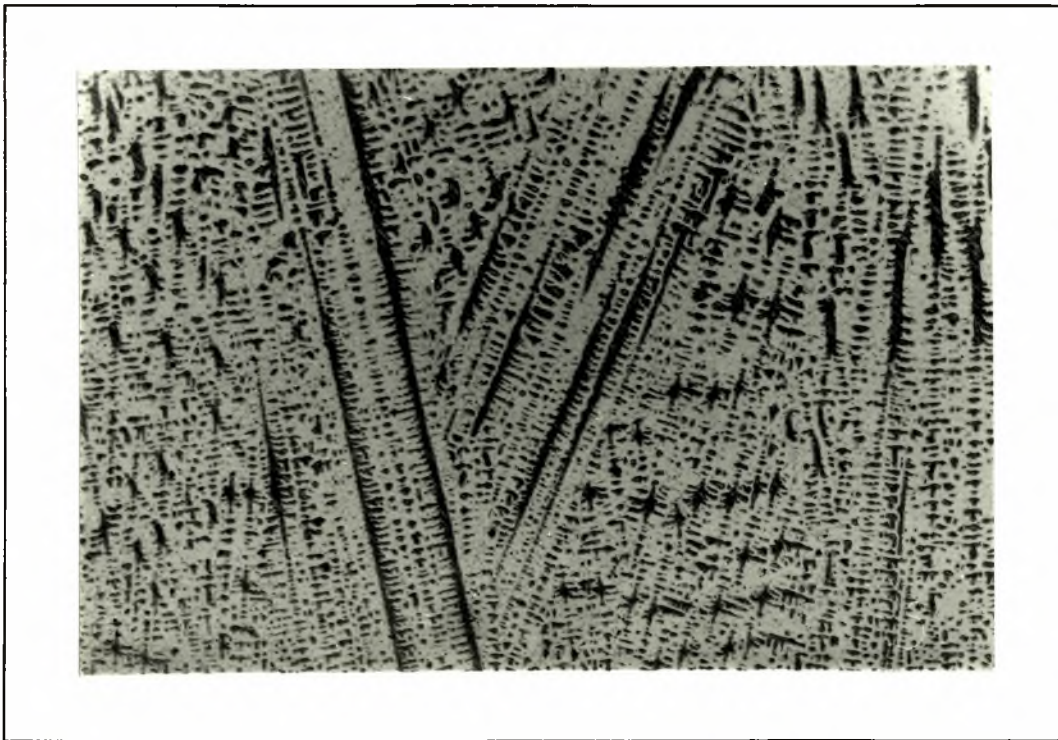
Φώτο. 33: (X6,5). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Ρωγμή στο τέλος της ραφής.



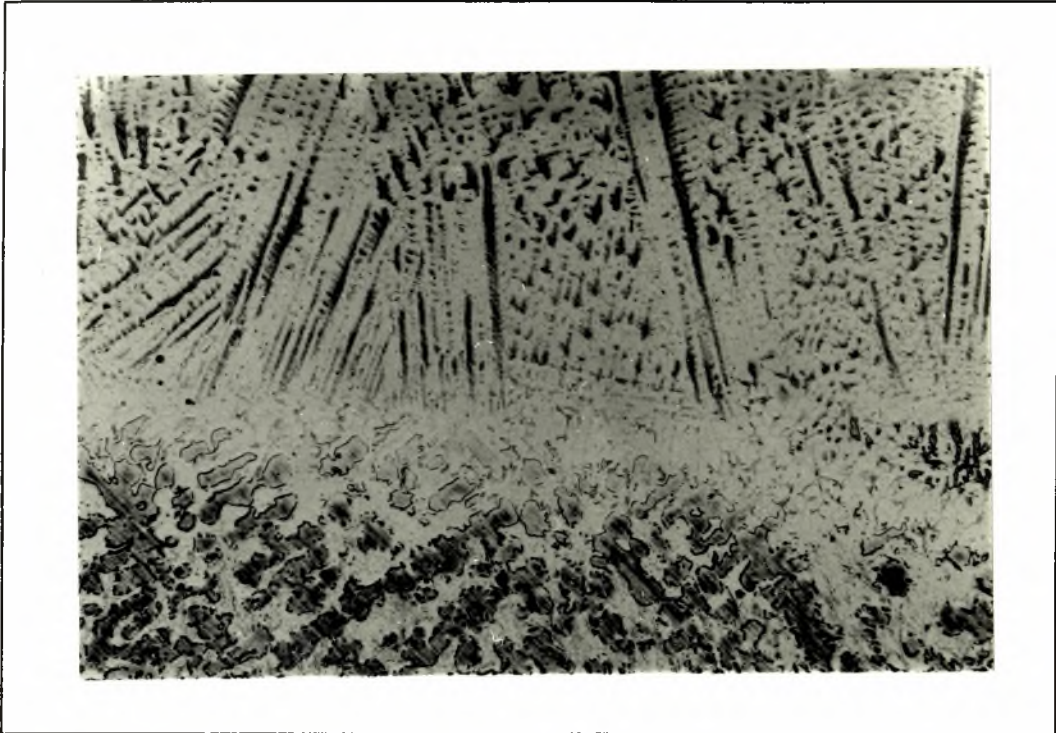
Φώτο. 34: (X6,5). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Καλή επαφή ηλεκτροδίου-Fonte à Cr.



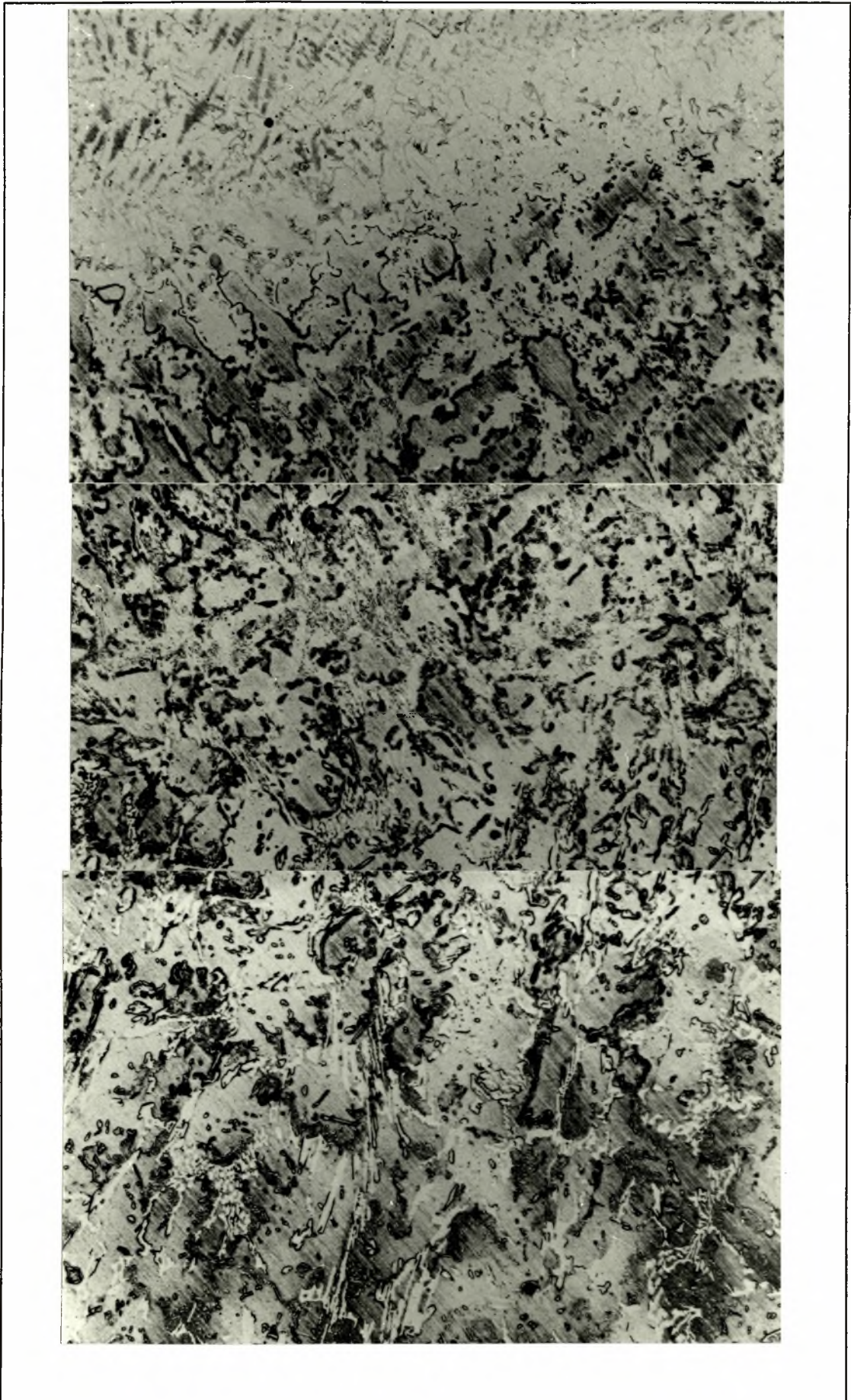
Φώτο. 35: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2) - Σχηματισμοί δεινδριτών στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.



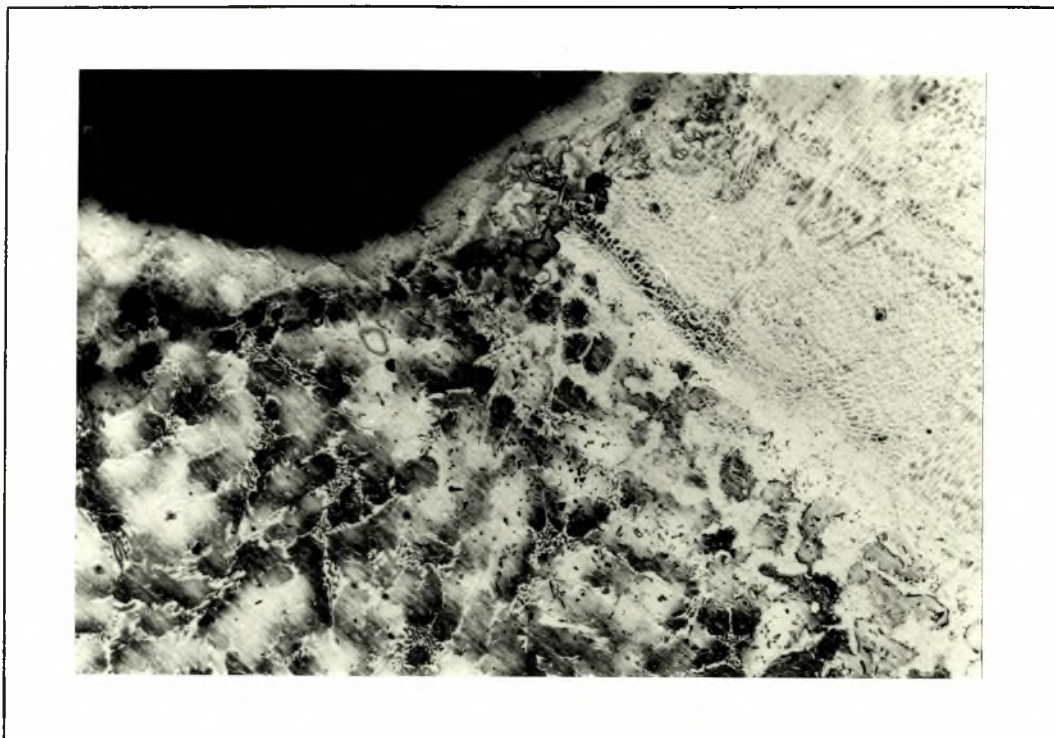
Φώτο. 36: (X100). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Σχηματισμοί δεινδριτών στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.



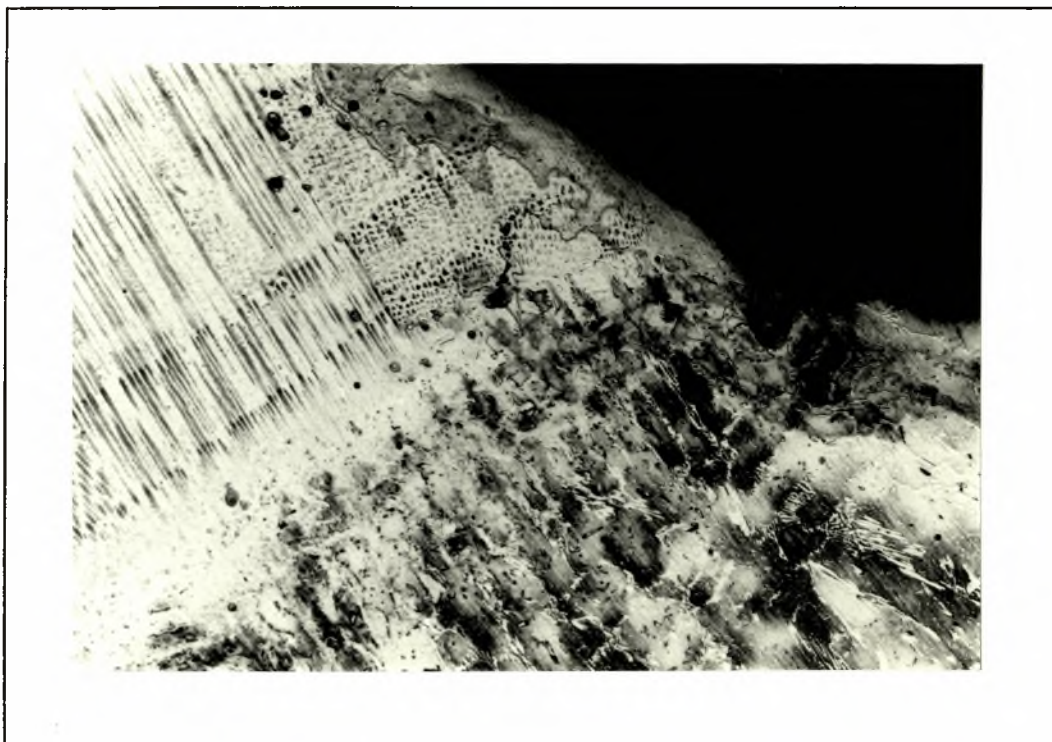
Φώτο. 37: (X100). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Διεπιφάνεια. Παρατηρώ πως στην περιοχή σύντηξης των μετάλλων δεν σχηματίζονται πολλά καρβίδια του χρωμίου λόγω διάχυσης του νιόβιου από το υλικό του ηλεκτροδίου.



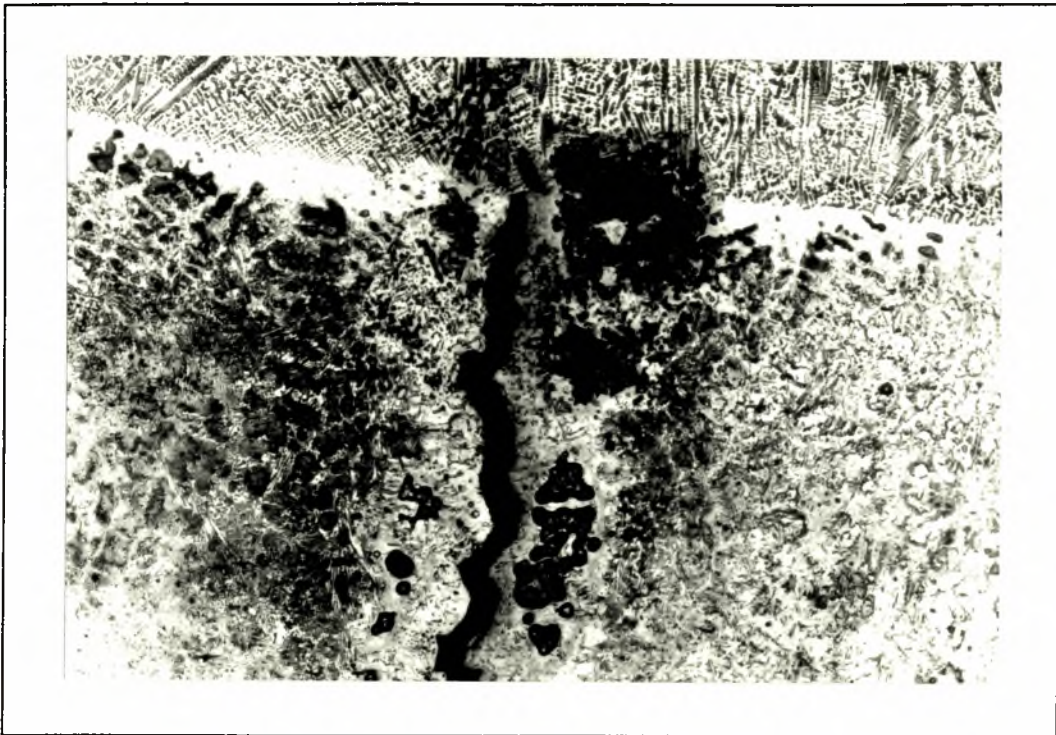
Φώτο.38-40: (X200). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Μεταβολή της δομής σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.



Φώτο. 41: (X100). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Δεν αναπτύσσονται ρήγματα στη ΘΕΖ.



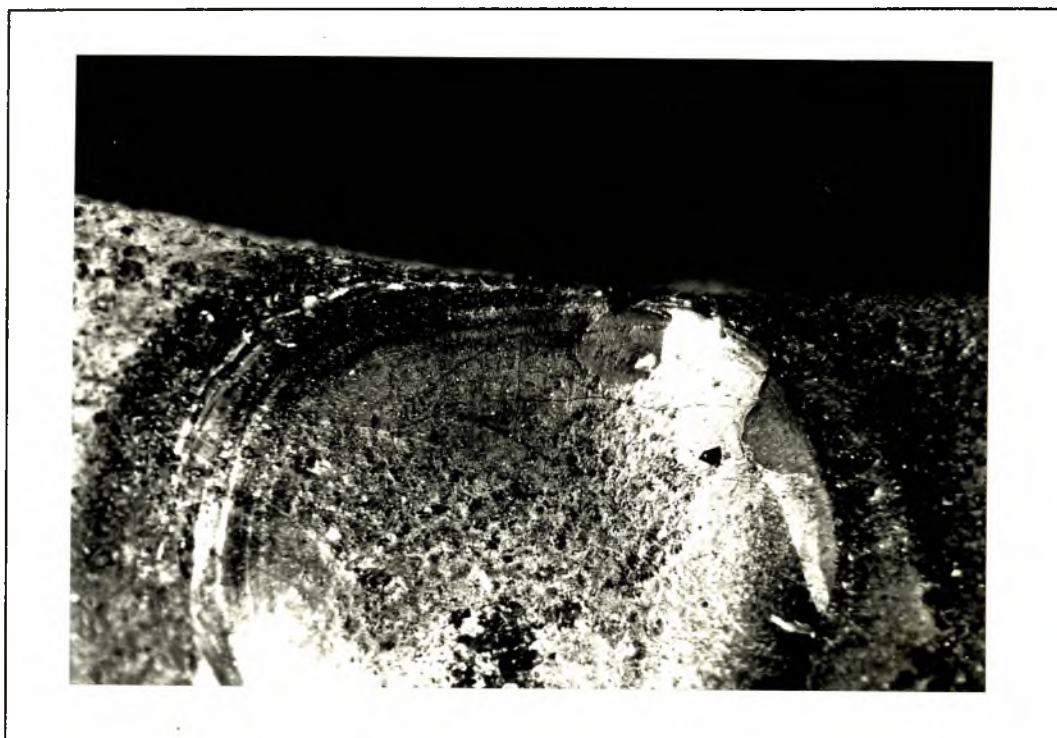
Φώτο. 42: (X100). Αναγόμωση με Soudocrom S 17 (2). Δεν αναπτύσσονται ρήγματα στη ΘΕΖ.



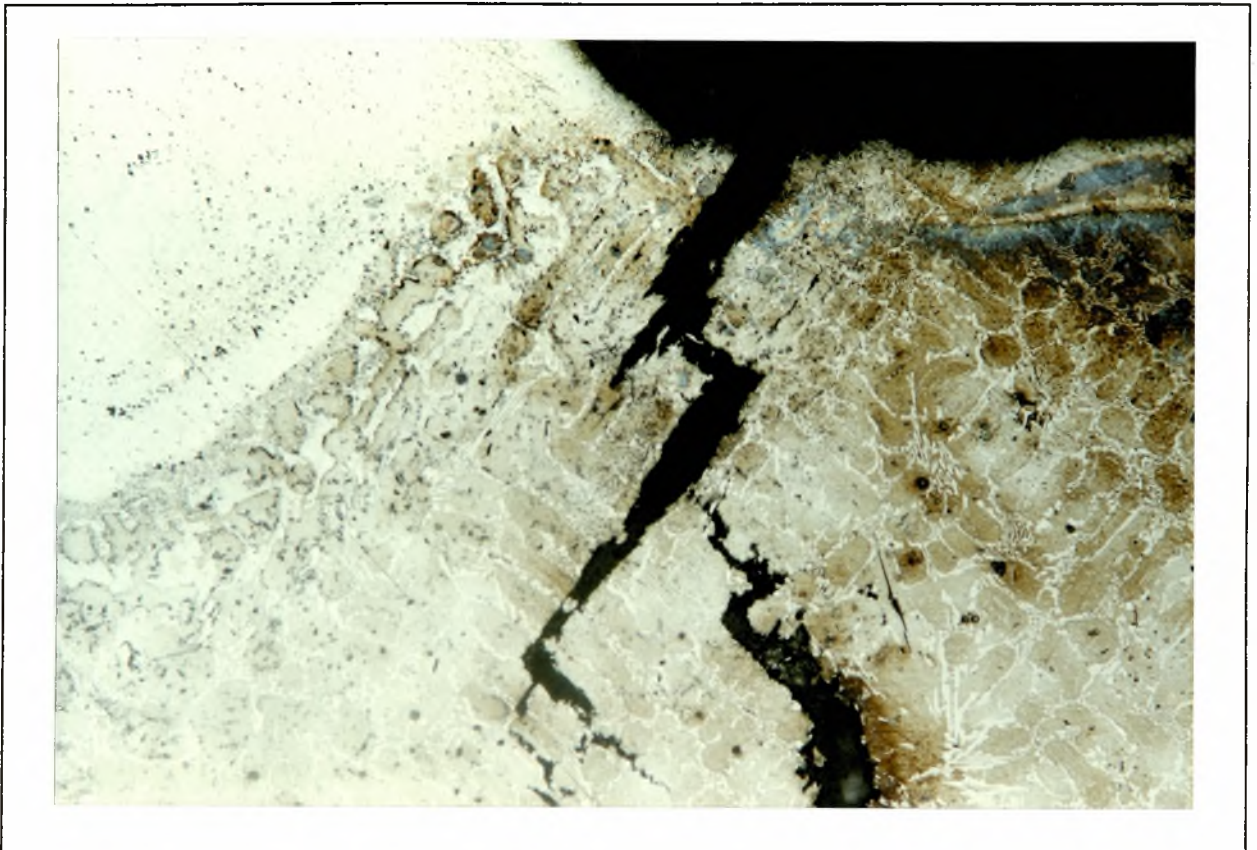
Φώτο. 43: (X50). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Ρήγμα που φτάνει ως τη διεπιφάνεια.



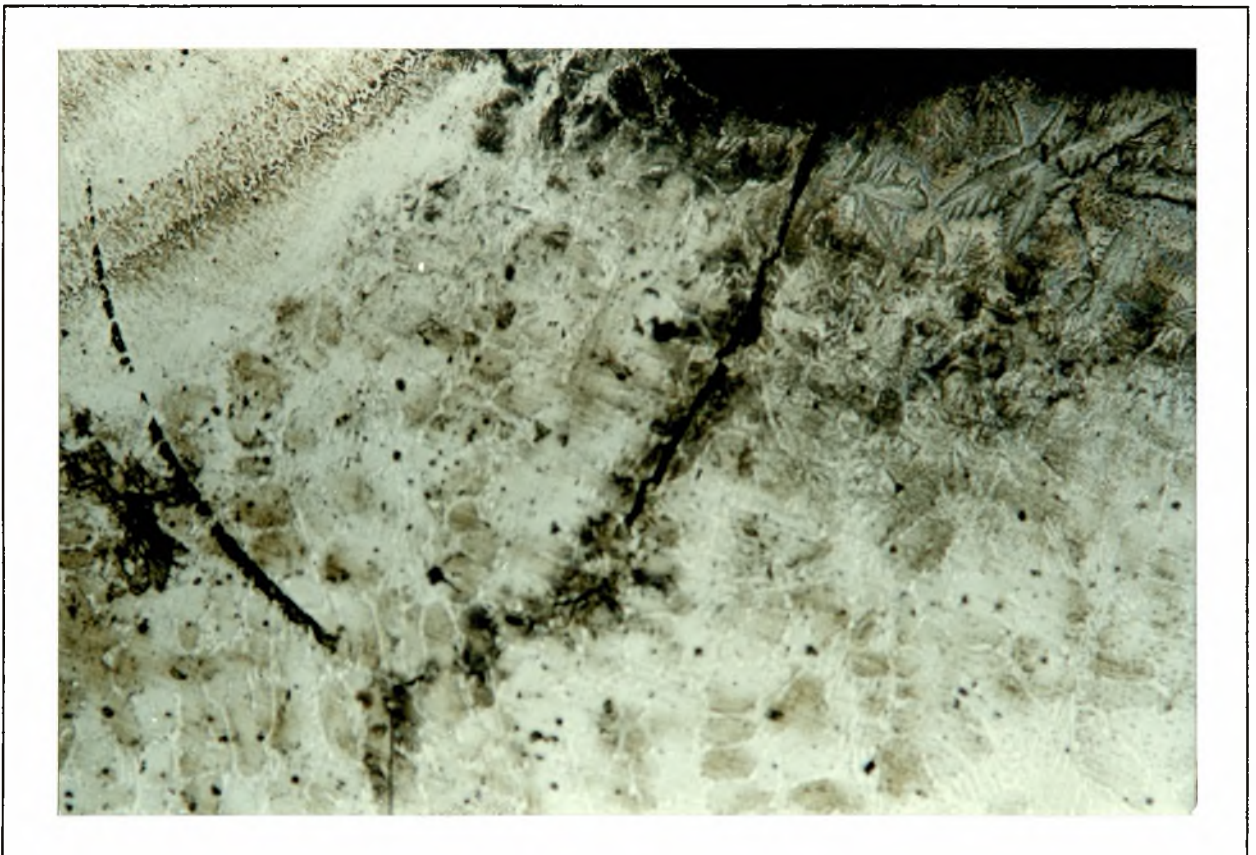
Φώτο. 44: (X200). Αναγόμευση με Soudocrom S 17 (2). Το ρήγμα της φωτ.43 διακόπτεται στην περιοχή του ηλεκτροδίου.



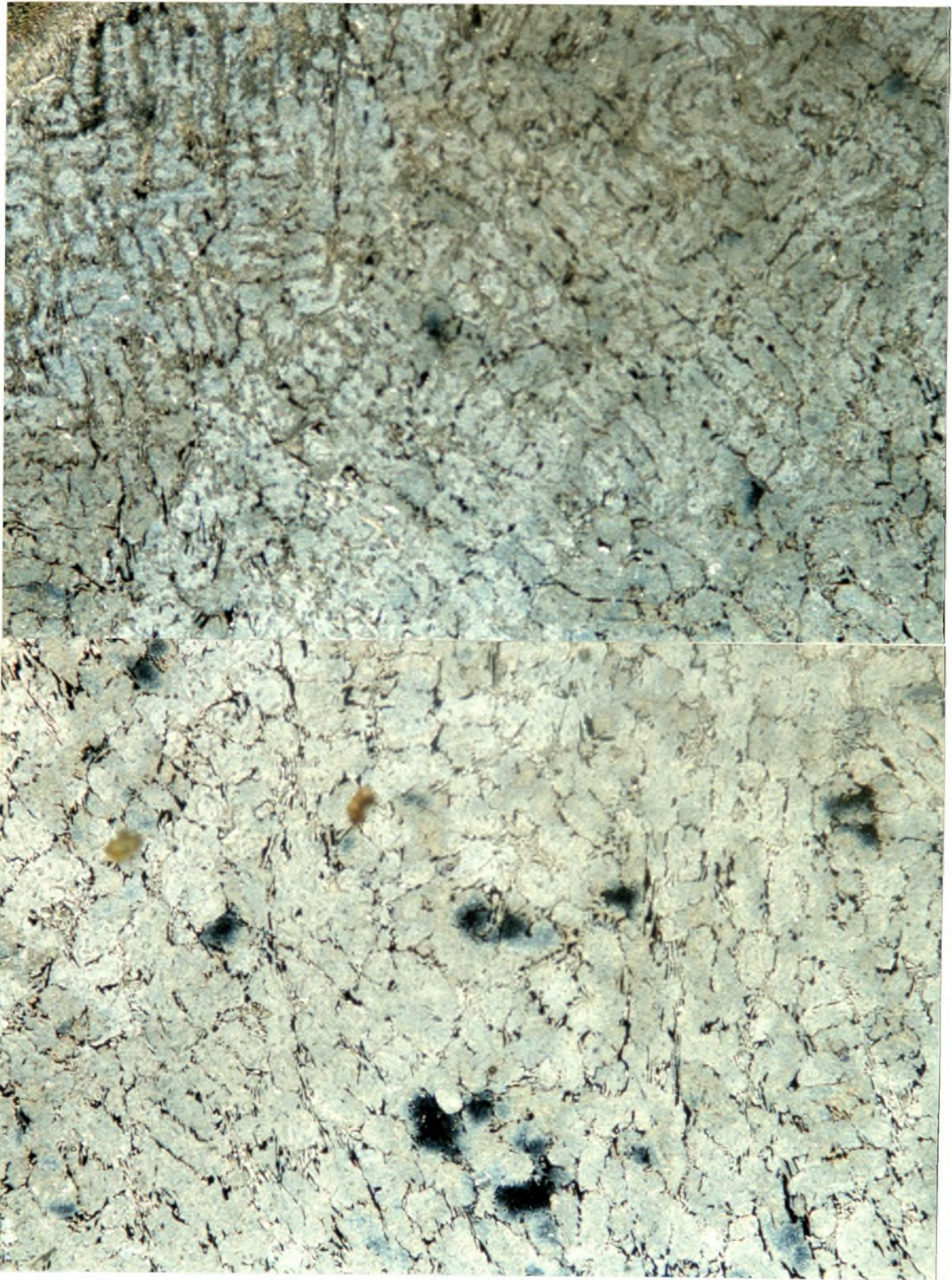
Φώτο. 45: (X6,5). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγμές στο τέλος της ραφής.



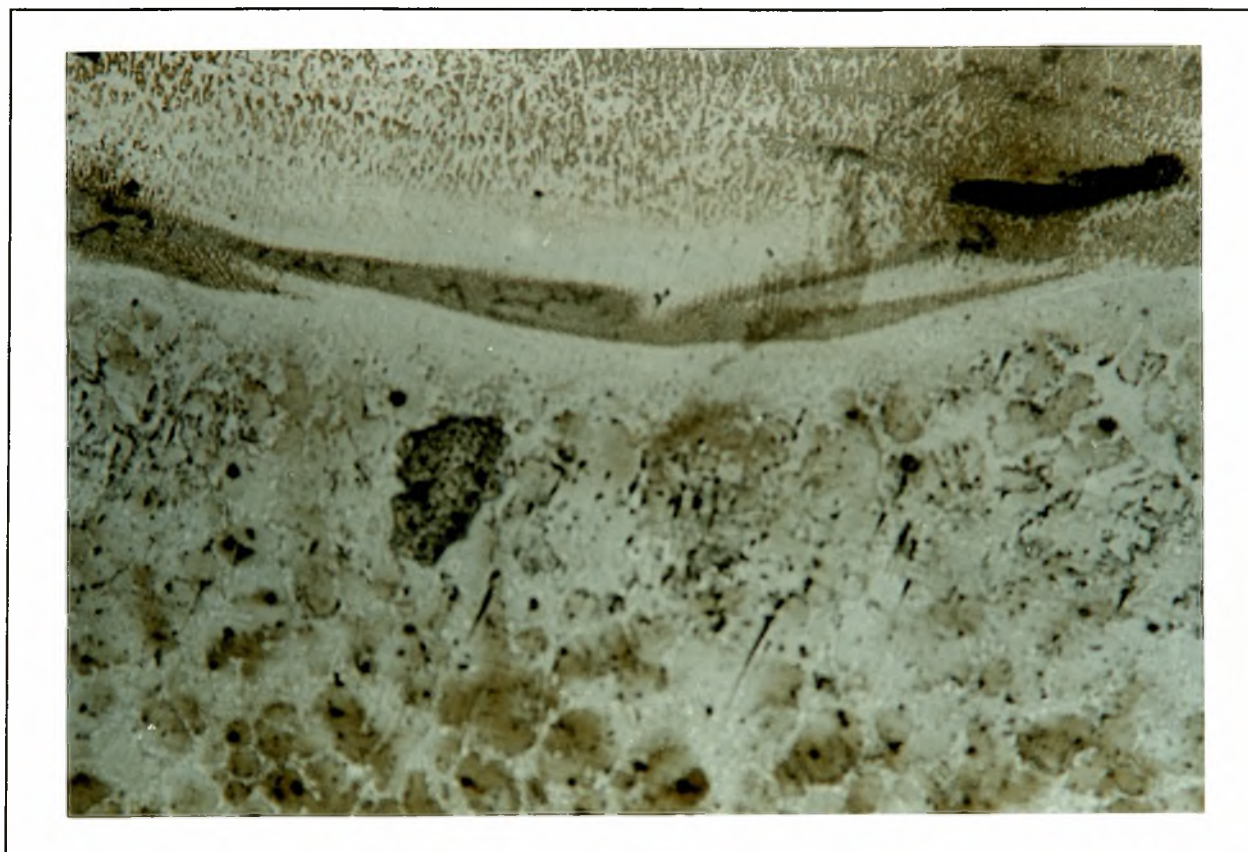
Φώτο. 46: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγή στα όρια της ΘΕΖ.



Φώτο. 47: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Ρωγή στα όρια της ΘΕΖ.



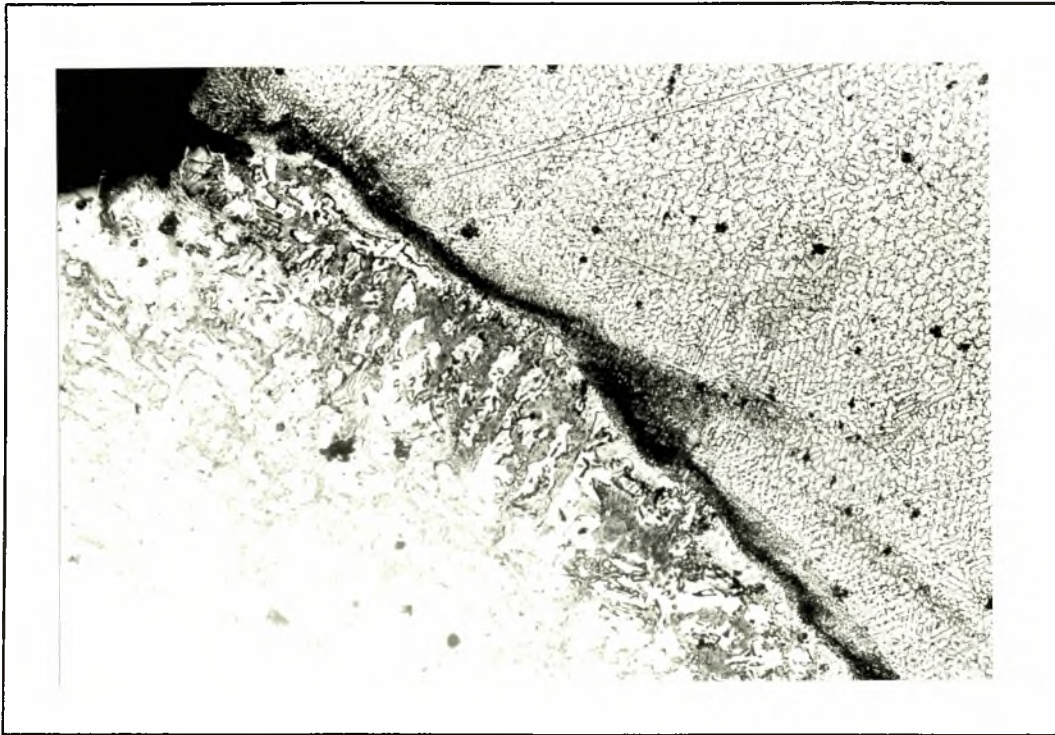
Φώτο. 48-49: (X100). Αναγόμευση με Fox Eas 2-A (3). Μεταβολή της δομής του Fonte ά Cr σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.



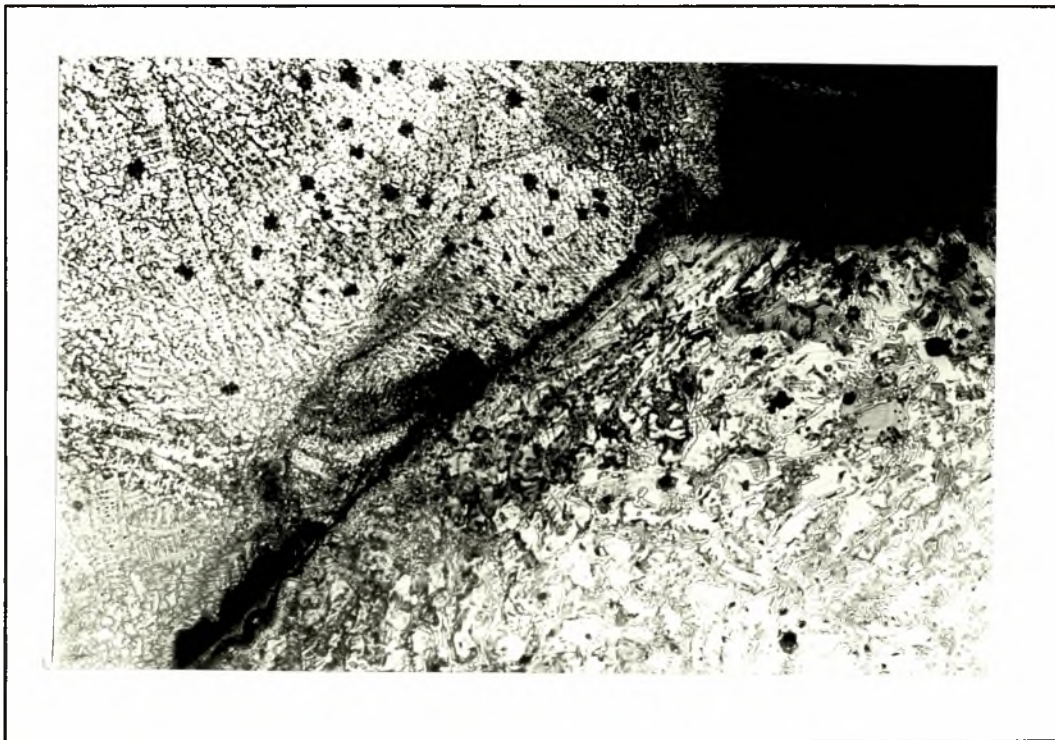
Φώτο. 50: (X100). Αναγόμωση με Fox Eas 2-A (3). Διεπιφάνεια. Παρατηρείται μια συσσώρευση καρβιδίων.



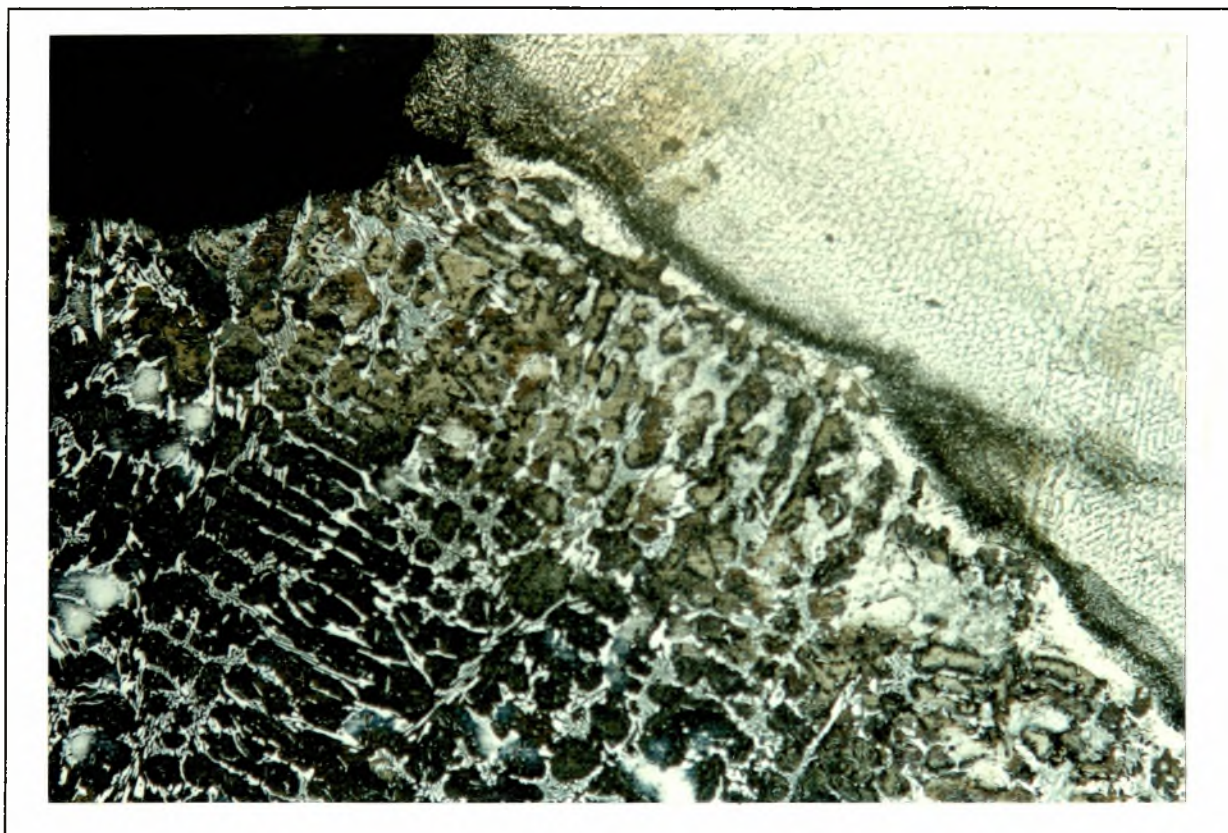
Φώτο. 51: (X16). Αναγόμωση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων με την αναγόμωση.



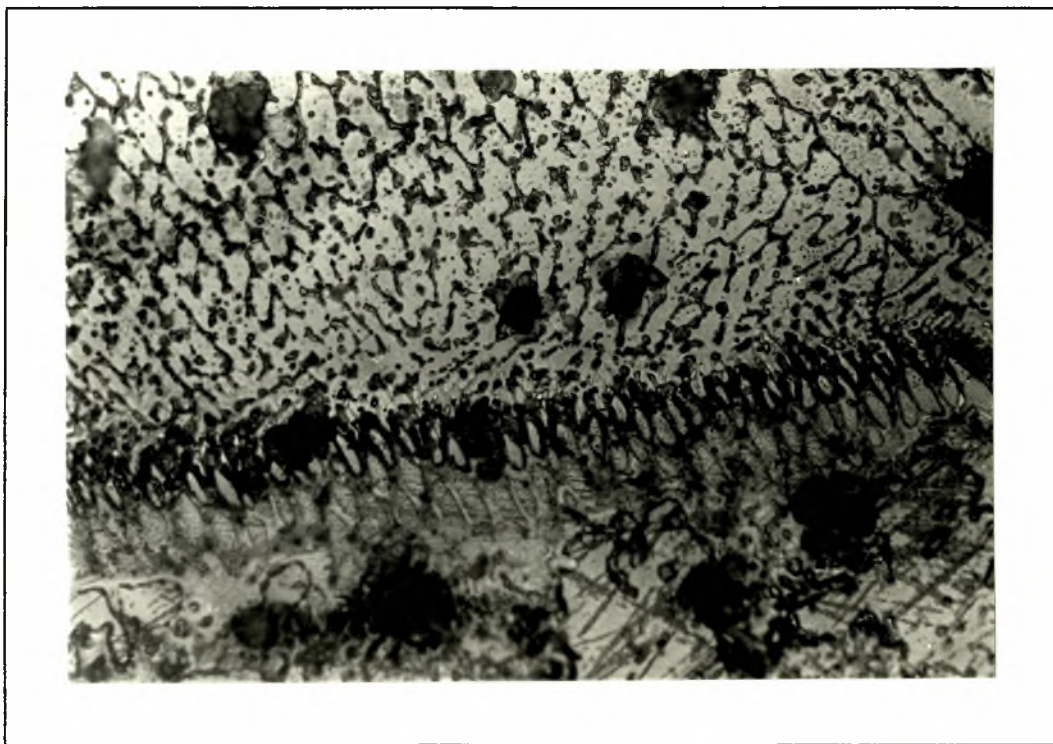
Φώτο. 52: (X100). Αναγόμωση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων τόσο στο μέταλλο του ηλεκτροδίου όσο και στην επαφή των δύο μετάλλων. Συσσώρευση καρβιδίων στη περιοχή της επαφής.



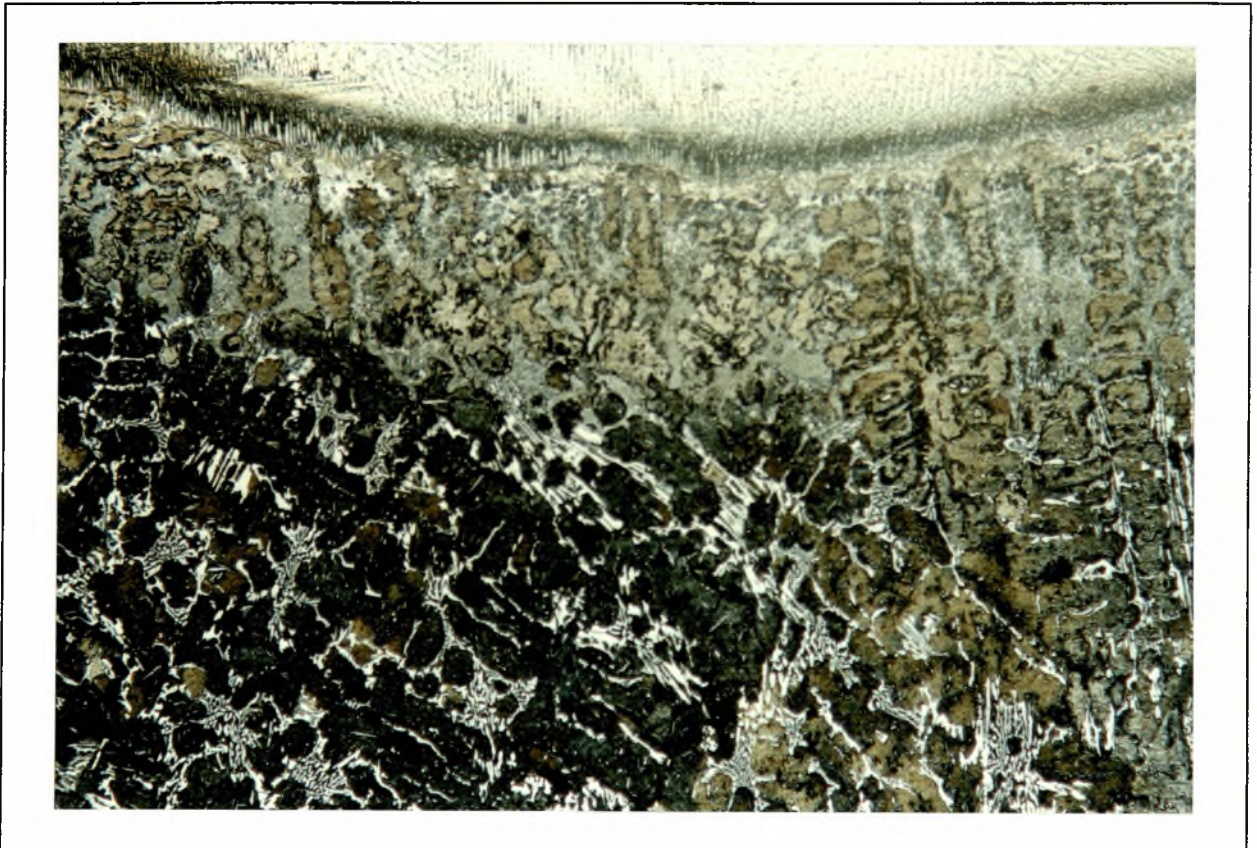
Φώτο. 53: (X100). Αναγόμωση με Soudonickel (4). Δημιουργία πόρων τόσο στο μέταλλο του ηλεκτροδίου όσο και στην επαφή των δύο μετάλλων. Συσσώρευση καρβιδίων στη περιοχή της επαφής.



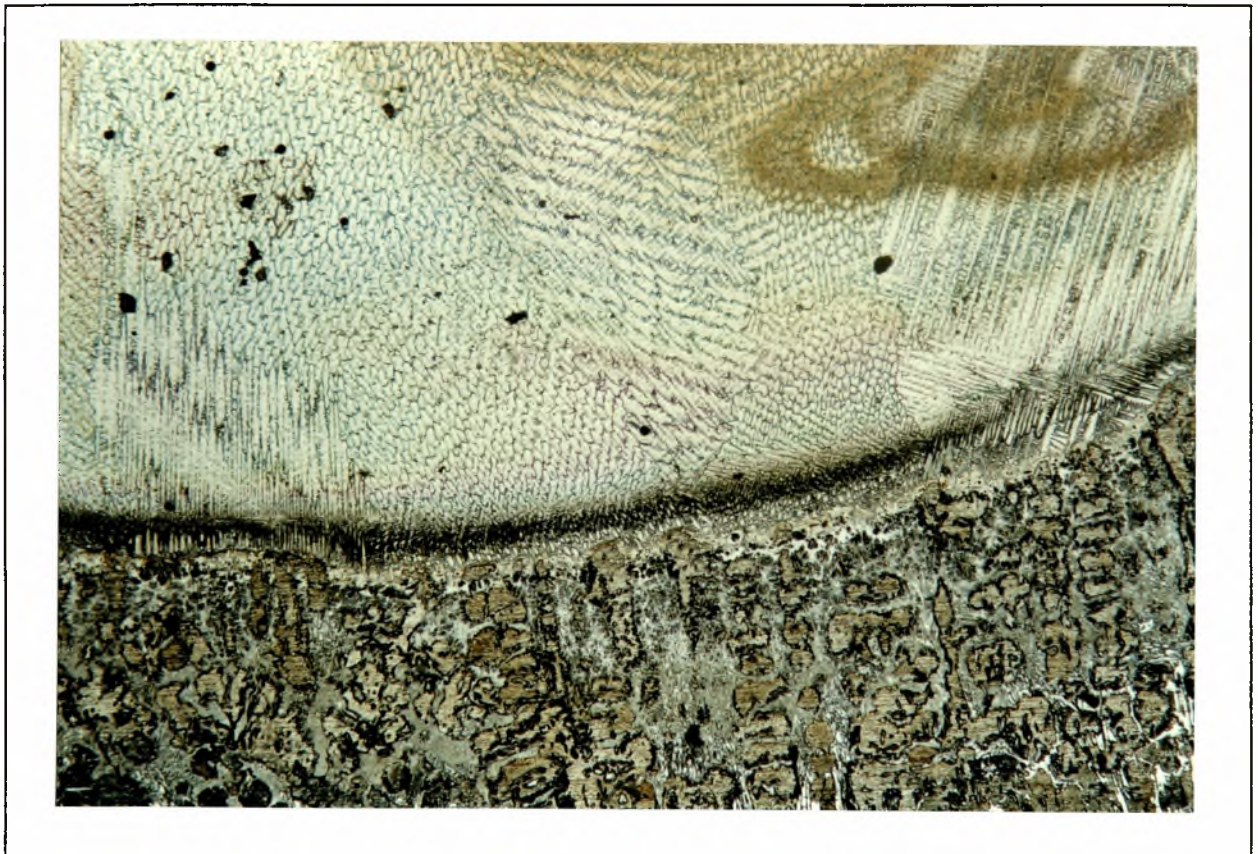
Φώτο. 54: (X100). Μία έγχρωμη διάσταση της φωτ. 52.



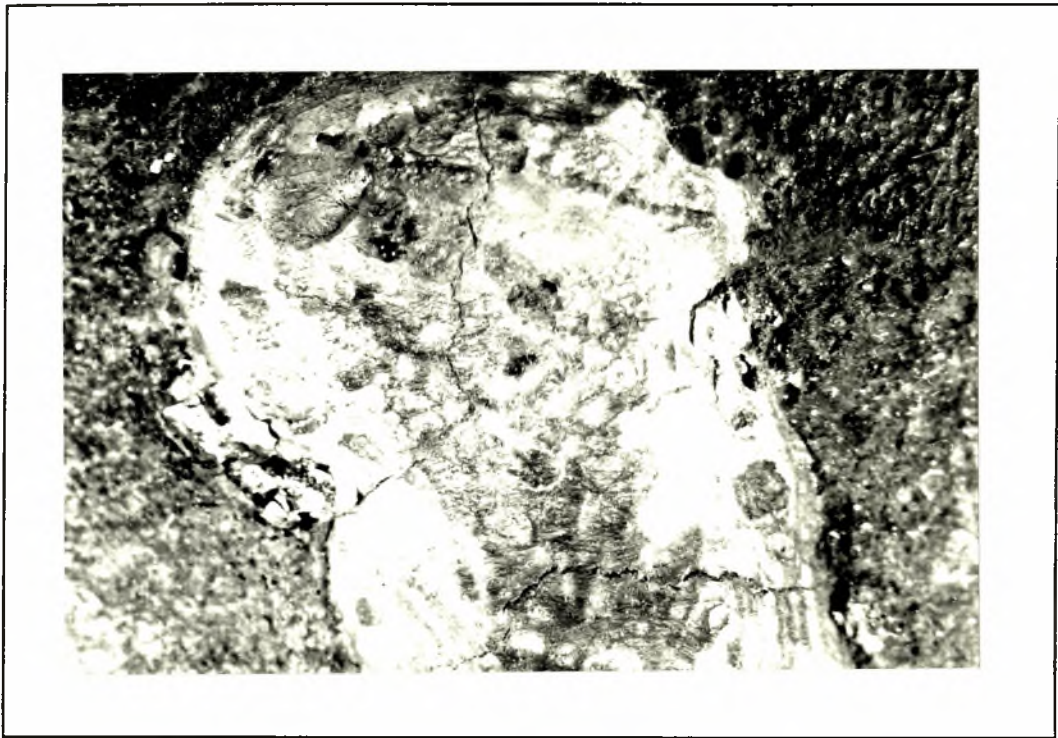
Φώτο. 55: (X500). Αναδόμωση με Soudonickel (4). Ανάπτυξη πόρων στη διεπιφάνεια.



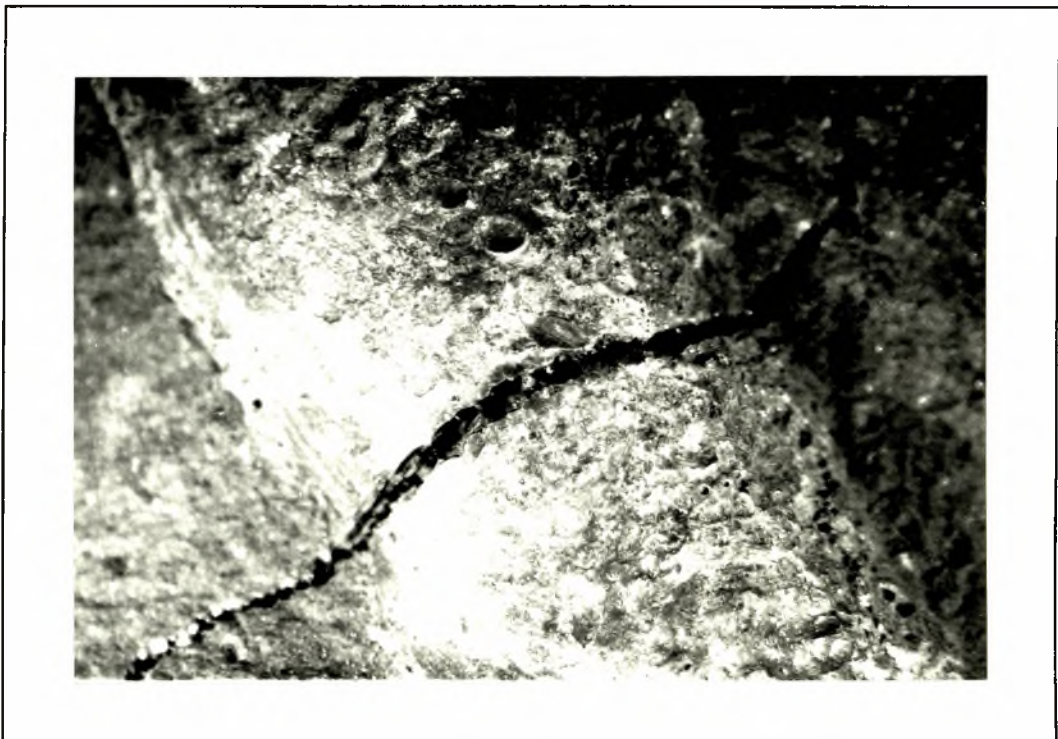
Φώτο. 56: (X100). Αναγόμωση με Soudonickel (4). Μεταβολή της δομής του χάλυβα Fonte ά Cr σε σχέση με την απόσταση από τη διεπιφάνεια.



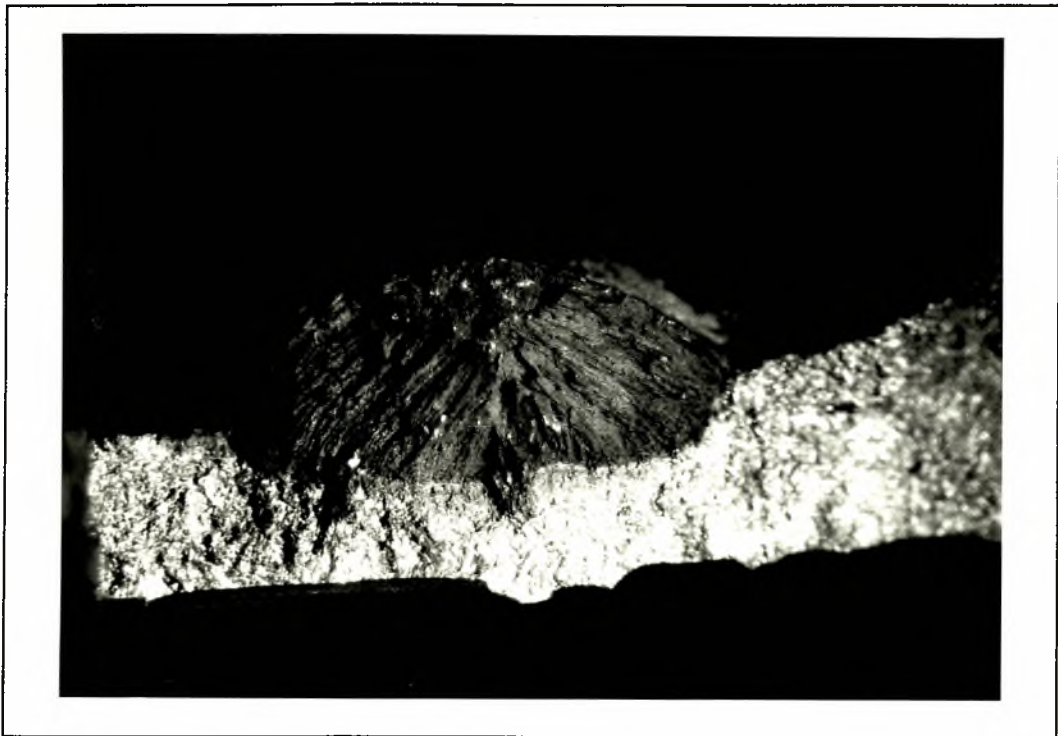
Φώτο. 57: (X100). Αναγόμωση με Soudonickel (4). Συσώρευση καρβιδίων στη διεπιφάνεια και πολύχρωμοι δενδρίτες στο μέταλλο του ηλεκτροδίου.



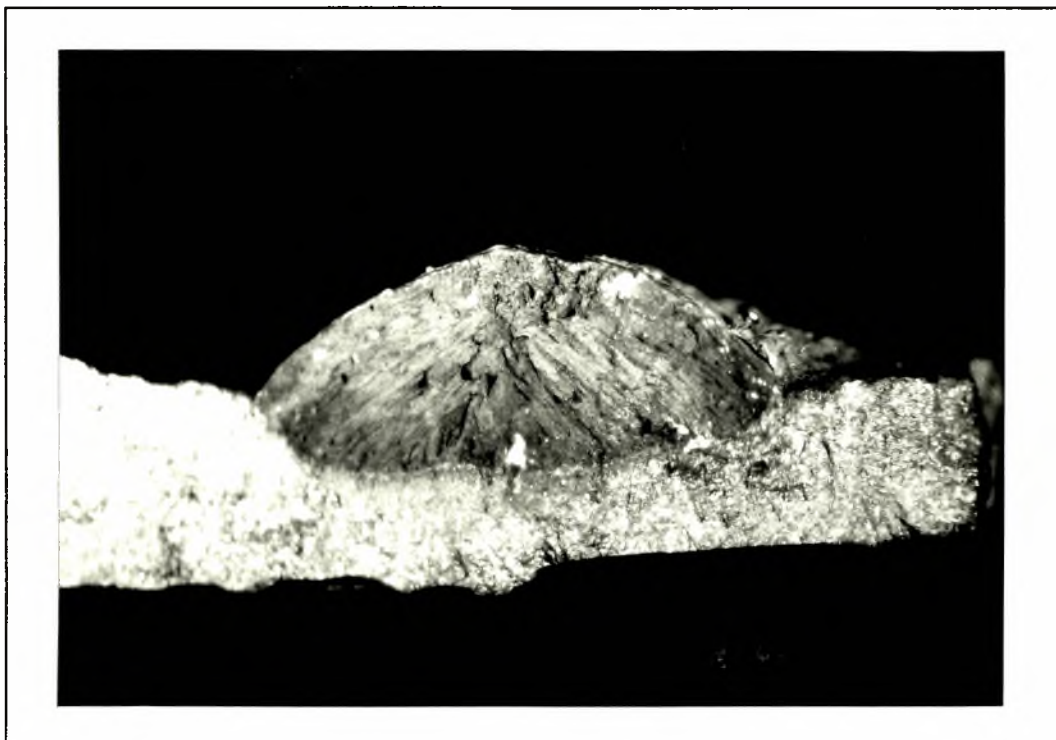
Φώτο. 58: (X6,5). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Πόροι και ρωγμές στη ραφή.



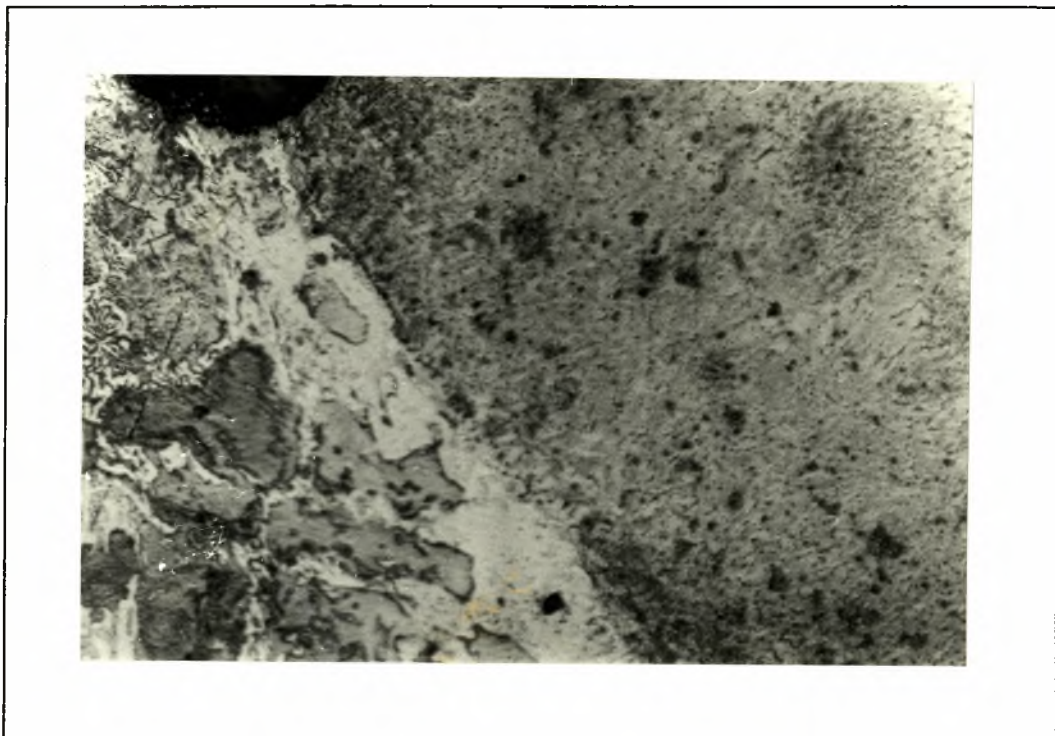
Φώτο. 59: (X25). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Θραύση κάθετα στην αναγόμευση.



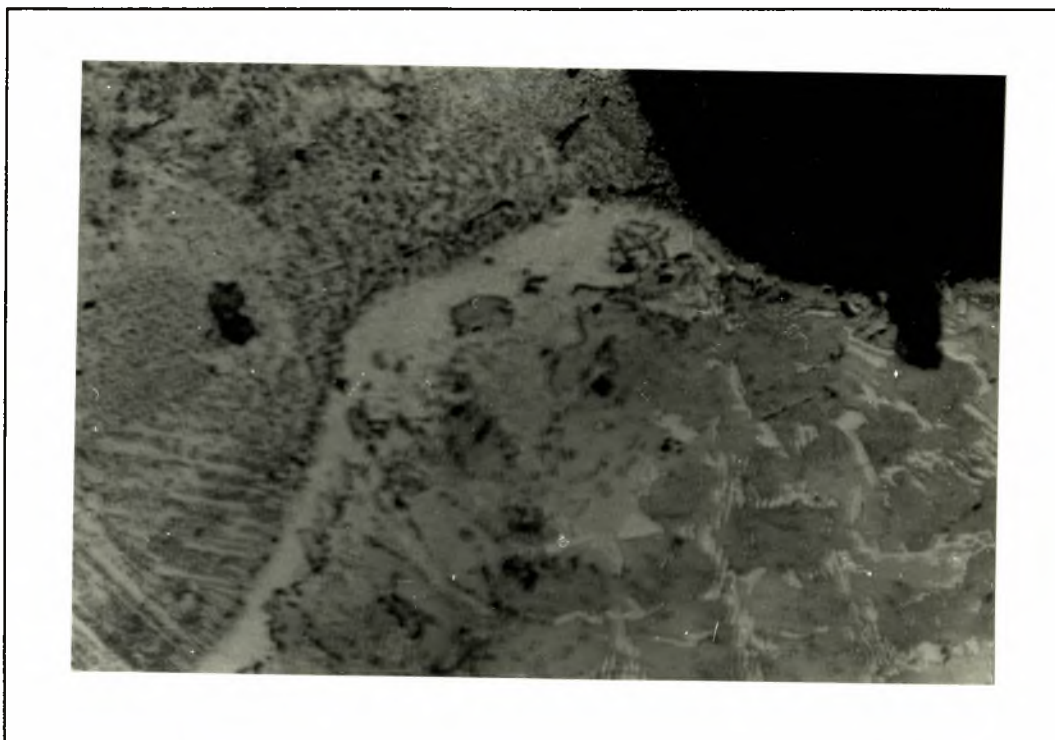
Φώτο. 60: (X6,5). Αναδόμωση με Fox GFW (5). Επιφάνεια θραύσης 1.



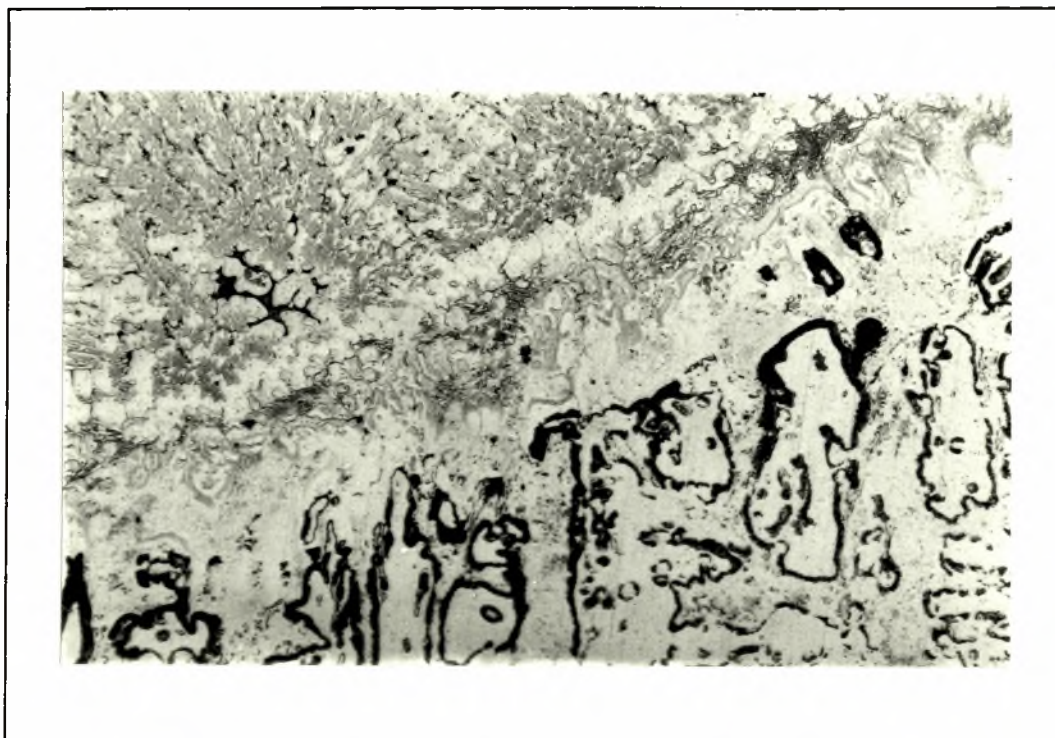
Φώτο. 61: (X6,5). Αναδόμωση με Fox GFW (5). Επιφάνεια θραύσης 2.



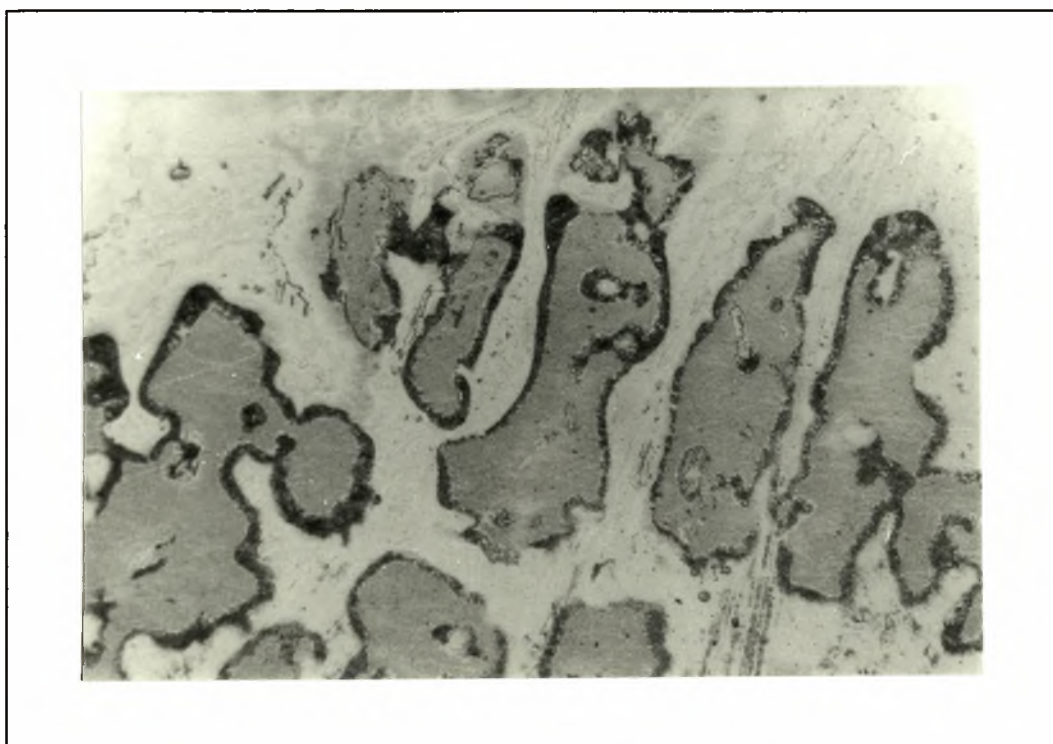
Φώτο. 62: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Δεν υπάρχουν ρήγματα στα όρια της ΘΕΖ.



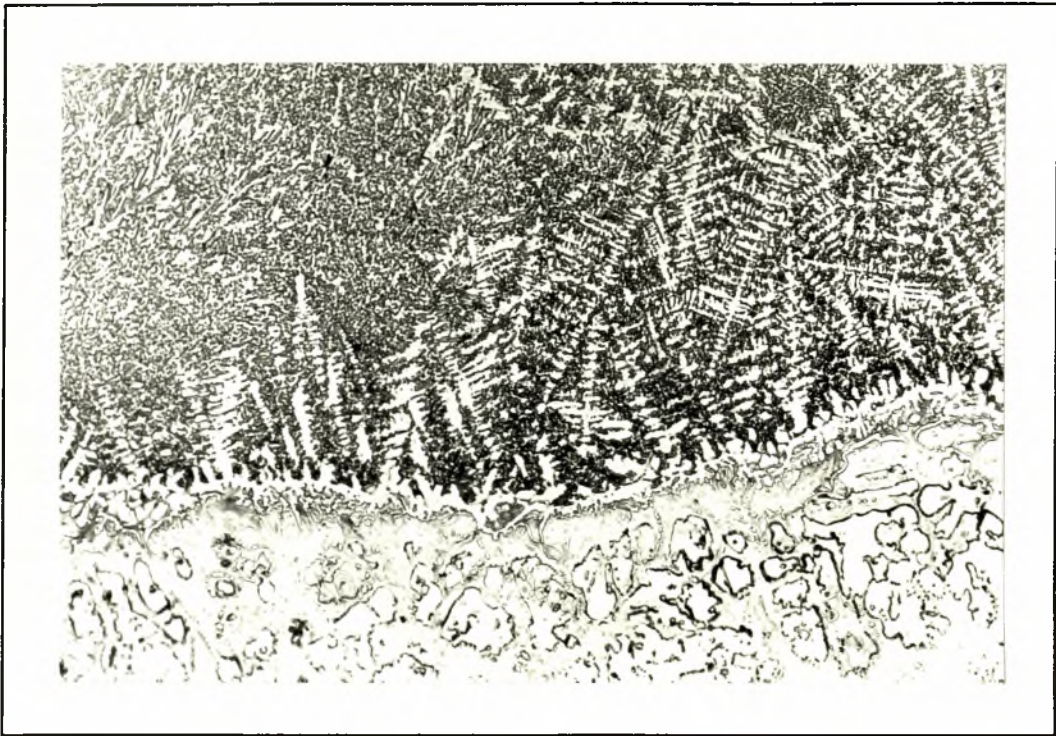
Φώτο. 63: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Δεν υπάρχουν ρήγματα στα όρια της ΘΕΖ.



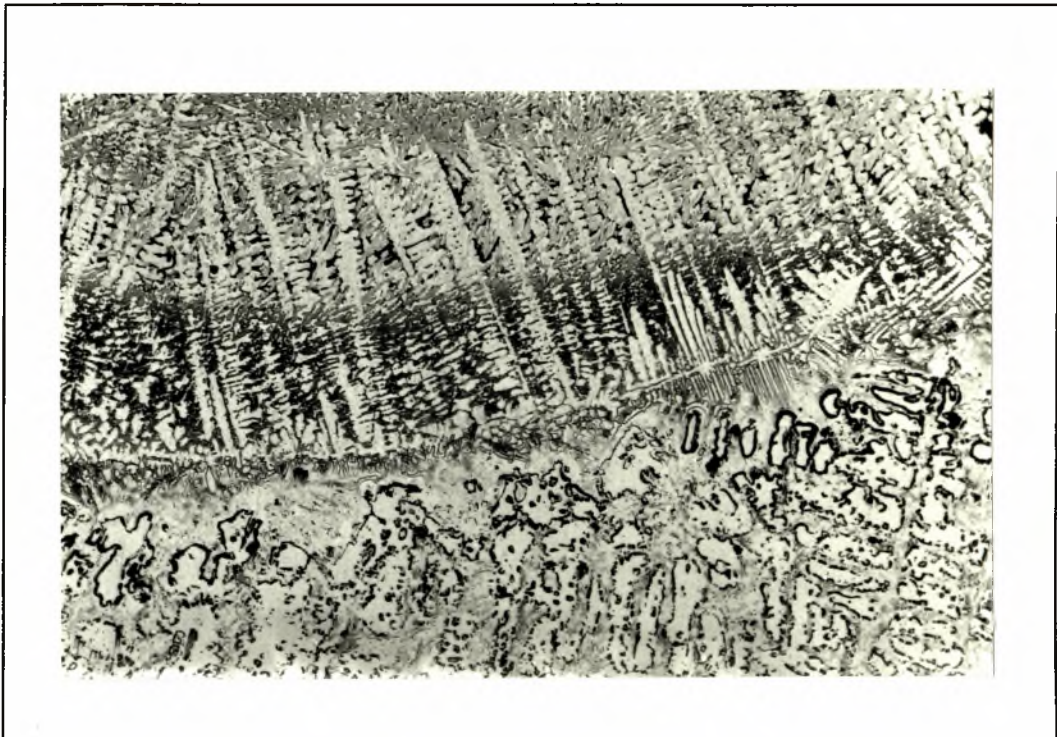
Φώτο. 64: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης στη διεπιφάνεια.



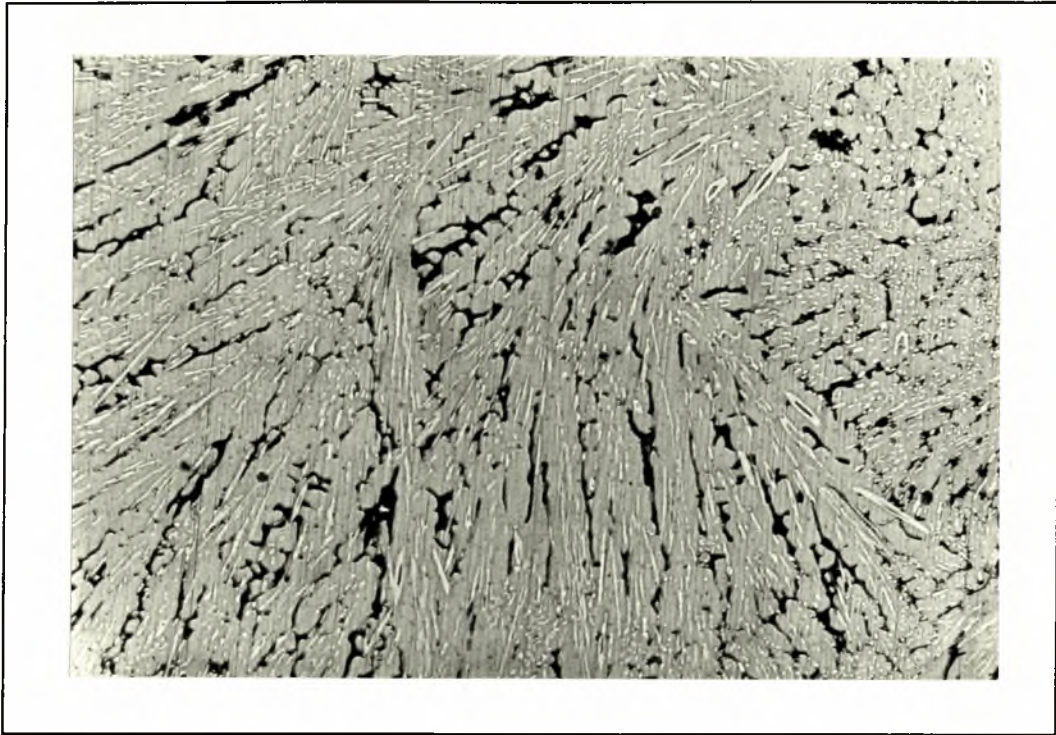
Φώτο. 65: (X500). Αναγόμευση με Fox GFW (5). Συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης στη διεπιφάνεια.



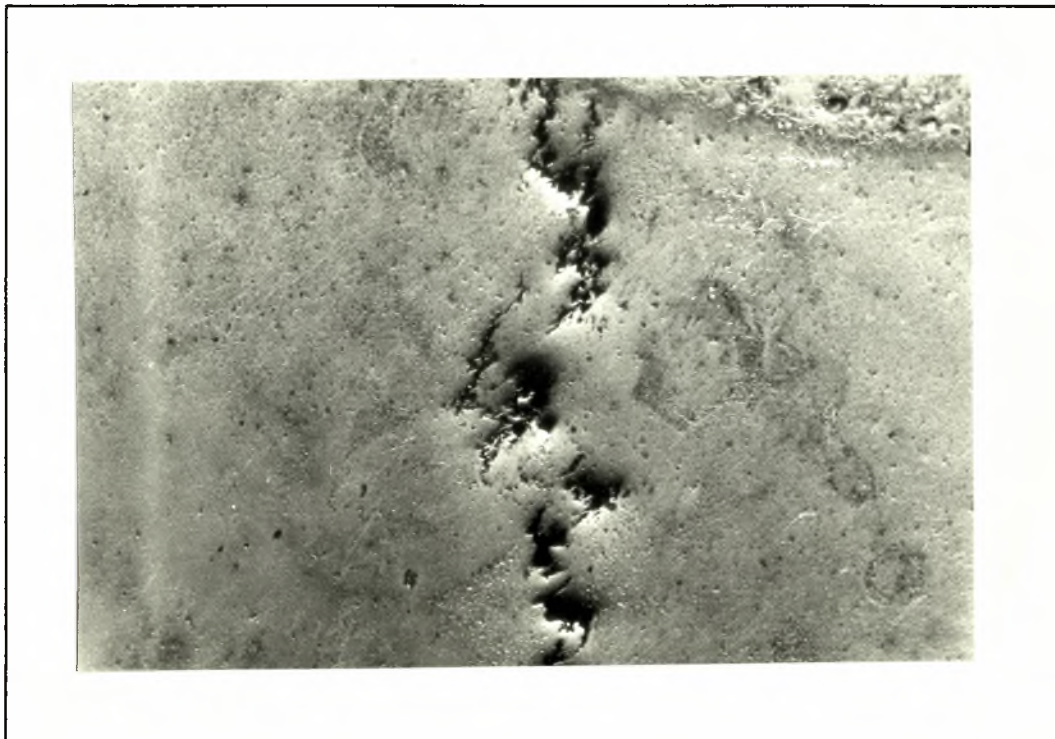
Φώτο. 66: (X100). Αναγόμευση με Fox GFW (φαρδιά διατομή). Δομή διεπιφάνειας.



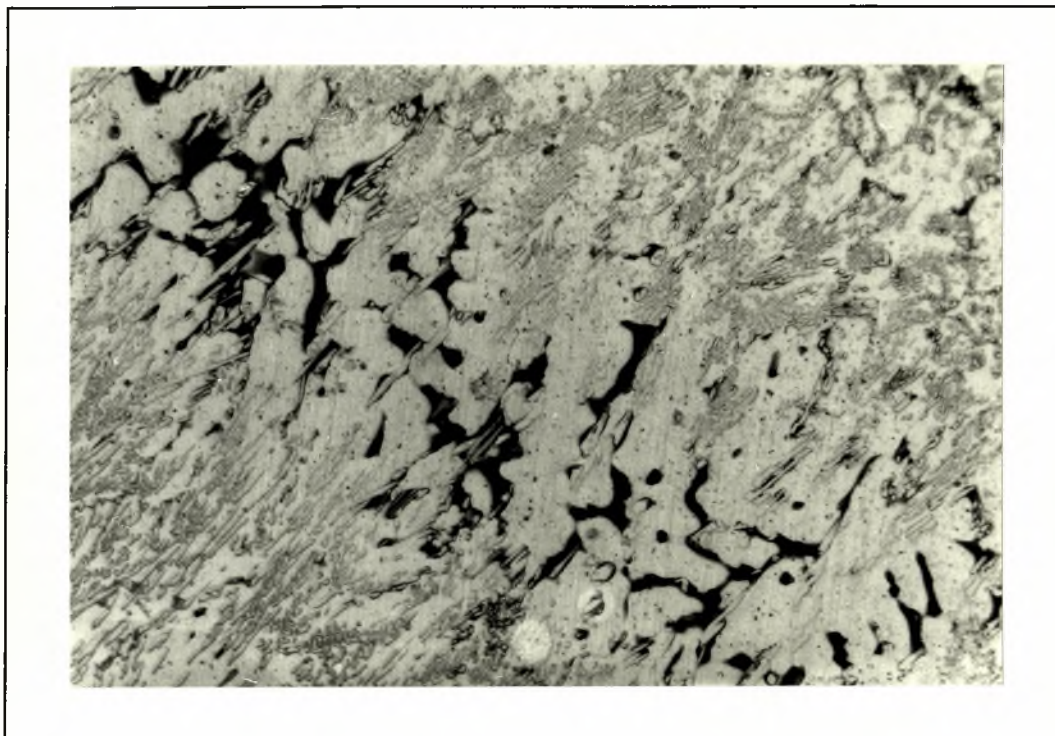
Φώτο. 67: (X100). Αναγόμευση με Fox GFW (λεπτή διατομή). Δομή διεπιφάνειας. Παρατηρείται μεγαλύτερη συσσώρευση καρβιδίων και High Sigma φάσης από τη φαρδιά διατομή καθώς η θερμοκρασία κατά την αναγόμευση αυξάνεται περισσότερο



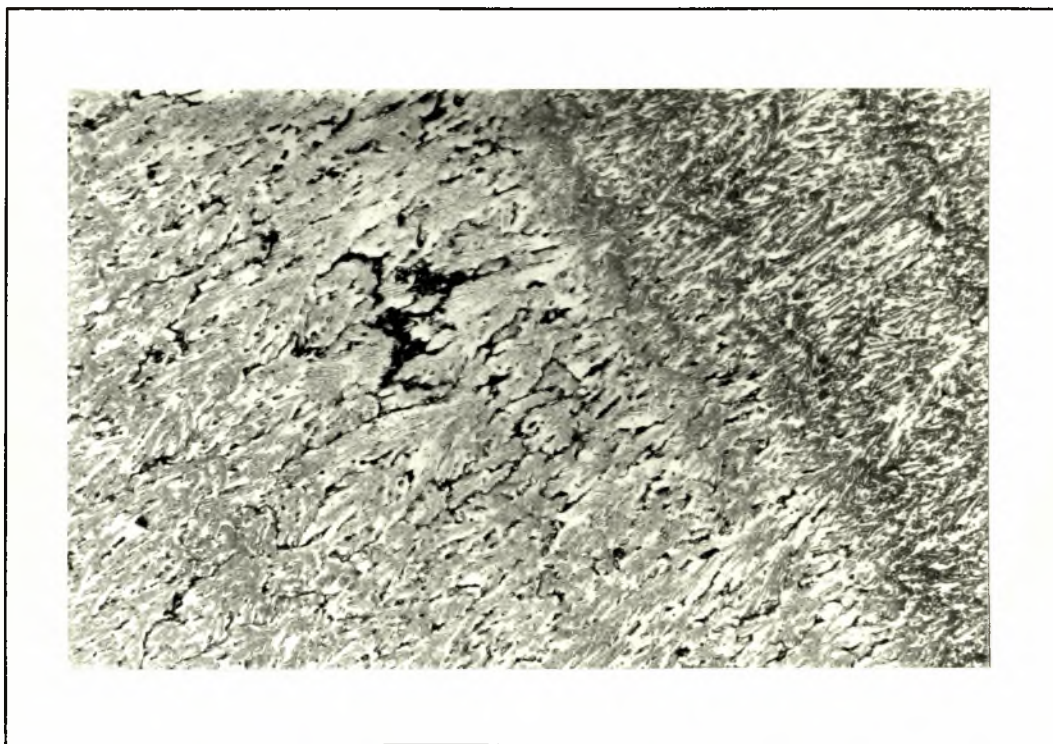
Φώτο. 68: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δενδρίτες.



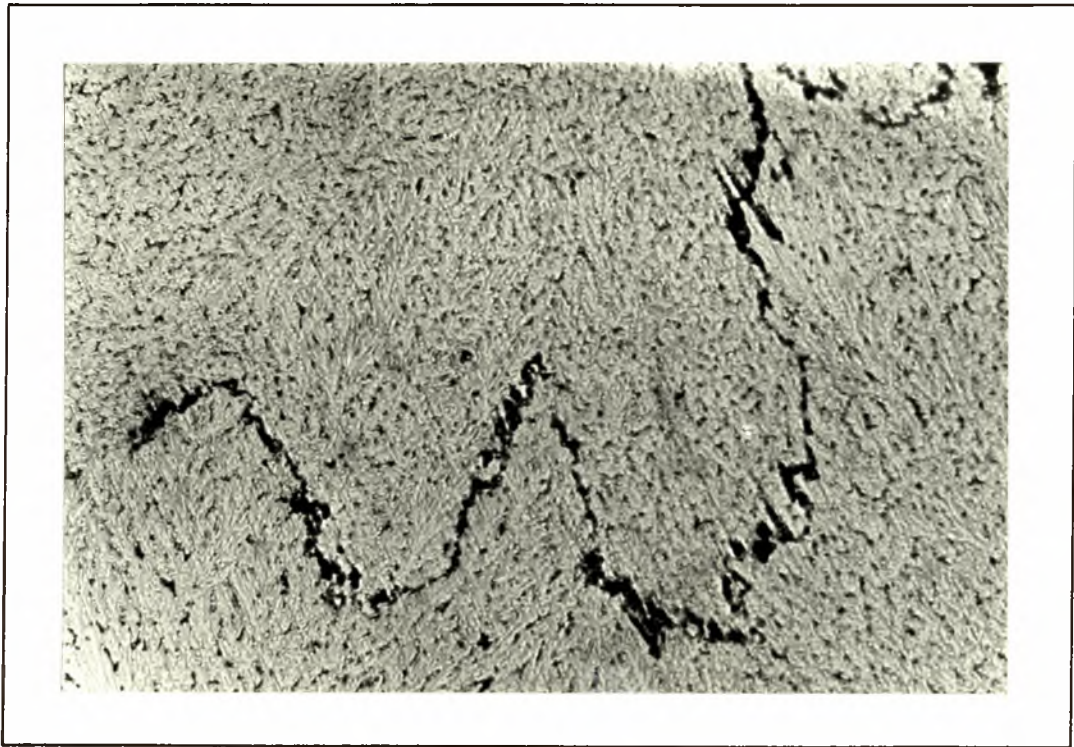
Φώτο. 69: (X50). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού.



Φώτο. 70: (X500). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δενδρίτες



Φώτο. 71: (X200). Αναγόμευση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δενδρίτες.



Φώτο. 72: (X200). Αναγόμωση με Fox GFW. Θραύση του υλικού γύρω από τους δενδρίτες.



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ

Τηλ.: 74.760-61

74233-5



