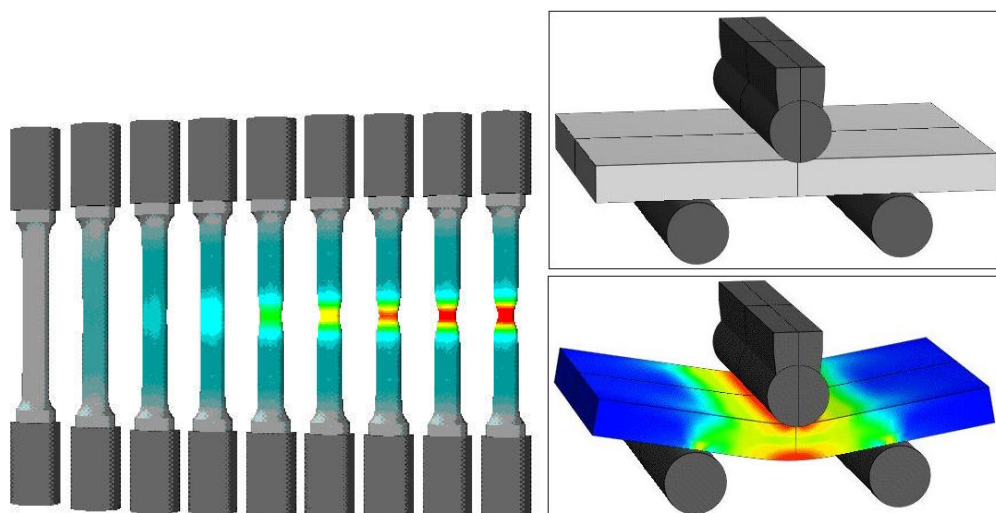




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΝΑΥΠΗΓΩΝ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΛΥΒΑ ΑΗ36 ΠΡΙΝ ΚΑΙ ΜΕΤΑ ΑΠΟ ΕΚΘΕΣΗ ΣΕ ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ



ΜΑΝΤΖΟΥΚΗΣ Χ. ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: ΒΑΣ. Ι. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ

Ζωγράφου

2009

Στους γονείς μου και τον αδελφό μου

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Πρόλογος	
1.1	Χάλυβες κατασκευών	1
1.1.1	Εισαγωγή	1
1.1.2	Κύρια κραματικά στοιχεία χαλύβων	2
1.1.2.1	Τα α-φερρογόνα στοιχεία	2
1.1.2.2	Τα γ-φερρογόνα στοιχεία	4
1.1.2.3	Ακαθαρσίες	6
1.2	Οι ναυπηγικοί χάλυβες	7
1.2.1	Ο ναυπηγικός χάλυβας AH36	11
Κεφ.2	Μηχανικές δοκιμές	13
2.1	Εισαγωγή	13
2.2	Δοκιμή Εφελκυσμού	13
2.3	Δοκιμή Κάμψης	14
2.4	Δοκιμή Κόπωσης	16
2.5	Δοκιμή Κρούσης	18
Κεφ.3	Υλικά και προετοιμασία δοκιμών	21
3.1	Εισαγωγή	21
3.2	Προετοιμασία δοκιμών	21
3.3	Μηχανική κατεργασία	22
3.3.1	Κοπές	22
3.3.2	Παρασκευή δοκιμών μηχανικών δοκιμών	24
Κεφ.4	Δάβρωση	29
4.1	Δοκιμές επιταχυνόμενης διάβρωσης σε θάλαμο αλατονέφωσης	29
4.1.1	Δοκιμές σε «στατικές» συνθήκες	30
4.1.2	Δοκιμές σε «κυκλικές» συνθήκες	31
4.2	Πειραματική διαδικασία	32
4.3	Αποτελέσματα	35
4.3.1	Ασυγκόλλητα δοκίμια εφελκυσμού	35
4.3.2	Συγκολλημένα δοκίμια εφελκυσμού	37
4.3.3	Συγκολλημένα δοκίμια κάμψης	39
Κεφ.5	Δοκιμές εφελκυσμού	42
5.1	Εισαγωγή	42
5.2	Μη διαβρωμένα δοκίμια	42
5.2.1	Μη συγκολλημένα –μη διαβρωμένα δοκίμια	42
5.2.2	Συγκολλημένα – μη διαβρωμένα δοκίμια	50
5.3	Διαβρωμένα δοκίμια	55
5.3.1	Μη συγκολλημένα – διαβρωμένα δοκίμια	55
5.3.2	Συγκολλημένα – διαβρωμένα δοκίμια	84
Κεφ.6	Δοκιμές κάμψης	100
6.1	Εισαγωγή	100

6.2	Μη διαβρωμένα δοκίμια	101
6.2.1	Συγκολλημένα – μη διαβρωμένα δοκίμια	101
6.3	Διαβρωμένα δοκίμια	109
6.3.1	Συγκολλημένα δοκίμια	109
Κεφ.7	Συμπεράσματα	135
	Βιβλιογραφία	

Πρόλογος

Η διπλωματική αυτή εργασία αποτελεί μέρος Ερευνητικού Προγράμματος που έχει ως στόχο τον έλεγχο των μηχανικών ιδιοτήτων συγκολλημένων και μη συγκολλημένων ελασμάτων ναυπηγικού χάλυβα AH36 πάχους 6 mm, πριν και μετά τη διάβρωση. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει δοκιμές εφελκυσμού και κάμψης σε κατάλληλα διαμορφωμένα, συγκολλημένα και μη συγκολλημένα δοκίμια.

Στο θεωρητικό κομμάτι περιγράφονται οι κυριότεροι ναυπηγικοί χάλυβες, η χημική τους σύσταση και οι μηχανικές τους ιδιότητες καθώς και οι μηχανικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας. Επίσης αναφέρονται οι διαβρωτικές συνθήκες που εκτέθηκαν τα συγκολλημένα και μη συγκολλημένα δοκίμια.

Στο πειραματικό κομμάτι της εργασίας παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού και κάμψης που πραγματοποιήθηκαν στη μηχανή στατικών φορτίων που υπάρχει στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας.

Η εργασία πραγματοποιήθηκε, υπό την καθοδήγηση, την επίβλεψη και πολύτιμη συμπαράσταση του Καθηγητή Ε.Μ.Π. Δρ Β. Ι. Παπάζογλου Καθηγητή της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών και διευθυντή του εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας. Θα ήθελα σε αυτό το σημείο να τον ευχαριστήσω για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε αναθέτοντάς μου να την εργασία αυτή και ελπίζω το αποτέλεσμα να δικαίωσε τις προσδοκίες του.

Βέβαια καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής δεν ήμουν και δεν αισθάνθηκα ποτέ μόνος, αλλά μέρος μίας δυνατής ερευνητικής ομάδας του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας τα μέλη της οποίας οφείλω επίσης να ευχαριστήσω. Πρόκειται για τον Δρ Χημικό Μηχανικό Μπαδογιάννη Ευστράτιο, καθώς ήταν πολύτιμος αρωγός σε κάθε βήμα αυτής της εργασίας.

Θα ήταν παράλειψη μου να μην ευχαριστήσω τον κύριο Αθανάσιο Μαρκουλή για την βοήθεια του κατά την πραγματοποίηση των δοκιμών εφελκυσμού και κάμψης και τους κυρίους Χαράλαμπο Ξάνθη και Μιχαήλ Νουνό για την βοήθειά τους για την κοπή και διαμόρφωση των δοκιμίων καθώς και όλο το υπόλοιπο προσωπικό και Υ.Δ. του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας.

Στη δύση της φοιτητικής μου ζωής, νιώθω την ανάγκη να αφιερώσω την εργασία αυτή στην οικογένεια μου, για την αμέριστη αγάπη και κατανόηση που έδειξαν όλα τα προηγούμενα χρόνια.

1.1.2 Κύρια κραματικά στοιχεία χαλύβων

Όπως προαναφέρθηκε, τα κραματικά στοιχεία προστίθενται στους χάλυβες με σκοπό να ρυθμιστούν οι ιδιότητες του χάλυβα, αλλά επίσης πολλές φορές βρίσκονται μέσα στους χάλυβες ως ακαθαρσίες. Τα στοιχεία αυτά, ανάλογα με το αν επεκτείνουν και σταθεροποιούν τη φάση του ωστενίτη (γ) ή του φερρίτη (α), χαρακτηρίζονται ως γ -φερρογόνα και α -φερρογόνα. Και στις δύο περιπτώσεις η παρουσία αυτών των στοιχείων μεταθέτει τις θερμοκρασίες και τις περιεκτικότητες των μετασχηματισμών του διαγράμματος ισορροπίας σιδήρου-σεμεντίτη Fe-Fe₃C. Παρακάτω περιγράφεται η επίδραση που έχουν τα διάφορα κραματικά στοιχεία στις ιδιότητες των χαλύβων.

1.1.2.1 Τα α -φερρογόνα στοιχεία

Αργίλιο (Αλουμίνιο) (Al)

Το αργίλιο είναι το ισχυρότερο αποξειδωτικό και απαζωτικό στοιχείο και συντελεί σημαντικά στην αντίσταση του χάλυβα στη γήρανση. Σε μικρή αναλογία ευνοεί την εκλέπτυνση των κόκκων, μέσω της ετερογενούς φύτρωσης. Επειδή σχηματίζει στην επιφάνεια του υλικού ένα λεπτό προστατευτικό στρώμα οξειδίου του αργιλίου, χρησιμοποιείται στους φερριτικούς ανοξειδωτους χάλυβες για την αύξηση της αντοχής τους στην οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες. Για τον ίδιο λόγο, στους κοινούς ανθρακοχάλυβες η ενσωμάτωση αργιλίου στην επιφάνειά τους (επαργιλίωση) αυξάνει την αντοχή τους σε οξείδωση σε υψηλή θερμοκρασία.

Πυρίτιο (Si)

Το πυρίτιο είναι ήπιο αποξειδωτικό στοιχείο, αλλά χρησιμοποιείται πολύ συχνά στην αποξείδωση επειδή είναι φτηνό και έχει καλή συμπεριφορά. Είναι επαμφοτερίζον στοιχείο (μεταλλοειδές), όπως για παράδειγμα το θείο και ο φωσφόρος, με τη διαφορά ότι είναι χρήσιμο και δεν αποτελεί ακαθαρσία. Προκαλεί μικρή αύξηση της εμβαπτότητας και αύξηση της σκληρότητας. Δίνει φερριτικούς χάλυβες, με μεγάλους κόκκους (κατάλληλους για ηλεκτρομαγνητικές εφαρμογές). Χρησιμοποιείται, επίσης, ως βελτιωτικό των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής στη διάβρωση. Μειονέκτημά του είναι ότι προκαλεί μειωμένη σφυρηλασιμότητα των χαλύβων (εν θερμώ) και διαμορφωσιμότητα (εν ψυχρώ).

Χάλυβες με περιεκτικότητα σε Si 12% είναι σκληροί και εύθραυστοι, αλλά τελείως ανθεκτικοί στη διάβρωση σε οξέα και παράγονται μόνο σε χυτή κατάσταση, διότι η διαμόρφωσή τους εν ψυχρώ ή εν θερμώ δεν είναι δυνατή.

Χρώμιο (Cr)

Το χρώμιο είναι παρόμοιο στοιχείο με τον σίδηρο. Έχουν παρόμοιο ατομικό βάρος, παρόμοια ατομική ακτίνα και είναι μεταβατικά στοιχεία. Γι' αυτό εμφανίζουν πλήρη διαλυτότητα στην υγρή και στερεά κατάσταση. Το χρώμιο αυξάνει την εμβαπτότητα (μειώνει την κρίσιμη ταχύτητα βαφής), με συνέπεια ο χάλυβας να μπορεί να υποστεί βαφή στο λάδι και στον αέρα και σε μεγάλο βάθος. Έτσι, περιορίζονται οι εσωτερικές τάσεις και βελτιώνεται η συμπεριφορά κατά την επαναφορά.

Η παρουσία του χρωμίου μειώνει σε μικρό βαθμό τη δυσθραυστότητα και την επιμήκυνση κατά τη θραύση, αλλά αυτή η επίδραση είναι δευτερεύουσα. Αυξάνει, επίσης, την αντοχή στην εκτριβή και αποτελεί βασικό στοιχείο των ταχυχαλύβων (χαλύβων που χρησιμοποιούνται για κοπτικά εργαλεία μεγάλης ταχύτητας, όπως τρυπάνια κ.λπ.).

Λόγω σχηματισμού καρβιδίων, αυξάνει την αντοχή υπό πίεση υδρογόνου. Στους χάλυβες η μοναδική προσθήκη χρωμίου μειώνει τη συγκολλησιμότητά τους, όταν συνδυάζεται με το νικέλιο, ενώ στους ανοξειδωτους οστενιτικούς χάλυβες, η συγκολλησιμότητά τους βελτιώνεται.

Το χρώμιο είναι το βασικό κραματικό στοιχείο των ανοξειδωτων και πυριμάχων χαλύβων. Για τη βελτίωση της αντοχής στη διάβρωση χρειάζεται γενικά μία αναλογία άνω του 12-13%, ενώ η αντοχή στην οξειδωση σε υψηλές θερμοκρασίες αρχίζει να βελτιώνεται από ακόμα χαμηλότερες περιεκτικότητες. Οι πυρίμαχοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και μέχρι 30% χρώμιο, όχι μόνο επειδή το στοιχείο αυτό σχηματίζει προστατευτικό στρώμα οξειδίου, αλλά και επειδή μέσω των σκληρών καρβιδίων αυξάνεται η αντοχή τους σε ερπυσμό.

Το χρώμιο, επίσης, μειώνει τη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα του χάλυβα.

Μολυβδαίνιο (Mo)

Το μολυβδαίνιο χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα σε συνδυασμό με άλλα κραματικά στοιχεία, συνήθως σε χαμηλές αναλογίες. Προκαλεί μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας, αύξηση της σκληρότητας και της δυσθραυστότητας και παρεμποδίζει τη γήρανση. Προστίθεται για αύξηση της αντοχής σε επαναφορά, σε φθορά και διάβρωση και για τη βελτίωση των μηχανικών

ιδιοτήτων. Η προσθήκη Mo αυξάνει το όριο ελαστικότητας και την αντοχή σε εφελκυσμό, αλλά μειώνει τη σφυρηλασιμότητα εν θερμώ όταν βρίσκεται σε σημαντική αναλογία.

Βανάδιο (V)

Το βανάδιο είναι προσθήκη εκλέπτυνσης του κόκκου και χρησιμοποιείται κατά τη χύτευση. Βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα, επειδή δυσχεραίνει τον σχηματισμό του μαρτενσίτη. Είναι ισχυρότατο καρβιδιογόνο, γι' αυτό βελτιώνει την αντοχή στην εκτριβή και την αντοχή στον ερπυσμό. Για τον ίδιο λόγο χρησιμοποιείται στους ταχυχάλυβες. Προκαλεί πολύ μεγάλη αύξηση της εμβαπτότητας.

1.1.2.2 Τα γ-φερρογόνα στοιχεία

Μαγγάνιο (Mn)

Το μαγγάνιο είναι καρβιδιογόνο στοιχείο, λίγο ισχυρότερο από τον ίδιο το σίδηρο, γι' αυτό και συμμετέχει στη σύνθεση του σεμεντίτη, χωρίς να σχηματίζει δικά του καρβίδια μέσα στους χάλυβες. Είναι συνηθισμένο αποξειδωτικό, αλλά με μικρή αποξειδωτική δράση. Έχει, όμως, μεγάλη χημική συγγένεια με το θείο και γι' αυτό χρησιμοποιείται ευρέως ως αποθειωτικό. Σχηματίζει το σουλφίδιο του μαγγανίου (MnS), το οποίο εμφανίζεται υπό μορφήν σφαιροειδών σουλφιδίων, αντί των λεπτών υμενίων FeS που θα περιέβαλαν τους κόκκους του φερρίτη, αν δεν είχε προστεθεί το μαγγάνιο. Το μαγγάνιο, επομένως, είναι αποτρεπτικό της θερμοψαθυρότητας και αποχτά ιδιαίτερη σημασία στους χάλυβες αποκοπής (free cutting steels), που περιέχουν αυξημένη περιεκτικότητα σε θείο και προορίζονται για μηχανουργική κατεργασία της επιφάνειάς τους.

Το Μαγγάνιο αυξάνει πολύ αποτελεσματικά την εμβαπτότητα του χάλυβα, συντελώντας σε μεγαλύτερα βάθη βαφής. Αυξάνει, επίσης, σημαντικά το όριο ελαστικότητας και την αντοχή σε θραύση των χαλύβων. Έχει ευνοϊκή επίδραση στη σφυρηλασιμότητα (κατεργασία διαμόρφωσης εν θερμώ) και τη συγκολλησιμότητα.

Για περιεκτικότητα άνω του 4% σε μαγγάνιο οι χάλυβες αποχτούν υψηλή εμβαπτότητα και βάφονται ακόμα και με αργή απόψυξη, δίνοντας μεγάλη συγκέντρωση μαρτενσίτη, αυξάνοντας την ευθραυστότητά του.

Όταν, όμως, η περιεκτικότητα ξεπεράσει το 12% μαγγάνιο και παράλληλα ο άνθρακας βρίσκεται σε υψηλή συγκέντρωση (π.χ. 1%), τότε σχηματίζεται ωστενίτης σε μετασταθή κατάσταση. Πρόκειται για τον χάλυβα Hadfield, που χρησιμοποιείται σε θραυστήρες σφυριών

και σιαγόνων, σε πλάκες θωράκισης των τάνκς και άλλες εφαρμογές, όπου χρειάζεται αντοχή στην κρούση και στη φθορά εκτριβής από κρούση. Ο λόγος είναι ότι η ωστενιτική δομή αυτού του χάλυβα ενδοτραχύνεται έντονα και μετασχηματίζεται σε μαρτενσίτη υπό την επίδραση των κρούσεων (μηχανικός μαρτενσίτης), με αποτέλεσμα να εμφανίζει αυξημένη σκληρότητα μόνο στην επιφάνεια. Το μαγγάνιο αυξάνει, επίσης, τον συντελεστή θερμικής διαστολής του σιδήρου και μειώνει τη θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα.

Νικέλιο (Ni)

Το νικέλιο είναι ισχυρό γ-φερρογόνο στοιχείο και δεν σχηματίζει δικά του καρβίδια, ούτε μετέχει στη σύνθεση άλλων καρβιδίων μέσα στον χάλυβα. Προκαλεί σημαντική αύξηση της εμβαπτότητας, αύξηση της αντοχής σε επαναφορά και παρεμποδίζει την ανακρυστάλλωση. Προστίθεται, επίσης, για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της αντοχής στη διάβρωση. Η σπουδαιότερη ιδιότητά του είναι ότι αυξάνει τη δυσθραυστότητα, η οποία διατηρείται υψηλή σε χαμηλές θερμοκρασίες. Η θερμική και η ηλεκτρική αγωγιμότητα των χαλύβων μειώνονται παρουσία νικελίου.

Χαλκός (Cu)

Ο χαλκός σε ελάχιστες περιπτώσεις χρησιμοποιείται ως κραματική πρόσμιξη των χαλύβων. Μία περίπτωση είναι στους ωστενοφερριτικούς ανοξείδωτους χάλυβες (duplex). Μία δεύτερη περίπτωση είναι σε οικοδομικά διακοσμητικά πανό, δηλ. ελάσματα, που χρησιμοποιούνται στους εξωτερικούς τοίχους μοντέρνων οικοδομών. Τα ελάσματα αυτά, με την ατμοσφαιρική επίδραση, παθητικοποιούνται αποκτώντας μάλιστα με το χρόνο μία συμπαθητική ερυθρωπή χροιά με διακοσμητικό χαρακτήρα και αντιστέκονται στην περαιτέρω διάβρωση (weather resistance). Σε περιεκτικότητες άνω του 1% ο χαλκός αυξάνει την αντοχή στη διάβρωση σε υδροχλωρικό και θεικό οξύ.

Ο χαλκός αυξάνει το όριο ελαστικότητας. Αυξάνει την εμβαπτότητα. Η επίδρασή του στη συγκολλησιμότητα είναι αμφιλεγόμενη. Περιεκτικότητες άνω του 0.3% μπορούν να δημιουργήσουν κατακρήμνιση και ευθραυστοποίηση.

1.1.2.3 Ακαθαρσίες

Φωσφόρος (P)

Ο φωσφόρος είναι από τις πιο ανεπιθύμητες ακαθαρσίες του χάλυβα. Κατ' αρχήν εισάγει έντονο χημικό μακροδιαφορισμό στη διάρκεια της στερεοποίησης, ο οποίος είναι πολύ δύσκολο να αναιρεθεί, λόγω της μικρής διαχυσιμότητας του στοιχείου. Για το λόγο αυτό ο φωσφόρος δεν πρέπει σε καμία περίπτωση να υπερβαίνει το 0.03-0.05% κατά μέσον όρο.

Ο φωσφόρος αυξάνει την ευθραυστότητα του χάλυβα κατά την επαναφορά. Το φαινόμενο είναι εντονότερο, όσο υψηλότερη είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα, όσο αυξάνει η θερμοκρασία βαφής και όσο αυξάνει το μέγεθος του κόκκου. Εκδηλώνεται ως ευθραυστότητα εν ψυχρώ και ευαισθησία στις κρούσεις.

Θείο (S)

Το θείο δημιουργεί τον εντονότερο χημικό μακροδιαφορισμό από όλες τις άλλες ακαθαρσίες. Ο θειούχος σίδηρος (FeS), που καλύπτει τα όρια των κόκκων ως λεπτός υμένας, μαλακώνει σε θερμοκρασίες ακόμη και κάτω των 1000° C και δημιουργεί θερμοψαθυρότητα, με συνέπεια την ψαθυρή περικρυσταλλική θραύση σε σχετικώς υψηλές θερμοκρασίες. Το φαινόμενο εντείνεται από την παρουσία οξυγόνου. Για τον περιορισμό του φαινομένου χρησιμοποιείται προσθήκη μαγγανίου, που δεσμεύει εκλεκτικά το θείο σχηματίζοντας σφαιροειδή εγκλείσματα θειούχου μαγγανίου. Τα εγκλείσματα αυτά είναι τα λιγότερο επικίνδυνα από όλα τα άλλα συνήθη. Το θείο είναι επίσης αιτία θερμής ρωγμάτωσης στις συγκολλήσεις.

Το θείο προστίθεται ως κραμάτωση στους χάλυβες ελεύθερης αποκοπής μέχρι ποσοστού 0.4%, σε συνδυασμό με το αντίστοιχο μαγγάνιο. Η λιπαντική του δράση στην κόψη του κοπτικού εργαλείου περιορίζει την τριβή και αυξάνει τη μακροζωία του εργαλείου, ενώ το απόκομμα (γρέζι) θρυμματίζεται και διευκολύνει την κατεργασία.

1.2 Οι ναυπηγικοί χάλυβες

Οι χάλυβες για την κατασκευή πλοίων παράγονται κυρίως με μία από τις τρεις μεθόδους: ανοιχτής φλογοκαμίνου, ηλεκτρικής καμίνου, και βασικής οξυγόνου. Σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM οι χάλυβες για την κατασκευή πλοίων χωρίζονται σε δύο κατηγορίες:

Κοινούς χάλυβες – Με τις κωδικές ονομασίες A, B, D, DS, και E και ελάχιστο όριο διαρροής 235 MPa.

Ενισχυμένους χάλυβες ή χάλυβες υψηλής αντοχής – Με τις κωδικές ονομασίες AH, DH, και EH και ελάχιστο όριο διαρροής 315 ή 350 MPa.

Στον Πίνακα 1.1 δίδεται η χημική σύσταση των κοινών ναυπηγικών χάλυβων σύμφωνα με το ίδιο πρότυπο.

Πίνακας 1.1: Χημική σύσταση κοινών ναυπηγικών χάλυβων

ΚΟΙΝΟΙ ΝΑΥΠΗΓΙΚΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ ΚΑΤΑ ASTM A131							
Χάλυβας	C _{max}	Mn	P _{max}	S _{max}	Si	Al ¹	Nb
A	0,21	²	0,035	0,035	0,50 max	-	-
B	0,21	0,80 min	0,035	0,035	0,35 max	-	-
D	0,21	0,60 min	0,035	0,035	0,10-0,35	0,020 min ⁴	-
E	0,18	0,70 min	0,035	0,035	0,10-0,35	0,020 min	-

Υποσημειώσεις:

1. Συνολικό αλουμίνιο
2. Μαγγάνιο όχι λιγότερο από 2,5 φορές την % κ.β περιεκτικότητα σε C
3. Το άθροισμα των περιεκτικότητων C + 1/6 Mn δεν θα πρέπει να υπερβαίνει σε καμία περίπτωση την τιμή 0,40%.
4. Το Al είναι απαραίτητο σε περιπτώσεις που το πάχος των ελασμάτων θα είναι μεγαλύτερο των 25 mm.

Η χημική σύσταση των χαλύβων υψηλής αντοχής δίδεται στον Πίνακα 1.2:

Πίνακας 1.2: Χημική σύσταση χαλύβων υψηλής αντοχής

ΧΑΛΥΒΑΣ	AH32, DH32, EH32 AH36, DH36, EH36 AH40, DH40, EH40
Χημική Σύσταση % κ.β	
C_{max}	0,18
Mn	0,90 – 1,60 ⁽¹⁾
Si_{max}	0,50
P_{max}	0,035
S_{max}	0,035
Al ₍₂₎	0,015
Nb ₍₂₎	0,02 – 0,05
V ₍₂₎	0,05 – 0,10
Ti _{max} ⁽²⁾	0,02
Cu_{max}	0,35
Cr_{max}	0,20
Ni_{max}	0,40
Mo_{max}	0,08
<p>(1) Για πάχη μέχρι 12,5 mm το min Mn μπορεί να φτάσει το 0,70.</p> <p>(2) Οι χάλυβες περιέχουν ως συστατικά που εκλεπτύνουν τον κόκκο Al, Nb, V, Ti είτε αυτόνομα, είτε σε συνδυασμό. Αν χρησιμοποιούνται αυτούσια, δεν θα πρέπει να υπερβαίνει η περιεκτικότητά τους την αναγραφόμενη χημική σύσταση, ενώ, αν χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό, το άθροισμα Nb+V+Ti δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 0,12%.</p>	

Για μικρά πάχη έως 12 mm οι χάλυβες είναι συνήθως μερικώς αποξειδωμένοι (semi killed), ενώ για μεγαλύτερα πάχη είναι πλήρως αποξειδωμένοι (killed). Όλες οι κατηγορίες ναυπηγικών χαλύβων που αναφέρθησαν παραπάνω διατίθενται στο εμπόριο σε ελάσματα πάχους μέχρι και 30 mm, σε φύλλα, ή ρολά, αλλά και σε δοκούς μορφής Γ ή Η (διπλό Ταυ).

Η συγκολλησιμότητα των ναυπηγικών χάλυβων είναι πολύ καλή για όλες τις διαθέσιμες τεχνικές συγκόλλησης, πρέπει όμως σε κάθε περίπτωση το άθροισμα των % περιεκτικότητας κ.β. σε C και Mn διαιρεμένο με το 6 να μην υπερβαίνει την τιμή 0,40%:

$$\frac{\%C+\%Mn}{6} \leq 0,4$$

Μηχανικές ιδιότητες των ναυπηγικών χάλυβων

Τα τελευταία χρόνια παρατηρείται μία τάση προτίμησης των χάλυβων υψηλής αντοχής έναντι των κοινών, στη ναυπηγική, λόγω των πολύ καλών μηχανικών ιδιοτήτων που έχουν οι πρώτοι, με αποτέλεσμα να χρειάζονται μικρότερες διατομές στα δομικά στοιχεία του πλοίου. Έτσι μειώνεται το βάρος της κατασκευής, οπότε μπορεί να είναι πιο γρήγορο και ευέλικτο ένα πλοίο.

Οι μηχανικές ιδιότητες των ναυπηγικών χάλυβων (σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM) φαίνονται στον Πίνακα 1.3.

Πίνακας 1.3: Μηχανικές ιδιότητες ναυπηγικών χάλυβων

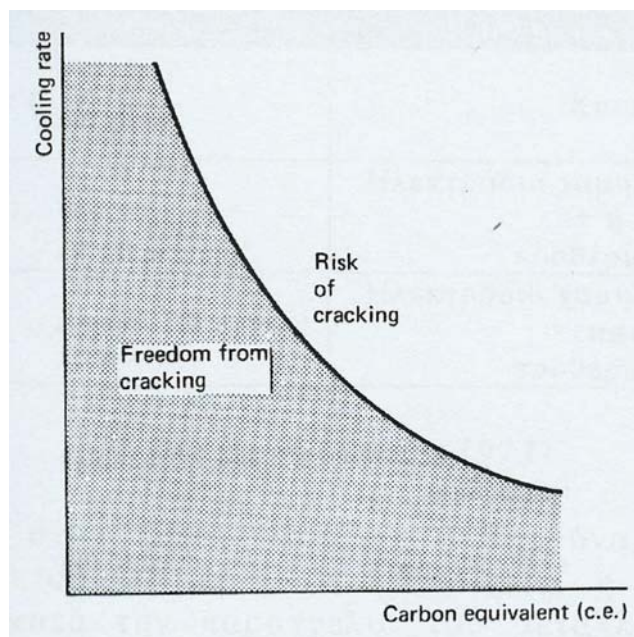
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΝΑΥΠΗΓΙΚΩΝ ΧΑΛΥΒΩΝ						
Χάλυβας	Όριο διαρροής σε MPa	Όριο Θραύσης σε MPa	% Επιμήκυνση	Δυσθραυστότητα (J) για t ≤ 50 mm		
				θ °C	διαμήκης	εγκάρσια
A- B- D- E	>235	400-520	22%	+20		
				0	27	20
				-20	27	20
				-40	27	20
AH32- DH32 EH32	315-350	440-590	22%	0	31	22
				-20	31	22
				-40	31	22
AH36 DH36 EH36	>350	490-620	21%	0	34	24
				-20	34	24
				-40	34	24
AH40 DH40 EH40	>390	510-660	20%	0	41	27
				-20	41	27
				-40	41	27

Από τον παραπάνω πίνακα γίνεται εύκολα αντιληπτό, ότι οι επί μέρους χάλυβες στις 4 ομάδες χάλυβων που περιγράφονται, διαφέρουν στις μηχανικές ιδιότητες τους μονάχα στη θερμοκρασία μέτρησης της δυσθραυστότητας. Αυτό γιατί αλλάζει η θερμοκρασία μετάβασης από την όλκιμη στη ψαθυρή θραύση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα.

1.2.1 Ο ναυπηγικός χάλυβας AH36

Η ονομασία και κατάταξη του ως ναυπηγικός χάλυβας τύπου AH36 είναι σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM και προέρχεται από τη Διεθνή Ομοσπονδία Νηογνομόνων (International Association of Classification Societies, IACS). Με αυτή την ονομασία είναι παγκόσμια γνωστός, όμως μπορεί να τον συναντήσει κανείς και με άλλη ονομασία, σύμφωνα με την κωδικοποίηση κάποιων χωρών (π.χ. K11852 στις Η.Π.Α, A36 στη Ρωσία, 1.0565 στη Γερμανία κ.λπ.).

Η χημική σύσταση και οι μηχανικές του ιδιότητες περιγράφηκαν προηγουμένως στους Πίνακες 1.2 και 1.3 αντίστοιχα. Η σκληρότητα του AH36 είναι της τάξης των 180 Vickers. Η τιμή του ισοδύναμου άνθρακα C_{eq} για τον AH36 ποικίλει από 0,38 – 0,57, αφού υπάρχει πολύ μεγάλη διακύμανση στην περιεκτικότητα του Mn. Συνήθως η τιμή του C_{eq} για τον AH36 του εμπορίου δεν ξεπερνάει το 0,40. Για τιμή του C_{eq} ίση με 0,38 υπάρχει εξαιρετικά χαμηλή πιθανότητα ρωγμάτωσης στη Θ.Ε.Ζ., ακόμα και με σχετικά υψηλούς ρυθμούς απόψυξης. Αντίθετα, τιμές του C_{eq} άνω του 0,48 δείχνουν υψηλές πιθανότητες ρωγμάτωσης, ακόμα και με χαμηλούς ρυθμούς απόψυξης (Σχήμα 1.2).



Σχήμα 1.2: Σχέση μεταξύ C_{eq} και ρυθμού απόψυξης

Ο χάλυβας AH36 που μελετάται στην εργασία αυτή παρασκευάστηκε από την εταιρεία AZOVSTAL IRON AND STEEL WORKS το 2001 και φέρει πιστοποιητικό του

Germanischer Lloyd (15/10/2003) για τη σύσταση και τις μηχανικές του ιδιότητες που πληρούν όσα γράφτηκαν παραπάνω για τον χάλυβα AH36.

Κεφάλαιο 2 Μηχανικές δοκιμές

2.1 Εισαγωγή

Ο μηχανικός δεν μπορεί να υπολογίσει τη συμπεριφορά ενός μεταλλικού υλικού ούτε να προσδιορίσει τις αποδεκτές καταπονήσεις χωρίς να γνωρίζει τα μηχανικά χαρακτηριστικά του υλικού που πρόκειται να χρησιμοποιήσει. Πρέπει, δηλαδή, να γνωρίζει από ποιο φορτίο και πέρα το υλικό θα παραμορφωθεί κατά αναντίστροφο τρόπο, προκαλώντας αλλαγές στη γεωμετρία του και ποιο είναι το οριακό φορτίο που είναι δυνατόν να αντέξει πριν την οριστική του θραύση.

Προκειμένου να χαρακτηριστεί η μηχανική συμπεριφορά ενός υλικού, πραγματοποιούνται μηχανικές δοκιμές. Οι μηχανικές δοκιμές πρέπει να είναι απλές, αναπαραγωγίσιμες και τα αποτελέσματα ερμηνεύσιμα και αξιοποιήσιμα, κατά τον ίδιο τρόπο από όλους. Για το λόγο αυτό, εθνικοί οργανισμοί όπως η ASTM (American Society for Testing and Materials), η ANCOR (Association Canadienne de Normalisation), το BNQ (Bureau de Normalisation du Quebec), η AFNOR (Association Francaise de Normalisation) και ο ISO (International Standardization Organisation) προτυποποιούν τις δοκιμές τους. Η προτυποποίηση αυτή των δοκιμών αφορά στη γεωμετρία των δοκιμών και των ενδείξεων, στις συσκευές των δοκιμών και τη βαθμονόμησή τους, στις πειραματικές τεχνικές και στην αξιοποίηση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων.

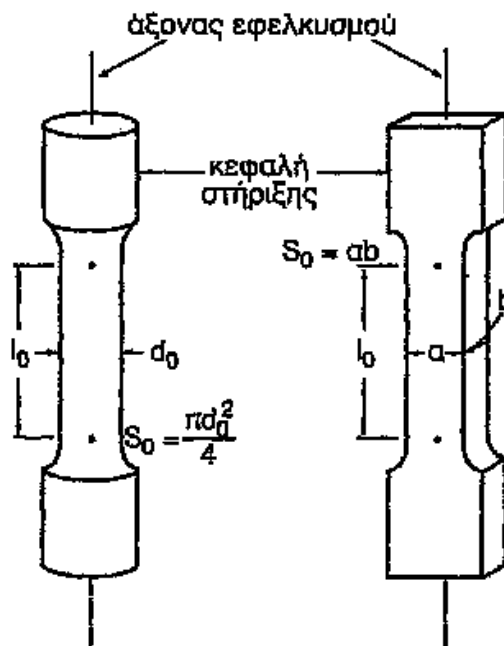
Στη συνέχεια περιγράφονται οι μηχανικές δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας.

2.2 Δοκιμή Εφελκυσμού

Η δοκιμή του εφελκυσμού είναι η συνηθέστερη μηχανική δοκιμή. Συνίσταται στην υποβολή σε εφελκυστική καταπόνηση δοκιμίου, του προς χαρακτηρισμό υλικού, κατά τη διάρκεια της οποίας καταγράφεται η προκαλούμενη επιμήκυνση Δl .

Σκοπός της εργαστηριακής δοκιμής του εφελκυσμού είναι ο καθορισμός της συμπεριφοράς των υλικών όταν καταπονούνται σε εφελκυστικά φορτία και ο προσδιορισμός διαφόρων μηχανικών τους ιδιοτήτων, όπως είναι η τάση αναλογίας, η τάση διαρροής, η τάση θραύσης, το μέτρο ελαστικότητας του Young, κ.α.

Τα δοκίμια του εφελκυσμού είναι, συνήθως, ράβδοι κυκλικής διατομής ή ελάσματα τυποποιημένων διαστάσεων (Σχήμα 2.1) . Η επιμήκυνση μετράται στο κεντρικό τμήμα του δοκιμίου που έχει σταθερή διατομή, ανάμεσα σε δύο χαραγές αναφοράς, που καθορίζουν το οφέλιμο μήκος του δοκιμίου (l_0). Τα άκρα του δοκιμίου, με τα οποία θα συγκρατηθεί από τις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού, έχουν ισχυρότερη διατομή.



Σχήμα 2.1. Τυπικά δοκίμια εφελκυσμού

Τα συνηθέστερα εργαστηριακά πειράματα γίνονται με τη βοήθεια είτε υδραυλικών είτε ηλεκτρονικών μηχανών με τις οποίες μπορούμε να επιβάλλουμε μέγιστο φορτίο τουλάχιστον 20 tn. Οι μετρήσεις των παραμορφώσεων γίνονται συνήθως με τη βοήθεια μηχανικών επιμηκυνσιομέτρων.

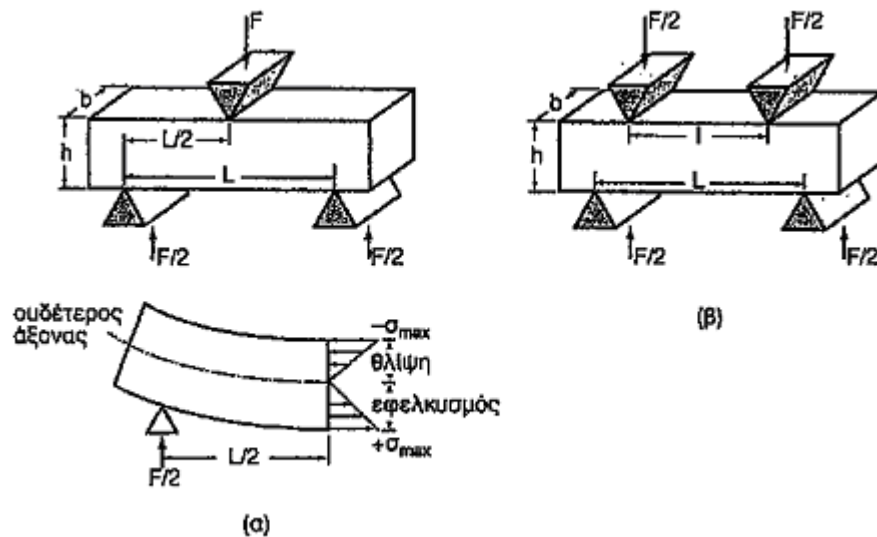
2.3 Δοκιμή Κάμψης

Κατά την καταπόνηση αυτή ελέγχεται η αντοχή σε κάμψη δοκών από διάφορα υλικά (μέταλλα, ξύλο κ.λπ.) που υφίστανται είτε συγκεντρωμένο φορτίο στο μέσο τους ή φορτία σε

άλλες θέσεις καθ' όλο το μήκος τους ή στο τέλος και ομοιόμορφα κατανεμημένα φορτία, όταν οι δοκοί στηρίζονται αμφιέριστα. Η καταπόνησή τους γίνεται είτε στην ελαστική περιοχή, οπότε μετά την αποφόρτιση η δοκός επανέρχεται στην πριν από τη φόρτιση κατάσταση της, είτε και στην ελαστοπλαστική ή πλαστική περιοχή, οπότε όμως εμφανίζεται μόνιμη παραμόρφωσή τους.

Με τη δοκιμή, δηλαδή, γίνεται έλεγχος της παραμορφωσιακής κατάστασης διαφόρων κατασκευών ώστε να εξασφαλίζονται οι συνθήκες εκείνες καταπόνησής τους που δεν θα υπερβαίνουν τα όρια ασφαλείας, όπως τα καθορίζουν οι διάφοροι κανονισμοί και πρότυπα.

Στο Σχήμα 2.2 παρουσιάζεται η πειραματική διάταξη για δοκιμή κάμψης (α) τριών και (β) τεσσάρων σημείων.



Σχήμα 2.2. Σχηματική παράσταση της δοκιμής κάμψης (α) τριών και (β) τεσσάρων σημείων

Οι καταπονήσεις μεταβάλλουν το πρόσημό τους εκατέρωθεν του ουδέτερου άξονα κάμψης. Το τμήμα του δοκιμίου επάνω από αυτόν βρίσκεται σε κατάσταση θλίψης, ενώ το κάτω από αυτόν σε κατάσταση εφελκυσμού. Η μέγιστη τιμή της καταπόνησης, στις εξωτερικές επιφάνειες ενός δοκιμίου τετραγωνικής διατομής, δίδεται σε απόλυτη τιμή από τις σχέσεις:

$$|\sigma_{\max}| = \frac{3}{2} \left(\frac{FL}{bh^2} \right), \quad \text{για κάμψη τριών σημείων} \quad (2.1)$$

$$|\sigma_{\max}| = \frac{3}{2} \left(\frac{F(L-l)}{bh^2} \right), \quad \text{για κάμψη τεσσάρων σημείων} \quad (2.2)$$

όπου:

F: το επιβαλλόμενο φορτίο στο κέντρο του δοκιμίου,

L και l: οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων στήριξης

h: το ύψος του δοκιμίου.

2.4 Δοκιμή Κόπωσης

Μέσω της δοκιμής κόπωσης ενός δοκιμίου μελετάται η συμπεριφορά μετάλλων και κραμάτων σε εναλλασσόμενες περιοδικές και συνεχείς καταπονήσεις και όχι σε στατικά φορτία όπως γίνεται στις δοκιμές κάμψης και εφελκυσμού. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής σε κόπωση είναι δυνατόν το δοκίμιο να οδηγηθεί σε θραύση για τιμές τάσεων κατά πολύ μικρότερες της αντοχής του σε εφελκυσμό ή ακόμα και του ορίου διαρροής του (σ_y). Η θραύση τότε επέρχεται χωρίς προηγούμενη παραμόρφωση, παρουσιάζοντας χαρακτηριστική όψη σε δύο ζώνες και οφείλεται στο φαινόμενο της κόπωσης του μετάλλου.

Τα χαρακτηριστικά μεγέθη των δοκιμών κόπωσης είναι:

- Η μέγιστη σ_{\max} και η ελάχιστη σ_{\min} καταπόνηση
- Το εύρος της καταπόνησης σ_α :

$$\sigma_\alpha = \frac{\sigma_{\max} - \sigma_{\min}}{2} \quad (2.3)$$

- Η μεταβολή της καταπόνησης $\Delta\sigma$:

$$\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}, \quad \Delta\sigma = 2\sigma_\alpha \quad (2.4)$$

- Ο λόγος των καταπονήσεων R:

$$R = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (2.5)$$

- Η μέση τιμή της καταπόνησης (στατική καταπόνηση):

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{\max} + \sigma_{\min}}{2} \quad (2.6)$$

Σκοπός της δοκιμής κόπωσης είναι ο προσδιορισμός της καμπύλης Wöhler ενός υλικού (Σχήμα 2.3), μέσω της οποίας καθορίζονται η αντοχή κόπωσης και το όριο κόπωσης του υλικού. Η γνώση των δύο τελευταίων μεγεθών επιτρέπει την επιλογή της ποιότητας και των διαστάσεων κατασκευαστικών στελεχών, υπό την προϋπόθεση ότι θα χρησιμοποιηθούν σε παρόμοιο περιβάλλον (θερμοκρασία, διαβρωτικοί παράγοντες) με εκείνο της δοκιμής. Μια άλλη προϋπόθεση είναι η κατεργασία της επιφάνειας των δοκιμίων, η οποία πρέπει να είναι της ίδιας ποιότητας με εκείνη των κατασκευαστικών στελεχών.



Σχήμα 2.3. Καμπύλη Wöhler

Σε μια καμπύλη αντοχής σε κόπωση διακρίνονται τρεις ζώνες:

- Ζώνη ολιγοκυκλικής κόπωσης, κατά την οποία η διάρκεια ζωής του δοκιμίου είναι σύντομη ($N_f < 10^2$ κύκλοι). Πριν τη θραύση το δοκίμιο υπόκειται σε σημαντική πλαστική παραμόρφωση.

(b) Ζώνη κόπωσης ή περιορισμένης αντοχής. Η θραύση επέρχεται μετά από έναν αριθμό κύκλων που αυξάνεται καθώς η επιβαλλόμενη τάση ελαττώνεται ($10^2 < N_f < 10^6$ κύκλοι).

(c) Ζώνη απεριόριστης αντοχής ή ζώνη ασφαλείας. Η θραύση αποκλείεται να συμβεί υπό το καθεστώς μικρών καταπονήσεων, ακόμη κι έπειτα από μεγάλο αριθμό κύκλων ($N_f > 10^6$ κύκλοι).

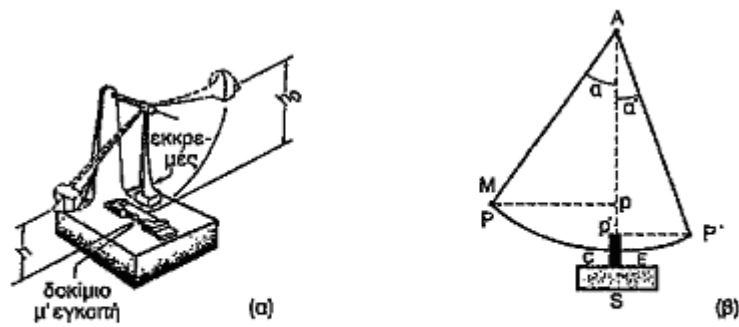
Για πολλά υλικά, κυρίως στους χάλυβες αλλά και σε κράματα Ti, Mg, μερικά κράματα Al-Mg, κ.λπ., παρατηρείται στην καμπύλη Wöhler μια οριζόντια ασυμπτωτική περιοχή, που προσδιορίζει το όριο αντοχής σε κόπωση του υλικού σ_d . Σε ένα υλικό που υποβάλλεται σε κυκλική καταπόνηση τιμής μικρότερης της σ_d δεν παρατηρείται θραύση από κόπωση.

Το όριο αντοχής σε κόπωση, ωστόσο, δεν είναι δυνατόν να προσδιορισθεί για όλα τα υλικά, όπως για παράδειγμα στους οστενιτικούς χάλυβες. Για τους χάλυβες αυτούς ορίζεται ένα όριο για δεδομένο αριθμό κύκλων. Συνήθως, προσδιορίζεται συμβατικά ένα όριο κόπωσης που αντιστοιχεί σε $10^6, 10^7$ ή 10^8 κύκλους.

2.5 Δοκιμή Κρούσης

Σκοπός της δοκιμής κρούσης είναι ο προσδιορισμός της δυσθραυστότητας των υλικών υπό δυναμική φόρτιση. Αυτό επιτρέπει μια ποιοτική ή συγκριτική εκτίμηση της συμπεριφοράς των υλικών υπό παρόμοιες συνθήκες, για τις οποίες οι στατικές δοκιμές δεν παρέχουν πληροφορίες. Η δοκιμή κρούσης πραγματοποιείται σε διάταξη Charpy, συνηθέστερα, ή σε διάταξη Izod.

Στη διάταξη Charpy (Σχήμα 2.4α), μια μάζα m σχήματος σφύρας στερεωμένη στον βραχίονα εκκρεμούς, μπορεί να αιωρείται σε κάθετο επίπεδο γύρω από οριζόντιο άξονα A (Σχήμα 2.4β).



Σχήμα 2.4. Σχηματική αναπαράσταση της δοκιμής Charpy

Το δοκίμιο, στερεωμένο σε υποστήριγμα, δέχεται κτύπημα από την αιωρούμενη σφύρα, όταν αυτή περάσει από τη χαμηλότερη θέση της τροχιάς της. Όταν το εκκρεμές κτυπά το δοκίμιο, κατέχει κινητική ενέργεια ίση με τη δυναμική ενέργεια που κατείχε στην αρχική του θέση (υψηλότερη θέση της τροχιάς του). Αν καλέσουμε α την αρχική γωνία που σχηματίζει ο βραχίονας ως προς τη θέση ισορροπίας και α' τη γωνία του βραχίονα μετά την κρούση του επί του δοκιμίου στη θέση P' , τότε η ενέργεια W που απορροφήθηκε κατά τη θραύση του δοκιμίου αποτελεί το μέτρο της δυσθραυστότητάς του.

$$W = mg(h_0 - h)$$

$$W = mgl(\sigma \nu \alpha' - \sigma \nu \alpha)$$

όπου:

m : η μάζα του εκκρεμούς ,

l : το μήκος του βραχίονα

h_0 : αρχικό ύψος εκκρεμιάς


h : ύψος εκκρεμιάς μετά την κρούση και

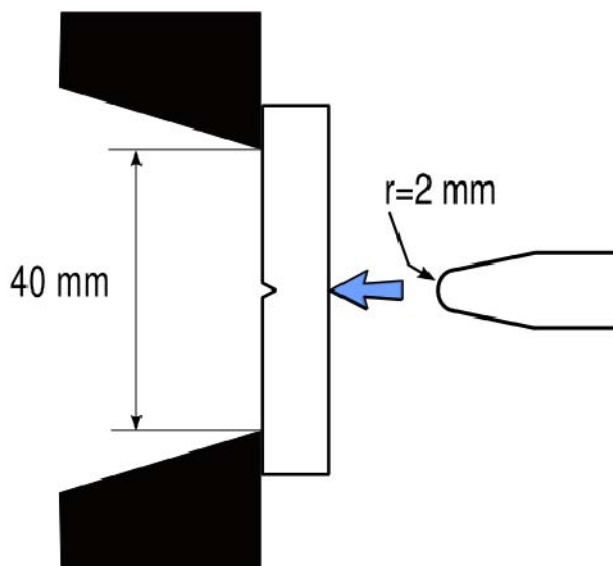
g : η επιτάχυνση της βαρύτητας ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Η ταχύτητα κρούσης δίνεται από τη σχέση:

$$u = [2gl(1 - \sigma \nu \alpha)]^{1/2} \quad (2.7)$$

Η τιμή της ταχύτητα κρούσης συνήθως κυμαίνεται μεταξύ 4,5 και 5,5 m/s . Το μήκος του βραχίονα (l) είναι απο 400 έως 800 mm και το ύψος πτώσης της σφύρας (h_0) μεταξύ 800 και 1600 mm. Μια συνήθης τιμή του βάρους της σφύρας είναι 30 kg.

Η δοκιμή Charpy χρησιμοποιείται κυρίως στην Ευρώπη. Για την πραγματοποίηση της δοκιμής, τα εξεταζόμενα υλικά θα πρέπει να έχουν συγκεκριμένη γεωμετρία και ριξη



Πρόκειται για ορθογώνια παραλληλεπίπεδα δοκίμια 10 mm x 10 mm, στο μέσο των οποίων δημιουργείται εγκοπή U, V και Π. Η εγκοπή αυτή έχει σκοπό τη δημιουργία συγκεντρώσεως τάσεων στην περιοχή αυτή έτσι ώστε αφενός μεν να υπάρχουν συνθήκες σχετικώς ψαθυρής θραύσης και αφετέρου να είναι προκαθορισμένη η θέση της διατομής θραύσης.

Κεφάλαιο 3 Υλικά και προετοιμασία δοκιμίων

3.1 Εισαγωγή

Στόχος της εργασίας αυτής είναι ο έλεγχος των μηχανικών ιδιοτήτων συγκολλημένων και μη συγκολλημένων ελασμάτων ναυπηγικού χάλυβα ΑΗ36 πάχους 6 mm, πριν και μετά τη διάβρωση. Ο έλεγχος αυτός περιλαμβάνει δοκιμές εφελκυσμού, κάμψης και κόπωσης σε κατάλληλα διαμορφωμένα, συγκολλημένα και μη συγκολλημένα δοκίμια.

Οι συγκολλήσεις πραγματοποιήθηκαν στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας και στα Ναυπηγεία Ελευσίνας, όπου διενεργήθηκε δειγματοληπτικός ποιοτικός έλεγχος με τη μέθοδο της ραδιογραφίας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές.

Στη συνέχεια περιγράφονται τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά, καθώς και οι κατεργασίες που πραγματοποιήθηκαν για την παρασκευή των δοκιμίων.

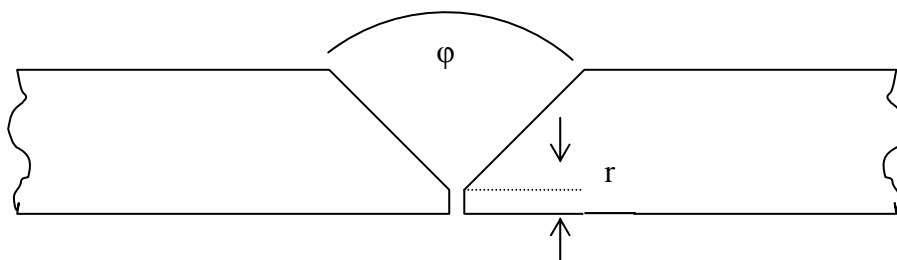
3.2 Προετοιμασία δοκιμίων

Ο χάλυβας ΑΗ36 ήταν σε μορφή ελασμάτων πάχους 6 mm και επιφάνειας 70 X 25 cm² (Εικόνα 3.1). Από αυτά τα ελάσματα έγινε η κοπή και διαμόρφωση τόσο των συγκολλημένων όσο και των μη συγκολλημένων δοκιμίων.



Εικόνα 3.1: Φύλλα ναυπηγικού χάλυβα ΑΗ36

Αρχικά, έγινε η προετοιμασία των άκρων (λοξοτομή) για τη συγκόλληση, τύπου V, γωνίας (φ) 60° και αυχένα ύψους (r) 1,5 mm στη φρέζα του Μηχανουργείου του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας (βλ. Σχήμα 3.2).



Σχήμα 3.2: Σχεδιασμός της σγκόλλησης

Εν συνεχεία, τα ελάσματα εστάλησαν στα Ναυπηγεία Ελευσίνας, όπου πραγματοποιήθηκε η σγκόλληση, και έτσι παρελήφθησαν 5 σγκολλημένα ελάσματα χάλυβα ΑΗ36 διαστάσεων 70 X 50 cm .

3.3 Μηχανική κατεργασία

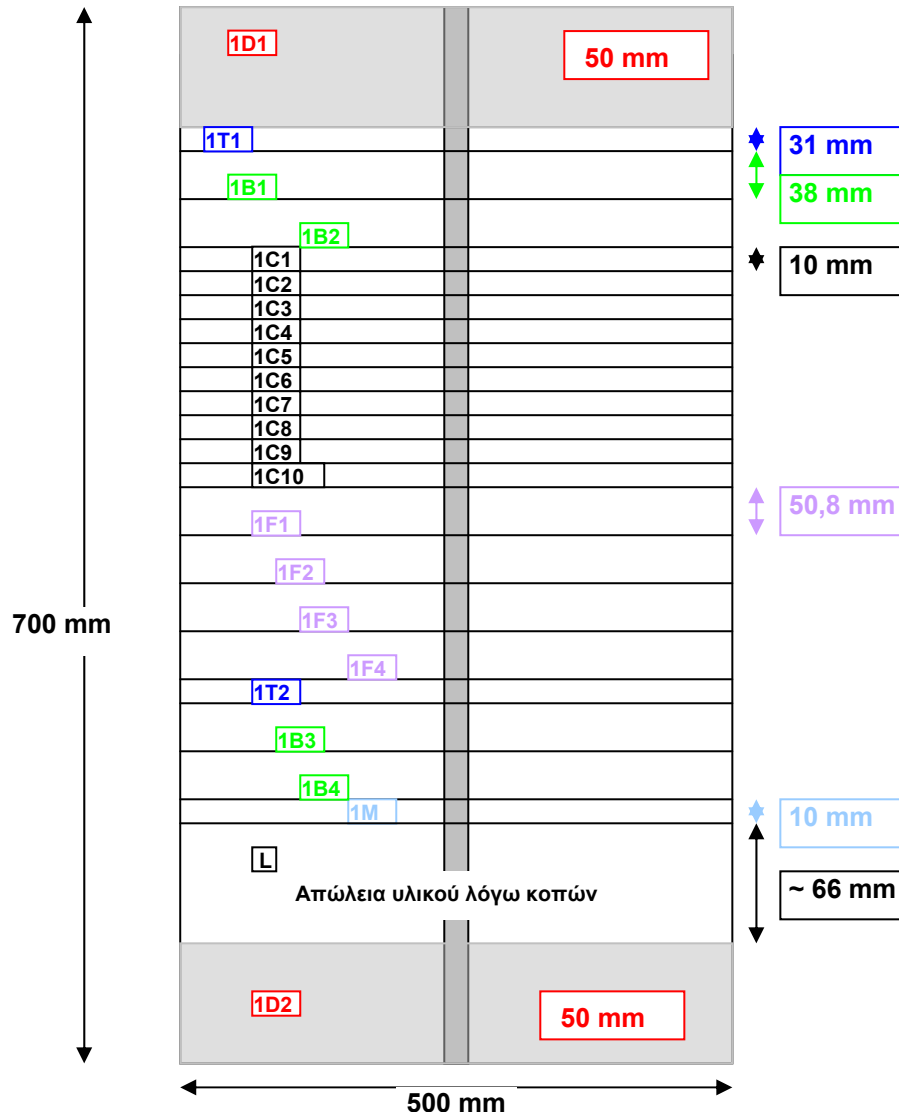
Η μηχανική κατεργασία των ελασμάτων που απαιτείται για τη διαμόρφωση των δοκιμίων μηχανικών δοκιμών πραγματοποιήθηκε στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας (Ε.Ν.Τ.) της Σχολής Ναυπηγών Μηχανολόγων Μηχανικών του Ε.Μ.Π.

3.3.1 Κοπές

Ο εξοπλισμός του Ε.Ν.Τ. που χρησιμοποιήθηκε για την κοπή τόσο των σγκολλημένων όσο και των μη σγκολλημένων ελασμάτων ήταν:

- η πριονοκορδέλα Vermac (model KB-45), κατάλληλη για την κοπή χάλυβα υψηλής αντοχής, και
- η φρέζα Vermac (model 4VS)

Για τα σγκολλημένα ελάσματα οι κοπές πραγματοποιήθηκαν σύμφωνα με το Σχήμα 3.3 και τον Πίνακα 3.1.



Σχήμα 3.3

Πίνακας 3.1. Αριθμός και διαστάσεις δοκιμών

code	δοκιμή	Αρ. δοκιμών	Πλάτος δοκιμίου (mm)	ζώνη δοκιμών (mm)
T	Tension	2	31	62
B	Bending	4	38	152
F	Fatigue	4	50,8	203,2
C	Charpy	10	10	100
M	Metallography	1	10	10
L	Material loss	21	1,5+2	52,5
D	Discard	2	50	100
	Total			679.7

Από κάθε έλασμα ο αριθμός των συγκολλημένων δοκιμών που παρασκευάστηκαν ήταν:

2 δοκίμια εφελκυσμού (σύνολο 10)

4 δοκίμια κάμψης (σύνολο 20)

4 δοκίμια κόπωσης (σύνολο 20)

10 δοκίμια κρούσης (σύνολο 50).

1 δοκίμιο για μεταλλογραφία (σύνολο 5).

Για την παρασκευή των μη συγκολλημένων δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα χάλυβα ΑΗ36 πάχους 6 mm και επιφάνειας 70 X 25 cm². Συνολικά παρασκευάστηκαν, βάσει προτύπων και με τη βοήθεια κατάλληλων μηχανημάτων και κοπτικών εργαλείων:

25 δοκίμια εφελκυσμού

20 δοκίμια κόπωσης

25 δοκίμια κρούσης

Επειδή η πριονοκορδέλα, που χρησιμοποιήθηκε για την κοπή των ελασμάτων, δεν μας εξασφάλιζε απόλυτα ορθογωνική διατομή για τα παρασκευαζόμενα δοκίμια, για κάθε δοκίμιο προβλέφθηκε ανοχή 2 mm κατά μήκος και πλάτος από αυτό που απαιτούσαν οι προδιαγραφές.

Τα δοκίμια των μηχανικών δοκιμών απέκτησαν το απαιτούμενο πλάτος και μήκος ($\pm 0,1$ mm) για τις δοκιμές αυτές μετά από κατάλληλη επεξεργασία (πλανάρισμα) που πραγματοποιήθηκε στη φρέζα του Μηχανουργείου του Εργαστηρίου Ναυπηγικής Τεχνολογίας.

3.3.2 Παρασκευή δοκιμίων μηχανικών δοκιμών

Τα δοκίμια που παρακευάστηκαν για τις μηχανικές δοκιμές που έλαβαν χώρα κατά τη διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας ήταν δοκίμια εφελκυσμού, δοκίμια κάμψης και δοκίμια κόπωσης.

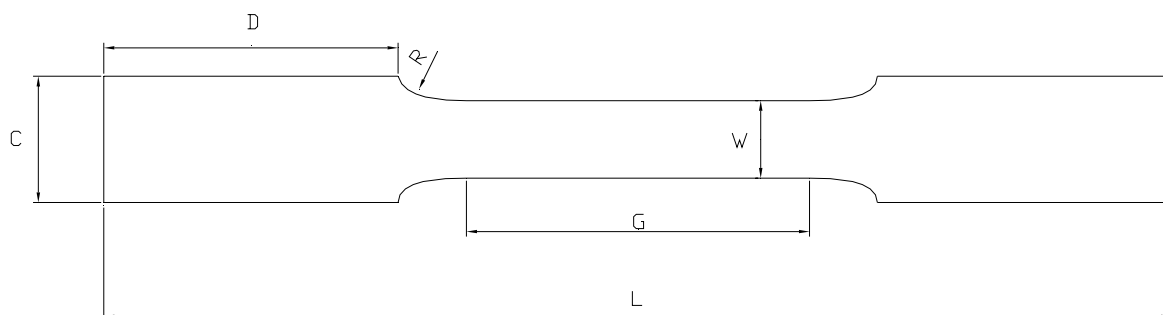
Δοκίμια εφελκυσμού

Τα δοκίμια αυτά χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση των δοκιμών εφελκυσμού και σύμφωνα με το πρότυπο ASME 9 (2001), τους Κανονισμούς του Ελληνικού Νηογνώμονα (Part 2, Chapter 9, σελ.14/28) και του Γερμανικού Νηογνώμονα. Έχουν σχήμα “dog bone” (Σχήμα 3.4) και τις διαστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 3.2

Πίνακας 3.2. Διαστάσεις δοκιμών εφελκυσμού

	<i>Tension</i>
L	254 mm
C	31 mm(=W+6mm+6mm)
G	* b_s +80 mm
W	19 mm
R	25 mm
D	70 mm

* b_s : πλάτος συγκόλλησης (~14 mm)



Σχήμα 3.4 Δοκίμιο εφελκυσμού

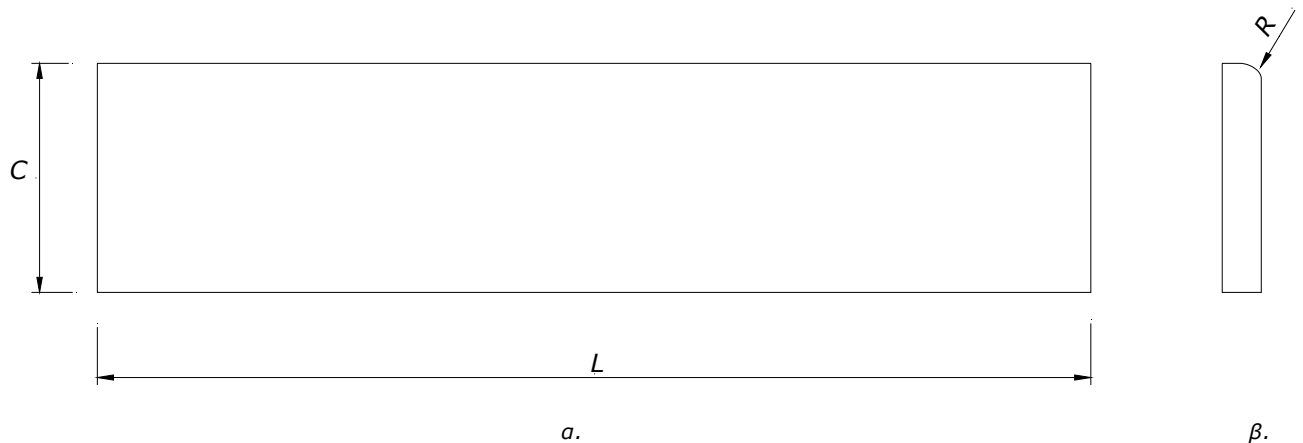
Τα δοκίμια εφελκυσμού υποβλήθηκαν σε μηχανική κατεργασία στη φρέζα του Μηχανουργείου του Ε.Ν.Τ., κατά την οποία δημιουργήθηκε η καμπυλότητα (radius R) με κατάλληλο κοπτικό εργαλείο. Επίσης, αφαιρέθηκε το υλικό συγκόλλησης στο μέτωπο και τη ρίζα της συγκόλλησης, ώστε το πάχος του δοκιμίου στην περιοχή της συγκόλλησης να είναι ίδιο με το πάχος του υπόλοιπου δοκιμίου, σύμφωνα με τα πρότυπα (ASME 9, 2001) και τον Γερμανικό Νηογνώμονα.

Δοκίμια κάμψης:

Τα δοκίμια αυτά χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση των δοκιμών κάμψης. Σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM (E190-9), ASME 9 (2001), και τους Κανονισμούς του Ελληνικού Νηογνώμονα (Part 2, Chapter 9 σελ.14/28-29) και του Γερμανικού Νηογνώμονα, έχουν σχήμα ορθογωνίου παραλληλόγραμμου (Σχήμα 3.5) και διαστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 3.3

Πίνακας 3.3 Διαστάσεις δοκιμών κάμψης

	<i>Bending</i>
L	153 mm
C	38 mm
R	3.2 mm



**Σχήμα 3.5 Δοκίμιο κάμψης
α. Κάτοψη , β. Τομή (ορθογωνική)**

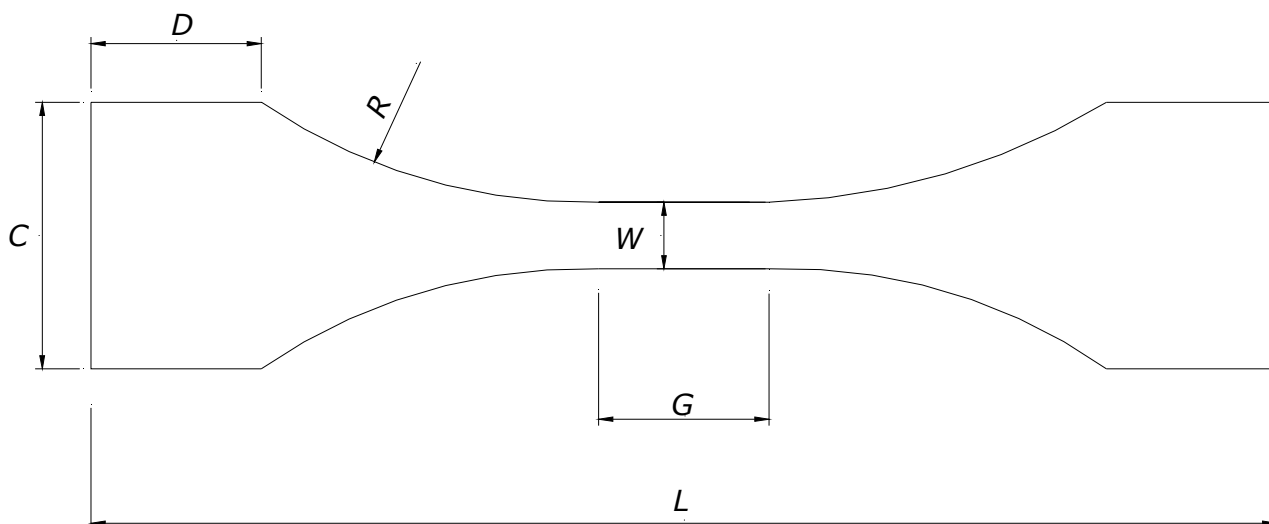
Τα δοκίμια κάμψης υποβλήθηκαν σε μηχανική κατεργασία στη φρέζα του Μηχανουργείου του Ε.Ν.Τ., όπως έγινε και με αντίστοιχα δοκίμια εφελκυσμού.

Δοκίμια κόπωσης

Τα δοκίμια αυτά χρησιμοποιούνται για την πραγματοποίηση των δοκιμών κόπωσης και, σύμφωνα με τα πρότυπα ASTM (E466-96, p481) και τους Κανονισμούς του Ελληνικού Νηογνώμονα (Part 2, Chapter 9, σελ.14) και του Γερμανικού Νηογνώμονα, έχουν σχήμα ‘dog bone’ (Σχήμα 3.6) και τις διαστάσεις που δίνονται στον Πίνακα 3.4.

Πίνακας 3.4. Διαστάσεις δοκιμών κόπωσης

	<i>Fatigue</i>
L	208,8 mm
C	50,8 mm
G	30 mm
W	12,7 mm
R	102 mm
D	30 mm



Σχήμα 3.6 Δοκίμιο κόπωσης

Τα δοκίμια εφελκυσμού υποβλήθηκαν σε μηχανική κατεργασία στη φρέζα, κατά την οποία δημιουργήθηκε η απαιτούμενη καμπυλότητα (radius R) με κατάλληλο κοπτικό εργαλείο.

Επίσης, αφαιρέθηκε το υλικό συγκόλλησης στο μέτωπο και τη ρίζα της συγκόλλησης, ώστε το πάχος του δοκιμίου στην περιοχή της συγκόλλησης να είναι ίδιο με το πάχος του υπόλοιπου δοκιμίου, σύμφωνα με το πρότυπο ASTM E468-90.

Κεφάλαιο 4 Διάβρωση

4.1 Δοκιμές επιταχυνόμενης διάβρωσης σε θάλαμο αλατονέφωσης

Η χρήση της μεθόδου της αλατονέφωσης εφαρμόζεται για περισσότερα από 100 χρόνια για τον έλεγχο της επιδεκτικότητας στη διάβρωση μεταλλικών και μη μεταλλικών υλικών, καθώς και για τον έλεγχο του βαθμού προστασίας που προσφέρουν οι επικαλύψεις.

Στις περισσότερες περιπτώσεις οι δοκιμές εφαρμόζονται για τη σύγκριση της συμπεριφοράς μετάλλων και επικαλύψεων κατά την εφαρμογή συγκεκριμένου προτύπου. Στην επιστημονική κοινότητα γίνονται εκτεταμένες συζητήσεις σχετικά με την αξία των δοκιμών αυτών. Σε κάθε περίπτωση, είναι απαραίτητο να εφαρμόζεται με ακρίβεια η διαδικασία τόσο της προετοιμασίας των δοκιμών, του πειράματος, αλλά και της αποτίμησης των αποτελεσμάτων. Τότε είναι δυνατόν να ληφθούν μετρήσεις οι οποίες αντιπροσωπεύουν με ακρίβεια την εφαρμογή προτυποποιημένου «ποσού διάβρωσης» για τη σύγκριση της σχετικής συμπεριφοράς των υλικών ή και των επιστρωμάτων.

Για τη διεξαγωγή δοκιμών διάβρωσης σε επικαλύψεις προστασίας του χάλυβα, προτάθηκε για πρώτη φορά δοκιμή με ουδέτερο διάλυμα αλατονέφωσης στο πλαίσιο του προτύπου ASTM B117.

Πολλές βελτιώσεις και αναθεωρήσεις έχουν γίνει τα τελευταία χρόνια, τόσο ως προς τις δοκιμές αλατονέφωσης όσο και ως προς τους θαλάμους που χρησιμοποιούνται και τις διατάξεις.

Η δοκιμή της αλατονέφωσης χρησιμοποιείται ευρέως ως εργαλείο για την εκτίμηση του πάχους και του πορώδους μεταλλικών και μη μεταλλικών προστατευτικών επικαλύψεων, με μεγάλη επιτυχία. Η αλατονέφωση χρησιμοποιείται, επίσης, ως εργαστηριακή δοκιμή επιταχυνόμενης διάβρωσης για την προσομοίωση της επίδρασης της θαλάσσιας ατμόσφαιρας σε διάφορα μέταλλα, με ή χωρίς επικαλύψεις.

Οι πιο κοινά αποδεκτά μεθοδοι εφαρμογής δοκιμών αλατονέφωσης περιγράφονται με ακρίβεια στα πρότυπα:

- ASTM B117 “Standard method of salt spray (FOG) testing”
- B368 “Standard test method for copper-accelerated acetic- salt spray (FOG) testing”
- ASTM G 85 “Standard practice for modified salt spray (FOG) testing”

Σημειώνεται, ότι υπάρχουν δοκιμές διάβρωσης στις οποίες εφαρμόζονται συνθήκες υψηλής υγρασίας, όπου απιονισμένο νερό χρησιμοποιείται ως συστατικό της διάβρωσης και στις οποίες δεν περιλαμβάνεται άλας ως στοιχείο διάβρωσης (ASTM D1735, ASTM D2247, ASTM G 60).

Οι δοκιμές αλατονέφωσης διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- Δοκιμές σε «στατικές» συνθήκες
- Δοκιμές σε «κυκλικές» συνθήκες

Στις στατικές δοκιμές οι συνθήκες και η ατμόσφαιρα παραμένουν σταθερές σε όλη τη διάρκεια της δοκιμής: θερμοκρασία, πυκνότητα νέφους, pH του ηλεκτρολυτικού διαλύματος. Οι δοκιμές μπορεί να διαρκούν 24 ώρες την ημέρα, 7 ημέρες την εβδομάδα για όλο το διάστημα έκθεσης. Στη συνέχεια, τα δοκίμια απομακρύνονται από το θάλαμο για μελέτη και ανάλυση.

Η σύγχρονη έρευνα επικεντρώνεται στον σχεδιασμό δοκιμών που προσομοιάζουν περισσότερο ρεαλιστικά την πραγματική έκθεση στο περιβάλλον και τις συνθήκες λειτουργίας. Με γνώμονα αυτό σχεδιάζονται νέες κυκλικές δοκιμές. Κατά τις κυκλικές δοκιμές, τα δοκίμια υποβάλλονται σε επαναλαμβανόμενη σειρά βημάτων συγκεκριμένου χρόνου, διαφορετικής ατμόσφαιρας, έως ότου ολοκληρωθεί ο προκαθορισμένος χρόνος έκθεσης ή αριθμός κύκλων. Ένα πλήρες σύνολο βημάτων συνιστά έναν κύκλο. Τα βήματα αυτά περιλαμβάνουν:

- Διαφορετικές θερμοκρασίες
- Μεταβαλλόμενα επίπεδα σχετικής υγρασίας RH (20-100%)
- Διάφορα διαβρωτικά συστατικά (ρυπαντές, ηλεκτρολύτες)

4.1.1 Δοκιμές σε «στατικές» συνθήκες

Το πρότυπο ASTM B117 περιγράφει στατικές συνθήκες δοκιμής αλατονέφωσης. Η διαδικασία του προτύπου αυτού καθορίζει διαρκή έκθεση σε αλατονέφωση 5% και θερμοκρασία 35°C. Στα τελευταία 70 χρόνια έχουν πραγματοποιηθεί πολλές τροποποιήσεις και βελτιώσεις στο πρότυπο B 117. Ωστόσο, παρά τις βελτιώσεις, αποτελεί κοινό τόπο ότι τα αποτελέσματα δοκιμών αλατονέφωσης σε στατικές συνθήκες δεν ανταποκρίνονται στα φαινόμενα διάβρωσης που παρατηρούνται στο περιβάλλον λειτουργίας.

4.1.2 Δοκιμές σε «κυκλικές» συνθήκες

Οι δοκιμές κυκλικής διάβρωσης θεωρούνται απο πολλούς περισσότερο ρεαλιστικές. Κατά τις κυκλικές δοκιμές προκαλείται διάβρωση των υλικών κατά τρόπο που ανταποκρίνεται καλύτερα στην πραγματικότητα από τους συμβατικούς τρόπους έκθεσης. Δεδομένου ότι στο περιβάλλον λειτουργίας ενός υλικού περιλαμβάνονται συνήθως υγρές και ξηρές συνθήκες, στόχος είναι οι εργαστηριακές δοκιμές να προσομοιάζουν τις φυσικές κυκλικές συνθήκες. Τα αποτελέσματα της σύγχρονης έρευνας αποδεικνύουν ότι στις κυκλικές δοκιμές διάβρωσης ο σχετικός ρυθμός διάβρωσης, η δομή και η μορφολογία που προκύπτει προσομοιάζουν το περιβάλλον λειτουργίας. Κατά τις κυκλικές δοκιμές διάβρωσης, τα δοκίμια εκτίθενται σε διαφορετικό περιβάλλον σε επαναλαμβανόμενο κύκλο. Οι απλοί κύκλοι αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες συνθήκες αλατονέφωσης και ξήρανσης. Οι πιο σύγχρονες αυτόματες μέθοδοι περιλαμβάνουν κύκλους πολλών βημάτων, όπως υγρασία ή συμπύκνωση μαζί με αλατονέφωση και ξήρανση.

Για τις κυκλικές δοκιμές διάβρωσης σε θάλαμο αλατονέφωσης έχουν αναπτυχθεί διάφορα πρότυπα που καθορίζουν με ακρίβεια τις συνθήκες του πειράματος :

- ASTM G85 “Standard practice for modified salt spray (FOG) testing”
- ISO 14993 (2001) “ Corrosion of metals and alloys – Accelerated testing involving cyclic exposure to salt mist, “dry” and “wet” conditions”

Στην παρούσα διπλωματική εργασία υιοθετήθηκε το πρότυπο ISO 14993 (2001).

Στο πρότυπο αυτό περιγράφεται η διάταξη και η πειραματική διαδικασία δοκιμών επιταχυνόμενης διάβρωσης για τη συγκριτική εκτίμηση υλικών με ή χωρίς προστατευτικές επικαλύψεις σε εξωτερικό περιβάλλον με υψηλά ποσοστά αλάτων. Το πρότυπο αυτό εφαρμόζεται για μέταλλα και κράματα, μεταλλικά επιστρώματα (ανοδικά και καθοδικά), οργανικά επιστρώματα σε μεταλλικά υλικά κ.λπ.

Το διάλυμα που χρησιμοποιείται είναι διάλυμα NaCl 5%. Στην παρούσα διπλωματική εργασία ωστόσο χρησιμοποιήθηκε διάλυμα NaCl 3,5%, που αντιστοιχεί στην περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε άλας NaCl.

Σύμφωνα με το πρότυπο αυτό, κάθε κύκλος περιλαμβάνει τρία βήματα: αλατονέφωση, ξήρανση, υγρασία. Ο συνολικός χρόνος κάθε κύκλου είναι 8 ώρες και αποτελείται από τρία βήματα: 2 ώρες αλατονέφωση, 4 ώρες συνθήκες ξήρανσης, 2 ώρες συνθήκες υγρασίας.

Για τη μελέτη της συμπεριφοράς επικαλυμμένου δοκιμίου χάλυβα της παρούσας διπλωματικής εργασίας, τοποθετήθηκαν 6 δοκίμια επικαλυμμένα σε κλιματικό θάλαμο.

Αναλυτικότερα, οι συνθήκες περιγράφονται στον Πίνακα 4.1.

Πίνακας 4.1. Συνθήκες έκθεσης δοκιμίων στον κλιματικό θάλαμο.

1	Συνθήκες αλατονέφωσης	2 ώρες
	(1) Θερμοκρασία	35 °C±2 °C
	(2) Διάλυμα άλατος	3,5% Διάλυμα NaCl
2	Συνθήκες Ξήρανσης	4 ώρες
	(παροχή αέρα σε συνθήκες ξήρανσης)	
	(1) Θερμοκρασία	60 °C±2 °C
	(2) Σχετική υγρασία	<30%RH
3	Συνθήκες Υγρασίας	2 ώρες
	(1) Θερμοκρασία	50 °C±2 °C
	(2) Σχετική υγρασία	>90%RH

Σημειώνεται, ότι στους χρόνους αυτούς περιλαμβάνεται και ο χρόνος που απαιτείται για να αποκτήσει το σύστημα την καθορισμένη θερμοκρασία για κάθε μεταβολή. Τα δοκίμια τοποθετούνται σε ειδικές υποδοχές από αδρανές, μη μεταλλικό υλικό, υπό γωνία 45°.

4.2 Πειραματική διαδικασία

Κατά την εκπόνηση της διπλωματικής εργασίας, στον θάλαμο αλατονέφωσης τοποθετήθηκαν συγκολλημένα και μη συγκολλημένα δοκίμια εφελκυσμού, κάμψης και κόπωσης. Ο ακριβής αριθμός των δοκιμίων που τοποθετήθηκαν στο θάλαμο ήταν αυτός του Πίνακα 4.2.

Πίνακας 4.2. Αριθμός δοκιμών θαλάμου αλατονέφωσης

	<i>Συγκολλημένα</i>	<i>Μη συγκολλημένα</i>
Δοκίμια εφελκυσμού	8	20
Δοκίμια κάμψης	-	16
Δοκίμια κόπωσης	10	10

Τα δοκίμια του εφελκυσμού και της κάμψης εκτέθηκαν σε διαβρωτικό περιβάλλον, σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα (ASTM G85, ISO 14993, 2001) για 20, 40, 60 και 90 ημέρες.

Τα δοκίμια της κόπωσης εκτέθηκαν σε διαβρωτικό περιβάλλον για 60 ημέρες.

Ο αριθμός των δοκιμών που παρέμενε σε κάθε κύκλο διάβρωσης παρουσιάζεται αναλυτικά στον Πίνακα 4.3.

Πίνακας 4.3. Αριθμός δοκιμών- χρόνος έκθεσης

	Δοκίμια εφελκυσμού		Δοκίμια κάμψης		Δοκίμια κόπωσης	
	<i>Συγκολλημένα</i>	<i>Μη συγκολλημένα</i>	<i>Συγκολλημένα</i>	<i>Μη συγκολλημένα</i>	<i>Συγκολλημένα</i>	<i>Μη συγκολλημένα</i>
20 ημέρες	2	5	4	-	-	-
40 ημέρες	2	5	4	-	-	-
60 ημέρες	2	5	4	-	10	10
90 ημέρες	2	5	4	-	-	-

Η διαφορετική χρονική διάρκεια παραμονής των δοκιμών εφελκυσμού και κάμψης στο θάλαμο αλατονέφωσης οφείλεται στο γεγονός ότι ήταν επιθυμητή η παρατήρηση της μεταβολής των μηχανικών ιδιοτήτων του χάλυβα AH 36 και η συσχέτιση της μεταβολής αυτής με το χρονικό διάστημα παραμονής τους στο διαβρωτικό περιβάλλον.

Σε αντίθεση με τα δοκίμια εφελκυσμού και κάμψης, τα δοκίμια της κόπωσης παρέμειναν όλα το ίδιο χρονικό διάστημα στον θάλαμο αλατονέφωσης και αυτό οφείλεται στη φύση των

πειραμάτων της αντοχής σε κόπωση, όπου απαιτείται μεγαλύτερος αριθμός δοκιμίων για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων.

Οι διαθέσιμες θέσεις στον θάλαμο αλατονέφωσης κατά την έναρξη των πειραμάτων ήταν 73 και τα δοκίμια εφελκυσμού, κάμψης και κόπωσης τοποθετήθηκαν στις θέσεις που φαίνονται στο Σχήμα 4.1.

21				
20				7F1
19	T13	T24	T21	F15
18	7B3		7T1	7F2
17	3T1	6T2		F11
16	6B2	3B2	7B1	4F2
15	T12	T23	T20	F14
14	1B3	3B3	7B4	6F2
13	T7	T22	T11	F10
12	3T2			6F3
11	4B3			F4
10	T18			6F4
9	1B2			F1
8	T17			6F1
7	4B4	4T1		F16
6	T8	T15	T19	4F3
5	4T2	6T1	1T2	F17
4	4B2	1B4	6B1	4F2
3	T16	T10	T3	F3
2	1B1	4B1	3B4	4F4
1	T9	T14	T25	F13

Έξοδος δοκιμίων

1ος κύκλος (20 ημέρες)	60 ημέρες
2ος κύκλος (40 ημέρες)	
3ος κύκλος (60 ημέρες)	
4ος κύκλος (90 ημέρες)	

Σχήμα 4.1. Διάταξη δοκιμίων στον θάλαμο αλατονέφωσης

4.3 Αποτελέσματα

Κατά την παραμονή των δοκιμίων στον θάλαμο αλλατονέφωσης, όπως ήταν αναμενόμενο, παρατηρήθηκαν μεταβολές στις διαστάσεις και το βάρος των υπό μελέτη δοκιμίων. Όσο μεγαλύτερο ήταν το διάστημα παραμονής του δοκιμίου τόσο μεγαλύτερη ήταν η απώλεια μάζας του και η μείωση των διαστάσεών του.

4.3.1. Ασυγκόλλητα δοκίμια εφελκυσμού

Αναλυτικά, οι διαστάσεις των μη συγκολλημένων δοκιμίων εφελκυσμού, πριν την είσοδο και μετά την έξοδό τους από τον θάλαμο αλλατονέφωσης, και τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στις διάφορες μηχανικές δοκιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες

ΠΡΙΝ ΤΟ ΘΑΛΑΜΟ

<i>Tension</i>					
T3(317,196 g)					
	1*	2	3	4	5
πάχος	6,23	6,24	6,23	6,24	6,31
πλάτος	30,95	19,00	19,00	19,00	30,95
μήκος	250,00				

T7 (317,187g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,17	6,19	6,20	6,20	6,19
πλάτος	30,90	18,90	18,90	18,90	31,15
μήκος	250,00				

T8 (318,140g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,22	6,23	6,24	6,26	6,27
πλάτος	30,95	19,15	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T9 (312,912g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,12	6,14	6,14	6,16	6,18
πλάτος	31,00	19,10	19,05	19,05	31,00
μήκος	250,00				

T10 (313,359g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,14	6,15	6,16	6,18
πλάτος	31,00	18,95	18,95	19,05	31,05
μήκος	250,00				

ΜΕΤΑ ΤΟ ΘΑΛΑΜΟ

<i>Tension</i>					
T3(375,183 g)					
	1*	2	3	4	5
πάχος	5,85	6,05	6,08	5,79	5,96
πλάτος	30,35	18,60	18,55	18,65	30,40
μήκος	249,70				

T7 (295,106 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,04	6,03	6,07	6,05	6,09
πλάτος	30,50	18,65	18,45	18,50	30,65
μήκος	250,00				

T8 (293,726 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,05	6,02	6,07	6,05	6,02
πλάτος	30,55	18,85	18,75	18,80	30,50
μήκος	250,00				

T9 (305,395 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,07	6,11	6,11	6,14	6,14
πλάτος	30,75	18,90	18,80	19,00	30,70
μήκος	250,00				

T10 (283,303g)

	1	2	3	4	5
πάχος	5,94	5,89	5,95	5,98	6,07
πλάτος	30,55	18,60	18,55	18,60	30,60
μήκος	249,80				

T11 (313,791g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,15	6,15	6,17	6,17
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,10
μήκος	250,00				

T12 (313,860g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,14	6,14	6,17	6,16
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,10	31,05
μήκος	250,00				

T13 (313,935g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,15	6,15	6,13	6,17
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,05
μήκος	250,00				

T14 (313,229g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,12	6,13	6,14	6,18	6,18
πλάτος	31,10	19,00	19,00	19,00	31,10
μήκος	250,00				

T15 (313,510g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,11	6,15	6,18	6,19
πλάτος	31,00	19,10	19,05	19,05	31,00
μήκος	250,00				

T16 (313,462g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,12	6,16	6,16	6,20	6,21
πλάτος	31,00	19,05	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T17 (313,550g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,18	6,18	6,17	6,21
πλάτος	31,05	18,95	19,00	19,00	31,00
μήκος	250,00				

T18 (314,986g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,15	6,18	6,19	6,18
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,10	31,10
μήκος	250,00				

T11 (270,663g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,96	5,62	5,69	5,86	5,87
πλάτος	30,55	18,70	18,65	18,75	30,45
μήκος	249,75				

T12 (303,728g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,07	6,07	6,07	6,04
πλάτος	30,80	18,90	18,85	18,85	30,75
μήκος	250,00				

T13 (305,188 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,06	6,10	6,09	6,11	6,14
πλάτος	30,80	18,90	18,85	18,80	30,85
μήκος	250,00				

T14 (292,597 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,00	5,99	6,02	6,04	6,08
πλάτος	30,65	18,70	18,70	18,80	30,75
μήκος	250,00				

T15 (281,769g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,87	5,83	5,98	5,75	6,01
πλάτος	30,45	18,65	18,60	18,60	30,45
μήκος	249,85				

T16 (305,617 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,10	6,11	6,09	6,14	6,16
πλάτος	30,80	18,95	19,00	18,90	30,75
μήκος	250,00				

T17 (289,366 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,08	5,94	6,02	5,93	5,92
πλάτος	30,60	18,70	18,70	18,70	30,50
μήκος	250,00				

T18 (305,267 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,14	6,10	6,11	6,07
πλάτος	30,85	18,85	18,90	18,85	30,80
μήκος	250,00				

T19 (315,018g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,14	6,17	6,17	6,16	6,18
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,05	31,10
μήκος	250,00				

T20 (314,060g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,14	6,17	6,18	6,19	6,19
πλάτος	30,95	19,00	18,95	18,90	31,05
μήκος	250,00				

T21 (315,923g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,18	6,19	6,20	6,20
πλάτος	31,00	19,00	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T22 (315,820g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,16	6,19	6,19	6,21
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T23 (314,559g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,16	6,16	6,16	6,19	6,19
πλάτος	31,00	18,95	19,00	18,95	31,15
μήκος	250,00				

T24 (314,159g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,15	6,16	6,18	6,19
πλάτος	31,00	18,95	18,95	18,95	31,05
μήκος	250,00				

T25 (315,061g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,19	6,19	6,18	6,17	6,15
πλάτος	31,10	19,00	19,00	19,00	31,25
μήκος	250,00				

T19 (272,263g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,66	5,88	5,96	5,92	5,97
πλάτος	30,45	18,75	18,60	18,70	30,40
μήκος	249,70				

T20 (314,060g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,72	5,74	5,84	5,97	5,86
πλάτος	30,40	18,45	18,40	18,50	30,30
μήκος	249,75				

T21 (288,215g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,05	6,10	6,03	6,04	6,05
πλάτος	30,40	18,65	18,65	18,70	30,60
μήκος	249,85				

T22 (284,094g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,98	6,00	5,99	5,96	6,02
πλάτος	30,45	18,60	18,55	18,55	30,40
μήκος	149,70				

T23 (283,493g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,95	5,87	5,86	5,98	5,91
πλάτος	30,45	18,55	18,50	18,60	30,65
μήκος	249,75				

T24 (290,562 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,95	5,96	5,98	6,01	6,00
πλάτος	30,55	18,85	18,60	18,55	30,55
μήκος	250,00				

T25 (269,669g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,89	5,93	5,85	5,88	5,87
πλάτος	30,60	18,55	18,45	18,50	30,35
μήκος	249,80				

4.3.2. Συγκολλημένα δοκίμια εφελκυσμού

Αναλυτικά, οι διαστάσεις των συγκολλημένων δοκιμίων εφελκυσμού, πριν την είσοδο και μετά την έξοδό τους από τον θάλαμο αλλατονέφωσης, που χρησιμοποιήθηκαν στις μηχανικές δοκιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

ΠΡΙΝ ΤΟ ΘΑΛΑΜΟ

<i>Tension</i>					
6T2 (319,389g)					
	1*	2	3	4	5
πάχος	6,36	5,64	5,63	5,62	6,39
πλάτος	31,05	19,05	19,05	19,05	31,05
μήκος	254,00				

3T2 (304,524g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,16	5,14	5,11	5,15	6,18
πλάτος	31,10	19,05	19,00	19,00	31,10
μήκος	254,00				

1T2 (308,049g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,54	5,12	5,14	5,14	6,16
πλάτος	31,05	19,00	19,00	19,00	31,00
μήκος	253,50				

4T2 (309,802g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,23	5,40	5,51	5,53	6,20
πλάτος	30,95	18,95	18,95	18,95	30,95
μήκος	254,00				

4T1 (323,713g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,24	6,26	6,22	6,18	6,19
πλάτος	31,05	19,00	18,95	19,05	31,00
μήκος	254,00				

7T1 (318,155g)

	1	2	3	4	5
πάχος	5,98	6,03	6,27	6,27	6,27
πλάτος	30,95	18,95	19,00	19,00	31,00
μήκος	254,00				

3T1 (322,940g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,20	6,21	6,35	6,22	6,22
πλάτος	31,00	19,00	19,00	19,00	31,00
μήκος	253,50				

6T1 (340,911g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,51	6,54	6,48	6,65	6,60
πλάτος	31,05	19,00	19,00	19,05	31,00
μήκος	254,00				

ΜΕΤΑ ΤΟ ΘΑΛΑΜΟ

<i>Tension</i>					
6T2 (293,272 g)					
	1*	2	3	4	5
πάχος	6,20	5,40	5,38	5,43	6,30
πλάτος	30,60	18,85	18,60	18,80	30,60
μήκος	254,00				

3T2 (244,752g)

	1	2	3	4	5
πάχος	5,88	4,48	4,49	4,87	5,45
πλάτος	30,50	18,85	18,65	18,83	30,60
μήκος	253,90				

1T2 (308,049g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,06	4,74	4,88	4,57	5,99
πλάτος	30,50	18,65	18,60	18,60	30,40
μήκος	253,40				

4T2 (284,664 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,09	5,24	5,29	5,22	6,06
πλάτος	30,60	18,75	18,50	18,65	30,60
μήκος	254,00				

4T1 (315,024 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,19	6,18	6,05	6,12	6,17
πλάτος	30,80	18,75	18,80	18,80	30,80
μήκος	254,00				

7T1 (318,155g)

	1	2	3	4	5
πάχος	5,86	5,90	6,04	6,11	6,17
πλάτος	30,50	18,65	18,50	18,60	30,55
μήκος	253,90				

3T1 (315,024 g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,18	6,18	6,19	6,16	6,16
πλάτος	30,75	18,85	18,85	18,85	30,80
μήκος	253,50				

6T1 (311,109g)

	1	2	3	4	5
πάχος	6,34	6,30	6,17	6,51	6,42
πλάτος	30,45	18,70	18,50	18,65	30,50
μήκος	253,80				

Τα σημεία 1, 2, 3, 4 και 5 που υπάρχουν στους παραπάνω πίνακες αντιστοιχούν σε αποστάσεις 3.5, 8.5, 12.5, 16.5 και 21.5 cm αντίστοιχα από την αριστερή ακμή του δοκιμίου. Στα σημεία αυτά έχουν γίνει οι μετρήσεις για τις διαστάσεις των δοκιμίων.

Το χρώμα που έχει κάθε πίνακας αντιστοιχεί στον χρόνο παραμονής του δοκιμίου στον θάλαμο αλατονέφωσης, όπως φαίνεται και στο πλαϊνό πίνακα.

20 ημέρες

40 ημέρες

60 ημέρες

90 ημέρες

4.3.3. Συγκολλημένα δοκίμια κάμψης

Αναλυτικά, οι διαστάσεις των συγκολλημένων δοκιμίων κάμψης, πριν την είσοδο και μετά την έξοδο τους από το θάλαμο αλατονέφωσης, που χρησιμοποιήθηκαν στις δοκιμές φαίνονται στους παρακάτω πίνακες.

<i>Bending</i>			
1B1 (286,164g)			
	1	2	3
πάχος	6,81	6,84	6,21
πλάτος	38,00	37,95	37,95
μήκος	152,70		

<i>Bending</i>			
1B1 (273,071 g)			
	1	2	3
πάχος	6,60	6,23	6,12
πλάτος	37,80	37,75	37,80
μήκος	152,70		

1B2 (287,858g)			
	1	2	3
πάχος	6,80	6,71	6,21
πλάτος	38,05	38,05	38,05
μήκος	153,00		

1B2 (279,765 g)			
	1	2	3
πάχος	6,72	6,60	6,17
πλάτος	37,80	37,80	37,85
μήκος	153,00		

1B3 (281,811g)			
	1	2	3
πάχος	6,18	6,85	6,86
πλάτος	38,00	38,05	38,05
μήκος	153,00		

1B3 (278,938 g)			
	1	2	3
πάχος	6,16	6,74	6,75
πλάτος	37,80	37,70	37,80
μήκος	153,00		

1B4 (281,667g)			
	1	2	3
πάχος	6,15	6,36	6,60
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,90		

1B4 (251,996g)			
	1	2	3
πάχος	6,05	6,17	6,06
πλάτος	37,40	37,35	37,40
μήκος	152,85		

3B3 (275,801g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,57	6,19
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,00		

3B3 (251,302g)			
	1	2	3
πάχος	5,98	6,28	6,09
πλάτος	37,20	37,50	37,40
μήκος	152,95		

3B2 (274,429g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,24	6,20
πλάτος	38,05	38,00	38,00
μήκος	153,00		

3B2 (258,816g)			
	1	2	3
πάχος	6,00	6,16	6,03
πλάτος	38,05	38,00	38,00
μήκος	152,90		

3B4 (277,196g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,77	6,20
πλάτος	38,05	38,05	38,05
μήκος	152,80		

3B4 (245,344g)			
	1	2	3
πάχος	6,11	6,42	6,11
πλάτος	37,35	37,50	37,45
μήκος	152,50		

4B1 (276,002g)			
	1	2	3
πάχος	6,23	6,44	6,27
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,15		

4B1 (249,707g)			
	1	2	3
πάχος	6,07	5,91	6,06
πλάτος	37,45	37,50	37,40
μήκος	153,05		

4B2 (274,777g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,38	6,26
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,85		

4B2 (256,950 g)			
	1	2	3
πάχος	6,10	6,17	6,13
πλάτος	37,65	37,65	37,45
μήκος	152,85		

4B3 (275,436g)			
	1	2	3
πάχος	6,26	6,36	6,25
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,00		

4B3 (255,222g)			
	1	2	3
πάχος	6,10	6,11	6,06
πλάτος	37,60	37,55	37,50
μήκος	153,00		

4B4 (275,420g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,29	6,25
πλάτος	37,95	37,85	38,00
μήκος	153,00		

4B4 (257,982 g)			
	1	2	3
πάχος	6,12	6,07	6,11
πλάτος	37,45	37,45	37,50
μήκος	153,00		

6B2 (288,036g)			
	1	2	3
πάχος	6,51	6,49	6,53
πλάτος	38,00	37,95	37,95
μήκος	152,90		

6B2 (269,270 g)			
	1	2	3
πάχος	6,36	6,26	6,49
πλάτος	37,50	37,40	37,50
μήκος	152,90		

6B1 (290,286g)			
	1	2	3
πάχος	6,62	6,89	6,51
πλάτος	38,10	38,00	38,00
μήκος	152,80		

6B1 (257,942g)			
	1	2	3
πάχος	6,44	6,32	6,35
πλάτος	37,35	37,45	37,50
μήκος	152,55		

7B4 (264,735g)			
	1	2	3
πάχος	6,23	6,40	6,24
πλάτος	36,50	36,40	36,30
μήκος	152,95		

7B4 (233,719g)			
	1	2	3
πάχος	5,89	6,01	6,12
πλάτος	36,10	35,95	35,85
μήκος	152,55		

7B1 (271,951g)			
	1	2	3
πάχος	6,06	6,08	6,23
πλάτος	38,10	38,10	38,10
μήκος	153,00		

7B1 (271,951g)			
	1	2	3
πάχος	5,67	5,50	6,10
πλάτος	37,50	37,55	37,45
μήκος	152,50		

7B3 (276,910g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,37	6,23
πλάτος	38,00	38,00	38,05
μήκος	153,00		

7B3 (269,308 g)			
	1	2	3
πάχος	6,16	6,24	6,21
πλάτος	37,90	37,80	37,80
μήκος	153,00		

Τα σημεία 1, 2 και 3 που υπάρχουν στους παραπάνω πίνακες αντιστοιχούν σε αποστάσεις (cm) από την αριστερή ακμή του δοκιμίου, όπως φαίνεται στον διπλανό πίνακα. Στα σημεία αυτά έχουν γίνει οι μετρήσεις για τις διαστάσεις των δοκιμίων κάμψης. Ο χρόνος παραμονής του κάθε δοκιμίου στο θάλαμο αλλατονέφωσης φαίνεται από το χρώμα που έχει ο κάθε πίνακας και ισχύει η ίδια χρωματική απεικόνιση με τους αντίστοιχους πίνακες των δοκιμίων εφελκυσμού.

	1	2	3
1B1	2,9	7,6	12,4
1B2	2,8	7,8	12,5
1B3	2,3	7,9	12,4
1B4	2,4	8,1	12,5
3B3	2,7	8,0	12,5
3B2	3,9	8,0	12,3
3B4	1,7	8,0	12,5
4B1	1,6	7,5	12,4
4B2	2,0	7,3	12,2
4B3	2,2	8,0	13,0
4B4	2,7	7,1	11,4
6B2	2,5	8,0	2,5
6B1	2,7	7,5	12,6
7B4	3,0	8,5	13,0
7B1	3,2	8,2	12,6
7B3	3,4	7,7	12,5

Κεφάλαιο 5 Δοκιμές εφελκυσμού

5.1 Εισαγωγή

Οι δοκιμές εφελκυσμού και κάμψης, που έλαβαν χώρα κατά την εκπόνηση της διπλωματικής αυτής εργασίας πραγματοποιήθηκαν στη μηχανή στατικών φορτίων που υπάρχει στο Εργαστήριο Ναυπηγικής Τεχνολογίας.

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών του εφελκυσμού σκοπός είναι η καταγραφή των τάσεων που ασκούνται στο δοκίμο, η επιμήκυνσή του, η εύρεση του ορίου διαρροής του, ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητάς του, καθώς και η δημιουργία του διαγράμματος τάσης – παραμόρφωσης και η σύγκριση μεταξύ τους. Η καταγραφή των αποτελεσμάτων γίνεται με τη βοήθεια ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή, ο οποίος είναι συνδεδεμένος μέσω μιας κονσόλας με ένα επιμηκυσιόμετρο MTS 630.12-50 για τη μέτρηση των παραμορφώσεων και με ηλεκτροεπιμηκυσιόμετρο (strain gage), επίσης για τη μέτρηση παραμορφώσεων, το οποίο είναι κολλημένο στο διάστημα του δοκιμίου όπου έχει μετρηθεί η μικρότερη διατομή του.

5.2 Μη διαβρωμένα δοκίμια

Αφού τα μη διαβρωμένα δοκίμια απέκτησαν τις διαστάσεις που προβλέπουν τα αντίστοιχα πρότυπα έγινε η καταγραφή των διαστάσεων τους (σε mm) αναλυτικά όπως φαίνεται στους αντίστοιχους πίνακες για μη συγκολλημένα (παρ. 5.2.1) και συγκολλημένα (παρ 5.2.2) δοκίμια.

5.2.1 Μη συγκολλημένα – μη διαβρωμένα δοκίμια


T1					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,28	6,21	6,19	6,19	6,24
πλάτος	30,85	19,07	19,07	19,08	30,90
μήκος	250,00				
T2					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,22	6,16	6,12	6,15	6,31
πλάτος	31,05	19,07	19,05	19,11	31,15
μήκος	250,00				

T4					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,22	6,16	6,16	6,19	6,30
πλάτος	31,05	19,05	19,07	19,11	31,00
μήκος	250,00				

T5					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,22	6,16	6,16	6,20	6,27
πλάτος	31,10	19,05	19,04	19,05	31,05
μήκος	250,00				

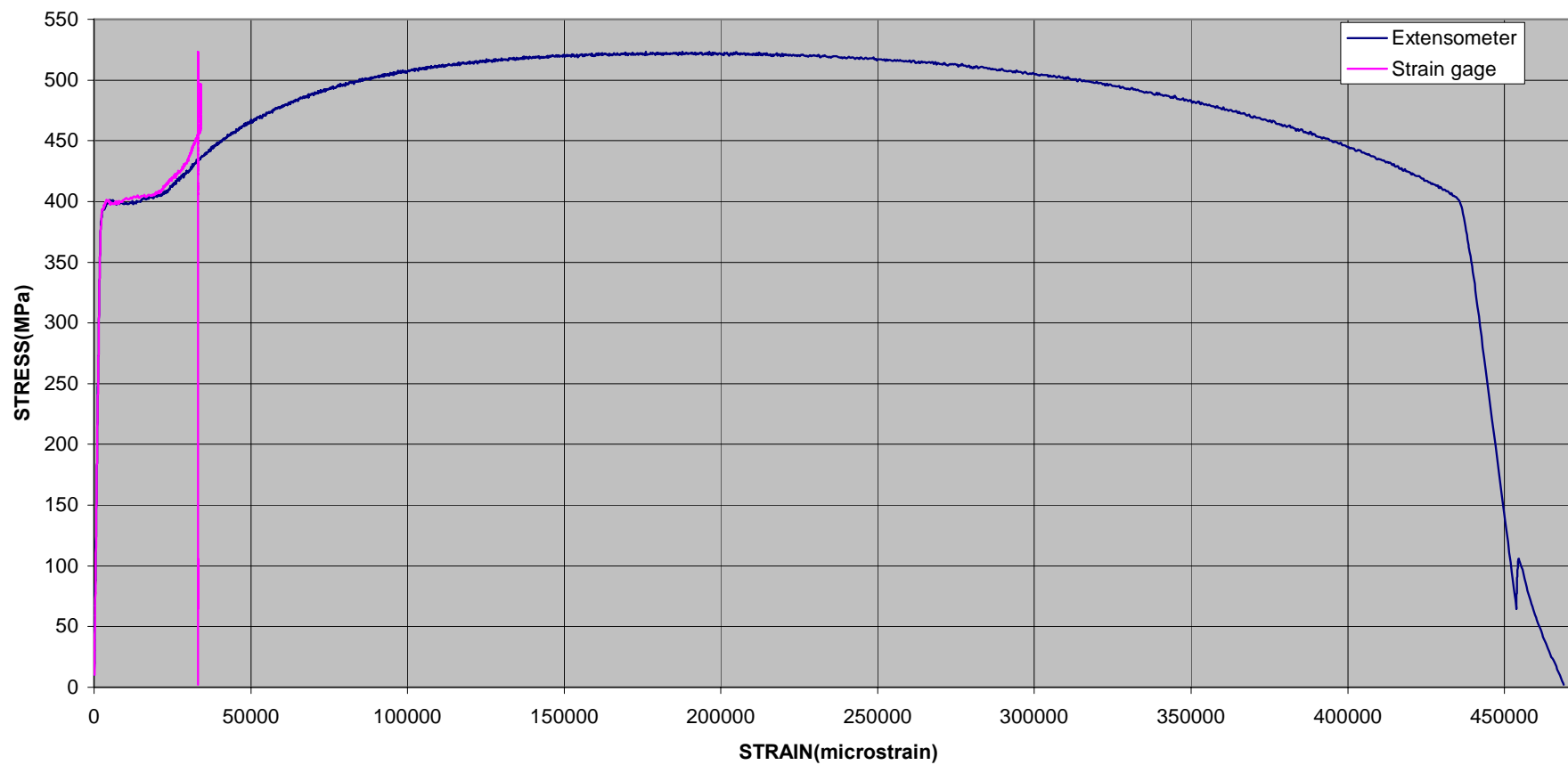
T6					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,22	6,15	6,16	6,16	6,26
πλάτος	31,10	18,92	18,92	18,97	31,05
μήκος	250,00				

Στη συνέχεια, έγινε τοπικός καθαρισμός με αιθανόλη στο κέντρο του δοκιμίου ώστε να γίνει δυνατή η προσκόλληση του strain gage και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καταγραφής των τάσεων του δοκιμίου από αυτό.

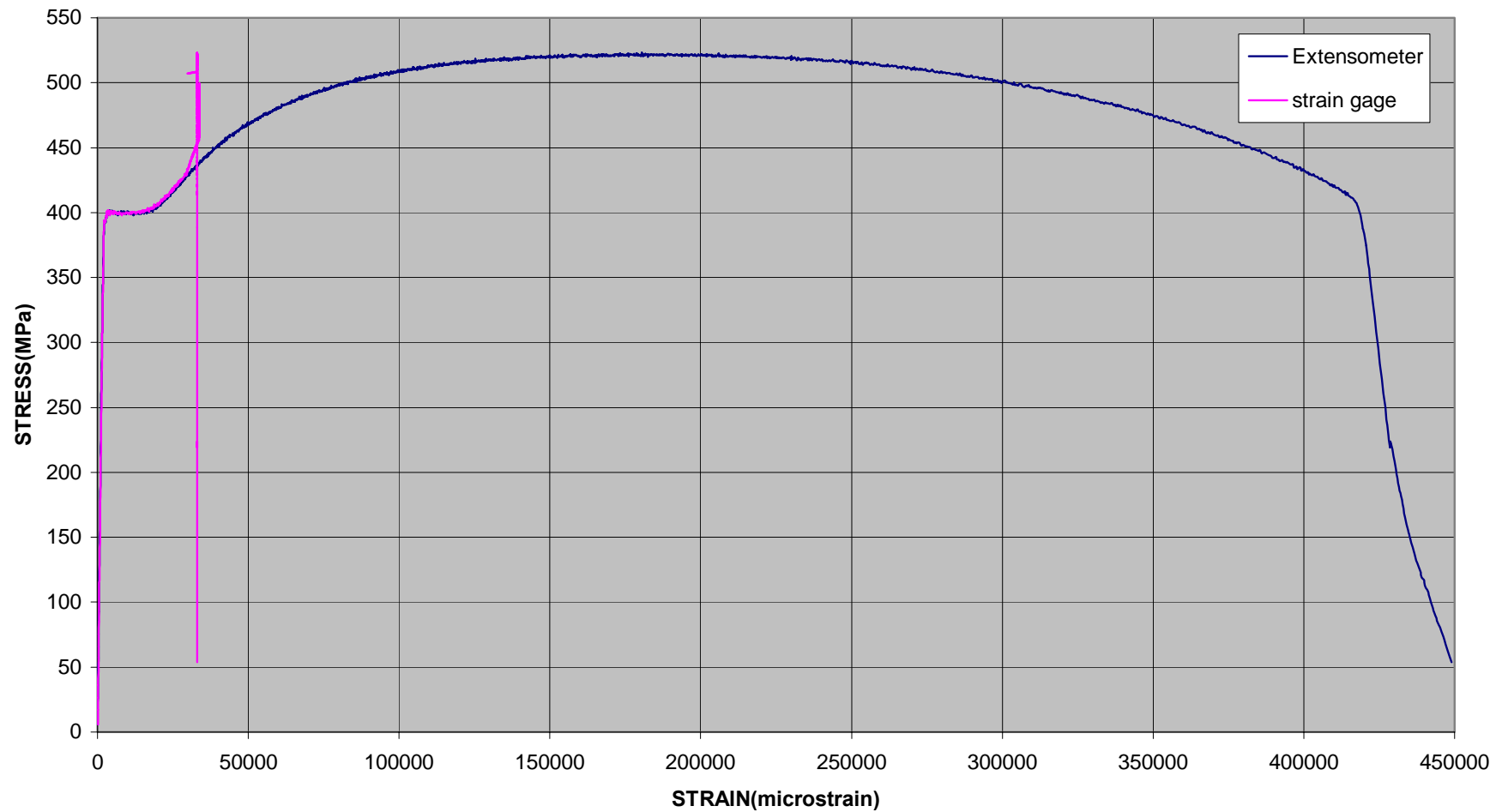
Για την πραγματοποίηση της μηχανικής δοκιμής του εφελκυσμού, το κάθε δοκίμιο τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση και οι αρπάγες της μηχανής συγκρατούν το δοκίμιο από τα άκρα, όπου είναι μεγαλύτερη η διατομή του. Η πίεση  φιάξης των αρπαγών της μηχανής είναι 20 MPa. Η ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται η άνω αρπάγη της μηχανής από την κάτω, αντιστοιχεί στην επιμήκυνση που έχει το δοκίμιο στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή στις δοκιμές εφελκυσμού ίση προς 1,2 mm/min, εκτός από τα δύο πρώτα δοκίμια, και συγκεκριμένα τα T2 και T1, όπου η ταχύτητα κατά τη διάρκεια των εφελκυσμών τους ήταν 2 mm/min και 1,5 mm/min, αντίστοιχα. Η μεταβολή αυτή στην ταχύτητα της μηχανής δεν επηρεάζει καθόλου την πραγματοποίηση της δοκιμής εφελκυσμού. Η μόνη διαφορά σε σχέση με τα υπόλοιπα δοκίμια είναι η μικρότερη συχνότητα καταγραφής των στοιχείων του πειράματος.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

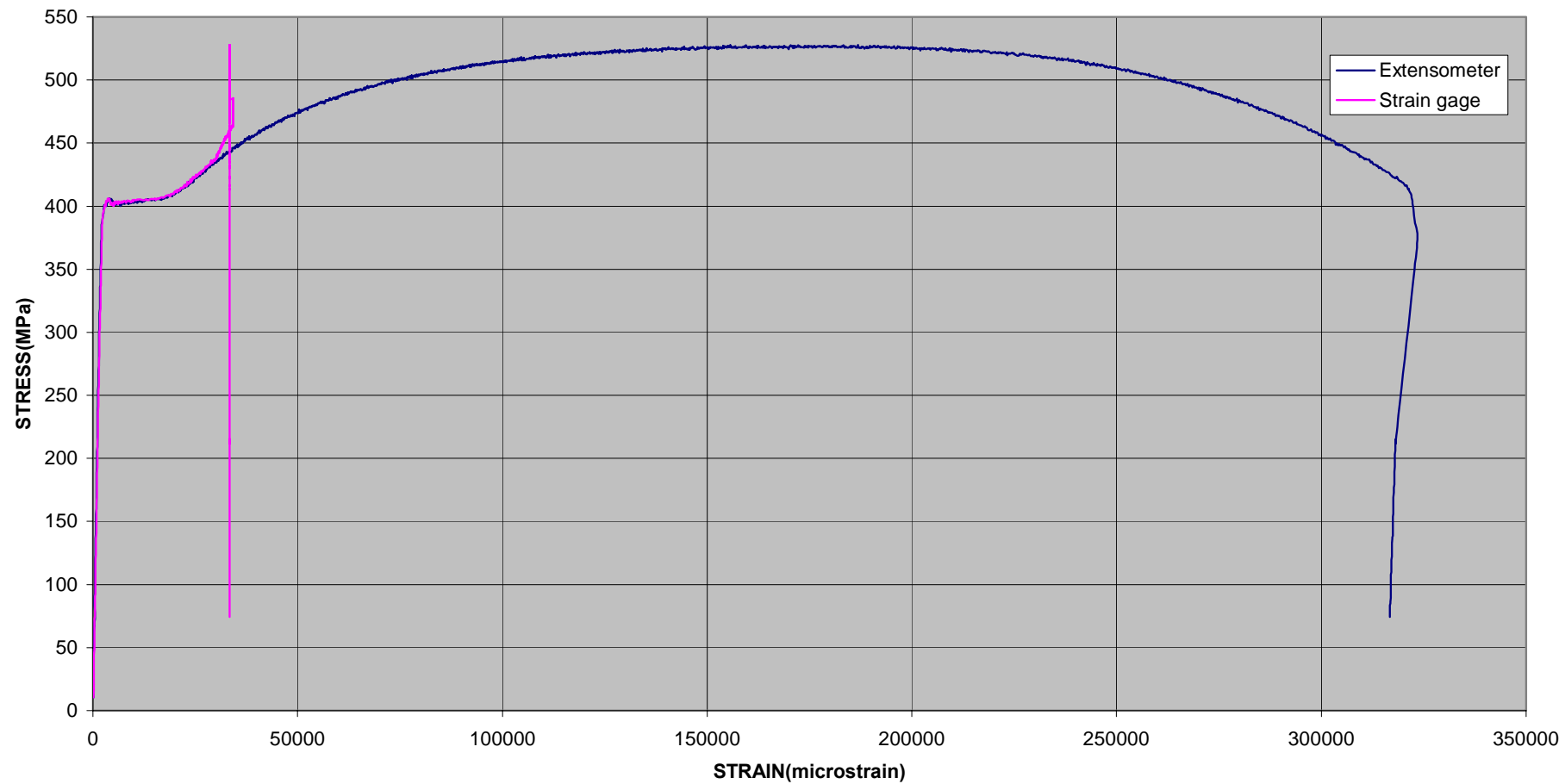
T6



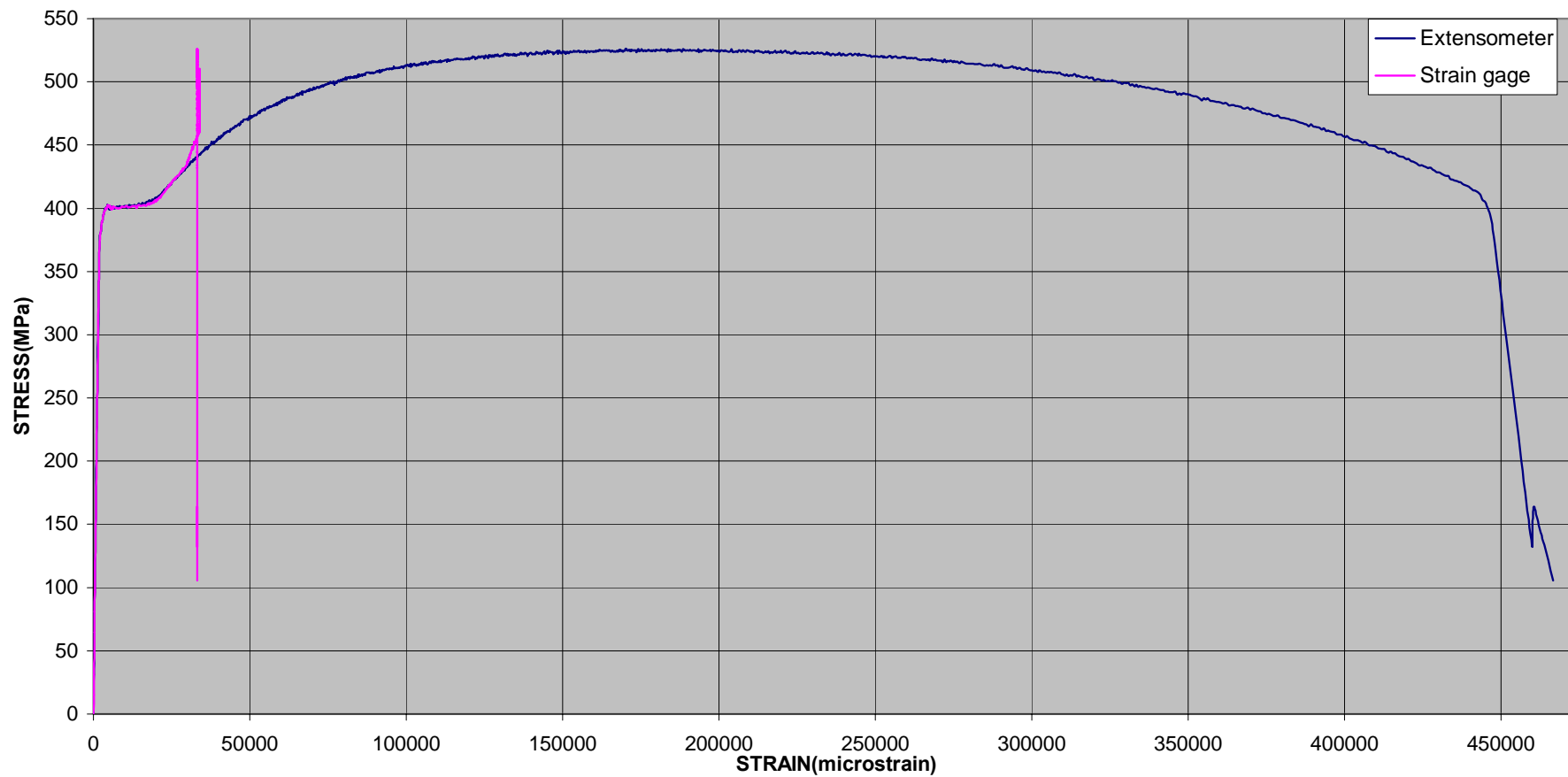
T5

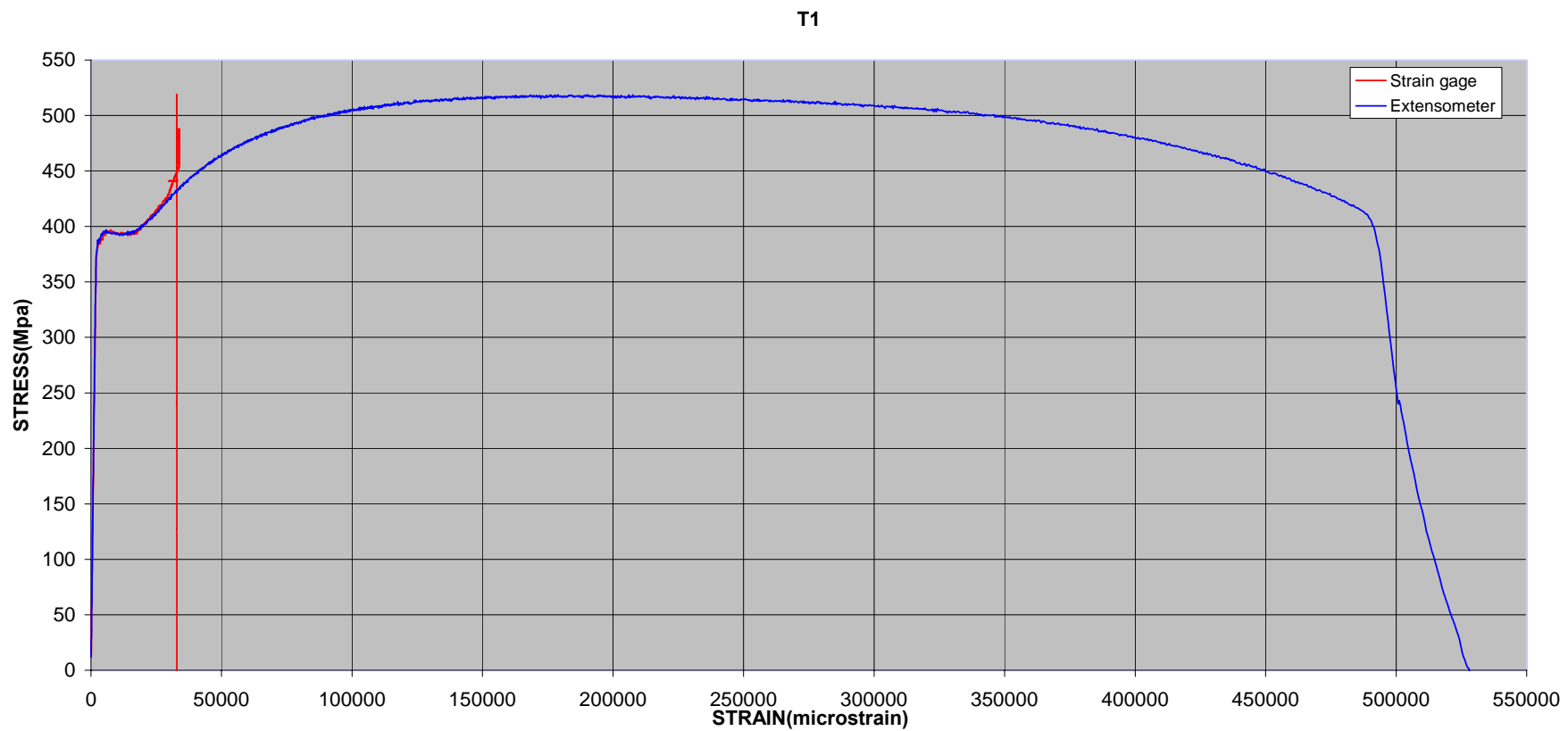


T4

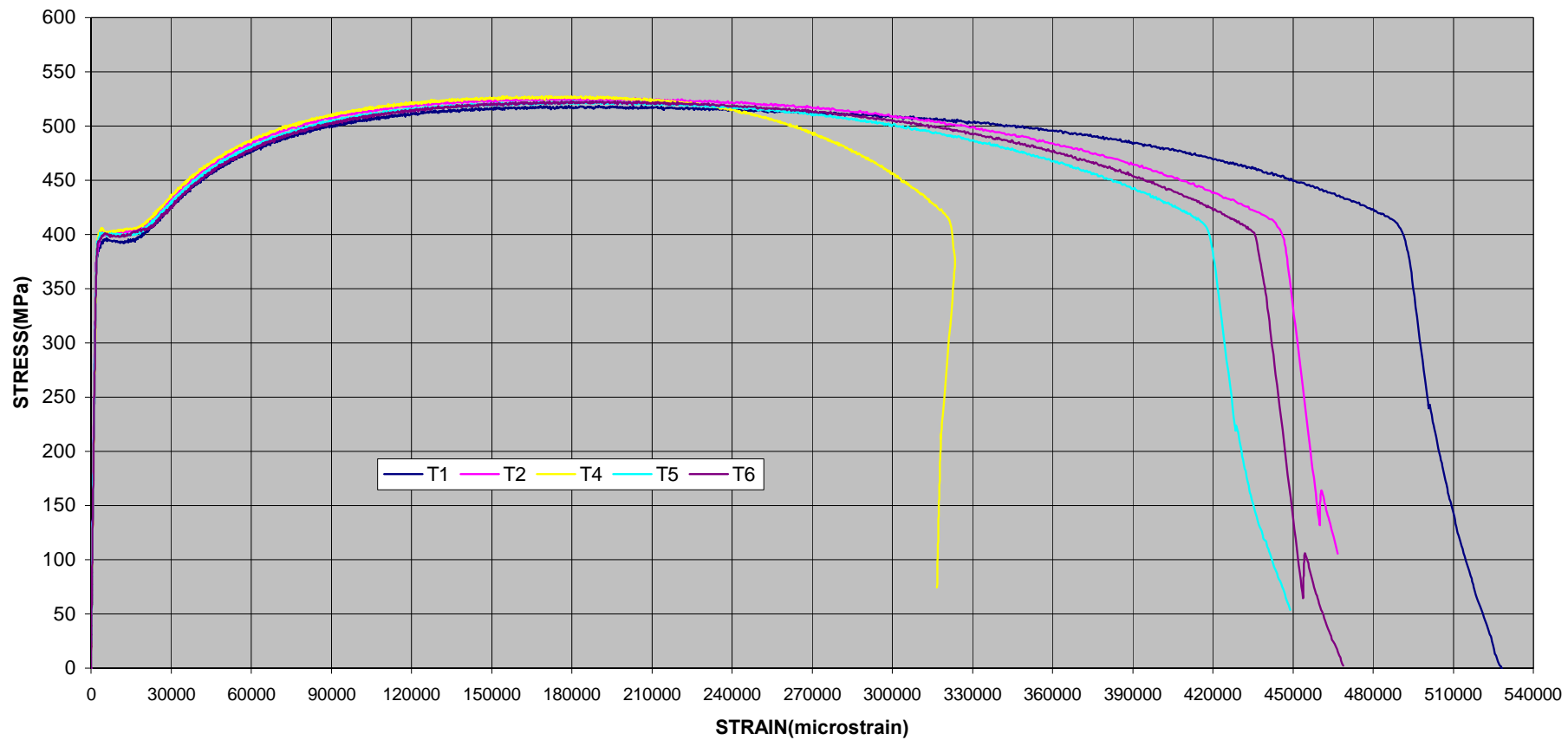


T2





ΜΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ




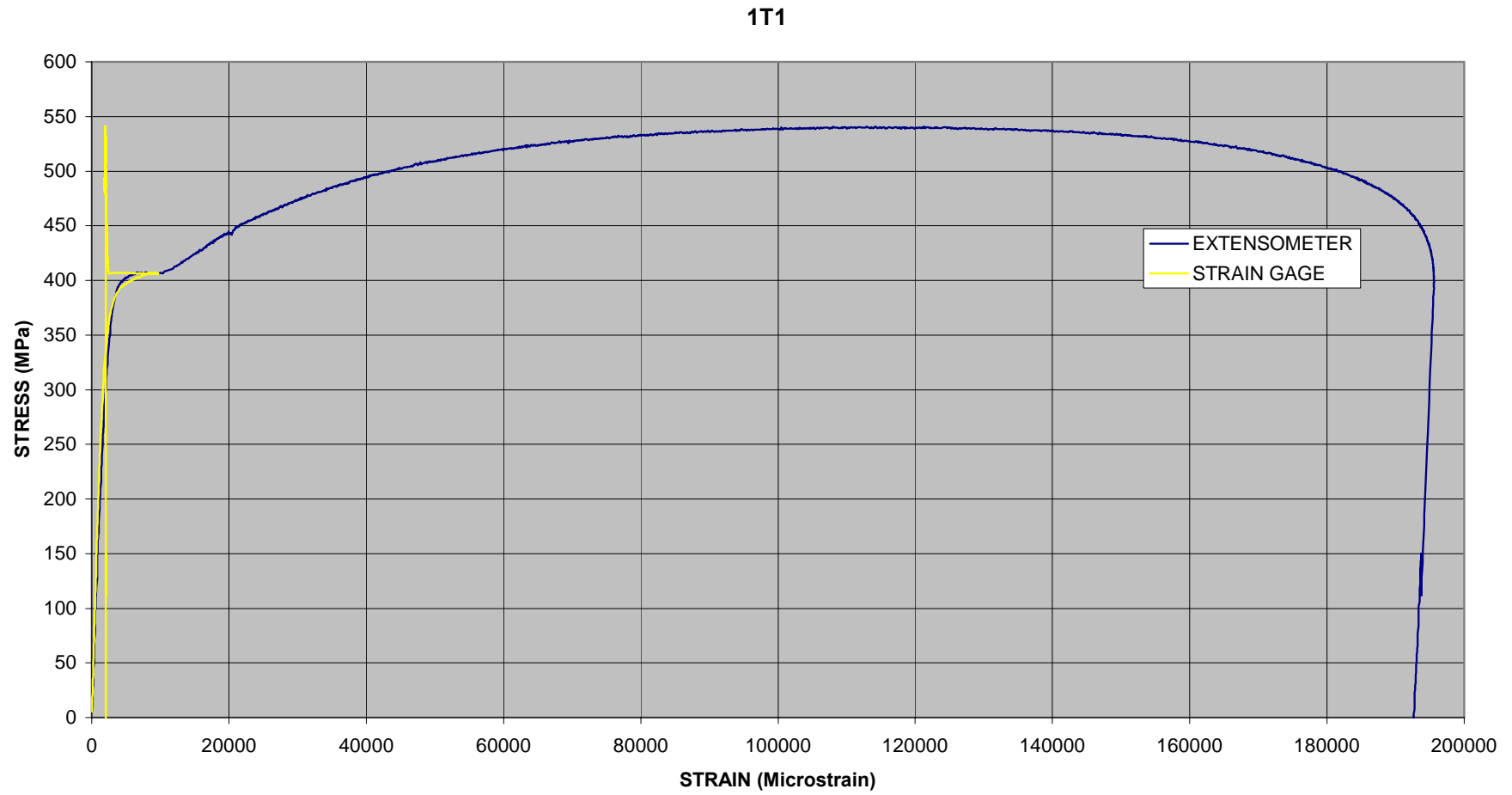
5.2.2 Συγκολλημένα – μη διαβρωμένα δοκίμια

7T2					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,19	5,41	5,38	5,38	6,19
πλάτος	31,05	19,23	19,14	19,14	31,10
μήκος	254,50				

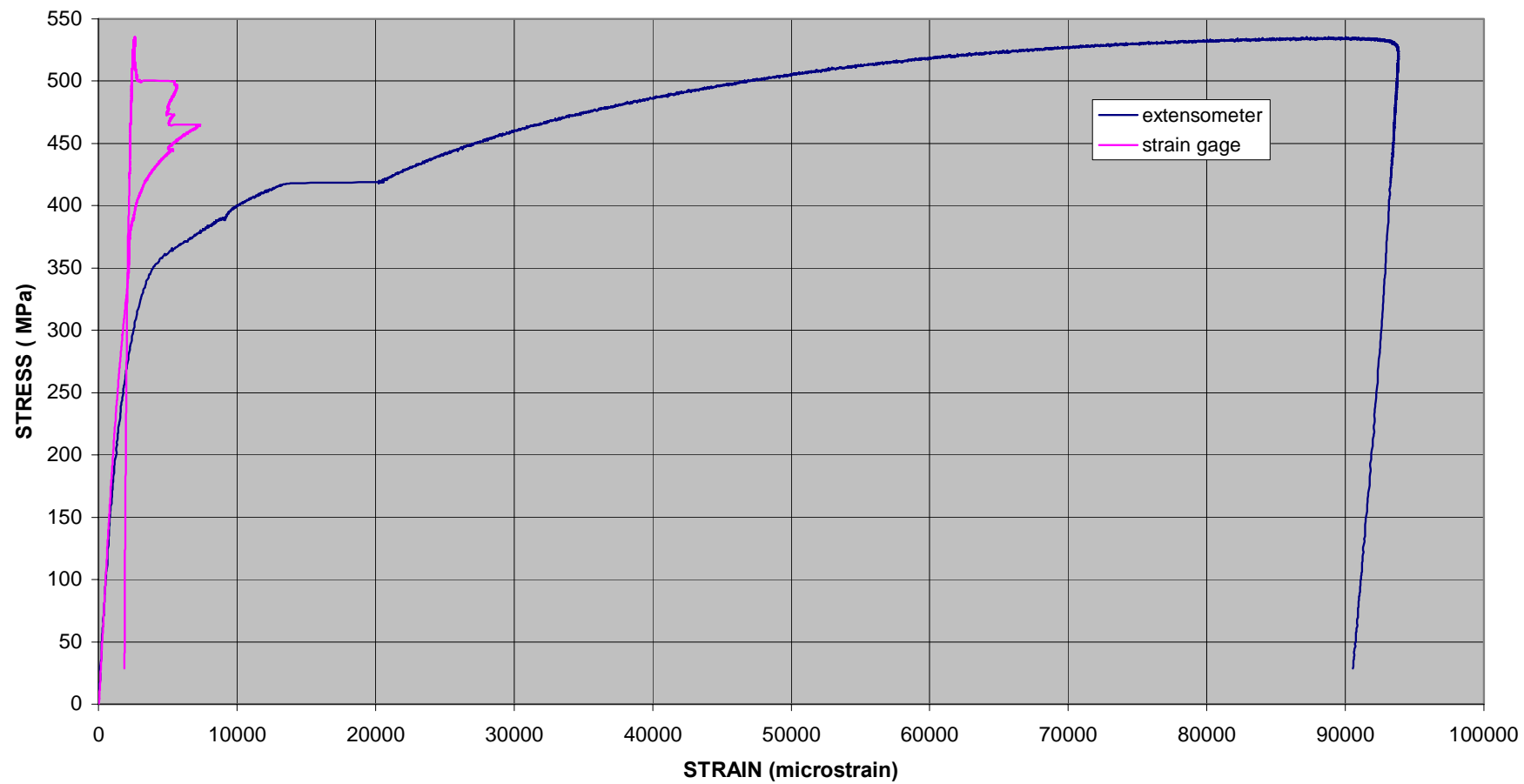
1T1					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,82	6,75	6,76	6,16	6,22
πλάτος	30,90	19,21	18,99	18,98	31,10
μήκος	254,00				

Στη συνέχεια, έγινε τοπικός καθαρισμός με αιθανόλη στο κέντρο του δοκιμίου ώστε να γίνει δυνατή η προσκόλληση του strain gage και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καταγραφής των τάσεων του δοκιμίου από αυτό.

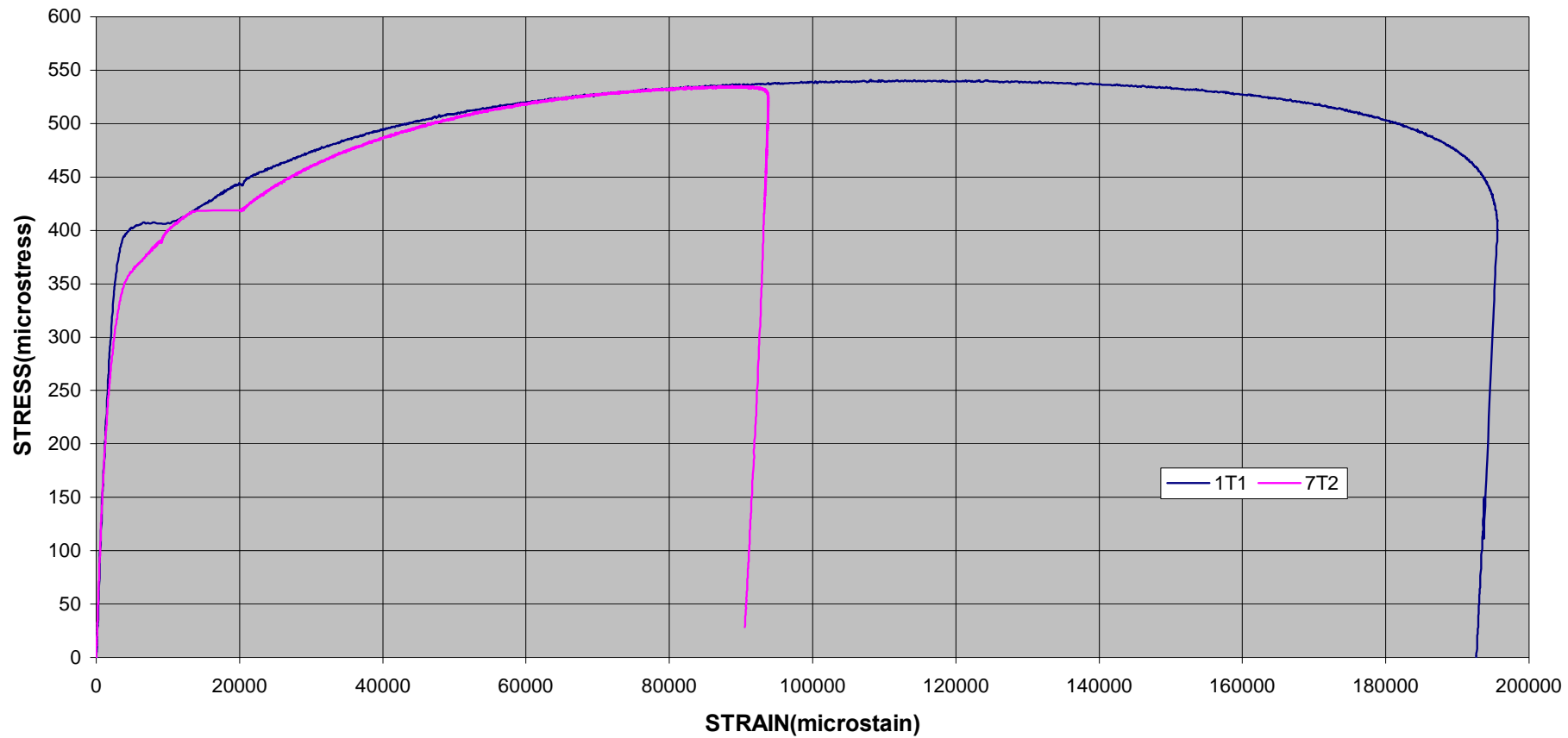
Για την πραγματοποίηση της μηχανικής δοκιμής του εφελκυσμού, το κάθε δοκίμιο τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση και οι αρπάγες της μηχανής συγκρατούν το δοκίμιο από τα άκρα, όπου είναι μεγαλύτερη η διατομή του. Η πίεση  φιάξης των αρπαγών της μηχανής είναι 20 MPa. Η ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται η άνω αρπάγη της μηχανής από την κάτω, αντιστοιχεί στην επιμήκυνση που έχει το δοκίμιο στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή στις δοκιμές εφελκυσμού ίση προς 1,2 mm/min. Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.



7T2



ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ



Από τα πρώτα αυτά διαγράμματα παρατηρείται αυτό που είναι αναμενόμενο για τον ναυπηγικό χάλυβα AH36, δηλαδή ότι το όριο διαρροής τόσο των μη συγκολλημένων όσο και των συγκολλημένων δοκιμίων είναι μεγαλύτερο από 350 MPa, σύμφωνα με το πρότυπο A131M της ASTM. Είναι, επίσης, φανερό από τα διαγράμματα ότι το όριο θραύσης είναι μεταξύ 490 και 620 Mpa, όπως δίνεται από το ίδιο πρότυπο.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των δοκιμών εφελκυσμού, στα μη συγκολλημένα δοκίμια και με τη χρήση των διαγραμμάτων μπορεί να υπολογιστεί το μέτρο ελαστικότητας E (MN/mm²) του χάλυβα AH36, όπως φαίνεται στον παρακάτω Πίνακα.

Δοκίμιο	E (σε MN/mm ²)
T1	0,19123
T2	0,19905
T4	0,18685
T5	0,19075
T6	0,19260
Μέσος Όρος	0,19209

5.3 Διαβρωμένα δοκίμια

Αφού τα διαβρωμένα δοκίμια απέκτησαν τις διαστάσεις που προβλέπουν τα αντίστοιχα πρότυπα, έγινε η καταγραφή των διαστάσεών τους (σε mm) πριν την είσοδο και μετά την έξοδό τους από τον θάλαμο αλλατονέφωσης.

5.3.1 Μη συγκολλημένα - διαβρωμένα δοκίμια

Τα πρώτα μη συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 20 ημέρες και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

T9 (312,912g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,12	6,14	6,14	6,16	6,18
πλάτος	31,00	19,10	19,05	19,05	31,00
μήκος	250,00				

T9 (305,395 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,07	6,11	6,11	6,14	6,14
πλάτος	30,75	18,90	18,80	19,00	30,70
μήκος	250,00				

T12 (313,860g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,14	6,14	6,17	6,16
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,10	31,05
μήκος	250,00				

T12 (303,728g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,07	6,07	6,07	6,04
πλάτος	30,80	18,90	18,85	18,85	30,75
μήκος	250,00				

T13 (313,935g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,15	6,15	6,13	6,17
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,05
μήκος	250,00				

T13 (305,188 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,06	6,10	6,09	6,11	6,14
πλάτος	30,80	18,90	18,85	18,80	30,85
μήκος	250,00				


T16 (313,462g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,12	6,16	6,16	6,20	6,21
πλάτος	31,00	19,05	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T16 (305,617 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,10	6,11	6,09	6,14	6,16
πλάτος	30,80	18,95	19,00	18,90	30,75
μήκος	250,00				

T18 (314,986g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,15	6,18	6,19	6,18
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,10	31,10
μήκος	250,00				

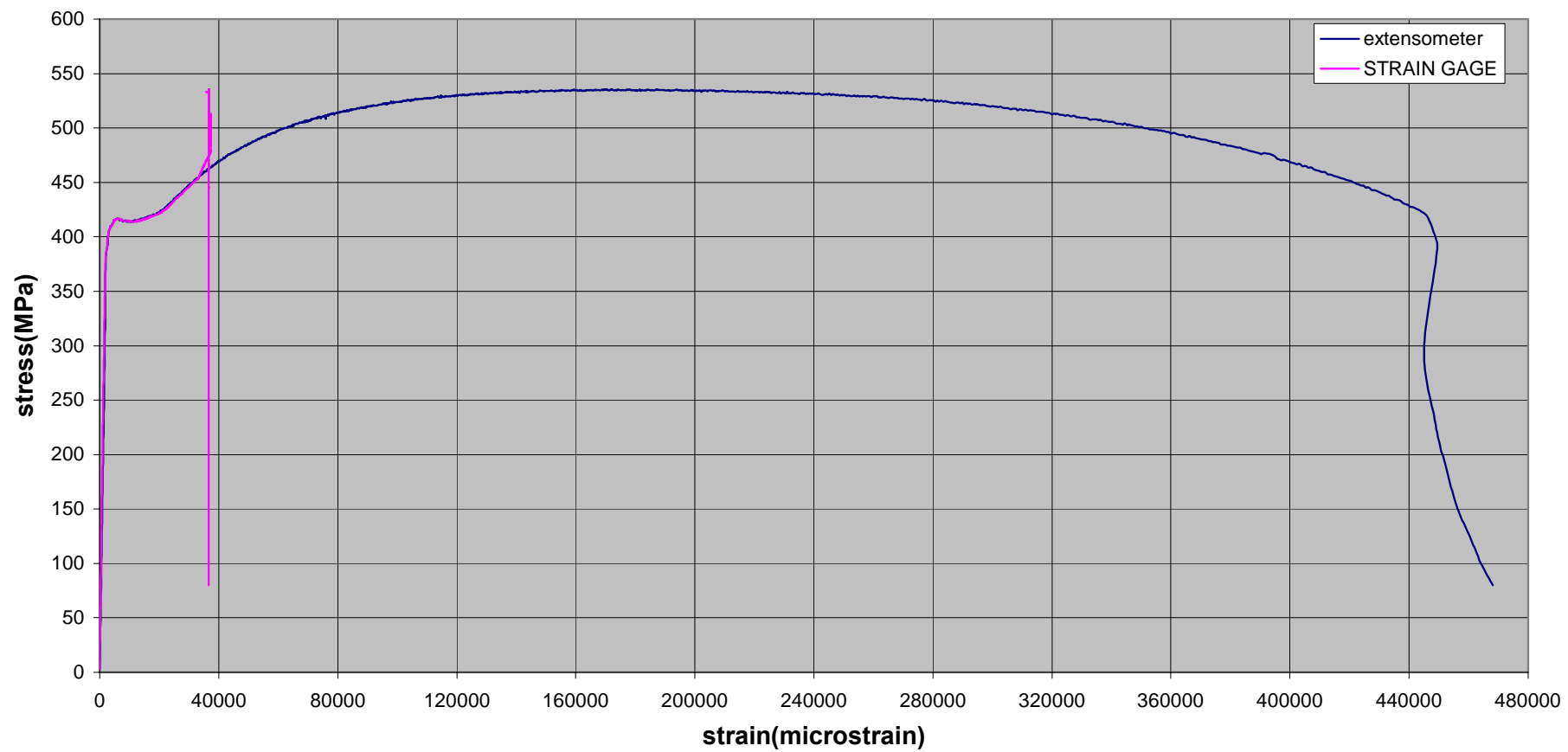
T18 (305,267 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,14	6,10	6,11	6,07
πλάτος	30,85	18,85	18,90	18,85	30,80
μήκος	250,00				

Στη συνέχεια, έγινε τοπικός καθαρισμός με αιθανόλη στο κέντρο του δοκιμίου ώστε να γίνει δυνατή η προσκόλληση του strain gage και για όσο το δυνατόν μεγαλύτερο χρονικό διάστημα καταγραφής των τάσεων του δοκιμίου από αυτό.

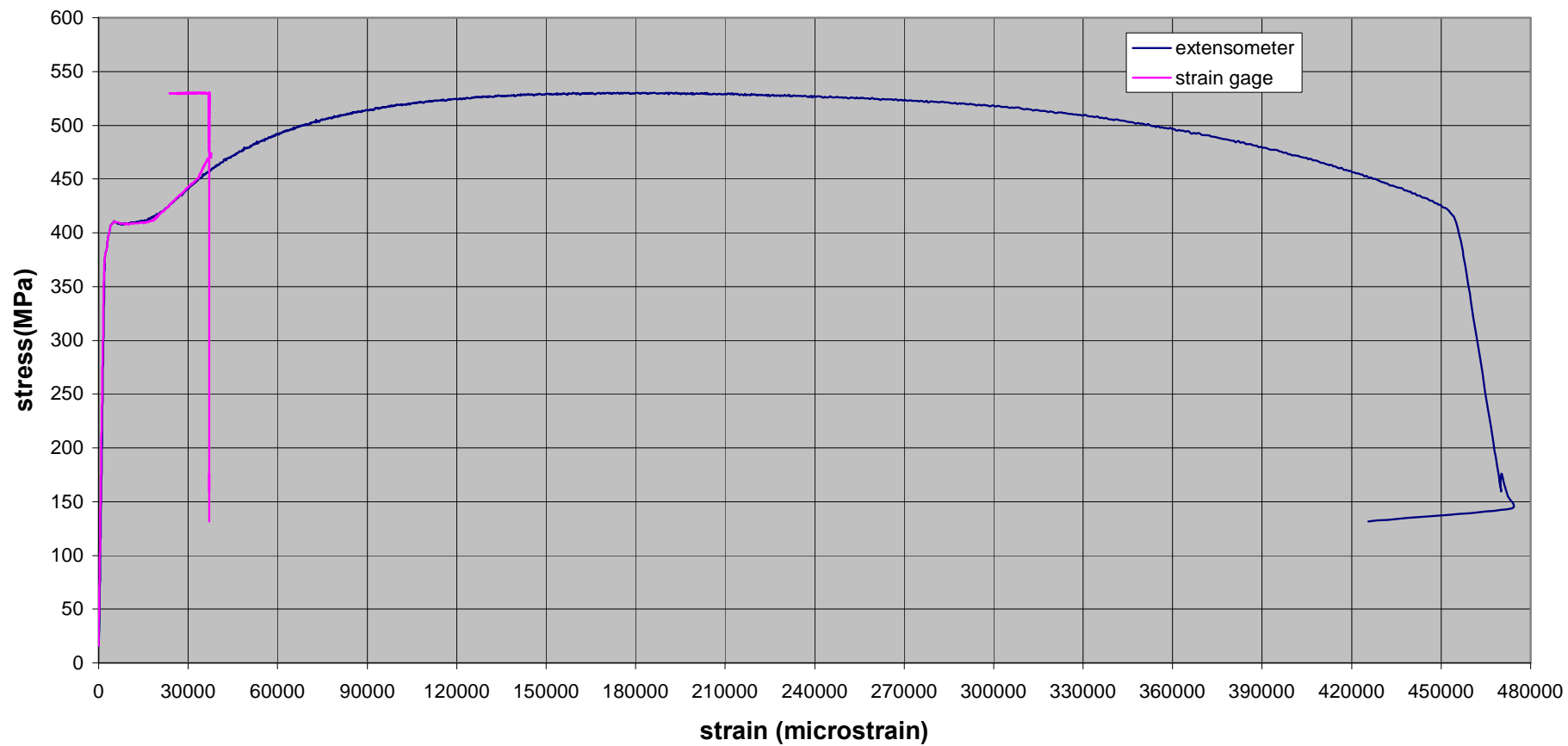
Η μηχανική δοκιμή του εφελκυσμού για τα διαβρωμένα δοκίμια πραγματοποιήθηκε υπό τις ίδιες συνθήκες με τα μη διαβρωμένα, ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων. Το κάθε δοκίμιο τοποθετείται σε κατακόρυφη θέση και οι αρπάγες της μηχανής συγκρατούν το δοκίμιο από τα άκρα, όπου είναι μεγαλύτερη η διατομή του. Η πίεση φίξης των αρπαγών της μηχανής είναι 20 MPa. Η ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία απομακρύνεται η άνω αρπάγη της μηχανής από την κάτω, αντιστοιχεί στην επιμήκυνση που έχει το δοκίμιο στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή στις δοκιμές εφελκυσμού στα 1,2 mm/min.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα

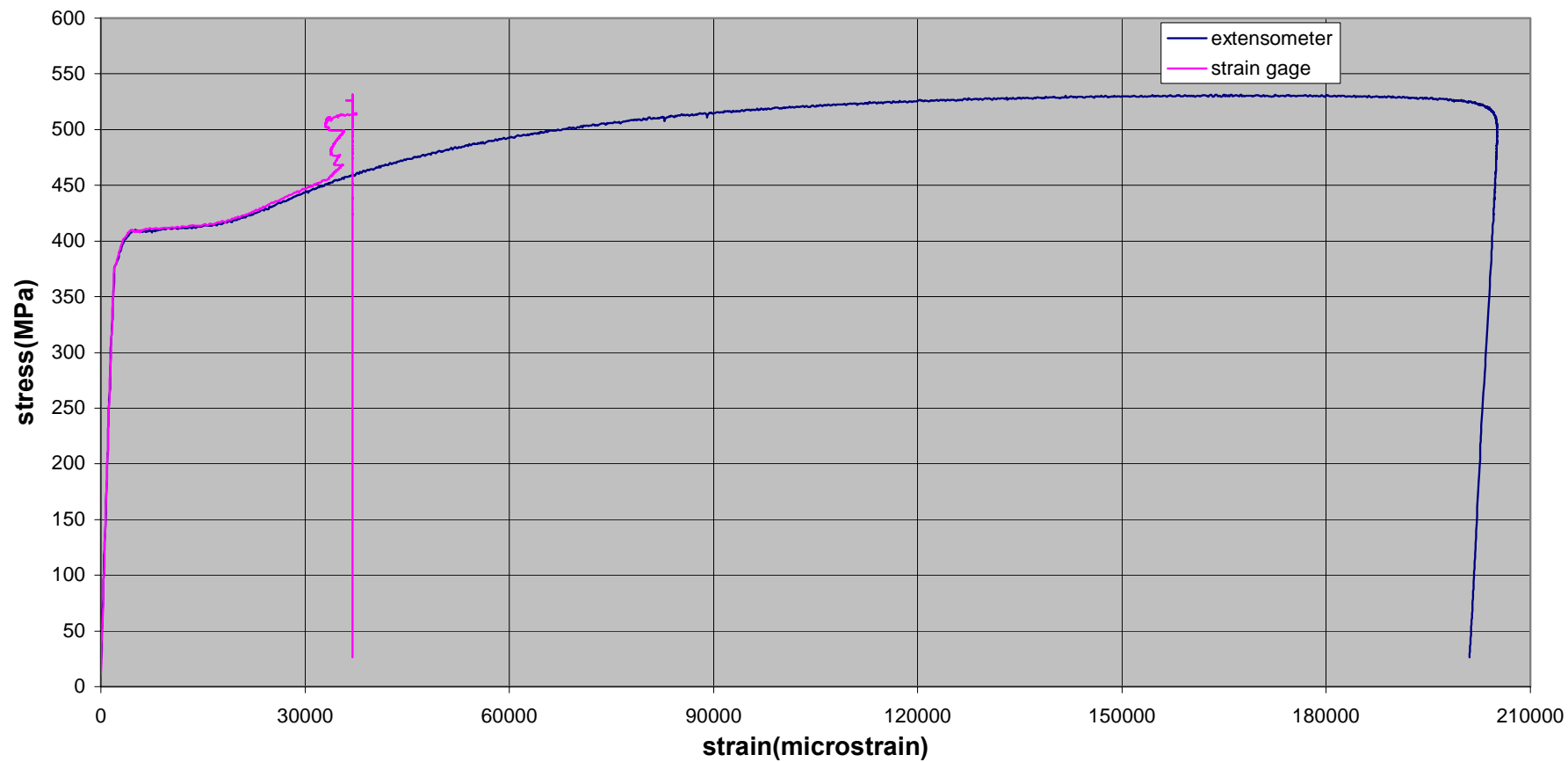
T9



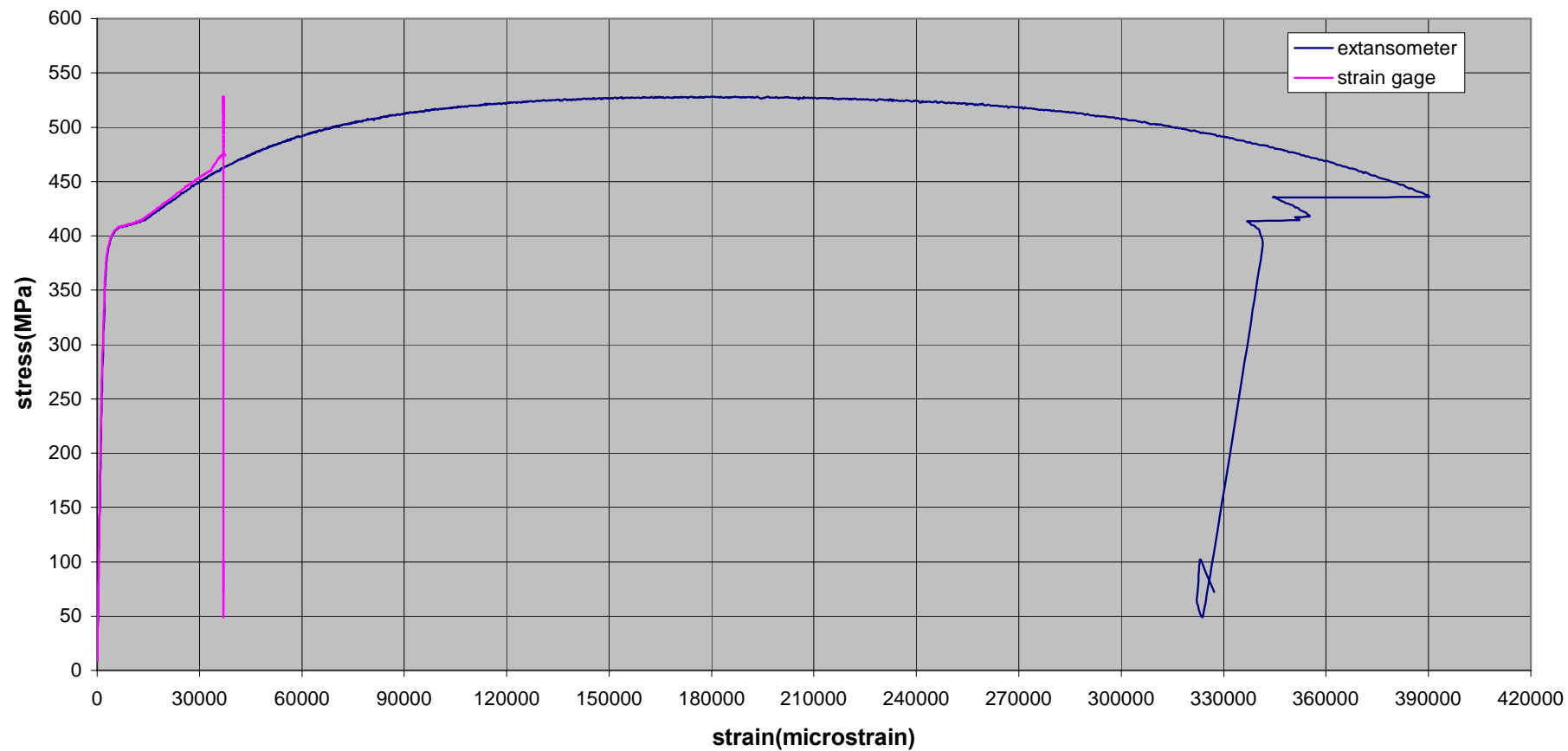
T12



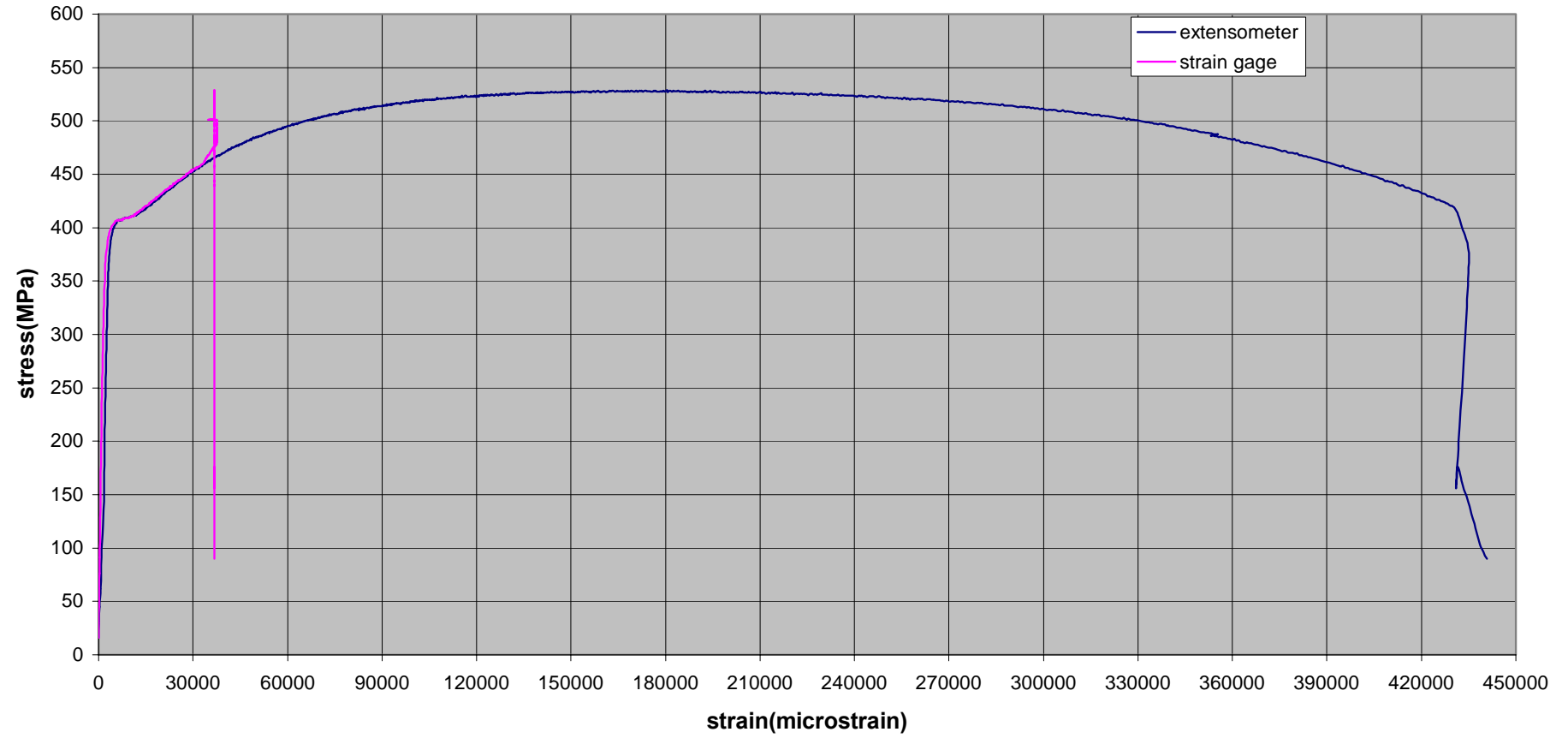
T13



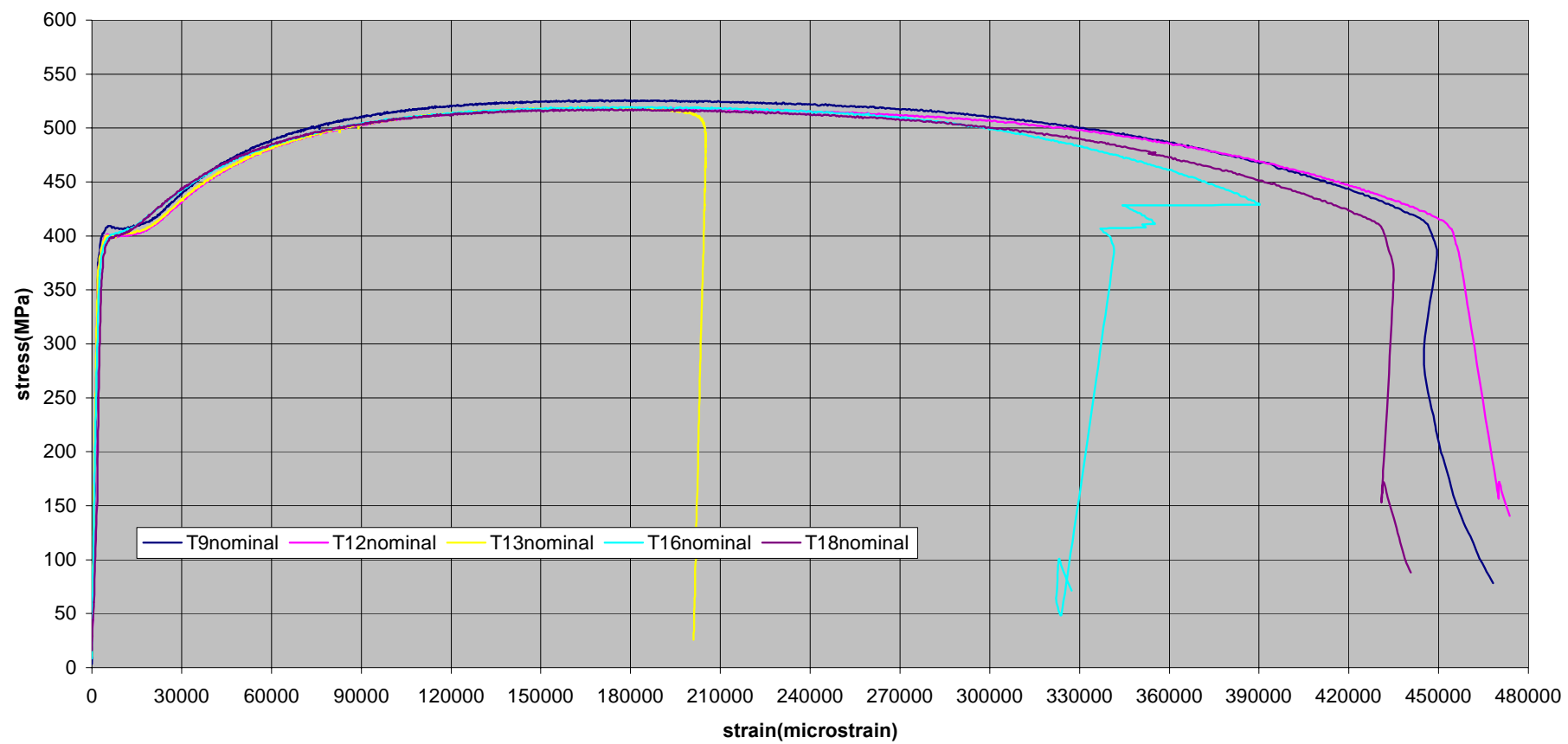
T16



T18



ΜΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΗΜΕΡΕΣ



Τα μη συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 40 ημέρες, καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

T7 (317,187g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,17	6,19	6,20	6,20	6,19
Πλάτος	30,90	18,90	18,90	18,90	31,15
Μήκος	250,00				

T7 (295,106 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,04	6,03	6,07	6,05	6,09
πλάτος	30,50	18,65	18,45	18,50	30,65
μήκος	250,00				

T8 (318,140g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,22	6,23	6,24	6,26	6,27
Πλάτος	30,95	19,15	19,10	19,10	31,00
Μήκος	250,00				

T8 (293,726 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,05	6,02	6,07	6,05	6,02
πλάτος	30,55	18,85	18,75	18,80	30,50
μήκος	250,00				

T14 (313,229g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,12	6,13	6,14	6,18	6,18
πλάτος	31,10	19,00	19,00	19,00	31,10
Μήκος	250,00				

T14 (292,597 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,00	5,99	6,02	6,04	6,08
πλάτος	30,65	18,70	18,70	18,80	30,75
μήκος	250,00				

T17 (313,550g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,18	6,18	6,17	6,21
πλάτος	31,05	18,95	19,00	19,00	31,00
μήκος	250,00				

T17 (289,366 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,08	5,94	6,02	5,93	5,92
πλάτος	30,60	18,70	18,70	18,70	30,50
μήκος	250,00				

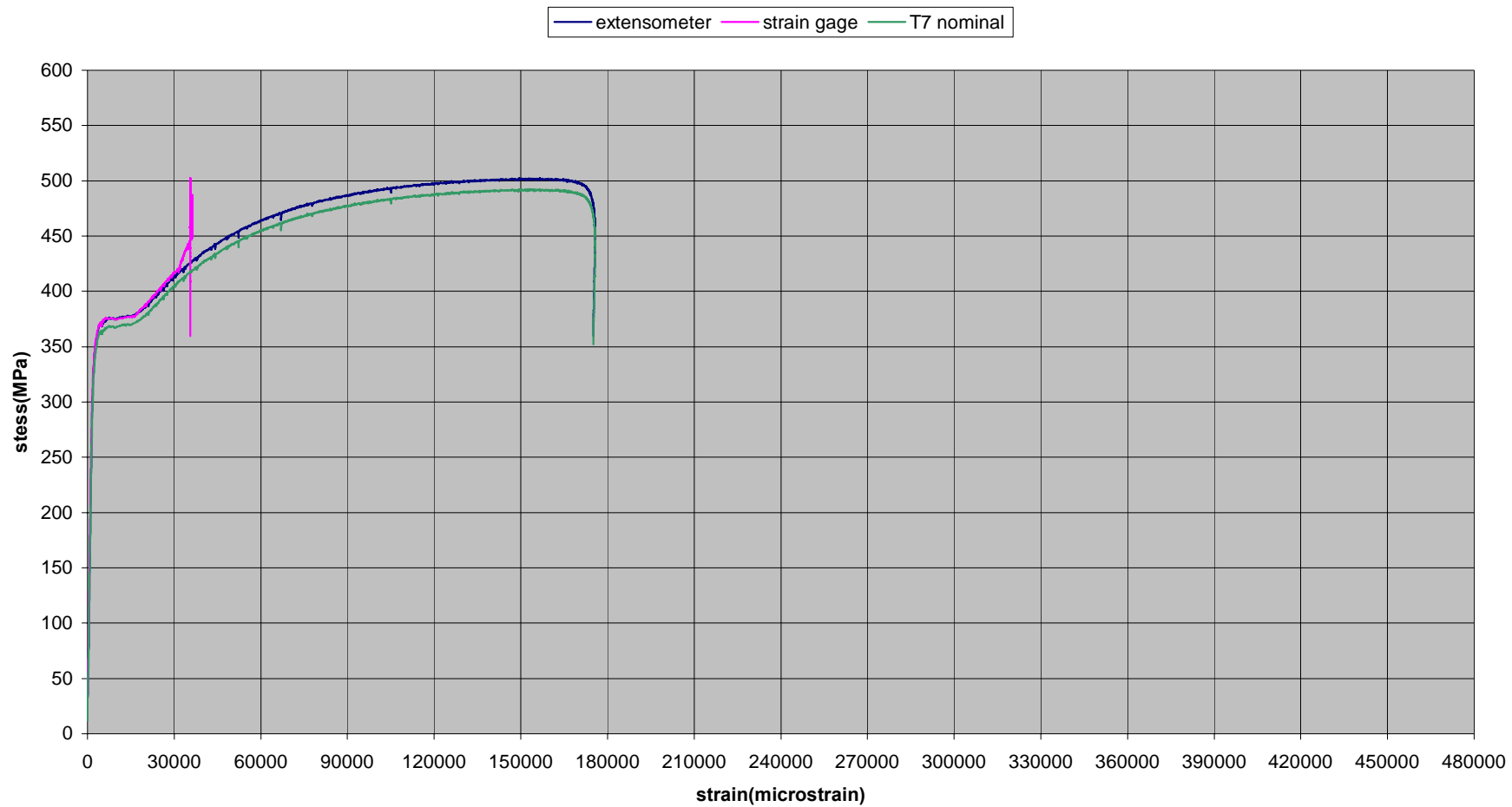
T24 (314,159g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,13	6,15	6,16	6,18	6,19
Πλάτος	31,00	18,95	18,95	18,95	31,05
Μήκος	250,00				

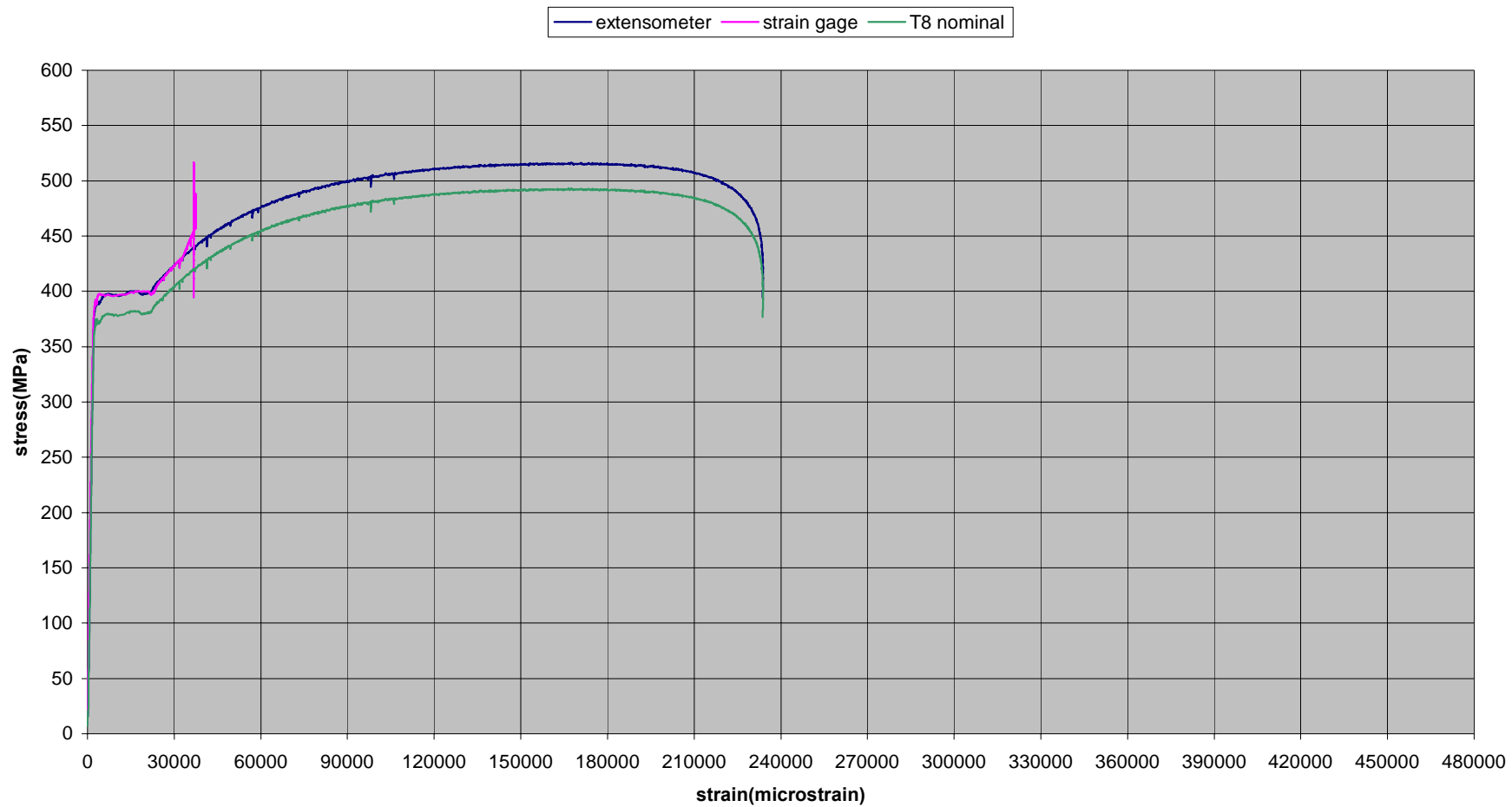
T24 (290,562 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,95	5,96	5,98	6,01	6,00
πλάτος	30,55	18,85	18,60	18,55	30,55
μήκος	250,00				

Στη συνέχεια, έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε εφελκυσμό όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

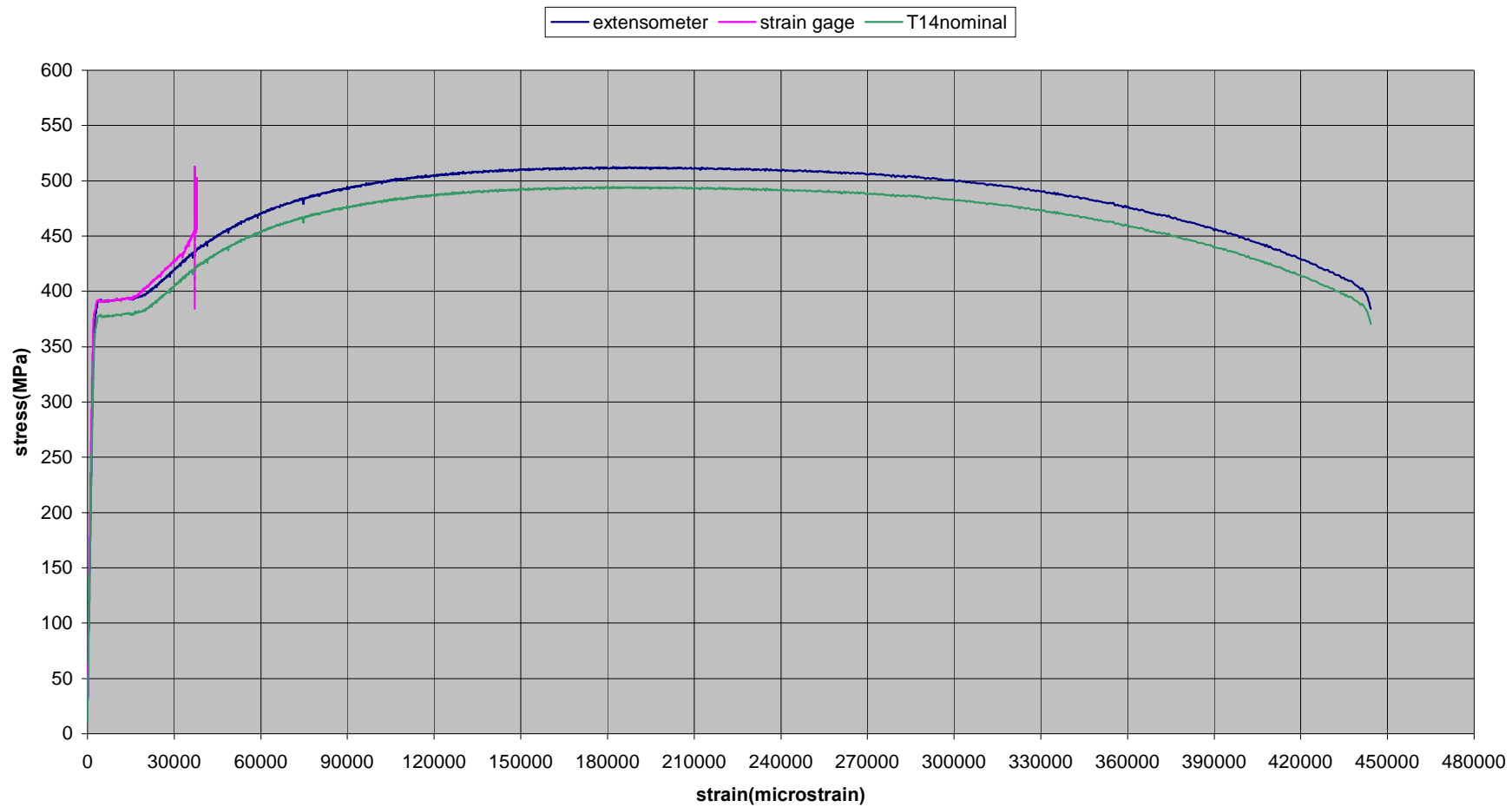
Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

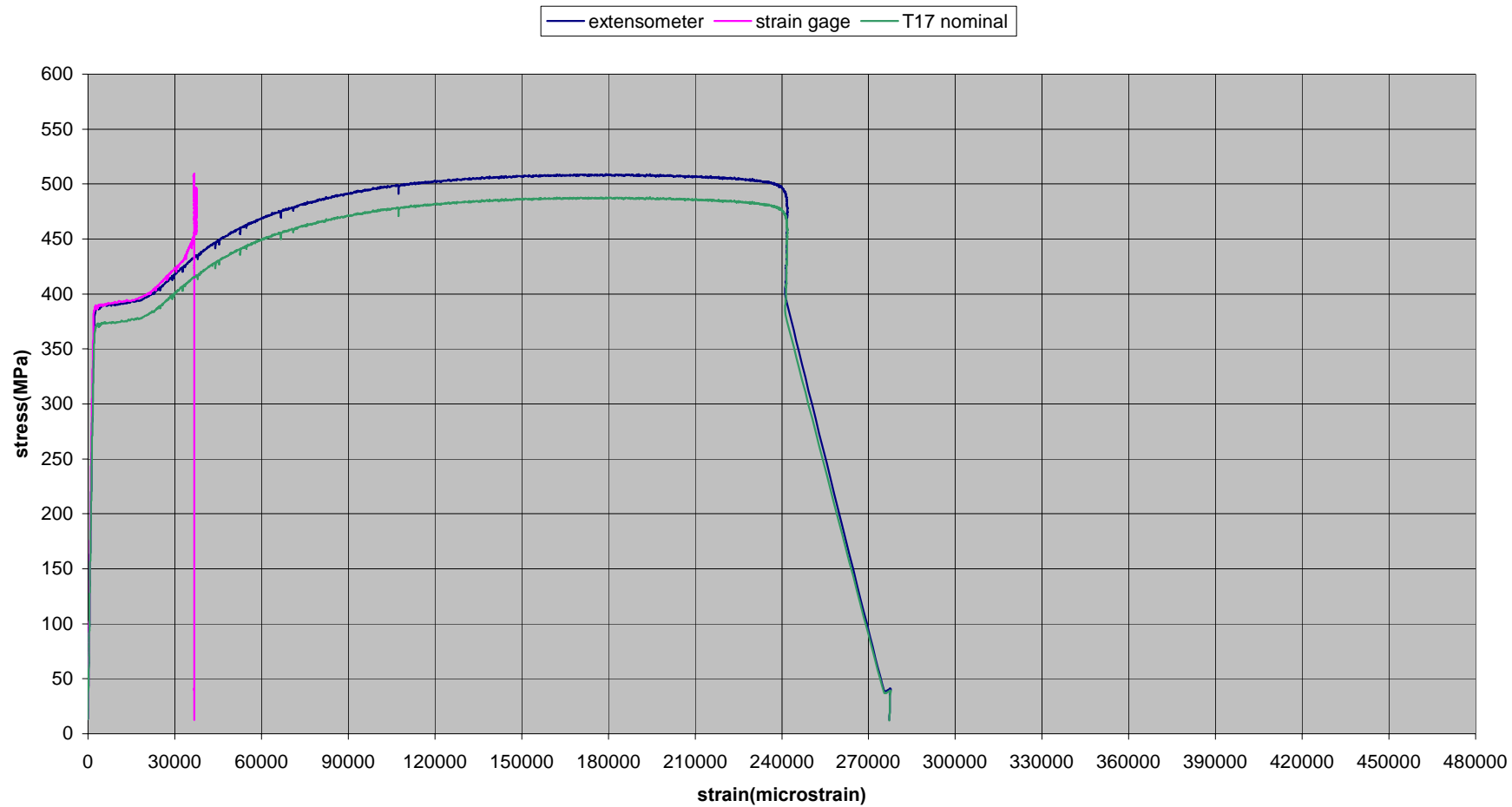
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



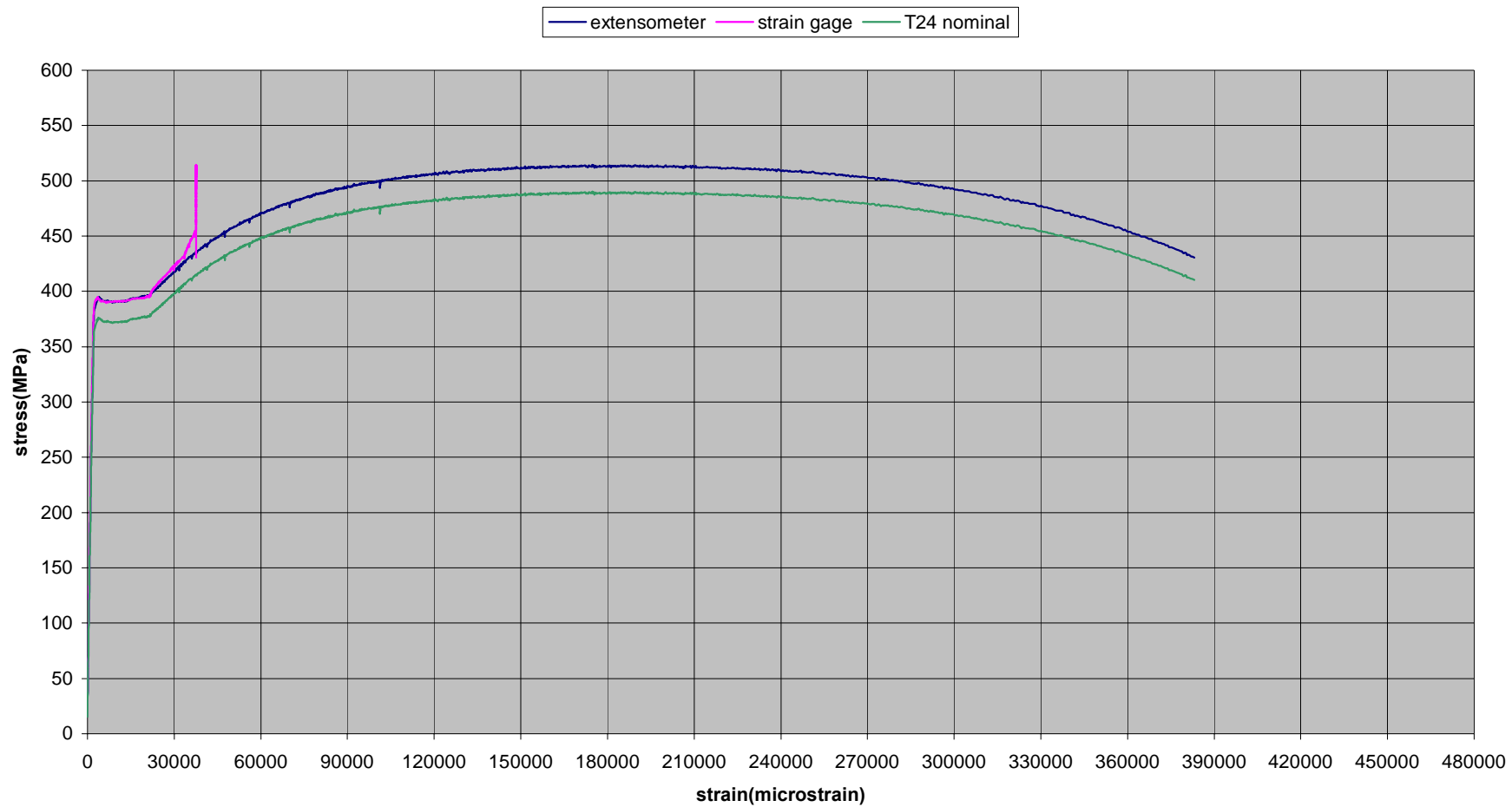



Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού







Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



Μετά από 40 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον στο μέταλλο ν εμφανιστεί σημάδια διάβρωσης. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων και από τους οποίους παρατηρούνται διαφορές στα βάρη των δοκιμίων και στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από το θάλαμο αλλατονέφωσης.

Στα διαγράμματα των διαβρωμένων, μη συγκολλημένων δοκιμίων παρατηρούνται δύο απεικονήσεις αποτελεσμάτων. Με μπλε χρώμα είναι οι τιμές που καταγράφηκαν από το επιμηκυνσιόμετρο κατά τη διάρκεια της μηχανικής δοκιμής. Με σινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη που θα είχαμε κατά την διάρκεια του πειράματος αν το δοκίμιο είχε τις διαστάσεις πριν εισέλθει στο θάλαμο αλλατωνέφωσης.

Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν, παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 40 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως κό.

Τα μη συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 60 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

T10 (313,359g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,11	6,14	6,15	6,16	6,18
πλάτος	31,00	18,95	18,95	19,05	31,05
μήκος	250,00				

T10 (283,303g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,94	5,89	5,95	5,98	6,07
πλάτος	30,55	18,60	18,55	18,60	30,60
μήκος	249,80				

T15 (313,510g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,11	6,15	6,18	6,19
πλάτος	31,00	19,10	19,05	19,05	31,00
μήκος	250,00				

T15 (281,769g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,87	5,83	5,98	5,75	6,01
πλάτος	30,45	18,65	18,60	18,60	30,45
μήκος	249,85				

T21 (315,923g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,18	6,19	6,20	6,20
πλάτος	31,00	19,00	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T21 (288,215g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,05	6,10	6,03	6,04	6,05
πλάτος	30,40	18,65	18,65	18,70	30,60
μήκος	249,85				

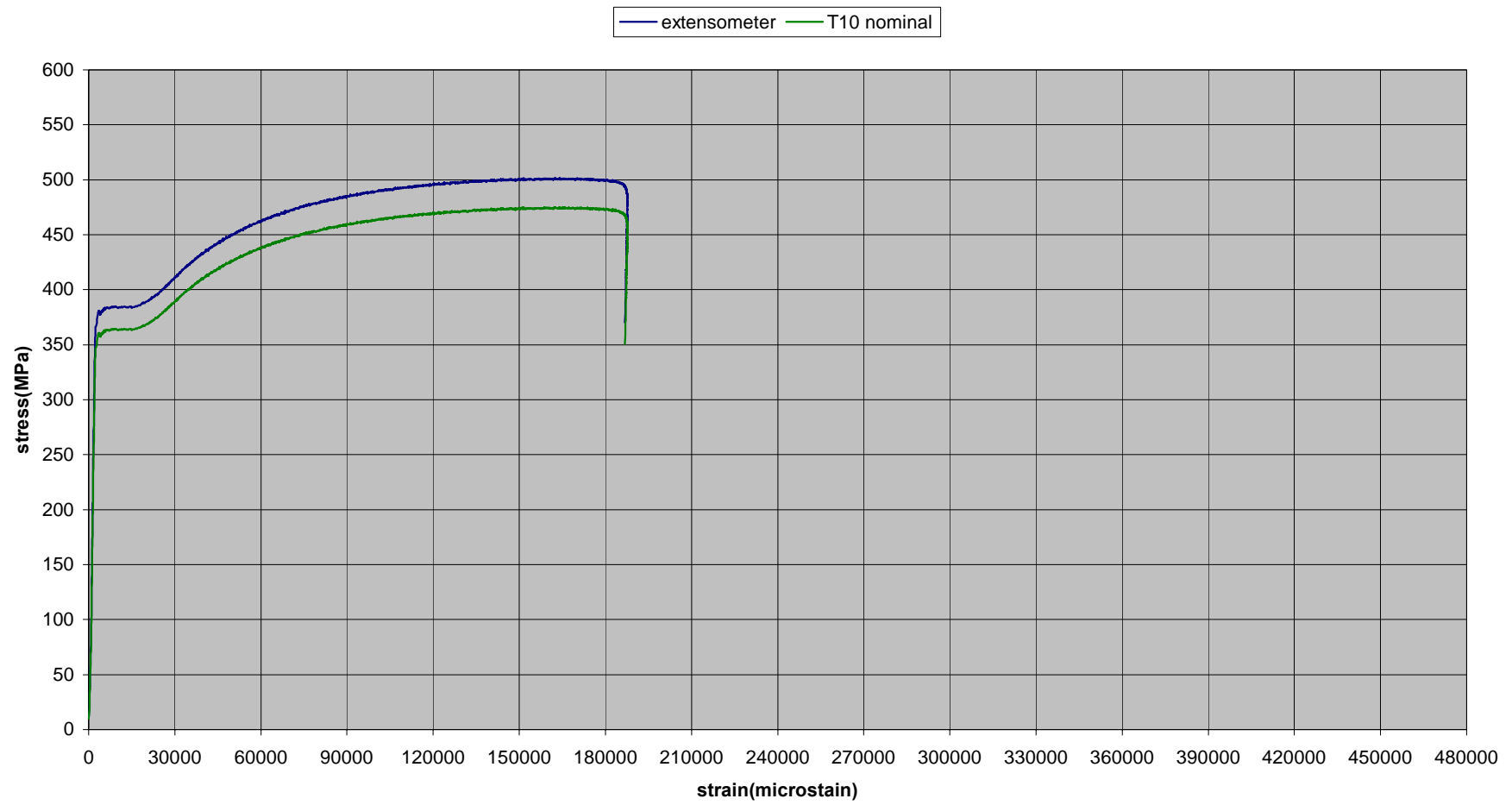
T22 (315,820g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,15	6,16	6,19	6,19	6,21
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,00
μήκος	250,00				

T22 (284,094g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,98	6,00	5,99	5,96	6,02
πλάτος	30,45	18,60	18,55	18,55	30,40
μήκος	149,70				

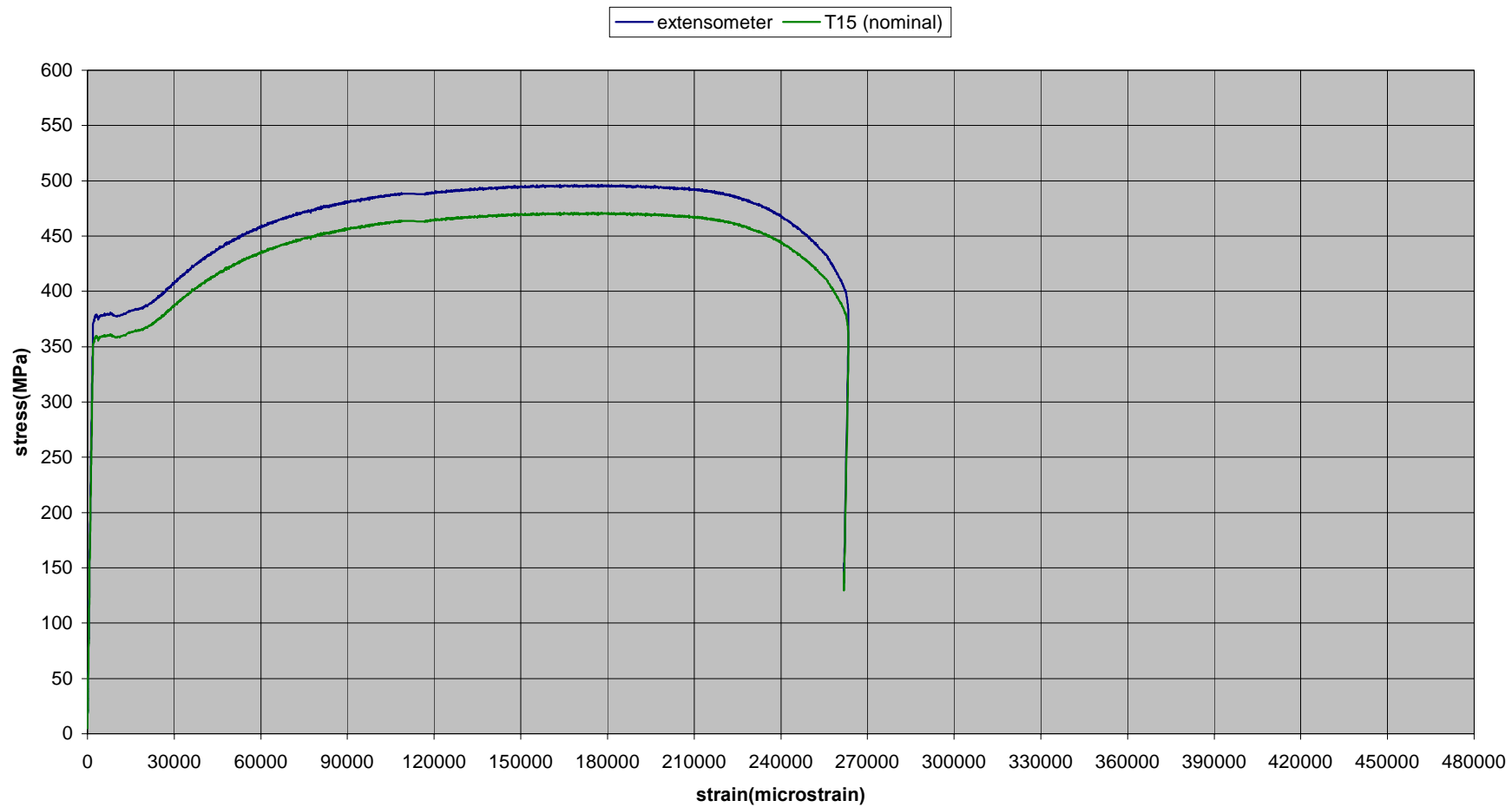
T23 (314,559g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,16	6,16	6,16	6,19	6,19
πλάτος	31,00	18,95	19,00	18,95	31,15
μήκος	250,00				

T23 (283,493g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,95	5,87	5,86	5,98	5,91
πλάτος	30,45	18,55	18,50	18,60	30,65
μήκος	249,75				

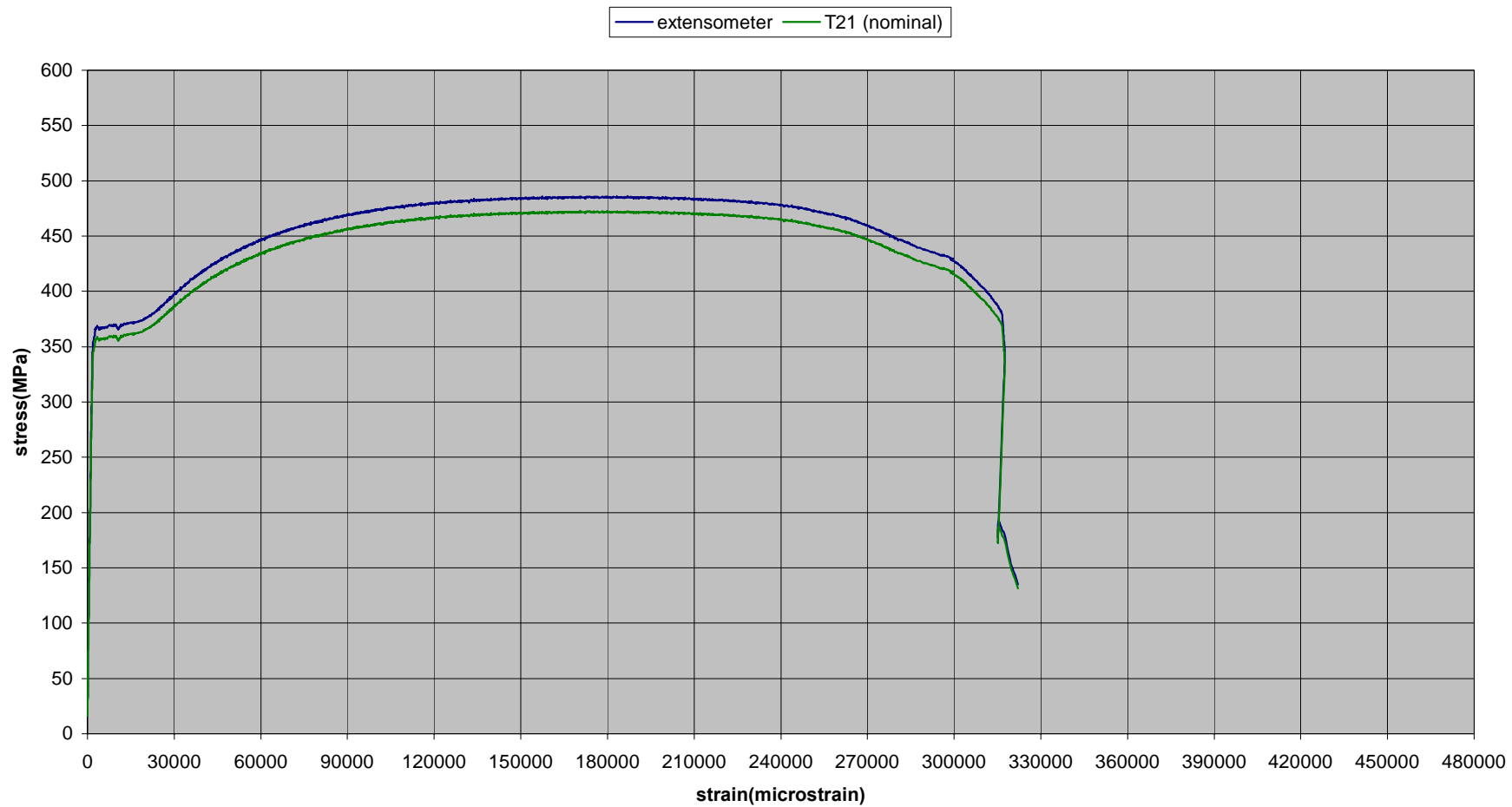
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



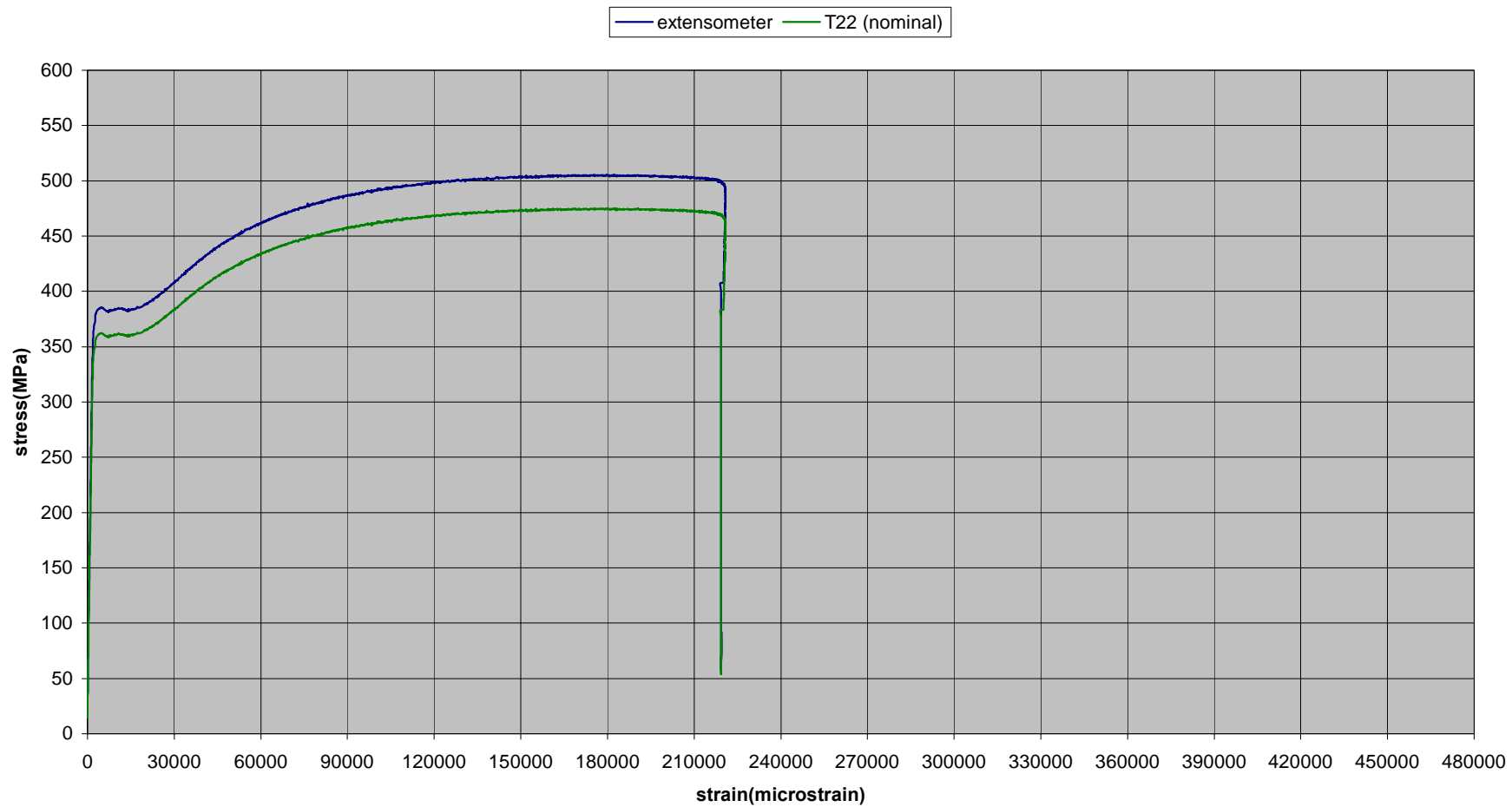
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



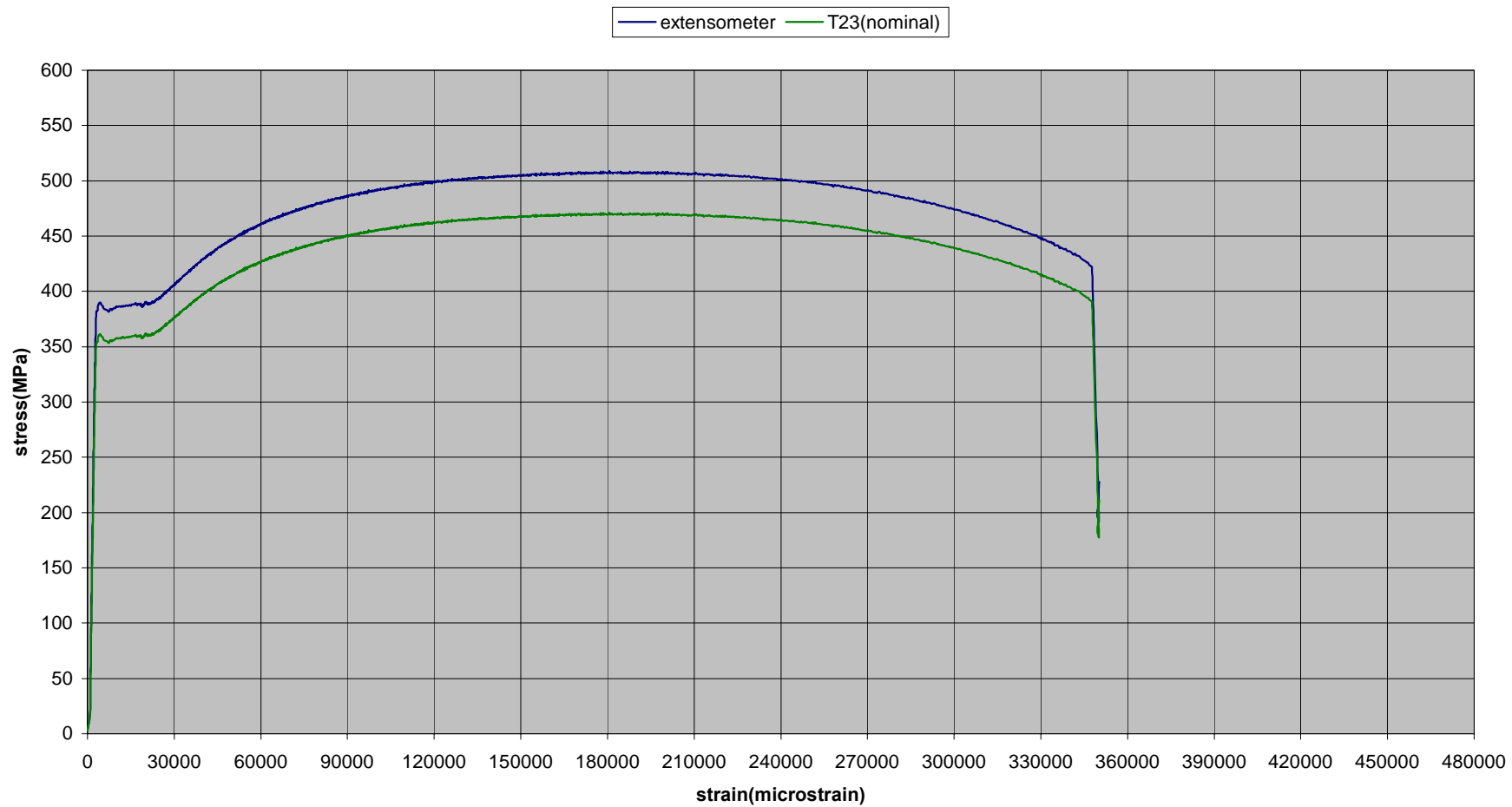
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού




Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



Μετά από 60 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον στο μέταλλο έχουν εμφανιστεί σημάδια διάβρωσης. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων και όπου παρατηρούνται διαφορές στα βάρη των δοκιμίων και στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από τον θάλαμο αλλατονέφωσης.

Στα διαγράμματα των διαβρωμένων, μη συγκολλημένων δοκιμίων παρατηρούνται δύο απεικονήσεις αποτελεσμάτων. Με μπλε χρώμα είναι οι τιμές που καταγράφηκαν από το επιμηκυνσιόμετρο κατά τη διάρκεια της μηχανικής δοκιμής. Με  σινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη που θα είχαμε κατά την διάρκεια του πειράματος αν το δοκίμιο είχε τις διαστάσεις πριν εισέλθει στον θάλαμο αλλατωνέφωσης.

Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 60 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό.

Τα μη συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 90 ημέρες, καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

T3(317,196 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,23	6,24	6,23	6,24	6,31
πλάτος	30,95	19,00	19,00	19,00	30,95
μήκος	250,00				

T3(375,183 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,85	6,05	6,08	5,79	5,96
πλάτος	30,35	18,60	18,55	18,65	30,40
μήκος	249,70				

T11 (313,791g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,13	6,15	6,15	6,17	6,17
πλάτος	31,05	19,10	19,10	19,10	31,10
μήκος	250,00				

T11 (270,663g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,96	5,62	5,69	5,86	5,87
πλάτος	30,55	18,70	18,65	18,75	30,45
μήκος	249,75				

T19 (315,018g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,14	6,17	6,17	6,16	6,18
πλάτος	31,05	19,10	19,05	19,05	31,10
μήκος	250,00				

T19 (272,263g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,66	5,88	5,96	5,92	5,97
πλάτος	30,45	18,75	18,60	18,70	30,40
μήκος	249,70				

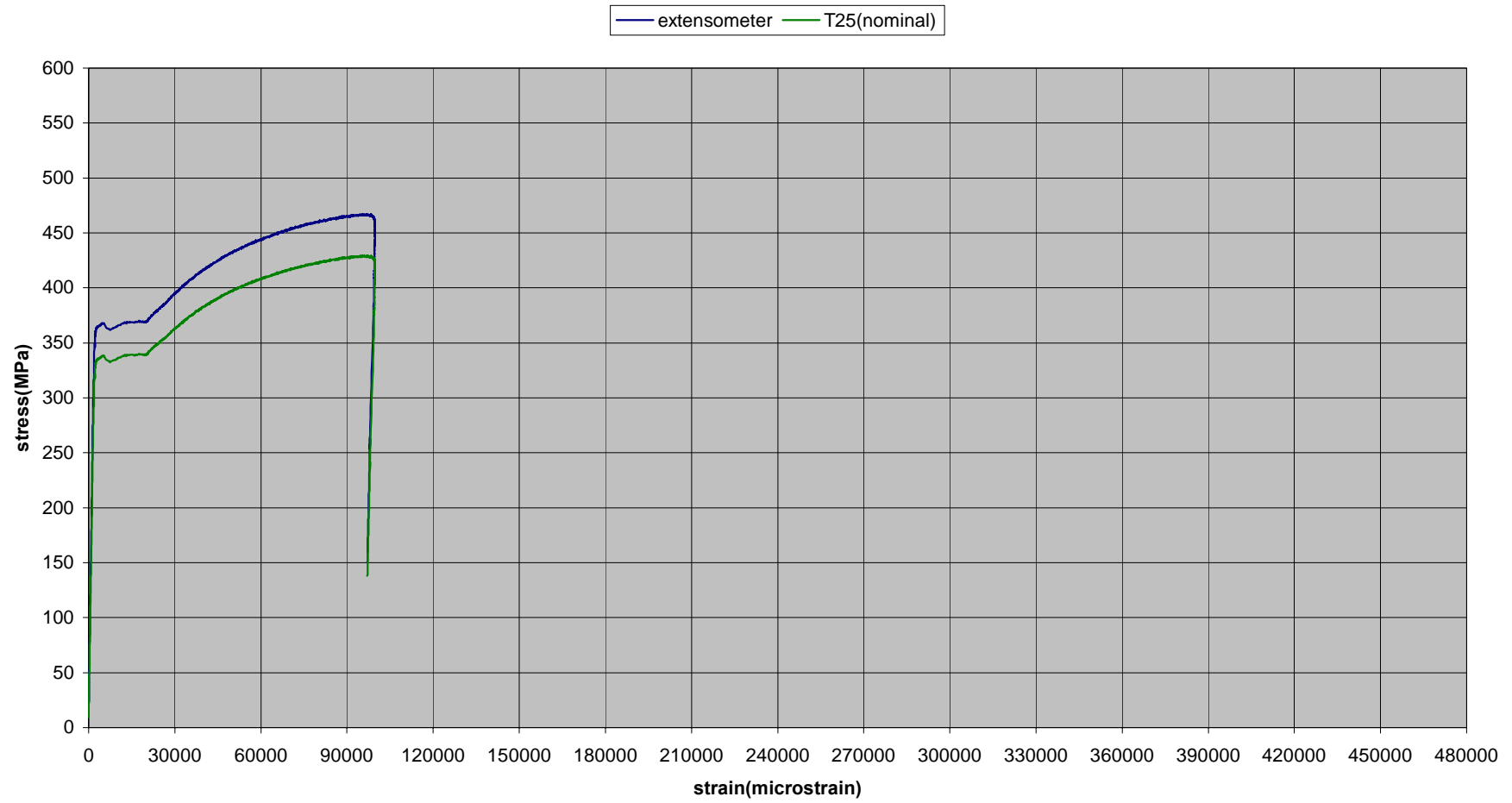
T20 (314,060g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,14	6,17	6,18	6,19	6,19
πλάτος	30,95	19,00	18,95	18,90	31,05
μήκος	250,00				

T20 (314,060g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,72	5,74	5,84	5,97	5,86
πλάτος	30,40	18,45	18,40	18,50	30,30
μήκος	249,75				

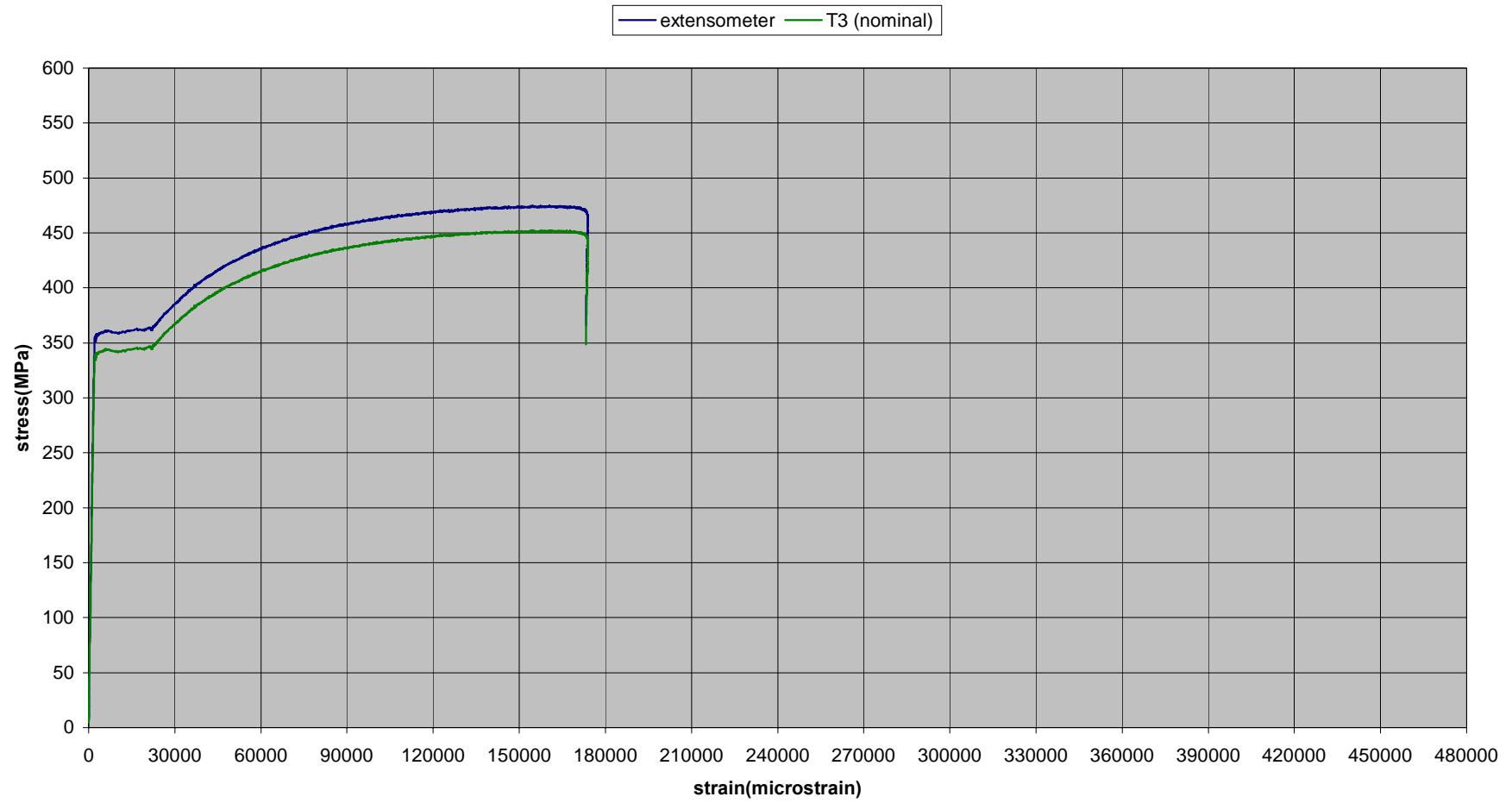
T25 (315,061g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,19	6,19	6,18	6,17	6,15
πλάτος	31,10	19,00	19,00	19,00	31,25
μήκος	250,00				

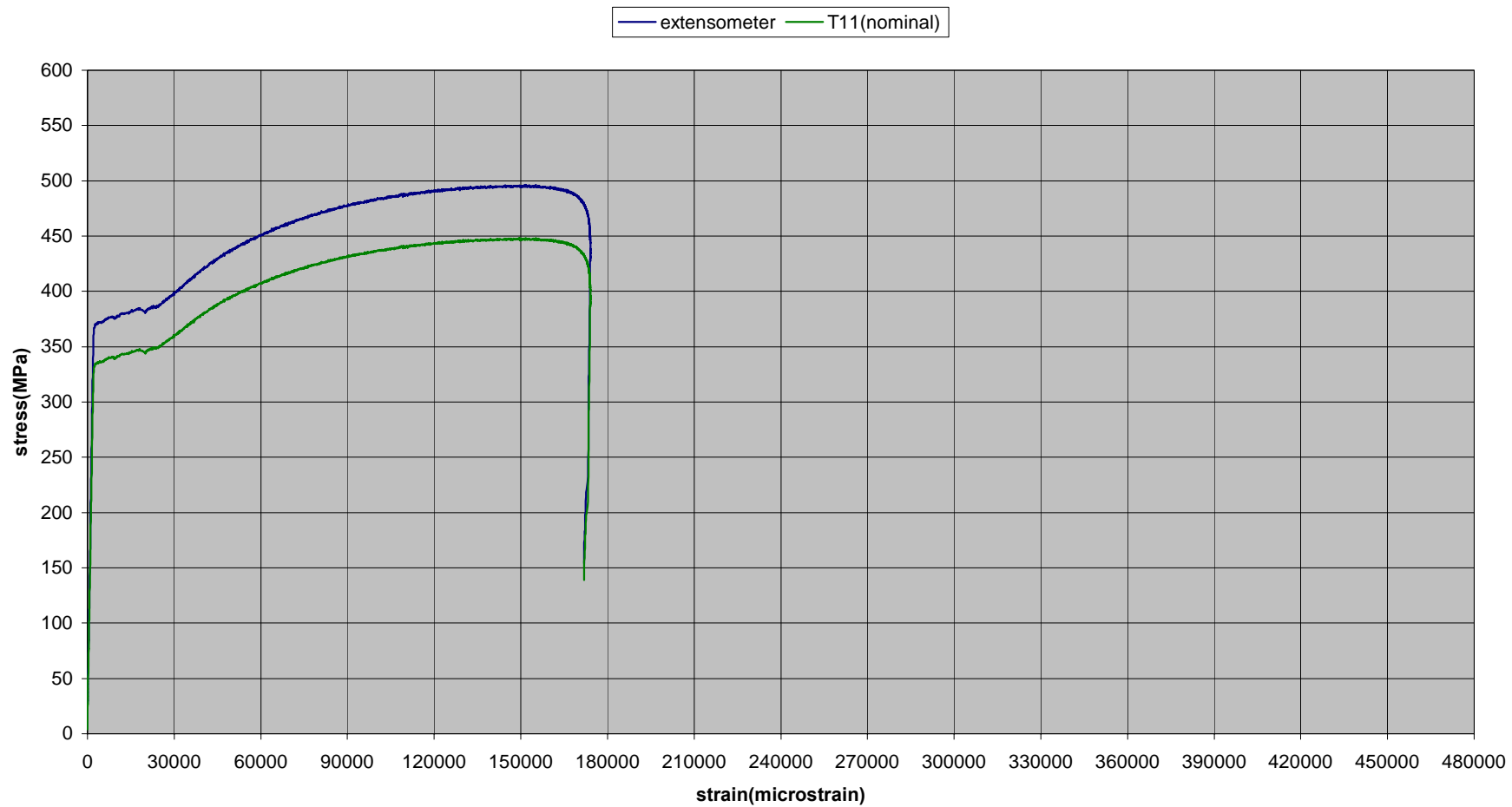
T25 (269,669g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,89	5,93	5,85	5,88	5,87
πλάτος	30,60	18,55	18,45	18,50	30,35
μήκος	249,80				

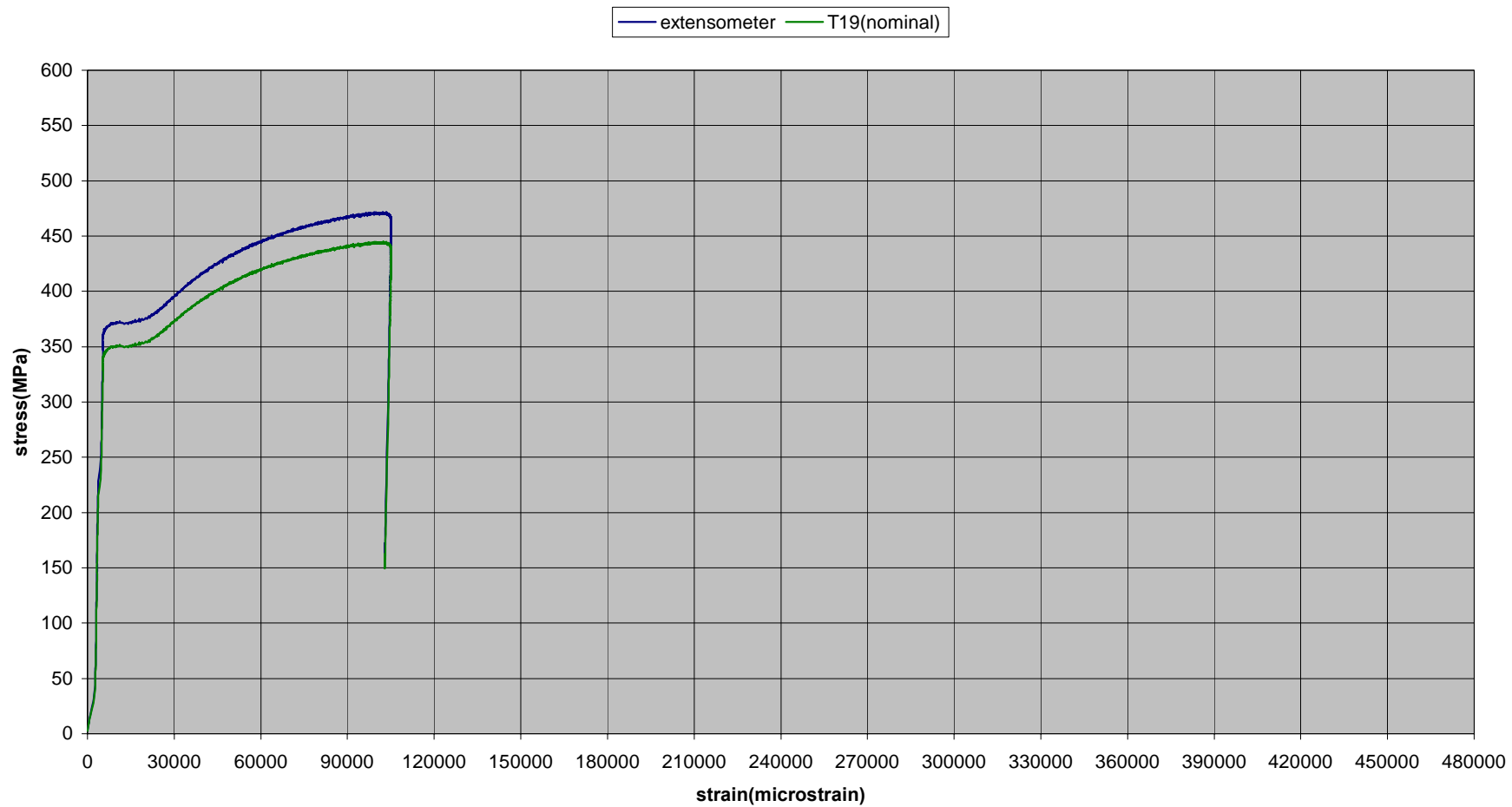
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



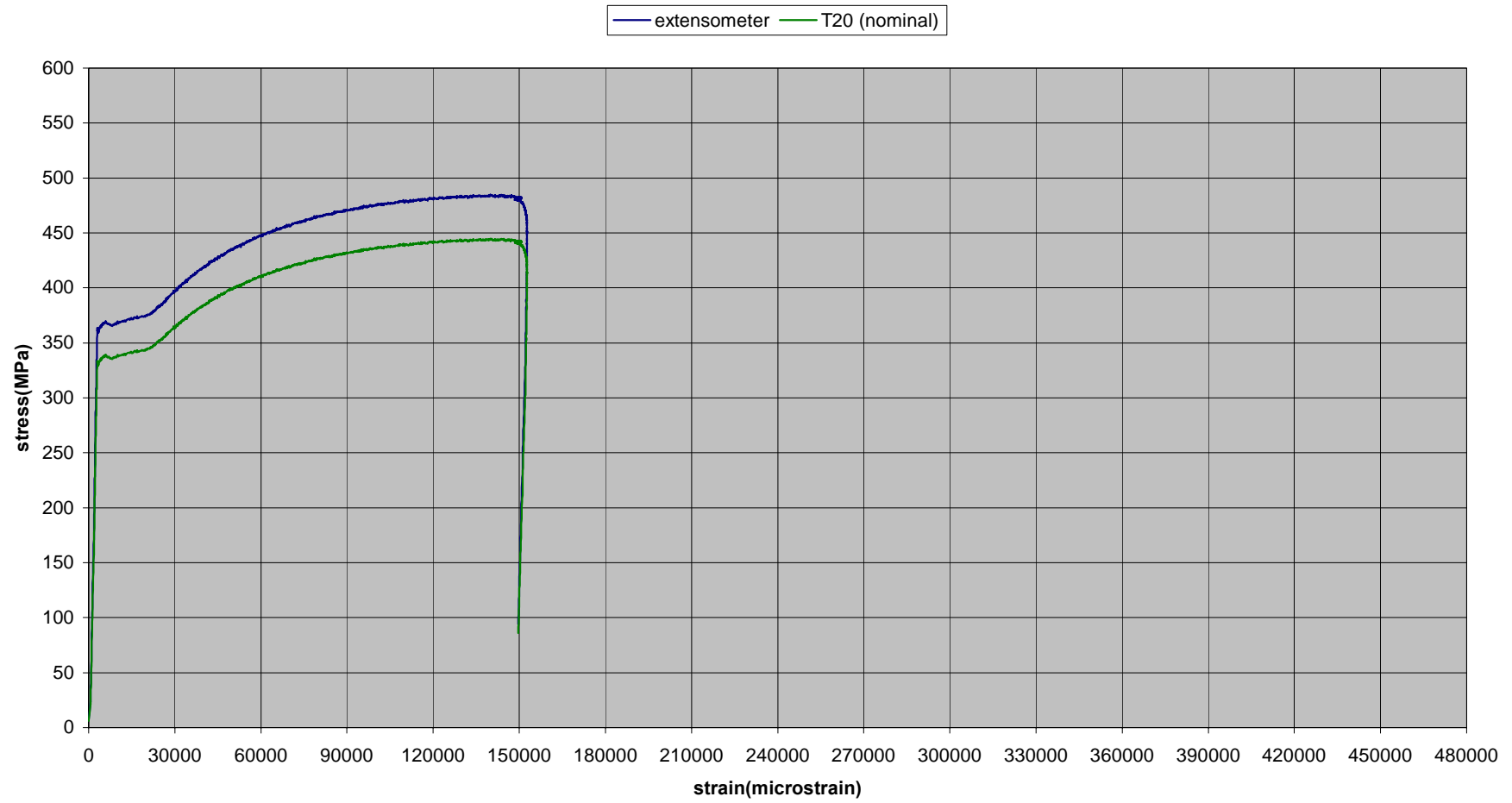
Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού







Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



Μετά από 90 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον στο μέταλλο έχουν εμφανιστεί σημάδια διάβρωσης. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων παρατηρούνται διαφορές στα βάρη των δοκιμίων και στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από το θάλαμο αλλατονώφωσης.

Στα διαγράμματα των διαβρωμένων, μη συγκολλημένων δοκιμίων παρατηρούνται δύο απεικονήσεις αποτελεσμάτων. Με μπλε χρώμα είναι οι τιμές που καταγράφηκαν από το επιμηκυνσιόμετρο κατά τη διάρκεια της μηχανικής δοκιμής. Με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη που θα είχαμε κατά την διάρκεια του πειράματος αν το δοκίμιο είχε τις διαστάσεις πριν εισέλθει στο θάλαμο αλλατονώφωσης.

Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκιμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 90 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό.

5.3.2 Συγκολλημένα - διαβρωμένα δοκίμια

Τα πρώτα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 20 ημέρες και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

4T1 (323,713g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,24	6,26	6,22	6,18	6,19
πλάτος	31,05	19,00	18,95	19,05	31,00
μήκος	254,00				

4T1 (315,024 g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,19	6,18	6,05	6,12	6,17
Πλάτος	30,80	18,75	18,80	18,80	30,80
Μήκος	254,00				

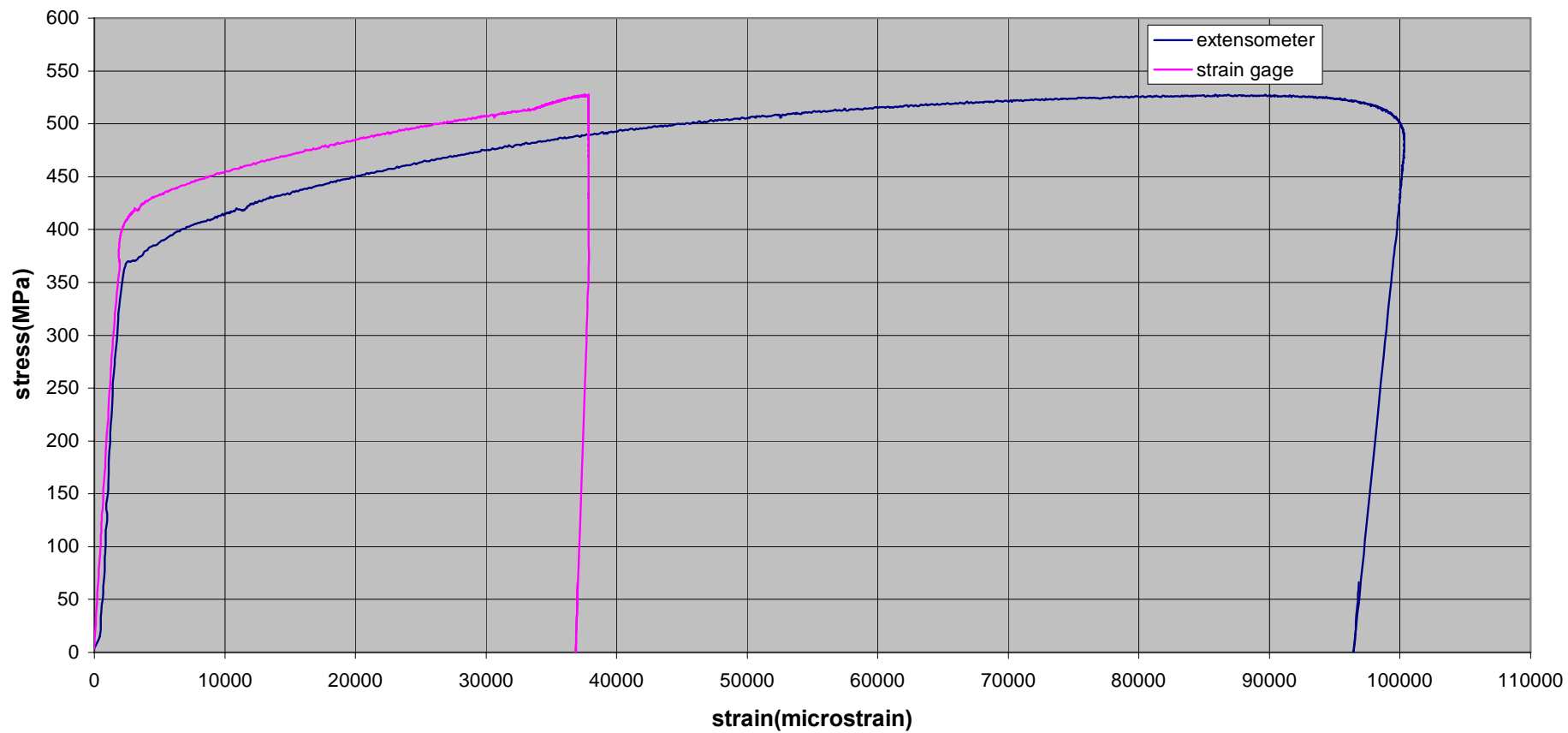
3T1 (322,940g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,20	6,21	6,35	6,22	6,22
πλάτος	31,00	19,00	19,00	19,00	31,00
μήκος	253,50				

3T1 (315,024 g)					
	1	2	3	4	5
Πάχος	6,18	6,18	6,19	6,16	6,16
Πλάτος	30,75	18,85	18,85	18,85	30,80
Μήκος	253,50				

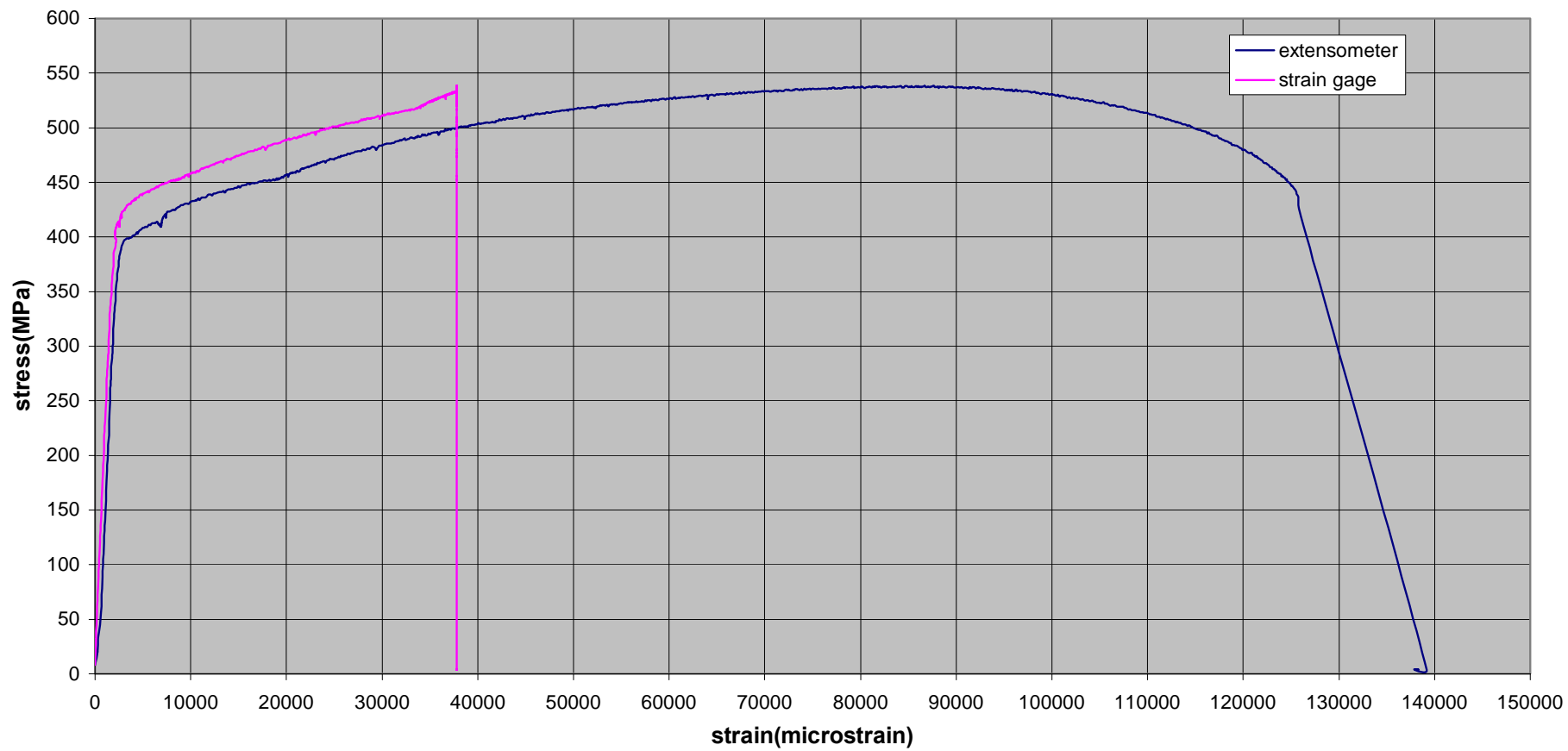
Στη συνέχεια έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε εφελκυσμό όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα

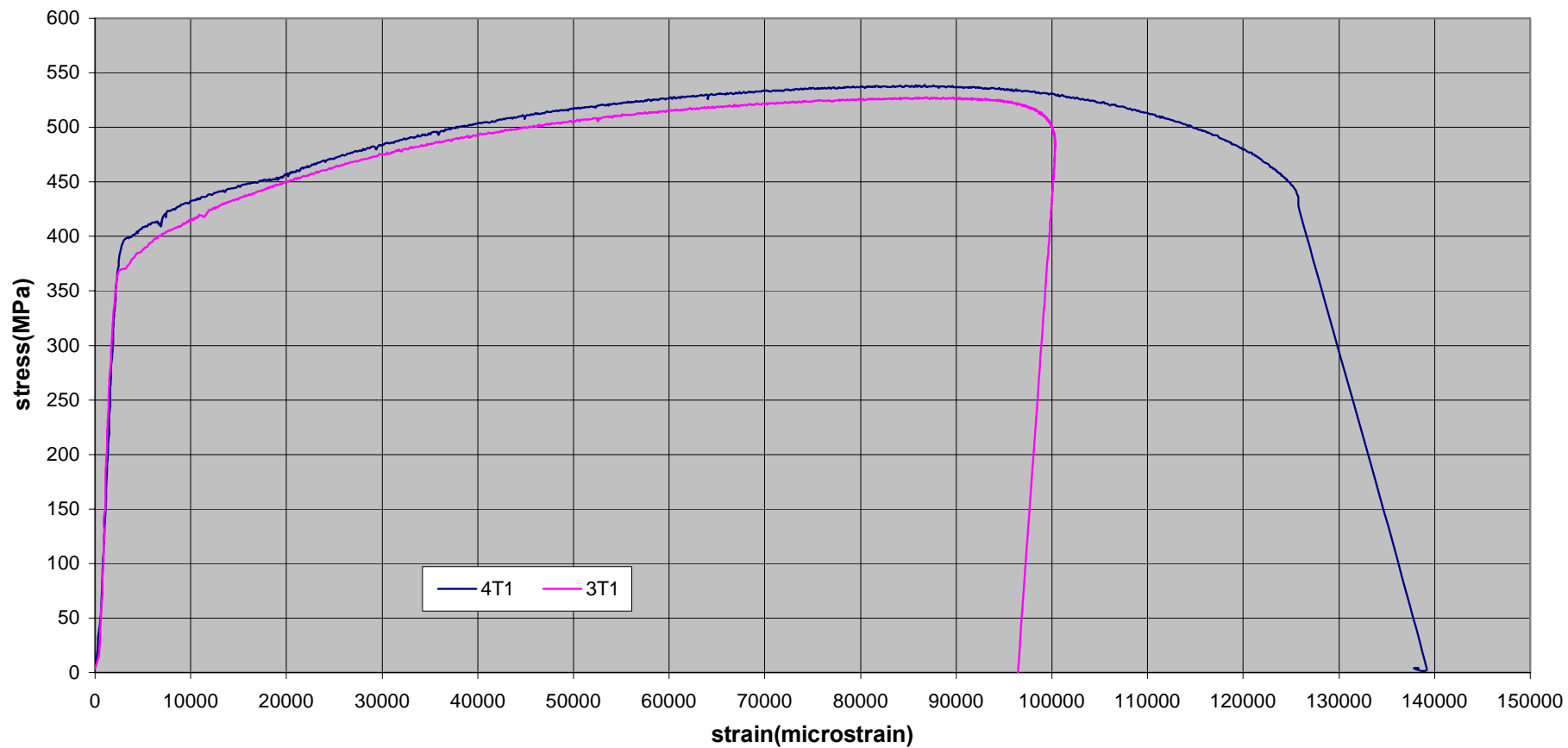
3T1



4T1



ΣΥΓΚΟΛΛΗΜΕΝΑ ΔΟΚΙΜΙΑ ΜΕΤΑ ΑΠΟ 20 ΗΜΕΡΕΣ



Μετά από 20 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον ούτε το μέταλλο, ούτε η συγκόλληση έχουν προσβληθεί σε μεγάλο βαθμό. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων καθώς δεν παρατηρούνται ούτε στα βάρη των δοκιμίων, ούτε στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από το θάλαμο αλλατονέφωσης.

Παρατηρείται δηλαδή μετά τον εφελκυσμό των διαβρωμένων, μη συγκολλημένων δοκιμίων οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα να παραμένουν οι ίδιες, καθώς το όριο διαρροής είναι μεγαλύτερο από 350 Mpa. Μάλιστα έχει παρόμοιες τιμές με τα αντίστοιχα μη διαβρωμένα, μη συγκολλημένα δοκίμια.

Στα συγκολλημένα δοκίμια και με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 20 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό λόγω της ύπαρξης συγκόλλησης.

Τα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 40 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

4T2 (309,802g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,23	5,40	5,51	5,53	6,20
πλάτος	30,95	18,95	18,95	18,95	30,95
μήκος	254,00				

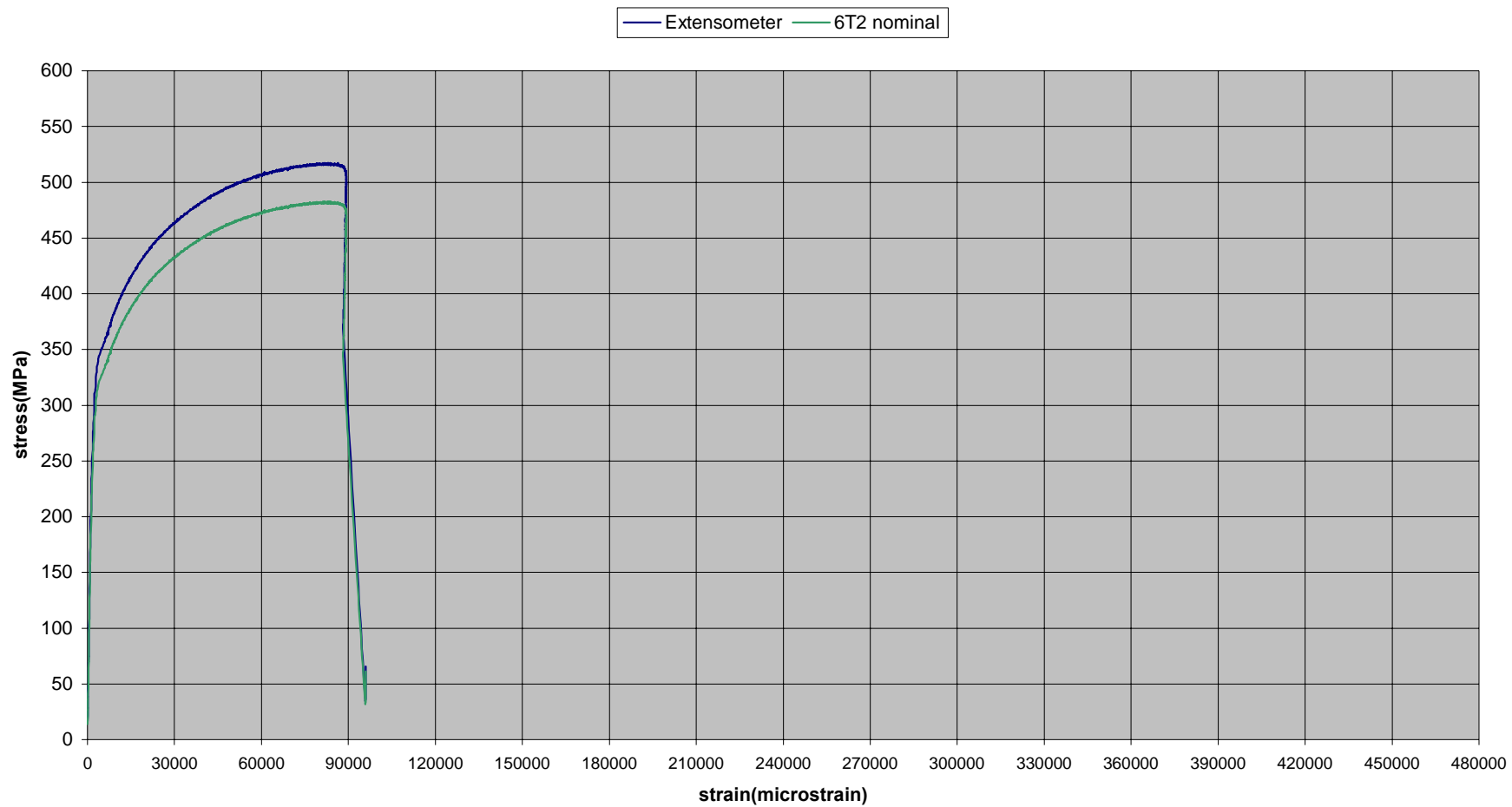
4T2 (284,664 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,09	5,24	5,29	5,22	6,06
πλάτος	30,60	18,75	18,50	18,65	30,60
μήκος	254,00				

6T2 (319,389g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,36	5,64	5,63	5,62	6,39
πλάτος	31,05	19,05	19,05	19,05	31,05
μήκος	254,00				

6T2 (293,272 g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,20	5,40	5,38	5,43	6,30
πλάτος	30,60	18,85	18,60	18,80	30,60
μήκος	254,00				

Στη συνέχεια έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε εφελκυσμό όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα



Στα συγκολλημένα δοκίμια υπάρχει παραπάνω μόνο ένα διάγραμμα. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι είχαμε πτώση του ρεύματος κατά τη διάρκεια του πειράματος με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η αποθήκευση των στοιχείων. Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά.

Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 40 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό λόγω της ύπαρξης συγκόλλησης.

Τα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 60 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

7T1 (318,155g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,98	6,03	6,27	6,27	6,27
πλάτος	30,95	18,95	19,00	19,00	31,00
μήκος	254,00				

7T1 (318,155g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,86	5,90	6,04	6,11	6,17
πλάτος	30,50	18,65	18,50	18,60	30,55
μήκος	253,90				

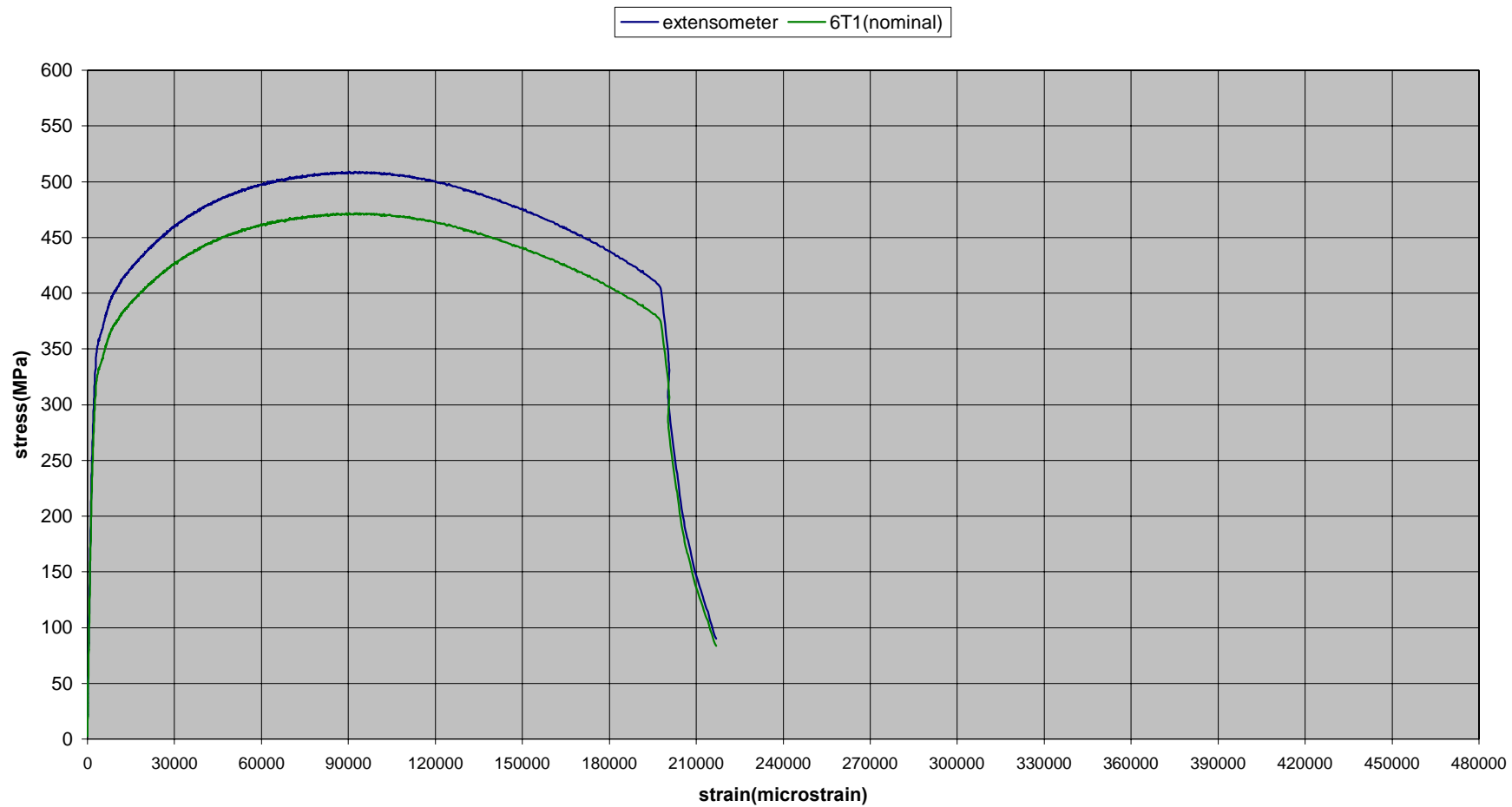
6T1 (340,911g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,51	6,54	6,48	6,65	6,60
πλάτος	31,05	19,00	19,00	19,05	31,00
μήκος	254,00				

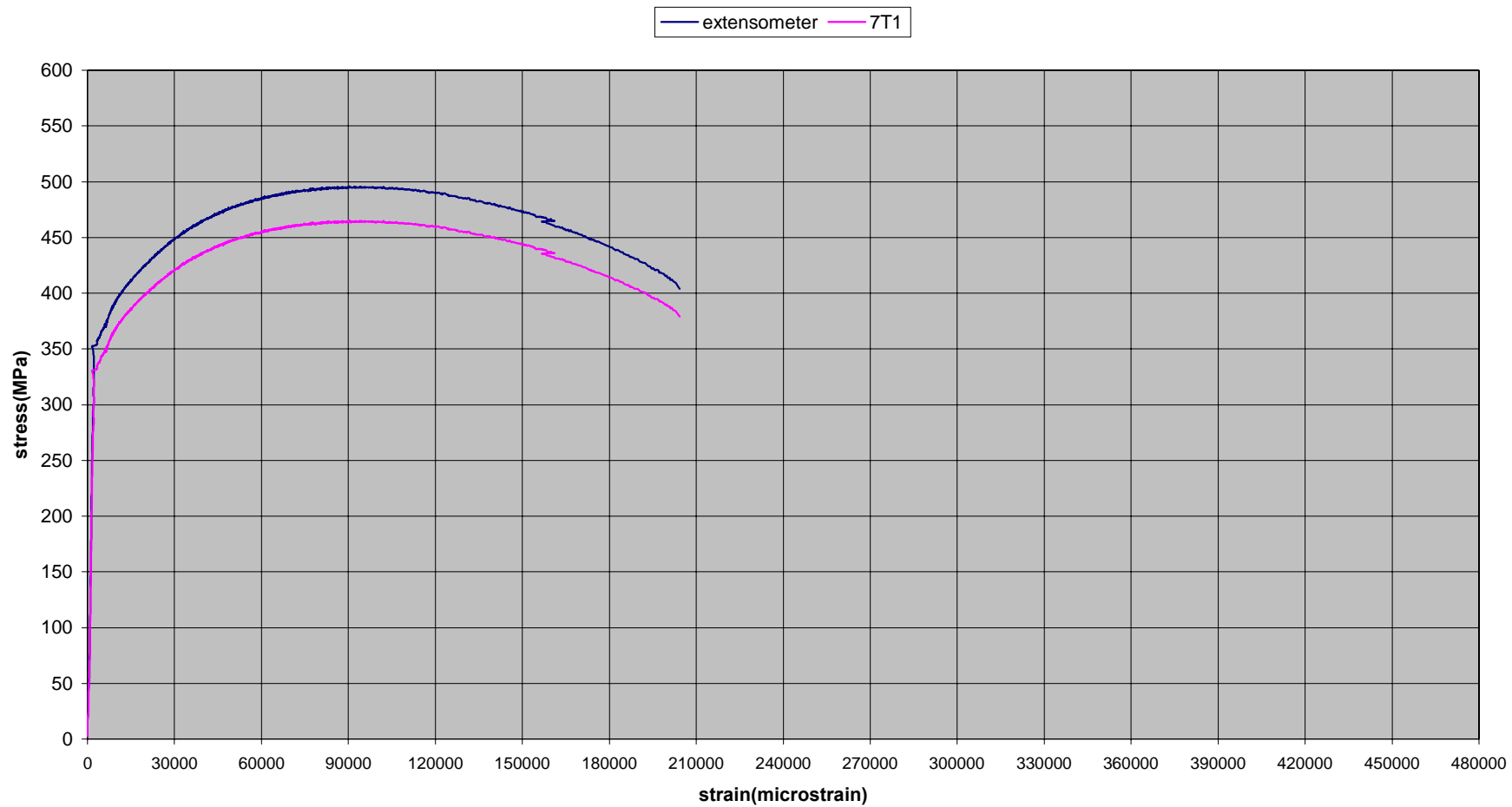
6T1 (311,109g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,34	6,30	6,17	6,51	6,42
πλάτος	30,45	18,70	18,50	18,65	30,50
μήκος	253,80				

Στα δοκίμια που παρέμειναν 60 ημέρες στο θάλαμο αλλατονέφωσης δεν ήταν δυνατή η προσκόλληση strain gage λόγω της διάβρωσης που είχε υποστεί το δοκίμιο. Η μηχανική δοκιμή του εφελκυσμού για τα διαβρωμένα δοκίμια πραγματοποιήθηκαν υπό τις ίδιες συνθήκες με τα μη διαβρωμένα ώστε να είναι δυνατή η σύγκριση των αποτελεσμάτων.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα

Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού





Μετά από 60 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον τόσο το μέταλλο, όσο και η συγκόλληση έχουν εμφανή σημάδια διάβρωσης. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων παρατηρούνται διαφορές στα βάρη των δοκιμίων και στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από το θάλαμο αλλατονέφωσης.

Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 60 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό λόγω της ύπαρξης συγκόλλησης.

Τα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 90 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες, οι οποίοι ακολουθούνται από τα διαγράμματα των δοκιμών εφελκυσμού.

3T2 (304,524g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,16	5,14	5,11	5,15	6,18
πλάτος	31,10	19,05	19,00	19,00	31,10
μήκος	254,00				

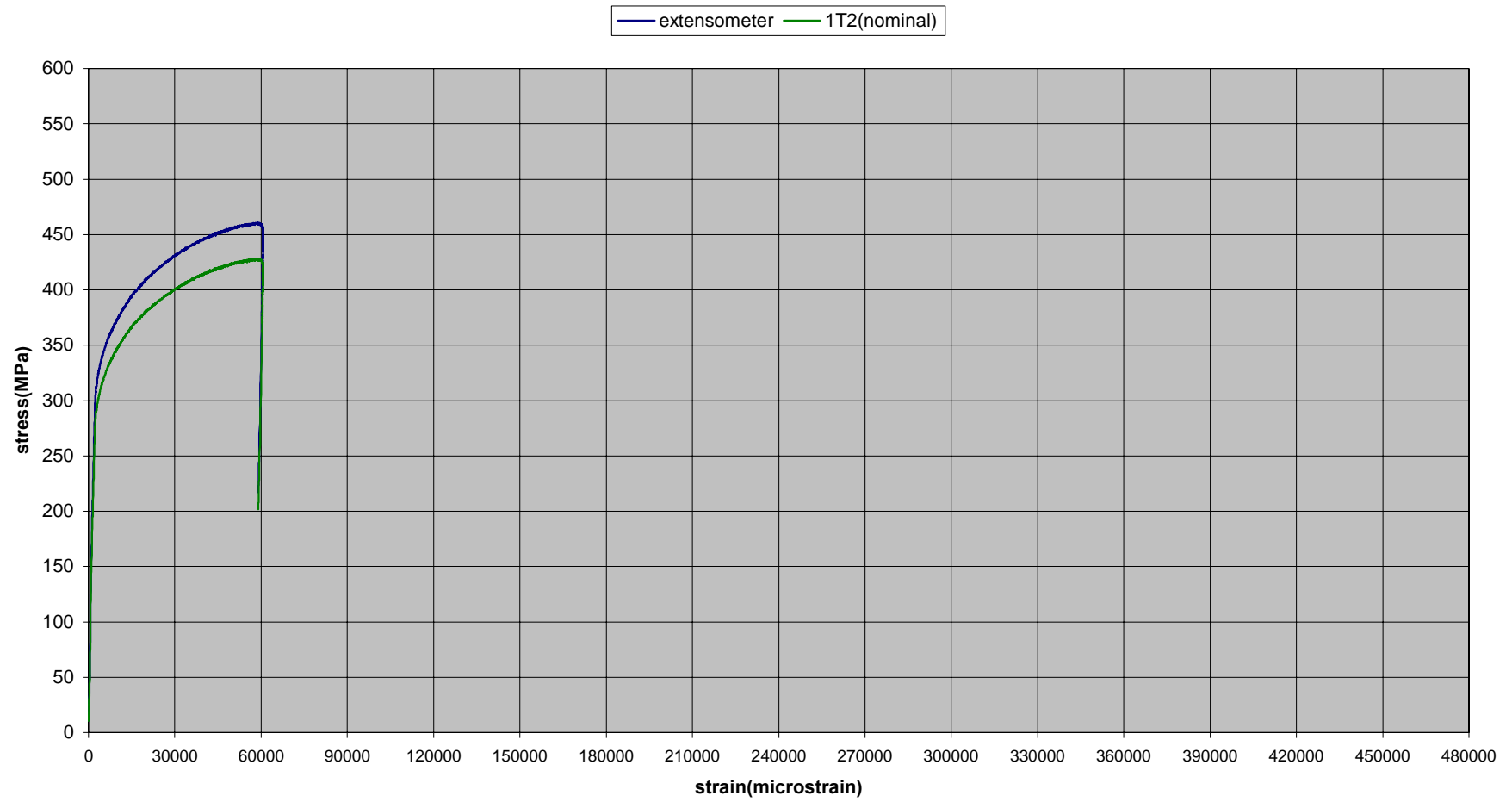
3T2 (244,752g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	5,88	4,48	4,49	4,87	5,45
πλάτος	30,50	18,85	18,65	18,83	30,60
μήκος	253,90				

1T2 (308,049g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,54	5,12	5,14	5,14	6,16
πλάτος	31,05	19,00	19,00	19,00	31,00
μήκος	253,50				

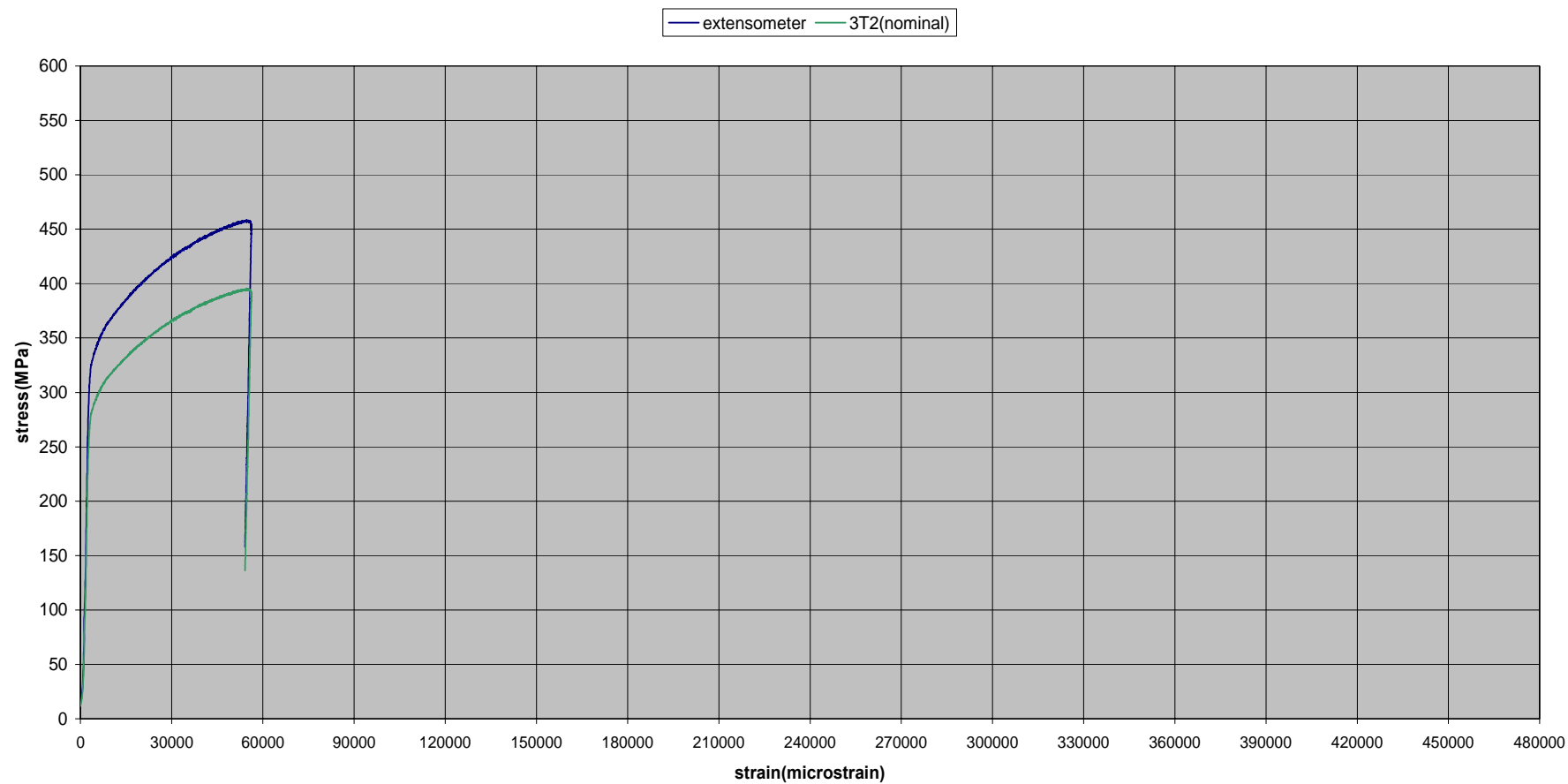
1T2 (308,049g)					
	1	2	3	4	5
πάχος	6,06	4,74	4,88	4,57	5,99
πλάτος	30,50	18,65	18,60	18,60	30,40
μήκος	253,40				

Στην συνέχεια έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε εφελκυσμό όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα



Κεφάλαιο 5 : Δοκιμές εφελκυσμού



Μετά από 90 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον τόσο το μέταλλο, όσο και η συγκόλληση έχουν εμφανή σημάδια διάβρωσης. Αυτό φαίνεται και στους πίνακες όπου καταγράφονται αναλυτικά οι διαστάσεις των δοκιμίων παρατηρούνται διαφορές στα βάρη των δοκιμίων και στις διαστάσεις τους πριν την είσοδο και μετά την έξοδο από το θάλαμο αλλατονέφωσης.

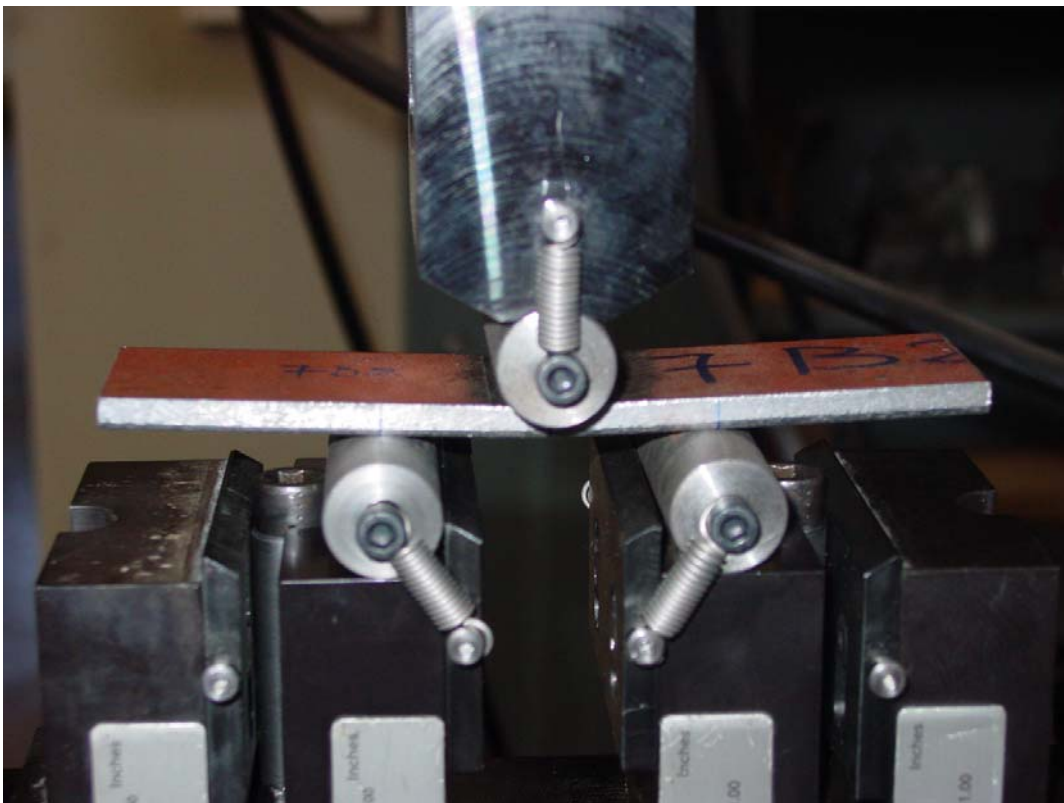
Στα διαγράμματα των διαβρωμένων, μη συγκολλημένων δοκιμίων παρατηρούνται δύο απεικονήσεις αποτελεσμάτων. Με μπλε χρώμα είναι οι τιμές που καταγράφηκαν από το επιμηκυνσιόμετρο κατά τη διάρκεια της μηχανικής δοκιμής. Με πράσινο χρώμα παρουσιάζεται η καμπύλη που θα είχαμε κατά την διάρκεια του πειράματος αν το δοκίμιο είχε τις διαστάσεις πριν εισέλθει στο θάλαμο αλλατωνέφωσης.

Με βάση τα διαγράμματα που προέκυψαν παρατηρείται ότι το όριο διαρροής δεν είναι ευδιάκριτο, όπως είναι σε ένα δοκίμιο με χαρακτηριστική όλκυμη συμπεριφορά. Από αυτήν την παρατήρηση εξάγεται το συμπέρασμα ότι μετά από 90 ημέρες παραμονής σε διαβρωτικό περιβάλλον των συγκολλημένων δοκιμίων, αυτά έχουν αρχίσει να συμπεριφέρονται ως ψαθυρό υλικό λόγω της ύπαρξης συγκόλλησης.

Κεφάλαιο 6 Δοκιμές κάμψης

6.1 Εισαγωγή

Κατά τη διάρκεια των δοκιμών της κάμψης σκοπός είναι η καταγραφή των τάσεων που ασκούνται στο δοκίμιο ώστε να είναι δυνατή η δημιουργία του διαγράμματος τάσης – μετατόπισης και η σύγκριση μεταξύ τους. Τα δοκίμια υποβλήθηκαν σε κάμψη τριών σημείων στην ίδια μηχανή που πραγματοποιήθηκαν και οι δοκιμές εφελκυσμού και η διάταξη της δοκιμής φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.



Οι δύο κάτω κύλινδροι, οι οποίοι προσαρτώνται στην κάτω αρπάγη της μηχανής, είναι σταθεροί ενώ ο άνω κύλινδρος, που προσαρτάται στο μετακινούμενο έμβολο της μηχανής, είναι αυτός που ασκεί την καταγραφόμενη τάση στο δοκίμιο. Οι τρεις κύλινδροι έχουν την ίδια διάμετρο ($\Phi 20$).

6.2 Μη διαβρωμένα ίμια

Αφού τα μη διαβρωμένα απέκτησαν τις διαστάσεις που προβλέπουν τα αντίστοιχα πρότυπα έγινε η καταγραφή των διαστάσεων τους (σε mm) αναλυτικά όπως φαίνεται στους παρακάτω πίνακες.

6.2.1 Συγκολλημένα – μη διαβρωμένα δοκίμια

3B1			
	1	2	3
πάχος	6,19	6,36	6,20
πλάτος	38,05	38,05	38,05
μήκος	153,00		

6B3			
	1	2	3
πάχος	6,33	6,36	6,40
πλάτος	37,90	37,90	37,95
μήκος	153,00		

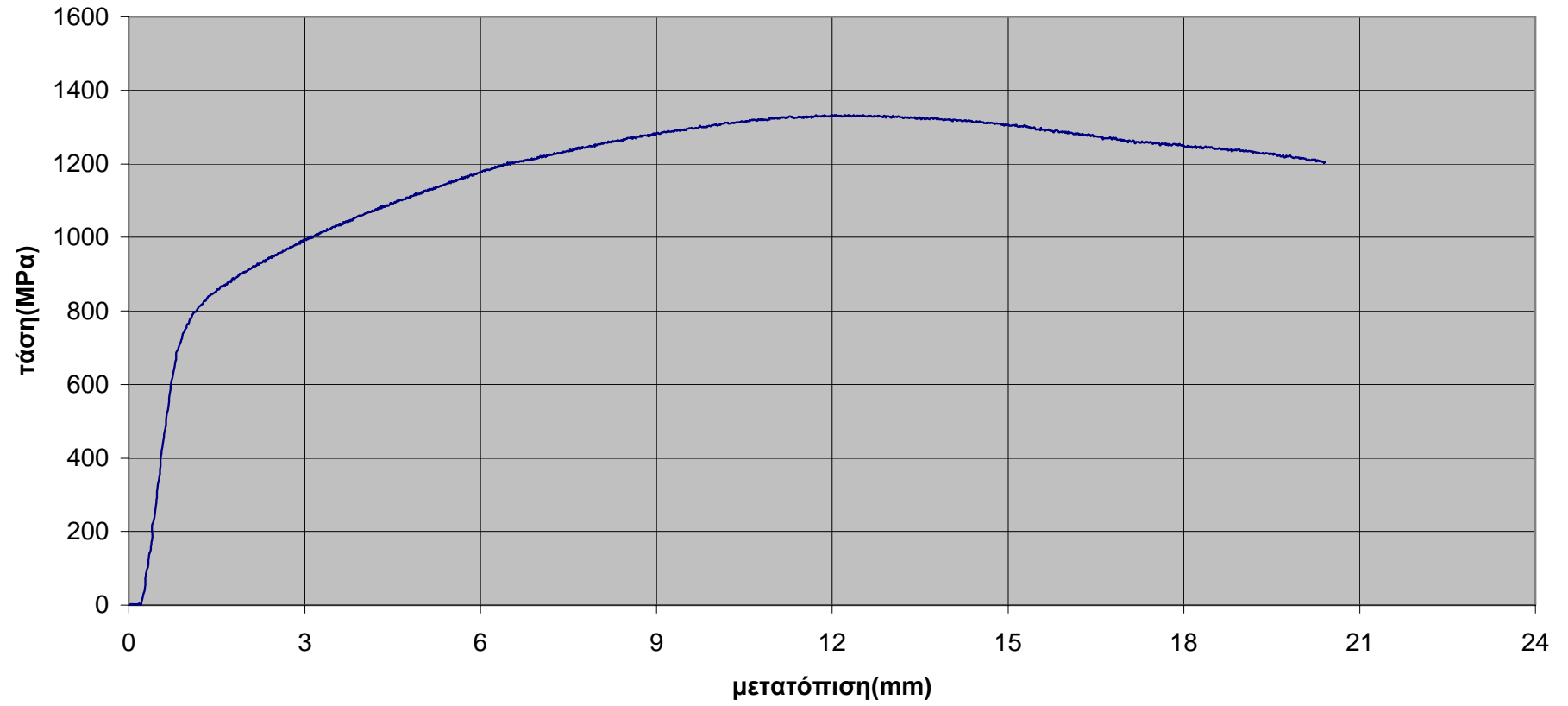
7B2			
	1	2	3
πάχος	6,07	5,95	6,27
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,80		

6B4			
	1	2	3
πάχος	6,31	6,41	6,35
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,90		

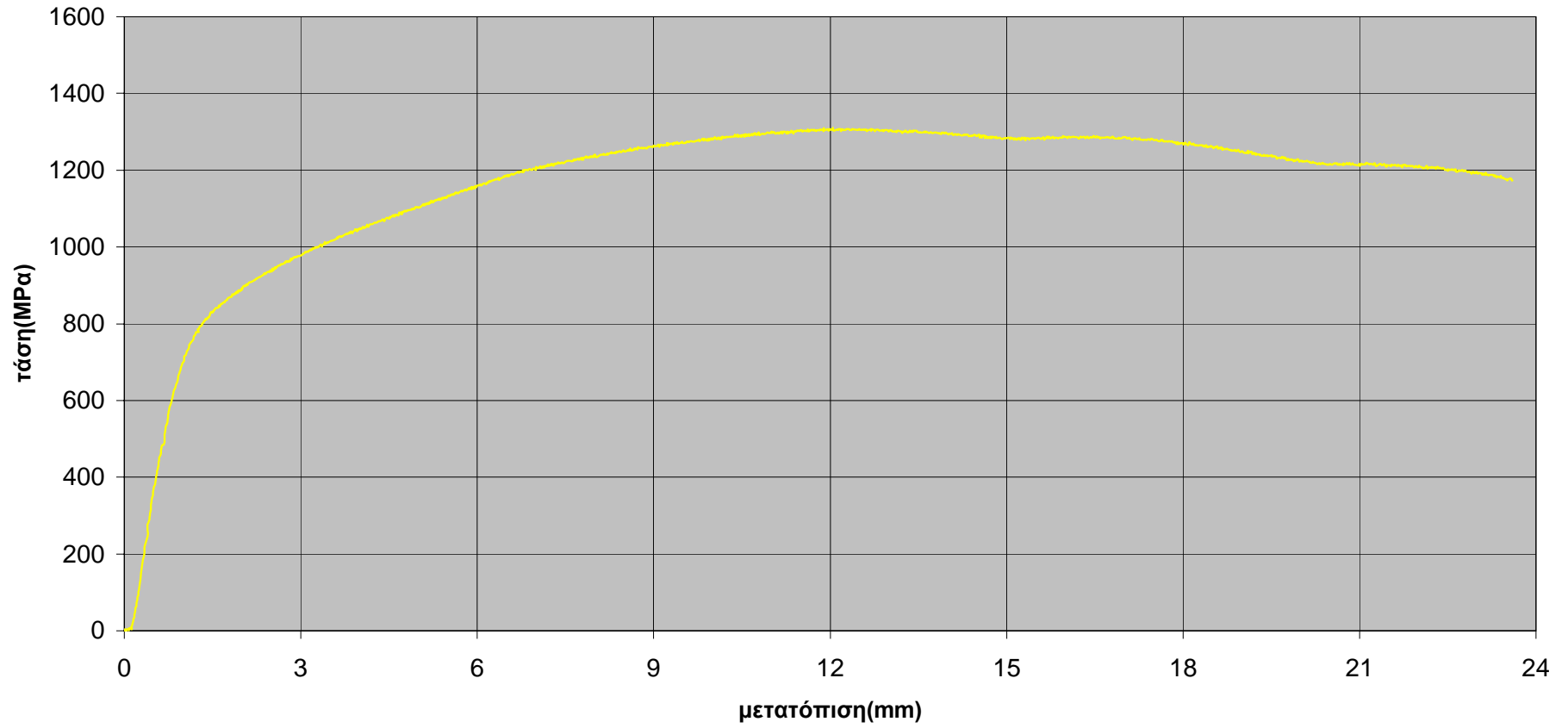
Σε αντίθεση με τα δοκίμια του εφελκυσμού υπάρχουν μόνο συγκολλημένα δοκίμια κάμψης. Η ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία πλησιάζει η άνω αρπάγη της μηχανής την κάτω, αντιστοιχεί στη μετατόπιση του δοκίμιου από τη θέση ισορροπίας στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή στις δοκιμές κάμψης στα 2 mm/min και είναι η ίδια για όλα τα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

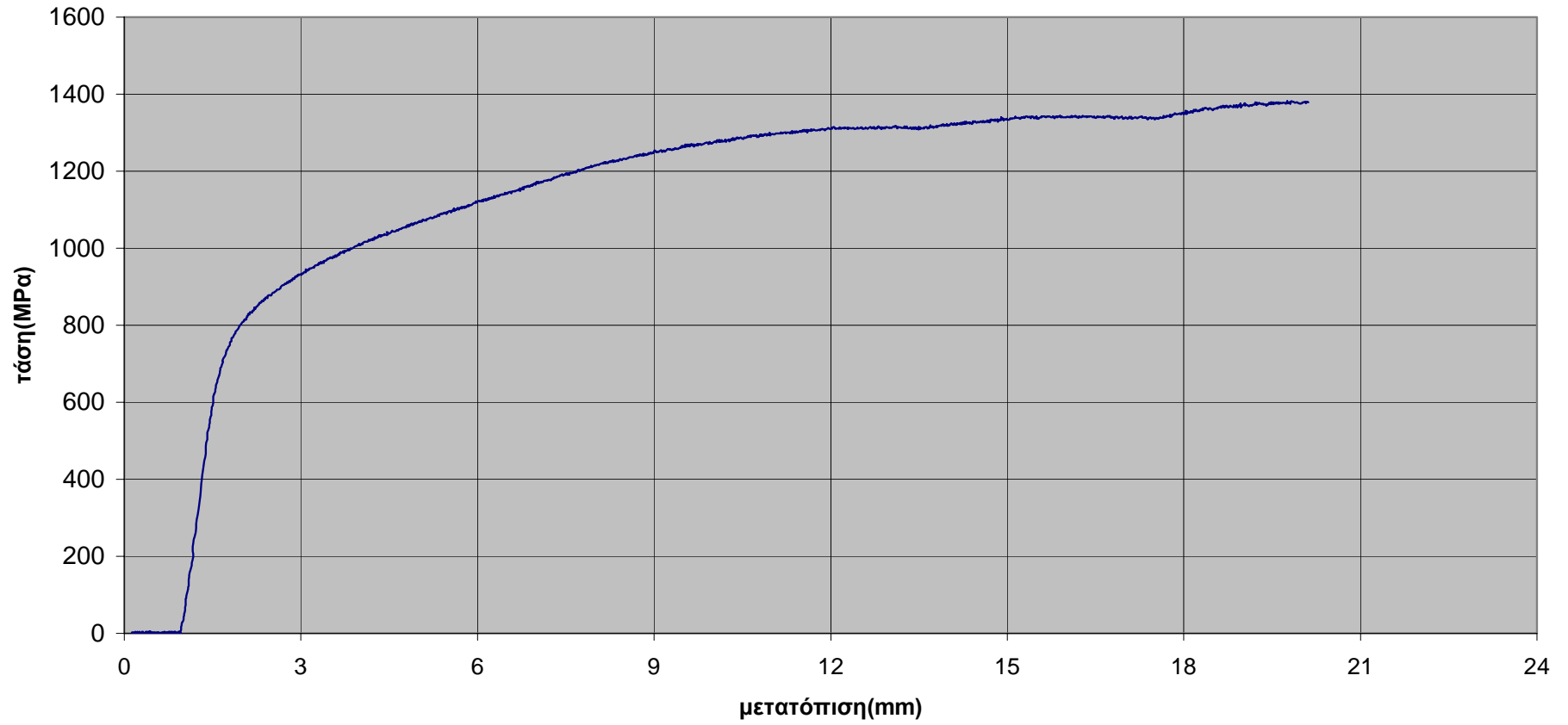
3B1



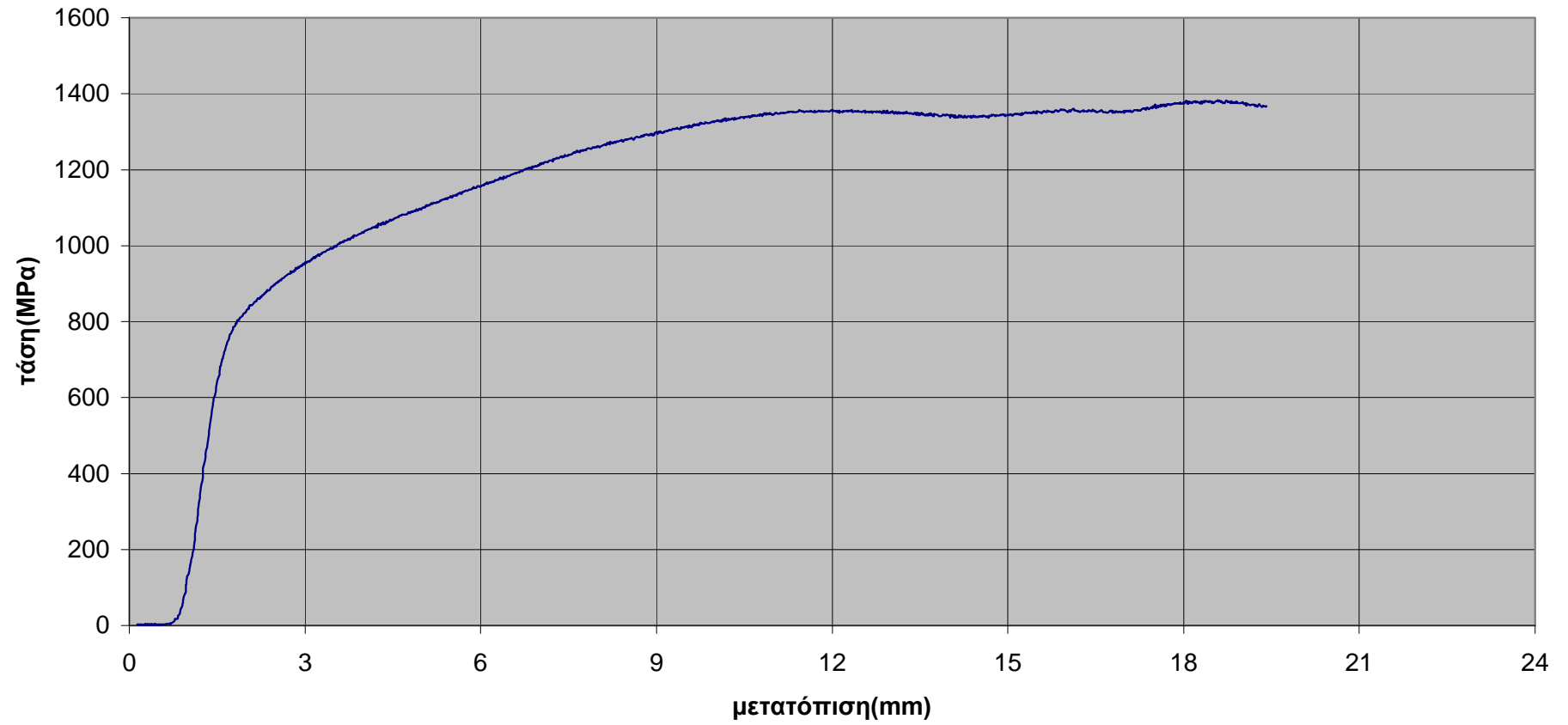
6B3



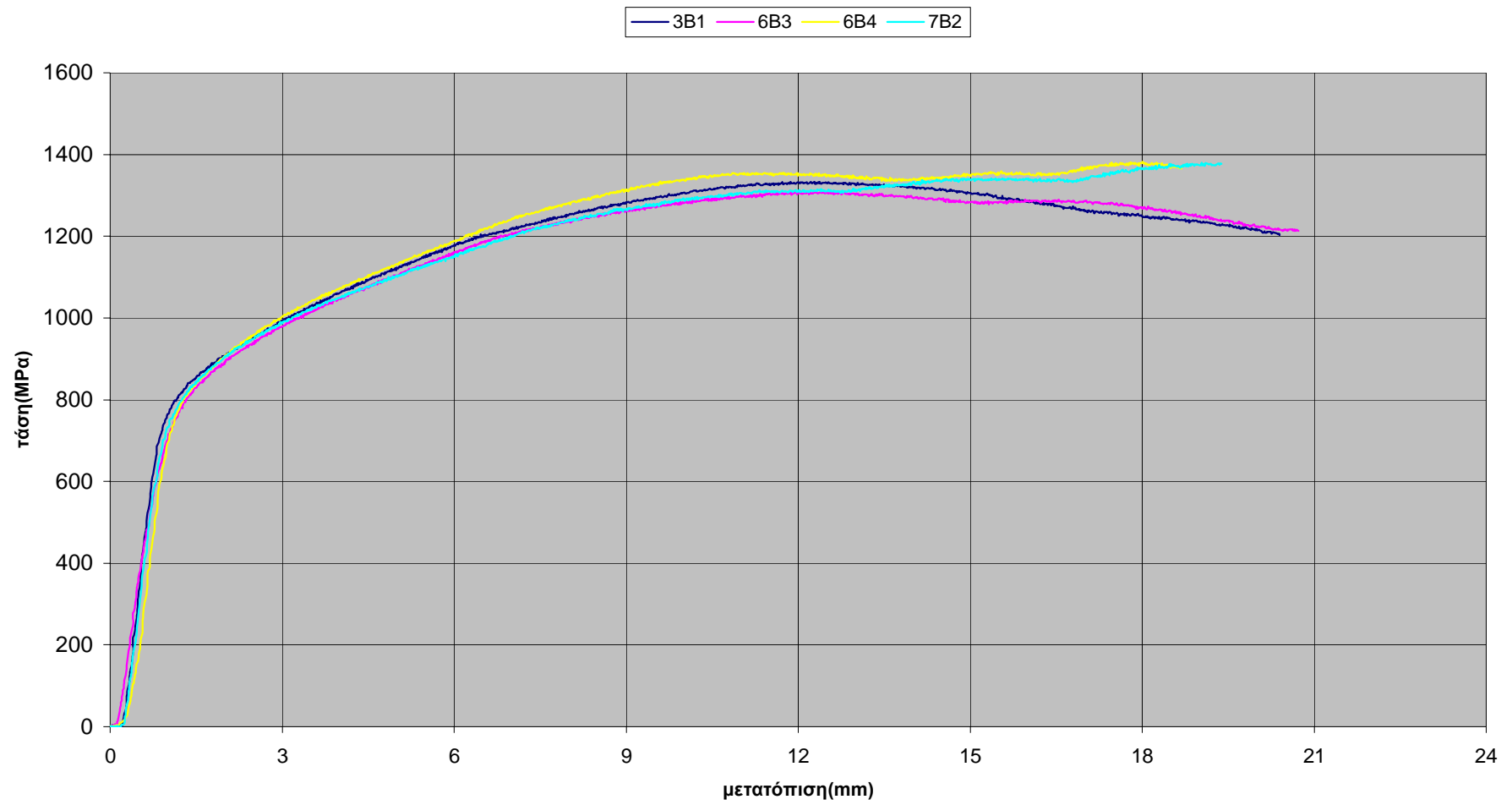
7B2



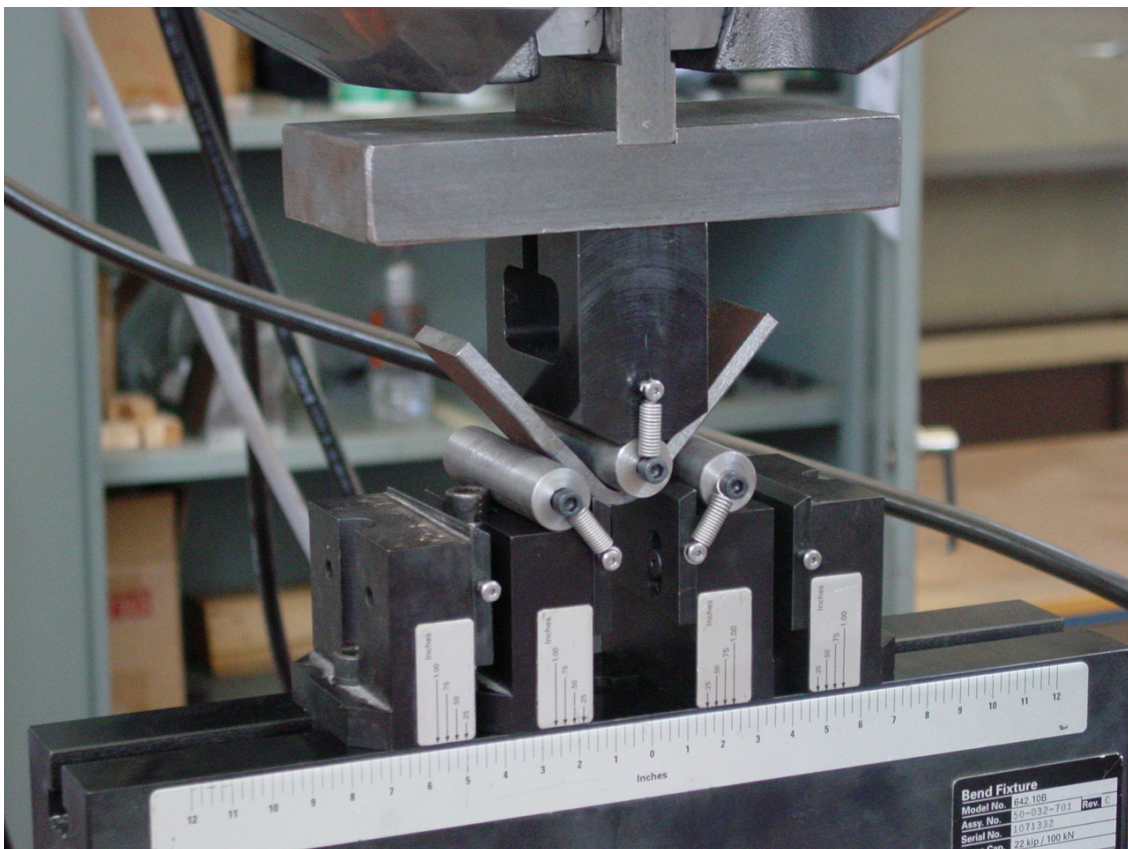
6B4



Κεφάλαιο 6 : Δοκιμές κάμψης



Το τελευταίο διάγραμμα περιέχει τις καμπύλες τάσης – μετατόπισης και από τα τέσσερα μη διαβρωμένα, συγκολλημένα δοκίμια κάμψης και αποτελεί ένα συγκριτικό διάγραμμα. Από το διάγραμμα αυτό εξάγεται το συμπέρασμα ότι η συμπεριφορά σε καμπτικά φορτία και των τεσσάρων δοκιμίων είναι παρόμοια και η μέγιστη τάση που μπορεί να αντέξει ένα συγκολλημένο δοκίμιο, μη διαβρωμένο δοκίμιο από χάλυβα AH36 είναι κατά μέσο όρο έως 1300 MPa. Στις δοκιμές κάμψης παρουσιάστηκαν κάποια προβλήματα, τα οποία όμως αντιμετωπίστηκαν χωρίς να επηρεαστούν οι συνθήκες της μηχανικής αυτής δοκιμής. Όπως φαίνεται και στην παρακάτω φωτογραφία, όταν το έμβολο της μηχανής μετατοπιστεί περίπου κατά 20 mm, τα ελατήρια που συγκρατούν τους κάτω κυλίνδρους, εξαιτίας της τάσης που ασκεί το άνω έμβολο, δεν μπορούσαν να κρατήσουν τους κυλίνδρους σε σταθερή θέση, με αποτέλεσμα να υπάρχει μετακίνησή τους από την αρχική θέση.



Το πρόβλημα αυτό αντιμετωπίστηκε με την τοποθέτηση σφηνών στα αριστερά από τον κάτω αριστερά κύλινδρο και στα δεξιά από τον κάτω δεξιά, ώστε να μην είναι δυνατή η μετακίνησή τους κατά τον οριζόντιο άξονα.

Το άλλο πρόβλημα έγινε αντιληπτό προς το τέλος της πρώτης δοκιμής σε κάμψη, καθώς λόγω της διατομής των κυλίνδρων (Φ 20), η μέγιστη κατακόρυφη μετατόπιση που μπορούσε να καταγραφεί σε κάθε δοκίμιο ήταν περίπου 21 mm. Αυτό συμβαίνει γιατί μετά τα 22 mm θα υπάρξει επαφή μερών του δοκιμίου, με μέρη από τα έμβολα της μηχανής, με αποτέλεσμα η τάση που θα καταγράφεται να μην είναι αυτή που μπορεί να αντέξει το δοκίμιο αλλά μεγαλύτερη και συνεχώς αυξανόμενη. Ο χάλυβας AH36 είναι όλκιμο υλικό και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην περιμένουμε να υπάρξει θραύση του δοκιμίου κατά τη δοκιμή της κάμψης. Τα στοιχεία που καταγράφονται είναι αρκετά για την εξαγωγή συμπερασμάτων για τη συμπεριφορά του δοκιμίου σε κάμψη και τη σύγκρισή τους. Αυτό είναι εφικτό γιατί, μέχρι την κατά 21 mm κατακόρυφη μετατόπιση του εμβόλου, η τάση έχει ξεπεράσει τη μέγιστη τιμή της και μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι το δοκίμιο αντέχει συνεχώς μικρότερα φορτία.

6.3 Διαβρωμένα ίμια

Αφού τα διαβρωμένα δοκίμια απέκτησαν τις διαστάσεις που προβλέπουν τα αντίστοιχα πρότυπα έγινε η καταγραφή των διαστάσεων τους (σε mm) πριν είσοδο και μετά την έξοδο τους από το θάλαμο αλλατονέφωσης. Τα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 20 ημέρες και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

6.3.1 Συγκολλημένα δοκίμια

Τα συγκολλημένα δοκίμια εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 20 ημέρες και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

1B1 (286,164g)			
	1	2	3
πάχος	6,81	6,84	6,21
πλάτος	38,00	37,95	37,95
μήκος	152,70		

1B1 (273,071 g)			
	1	2	3
πάχος	6,60	6,23	6,12
πλάτος	37,80	37,75	37,80
μήκος	152,70		

1B2 (287,858g)			
	1	2	3
πάχος	6,80	6,71	6,21
πλάτος	38,05	38,05	38,05
μήκος	153,00		

1B2 (279,765 g)			
	1	2	3
πάχος	6,72	6,60	6,17
πλάτος	37,80	37,80	37,85
μήκος	153,00		

1B3 (281,811g)			
	1	2	3
πάχος	6,18	6,85	6,86
πλάτος	38,00	38,05	38,05
μήκος	153,00		

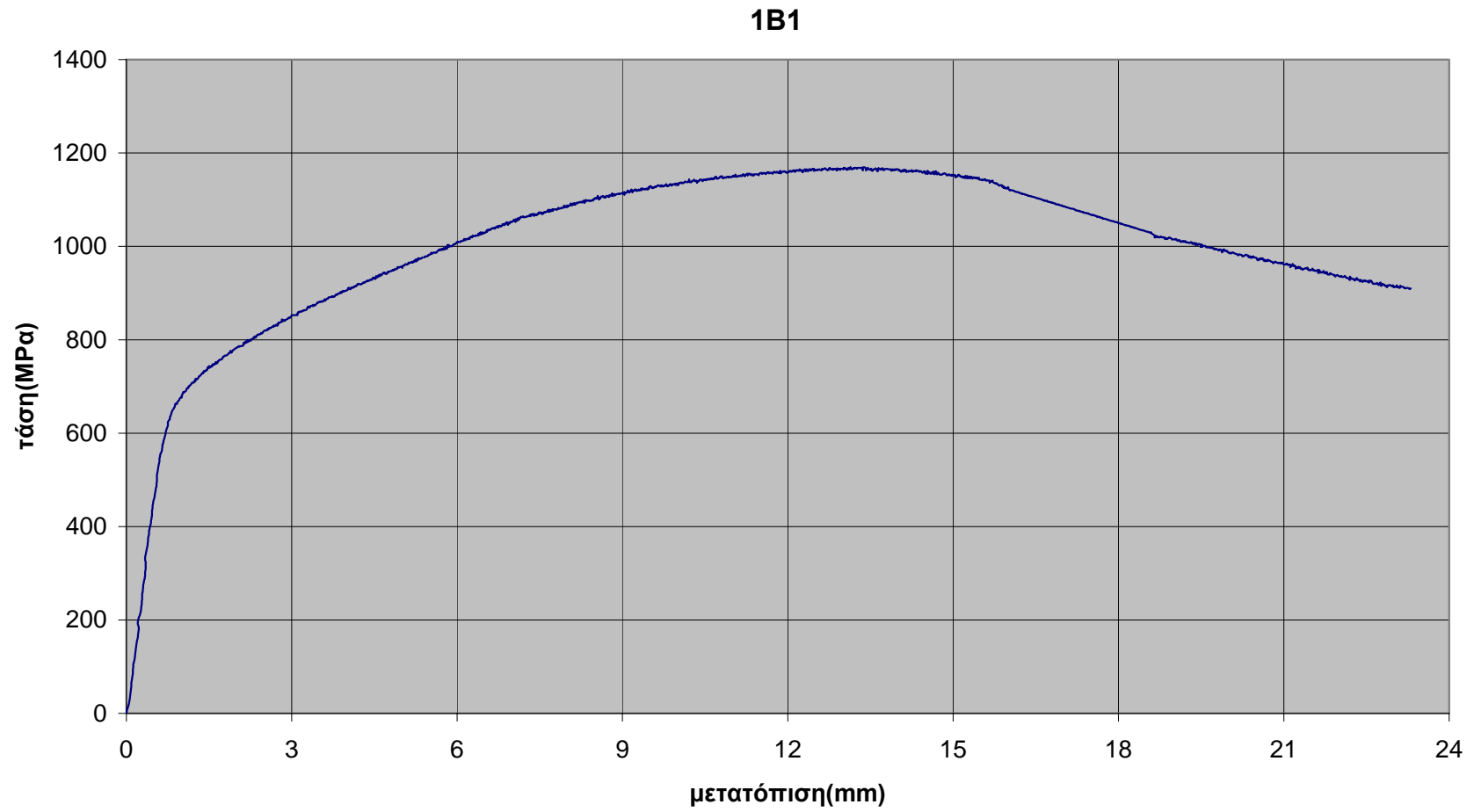
1B3 (278,938 g)			
	1	2	3
πάχος	6,16	6,74	6,75
πλάτος	37,80	37,70	37,80
μήκος	153,00		

7B3 (276,910g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,37	6,23
πλάτος	38,00	38,00	38,05
μήκος	153,00		

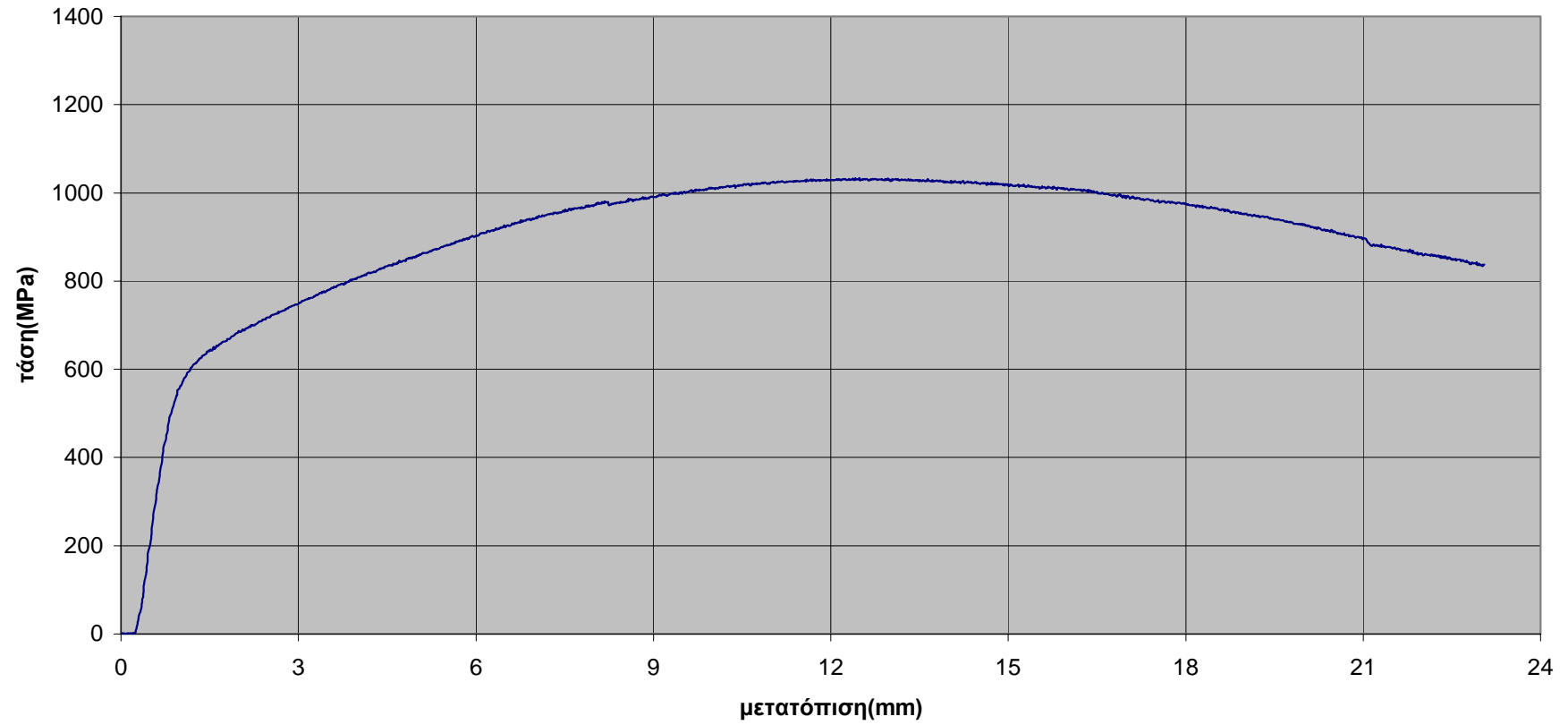
7B3 (269,308 g)			
	1	2	3
πάχος	6,16	6,24	6,21
πλάτος	37,90	37,80	37,80
μήκος	153,00		

Σε αντίθεση με τα δοκίμια του εφελκυσμού υπάρχουν μόνο συγκολλημένα δοκίμια κάμψης. Η ταχύτητα της μηχανής, δηλαδή η ταχύτητα με την οποία πλησιάζει η άνω αρπάγη της μηχανής την κάτω, αντιστοιχεί στην μετατόπιση του δοκίμιου από τη θέση ισορροπίας στη μονάδα του χρόνου. Η ταχύτητα αυτή είναι σταθερή στις δοκιμές κάμψης στα 2 mm/min και είναι η ίδια για όλα τα δοκίμια.

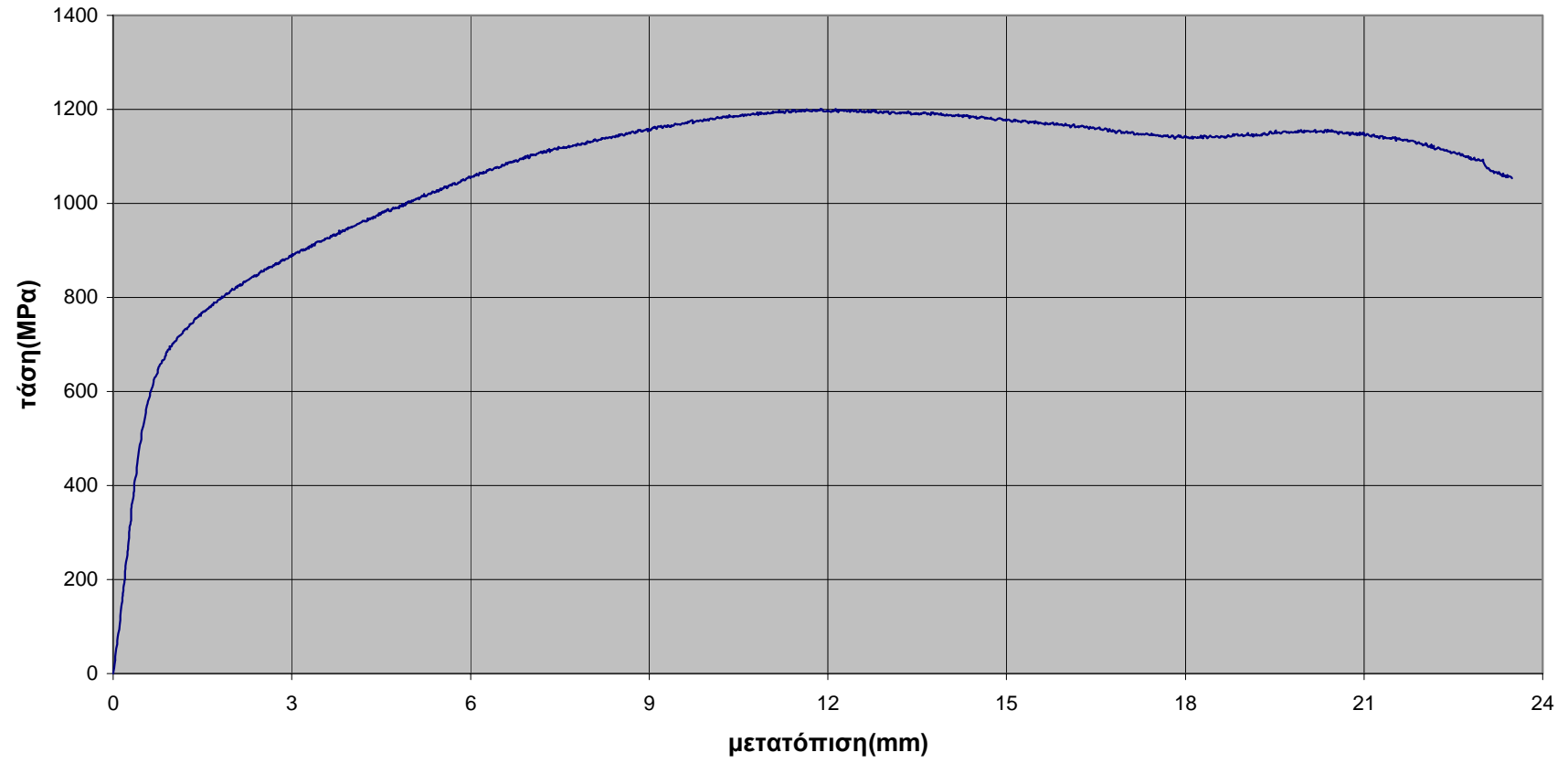
Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα



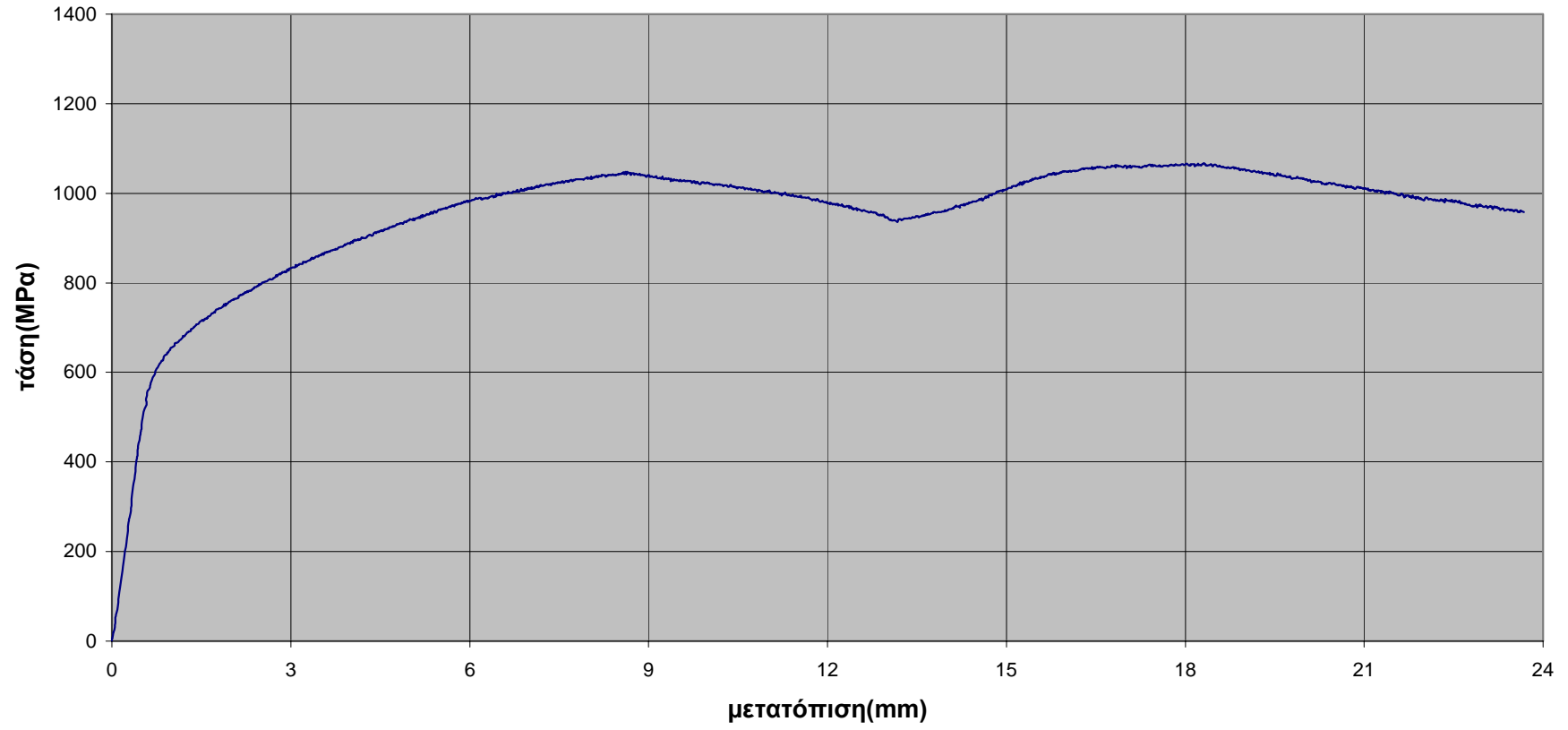
1B2



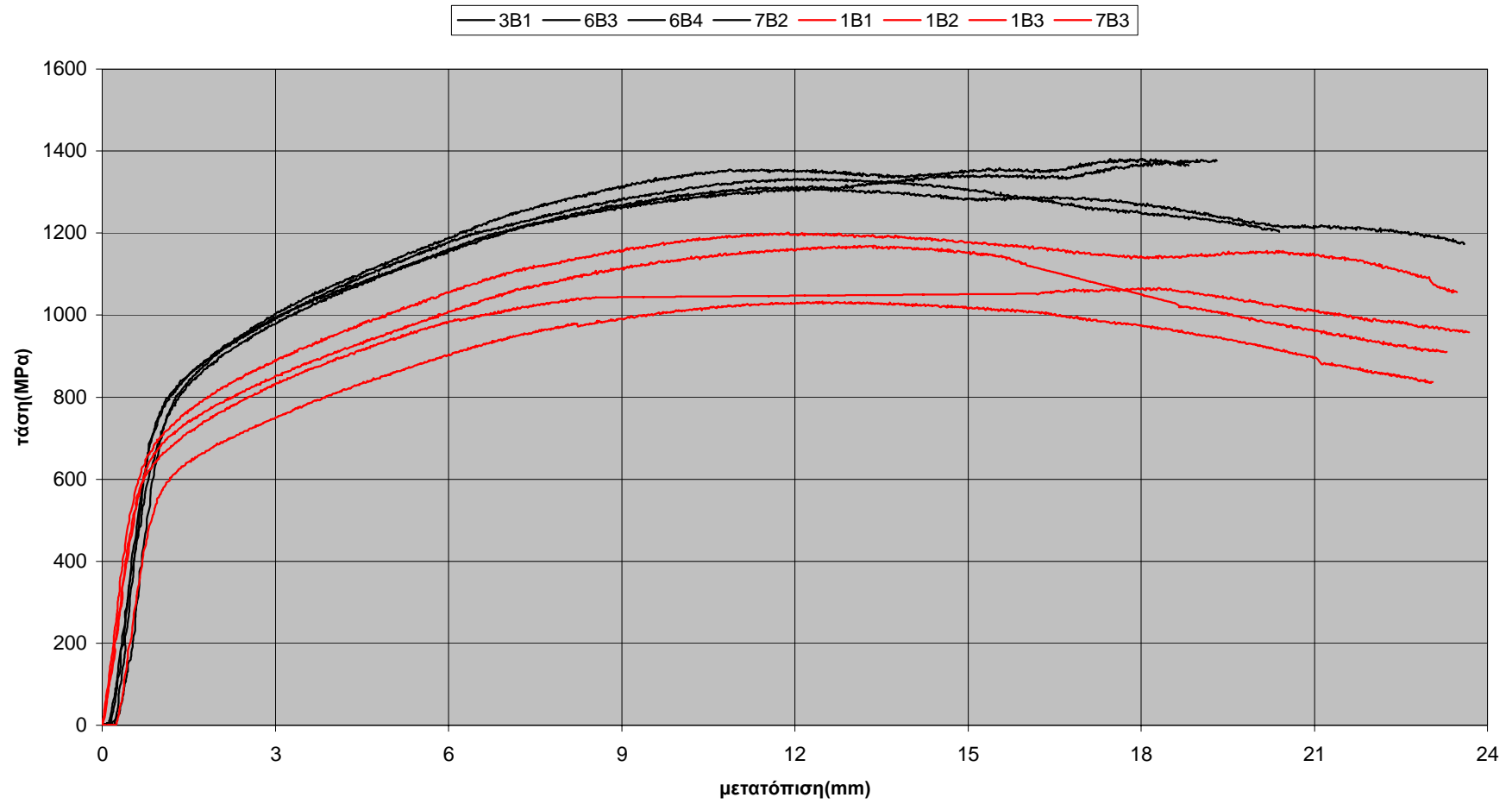
7B3



1B3



Κεφάλαιο 6 : Δοκιμές κάμψης



Στο διάγραμμα του δοκιμίου 1B3 παρατηρείται μια «κοιλιά». Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά τη διάρκεια της μηχανικής καταπόνησης του δοκιμίου σε κάμψη και ενώ η τάση που ασκούνταν στο δοκίμιο ήταν λίγο παραπάνω από 1000 MPa η μια σφήνα που συγκρατούσε τον κάτω αριστερά κύλινδρο έφυγε με αποτέλεσμα να μετακινηθεί ο κύλινδρος από την αρχική του θέση. Προφανώς δεν είναι δυνατή η αξιολόγηση των στοιχείων του συγκεκριμένου δοκιμίου καθώς δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί η μέγιστη καμπτική τάση που μπορεί να δεχθεί.

Στο συγκριτικό διάγραμμα ανάμεσα στα μη διαβρωμένα και στα διαβρωμένα για 20 ημέρες δοκίμια, παρατηρείται μια μειωμένη ικανότητα απορρόφησης καμπτικών φορτίων στα διαβρωμένα δοκίμια.

Τα συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 40 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

4B2 (274,777g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,38	6,26
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,85		

4B2 (256,950 g)			
	1	2	3
πάχος	6,10	6,17	6,13
πλάτος	37,65	37,65	37,45
μήκος	152,85		

4B3 (275,436g)			
	1	2	3
πάχος	6,26	6,36	6,25
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,00		

4B3 (255,222g)			
	1	2	3
πάχος	6,10	6,11	6,06
πλάτος	37,60	37,55	37,50
μήκος	153,00		

4B4 (275,420g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,29	6,25
πλάτος	37,95	37,85	38,00
μήκος	153,00		

4B4 (257,982 g)			
	1	2	3
πάχος	6,12	6,07	6,11
πλάτος	37,45	37,45	37,50
μήκος	153,00		

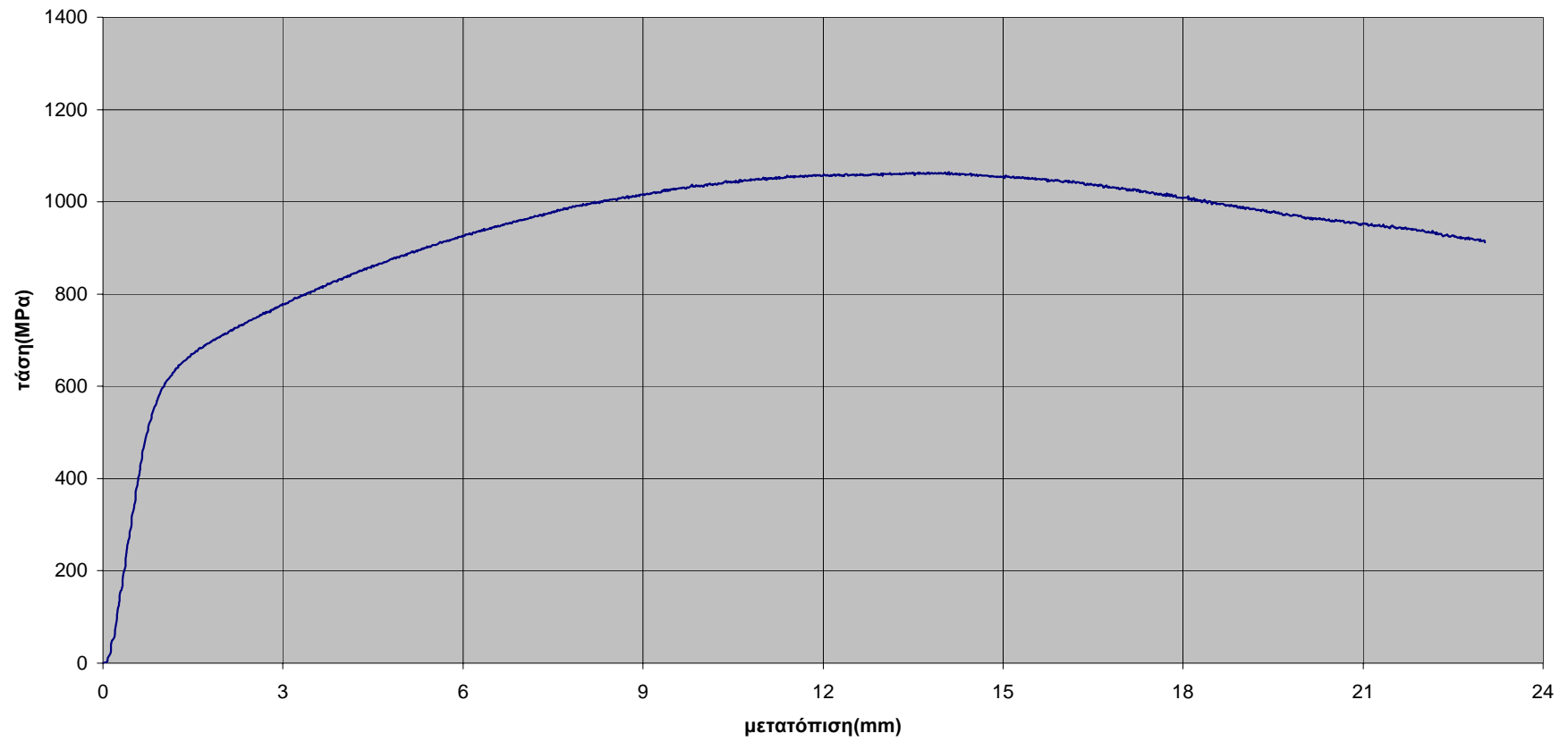
6B2 (288,036g)			
	1	2	3
πάχος	6,51	6,49	6,53
πλάτος	38,00	37,95	37,95
μήκος	152,90		

6B2 (269,270 g)			
	1	2	3
πάχος	6,36	6,26	6,49
πλάτος	37,50	37,40	37,50
μήκος	152,90		

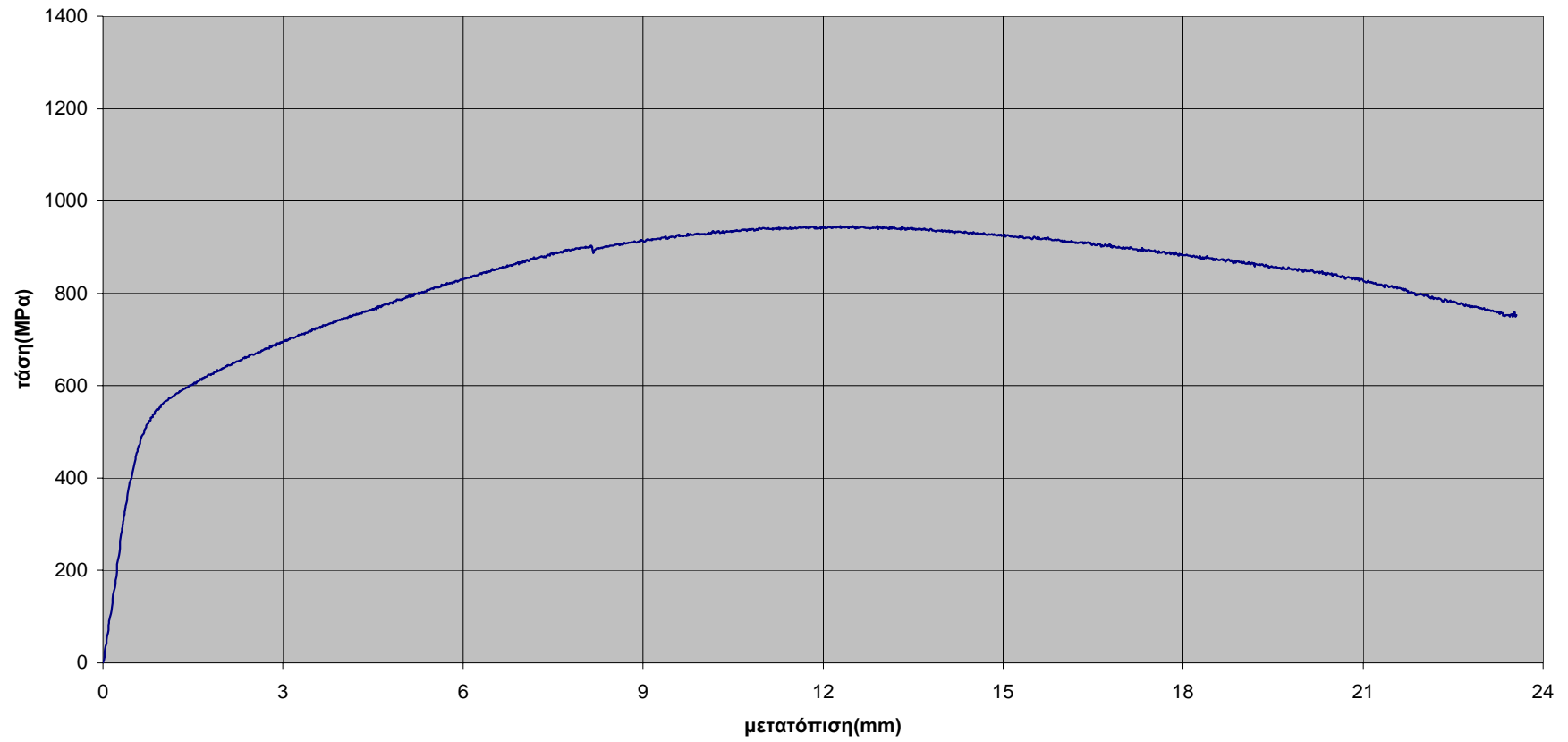
Στη συνέχεια, έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε κάμψη όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

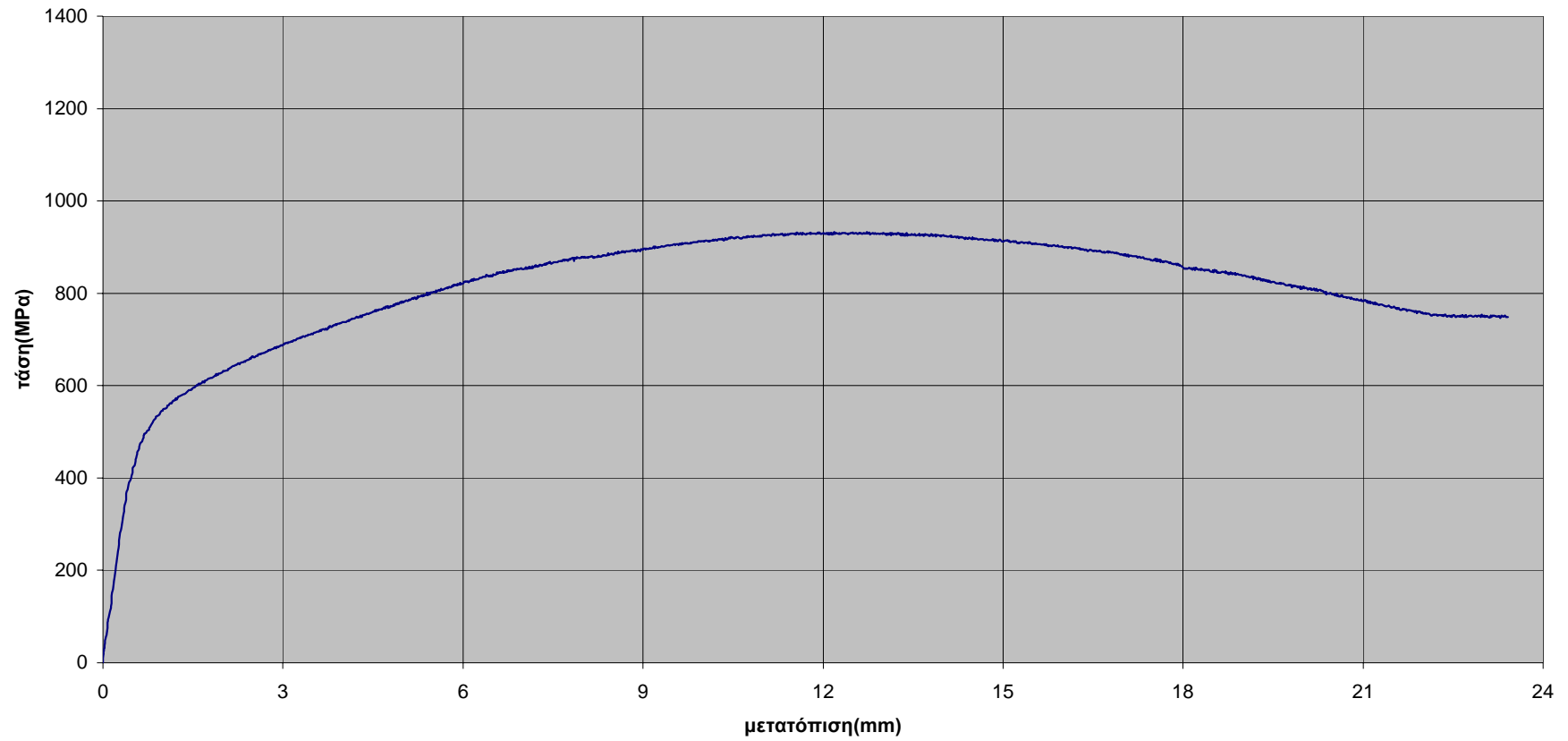
6B2



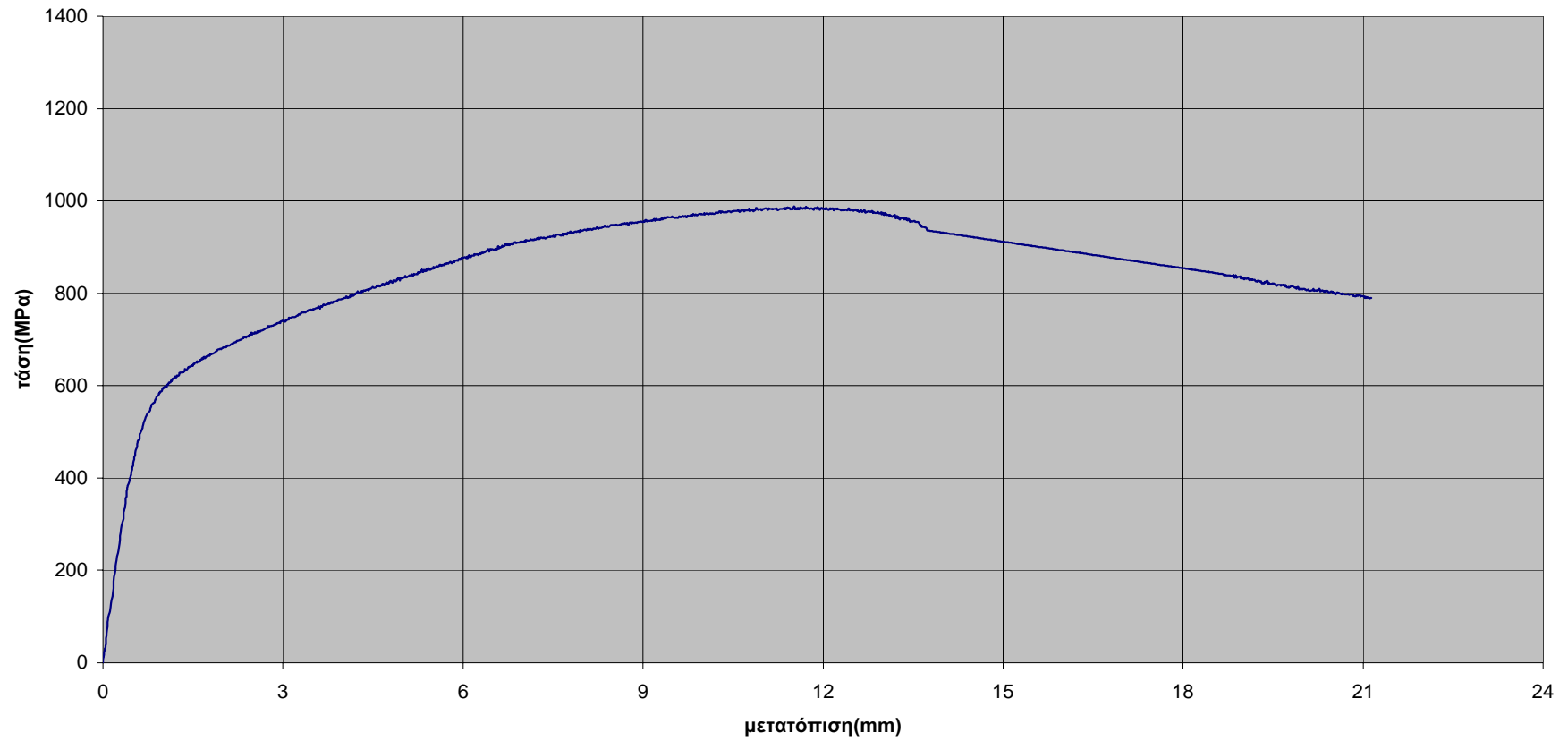
4B4



4B3



4B2



Στα διάγραμμα των δοκιμίων 4B3, 4B4 και 4B2 παρατηρείται ότι η τάση που μπορούν να δεχθούν είναι μικρότερη από 1000 Μρα. Από αυτό το γεγονός μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κατά την παραμονή των δοκιμίων 40 ημέρες στο θάλαμο αλατονέφωσης παρατηρείται μια μειωμένη ικανότητα απορρόφησης καμπτικών φορτίων στα διαβρωμένα δοκίμια.

Τα συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 60 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

1B4 (281,667g)			
	1	2	3
πάχος	6,15	6,36	6,60
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	152,90		

1B4 (251,996g)			
	1	2	3
πάχος	6,05	6,17	6,06
πλάτος	37,40	37,35	37,40
μήκος	152,85		

3B3 (275,801g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,57	6,19
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,00		

3B3 (251,302g)			
	1	2	3
πάχος	5,98	6,28	6,09
πλάτος	37,20	37,50	37,40
μήκος	152,95		

3B2 (274,429g)			
	1	2	3
πάχος	6,21	6,24	6,20
πλάτος	38,05	38,00	38,00
μήκος	153,00		

3B2 (258,816g)			
	1	2	3
πάχος	6,00	6,16	6,03
πλάτος	38,05	38,00	38,00
μήκος	152,90		

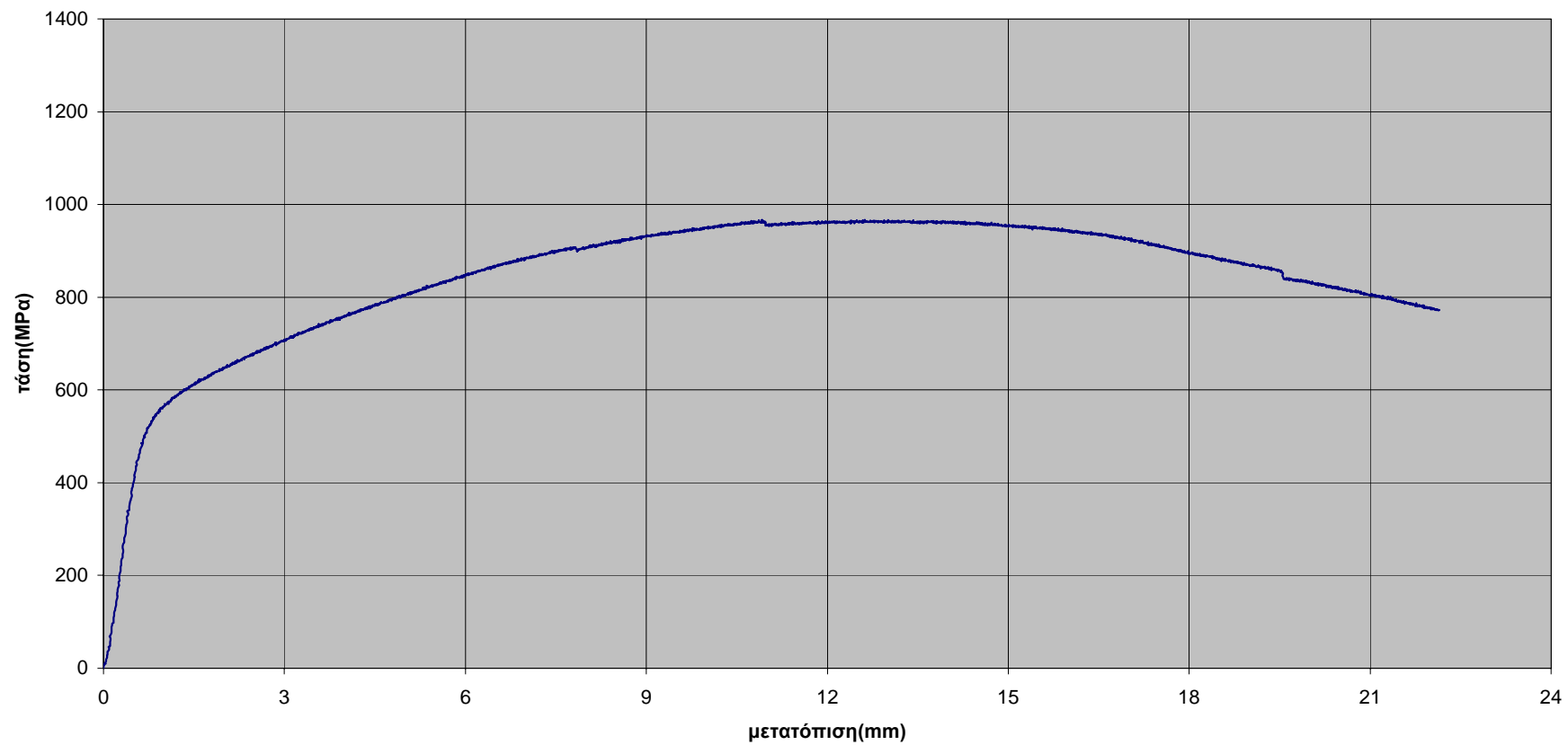
4B1 (276,002g)			
	1	2	3
πάχος	6,23	6,44	6,27
πλάτος	38,00	38,00	38,00
μήκος	153,15		

4B1 (249,707g)			
	1	2	3
πάχος	6,07	5,91	6,06
πλάτος	37,45	37,50	37,40
μήκος	153,05		

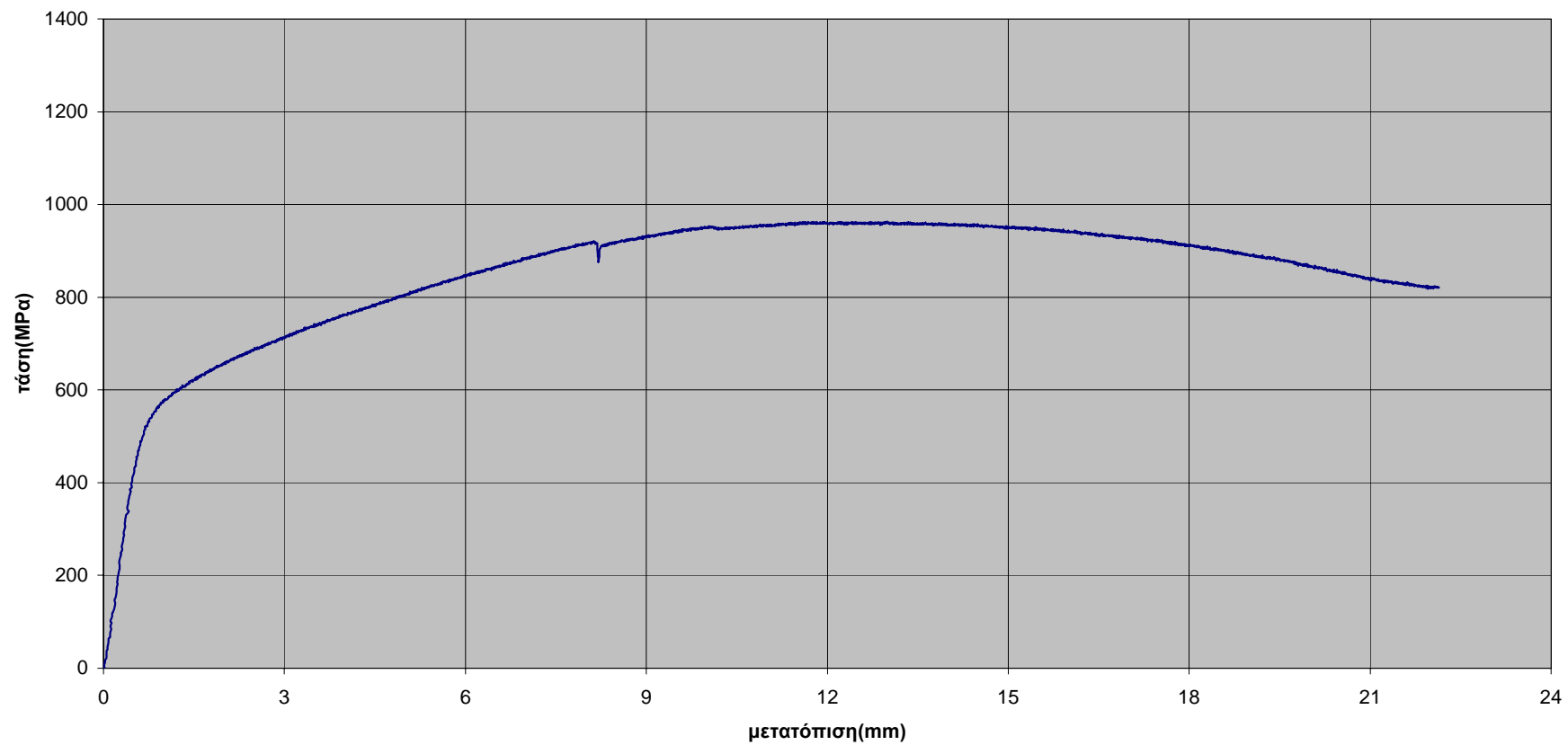
Στη συνέχεια, έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε κάμψη όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

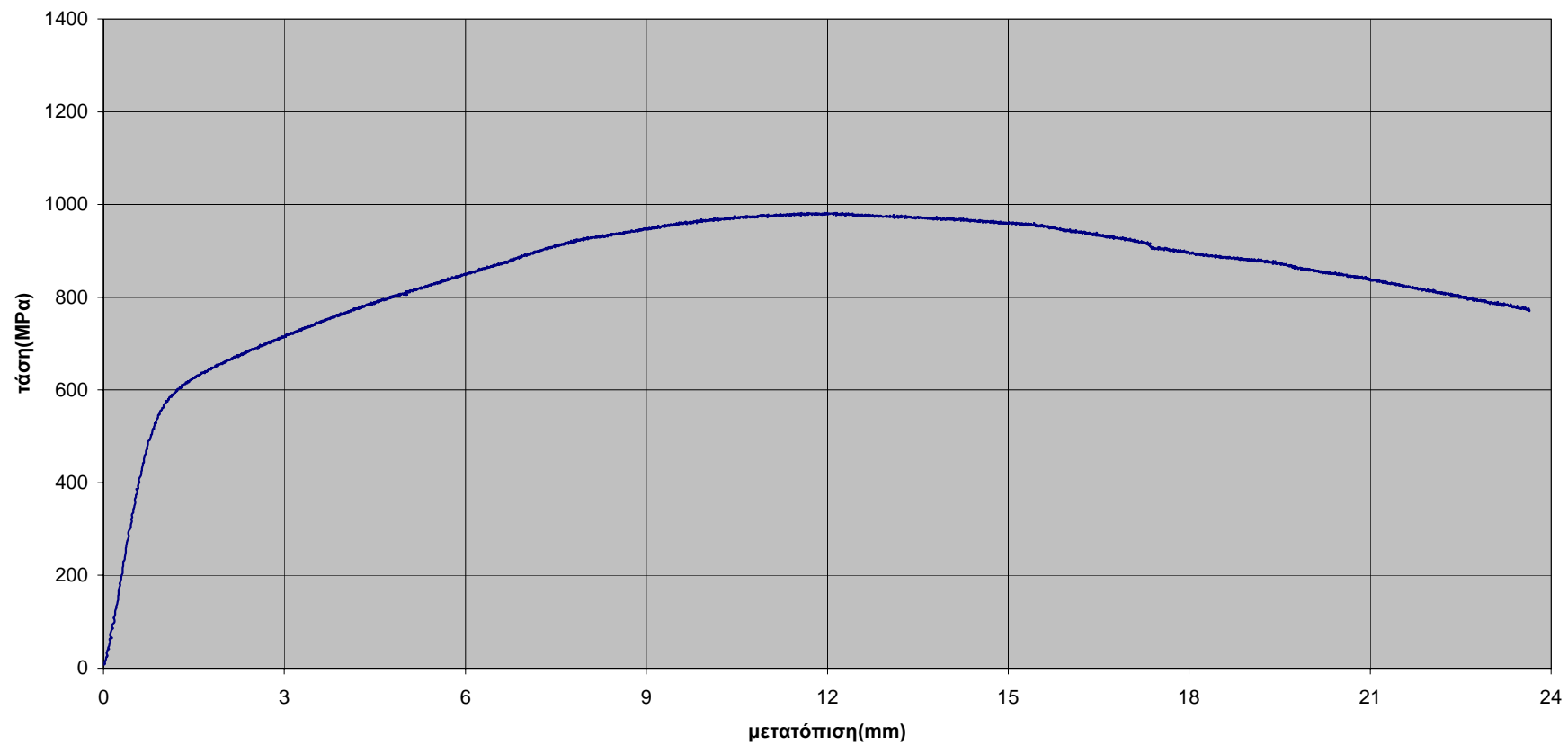
3B3



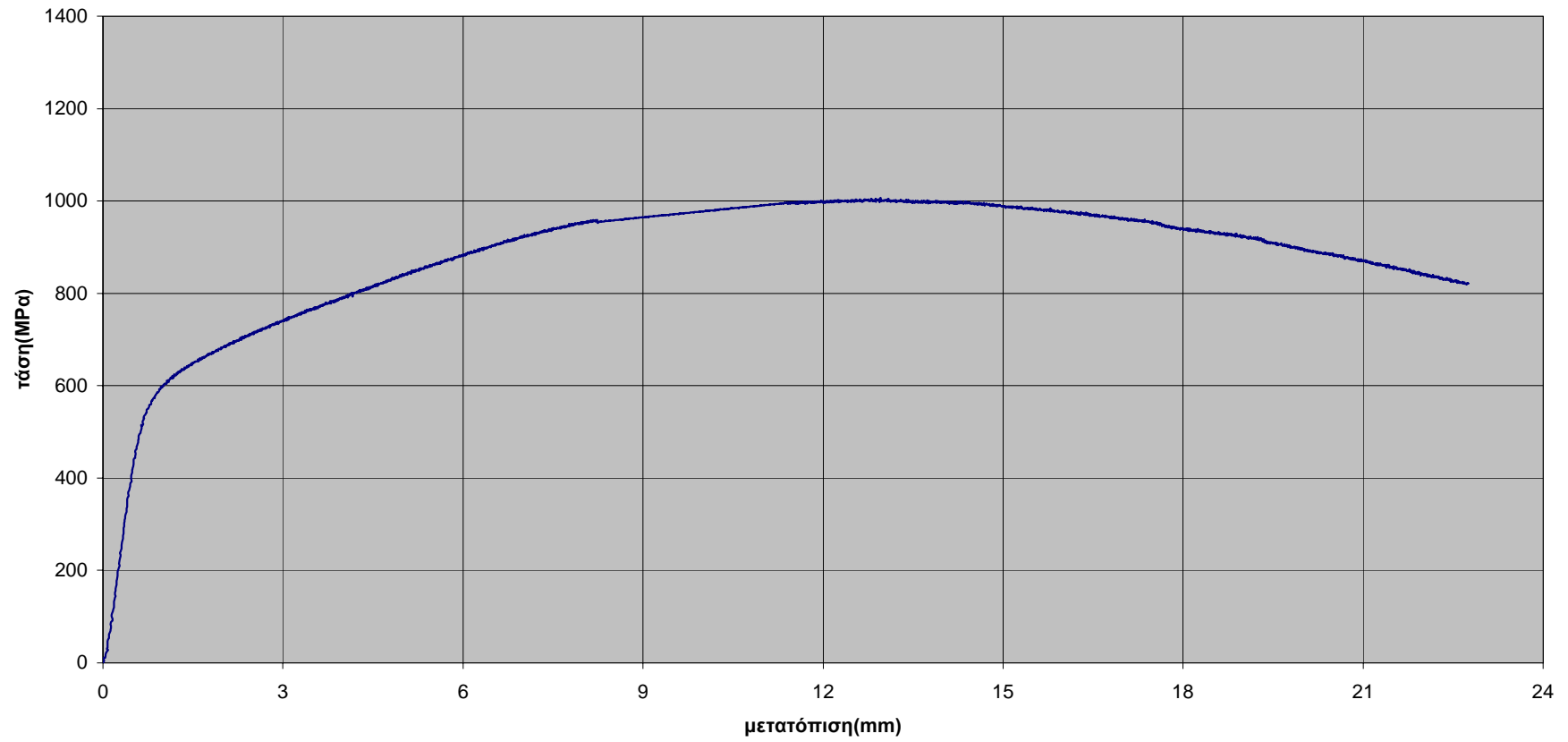
3B2



1B4



4B1



Στα διάγραμμα των δοκιμών 4B1, 3B3, 3B2 και 1B4 παρατηρείται ότι η τάση που μπορούν να δεχθούν είναι μικρότερη από 1000 Μρα. Από αυτό το γεγονός μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κατά την παραμονή των δοκιμών 60 ημέρες στο θάλαμο αλατονέφωσης παρατηρείται μια μειωμένη ικανότητα απορρόφησης καμπτικών φορτίων στα διαβρωμένα δοκίμια.

Τα συγκολλημένα δοκίμια που εξήλθαν από το θάλαμο μετά από 90 ημέρες καθώς και οι διαστάσεις τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

3B4 (277,196g)			
	1	2	3
πάχος	6,24	6,77	6,20
πλάτος	38,05	38,05	38,05
μήκος	152,80		

3B4 (245,344g)			
	1	2	3
πάχος	6,11	6,42	6,11
πλάτος	37,35	37,50	37,45
μήκος	152,50		

6B1 (290,286g)			
	1	2	3
πάχος	6,62	6,89	6,51
πλάτος	38,10	38,00	38,00
μήκος	152,80		

6B1 (257,942g)			
	1	2	3
πάχος	6,44	6,32	6,35
πλάτος	37,35	37,45	37,50
μήκος	152,55		

7B4 (264,735g)			
	1	2	3
πάχος	6,23	6,40	6,24
πλάτος	36,50	36,40	36,30
μήκος	152,95		

7B4 (233,719g)			
	1	2	3
πάχος	5,89	6,01	6,12
πλάτος	36,10	35,95	35,85
μήκος	152,55		

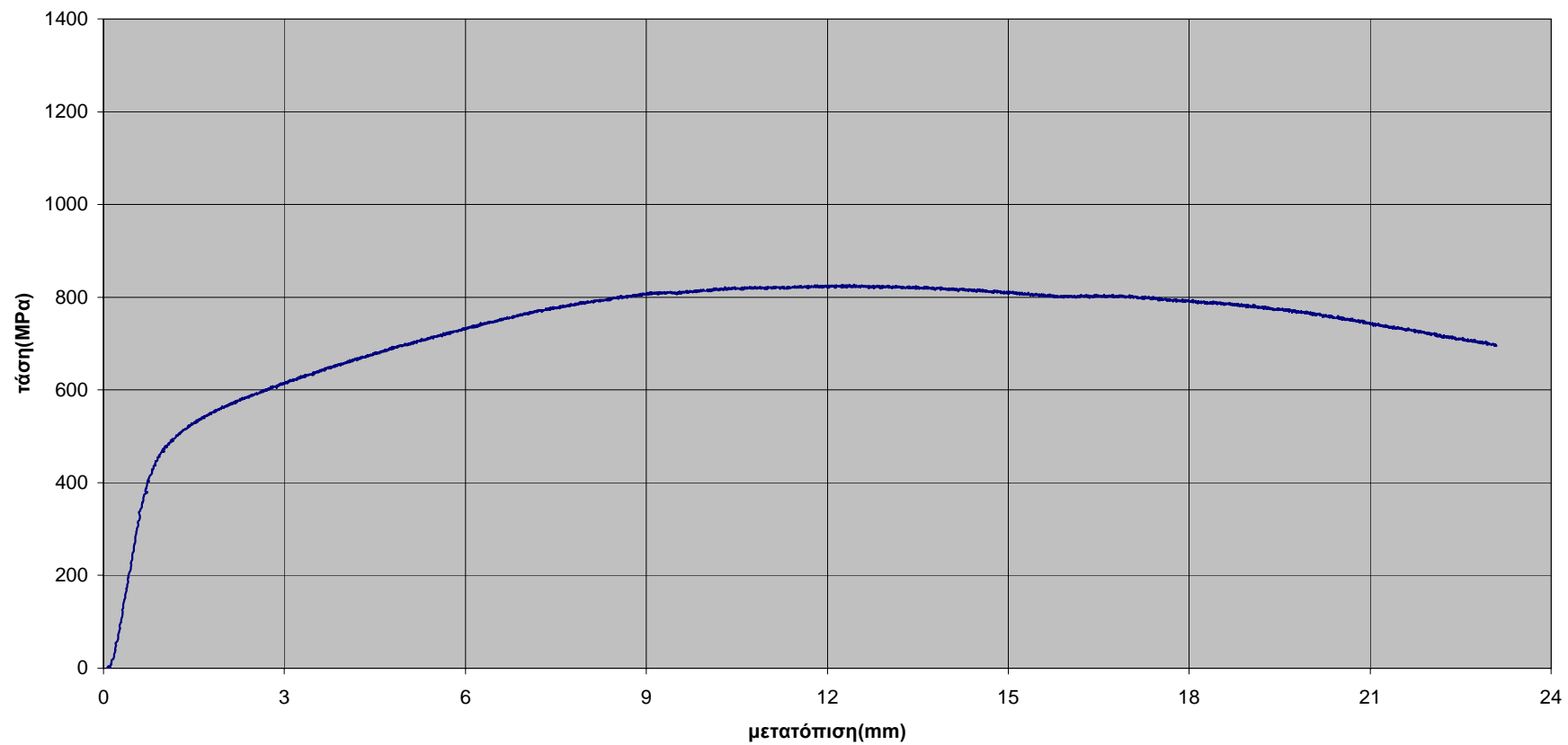
7B1 (271,951g)			
	1	2	3
πάχος	6,06	6,08	6,23
πλάτος	38,10	38,10	38,10
μήκος	153,00		

7B1 (271,951g)			
	1	2	3
πάχος	5,67	5,50	6,10
πλάτος	37,50	37,55	37,45
μήκος	152,50		

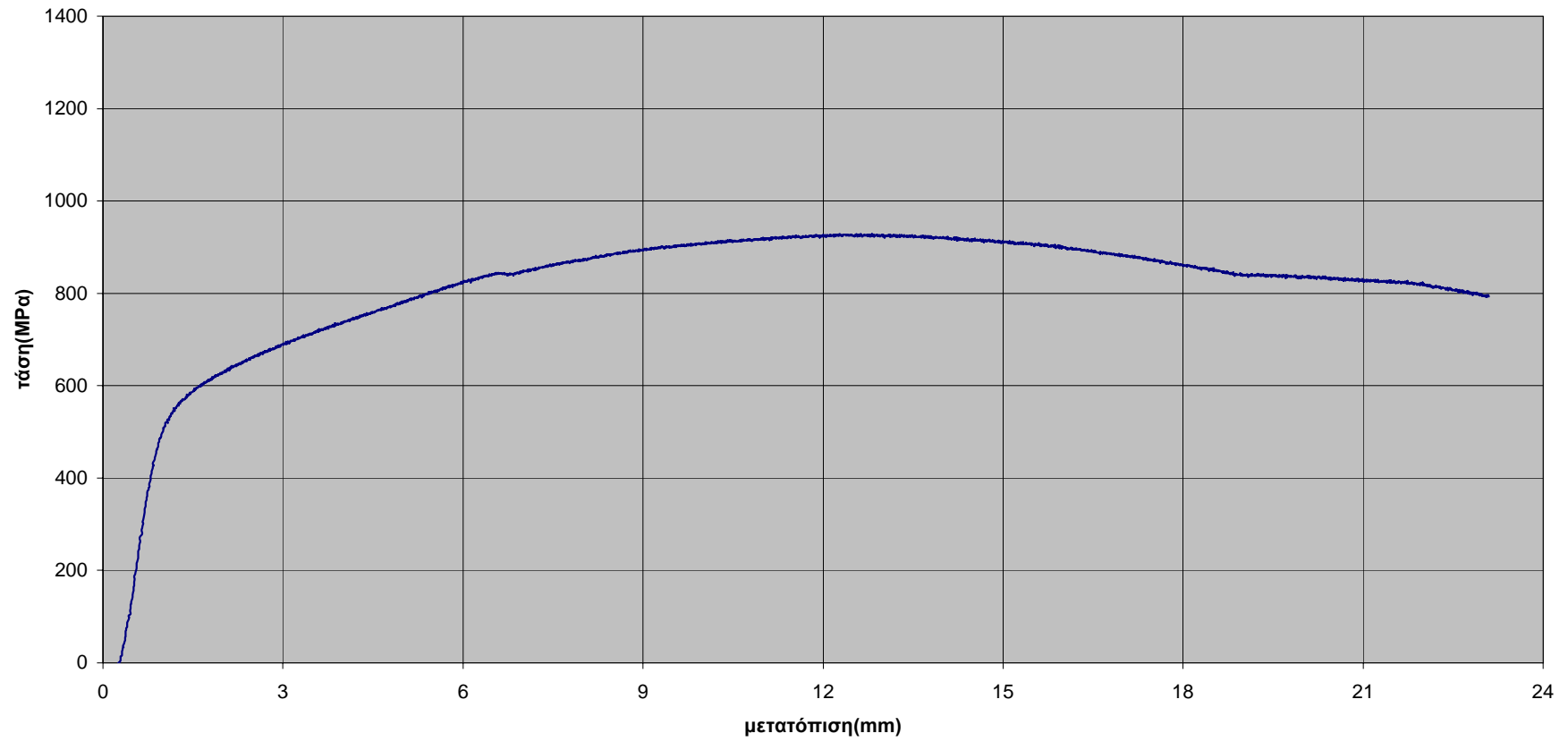
Στη συνέχεια, έγινε η ίδια διαδικασία δοκιμών σε εφελκυσμό όπως και για τα προηγούμενα δοκίμια.

Από τα στοιχεία που καταγράφηκαν στον ηλεκτρονικό υπολογιστή προκύπτουν, για κάθε ένα δοκίμιο, τα παρακάτω διαγράμματα.

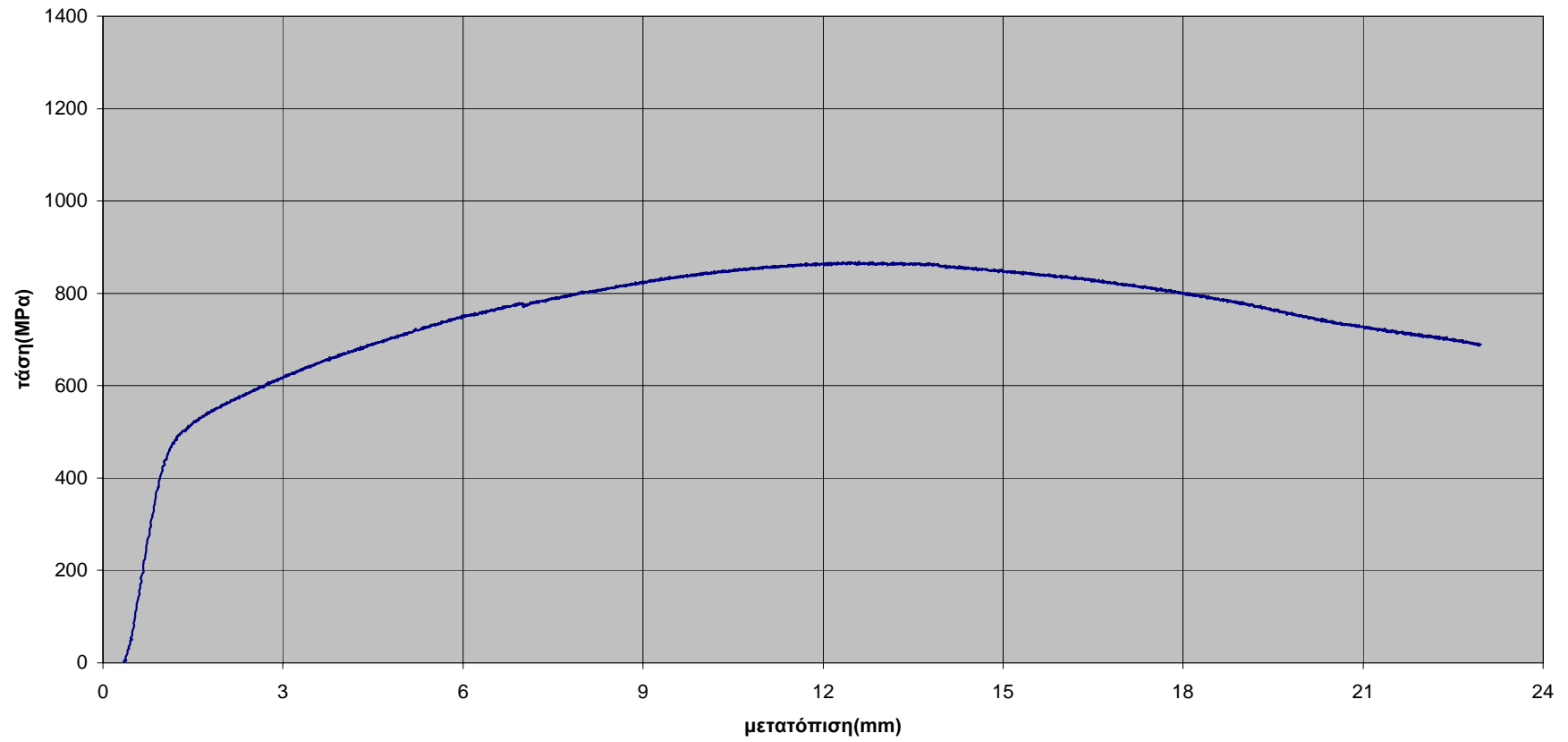
7B1



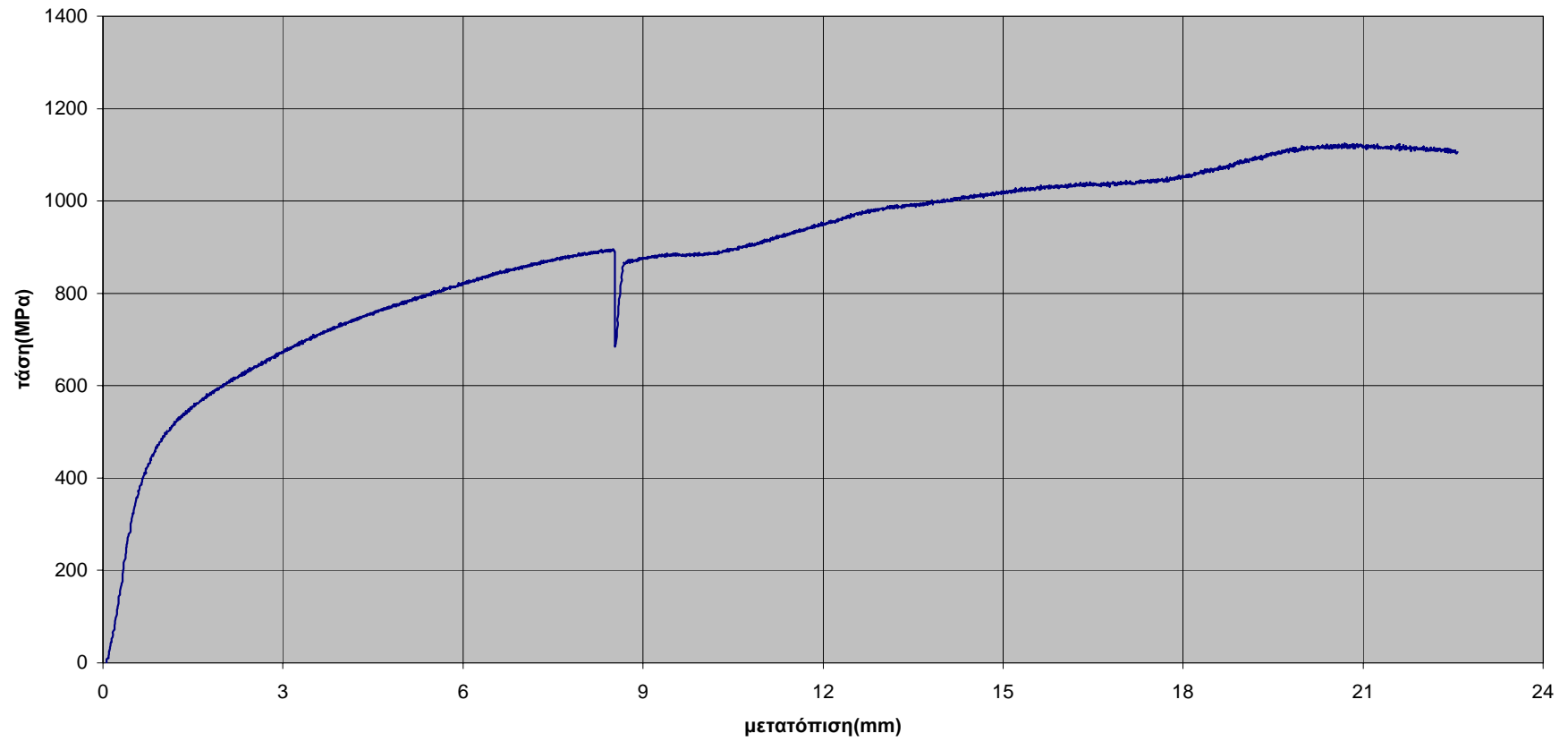
6B1



3B4



7B4



Στα διάγραμμα των δοκιμίων 7B1, 6B1, 3B4 παρατηρείται ότι η τάση που μπορούν να δεχθούν είναι μικρότερη από 1000 Mpa. Για το δοκίμιο 7B4 όπως παρατηρείται και στο διάγραμμα κατά την διάρκεια του πειράματος και ενώ η τάση που ασκούνταν στο δοκίμιο ήταν περίπου 900 Mpa η μια σφήνα που συγκρατούσε τον κάτω αριστερά κύλινδρο έφυγε με αποτέλεσμα να μετακινηθεί ο κύλινδρος από την αρχική του θέση. Προφανώς δεν είναι δυνατή η αξιολόγηση των στοιχείων του συγκεκριμένου δοκιμίου καθώς δεν είναι δυνατό να υπολογιστεί η μέγιστη καμπτική τάση που μπορεί να δεχθεί.

Από αυτό το γεγονός μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι κατά την παραμονή των δοκιμίων 90 ημέρες στο θάλαμο αλλατονέφωσης παρατηρείται μια μειωμένη ικανότητα απορρόφησης καμπτικών φορτίων στα διαβρωμένα δοκίμια.

7.1 Συμπεράσματα

Από τη εργασία αυτή προέκυψαν τα εξής συμπεράσματα:

- Η πειραματική επιβεβαίωση της θεωρητικής τιμής του ορίου διαρροής και ορίου θραύσης του χάλυβα AH36.
- Ο υπολογισμός του μέτρου ελαστικότητας του χάλυβα AH36.
- Τα συγκολλημένα και μη συγκολλημένα δοκίμια είχαν παρόμοια συμπεριφορά κατά τη διάρκεια της δοκιμής του εφελκυσμού.
- Μετά από 20 ημέρες παραμονής των δοκιμίων σε διαβρωτικό περιβάλλον δεν παρουσιάζονται σημαντικές διαφορές στις μηχανικές ιδιότητες των δοκιμίων του χάλυβα AH36.
- Η μείωση της αντοχής σε εφελκυσμό και η μείωση της ικανότητας απορρόφησης καμπτικών φορτίων από τα δοκίμια του χάλυβα AH36 όσο μεγαλύτερος είναι ο χρόνος παραμονής τους σε δραστικό περιβάλλον.
- Η ψαθυροποίηση του χάλυβα κατά την παραμονή του χάλυβα AH36 σε διαβρωτικό περιβάλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Β.Ι.Παπάζογλου, “*Ναυπηγική Τεχνολογία*”, Εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα, 1995
2. Γ. Χρυσουλάκης, Δ. Παντελής, “*Επιστήμη και τεχνολογία των υλικών*”, Παπασωτηρίου, Αθήνα, 1996
3. Ν.Ανδριανόπουλος, Ε.Κυριαζή, Κ.Λιακόπουλος, “*Πειραματική αντοχή των υλικών*”, Εκδόσεις Συμεών, Αθήνα, 1991
4. ASM 2003, *ASM Handbook Volume 13A, “Corrosion: Fundamentals, testing and Protection”*. p.294
5. ASTM G1-90 1999, “*Standard practice for preparing, cleaning and evaluating corrosion test specimens*”.
6. ASTM E190-92 2003, “*Standard Test Method for Guided Bend Test for Ductility of Welds*”.
7. ASTM E8-04 2007, “*Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*”.
8. ASTM E855 1998, “*Standard Test Methods of Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications Involving Static Loading*”, Annual Book of ASTM Standards, Vol 03.01
9. Germanischer Lloyd 2000. “*Rules for Classification and Construction, Materials and Welding: Welding - General Requirements, Proof of Qualifications, Approvals*”.
10. Hellenic Register of Shipping 1996. " *Rules for Classification and Construction, Materials and Welding: Welding - General Requirements, Proof of Qualifications, Approvals*”.
11. ISO 8407 1991. Corrosion of metals and alloys – Removal of corrosion products from corrosion test specimens. In *ISO Handbook Corrosion* 1st ed.
12. ISO 14993 2001. Corrosion of metals and alloys – Accelerated testing involving cyclic exposure to salt mist, “dry” and “wet” conditions. In *ISO Standards Handbook Corrosion* 1st ed.

13. J.Datsko, "*Material Properties and Manufacturing Processes*", John Wiley and Sons, New York 1966, p 18-20.
14. N.E.Dowling, "*Mechanical Behavior of Materials*", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1993, p 682.
15. J.M.Gere and S.P.Timoshenko, "*Mechanics of Materials*", 4th ed., PWS Publishing Co., 1997.
16. Bernstein M. and Zaimovsky V., "*Mechanical Properties of Metals*", MIR, Moscow, 1983.
17. Marin J., "*Mechanical Behavior of Engineering Materials*", Prentice Hall, New Jersey, 1962.
18. Mc Clintock F. and Argon A., "*Mechanical Behavior of Materials*", Addison-Wesley, Reading Massachusetts, 1966.
19. Mc Lean D., "*Mechanical Properties of Materials*", Wiley and Sons, New York, 1967.
20. Feodosyev V., "*Strength of Materials*", MIR, Moscow, 1976.
21. Cottrell A., "*The Mechanical Properties of Matter*", Wiley and Sons, New York, 1964