

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ

Διπλωματική Εργασία

**ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΗΛΙΑΚΟΥ**

**ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΗ ΣΕ ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΚΑΙ ΚΑΜΨΗ**

υπό

**ΣΙΑΛΗ ΜΑΡΙΑ**



Υπεβλήθη για την εκπλήρωση μέρους των  
απαιτήσεων για την απόκτηση του  
Διπλώματος Μηχανολόγου Μηχανικού

2014



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

Αριθ. Εισ.: 12480/1  
Ημερ. Εισ.: 20-03-2014  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΜ  
2014  
ΣΙΑ

© 2014 Σιαλή Μαρία

Η έγκριση της διπλωματικής εργασίας από το Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Βιομηχανίας της Πολυτεχνικής Σχολής του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας δεν υποδηλώνει αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα (Ν. 5343/32 αρ. 202 παρ. 2).

## Εγκρίθηκε από τα Μέλη της Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής:

Πρώτος Εξεταστής (Επιβλέπων) Δρ. Κερμανίδης Αλέξης  
Επίκουρος Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Δεύτερος Εξεταστής Δρ. Αράβας Νικόλαος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Τρίτος Εξεταστής Δρ. Ανδρίτσος Νικόλαος  
Καθηγητής, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών,  
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας



## Ευχαριστίες

Ολοκληρώνοντας της πτυχιακή μου εργασία, θέλω να ευχαριστήσω πρώτον από όλους τον επιβλέποντα της εργασίας μου κ. Κερμανίδη Αλέξη Επίκουρο Καθηγητή του τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών Θεσσαλίας για την καθοδήγηση, υπομονή, και την κατανόηση του καθ' όλη τη διάρκεια της ενασχόλησης μου με τη διεξαγωγή της διπλωματικής μου εργασίας.

Ευχαριστώ τον Αντρέα Τζαμτζή και τον Πέτρο Χριστοδούλου για τη βοήθεια, τις συμβουλές τους και το χρόνο που μου αφιέρωσαν μέχρι την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου εργασίας.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τα υπόλοιπα μέλη της τριμελούς επιτροπής τον Καθηγητή Νικόλαο Αράβα, Καθηγητή Νικόλαο Ανδρίτσο που δέχθηκαν να με τιμήσουν με τη παρουσία τους στην επιτροπή αξιολόγησης της πτυχιακής μου εργασίας.

Ευχαριστώ τους φίλους μου για την ολόψυχη αγάπη και υποστήριξη τους όλα αυτά τα χρόνια, και για τις όμορφες στιγμές που περάσαμε μαζί. Ιδιαίτερα την Βαγγελιώ για τη βοήθεια της για την ολοκλήρωση της διπλωματικής μου. Πάνω απ' όλα, είμαι ευγνώμων στους γονείς μου, Μιχάλη και Γεωργία Σιαλή για την υλική και ψυχολογική τους στήριξη, όχι μόνο κατά τη διάρκεια της διπλωματικής μου εργασίας, αλλά και σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου, και στην αδελφή μου Ειρήνη για την ψυχολογική υποστήριξη και για την ωραία συγκατοίκηση που είχαμε όλα αυτά τα χρόνια.

Αφιερώνω αυτή την εργασία  
στον πατέρα μου, στην μητέρα μου και στην αδελφή μου

## Περιεχόμενα

<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1</i> .....	11
ΓΕΝΙΚΑ.....	11
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2</i> .....	13
2.1 Ηλιακοί συλλέκτες (ηλιακοί απορροφητές) .....	13
2.2 Αξιοποίηση των διμεταλλικών συγκολλήσεων Al-Cu στην κατασκευή ηλιακών συλλεκτών (ή ηλιακών απορροφητών) .....	15
2.3 Συγκολλήσεις μετάλλων με laser.....	17
2.4 Συγκολλήσεις laser στους ηλιακούς συλλέκτες .....	21
2.5 Συνθήκες laser διμεταλλικής συγκόλλησης Al-Cu .....	23
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3</i> .....	26
3.1. Δοκιμές διάτμησης.....	26
3.1. 1 Γενικά .....	26
3.1.2 Προετοιμασία δοκιμών .....	27
3.1.3 Πειραματική διάταξη.....	30
3.2 Δοκιμές κάμψης.....	33
3.2.1 Προετοιμασία δοκιμών .....	33
3.2.2 Πειραματική διάταξη.....	34
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4</i> .....	41
4.1 Αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης .....	41

4.2 Αποτελέσματα δοκίμων κάμψης .....	48
4.3 Σχηματική παράσταση θερμικού φορτίου ανά δύναμη για κάθε κωδικό .....	57
4.4 Σχηματική παράσταση ταχύτητας συγκόλλησης ανά δύναμη για κάθε κωδικό .....	58
<i>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5</i> .....	59
Συμπεράσματα -Προτάσεις.....	59
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	61

## Κατάλογος Πινάκων

<b>Πίνακας 2.1:</b> Κατηγορίες συγκολλήσεων για διάφορες συνθήκες laser .....	23
<b>Πίνακας 4.1 :</b> Συγκριτικά αποτελέσματα δοκιμίων διάτμησης και κάμψης για τους κωδικούς που ελέγχθησαν .....	56

## Κατάλογος Σχημάτων

<b>Σχήμ.2.1:</b> Ηλιακός συλλέκτης .....	14
<b>Σχήμ.2.2:</b> Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη .....	15
<b>Σχήμ.2.3:</b> Τα μέρη του ηλιακού συλλέκτη .....	16
<b>Σχήμ.2.4:</b> Σημειακή συγκόλληση με laser ηλιακού συλλέκτη Al-Cu .....	16
<b>Σχήμ.2.5:</b> Διαδικασία παραγωγής της ακτίνας Laser .....	17
<b>Σχήμ.2.6:</b> Διάταξη συγκόλλησης με δέσμη Laser .....	18
<b>Σχήμ.2.7:</b> Συγκόλληση με δέσμη laser σε ηλιακό συλλέκτη .....	21
<b>Σχήμ.2.8:</b> Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Δ .....	24
<b>Σχήμ.2.9:</b> Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Ε .....	24
<b>Σχήμ.2.10:</b> Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό ΣΤ .....	25
<b>Σχήμ.2.11:</b> Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Ζ .....	25
<b>Σχήμ.3.1:</b> Μηχανή εφελκυσμού .....	27
<b>Σχήμ.3.2:</b> Γεωμετρία δοκιμίου διάτμησης .....	28
<b>Σχήμ.3.3:</b> Σκαρίφημα δοκιμίου στοιχείου απορροφητή για έλεγχο σε δοκιμή Διάτμησης .....	28
<b>Σχήμ.3.4:</b> Πραγματική φωτογραφία δοκιμίου διάτμησης .....	29
<b>Σχήμ.3.5:</b> Μηχανή εφελκυσμού .....	30
<b>Σχήμ.3.6:</b> Συγκράτηση δοκιμίου στην μηχανή εφελκυσμού .....	31
<b>Σχήμ.3.7:</b> Αποκόλληση των συγκολλήσεων στο κάτω μέρος του δοκιμίου μετά το τέλος της δοκιμής διάτμησης .....	32
<b>Σχήμ.3.8:</b> Δοκίμιο διάτμησης που αστόχησε λόγω αποκόλλησης των Συγκολλήσεων .....	32
<b>Σχήμ.3.9:</b> Γεωμετρία δοκιμίου κάμψης .....	33
<b>Σχήμ.3.10:</b> Μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την κάμψη των δοκιμίων .....	34
<b>Σχήμ.3.11:</b> Πειραματική διάταξη κάμψης τριών σημείων .....	35
<b>Σχήμ. 3.12</b> Σκαρίφημα ιδιοσυσκευής για την στήριξη των δοκιμίων στο πείραμα της κάμψης (διαστάσεις σε mm) .....	36
<b>Σχήμα.3.13</b> Μεταλλικό στοιχείο (διαστάσεις σε mm) .....	36

<b>Σχήμ.3.14</b> <i>Ιδιοσυσκευή και δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα της κάμψης</i> .....	37
<b>Σχήμ.3.15</b> <i>Ιδιοσυσκευή και δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα της κάμψης στο στοιχείο εφαρμογής της δύναμης φαίνεται η καμπυλόμενη επιφάνεια επαφή με τον χαλκοσωλήνα</i> .....	37
<b>Σχήμ.3.16:</b> <i>Δοκίμια κάμψης</i> .....	38
<b>Σχήμ.3.17</b> <i>Διαδικασία κάμψης</i> .....	39
<b>Σχήμ.3.18:</b> <i>Δοκίμια που ελέχθησαν σε δοκιμή κάμψης</i> .....	40
<b>Σχήμ.4.1</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Α</i> .....	41
<b>Σχήμ.4.2</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Β</i> .....	42
<b>Σχήμ.4.3</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Δ</i> .....	42
<b>Σχήμ.4.4</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Ε</i> .....	43
<b>Σχήμ.4.5</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό ΣΤ</i> .....	43
<b>Σχήμ.4.6</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Ζ</i> .....	44
<b>Σχήμ.4.7</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Θ</i> .....	44
<b>Σχήμ.4.8</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Η</i> .....	45
<b>Σχήμ.4.9</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Ι</i> .....	45
<b>Σχήμ.4.10</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Κ</i> .....	46
<b>Σχήμ.4.11</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Λ</i> .....	46
<b>Σχήμ.4.12</b> : <i>Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Ν</i> .....	47
<b>Σχήμ.4.13</b> : <i>Μέσος όρος μέγιστης δύναμης διάτμησης για κάθε κωδικό που ελέχθηκε</i> .....	47
<b>Σχήμ.4.14</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Α</i> .....	48
<b>Σχήμ.4.15</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Β</i> .....	49
<b>Σχήμ.4.16</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Δ</i> .....	49
<b>Σχήμ.4.17</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Ε</i> .....	50
<b>Σχήμ.4.18</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό ΣΤ</i> .....	50
<b>Σχήμ.4.19</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Ζ</i> .....	51
<b>Σχήμ.4.20</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Θ</i> .....	51
<b>Σχήμ.4.21</b> : <i>Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Η</i> .....	52



Σχήμ.4.22 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό I.....	52
Σχήμ.4.23 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό K.....	53
Σχήμ.4.24 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Λ.....	53
Σχήμ.4.25 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Ν.....	54
Σχήμ.4.26: Συγκεντρωτικό διάγραμμα των δοκιμίων με κωδικό Α,Β,ΣΤ,Δ,Ε,Ζ.....	54
Σχήμ.4.27: Συγκεντρωτικό διάγραμμα των δοκιμίων με κωδικό Θ, Η, Ι, Λ, Ν, Κ.....	55
Σχήμ.4.28 : Μέγιστη δύναμη κάμψης.....	55
Σχήμ.4.29 : Αντοχή σε διάτμηση ανά θερμικό φορτίο για κάθε κωδικό.....	57
Σχήμ.4.30 : Αντοχή σε κάμψη ανά θερμικό φορτίο για κάθε κωδικό.....	57
Σχήμ.4.31 : Αντοχή σε διάτμηση ανά ταχύτητα συγκόλλησης για κάθε κωδικό.....	58
Σχήμ.4.32 : Αντοχή σε κάμψη ανά ταχύτητα συγκόλλησης για κάθε κωδικό.....	58



# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

### ΓΕΝΙΚΑ

Η διεθνής άνοδος των τιμών του πετρελαίου καθώς και η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου επιβάλλουν την αξιοποίηση εναλλακτικών πηγών ενέργειας φιλικών προς το περιβάλλον. Η ηλιακή ενέργεια είναι μια μορφή πράσινης ενέργειας και ο απλούστερος τρόπος αξιοποίησης της είναι η συλλογή της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, η μετατροπής της σε θερμότητα και ακολούθως σε χρήσιμο έργο με τη βοήθεια διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών (ή ηλιακών απορροφητών).

Τα τελευταία χρόνια μεταλλικά υλικά όπως το Al και ο Cu, αξιοποιούνται για την κατασκευή ηλιακών συλλεκτών λόγω ελάττωση βάρους (πιο ελαφριά κατασκευή), μείωση κόστους και υψηλής θερμικής αγωγιμότητας των δυο υλικών. Ο χαλκός και το αλουμίνιο δεν συγκολλούνται εύκολα με συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης εξαιτίας των διαφορετικών χημικών και φυσικών τους χαρακτηριστικών. Έτσι λοιπόν αξιοποιούνται άλλες μέθοδοι συγκολλήσεων όπως συγκόλληση με τριβή, συγκόλληση με laser.

Η τεχνολογία συγκόλλησης με laser χρησιμοποιείται τελευταία επιτυχώς στην πραγματοποίηση συγκολλήσεων μεταξύ ανόμοιων υλικών όπως το αλουμίνιο και το χαλκός για τη δημιουργία συλλεκτικών επιφανειών που χρησιμοποιούνται σαν πάνελ ηλιακών απορροφητών. Τα στοιχεία αυτά είναι σύνθετες κατασκευές που αποτελούνται από τα στοιχεία έλασμα – σωλήνα – συγκόλληση. Κατά τη λειτουργία αλλά και την παραγωγή των συλλεκτικών επιφανειών το σύστημα έλασμα – σωλήνα – συγκόλλησης καταπονείται σε εξωτερικά στατικά και εναλλασσόμενα φορτία. Τα φορτία προκύπτουν από φορτίσεις κάμψης, διάτμησης και την μορφοποίηση των στοιχείων στην διαδικασία παραγωγής, αλλά και θερμικών φορτίων κατά τη

λειτουργία ενός ηλιακού απορροφητή. Συνεπώς οι συγκολλήσεις που συνδέουν το σωλήνα με το έλασμα πρέπει να παραλαμβάνουν με ασφάλεια τα εξωτερικά φορτία για την ασφαλή λειτουργία του απορροφητή ηλιακής ενέργειας. Η αντοχή των συγκολλήσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τις παραμέτρους συγκόλλησης.

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας διερευνήθηκε η επίδραση των συγκεκριμένων παραμέτρων συγκόλλησης στην στατική αντοχή σε κάμψη και διάτμηση σημειακών συγκολλήσεων. Για το σκοπό αυτό πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακές δοκιμές για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αντοχής των δοκιμίων σε κάμψη και διάτμηση και οι τιμές αντοχής που προέκυψαν συσχετιστήκαν με κάποια παράμετρο συγκόλλησης.

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

## ΗΛΙΑΚΟΙ ΣΥΛΛΕΚΤΕΣ (ΗΛΙΑΚΟΙ ΑΠΟΡΡΟΦΗΤΕΣ)

### 2.1 Ηλιακοί συλλέκτες (ηλιακοί απορροφητές)

Η διεθνής άνοδος των τιμών του πετρελαίου εξαιτίας των μη σταθερών γεωπολιτικών συνθηκών των πετρελαιοπαραγωγών χωρών, καθώς και η προσπάθεια μείωσης των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου σύμφωνα με το πρωτόκολλο του Kyoto, επιβάλλουν την αξιοποίηση πηγών «πράσινης ενέργειας», μία από τις οποίες είναι και η ηλιακή ενέργεια.

Ο απλούστερος τρόπος αξιοποίησης της είναι η συλλογή της εκπεμπόμενης ηλιακής ακτινοβολίας, η μετατροπής της σε θερμότητα και ακολούθως σε χρήσιμο έργο με τη βοήθεια διαφόρων τύπων ηλιακών συλλεκτών ( ή ηλιακών απορροφητών). Η παραγόμενη θερμότητα αξιοποιείται για : [4]

- Παραγωγή θερμού νερού
- Θέρμανση χώρων – τηλεθέρμανση - θέρμανση κολυμβητηρίων
- Χρήση στη χημική βιομηχανία
- Χρήση σε αγροτικές διεργασίες (π.χ ξήρανση δημητριακών)
- Αφαλάτωση νερού
- Μαγείρεμα
- Παραγωγή ηλεκτρικής ισχύος

Οι ηλιακοί συλλέκτες αποτελούνται από τέσσερα μέρη: [2]

- Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
- Τους σωλήνες ροής του νερού
- Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης και
- Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.



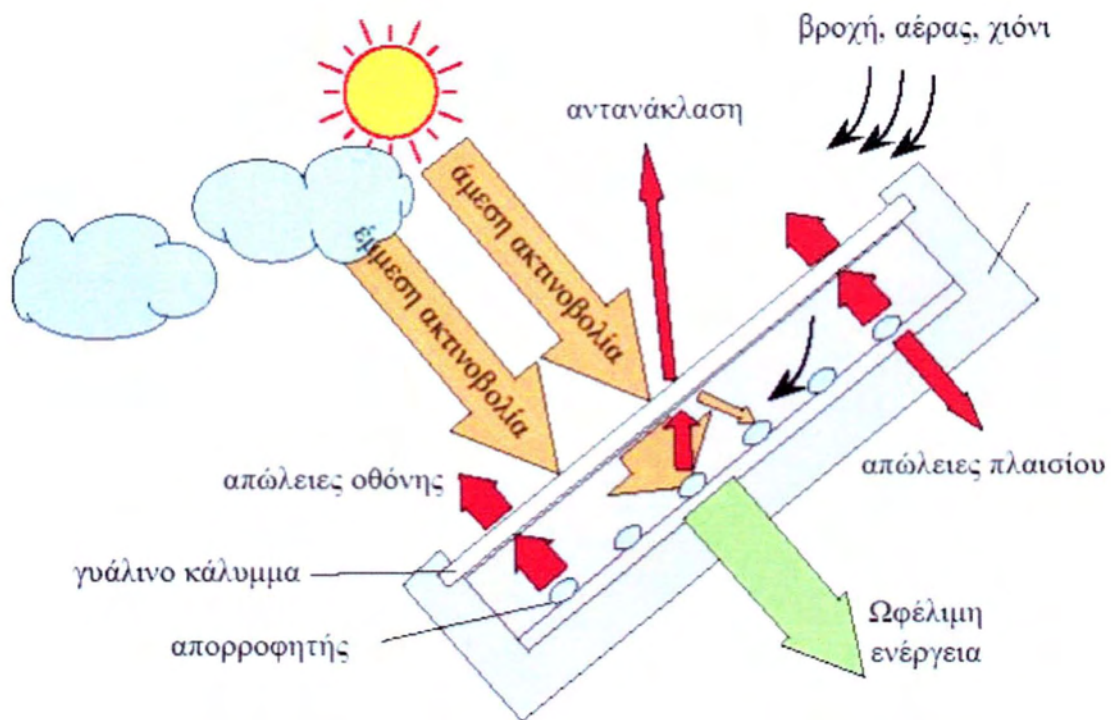
**Σχήμ.2.1:** Ηλιακός συλλέκτης

### **Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών**

Η λειτουργία των συλλεκτών βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη. Καταρχήν η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην (συνήθως μαύρη) απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν διαφανές. Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία (η ζέστη) παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού (που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σ' επαφή με την πλάκα στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή).



Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της πλάκας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της πλάκας στη μεγάλη μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη.[2]

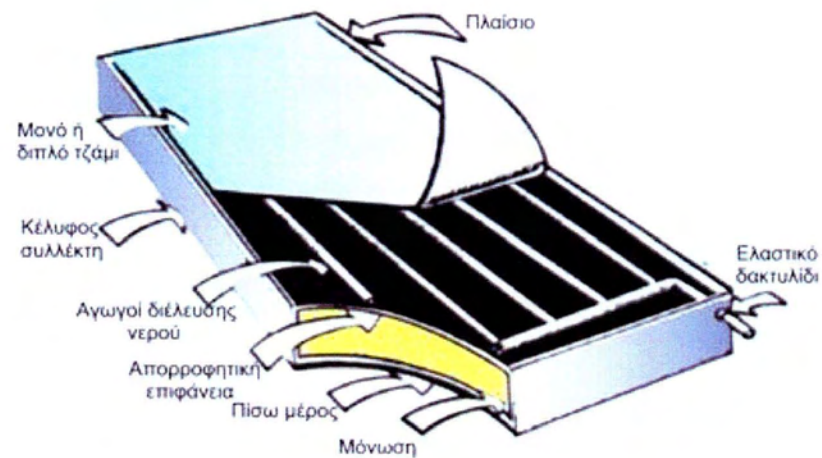


Σχήμ.2.2: Λειτουργία ηλιακού συλλέκτη

## 2.2 Αξιοποίηση των διμεταλλικών συγκολλήσεων Al-Cu στην κατασκευή ηλιακών συλλεκτών (ή ηλιακών απορροφητών)

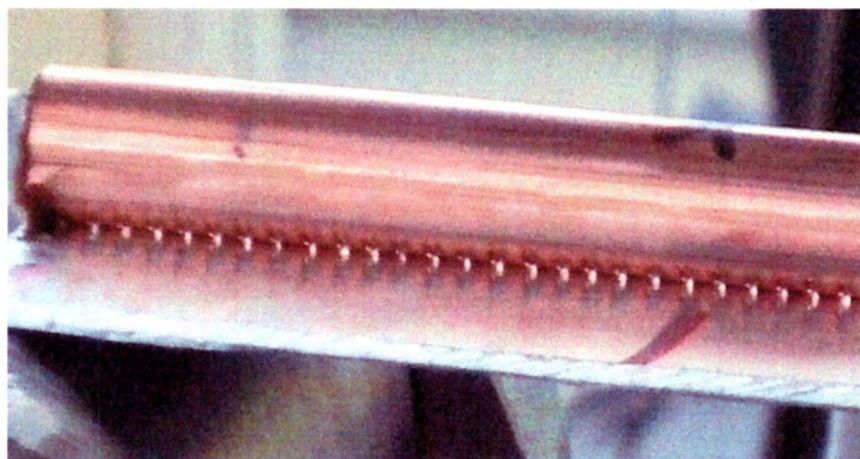
Τα τελευταία χρόνια μεταλλικά υλικά όπως το Al και ο Cu, αξιοποιούνται για την κατασκευή διαφόρων ηλιακών συλλεκτών. Οι συλλεκτικές μεταλλικές επιφάνειες αρχικά ήταν κατασκευασμένες από Cu εξαιτίας της εξαιρετικής θερμικής αγωγιμότητας του Cu (384 w/mk). Ωστόσο, το υψηλό κόστος του Cu οδήγησε στην αντικατάστασή του από το Al, το οποίο επίσης παρουσιάζει αρκετή υψηλή θερμική αγωγιμότητα. Για να αυξηθεί η θερμοαπορροφητικότητα του Al, η συλλεκτική επιφάνεια επικαλύπτεται με ειδικές επιστρώσεις. Το σύστημα σωληνώσεων από Cu

που μεταφέρει νερό ( ή οποιοδήποτε ψυκτικό ρευστό ) συνδέεται στο πίσω μέρος της μεταλλικής συλλεκτικής επιφάνειας. [1]



**Σχήμ.2.3:** Τα μέρη του ηλιακού συλλέκτη

Ο σωλήνας Cu συγκολλείται στο φύλλο Al με διάφορες μεθόδους όπως brazing, συγκόλληση με τριβή, εκρηκτική συγκόλληση, stir welding, καθώς κ με συγκόλληση με δέσμη laser. Οι συγκολλήσεις με δέσμη laser (Laser Beam Welding, LBW ) αποτελούν κοινή πρακτική στη γραμμή παραγωγής σε μια σειρά κατασκευαστικών βιομηχανιών στους τομείς των ηλεκτρονικών συσκευών, των λευκών οικιακών συσκευών, αλλά και της αυτοκινητοβιομηχανίας. [1]

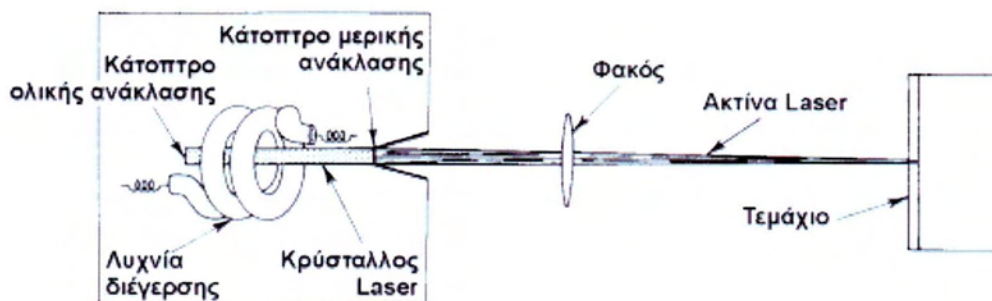


**Σχήμ.2.4:** Σημειακή συγκόλληση με laser ηλιακού συλλέκτη Al-Cu

### 2.3 Συγκολλήσεις μετάλλων με laser

Είναι γεγονός ότι τα τελευταία χρόνια οι παραγωγικές διεργασίες που χρησιμοποιούν δέσμες laser, βρίσκουν εφαρμογή ολοένα και περισσότερο στην βιομηχανική πρακτική, συμπληρώνοντας ή και αντικαθιστώντας αντίστοιχες παραδοσιακές – συμβατικές παραγωγικές διαδικασίες. Η συγκόλληση με laser αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές και τεχνολογικά ενδιαφέρουσες διεργασίες και πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 1950. [5]

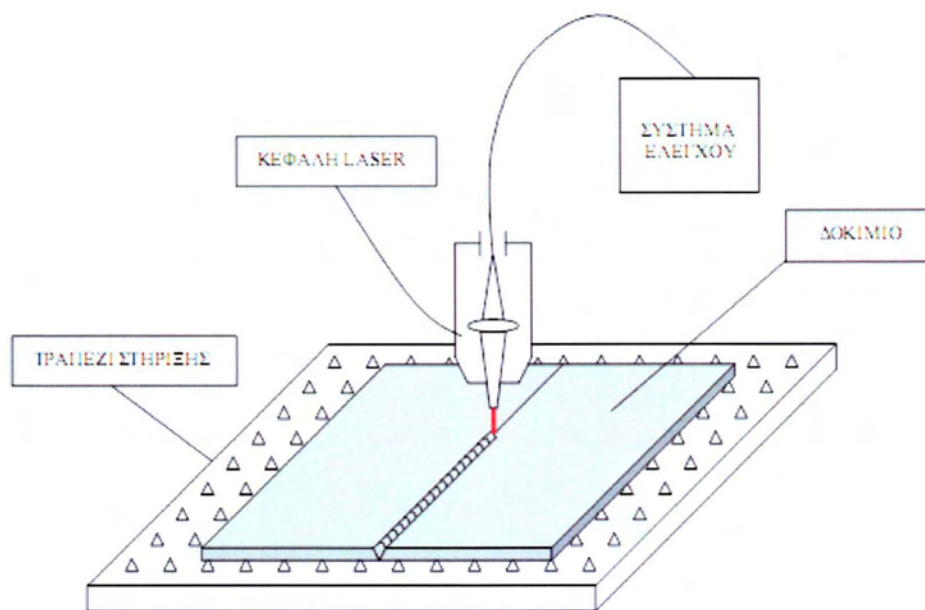
Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί για την τήξη του μετάλλου την ακτίνα που παράγεται από το laser. Τα αέρια λαμβάνονται συνήθως από φιάλες πεπιεσμένων αερίων και αναμειγνύονται πριν από την είσοδο τους στην κοιλότητα του laser. Η κοιλότητα αυτή λόγω των υψηλών θερμοκρασιών που αναπτύσσονται στο εσωτερικό της, ψύχεται εξωτερικά από κλειστό κύκλωμα απιονισμένου νερού. Η συγκόλληση επιτυγχάνεται μέσω της θερμοκρασίας που αναπτύσσεται, όταν η δέσμη ακτινών Laser προσπίπτει πάνω στα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν. Στο σχήμα 2.3 φαίνεται η διαδικασία παραγωγής της ακτίνας Laser. [5]



Σχήμ.2.5: Διαδικασία παραγωγής της ακτίνας Laser[5]



Οι διατάξεις Laser που χρησιμοποιούνται σήμερα στην βιομηχανία είναι πολλές. Η γενική όμως διάταξη παραμένει η ίδια και φαίνεται στο Σχήμα 2.6. [5]



**Σχήμ.2.6:** Διάταξη συγκόλλησης με δέσμη Laser [5]

Τα βασικότερα μέρη της διάταξης είναι το τραπέζι στήριξης των κομματιών συγκόλλησης, η κεφαλή του Laser και το σύστημα ελέγχου. Τα προς συγκόλληση κομμάτια τοποθετούνται πάνω στο τραπέζι στήριξης. Η κεφαλή του Laser, η οποία συνδέεται με το σύστημα ελέγχου, έχει την δυνατότητα να μετατοπίζεται σε τρεις διευθύνσεις ως προς το τραπέζι στήριξης και οι οποίες καθορίζονται από έναν πίνακα ελέγχου. Κοντά στην έξοδο της δέσμης του Laser από την κεφαλή, βρίσκεται ένα ακροφύσιο το οποίο διοχετεύει το αδρανές αέριο. Η ροή του αδρανούς αερίου ελέγχεται και αυτή από τον πίνακα ελέγχου. Ο πίνακας ελέγχου δίνει την δυνατότητα κίνησης της κεφαλής, καθορίζοντας έτσι την διαδρομή που θα ακολουθήσει η δέσμη του Laser για να επιτευχθεί η επιθυμητή συγκόλληση. Επίσης ο πίνακας ελέγχου ρυθμίζει και το σημείο εστίασης της δέσμης ως προς το κομμάτι συγκόλλησης, την ταχύτητα κίνησης της κεφαλής, καθώς και την ισχύς του Laser. Οι ρυθμίσεις που αφορούν την κίνηση της

κεφαλής του Laser και το σημείο εστίασης, ορίζονται με βάση ενός συστήματος συντεταγμένων. Ο πίνακας ελέγχου στα πιο εξελιγμένα συστήματα αντικαθίσταται από ένα ηλεκτρονικό υπολογιστή, ο οποίος μπορεί ταυτόχρονα να δώσει τα χαρακτηριστικά κίνησης και συγκόλλησης σε περισσότερα από ένα σύστημα τράπεζας-κεφαλής, πετυχαίνοντας στον ίδιο χρόνο περισσότερες από μια ραφές συγκόλλησης. [5]

Η χρήση των ηλεκτρονικών υπολογιστών οδηγούν στην αυτοματοποίηση της τεχνικής της συγκόλλησης με Laser, κάνοντας όλο και περισσότερο μη απαραίτητη την επέμβαση χειριστή.[5]

Η διμεταλλική σύνδεση ανόμοιων μετάλλων ( όπως για παράδειγμα Al-Cu) μπορεί να είναι δύσκολη εξαιτίας των μεγάλων διαφορών στις φυσικές και χημικές τους ιδιότητες. Η συγκόλληση με laser δίνει λύσεις σε ένα μεγάλο αριθμό προβλημάτων που προκύπτουν από τις συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης. Η δυνατότητα αξιοποίησης διαφορετικών μετάλλων παρέχει μεγαλύτερη ευεξία στην παραγωγή και συχνά οδηγεί σε μεγάλα τεχνικά και οικονομικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα εξαρτήματα που κατασκευάστηκαν από μόνο ένα υλικό. Υλικά υψηλού κόστους με συγκεκριμένες επιθυμητές ιδιότητες μπορούν πλέον να χρησιμοποιηθούν σε συγκεκριμένες περιπτώσεις, μαζί με μέταλλα και κράματα χαμηλότερου κόστους, μειώνοντας έτσι το συνολικό κόστος τις κατασκευής.[5]

Επιπρόσθετα η μέθοδος έχει και άλλα **πλεονεκτήματα** τα οποία είναι : [5]

- Υψηλή πυκνότητα ενέργειας με κατάλληλη εστίαση της δέσμης. Επάγει στην επιφάνεια συγκεντρωμένη «καθαρή ενέργεια» της τάξεως  $10^7 \text{ W/cm}^2$  σε χρόνο μικροδευτερολέπτων.
- Πολύ μικρή θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη λόγω της εστίασης της δέσμης σε πολύ μικρή περιοχή. Έτσι μπορούν να συγκολληθούν υλικά ευαίσθητα στις θερμοκρασιακές μεταβολές.
- Πολύ στενή ραφή συγκόλλησης, με αποτέλεσμα μικρότερες παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις.
- Υψηλή ταχύτητα συγκόλλησης, με αποτέλεσμα την μείωση του χρόνου και του κόστους παραγωγής.
- Υψηλός συντελεστής απόδοσης της συγκόλλησης ως προς την αντοχή της ραφής συγκόλλησης.

- Δεν χρειάζονται ηλεκτρόδια ούτε πρόσθεση υλικού (αυτογενής συγκόλληση).
- Αμελητέα 'μόλυνση' της συγκόλλησης, με την χρησιμοποίηση κατάλληλου προστατευτικού αερίου (αδρανούς).
- Γρήγορο και απότομο σταμάτημα και ξεκίνημα.
- Ευκολία αυτοματισμού.
- Δεν παράγονται επικίνδυνες ακτίνες για την υγεία, σε αντίθεση με την μέθοδο δέσμης ηλεκτρονίων.
- Ικανότητα συγκόλλησης σε σχετικά μεγάλες αποστάσεις από το υλικό.

Επιπρόσθετα η μέθοδος έχει κ τα παρακάτω **Μειονεκτήματα** : [5]

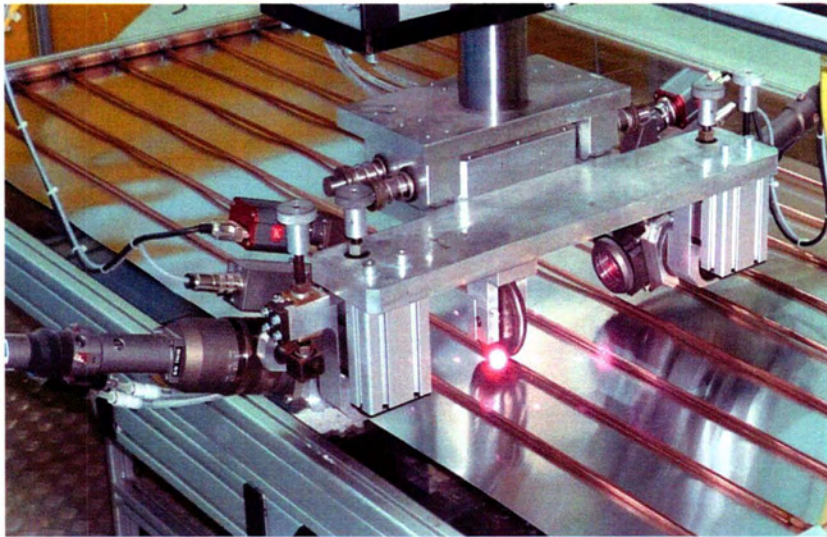
- Υψηλό κόστος εξοπλισμού, το οποίο βέβαια σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να αντισταθμιστεί τόσο από την υψηλή ποιότητα των παραγόμενων κατασκευών, όσο και από την αυξημένη ταχύτητα παραγωγής. Έτσι η μέθοδος ενδείκνυται για μεγάλο όγκο παραγωγής, ενώ συγκρινόμενη με την μέθοδο δέσμης ηλεκτρονίων είναι πιο οικονομική επειδή δεν απαιτείται η ύπαρξη κενού.
- Δυσκολία στην συγκόλληση υλικών υψηλής ανακλαστικότητας, διότι δεν μπορούν να απορροφήσουν την προδιδόμενη πυκνότητα ενέργειας.
- Μικρό βάθος διείσδυσης σε χαμηλές πυκνότητες ενέργειας.

Αναλύοντας τα παραπάνω πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η μέθοδο του Laser, προσέφερε πολλά στον τομέα της συγκόλλησης των μετάλλων ανοίγοντας ταυτόχρονα νέους δρόμους προς την έρευνα και την εξέλιξη της μεθόδου. Συνδέσεις που ίσως απαιτούν πρόσβαση από περισσότερες από μια διεύθυνση, μπορούν πλέον να συγκολληθούν από μια πλευρά μόνο. Αυτή η ευελιξία προσφέρει πολλές νέες δυνατότητες για τον σχεδιασμό συνδέσεων ιδιαίτερα για στοιχεία που συνδέονται σε δύσκολα προσβάσιμες επιφάνειες.

## 2.4 Συγκολλήσεις laser στους ηλιακούς συλλέκτες

Περιγραφή της διαδικασίας συγκόλλησης με laser σε ηλιακούς συλλέκτες :

Ένα σύστημα φακών δημιουργεί μια ακτίνα laser η οποία επικεντρώνεται στο σημείο ανάμεσα στη σωλήνα και την απορροφητική επιφάνεια ώστε τα υλικά από τα οποία αποτελούνται να λιώσουν και να αναμιχθούν. Η ακτίνα «χτυπάει» με ακρίβεια τη σωλήνα και την απορροφητική επιφάνεια μόνο στο σημείο συγκόλλησης τους. [8]



Σχήμ.2.7: Συγκόλληση με δέσμη laser σε ηλιακό συλλέκτη[8]

Πλεονεκτήματα της τεχνολογίας συγκόλλησης στους απορροφητές ηλιακών συλλεκτών με laser: [8]

- Η απορροφητική επιφάνεια επηρεάζεται από το ζέσταμα μόνο στο σημείο συγκόλλησης
- Άψογη ένωση μεταξύ απορροφητικής επιφάνειας και σωλήνας
- Μέγιστη αναλογία μεταφοράς θερμότητας και θερμικής αντίστασης
- Βέλτιστη ένωση διαφορετικών υλικών (πχ αλουμινίου με χαλκό)
- Η επίστρωση της απορροφητικής επιφάνειας παραμένει ανέπαφη καθώς η συγκόλληση γίνεται στην πίσω πλευρά της.
- Μεγαλύτερη Παραγωγική ικανότητα της μηχανής laser απορροφητών ανά δωρη βάρδια.



- Υπάρχει δυνατότητα παραγωγής απορροφητών με μεγαλύτερης συνολική επιφάνεια
- Μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης ανά λεπτό.

Η αντοχή της συγκόλλησης επηρεάζεται από τις συνθήκες συγκόλλησης. Η σύνθετη κατασκευή έλασμα – σωλήνας – συγκόλληση δέχεται μηχανικές καταπονήσεις στα στάδια παραγωγής λόγω μορφοποίησης της κατασκευής, μεταφορά, τελικής εγκατάστασης όσο και κατά το χρόνο λειτουργίας, συγκεκριμένα, στις επιμέρους συνθήκες παραγωγής ή λειτουργίας το σύστημα μπορεί να υποβάλλεται σε στατικά φορτία (κάμψη, διάτμηση) ή σε κυκλικά φορτία λόγω των εναλλασσόμενων θερμικών φορτίων που δέχεται όταν λειτουργεί. Στην παρούσα πειραματική μελέτη έγινε σειρά εργαστηριακών δοκιμών για τον προσδιορισμό των χαρακτηριστικών αντοχής της σύνδεσης ελάσματος – σωλήνας κάτω από στατικά φορτία. Οι εργαστηριακές δοκιμές στοχεύουν στην προσομοίωση των συνθηκών καταπόνησης περισσότερο όσον αφορά στην διαδικασία παραγωγής και λιγότερο κατά την λειτουργία του συλλέκτη.

Οι θερμοκρασιακές μεταβολές κατά την λειτουργία κάτω από στατικά φορτία του επιφανειακού συλλέκτη σε συνδυασμό με την διαφορά των συντελεστών θερμικής διαστολής του χαλκού και του αλουμινίου συμβάλλουν στην κάμψη της συλλεκτικής επιφάνειας, που οδηγεί και σε διάτμηση της σύνδεσης. Για την προσομοίωση του φαινομένου σε εργαστηριακό επίπεδο πραγματοποιήθηκαν δοκιμές κάμψης και διάτμησης στοιχείων συλλεκτικής επιφάνειας που παρουσιάζονται στα επόμενα κεφάλαια.

## 2.5 Συνθήκες laser διμεταλλικής συγκόλλησης Al-Cu

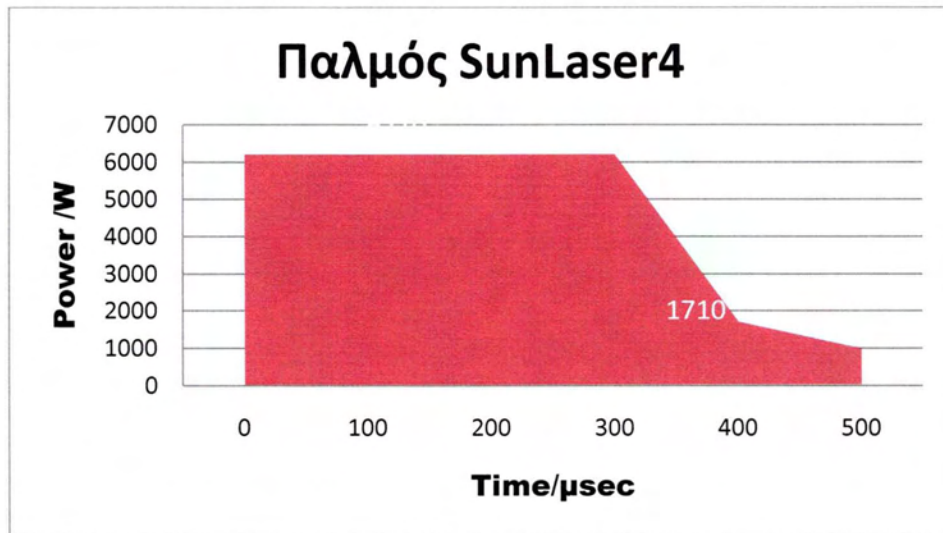
Η ποιότητα των διμεταλλικών συγκολλήσεων Al-Cu επηρεάζεται από τις συνθήκες συγκόλλησης (ισχύς, διάρκεια και διαμόρφωση παλμού, συχνότητα, ταχύτητα απόψυξης κτλ) οι οποίες διαμορφώνουν τις τελικές μηχανικές ιδιότητες του συστήματος μας. [1]

Οι κατηγορίες συγκολλήσεων για διάφορες συνθήκες λειτουργίας του laser όπως ισχύς, διάρκεια και διαμόρφωση παλμού, συχνότητα, ταχύτητα συγκόλλησης παρουσιάζονται στον πίνακα 2.1.

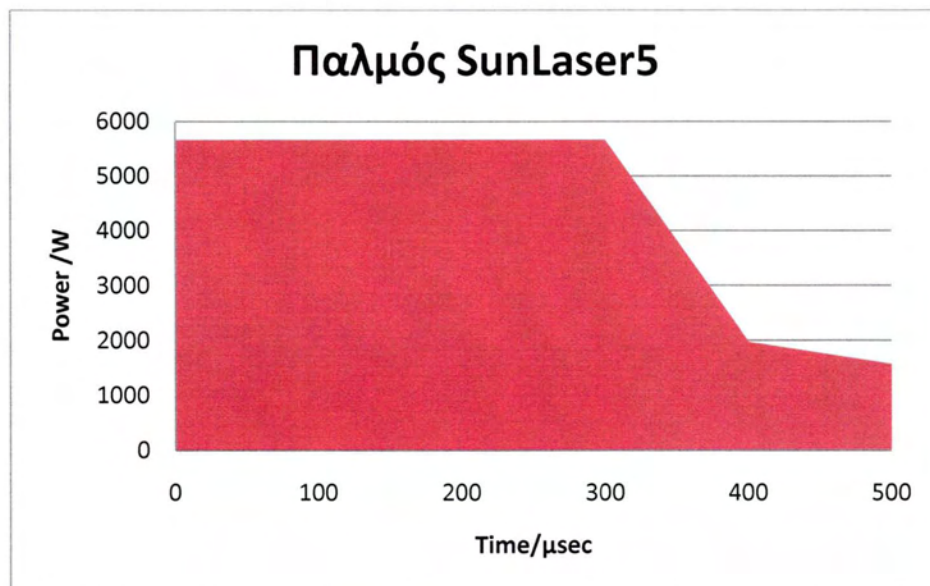
Κωδικός	Παλμός Laser				Συνθήκες Κατεργασίας			
	Τύπος Παλμού	Διάρκεια Παλμού (msec)	Ενέργεια Παλμού (Joule)	Ισχύς (Watt)	Ρυθμός Παλμών (Hz)	Ταχύτητα Συγκόλλησης (mm/sec)	Heat Input	Αριθμός συγκολλήσεων σε 53 cm δείγματος απορροφητή
A	SP1	0.3	2.2	313.2	145	340	0.92	392
B	SP2	0.4	2.3	330.6	145	340	0.97	392
Δ	SL4		2.3	330.2	145	340	0.97	392
E	SL5		2.7	274.1	100	220	1.25	418
ΣΤ	SL6		3.1	235.2	75	165	1.43	418
Z	SL7		3.2	348.0	110	240	1.45	422
Θ	SP8	0.6	4.2	357.0	85	180	1.98	434
H	SP3	0.9	4.1	364.5	90	190	1.92	436
I	SP9	1.0	5.7	370.5	65	140	2.65	427
K	SP11	0.5	2.3	202.5	90	190	1.07	436
Λ	SL8		3.9	327.4	85	180	1.82	434
N	SL10		3.8	342.6	90	190	1.80	436

**Πιν.2.1:** Κατηγορίες συγκολλήσεων για διάφορες συνθήκες laser

Χαρακτηριστικά παλμών για τα δοκίμια με κωδικούς Δ, Ε,ΣΤ,Ζ (βλέπε Σχήματα 2.8, 2.9, 2.10, 2.11)

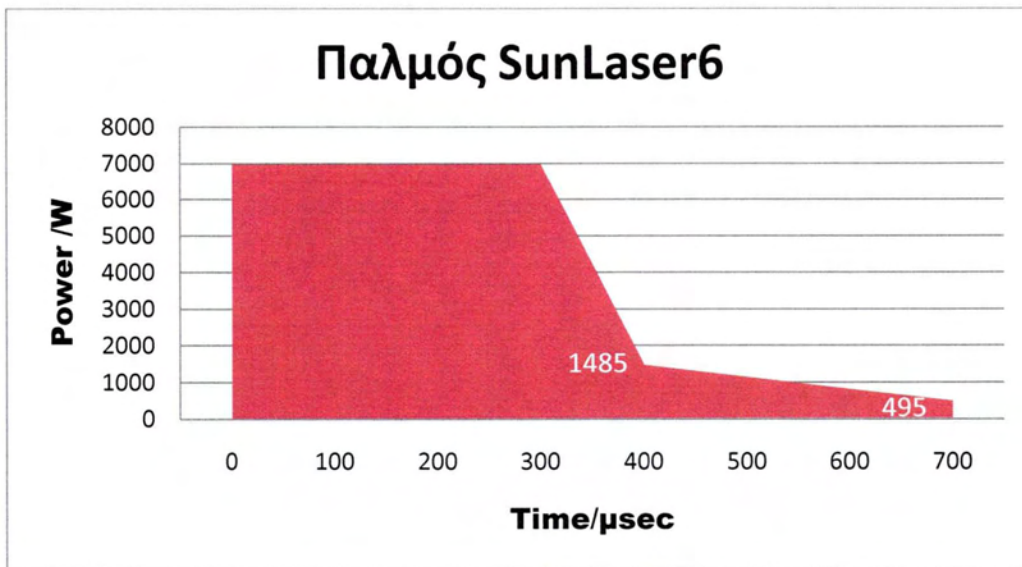


Σχήμ.2.8: Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Δ

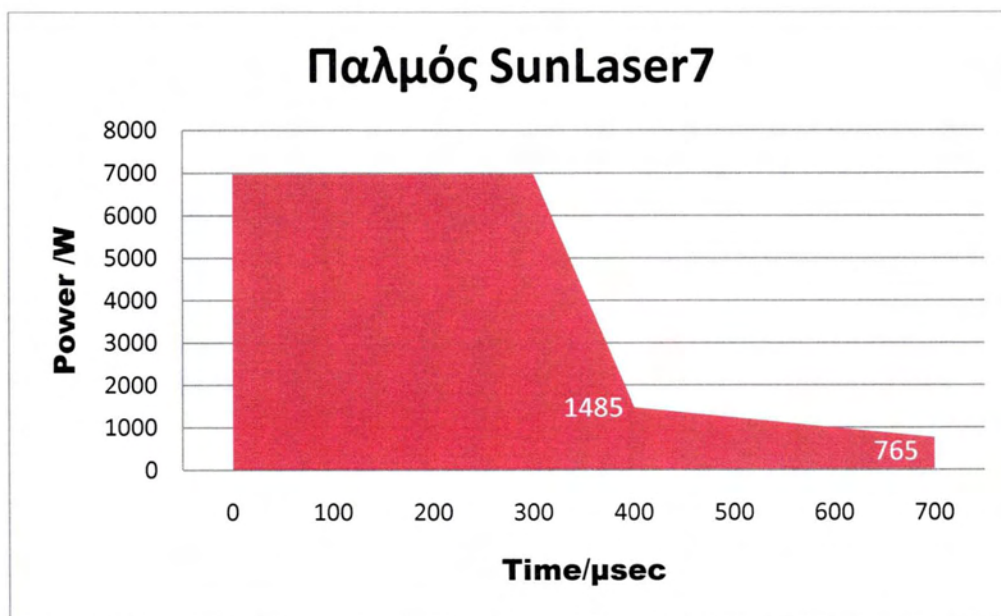


Σχήμ.2.9: Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Ε





Σχήμ.2.10: Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό ΣΤ



Σχήμ.2.11: Διαμόρφωση παλμού δοκιμίου με κωδικό Ζ

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

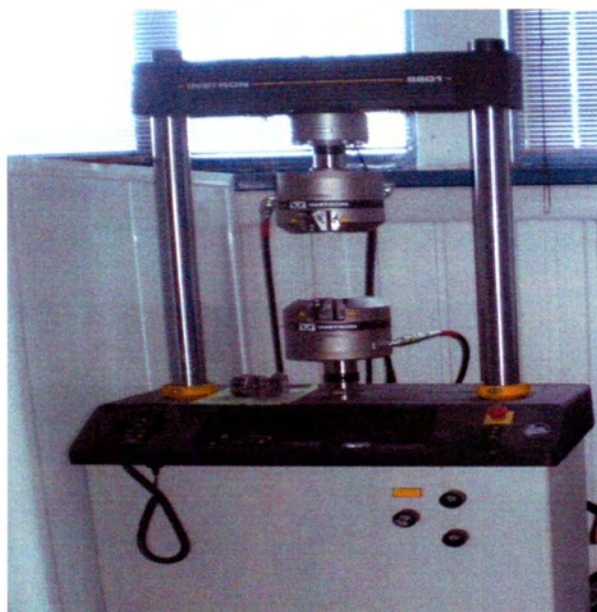
## ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ

### 3.1. Δοκιμές διάτμησης

#### 3.1. 1 Γενικά

Στην ενότητα αυτή περιγράφεται η διαδικασία που ακολουθήθηκε για την διεξαγωγή των πειραμάτων διάτμησης. Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε η μηχανή εφελκυσμού Instron 8801 του Εργαστηρίου Μηχανικής και Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας.

Το πλαίσιο φόρτισης της μηχανής εφελκυσμού αποτελείται από δύο κατακόρυφες στήλες που εδράζονται πάνω στην βάση του πλαισίου. Στην βάση του πλαισίου είναι ενσωματωμένο το έμβολο φόρτισης και προσαρτημένο πάνω στην άκρη του βρίσκεται η κάτω αρπάγη της μηχανής. Στο επάνω τμήμα (κεφαλή) του πλαισίου, το οποίο μπορεί να κινηθεί ελεύθερα εδράζεται η πάνω αρπάγη της μηχανής η οποία φέρει στην κορυφή της δυναμοκυψέλης με μέγιστη δυνατότητα καταγραφής δύναμης τα 100KN. Το έμβολο φόρτισης ελέγχεται από ηλεκτρική μονάδα που επικοινωνεί με ηλεκτρονικό υπολογιστή για τον προγραμματισμό των πειραμάτων. Η κίνηση του εμβόλου επιτυγχάνεται με παροχή υδραυλικού λαδιού μέσω αντλίας λαδιού που επικοινωνεί με το έμβολο με ειδικές σωλήνες υψηλής πίεσης. Η διάταξη της μηχανής εφελκυσμού φαίνεται στην Σχήμα 3.1 [6]



**Σχήμ.3.1:** Μηχανή εφελκυσμού

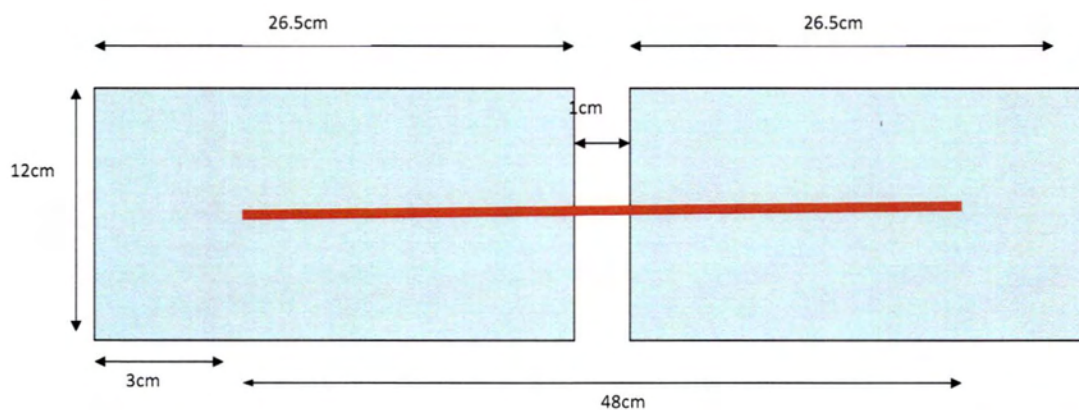
### 3.1.2 Προετοιμασία δοκιμίων

Για τη διεξαγωγή του πειράματος της διάτμησης δόθηκαν διμεταλλικές συγκολλήσεις Laser Al-Cu απ όλες τις κατηγορίες συγκολλήσεων που παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 2.1. Η κάθε κατηγορία διαφέρει ως προς τις συνθήκες συγκόλλησης.

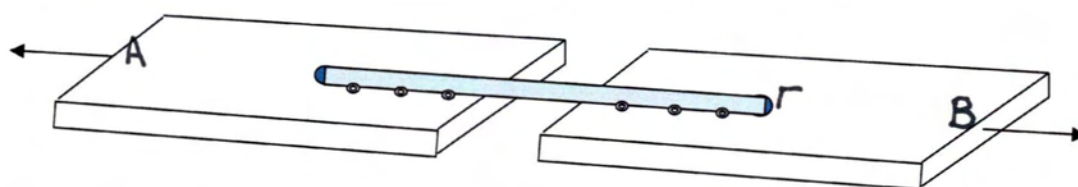
Λόγο ότι η κάθε συγκόλληση έχει διαφορετική διατομή ακόμη και αν ανήκει στην ίδια κατηγορία συγκολλήσεων και επιπλέον για τον έλεγχο της αντοχής της η δύναμη η οποία θα χρειαζόταν για την αποκόλληση της θα ήταν πάρα πολύ μικρή, πήραμε μεγαλύτερα δοκίμια για να βρούμε τη δύναμη για κάθε γεωμετρία ξεχωριστά και για να έχουμε πιο καλή προσομοίωση της πραγματικής κατασκευής.

Για καλύτερη ακρίβεια αποτελεσμάτων από κάθε κατηγορία κόπηκαν 3 δοκίμια για επεξεργασία και δοκιμή διάτμησης. Τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά και το σκαρίφημα των δοκιμίων φαίνονται στο Σχήμα 3.2. και Σχήμα 3.3 αντιστοίχως.





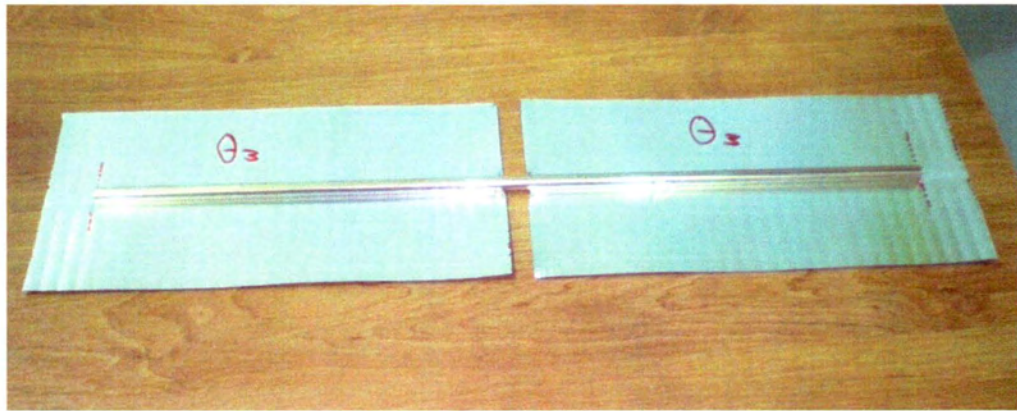
**Σχήμ.3.2:** Γεωμετρία δοκιμίου διάτμησης



**Σχήμ.3.3:** Σκαρίφημα δοκιμίου στοιχείου απορροφητή για έλεγχο σε δοκιμή διάτμησης

Τα δοκίμια των πειραμάτων διάτμησης κατασκευάστηκαν σύμφωνα με το σκαρίφημα του Σχήματος 3.3 χρησιμοποιώντας και την οδηγία ME 538 – Welding Design, Fabrication & Quality Control [AWS Welding Handbook, 8th ed., Vol. 1, 1987]). [9] Για την κατασκευή των δοκιμίων αφαιρέθηκε από το αρχικό στοιχείο απορροφητή έλασμα διαστάσεων 10x120mm όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.2, για να μπορεί να γίνει μέσω της διαδικασίας της διάτμησης η αποκόλληση των συγκολλήσεων ενώ ταυτόχρονα αφαιρέθηκε τμήμα χαλκοσωλήνα από τα άκρα των ελασμάτων μήκους 30mm για να είναι δυνατή η συγκράτηση των ελασμάτων στις αρπάγες της μηχανής εφελκυσμού. Το συνολικό μήκος χαλκοσωλήνα ήταν 480 mm, ενώ ο αριθμός συγκολλήσεων που αντιστοιχούν σε κάθε έλασμα μήκους 265mm ήταν

96 x 2 συγκολλήσεις. Στο Σχήμα 3.4 δίνεται αντιπροσωπευτική φωτογραφία δειγμάτων απορροφητή που κατασκευάστηκαν για να ελεγχθούν σε διάτμηση. Για να πετύχουμε τις επιθυμητές διαστάσεις των δοκιμίων μας κόπηκε το έλασμα με ψαλίδι και ο σωλήνας μας με τροχό και πραγματοποιήθηκε κατεργασία λείανσης με γυαλόχαρτα καρβιδίου.



**Σχήμ.3.4:** Πραγματική φωτογραφία δοκιμίου διάτμησης

Η γεωμετρία των δοκιμίων που επιλέχθηκε επιτρέπει την μεταφορά μονοαξονικού διατμητικού φορτίου στο επίπεδο των συγκολλήσεων μέσω των σημείων A και B όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.3, διότι η απόσταση μεταξύ του επιπέδου συγκολλήσεων και του σημείου εφαρμογής της δύναμης (μέσο πάχος του ελάσματος) είναι μικρότερη σε σχέση με την απόσταση που θα υπήρχε (απόσταση σημείων Γ και A) εάν το έλασμα εφελκύνονταν σχετικά με το επίπεδο του χαλκοσωλήνα. Κατά αυτόν τον τρόπο αποφεύγονται μεγάλες εκκεντρότητες φόρτισης που θα εισήγαγαν μεγαλύτερο σφάλμα στα πειραματικά αποτελέσματα

### 3.1.3 Πειραματική διάταξη

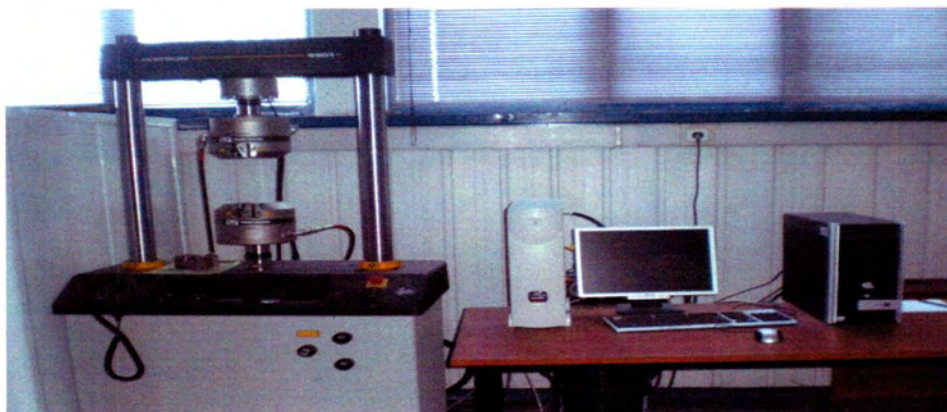
Τα πειράματα διάτμησης έγιναν χρησιμοποιώντας τη μηχανή εφελκυσμού Instron 8801 του Εργαστηρίου Μηχανικής και Αντοχής των Υλικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.5

Το λογισμικό λειτουργίας της μηχανής για τη διεξαγωγή των δοκιμών διάτμησης είναι το Bluehill.

Πριν την έναρξη των δοκιμών διάτμησης για την ασφάλεια κ την προστασία των δοκιμών, που θα τοποθετηθούν σε αυτό, απαραίτητη είναι η ενεργοποίηση οριακών τιμών ασφάλειας στην θέση του εμβόλου και του φορτίου που μεταφέρεται στο δοκίμιο. Το σύστημα αναγνωρίζει τις κρίσιμες οριακές τιμές που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό και προκαλεί διακοπή του πειράματος σε περίπτωση που τα όρια αυτά υπερβληθούν. [7]

Ο έλεγχος του πειράματος της διάτμησης πραγματοποιείται με την εισαγωγή στο λογισμικό του επιθυμητού διαστήματος που θα διανύσει το υδραυλικό έμβολο ξεκινώντας από την αρχική του θέση, μέχρι όπου σταματήσει. Το διάστημα αυτό επιλέγεται με γνώμονα την εκτιμώμενη μέγιστη επιμήκυνση του δοκιμίου, έτσι ώστε να μην την υπερβαίνει. [7]

Για τη διεξαγωγή σωστών πειραματικών αποτελεσμάτων απαιτείται η επιλογή μικρών ταχυτήτων μετατόπισης του εμβόλου. Η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των δοκιμών μας είναι 0.5mm/min. Κατά την διάρκεια των πειραμάτων έγινε καταγραφή της μεταβολής της δύναμης με την μετατόπιση κάθε 1s.

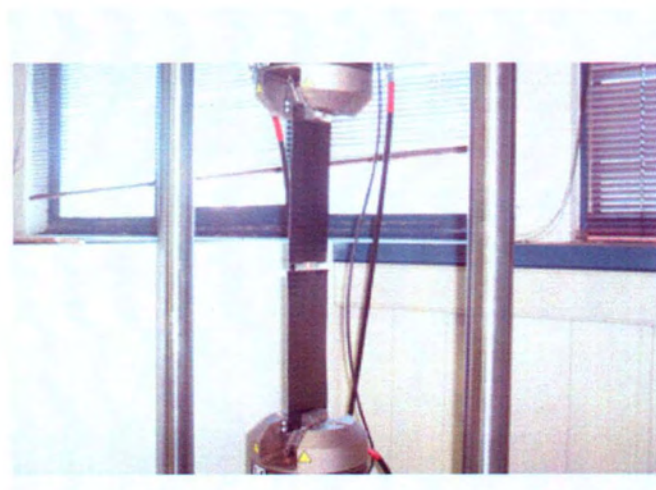
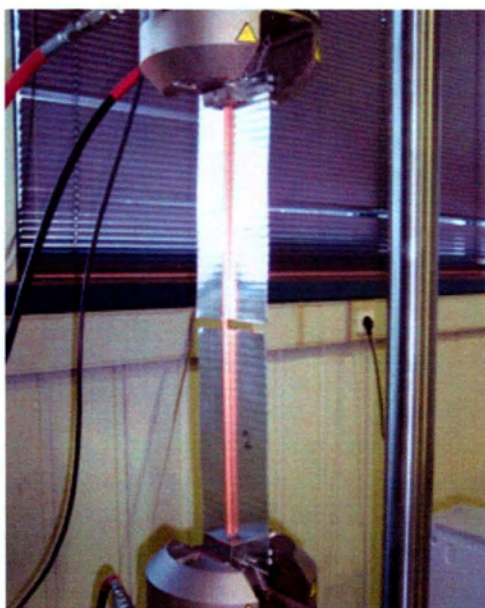


Σχήμ.3.5: Μηχανή εφελκυσμού



Τοποθετώ το δοκίμιο μου στην πάνω σαγόνα της αρπάγης της μηχανής εφελκυσμού και για να διασφαλίσω ότι το δοκίμιο αυτό δε θα δεχθεί κάποια θλιπτική , εφελκυστική στρεπτική ή άλλου είδους καταπόνηση πριν την έναρξη του πειράματος, από το λογισμικό της μηχανής ενεργοποιώ την επιλογή “Specimen protect” που παρέχει η κονσόλα του λειτουργικού της Instron. [7]

Κλείνω την κάτω σαγόνα της αρπάγης της μηχανής ελέγχω ότι το δοκίμιο μου είναι ευθυγραμμισμένο με τον άξονα μετατόπισης του υδραυλικού εμβόλου κ ξεκινώ τη δοκιμή διάτμησης (Σχήμα 3.5).



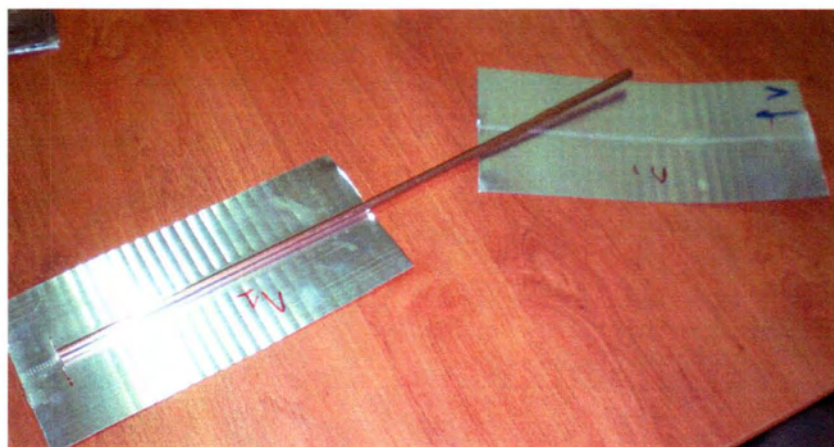
**Σχήμ.3.6:** Συγκράτηση δοκιμίου στην μηχανή εφελκυσμού

Σταματά η διαδικασία όταν γίνει αποκόλληση του σωλήνα σε ένα από το δύο μέρη του δοκιμίου. (Σχ. 4.13) Με τη βοήθεια του λογισμικού Bluehill πάρθηκαν τιμές για τη δύναμη και την μετατόπιση κάθε 1s. Έγιναν γραφικές παραστάσεις της δύναμης συναρτήσεως της μετατόπισης οι οποίες παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.





**Σχήμ.3.7:** Αποκόλληση των συγκολλήσεων στο κάτω μέρος του δοκιμίου μετά το τέλος της δοκιμής διάτμησης



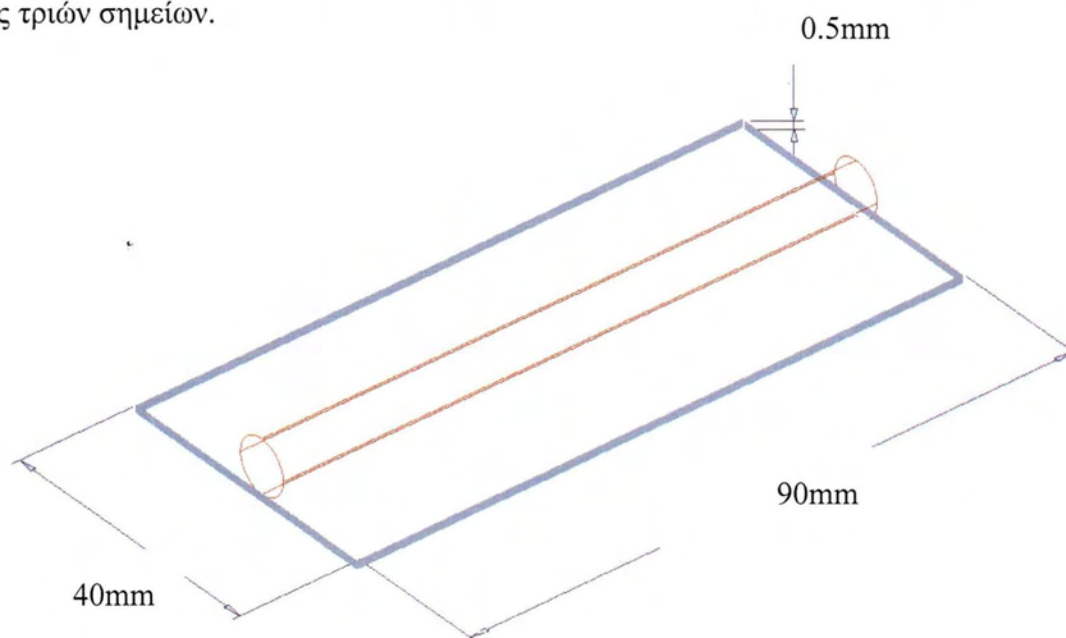
**Σχήμ.3.8:** Δοκίμιο διάτμησης που αστόχησε λόγω αποκόλλησης των συγκολλήσεων

## 3.2 Δοκιμές κάμψης

### 3.2.1 Προετοιμασία δοκιμών

Για τη διεξαγωγή του πειράματος της κάμψης δόθηκαν διμεταλλικές συγκολλήσεις laser Al-Cu απ όλες τις κατηγορίες συγκολλήσεων που δόθηκαν και στο πείραμα της διάτμησης οι οποίες παρουσιάζονται στον Πίνακα 2.1. Η κάθε κατηγορία διαφέρει ως προς τις συνθήκες συγκόλλησης.

Τα δοκίμια κάμψης κατασκευάστηκαν από το στοιχείο απορροφητή (fin) με χρήση του προτύπου ASTM E855-08 [3]. Το συγκεκριμένο πρότυπο περιγράφει την μεθοδολογία σε έλεγχο κάμψης τριών σημείων μεταλλικών ελασμάτων και χρησιμοποιήθηκε ως οδηγός, καθώς δεν υπάρχει ειδική προδιαγραφή δοκιμής κάμψης για τέτοιου τύπου στοιχεία. Με βάση το πρότυπο ASTM E855-08 και το πάχος του ελάσματος (0.5 mm) καθορίστηκε το μήκος κάμψης του δοκιμίου ( $L=90$  mm). Στο Σχήμα 3.8 δίνεται η γεωμετρία του δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκε στις δοκιμές κάμψης τριών σημείων.



**Σχήμ.3.9:** Γεωμετρία δοκιμίου κάμψης

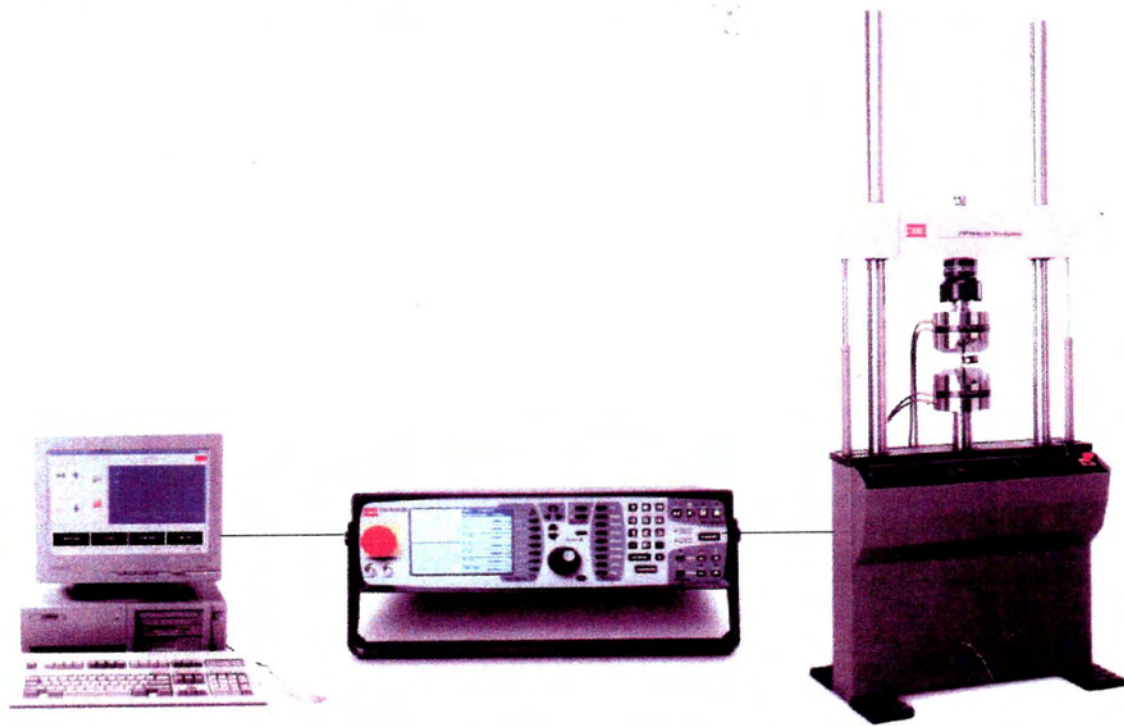
Από κάθε κατηγορία κόπηκαν 1 δοκίμιο για επεξεργασία και δοκιμή κάμψης. Για να πετύχουμε τις επιθυμητές διαστάσεις των δοκιμών μας, το έλασμα κόπηκε με ψαλίδι κ ο σωλήνας με τροχό. Κατόπιν πραγματοποιήθηκε κατεργασία λείανσης με γυαλόχαρτα για καθαρισμό της επιφάνειας του δοκιμίου.

### 3.2.2 Πειραματική διάταξη

Πριν την έναρξη των δοκιμών κάμψης για την ασφάλεια και την προστασία των δοκιμίων, που θα τοποθετηθούν σε αυτό, απαραίτητη είναι όπως και το πείραμα της διάτμησης η ενεργοποίηση οριακών τιμών ασφάλειας στην θέση του εμβόλου και του φορτίου που μεταφέρεται στο δοκίμιο. Το σύστημα αναγνωρίζει τις κρίσιμες οριακές τιμές που έχουν εισαχθεί στο λογισμικό και προκαλεί διακοπή του πειράματος σε περίπτωση που τα όρια αυτά υπερβληθούν.

Ο έλεγχος του πειράματος της κάμψης πραγματοποιείται με την εισαγωγή στο λογισμικό του επιθυμητού διαστήματος που θα διανύσει το υδραυλικό έμβολο ξεκινώντας από την αρχική του θέση, έως ότου σταματήσει.

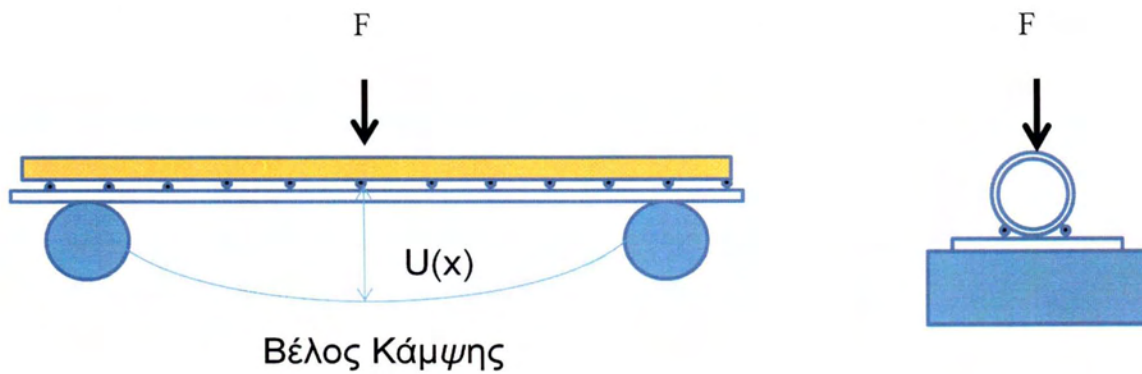
Η ταχύτητα που χρησιμοποιήθηκε για τη διεξαγωγή των δοκιμών μας είναι 2mm/min. Η δειγματοληψία των αποτελεσμάτων του συστήματος γινόταν κάθε 0.5 s.



**Σχήμ.3.10:** Μηχανή που χρησιμοποιήθηκε για την κάμψη των δοκιμίων

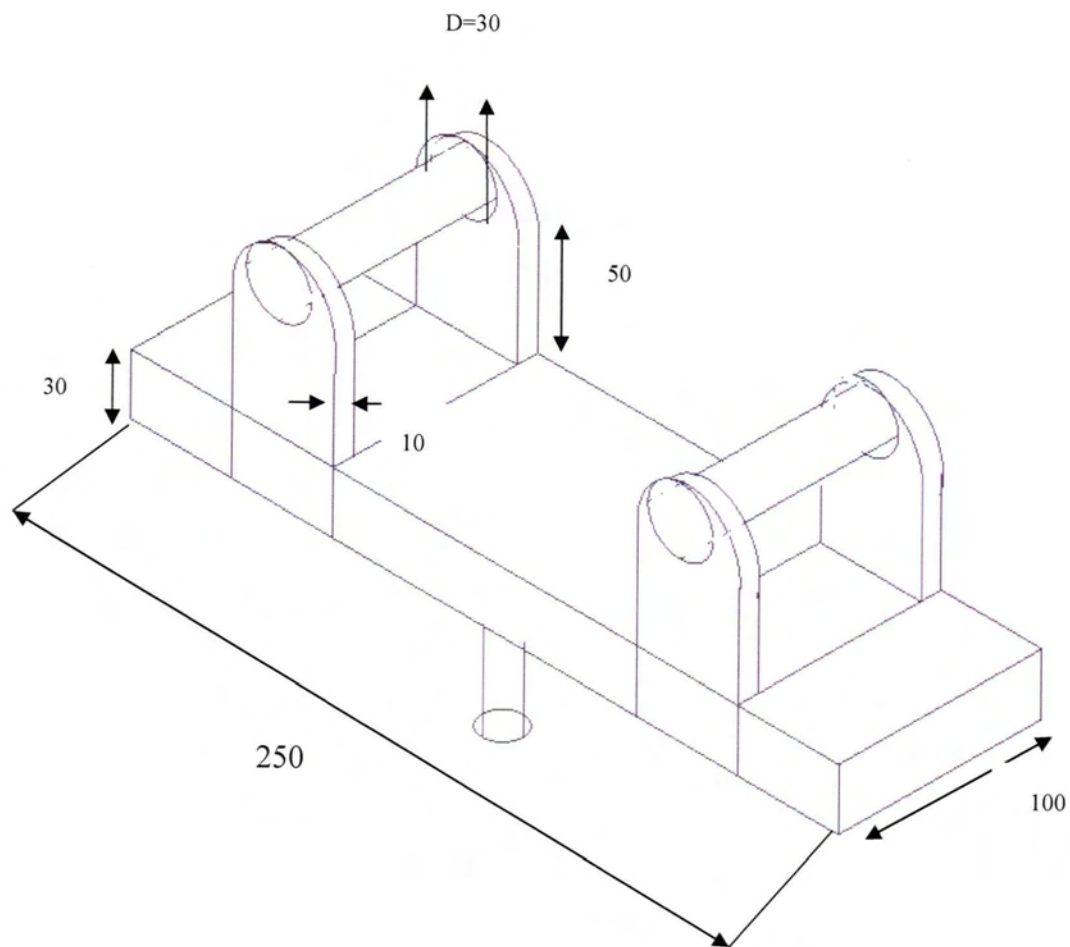


Η καταπόνηση σε κάμψη πραγματοποιήθηκε με την πειραματική διάταξη που φαίνεται στο σκαρίφημα του Σχήματος 3.10 και περιλαμβάνει στήριξη του ελάσματος σε δύο σημεία που αντιστοιχούν στο μήκος κάμψης ( $x=L$ ), όπου  $L$  το άνοιγμα μεταξύ στηρίξεων, και εφαρμογή της δύναμης στο μέσο του ανοίγματος από την πλευρά του χαλκοσωλήνα. Για την στήριξη του δοκιμίου κατασκευάστηκε ειδική ιδιοσυσκευή (βλέπε Σχήματα 3.11 και 3.13) με κυλινδρικά στοιχεία (ράουλα) στα οποία εδράζεται το έλασμα. Η εξάσκηση του φορτίου πραγματοποιήθηκε μέσω μεταλλικού στοιχείου (βλέπε Σχήμα 3.12 και 3.14) με κατάλληλα διαμορφωμένη επιφάνεια που περιλάμβανε καμπυλότητα με ακτίνα περίπου ίση με αυτή της ακτίνας του χαλκοσωλήνα, ώστε η δύναμη να μεταφέρεται με ομαλό τρόπο στην επιφάνεια του σωλήνα και να αποφευχθούν τοπικές πλαστικές παραμορφώσεις στην επιφάνειά του.

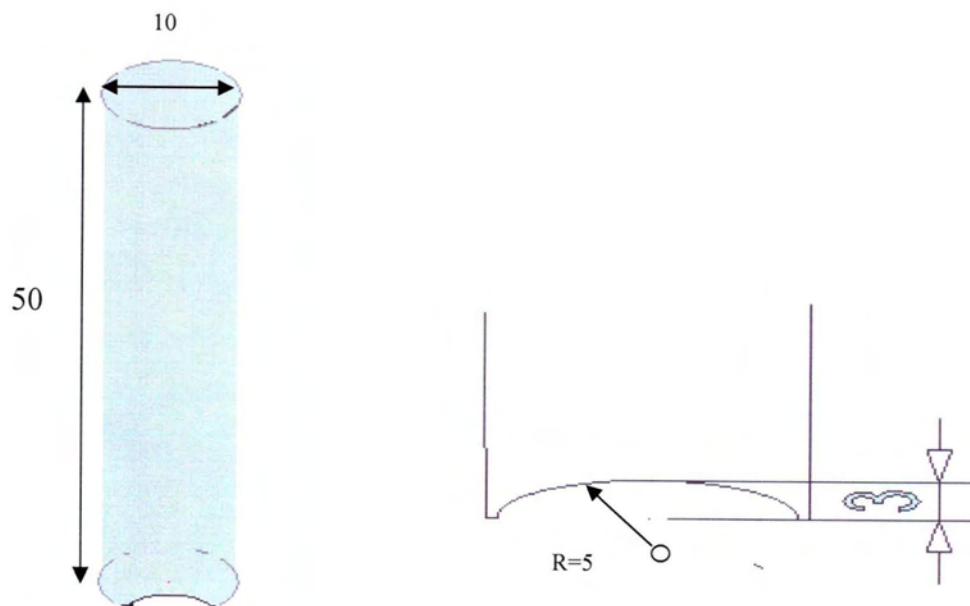


**Σχήμ.3.11:** Πειραματική διάταξη κάμψης τριών σημείων

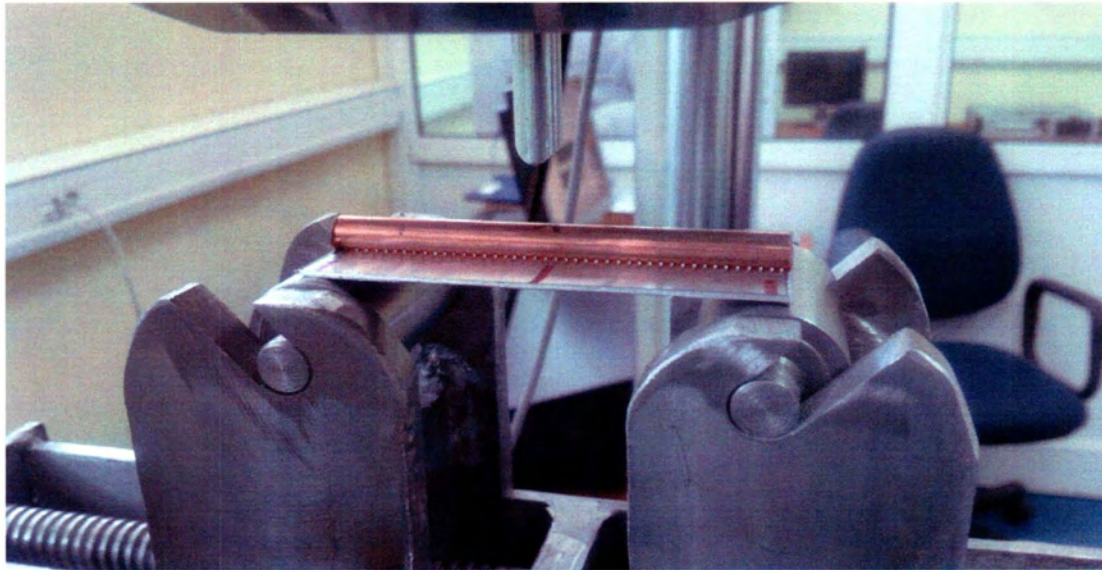




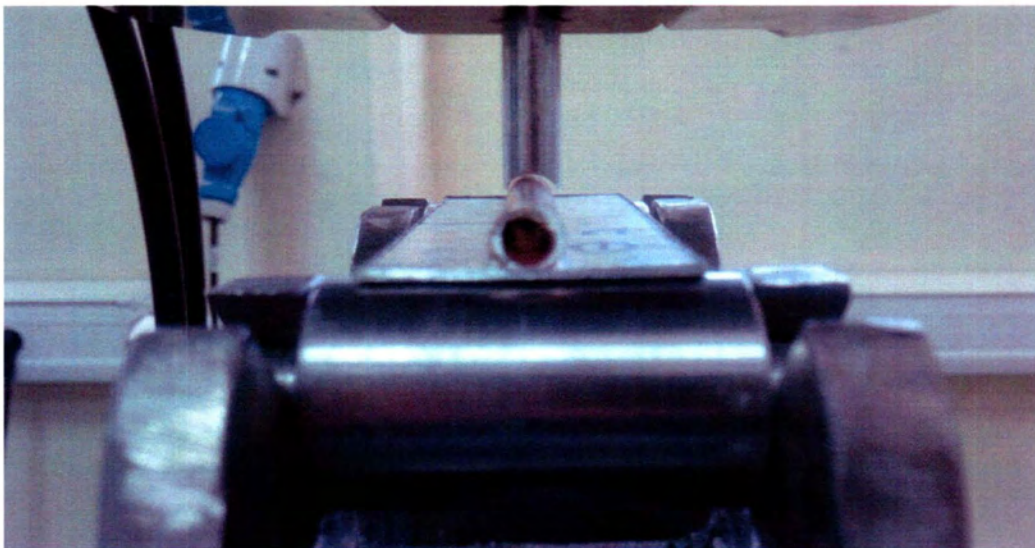
**Σχήμα 3.12** Σκαρίφημα ιδιοσυσκευής για την στήριξη των δοκιμίων στο πείραμα της κάμψης (διαστάσεις σε mm)



**Σχήμα 3.13** Μεταλλικό στοιχείο (διαστάσεις σε mm)

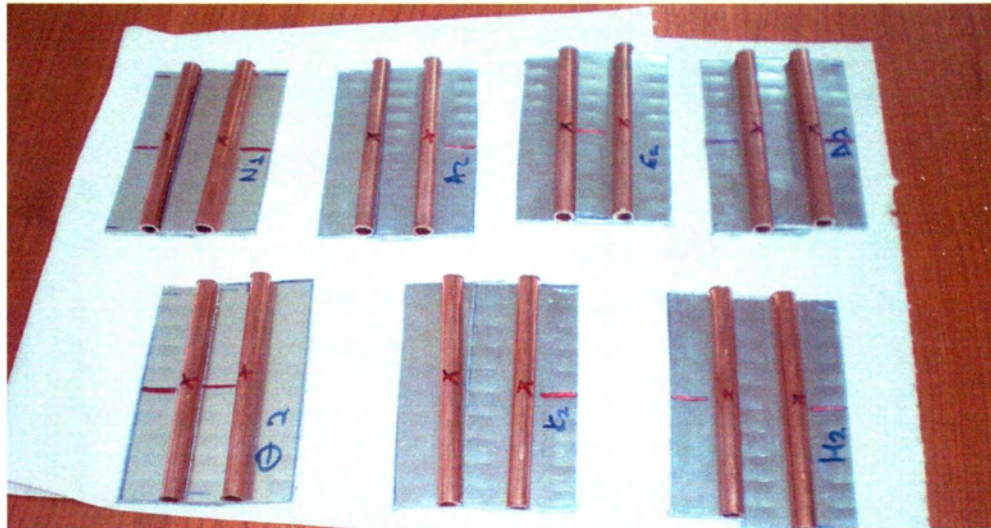


**Σχήμα 3.14** *Ιδιοσυσκευή και δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα της κάμψης*



**Σχήμα 3.15** *Ιδιοσυσκευή και δοκιμίου που χρησιμοποιήθηκαν στο πείραμα της κάμψης στο στοιχείο εφαρμογής της δύναμης φαίνεται η καμπυλόμενη επιφάνεια επαφή με τον χαλκοσωλήνα*

Πριν την τοποθέτηση των δοκιμίων στην ειδική ιδιοσυσκευή αρχικά υπολογίστηκε το μέσο του μήκους του κάθε δοκιμίου και πονταρίστηκε με μαρκαδόρο. (βλέπε Σχήμα 3.15)

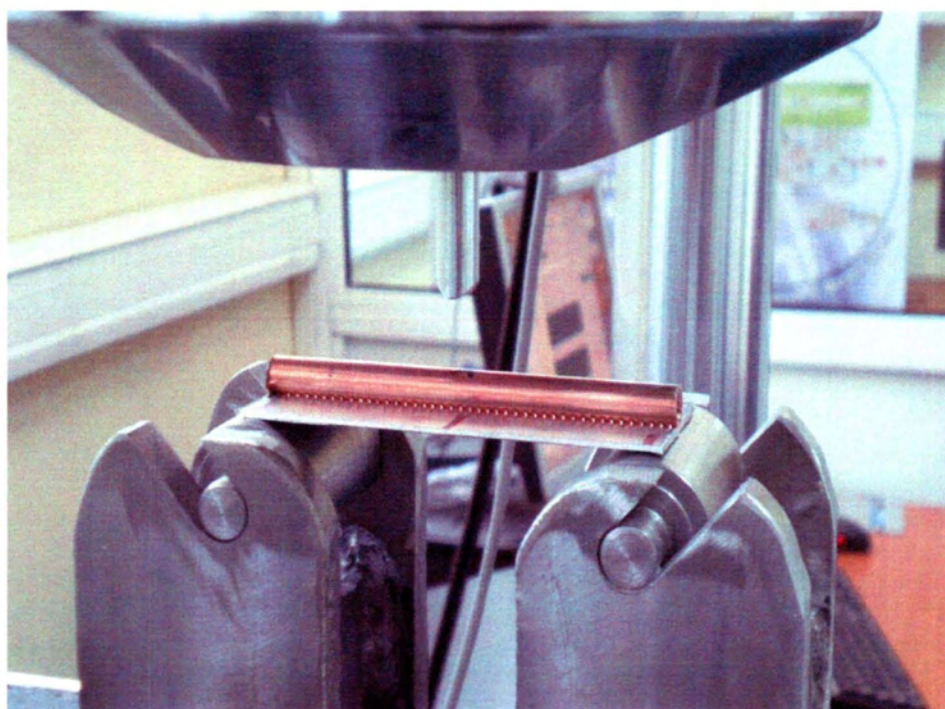


Σχήμ.3.16: Δοκίμια κάμψης

Μετά τοποθετήθηκαν η ιδιοσυσκευή στην κάτω αρπάγη της μηχανής και ακολούθως σταθεροποιήθηκε. Εν συνεχή σταθεροποιήθηκε το στοιχείο εφαρμογής της δύναμης στην πάνω αρπάγη.

Ακολούθως τοποθετήθηκε το κάθε δοκίμιο στην ιδιοσυσκευή με τέτοιο τρόπο ώστε το μέσο σημείο των δοκιμίων να βρίσκεται ακριβώς κάτω από το στοιχείο εφαρμογής της δύναμης. (βλέπε Σχήμα 3.16) Λόγο της μικρής ταχύτητας του πειράματος το στοιχείο εφαρμογής της δύναμης κατεβαίνει σε κοντινή απόσταση από το μέσο του δοκιμίου και μετά ξεκινά η διαδικασία κάμψης.



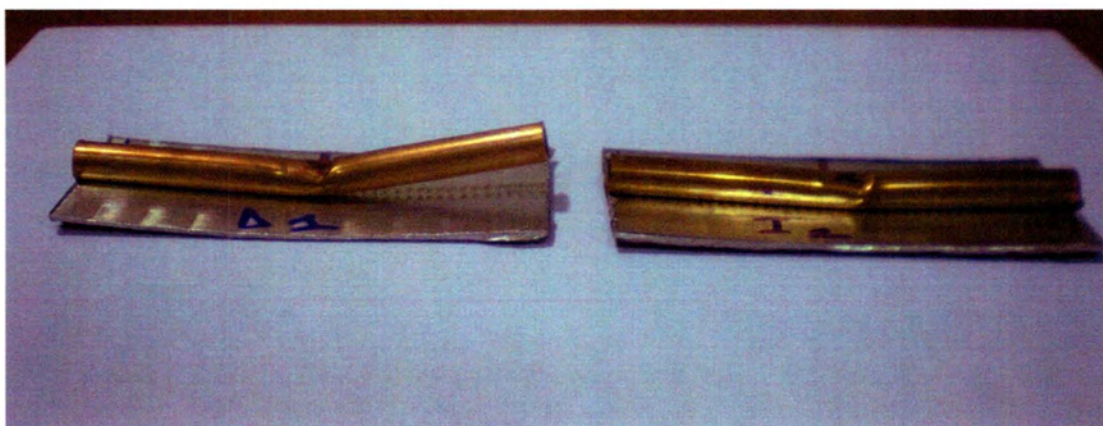


**Σχήμ 3.17:** Διαδικασία κάμψης

Με τη βοήθεια κατάλληλου λογισμικού παίρνουμε τη τιμή της δύναμης που ασκείται κάθε 0.5s στο δοκίμιο και την αξονική μετατόπιση. Η διαδικασία σταματά όταν η δύναμη που ασκείται πάνω στο δοκίμιο παίρνει μια μέγιστη τιμή  $\kappa$  μετά αρχίζει να μειώνεται

Κατά το πείραμα της κάμψης αναπτύσσονται καμπτικές ροπές και διατμητικές δυνάμεις στην περιοχή των σημειακών συγκολλήσεων. Σε δοκίμια που παρουσίασαν χαμηλή αντοχή σε κάμψη κατά την εφαρμογή του μέγιστου φορτίου κάμψης παρατηρήθηκε αποκόλληση του χαλκοσωλήνα από το έλασμα λόγω αστοχίας αριθμού σημειακών συγκολλήσεων ενώ στα υπόλοιπα η αποκόλληση ήταν τοπικά περιορισμένη σε μικρό αριθμό σημειακών συγκολλήσεων στην περιοχή εφαρμογής της δύναμης. (βλέπε Σχήμα 3.16)





**Σχήμ.3.18:** Δοκίμια που ελέχθησαν σε δοκιμή κάμψης

Οι τιμές της δύναμης ανά αξονική μετατόπιση μετατρέπονται σε γραφική παράσταση με τη βοήθεια του προγράμματος OritzinPro 8. Οι εν λόγω γραφικές παραστάσεις παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 4.

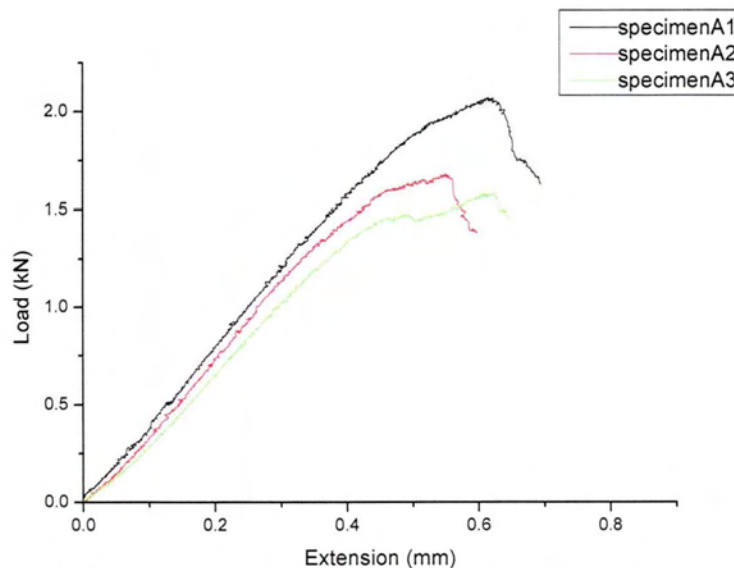
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 4.1 Αποτελέσματα δοκίμων διάτμησης

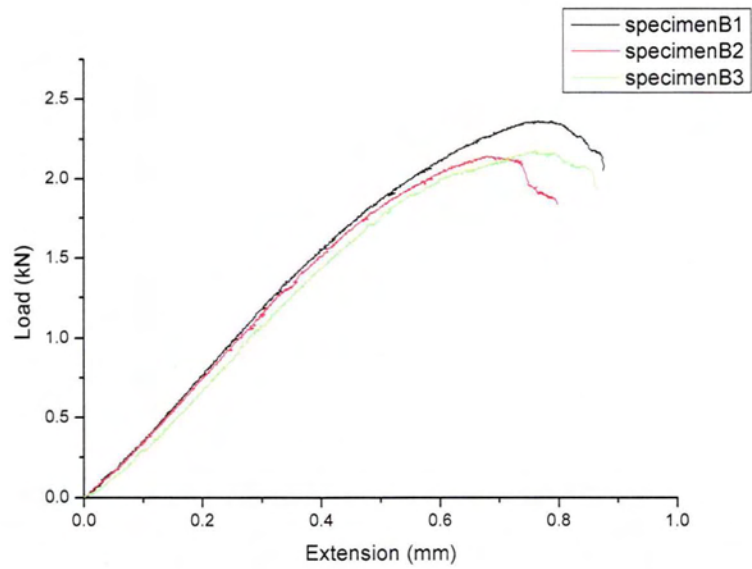
Τα αποτελέσματα δύναμης – επιμήκυνσης όπως προέκυψαν από τις δοκιμές διάτμησης παρουσιάζονται στα **σχήματα 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11, 4.12**. Για την εξαγωγή των καμπύλων φορτίου - επιμήκυνσης χρησιμοποιήθηκαν 3 δοκίμια για κάθε κωδικό. Η αντιστοίχιση των κωδικών δοκιμών με τα χαρακτηριστικά παλμών συγκόλλησης έγινε στο Κεφάλαιο 2, Πίνακα 2.1

#### Παλμός SP1



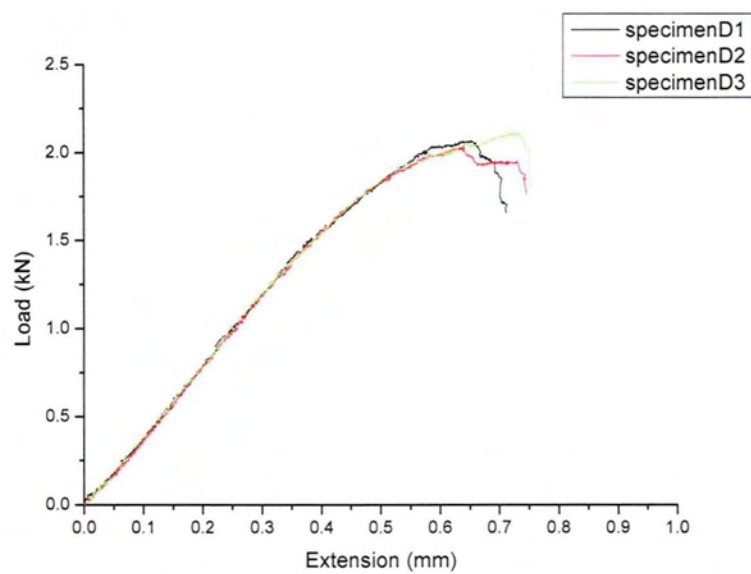
**Σχήμ 4.1** : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό A

### Παλμός SP2



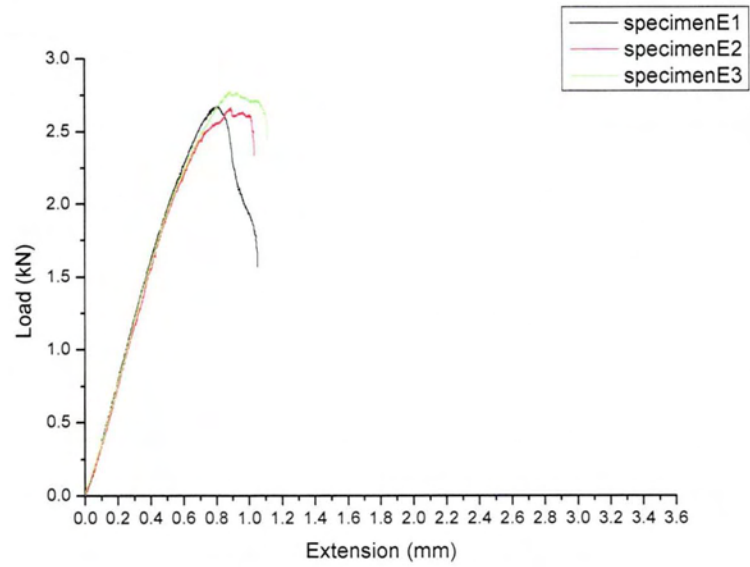
Σχήμ 4.2 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό B

### Παλμός SL4



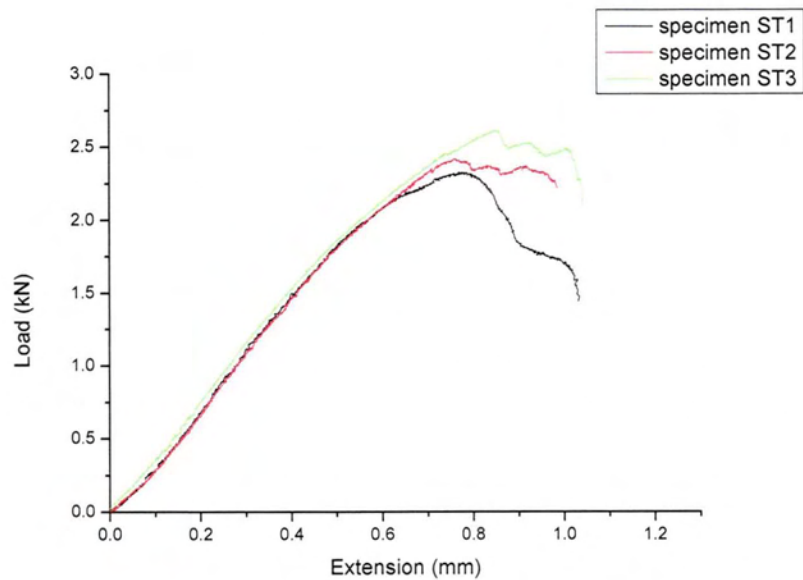
Σχήμ 4.3 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Δ

### Παλμός SL5



Σχήμ 4.4 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό E

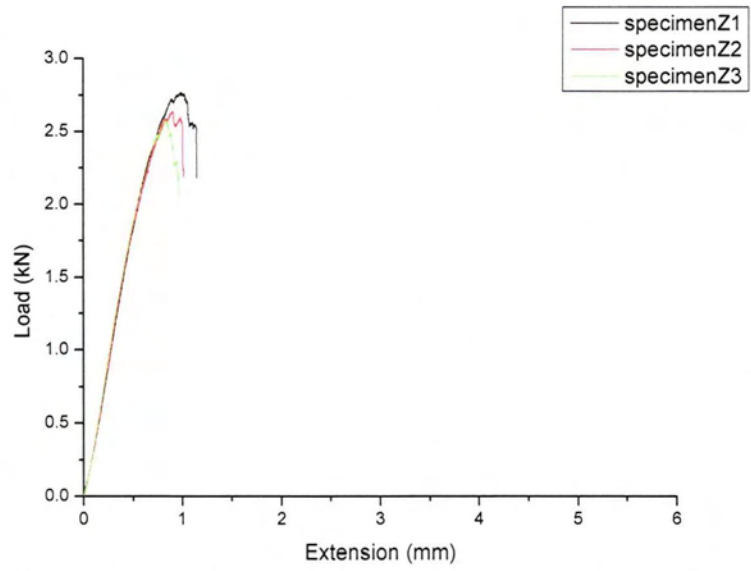
### Παλμός SL6



Σχήμ 4.5 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό ST

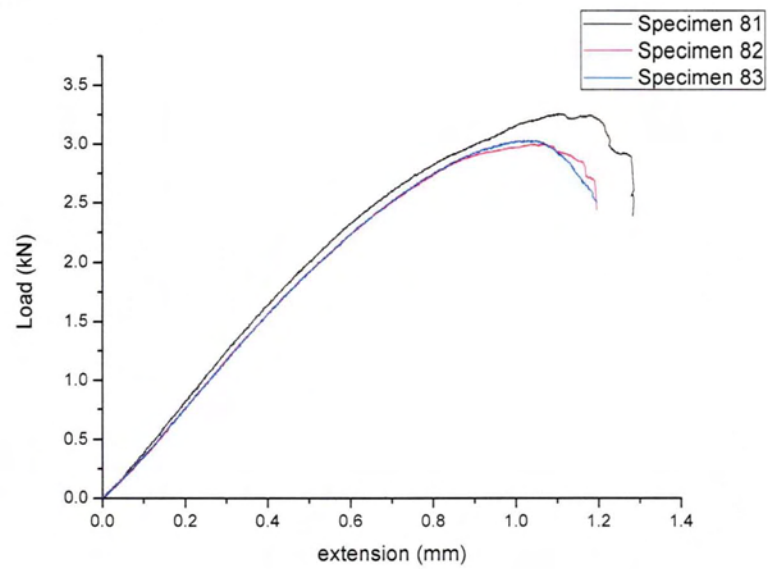


### Παλμός SL7



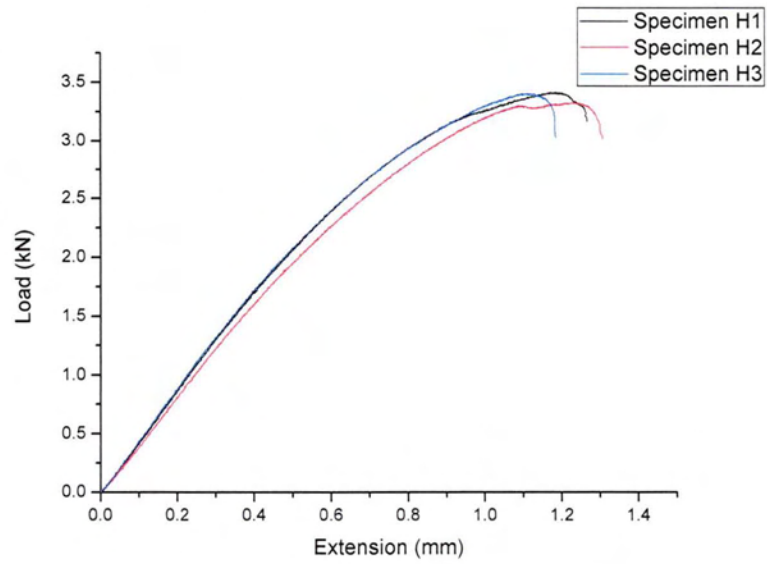
Σχήμ 4.6 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Z

### Παλμός SP8



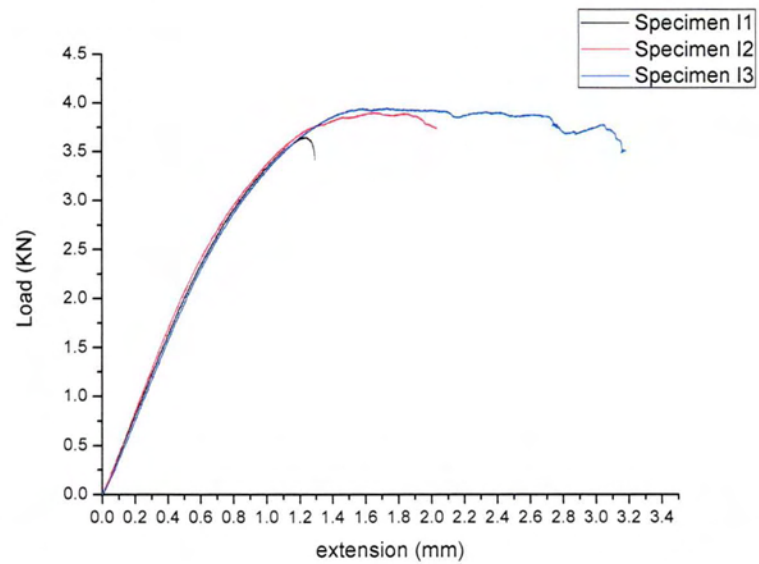
Σχήμ 4.7 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό Θ

### Παλμός SP3



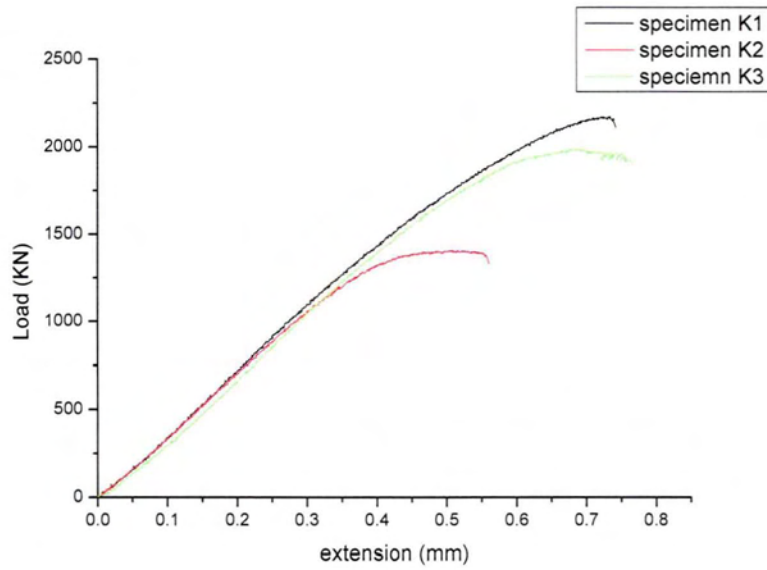
Σχήμ 4.8 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό H

### Παλμός SP9



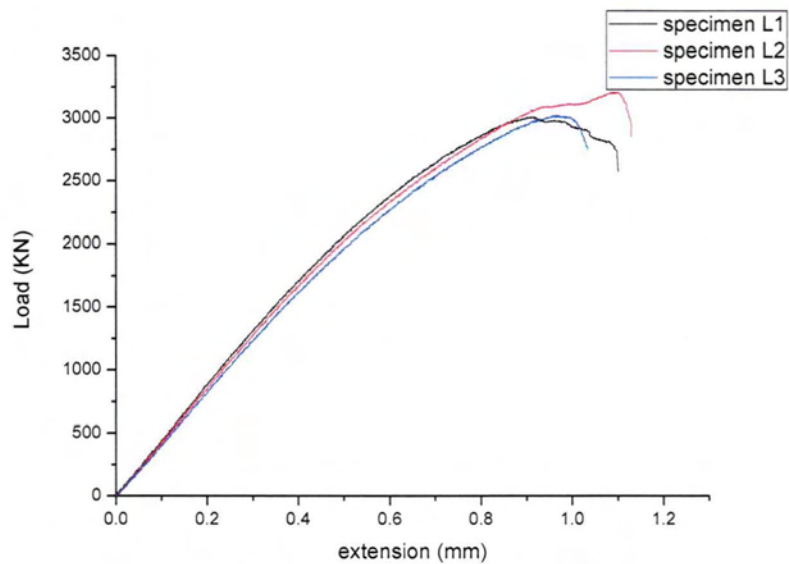
Σχήμ 4.9 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό I

### Παλμός SP11



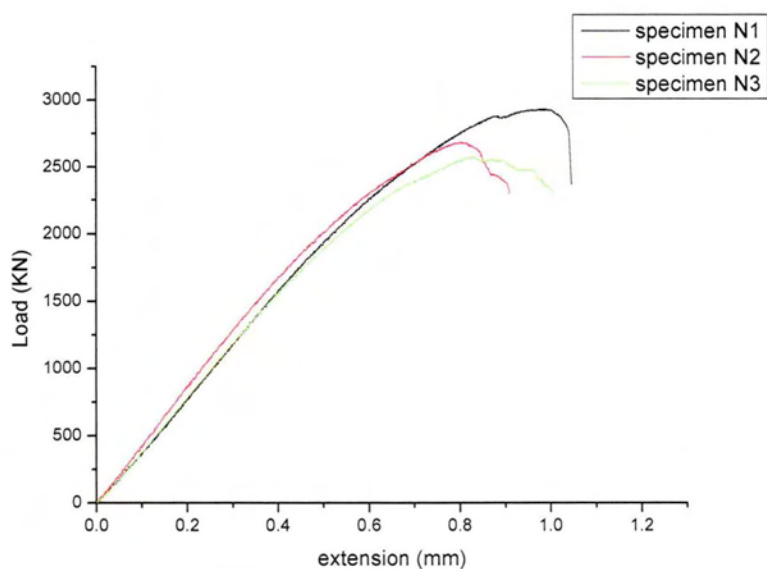
Σχήμ 4.10 : Καμπύλες φορτίου επιμήκνωσης για τα δοκίμια με κωδικό K

### Παλμός SL8



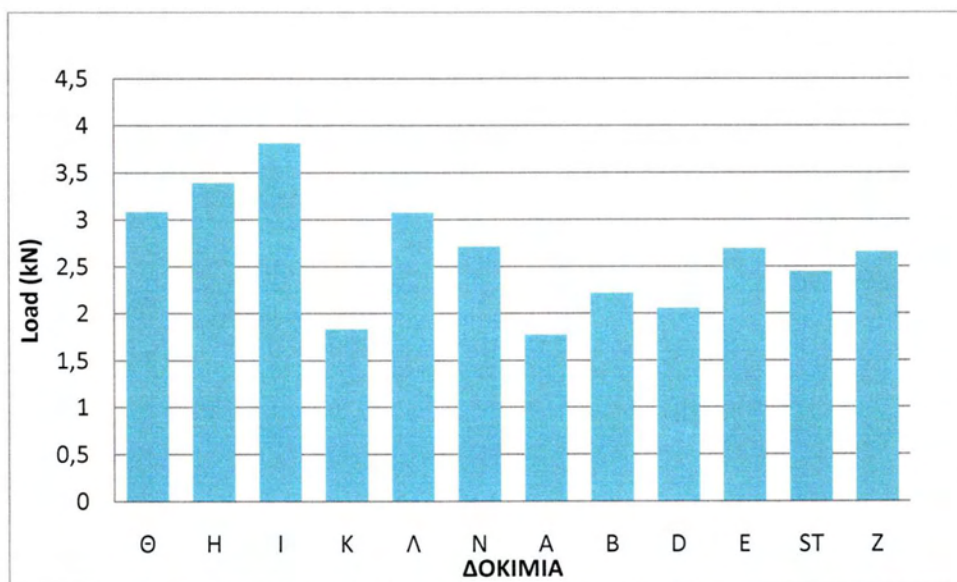
Σχήμ 4.11 : Καμπύλες φορτίου επιμήκνωσης για τα δοκίμια με κωδικό L

## Παλμός SL10



Σχήμ 4.12 : Καμπύλες φορτίου επιμήκυνσης για τα δοκίμια με κωδικό N

Ο μέσος όρος της μέγιστης διατμητικής δύναμης για κάθε κωδικό παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.13



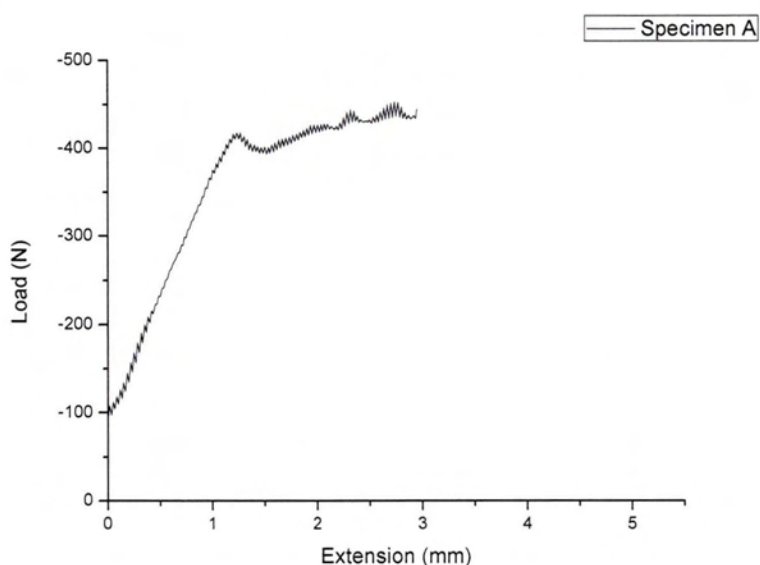
Σχήμ 4.13 : Μέσος όρος μέγιστης δύναμης διάτμησης για κάθε κωδικό που ελέχθηκε



## 4.2 Αποτελέσματα δοκίμων κάμψης

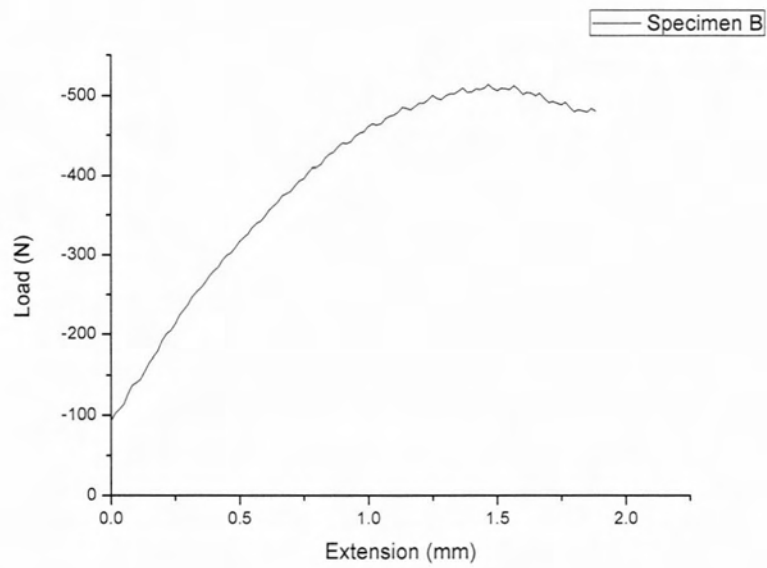
Τα αποτελέσματα δύναμης – επιμήκυνσης όπως προέκυψαν από τις δοκιμές διάτμησης παρουσιάζονται στα **σχήματα 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20, 4.21, 4.22, 4.23, 4.24, 4.25**. Για την εξαγωγή των καμπύλων φορτίου - επιμήκυνσης χρησιμοποιήθηκε 1 δοκίμιο για κάθε κωδικό. Η αντιστοίχιση των κωδικών δοκιμών με τα χαρακτηριστικά παλμών συγκόλλησης έγινε στο κεφάλαιο 2, Πίνακα 2.1

### Παλμός SP1



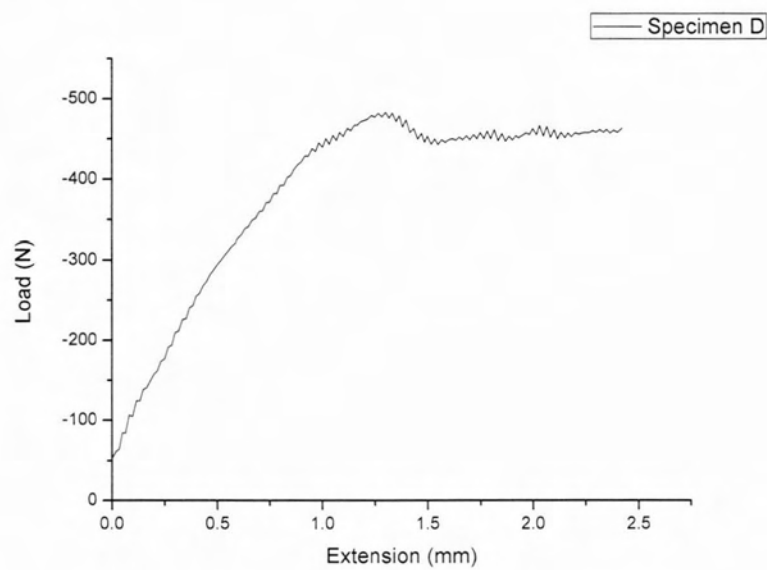
**Σχήμ 4.14 :** Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό A

### Παλμός SP2



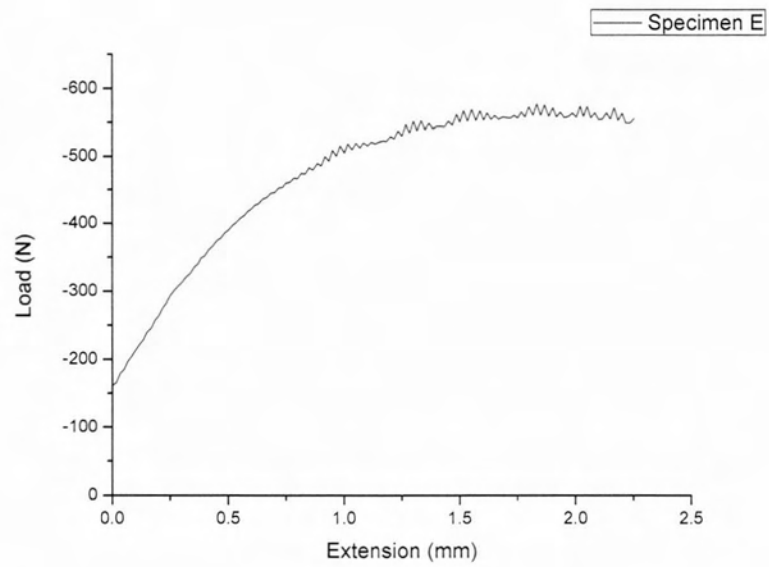
Σχήμ 4.15 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό B

### Παλμός SL4



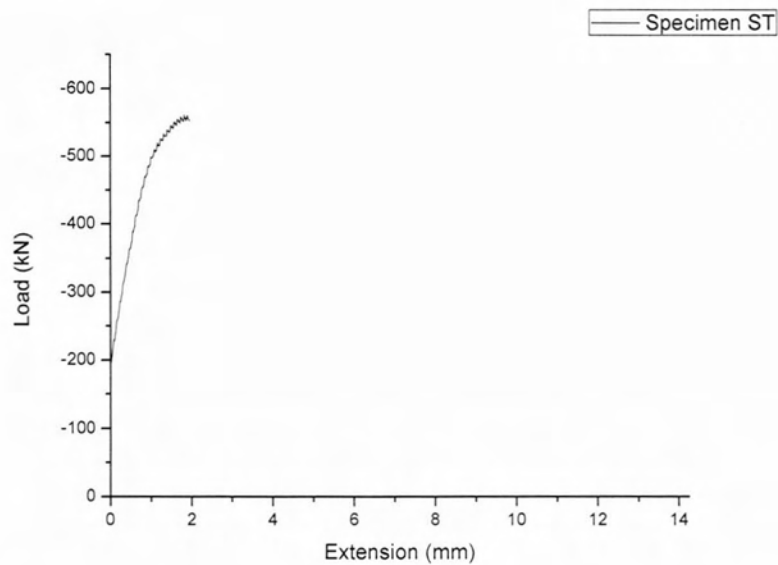
Σχήμ 4.16 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Δ

### Παλμός SL5



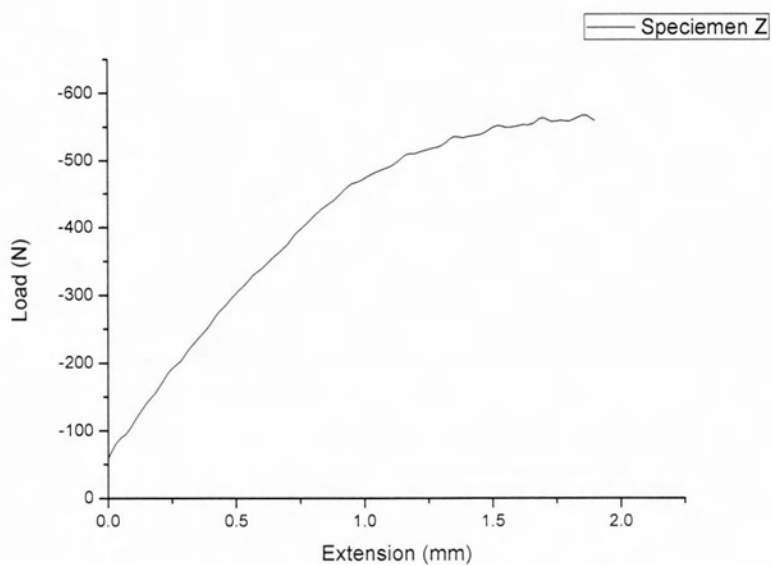
Σχήμ 4.17 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό E

### Παλμός SL6



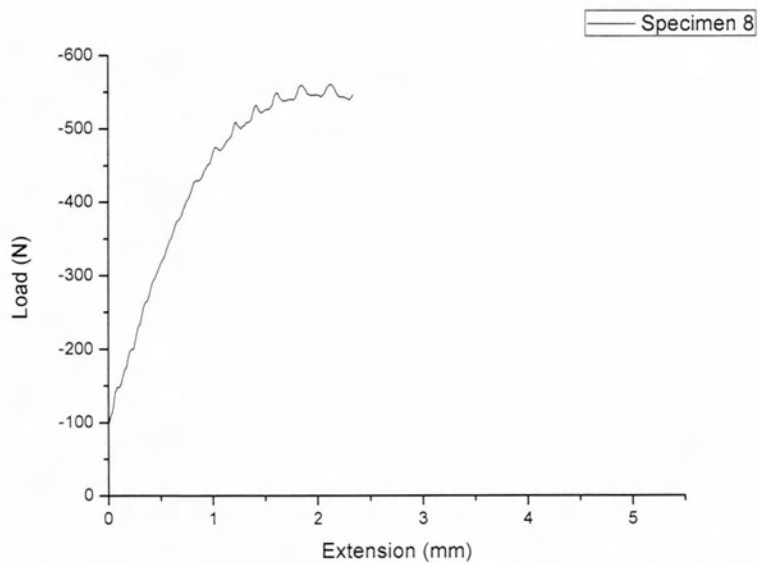
Σχήμ 4.18 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό ST

### Παλμός SL7



Σχήμ 4.19 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Z

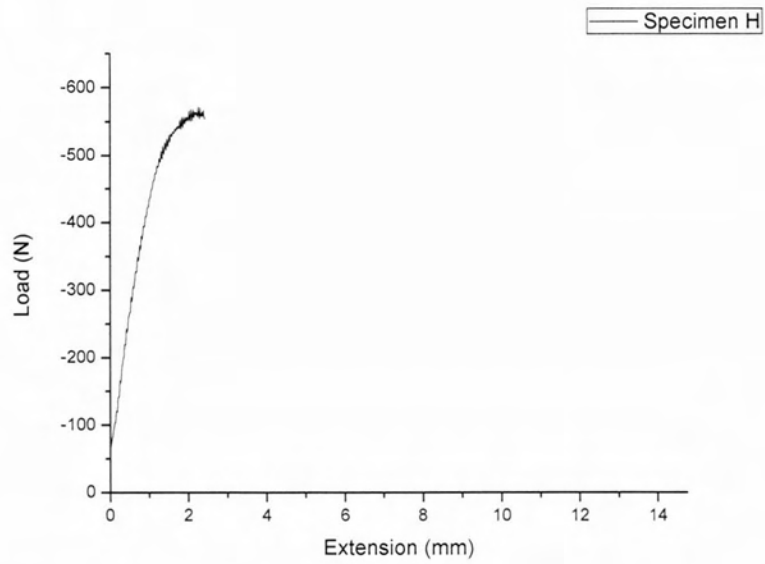
### Παλμός SP8



Σχήμ 4.20 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό Θ

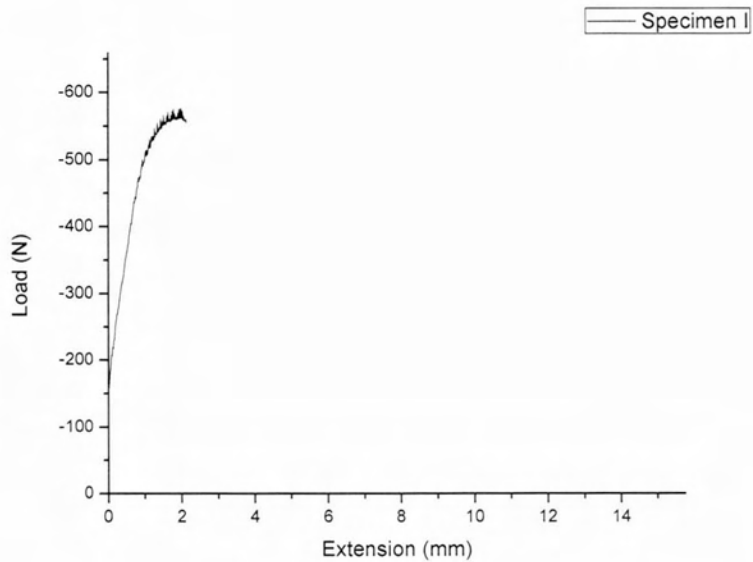


### Παλμός SP3



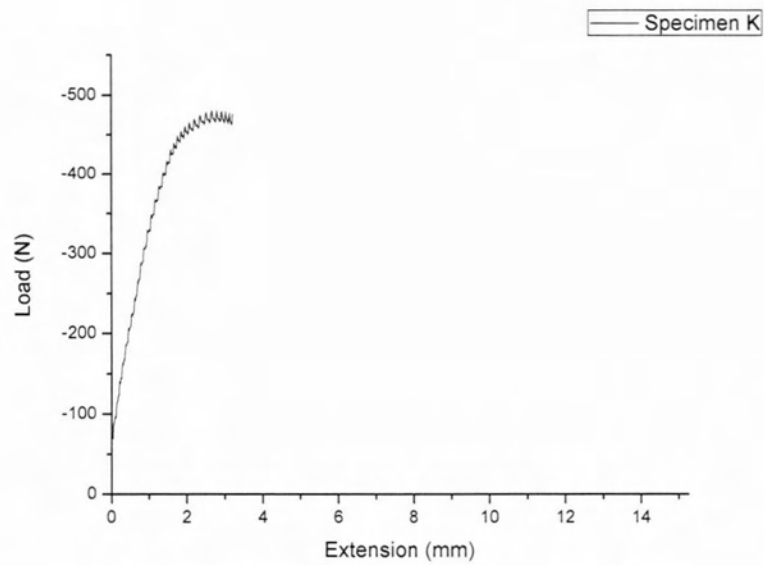
Σχήμ 4.21 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό H

### Παλμός SP9



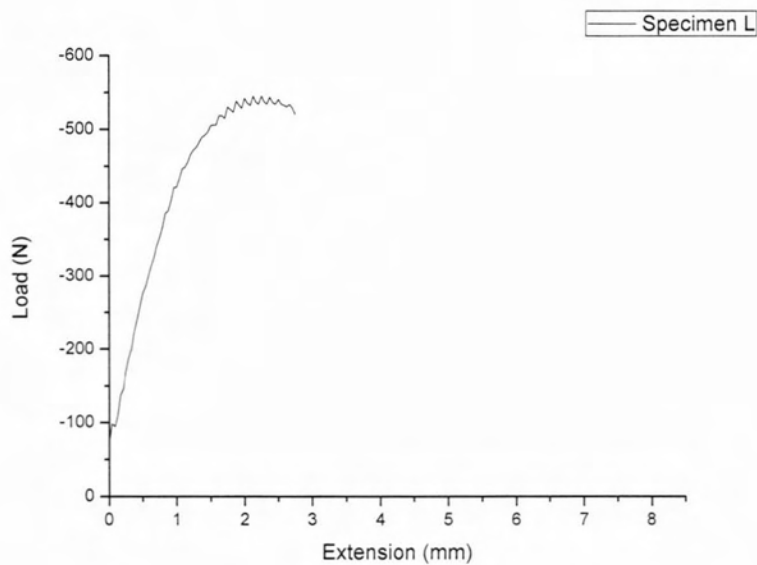
Σχήμ 4.22 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό I

### Παλμός SP11



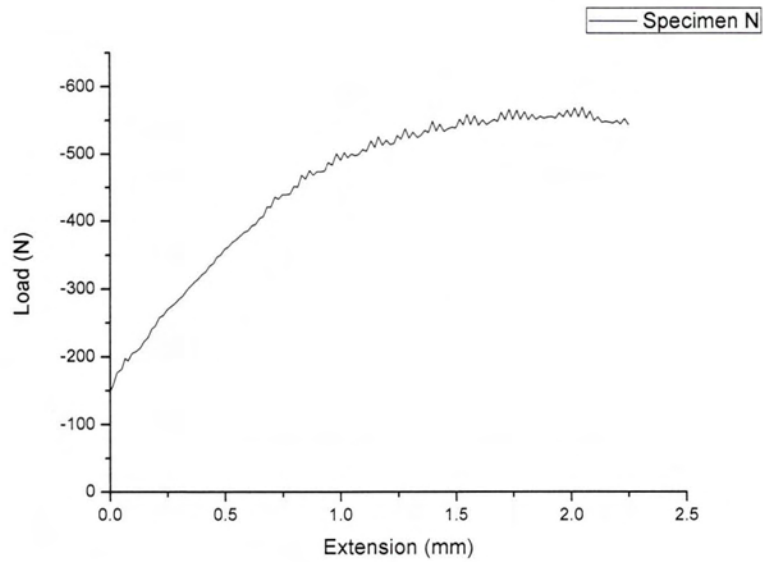
Σχήμ 4.23 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό K

### Παλμός SL8



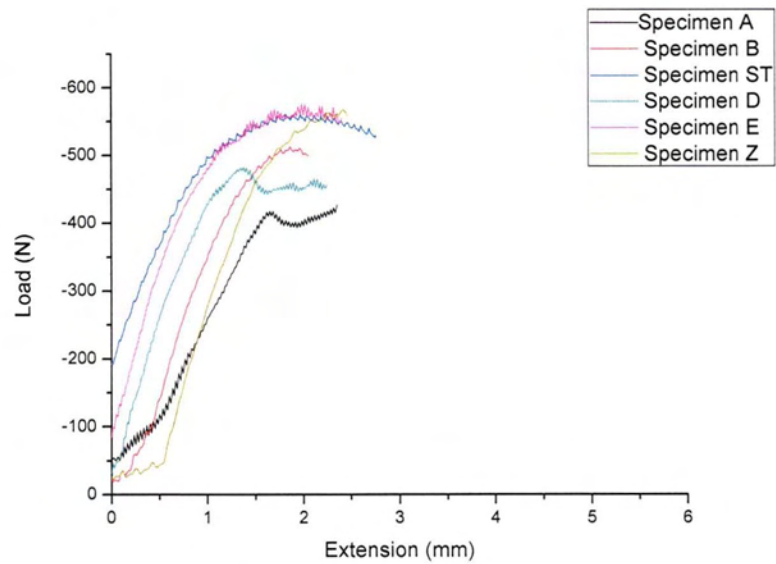
Σχήμ 4.24 : Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό L

## Παλμός SL10

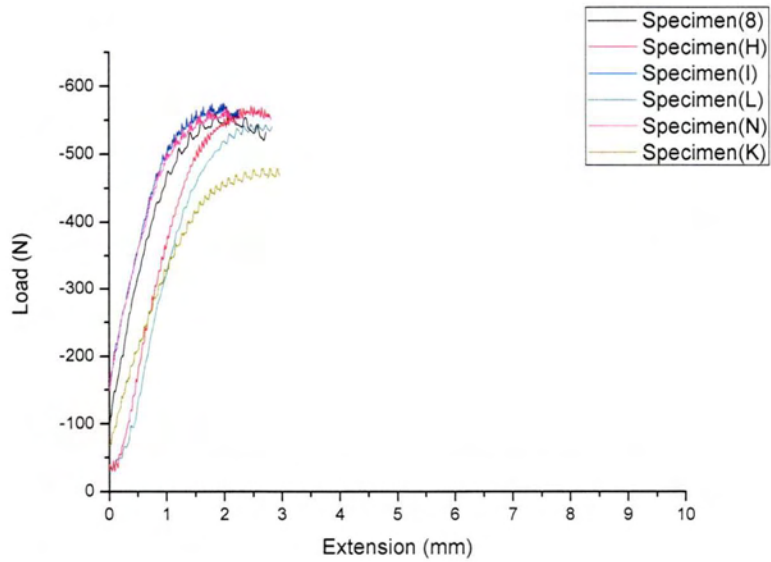


**Σχήμ 4.25 :** Καμπύλη φορτίου επιμήκυνσης για το δοκίμιο με κωδικό N

Σε κάποια δοκίμια που ελέχθηκαν κατά τη σύσφιξη των δοκιμίων στις αρπάγες υπήρξε μια μικρή προφόρτιση. Για τον λόγο αυτό στα διαγράμματα δεν ξεκινούν όλες οι τιμές από μηδενική φόρτιση

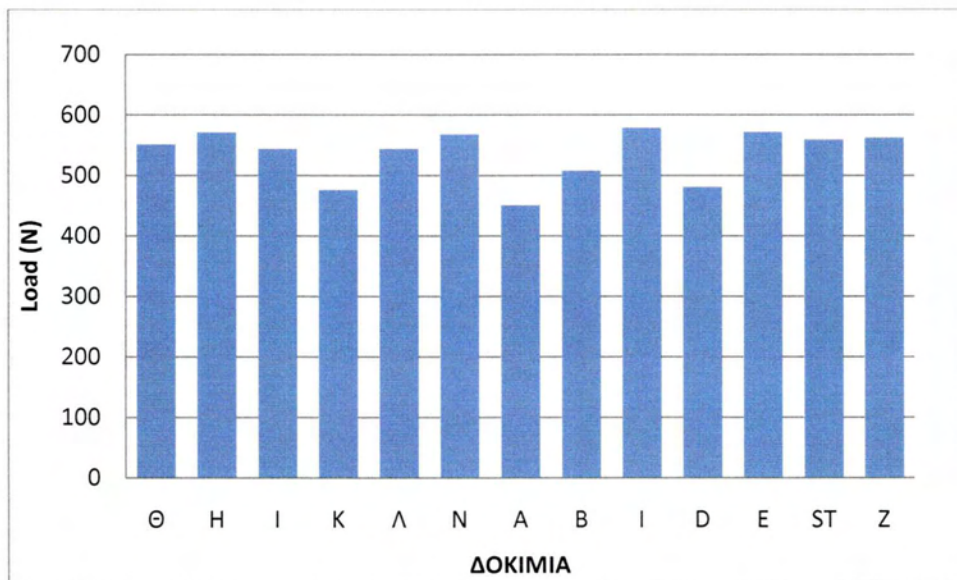


**Σχήμ.4.26:** Συγκεντρωτικό διάγραμμα των δοκιμίων με κωδικό A,B,ST,Δ,E,Z



Σχήμ.4.27: Συγκεντρωτικό διάγραμμα των δοκιμών με κωδικό Θ, Η, Ι, Λ, Ν, Κ

Η μέγιστη καμπτική δύναμη για κάθε κωδικό παρουσιάζεται στο Σχήμα 4.28



Σχήμ.4.28 : Μέγιστη δύναμη κάμψης

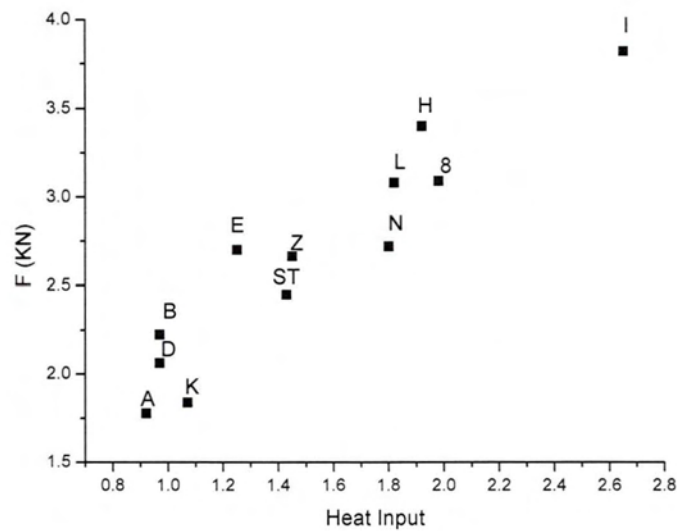


**Πίνακας 4.1 :** Συγκριτικά αποτελέσματα δοκιμών διάτμησης και κάμψης για τους κωδικούς που ελέχθησαν.

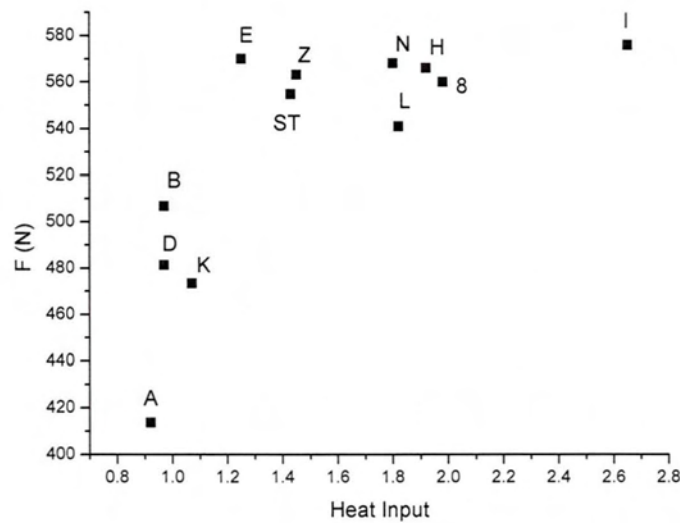
ΔΟΚΙΜΙΟ ΑΝΑ ΚΩΔΙΚΟ		ΔΙΑΤΜΗΣΗ (ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ) (KN)	ΔΙΑΤΜΗΣΗ ΜΕΣΟΣ ΟΡΟΣ (KN)	ΚΑΜΨΗ ( ΜΕΓΙΣΤΗ ΔΥΝΑΜΗ ) (KN)
A	A1	2.098	1.778	413.65
	A2	1.684		
	A3	1.581		
B	B1	2.261	2.225	506.83
	B2	2.169		
	B3	2.185		
D	D1	2.062	2.062	481.4
	D2	2.012		
	D3	2.114		
E	E1	2.667	2.7	570.06
	E2	2.652		
	E3	2.782		
H	H1	3.41	3.4	566.06
	H2	3.32		
	H3	3.4		
I	I1	3.65	3.82	575.92
	I2	3.89		
	I3	3.93		
K	K1	2.16	1.84	473.42
	K2	1.39		
	K3	1.98		
L	L1	3.01	3.08	540.97
	L2	3.21		
	L3	3.02		
N	N1	2.93	2.72	568.19
	N2	2.68		
	N3	2.57		
ST	ST1	2.323	2.45	554.74
	ST2	2.414		
	ST3	2.629		
Z	Z1	2.774	2.664	563.18
	Z2	2.636		
	Z3	2.582		
Θ	Θ1	3.26	3.09	559.98
	Θ2	3.01		
	Θ3	3.02		

### 4.3 Σχηματική παράσταση θερμικού φορτίου ανά δύναμη για κάθε κωδικό

Η αντιστοίχιση των κωδικών δοκιμών με το θερμικό φορτίο έγινε στο Κεφάλαιο 2, Πίνακα 2.1



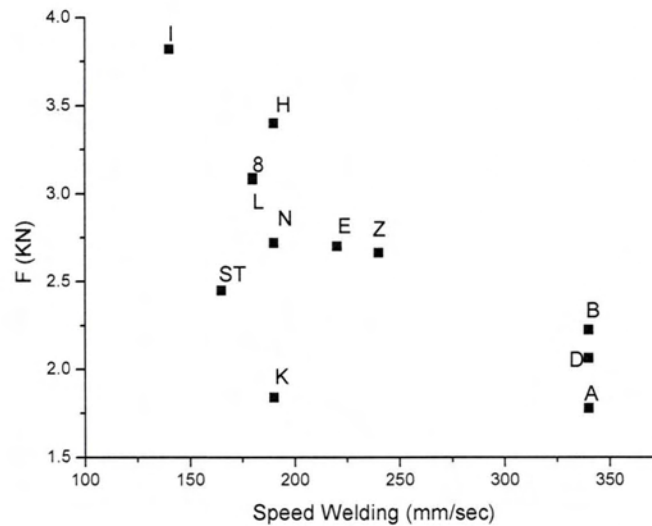
Σχήμ.4.29 : Αντοχή σε διάτμηση ανά θερμικό φορτίο για κάθε κωδικό



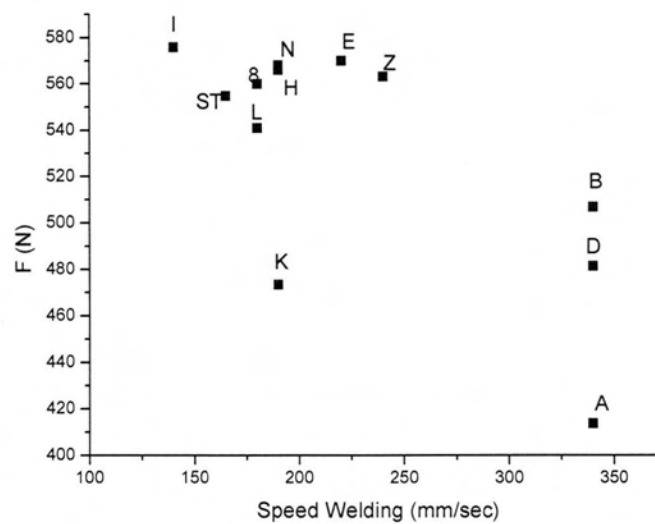
Σχήμ.4.30 : Αντοχή σε κάμψη ανά θερμικό φορτίο για κάθε κωδικό

#### 4.4 Σχηματική παράσταση ταχύτητας συγκόλλησης ανά δύναμη για κάθε κωδικό

Η αντιστοίχιση των κωδικών δοκιμών με τη ταχύτητα συγκόλλησης έγινε στο Κεφάλαιο 2, Πίνακα 2.1



Σχήμ.4.31 : Αντοχή σε διάτμηση ανά ταχύτητα συγκόλλησης για κάθε κωδικό



Σχήμ.4.32 : Αντοχή σε κάμψη ανά ταχύτητα συγκόλλησης για κάθε κωδικό

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

### Συμπεράσματα -Προτάσεις

Σε αυτό το κεφάλαιο παρουσιάζονται συνοπτικά τα συμπεράσματα και οι παρατηρήσεις που εξήχθησαν από τη πειραματική μελέτη.

Τα αποτελέσματα των πειραμάτων οδήγησαν στις εξής παρατηρήσεις:

- Τα δοκίμια με τη μεγαλύτερη αντοχή διάτμησης ήταν τα δοκίμια με κωδικό Ι, ενώ αυτά με την μικρότερη αντοχή ήταν δοκίμια με κωδικό Α. Οι ίδιοι κωδικοί (Ι και Α) παρουσίασαν Υψηλότερη και χαμηλότερη αντοχή και στην δοκιμή κάμψης
- Στις δοκιμές κάμψης η διακύμανση των τιμών της αντοχής μεταξύ κάθε κωδικού ήταν μικρότερη σε σχέση με τα φορτία που μετρήθηκαν στην δοκιμή διάτμησης. Αυτό οφείλεται στο ότι στην καταπόνηση κάμψης συμμετέχει ενεργά στην παραλαβή καμπτικών ροπών και τεμνουσών δυνάμεων ο σωλήνας και δεν μεταφέρονται εξολοκλήρου τα φορτία στην συγκόλληση
- Η αντοχή των στοιχείων σε διάτμηση και κάμψη αυξάνεται με την αύξηση του θερμικού φορτίου συγκόλλησης και την μείωση της ταχύτητας συγκόλλησης.



## ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ ΓΙΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

Για την περαιτέρω μελέτη των σημειακών συγκολλήσεων με laser στοιχείων απορροφητή Al-Cu προτείνονται :

- Μελέτη επιφανειών θραύσης για την συσχέτιση παραμέτρων συγκόλλησης με χαρακτηριστικά θραύσης των συγκολλήσεων.
- Μελέτη των στοιχείων απορροφητή σε εναλλασσόμενη φόρτιση που αντιστοιχεί στα φορτία λειτουργίας κατά τον ημερήσιο θερμικό κύκλο.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Αγγελόπουλος, Ν., "Μεταπτυχιακή εργασία Με Θέμα: Μελέτη μικροδομής και ενδομεταλλικών ενώσεων σε διμεταλλικές συγκολλήσεις laser Al –Cu ", Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Βόλος 2012.
- [2] [Ανακτήθηκε από τον Διαδικτυακό Χώρο, , www.wikipedia.org](http://www.wikipedia.org)
- [3] ASTM E855-08, "Standard Test Methods for Bend Testing of Metallic Flat Materials for Spring Applications Involving Static Loading.
- [4] Ανδρίτσος, Ν., "Ενέργεια και Περιβάλλον", Διδακτικές σημειώσεις Πανεπιστημιακές εκδόσεις Θεσσαλίας, Βόλος 2007.
- [5] Φραγκιαδάκη Ε., 'Μεταπτυχιακή εργασία Με θέμα Συγκολλήσεις κραμάτων αλουμινίου 2024 με τη μέθοδο laser Co2 μελέτη θερμοκρασιακών κατανομών και παραμενουσών τάσεων Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Βόλος 2010.
- [6] Κλέπκος Α., 'Διπλωματική εργασία Μελέτη της έναρξης ρωγμής σε κόπωση διαφασικών χαλύβων υψηλής αντοχής' Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Βόλος 2010.
- [7] Χαραλάμπους Α., 'Διπλωματική εργασία Υδραυλικό σύστημα γενικής χρήσης και πειραματικής μελέτης της μηχανικής συμπεριφοράς χαλύβων TRIP' Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών, Βόλος 2009.
- [8] [Ανακτήθηκε από τον Διαδικτυακό Χώρο, , www.papaemmanouel.gr](http://www.papaemmanouel.gr)
- [9] AWS Welding Handbook, 8th ed., Vol. 1, 1987



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ



004000119092