

ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ**

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ**

ΚΑΡΠΕΡΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Ε. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ ΕΜΠ**

ΑΘΗΝΑ ΝΟΕΜΒΡΙΟΣ 2014



ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια των σπουδών μου στη Σχολή Μηχανολόγων Μηχανικών Ε.Μ.Π., στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών.. Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερω τον επιβλέποντα Καθηγητή και Διευθυντή του Εργαστηρίου κ. Μανωλάκο Δημήτριο για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπο μου αναθέτοντάς μου τη μελέτη και τη διεκπεραίωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση του. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρ. Μηχανολόγο Μηχανικό Κωστάζο Πρωτεσίλαο (ΕΔΙΠ) για την επικοινωνιακή συνεργασία καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας. Επιπλέον, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον Γκιθώνα Εμμανουήλ για την πολύτιμη βοήθεια του κατά τη διεξαγωγή της πειραματικής διαδικασίας και κατά την διάρκεια της εκπόνησης ενός μεγάλου μέρους της διπλωματικής εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να αφιερώσω την διπλωματική εργασία αυτή στην οικογένεια μου και στον θείο μου Μιχάλη και την θεία μου Μαρία για την αμέριστη υποστήριξη σε όλη μου την φοιτητική διαδρομή.



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στόχος, της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της κατεργασιμότητας των μεταλλικών υλικών που χρησιμοποιούνται κατά την κατασκευή μίας σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης. Για την μελέτη της διαδικασίας παραγωγής αξιοποιήθηκαν οι εμπειρίες που αποκόμισα κατά την πρακτική μου στην γραμμή παραγωγής της Μ. ΚΛΑΠΑΚΗΣ ΑΒΕΕ. Η μελέτη της γραμμής παραγωγής είναι απ' τα βασικότερα μέρη που θα μας απασχολήσουν για να μας βοηθήσει να καταλάβουμε την φιλοσοφία και την ακριβή λειτουργικότητα των κατεργασιών που χρησιμοποιούνται κατά την παραγωγή μιας ηλεκτρικής αντίστασης. Για την μελέτη των κατεργασιών και των σταδίων της παραγωγής, καθώς και των προϊόντων κάθε σημείου της παραγωγής, χρησιμοποιήθηκε το σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks της Dassault Systemes SolidWorks Corp. Επίσης, τα μοντέλα που σχεδιάστηκαν χρησιμοποιήθηκαν για την προσομοίωση των κατεργασιών της κοίλανσης και της κοπής στο πρόγραμμα σχεδιασμού και προσομοίωσης ελαστικών και πλαστικών παραμορφώσεων LS-DYNA της Livermore Software Technology Corporation (LSTC). Πειραματική διάταξη μονοαξονικού εφελκυσμού και πείραμα μονοαξονικού εφελκυσμού μας δίνουν τις μηχανικές ιδιότητες των ελασμάτων χάλυβα που χρησιμοποιείται, ούτως ώστε να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την κατεργασία της κοίλανσης. Σύμφωνα με τα ευρήματα του μονοαξονικού εφελκυσμού, τα ελάσματα που χρησιμοποιούνται είναι αρκετά όλκιμα, ώστε να είναι σχετικά χαμηλά τα ποσά ενέργειας που χρειάζονται για να ολοκληρωθούν οι κατεργασίες της κοίλανσης και της κοπής. Τέλος, η προσομοίωση της κοίλανσης και της διάτρησης στο πρόγραμμα LS-DYNA μας δείχνει ότι η ενέργεια που χρειάζονται για να εκτελεστούν οι κατεργασίες που μας απασχολούν είναι αρκετά μικρότερη από την ζητούμενη ενέργεια για την ολοκλήρωση των κατεργασιών της κοίλανσης και της διάτρησης για τα ελάσματα χάλυβα DCP.



ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	2
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	3
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ	5
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ	7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ	8
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ	9
1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική αντίσταση	9
1.1.1 Ιστορική αναδρομή	9
1.2 Τι είναι η ηλεκτρική αντίσταση	10
1.2.1 Μια πρώτη εικόνα και η χρήση της ηλ. αντίστασης.	10
1.2.2 Οι πρώτες ύλες.....	11
Έλασμα χάλυβα και ανοξείδωτου χάλυβα	15
Ρητίνη και κεραμικά σφραγίσματος.....	17
Ακροδέκτης	18
1.2.3 Η Διαδικασία παραγωγής	19
1.2.4 Τα προϊόντα παραγωγής.....	48
1.2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλεκτρικής αντίστασης	52
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ	53
2.1 Θεωρία μονοαξονικού εφελκυσμού	53
2.2 Πειραματικά δοκίμια	59
2.3 Συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος	59
2.3.1 Μηχανική πρέσα INSTRON.....	59
2.3.2 Διεξαγωγή πειραμάτων	64
Τρόπος θραύσης -Συμπεράσματα.....	67
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΙΛΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ..	68
3.1 Μοντέλα προσομοίωσης	68
3.2 Διακριτοποίηση	73
3.3 Διαδικασία προσομοίωσης	78
3.4 Συμπεράσματα.....	82
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	85
ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ	86



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ.....σελ.

Εικόνα 1 Ρολό χρωμονικελίνης. Αριστερά και δεξιά της ετικέτας αναγράφονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά και οι κωδικοί παραγωγής	12
Εικόνα 2 ακροδέκτης όπως σχεδιάστηκε στο SolidWorks.....	19
Εικόνα 3 Μηχανικό ψαλίδι	22
Εικόνα 4 Κομμένα ελάσματα χάλυβα σε φύλλα 2m x 150mm πριν την χρήση σε πρέσα.....	22
Εικόνα 5 Ο τόρνος της επιχείρησης Γερμανικής κατασκευής 1955	23
Εικόνα 6 Πρέσα ισχύος 75 τόνων	24
Εικόνα 7 Πρέσα ισχύος 35 τόνων	24
Εικόνα 8 Τελική μορφή στρογγυλού ελάσματος σχεδιασμένη σε SolidWorks	25
Εικόνα 9 Αριστερά: Οβάλ καπάκι στήριξης Δεξιά: στρογγυλός λαιμός στήριξης	27
Εικόνα 10 Ηλεκτροπόντα χειρός.....	28
Εικόνα 11 Βάσεις στήριξης ανοδίου.....	28
Εικόνα 12 Αριστερά: Μηχανή ελατηριοποίησης Δεξιά: κεφαλή της μηχανής με τα ράουλα και το ελατήριο	29
Εικόνα 13 Τελική μορφή ελατηρίου.....	29
Εικόνα 14 Το ελατήριο μετά την συγκόλληση του με τους ακροδέκτες.....	30
Εικόνα 15 Ηλεκτροπόντα συγκόλλησης ελατηρίου - ακροδέκτη.....	30
Εικόνα 16 Ο τροχός -κόφτης	31
Εικόνα 17 Η μύτη του αλεζουάρ.....	32
Εικόνα 18 Άνω μέρος πληρωτικής μηχανής	32
Εικόνα 19 Κάτω μέρος μηχανής πλήρωσης	33
Εικόνα 20 Ραουλιέρα 2 ράουλων.....	35
Εικόνα 21 Ραουλιέρα 16 ράουλων.....	35
Εικόνα 22 Ο ηλεκτρολογικός πίνακας και ο πυρίμαχος πάγκος υπερθέρμανσης.....	36
Εικόνα 23 κουρμπαδόρος και διαμορφωμένες αντιστάσεις.....	37
Εικόνα 24 Αντίσταση χαλκού σχεδιασμένη σε SolidWorks	37
Εικόνα 25 Θάλαμος αμμοβολής. Διακρίνεται ο σωλήνας και η λάβει της δέσμης συμπιεσμένου αέρα και λεπτόκοκκης άμμου.	38
Εικόνα 26 Ραουλιέρα Müller	39
Εικόνα 27 Σφραγισμένος σωλήνας στο άνω άκρο έτοιμος για συγκόλληση.....	39
Εικόνα 28 διάταξη αντίστασης και θερμοστάτη για χρήση σε μπόιλερ	40



Εικόνα 29 Θερμοστάτης	40
Εικόνα 30 Οβάλ αντίσταση στην βάση συγκόλλησης	41
Εικόνα 31 Φλόγες συγκόλλησης και κοπής	42
Εικόνα 32 Φούρνος ξήρανσης	43
Εικόνα 33 Σφραγισμένες αντιστάσεις πριν την επιψευδαργύρωση	44
Εικόνα 34 Θραύση Δοκιμίου 1	64
Εικόνα 35 Θραύση δοκιμίου 2	66
Εικόνα 36 φλάντζα 145mm πριν την κοίλανση	68
Εικόνα 37 κυάθιο διαμέτρου 140mm	69
Εικόνα 38 φλάντζα με 8 τρύπες περιμετρικά	69
Εικόνα 39 φλάντζα έτοιμη για συγκόλληση της βάσης ανοδίου.....	70
Εικόνα 40 Διάταξη της κοίλανσης: το επάνω τεμάχιο είναι το εμβολο το μεσαίο το κατεργάσιμο υλικό και το κάτω η μήτρα.	71
Εικόνα 41 Διάταξη απότμησης d=10MM.....	72
Εικόνα 42 Διάταξη απότμησης d=8.5mm.....	73
Εικόνα 43 Επιφάνειες κατεργασίας κοίλανσης.....	74
Εικόνα 44 επιφάνειες κατεργασίας σε πεπερασμένα στοιχεία	74
Εικόνα 45 μοντέλο διάτμησης 10mm.....	76
Εικόνα 46 συνεργαζόμενες επιφάνειες μοντέλου διάτμησης οπής 10 mm	76
Εικόνα 47 μοντέλο διάτμησης 8.5mm.....	77
Εικόνα 48 πεπερασμένα στοιχεία μοντέλου διάτμησης 8.5mm.....	77
Εικόνα 49 Προσομοίωση της διάτμησης 10mm. Διακρίνεται το απότμημα.....	79
Εικόνα 50 κατανομή τάσεων κατά von Mises κατά την διάτμηση των 10mm	80
Εικόνα 51 κατανομή τάσεων παραμόρφωσης στο δοκίμιο κατά von Mises κατά την διάτμηση 8.5mm.....	81



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....σελ

Πίνακας 1 Χημική σύσταση Nikrothal 60.....	12
Πίνακας 2 Μηχανικά χαρακτηριστικά σωλήνας χαλκού και διαστάσεις	14
Πίνακας 3 Μηχανικά χαρακτηριστικά σωλήνα INOX και διαστάσεις.....	15
Πίνακας 4 Ονοματολογικά Και Διαστάσεις Δοκιμών Που Καταπονήθηκαν	59
Πίνακας 5 Μέγιστη τάση-παραμόρφωση και όριο διαρροής των δοκιμών 1 και 2	67
Πίνακας 6 Διαστασιολόγηση και τυποποίηση επιφανειών κατά την διακριτοποίηση της κοίλανσης	75
Πίνακας 7 ΣΗΜΕΙΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ.....	75



ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ.....σελ

Σχήμα 1 Τομή της σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης	10
Σχήμα 2 Η περιοχή των κοινών χαλύβων στο μετασταθές διάγραμμα φάσεων Fe-C	17
Σχήμα 3 Κεραμικό σφραγίσματος σχεδιασμένος σε SolidWorks και οι διαστάσεις ...	18
Σχήμα 4 Το παραγωγικό διάγραμμα της επιχείρησης.....	20
Σχήμα 5 Πρώτη στρογγυλή διαμόρφωση κυαθίου (κοίλανση) με τις διαστάσεις κατασκευής.....	25
Σχήμα 6 Διαμόρφωση οβάλ κυαθίου με τις διαστάσεις, κάτω: τελικό κυάθιο με τρύπες για την συγκόλληση του θερμοστοιχείου	26
Σχήμα 7 Πλαστικό σφραγίσματος και οι διαστάσεις του	34
Σχήμα 8 Τελική μορφή της αντίστασης πριν την επιψευδαργύρωση σχεδιασμένη στο SolidWorks	44
Σχήμα 9 Κάτοψη της βιομηχανίας με τις θέσεις των μηχανών.	46
Σχήμα 10 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων	55
Σχήμα 11 Διάγραμμα πραγματικών τάσεων- παραμορφώσεων	57
Σχήμα 12 Εργαλείο θλίψης προσαρμοσμένο στην μηχανική πρέσα INSTRON	60
Σχήμα 13 Διάταξη πρέσας INSTRON.....	61
Σχήμα 14 Επιμέρους Τμήματα Πρέσας INSTRON	62
Σχήμα 15 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων Δοκιμίου 1.....	65
Σχήμα 16 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων Δοκιμίου 2.....	66
Σχήμα 17 Το έμβολο της κοίλανσης	71
Σχήμα 18 Μήτρα κοίλανσης	72
Σχήμα 19 Η κατανομή των τάσεων κατά von mises.....	78
Σχήμα 20 συνιστάμενη δύναμη που ασκείτε κατά την κατεργασία σε συνάρτηση με τον χρόνο	79
Σχήμα 21 Δυνάμεις αντιδράσεων μεταξύ των κατεργαζόμενων επιφανειών διάτμησης 10mm	80
Σχήμα 22 Δυνάμεις αντιδράσεων μεταξύ των κατεργαζόμενων επιφανειών διάτμησης 8.5mm	81



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Η ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ

1.1 Εισαγωγή στην ηλεκτρική αντίσταση

1.1.1 Ιστορική αναδρομή

Η πρώτη ηλεκτρική αντίσταση για τη παραγωγή θερμότητας πατενταρίστηκε το 1892 από τους βρετανούς R.E. Crompton και J.H. Dowsing, οι οποίοι τύλιξαν καλώδια υψηλής αντίστασης γύρω από μία ορθογώνια πλάκα χυτοσιδήρου τοποθετημένα πάνω σε ένα μεταλλικό ανακλαστήρα, ο οποίος ουσιαστικά συγκέντρωνε τη θερμότητα σε ένα σημείο. Η ιδέα βέβαια προήλθε από τα πειράματα του Thomas Alva Edison και το γνωστό λαμπτήρα πυρακτώσεως.

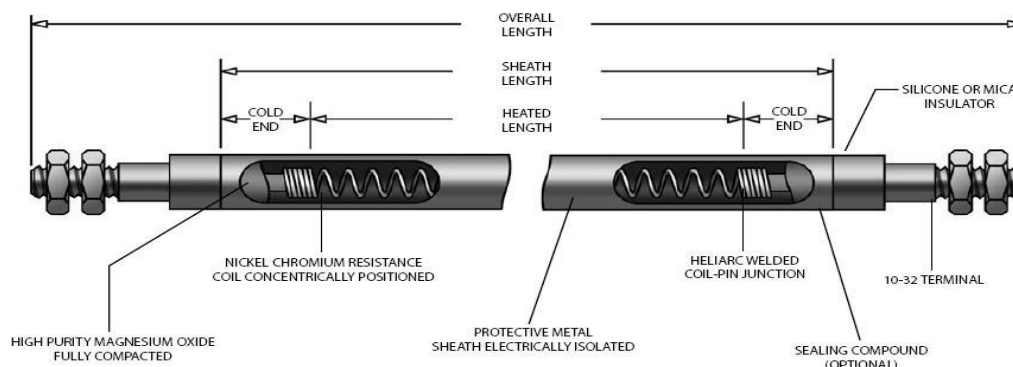
Αργότερα, το 1906, ανακαλύφθηκαν οι ιδιότητες της χρωμονικελίνης ως πυρίμαχο υλικό και από τότε μέχρι σήμερα χρησιμοποιείται ευρέως στη κατασκευή ηλεκτρικών αντιστάσεων, αφού έχει πολύ μεγάλη θερμική αντοχή.

Η πρώτη εμφάνιση σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης γίνεται το 1921 στην Νορβηγία στην πόλη Soslada από τον Christian Backer. Ο εφευρέτης της σωληνωτής αντίστασης βασίστηκε στην θεωρία και την εφεύρεση του Thomas Edison για τον λαμπτήρα πυρακτώσεως. Ο λαμπτήρας πυρακτώσεως περιλαμβάνει ένα λεπτό μεταλλικό νήμα, από βαρύ, δύστηκτο μέταλλο, συνήθως βολφράμιο, τυλιγμένο σε σπείρες. Αυτό φέρεται από τις άκρες του συγκολλημένο σε δύο παχύτερα σύρματα από όπου εφαρμόζεται η ηλεκτρική τάση, η οποία θέτει τα ηλεκτρικά φορτία σε κίνηση η οποία εξαναγκάζει το νήμα να φωτοβολεί από τη θέρμανσή του. Επίσης, ο Backer, αξιοποίησε την ιδιότητα του οξειδίου του μαγνησίου να άγει θερμότητα, ενώ ταυτόχρονα να είναι μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος. Έτσι λοιπόν, πέρασε ένα σύρμα από μέταλλο υψηλής ηλεκτρικής αντίστασης μέσα σε μεταλλικό μαγνήσιο ώστε να αξιοποιήσει τις ιδιότητες του οξειδίου του μαγνησίου. Μετά πέρασε όλη την διάταξη μέσα σε μεταλλικό σωλήνα. Η πρώτη εφαρμογή έγινε για θέρμανση και ατμοποίηση νερού.

Στην συνέχεια η τεχνολογία αναπτύχθηκε σε όλες τις Σκανδιναβικές χώρες και με τον κατάλληλο μεταλλικό σωλήνα εφαρμόστηκε για θέρμανση λαδιού και διάφορων άλλων υγρών. Επίσης, η σωληνωτή αντίσταση βρήκε εφαρμογή και στην βιομηχανία ελαστικών και παπουτσιών, καθώς χρησιμοποίησαν ευρύτατα την τεχνολογία αυτήν για την κατασκευή θερμαινόμενων μητρών για την δημιουργία ελαστικών και για σόλες παπουτσιών.

1.2 Τί είναι η ηλεκτρική αντίσταση

1.2.1 Μια πρώτη εικόνα και η χρήση της ηλ. αντίστασης.



Σχήμα 1 Τομή της σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης

Οι πρώτες χρήσεις της σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης, όπως αναφερθήκαμε και παραπάνω, κατασκευάστηκαν για να ατμοποιήσουμε νερό και σε μήτρες ελαστικών. Με την πρόοδο της τεχνολογίας όμως οι ανάγκες για μικρότερες και μεγαλύτερες χρήσεις αυτού του τύπου της αντίστασης, αυξήθηκαν. Οι βασικότερες χρήσεις είναι σε ηλεκτρικούς φούρνους, πλυντήρια και ρούχων και πιάτων καθώς πρέπει να θερμάνουμε το νερό και στο θερμοσίφωνο. Άλλες καθημερινές χρήσεις είναι για φριτέζες τηγανίσματος και μικρούς βραστήρες. Επίσης, τα «μάτια» της κουζίνας είναι και αυτά σωληνωτές ηλεκτρικές αντιστάσεις. Γενικότερα είναι μια φθηνή κι εύκολη λύση για πολλές περισσότερες χρήσεις, όπου χρειάζεται είτε να διατηρήσουμε σχετικά υψηλή θερμοκρασία σε κάποιο ρευστό είτε για να ανεβάσουμε υψηλή θερμοκρασία ανάλογα με τις ανάγκες μας. Βλέπουμε εδώ, λοιπόν, ότι η χρήση έχει επεκταθεί πλήρως στην καθημερινότητα μας. Σε πιο μεγάλη κλίμακα χρησιμοποιούνται σωληνωτές ηλεκτρικές αντιστάσεις για την προθέρμανση πετρελαίου για κινητήρες πλοίων, για διατήρηση θερμοκρασίας σε ρευστά σε διάφορες βιομηχανίες κ.α. Είναι ένα προϊόν, το οποίο έχει εξελιχθεί μέσα στα χρόνια και έχει επεκτείνει σε πολλούς περισσότερους τομείς την χρήση του πέραν της αρχικής του χρήσης σχεδόν αποκλειστικά στην βιομηχανία στις αρχές του 20ου αιώνα.



1.2.2 Οι πρώτες ύλες

- 1) Σύρμα κράματος χρωμίου-νικελίου(χρωμονικελίνη) 20Cr - 80 Ni
- 2) Μαγνησίτης (λευκόλιθος) MgCO₃
- 3) Σωλήνα χαλκού και ανοξειδωτη
- 4) Έλασμα χάλυβα και ανοξειδωτο
- 5) Πλαστικός συγκρατητής
- 6) Ακροδέκτης
- 7) Εποξική Ρητίνη
- 8) Κεραμικοί δακτύλιοι σφραγίσματος

Αυτές είναι οι πρώτες ύλες που χρειάζονται για να κατασκευάσουμε μια ηλεκτρική αντίσταση.

Χρωμονικελίνη

Το βασικότερο κομμάτι της όλης διάταξης είναι το σύρμα το οποίο διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και λόγω της υψηλής ηλεκτρικής του αντίστασης παράγει θερμότητα.

Η ηλεκτρική αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού είναι ανάλογη του μήκους του, l , και αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού της εγκάρσιας διατομής του, S , ενώ εξαρτάται και από το είδος του υλικού, του οποίου η ηλεκτρική συμπεριφορά καθορίζεται από μια σταθερά του υλικού που ονομάζεται ειδική ηλεκτρική αντίσταση (ρ): $R = \rho \cdot (l/S)$ ή $\rho = R \cdot (S/l)$. Αυτό το χαρακτηριστικό εκμεταλλεύεται η συγκεκριμένη διάταξη. Το σύρμα κράματος χρωμίου και νικελίου (χρωμονικελίνη) παρουσιάζει πολύ υψηλή ειδική ηλεκτρική αντίσταση. Χαρακτηριστικά, το παχύτερο χρησιμοποιούμενο σύρμα που χρησιμοποιεί η γραμμή παραγωγής που μελετάμε, 0,65 mm πάχος 3.442 Ω/m. Ένα δεύτερο χαρακτηριστικό του συγκεκριμένου κράματος είναι ότι ενώ φτάνει σε θερμοκρασίες άνω των 1150°C διατηρεί και ελάχιστα, αυξάνει την αντίσταση του. Επίσης, το κράμα χρωμίου-νικελίου παρουσιάζει πολύ υψηλή αντοχή στην οξειδωση και διατηρεί σταθερή την δομή του και το σχήμα του σύρματος στους 1150°C. Αυτά τα χαρακτηριστικά το κάνουν ιδανικό για τη χρήση του σε πάρα πολλά είδη αντιστάσεων.



Εικόνα 1 Ρολό χρωμονικελίνης. Αριστερά και δεξιά της ετικέτας αναγράφονται τα μηχανικά χαρακτηριστικά και οι κωδικοί παραγωγής

Στο πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η χημική σύσταση του Nicrothal 60 το οποίο έχει σημείο τήξης στους 1390°C και με μέγιστη θερμότητα λειτουργίας στις κατασκευές που χρησιμοποιείται τους 1150°C .

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %
Min	-	1.0	-	14.0	57.0
Max	0.10	1.7	1.0	18.0	60.0

Πίνακας 1 Χημική σύσταση Nicrothal 60

Η χρωμονικελίνη πάντως δεν είναι το μόνο κράμα που χρησιμοποιείται για τη παραγωγή ηλεκτρικών αντιστάσεων καθώς υπάρχει

- το κράμα Κωνσταντάν που αποτελείται από χαλκό (50-60%) και νικέλιο, έχει $\rho=0,5$ και αντέχει σε θερμοκρασίες έως και 1200°C και
- το κράμα Σούπερ Καντάλ το οποίο έχει $\rho=3,5\text{ g/cm}^3$ και αντέχει έως 1600°C .

Άλλα κράματα που χρησιμοποιούνται πολύ στη κατασκευή ηλεκτρικών αντιστάσεων είναι τα

- Μεγισόρτ
- Σιδηρονικέλιο
- Νεάργυρος
- Περμαλλίου



Μαγνησία MgO (οξειδίο του μαγνησίου)

Το δεύτερο υλικό που χρησιμοποιείται κατά την κατασκευή μιας αντίστασης είναι ο μαγνησίτης. Ο Μαγνησίτης είναι το πληρωτικό υλικό που τοποθετούμε μεταξύ του ελατηρίου χρωμονικελίνης και του σωλήνα χαλκού ή INOX, για να σφραγίσουμε το ελατήριο μας και το μετατρέπουμε σε μαγνησία MgO με την διαδικασία που θα δούμε σε άλλο σημείο της μελέτης. Για να προστατεύσουμε την χρωμονικελίνη από την οξειδωση, η οποία σε πολύ μεγάλες θερμοκρασίες επιταχύνεται, και να αποτρέψουμε την ύπαρξη αέρα, καθώς στις υψηλές θερμοκρασίες λειτουργίας προκαλείται διόγκωση του αέρα και αστοχία του σωλήνα/περίβλημα. Επίσης, ο μαγνησίτης έχει την διπλή ιδιότητα να είναι ταυτόχρονα αγωγός της θερμότητας αλλά μονωτής του ηλεκτρικού ρεύματος. Ενώ, βοηθά και στην ομαλότερη κατανομή της θερμοκρασίας σε όλο το μήκος της αντίστασης. Επίσης, μονώνει ηλεκτρικά το σύρμα, ώστε να είναι λειτουργικό με ασφάλεια και να μην δημιουργείται βραχυκύκλωμα με οτιδήποτε έρθει σε επαφή με την σωλήνα, και έχει σαν αποτέλεσμα την παύση της λειτουργίας της αντίστασης αλλά και πιθανότατα κάποιο ατύχημα. Η μαγνησία έχει ένα μειονέκτημα, είναι υδρόφιλη. Απορροφά πολύ εύκολα υγρασία. Κάτι που αντιμετωπίζεται ως εξής, στην γραμμή παραγωγής, που θα παρουσιάσουμε παρακάτω, η μαγνησία παραμένει σε σφραγισμένα σακίδια των δέκα κιλών έως ότου χρησιμοποιηθεί κατευθείαν στα πληρωτικά μηχανήματα.

Το πρόβλημα που προκύπτει είναι ότι στην επαφή του χαλκού με άλλο μέταλλο π.χ χάλυβας προκαλείται ηλεκτρόλυση και κατ' επέκταση διάβρωση. Η ηλεκτρολυτική αυτή ιδιότητα είναι χαρακτηριστική του χαλκού και οφείλεται στο ότι είναι ισχυρά ηλεκτραρνητικός. Η διάβρωση που προκαλείται είναι καταστρεπτική και πιθανά σημεία εμφάνισης είναι τα θερμαντικά σώματα, τμήματα σωληνώσεων από άλλο υλικό, ο λέβητας (χαλύβδινος) κ.λ.π.

Το πρόβλημα περιορίζεται με την τοποθέτηση ανοδίων μαγνησίου σε κατάλληλα σημεία. Τα ανόδια είναι βέργες και συνήθως τοποθετούνται στην επιστροφή του λέβητα. Το μαγνήσιο λόγω της θέσης του στην γαλβανική σειρά των στοιχείων φθείρεται γρηγορότερα από τον χάλυβα κι έτσι προστατεύεται η εγκατάσταση. Κάθε χρόνο πρέπει να γίνεται έλεγχος τους, ενώ η διάρκεια ζωής τους καθορίζεται κυρίως από την ποσότητα χαλκού στο δίκτυο. Για μικρές εγκαταστάσεις συνήθως κυμαίνεται γύρω στα 2-3 χρόνια.

Σωλήνας χαλκού και ανοξειδωτου χάλυβα (INOX)

Όπως αναφέραμε νωρίτερα το ελατήριο και η μαγνησία τοποθετούνται μέσα σε σωλήνα. Τα είδη σωλήνας που χρησιμοποιούνται είναι δύο, ο χάλκινος σωλήνας και ο σωλήνας από ανοξειδωτο χάλυβα. Ο σωλήνας χαλκού χρησιμοποιείται για να θερμάνουμε νερό και ο INOX για χρήση σε αέρα (φούρνος, ηλεκτρική ψησταριά, κ.α.) και για να θερμάνουμε λάδι (λάδι για τηγάνισμα, λιπαντικά σε πλοίο, κ.α.).

Ο χαλκός είναι μέταλλο ιδιαίτερος όλκιμος και καλός αγωγός της θερμότητας. Είναι επίσης μαλακός (σκληρότητα 2.5-3 στην Κλίμακα Mohs και δύστηκτος – σημείο τήξεως 1084,6° C, σημείο βρασμού 2562° C), ιδιαίτερα ελατός και όλκιμος, πολύ καλός αγωγός της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Λόγω της ιδιότητάς του όταν είναι τηγμένος να απορροφά ατμοσφαιρικό αέρα, τον οποίο αποβάλλει κατά την ψύξη του, δεν μπορούν να κατασκευασθούν χυτά αντικείμενα από χαλκό. Δεν εμφανίζει σχιστότητα, ενώ έχει ανώμαλη θραύση. Είναι τελείως αδιαφανής, ακόμη και σε λεπτά ελάσματα. Δεν εμφανίζει μαγνητικές ιδιότητες. Σε επαφή με άλλα μέταλλα εμφανίζει διαφορά δυναμικού (φαινόμενο Galvani).



Ο χαλκός είναι βιοστατικό στοιχείο, δηλαδή παρεμποδίζει την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά του. Παλαιότερα, αλλά και σήμερα, κάποιες φορές για λόγους αισθητικής, κατασκευάζονταν σφυρήλατα και άλλα μαγειρικά σκεύη από χαλκό (κοινώς μπακίρια). Η χρήση τους έχει εγκαταλειφθεί λόγω του ότι προκαλούσαν δηλητηριάσεις από το οξειδίο που δημιουργείται κατά το μαγείρεμα. Τα (σχετικά σπάνια σήμερα) χάλκινα μαγειρικά σκεύη επικασσιτερώνονται (το λεγόμενο γάνωμα) ή επικαλύπτονται με ανοξειδωτο χάλυβα για να αποφεύγονται οι δηλητηριάσεις. Ο χαλκός αν έρθει σε επαφή με όξινα υλικά με pH κάτω από 6.5, που μπορεί να χρησιμοποιούνται στο μαγείρεμα, και ιδιαίτερα σε ψηλές θερμοκρασίες, μπορεί να διαβρωθεί και να μολύνει τις μαγειρεμένες τροφές με τοξικά οξείδια. Αντίθετα, δεν υπάρχει κίνδυνος διάβρωσης όταν ο χαλκός έρχεται σε επαφή μόνο με υγρά ουδέτερου ή βασικού pH όπως το νερό του δικτύου υδροδότησης (pH 7.2 ως 7.8). Για αυτόν τον λόγο δεν υπάρχει πρόβλημα στην περίπτωση μας.

Ο ανοξειδωτος χάλυβας (INOX) είναι κράμα σιδήρου-άνθρακα-χρωμίου με ελάχιστη περιεκτικότητα σε χρώμιο 10,5% κ.β. Το χρώμιο δημιουργεί ένα μικροσκοπικό στρώμα (10–100 nm) τριοξειδίου του χρωμίου (Cr_2O_3), το οποίο προστατεύει το μεταλλικό υπόστρωμα από την οξείδωση και την διάβρωση. Εκτός από χρώμιο, οι ανοξειδωτοι χάλυβες μπορεί να περιέχουν και άλλα κραματικά στοιχεία, όπως νικέλιο, μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, κ.λπ. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παράγονται σε ηλεκτρικές καμίνους με ανάτξη παλαιοσιδήρου (σκραπ), σιδηροκραμάτων (π.χ. σιδηροχρώμιο, σιδηρονικέλιο, κ.λπ.) και άλλων μεταλλικών προσθηκών. Χρησιμοποιούνται ευρέως σε πολλές εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στην διάβρωση για λόγους οικονομικούς (π.χ. χημική βιομηχανία), για λόγους αισθητικούς (π.χ. αρχιτεκτονική) ή για λόγους υγιεινής (π.χ. μαγειρικά σκεύη).

Σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες, οι ανοξειδωτοι χάλυβες, εκτός από την πολύ υψηλότερη αντοχή στην διάβρωση, παρουσιάζουν επιπλέον και υψηλότερη μηχανική αντοχή. Ωστόσο, είναι πιο σκληροί από τους κοινούς χάλυβες και γι' αυτό πιο δυσκατέργαστοι. Οι ανοξειδωτοι χάλυβες παρουσιάζουν επίσης χαμηλή θερμική αγωγιμότητα σε σύγκριση με τους κοινούς χάλυβες. Στην περίπτωση όμως του ανοξειδωτου χαλύβδινου σωλήνα, λόγω του πολύ μικρού του πάχους (μικρότερο του 1mm) η θερμική αγωγιμότητα επιτυγχάνεται και η διάχυση θερμότητας είναι ικανή για να καλύψει τις ανάγκες μας και να μην έχουμε προβλήματα υπέρμετρης φθοράς που θα είχαμε εάν χρησιμοποιούσαμε σωλήνα χαλκού.

Αξιοποιώντας τα πλεονεκτήματα του κάθε υλικού και ανάλογα με τις μηχανικές τους ιδιότητες, για να προκύψουν τα τελικά προϊόντα από την διαδικασία παραγωγής (όπως θα δούμε παρακάτω), η εταιρία χρησιμοποιεί συγκεκριμένα είδη σωλήνων που διακρίνονται από τις διαστάσεις τους και τα κράματα ώστε να έχουν συγκεκριμένα μηχανικά χαρακτηριστικά. Ο χάλκινος σωλήνας είναι ενός των προτύπων της Ε.Ε με πιστοποιητικό **EN 1057** και η ανοξειδωτη **EN10204**.

Κράμα	Μήκος	Διάμετρος		Πάχος	Ελάχιστη επιμήκυνση	Ελάχιστο φορτίο θραύσης N/mm^2
		Εσωτερική	Εξωτερική			
Cu-DHP						
R-220	4m	9mm	10mm	0,5mm	40%	220
R-220	0,3m	8.5mm	7,5μμ	0.5mm	40%	220

Πίνακας 2 Μηχανικά χαρακτηριστικά σωλήνας χαλκού και διαστάσεις

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Κράμα	Μήκος	Διάμετρος		Πάχος	Ελάχιστη επιμήκυνση	Ελάχιστο φορτίο θραύσης N/mm ²
		Εσωτερική	Εξωτερική			
304 L	6m	9mm	10mm	0.5mm	50%	276
		8.5mm	9.5mm	0.5mm	45%	276
		6.5mm	7.5mm	0.5mm	40%	276
316 L	6m	9mm	10mm	0.5mm	50%	290
		8.5mm	9.5mm	0.5mm	45%	290
		6.5mm	7.5mm	0.5mm	40%	290

Πίνακας 3 Μηχανικά χαρακτηριστικά σωλήνα INOX και διαστάσεις

Η διαφορά στην επιλογή του υλικού για την INOX σωλήνα έχει να κάνει πρώτον με το βάρος και δεύτερον με το γεγονός ότι στους 800° C ο 316L έχει ελάχιστο φορτίο θραύσης 190N/mm², ενώ ο 304L έχει 114N/mm². Άρα, η επιλογή του υλικού έχει να κάνει με τις συνθήκες στις οποίες θα βρεθεί με την αύξηση της θερμοκρασίας και της πίεσης.

Έλασμα χάλυβα και ανοξείδωτου χάλυβα

Για την κατασκευή του βάσης στήριξης (φλάντζα) της σωληνωτής αντίστασης, χρησιμοποιείται είτε έλασμα ψυχρής έλασης DCP είτε ανοξείδωτο. Η επιλογή έχει να κάνει με το σημείο όπου πρόκειται να προσαρτηθεί η ολοκληρωμένη αντίσταση και τί μέσο θα θερμάνει η αντίσταση.

Ο χάλυβας είναι κράμα σιδήρου – άνθρακα που περιέχει λιγότερο από 2,06% κ.β. άνθρακα, λιγότερο από 1,0% μαγγάνιο και πολύ μικρά ποσοστά πυριτίου, φωσφόρου, θείου και οξυγόνου. Οι κραματωμένοι χάλυβες, όπως π.χ. οι ανοξείδωτοι χάλυβες, οι εργαλειοχάλυβες, κ.λπ., αποτελούν ειδική κατηγορία χαλύβων που περιέχουν υψηλότερα ποσοστά άλλων μετάλλων.

Είναι το πιο διαδεδομένο κατασκευαστικό υλικό μετά το σκυρόδεμα και το ξύλο. Χρησιμοποιείται παντού: από την αρχιτεκτονική και τη ναυπηγική μέχρι την κατασκευή χειρουργικών εργαλείων. Το ασάλι είναι ένα από τα σημαντικότερα βιομηχανικά υλικά και οι χαλυβουργίες ανήκουν στις «βαριές βιομηχανίες». Σε παλαιότερες εποχές, η βιομηχανική παραγωγή μιας χώρας αξιολογούνταν από την παραγωγή της σε χάλυβα. Μια από τις τρεις Ευρωπαϊκές Κοινότητες που ιδρύθηκαν το 1957 ήταν και η Ευρωπαϊκή Κοινότητα Άνθρακα και Χάλυβα.

Ο χάλυβας δεν είναι ένα μοναδικό προϊόν. Σήμερα υπάρχουν περισσότερα από 3.500 διαφορετικά είδη χαλύβων με πολύ διαφορετικές φυσικές, χημικές και περιβαλλοντικές ιδιότητες. Περίπου τα τρία τέταρτα των ειδών των χαλύβων δημιουργήθηκαν μόλις τα τελευταία είκοσι χρόνια. Οι σύγχρονοι χάλυβες είναι πολύ πιο ανθεκτικοί σε σύγκριση με παλιότερες ποιότητες χαλύβων. Αν χιζόταν σήμερα ο



Πύργος του Άιφελ στο Παρίσι, θα χρειαζόταν το ένα τρίτο της ποσότητας χάλυβα. Ένα σύγχρονο αυτοκίνητο χρειάζεται 25% λιγότερο χάλυβα από ό,τι χρειαζόταν ένα αυτοκίνητο πριν από δυο με τρεις δεκαετίες.

Οι χάλυβες διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ανάλογα με την χημική τους σύσταση, την περαιτέρω κατεργασία τους, την κρυσταλλική τους δομή ή/και την τελική τους χρήση.

Ως προς την χημική τους σύσταση, οι χάλυβες ταξινομούνται ως εξής:

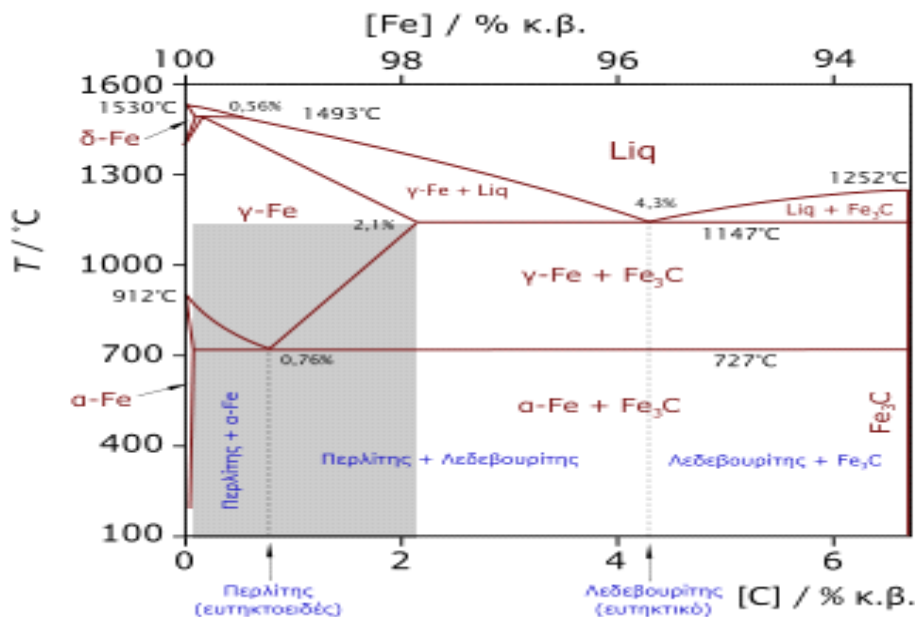
- Κοινοί ή ανθρακούχοι χάλυβες (αγγλ. carbon steels). Περιέχουν άνθρακα (έως 2,06%) και μικρό ποσοστό μαγγανίου (έως 1,65%), πυριτίου (έως 0,6%) και χαλκού (έως 0,6%). Χρησιμοποιούνται πολύ και συγκολλούνται εύκολα. Με βάση τον περιεχόμενο άνθρακα, οι κοινοί χάλυβες διακρίνονται στις εξής υποκατηγορίες:
 - χάλυβες χαμηλού άνθρακα ή μαλακοί χάλυβες (αγγλ. mild steels· $C < 0,30\%$),
 - χάλυβες μέτριου άνθρακα (αγγλ. medium carbon steels· $0,30\% < C < 0,60\%$),
 - χάλυβες υψηλού άνθρακα (αγγλ. high carbon steels· $0,60\% < C < 1,00\%$), και
 - χάλυβες πολύ υψηλού άνθρακα (αγγλ. ultra - high carbon steels· $1,00\% < C < 2,00\%$)^[3].
- Κραματωμένοι χάλυβες (αγγλ. alloy steels), δηλ. κράματα σιδήρου με άλλα μέταλλα σε σημαντική περιεκτικότητα. Τέτοιοι είναι οι
 - ελαφρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες χαμηλής κραμάτωσης, που περιέχουν συνήθως χρώμιο, μολυβδαίνιο, βανάδιο, νικέλιο κ.λπ. σε συνολικό ποσοστό που δεν ξεπερνά το 10 % κ.β., όπως π.χ. οι εργαλειοχάλυβες ($0,7\% < C < 1,4\%$, $Mn < 0,3\%$), και οι
 - ισχυρά κραματωμένοι χάλυβες ή χάλυβες υψηλής κραμάτωσης, όπως οι ανοξειδωτοι χάλυβες ($Cr > 10,5\%$), οι ταχυχάλυβες ($C \sim 0,7\%$, $Cr \sim 4,0\%$, $5,0\% < Mo < 10\%$, $1,5\% < W < 18,0\%$, $0\% < Co < 8,0\%$), κ.λπ.

Ανάλογα με την περαιτέρω κατεργασία τους, οι χάλυβες διακρίνονται σε:

- χάλυβες διαμόρφωσης, που υφίστανται περαιτέρω μηχανική κατεργασία (έλαση, διέλαση, κ.λπ.), και
- χυτοχάλυβες, που παράγονται απευθείας με χύτευση υπό μορφή πλινθωμάτων («χελωνών») και επαναχυτεύονται για την κατασκευή διαφόρων εξαρτημάτων.

Τέλος, συχνά γίνεται λόγος για φερριτικούς, περλιτικούς, μαρτενσιτικούς, μπαινιτικούς κ.λπ. χάλυβες ανάλογα με την κύρια κρυσταλλική φάση τους.

Η ονοματολογία των χαλύβων γίνεται σύμφωνα με διάφορα συστήματα τυποποίησης όπως DIN, ASTM, ΕΛΟΤ κ.λπ. Συχνά υπάρχει αντιστοιχία ανάμεσα στο όνομα μιας κατηγορίας χάλυβα και την αντοχή της συγκεκριμένης κατηγορίας χάλυβα σε εφελκυσμό. Για παράδειγμα, το πρότυπο ΕΛΟΤ 1421-3 ορίζει ότι ο χάλυβας Β500C πρέπει να έχει όριο διαρροής μεγαλύτερο από 500 MPa (500 N/mm²).



Σχήμα 2 Η περιοχή των κοινών χαλύβων στο μετασταθές διάγραμμα φάσεων Fe-C

Το πιο ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό, για τις ηλεκτρικές αντιστάσεις είναι το έλασμα χάλυβα DCP σε κυκλική και οβάλ διαμόρφωση. Το πάχος του ελάσματος είναι 3mm και προμηθεύεται σε φύλλα διαστάσεων 2 x1 m. Αντίστοιχα για τον ανοξείδωτο χάλυβα, το πάχος των φύλλων είναι 2.5 mm και 2 mm. Οι διαστάσεις των φύλλων είναι και σε αυτήν την περίπτωση 2x1 m. Οι μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα DCP και του INOX προκύπτουν από πείραμα μονοαξονικού εφελκυσμού διότι δεν μπορούμε να γνωρίζουμε την αρχική χημική σύσταση καθώς και τις κατεργασίες που έχουν προηγηθεί για να προκύψουν τα φύλλα των ελασμάτων. Θα παρουσιαστεί αναλυτικά το πείραμα και οι μηχανικές ιδιότητες των δύο υλικών σε επόμενο κεφάλαιο στην παρούσα μελέτη.

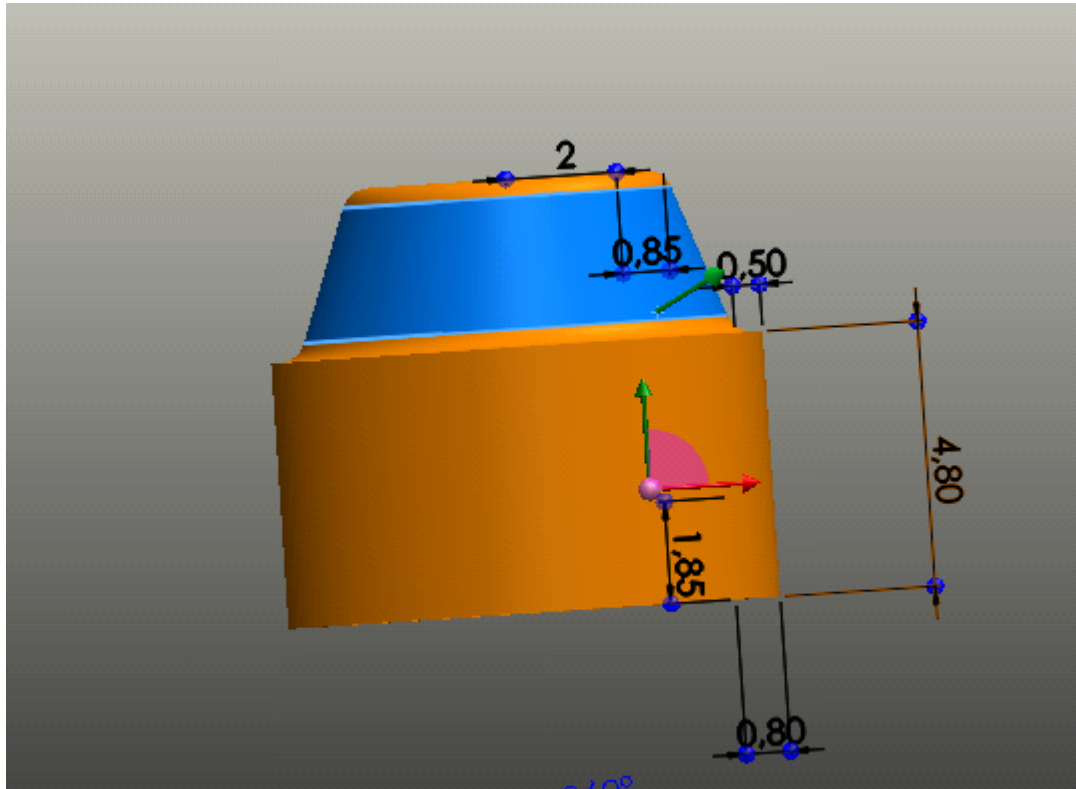
Ρητίνη και κεραμικά σφραγίσματος

Στο προτελευταίο στάδιο της κατασκευής (όπως θα δούμε και παρακάτω) οι αντιστάσεις σφραγίζονται με έγχυση ρητίνης στο χείλος του σωλήνα για να κολλήσει το κεραμικό στρογγυλό τεμάχιο και να ολοκληρωθεί το σφράγισμα. Η ρητίνη είναι χημική ανάμειξη 2 στοιχείων ρητίνης και χημικού διαλύτη. Η ρητίνη που χρησιμοποιείται λέγεται πιο συγκεκριμένα εποξική ρητίνη. Οι εποξικές ρητίνες είναι ημιδιαφανή ιξώδη υγρά που χρησιμοποιούνται είτε μόνα είτε σε συνδυασμό με ενισχυτικά υφάσματα για την παραγωγή σύνθετων ενισχυμένων δομών. Οι εποξικές ρητίνες, εφαρμόζονται είτε μέσα σε καλούπια ή εξωτερικά στις υφιστάμενες δομές για την ενίσχυσή τους. Υπάρχουν πολλοί τύποι εποξικών ρητινών, ανάλογα με τις απαιτήσεις των αντικειμένων που παράγονται και ανάλογα με τη διαδικασία παραγωγής που πρέπει να ακολουθηθεί. Λόγω των υψηλών μηχανικών αντοχών των συστημάτων εποξικής ρητίνης οι εφαρμογές είναι αμέτρητες και το τελικό αποτέλεσμα πολύ δυνατό, δεν στρεβλώνει, δεν συρρικνώνεται σε βάθος χρόνου. Λόγω της ευελιξίας στην χημική πρόσμιξη των 2 συστατικών του διαλύτη και της ρητίνης μπορούμε να παράξουμε ρητίνη που αντέχει στην θερμότητα και δεν



αλλοιώνεται απ αυτήν ώστε να έχουμε αποκόλληση του κεραμικού και να έχουμε εισροή υγρασίας στο εσωτερικό της αντίστασης.

Τα κεραμικά είναι μικροί κεραμικοί κύλινδροι στην διατομή της αντίστασης οι οποίοι προμηθεύονται από την εταιρία σε συγκεκριμένο σχήμα και μέγεθος έτοιμο προς χρήση.



Σχήμα 3 Κεραμικό σφραγίσματος σχεδιασμένος σε SolidWorks και οι διαστάσεις

Ακροδέκτης

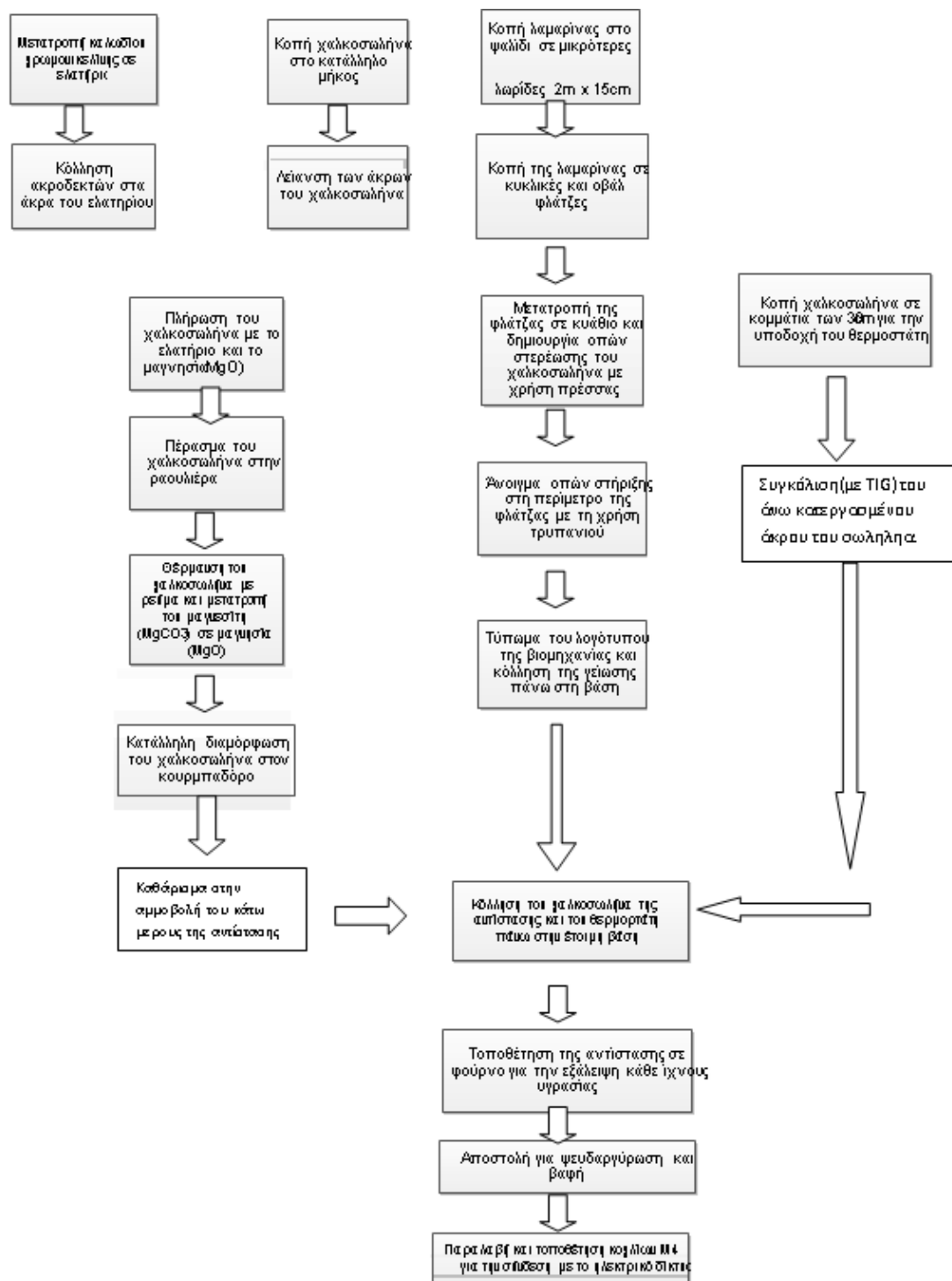
Ο ακροδέκτης είναι ένα μεταλλικό αντικείμενο από χαμηλής ειδικής ηλεκτρικής αντίστασης. Κατασκευάζεται σε εργαλειομηχανή CNC και στην μονάδα παραγωγής φθάνει έτοιμο προς χρήση. Οι διαστάσεις του είναι 74,5mm μήκος με κλιμακούμενη διάμετρο και έχει σπείρωμα M4 μήκους 33.5mm.



Εικόνα 2 ακροδέκτης όπως σχεδιάστηκε στο SolidWorks

1.2.3 Η Διαδικασία παραγωγής

Η διαδικασία παραγωγής, ουσιαστικά είναι ένας συνδυασμός τριών, βασικών, αλυσιδωτών διαδικασιών που φέρνουν τα κομμάτια σε ένα σημείο που πλέον μένει μόνον η συναρμολόγηση τους και η συγκόλληση τους. Ακολουθεί το παραγωγικό διάγραμμα με αναλυτικά τα στάδια της παραγωγής. Στην συνέχεια θα δούμε τις διαδικασίες μία προς μία, τι ακριβώς συμβαίνει.



Σχήμα 4 Το παραγωγικό διάγραμμα της επιχείρησης

Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τον μηχανολογικό εξοπλισμό της γραμμής παραγωγής και τις κατεργασίες των μετάλλων για να ολοκληρωθεί το τελικό προϊόν



Για να καταλάβει ο αναγνώστης ακριβώς τη παραγωγική διαδικασία θα πρέπει να γίνει μία αναφορά σε μερικά από τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται κατά τη διάρκεια αυτής. Συνοπτικά, μηχανήματα που χρησιμοποιεί η βιομηχανία είναι τα εξής

- 1 υδραυλικό ψαλίδι ελασμάτων
- 1 τόννος
- 5 μηχανικές πρέσες
- 3 υδραυλικοί κουρμπασδοί κάμψεως και διαμορφώσεως σωλήνων
- 1 τροχός - κόφτης
- 2 στρογγυλά τραπέζια συγκολλήσεως
- 4 τρυπάνια
- 1 μηχανήμα υπερθέρμανσης
- 4 ηλεκτροπρόντες
- 4 ραουλιέρες
- 1 διαμορφωτής κωνικότητας(Miller)
- 2 μηχανήματα ελατηριοποίησης
- 1 φούρνος

ΜΗΧΑΝΙΚΟ ΨΑΛΙΔΙ ΕΛΑΣΜΑΤΩΝ ΧΑΛΥΒΑ

**Εικόνα 3 Μηχανικό ψαλίδι**

Το ψαλίδι, όπως το αποκαλούν οι εργαζόμενοι, χρησιμοποιείται στη κοπή των φύλλων λαμαρίνας στα επιθυμητά μεγέθη κατάλληλα για περαιτέρω επεξεργασία. Μπορεί να χωρέσει φύλλα λαμαρίνας μήκους 2m και πλάτους 1m και 1,1m και μπορεί να κόψει φύλλα λαμαρίνας πάχους έως 4mm. Αυτό είναι και το πρώτο στάδιο της παραγωγής.

**Εικόνα 4 Κομμένα ελάσματα χάλυβα σε φύλλα 2m x 150mm πριν την χρήση σε πρέσα**

ΤΟΡΝΟΣ



Εικόνα 5 Ο τόρνος της επιχείρησης Γερμανικής κατασκευής 1955

Ο τόρνος χρησιμοποιείται για την επιδιόρθωση ελαττωματικών τεμαχίων, καλουπιών αλλά και για γενικές κατεργασίες απαραίτητες για τη παραγωγική διαδικασία. Επιδιόρθωση και διαμόρφωση των μήτρων των μηχανικών πρεσών.

ΠΡΕΣΕΣ

Η βιομηχανία διαθέτει 5 μηχανικές πρέσες οι οποίες λειτουργούν με ηλεκτρική ενέργεια. Οι 3 πρέσες έχουν κάθετη δύναμη 75 tn ενώ οι άλλες 2 είναι ονομαστικής δύναμης 35tn. Στις πρέσες γίνεται η κατεργασία των κομμένων φύλλων ελασμάτων χάλυβα.



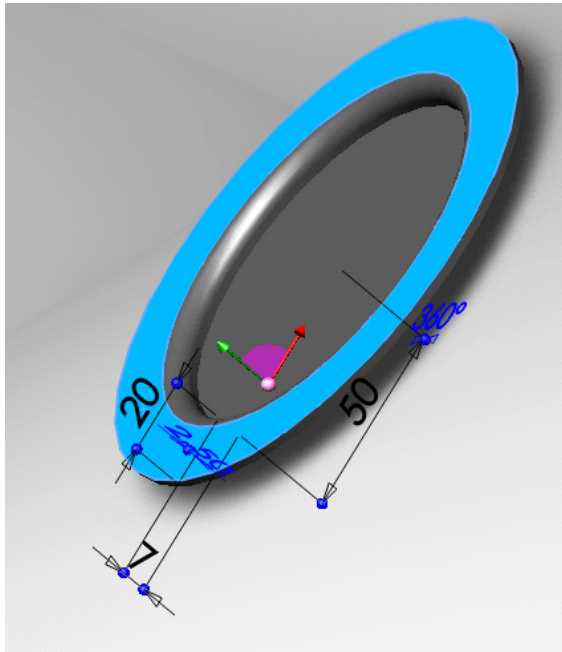
Εικόνα 6 Πρέσα ισχύος 75 τόνων



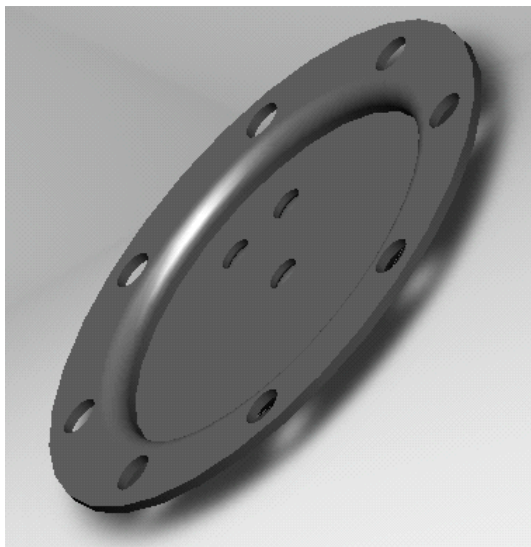
Εικόνα 7 Πρέσα ισχύος 35 τόνων

Στις πρέσες των 75 tn κόβονται τα πρώτα στρογγυλά ($d=145\text{mm}$) και οβάλ ελάσματα. Στην συνέχεια, στις ίδιες πρέσες των 75 tn διαμορφώνεται το κυάθιο στις μήτρες στρογγυλής και οβάλ διαμόρφωσης. Οι εξωτερικές σπές είναι διαμέτρου 10mm και οι εσωτερικές 8.5mm και στις δύο επιπτώσεις για τις εσωτερικές.

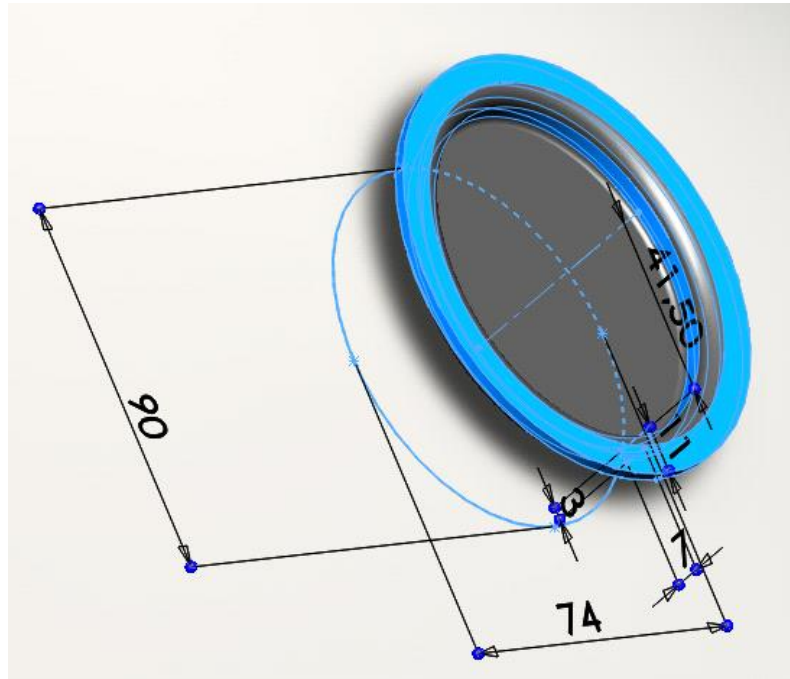
**ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ**



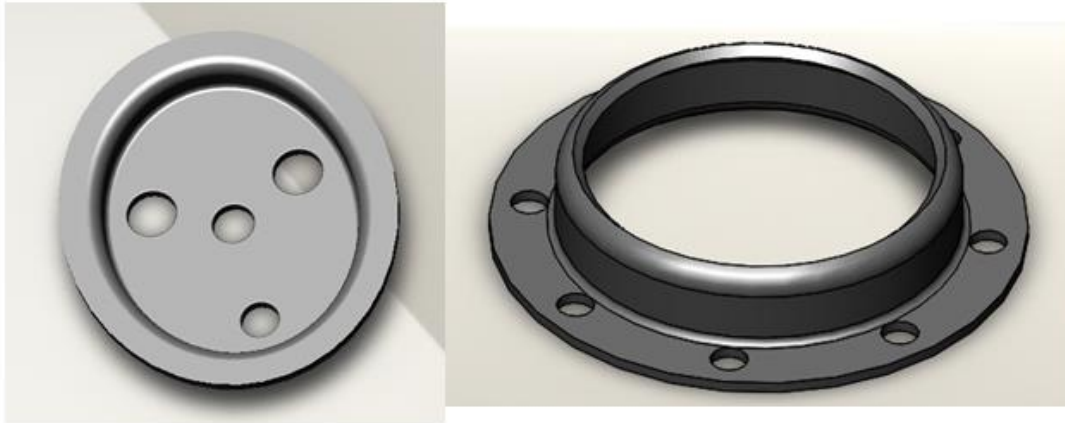
Σχήμα 5 Πρώτη στρογγυλή διαμόρφωση κυαθίου (κοίλανση) με τις διαστάσεις κατασκευής



Εικόνα 8 Τελική μορφή στρογγυλού ελάσματος σχεδιασμένη σε SolidWorks



Σχήμα 6 Διαμόρφωση οβάλ κυαθίου με τις διαστάσεις, κάτω: τελικό κυάθιο με τρύπες για την συγκόλληση του θερμοστοιχείου



Εικόνα 9 Αριστερά: Οβάλ καπάκι στήριξης Δεξιά: στρογγυλός λαιμός στήριξης

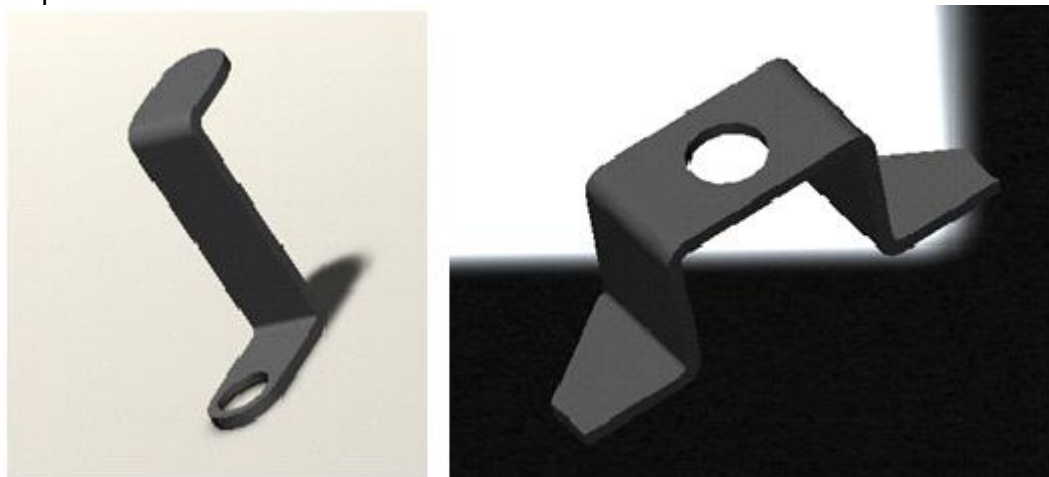
Για την τοποθέτηση του τελικού τεμαχίου στο τελικό σημείο χρήσης (πχ. θερμοσίφωνα) χρησιμοποιούμε για τη στήριξη του φλάντζα στήριξης (καπάκι). Η διαδικασία κατασκευής είναι η ίδια με τη διαφορά, ότι αφαιρούμε το εσωτερικό του κυκλικού δίσκου και οι τρύπες της οβάλ φλάντζας έχουν μεγαλύτερες οπές για είναι εφικτή η σύνδεση με τον θερμοστάτη και το ηλεκτρικό δίκτυο. Στη συνέχεια, οι μεταλλικές φλάντζες οδηγούνται στο μηχάνημα απολάδωσης, ώστε να αφαιρεθεί από τις μεταλλικές επιφάνειες κάθε ίχνος λιπαντικού που χρησιμοποιείται στις μηχανικές πρέσες και να ελαττώσουμε τις τριβές και τη φθορά των κοπτικών εργαλείων και των μητρών των μηχανικών πρέσων. Αφαιρούμε τις λιπαντικές ουσίες, ώστε να οδηγήσουμε τις φλάντζες στο επόμενο στάδιο που είναι αυτό της συγκόλλησης σε ηλεκτροπρόντα των βάσεων για το ανόδιο και για τη γείωση.

ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΗΛΕΚΤΡΟΠΟΝΤΑΣ



Εικόνα 10 Ηλεκτροπόντα χειρός

Τρία μηχανήματα κόλλησης ηλεκτροπόντας για το δέσιμο της αντίστασης με όλα τα περιφερειακά εξαρτήματα της (παξιμάδι στήριξης, ακροδέκτες κ.α.). Η ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση (ηλεκτροπόντα) είναι αυτογενής συγκόλληση, η οποία δε χρησιμοποιεί συγκολλητικό υλικό. Τα τεμάχια που πρόκειται να συγκολληθούν θερμαίνονται συμπιεζόμενα μεταξύ δύο ηλεκτροδίων και συγκολλώνται.



Εικόνα 11 Βάσεις στήριξης ανοδίου

Πλέον, οι φλάντζες είναι έτοιμες για την συγκόλληση τους με την σωληνωτή αντίσταση. Το επόμενο στάδιο της παραγωγής είναι η δημιουργία του ελατηρίου χρωμονικελίνης, η προετοιμασία του χάλκινου (ή και INOX) σωλήνα για την πλήρωση του με μαγνησία και την αντίσταση, δηλαδή το ελατήριο.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΕΛΑΤΗΡΙΟΠΟΙΗΣΗΣ

Στο μηχάνημα ελατηριοποίησης το σύρμα μετατρέπεται σε ελατήρια διαμέτρου 2mm. Υπάρχει η δυνατότητα κατασκευής ελατηρίου με μονό σύρμα, ενώ μπορούμε να κατασκευάσουμε και ελατήριο με 2 σύρματα .



Εικόνα 12 Αριστερά: Μηχανή ελατηριοποίησης Δεξιά: κεφαλή της μηχανής με τα ράουλα και το ελατήριο

Στην αριστερή εικόνα μπορούμε να δούμε τη μηχανή μετατροπής του σύρματος σε ελατήριο, ενώ στη δεξιά μπορούμε να διακρίνουμε τα ράουλα, αλλά και τον κεντρικό άξονα γύρω από τον οποίο τυλίγεται το σύρμα. Παρακάτω παρατηρούμε τη τελική μορφή που έχει το ελατήριο (το “τέντωμα” έχει γίνει για να φανεί η μορφή του ελατηρίου). Θα εξηγήσουμε παρακάτω γιατί γίνεται αυτή η κατεργασία.



Εικόνα 13 Τελική μορφή ελατηρίου

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Αφού το ελατήριο της αντίστασης είναι έτοιμο, σε μηχάνημα κόλλησης ηλεκτροπόντας προσκολλούνται ακροδέκτες στις δύο άκρες του ελατηρίου. Μέσω αυτών των ακροδεκτών κυκλοφορεί το ηλεκτρικό ρεύμα μέσα στην αντίσταση.



Εικόνα 14 Το ελατήριο μετά την συγκόλληση του με τους ακροδέκτες



Εικόνα 15 Ηλεκτροπόντα συγκόλλησης ελατηρίου - ακροδέκτη



Ο ΤΡΟΧΟΣ-ΚΟΦΤΗΣ

Οι σωλήνες φτάνουν στην μονάδα παραγωγής σε μήκος 4m ο χάλκινος σωλήνας και 6m ο ανοξειδωτός. Για την κατασκευή μιας αντίστασης, το μήκος του σωλήνα που χρησιμοποιούμε, συνήθως, είναι λιγότερο από 1m. Γι αυτόν τον λόγο οι σωλήνες κόβονται στον τροχό σε μικρότερο μήκος απ' αυτό που έρχονται στη μονάδα. Ο τροχός-κόφτης κόβει μέχρι 5 σωλήνες με ένα κατέβασμα του τροχού. Ο τροχός γυρίζει στις 150 στροφές ανά λεπτό και η διαδικασία γίνεται χειροκίνητα και με μεγάλη προσοχή, διότι ο χαλκός είναι αρκετά μαλακός και είναι πολύ εύκολο να δημιουργήσουμε ανωμαλίες στην επιφάνεια του σωλήνα, κάτι που φυσικά δεν επιθυμούμε διότι, όπως θα δούμε στην συνέχεια, ο σωλήνας πληρώνεται με μαγνησία και χρωμονικελίνη και ενδεχόμενη ανωμαλία προς το εσωτερικό του σωλήνα μπορεί να δημιουργήσει βραχυκύκλωμα του χαλκού με την χρωμονικελίνη και να έχουμε αστοχία της αντίστασης. Επίσης, ένα άλλο πιθανό πρόβλημα από ανωμαλία της επιφάνειας του σωλήνα είναι η ανισοκατανομή της μαγνησίας στο εσωτερικό του σωλήνα κι έτσι υπάρχει το ενδεχόμενο της ανισοκατανομής της θερμότητας στο εξωτερικό της αντίστασης. Επειδή τα άκρα του χαλκοσωλήνα όταν βγαίνει από τον κόφτη είναι "άγρια", τα λειαίνουμε σε μηχάνημα αλεζουάρ. Παρατηρούμε στη επόμενη εικόνα, τη μύτη του τρυπανιού η οποία λειαίνει τις δύο άκρες εσωτερικά του σωλήνα.



Εικόνα 16 Ο τροχός -κόφτης



Εικόνα 17 Η μύτη του αλεζουάρ

Το αλεζουάρ είναι διάταξη ενός ηλεκτρικού κινητήρα ο οποίος περιστρέφει μια χαλύβδινη κεφαλή που στο εσωτερικό της έχει την αιχμηρή κεφαλή της εικόνας και περιστρέφεται στις 100 στροφές ανά λεπτό με αποτέλεσμα την λείανση της επιφάνειας του σωλήνα στο σημείο της κοπής.



Εικόνα 18 Άνω μέρος πληρωτικής μηχανής

Πλέον έχουμε έτοιμο τον σωλήνα και το ελατήριο και το επόμενο στάδιο είναι η πλήρωση του σωλήνα με την μαγνησία και την χρωμονικελίνη. Αυτό γίνεται σε ειδικές μηχανές τα πληρωτικά μηχανήματα. Η διάταξη που φαίνεται στην αριστερή εικόνα,

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



είναι το άνω μέρος της πρώτης πληρωτικής μηχανής. Διακρίνονται στα σύρματα-οδηγοί με τους σωλήνες και το σιλό από το οποίο διαρρέει το πληρωτικό υλικό. Επίσης, ψηλά στην εικόνα βλέπουμε τους ηλεκτροκινητήρες, οι οποίοι ανεβάζουν τα σιλό με μία χαμηλή ταχύτητα, ώστε να είναι το απόλυτα ισοκατανομημένη και συμπαγής η πλήρωση του υλικού στο εσωτερικό του σωλήνα. Εδώ βλέπουμε το κάτω μέρος της μηχανής. Διακρίνονται οι βάσεις στήριξης των σωλήνων. Η ίδια η βάση δονείται ούτως ώστε το υλικό να διαρρέει ομαλά στο εσωτερικό του σωλήνα. Στο στάδιο αυτό, οφείλουμε να σημειώσουμε ότι το ελατήριο επιμηκύνεται κατά 3 φορές σε σχέση με το μήκος που έχει μετά τη δημιουργία του. Αυτό συμβαίνει για να έχουμε μια ισοκατανομή περιστροφικά του σύρματος μέσα στον σωλήνα και να μπορούμε να έχουμε περισσότερο υλικό σε μικρότερο μήκος σωλήνα για να επιτύχουμε μεγαλύτερη θερμική ισχύ στο μικρότερο δυνατό μήκος σωλήνα, όπως επιθυμεί ο πελάτης.



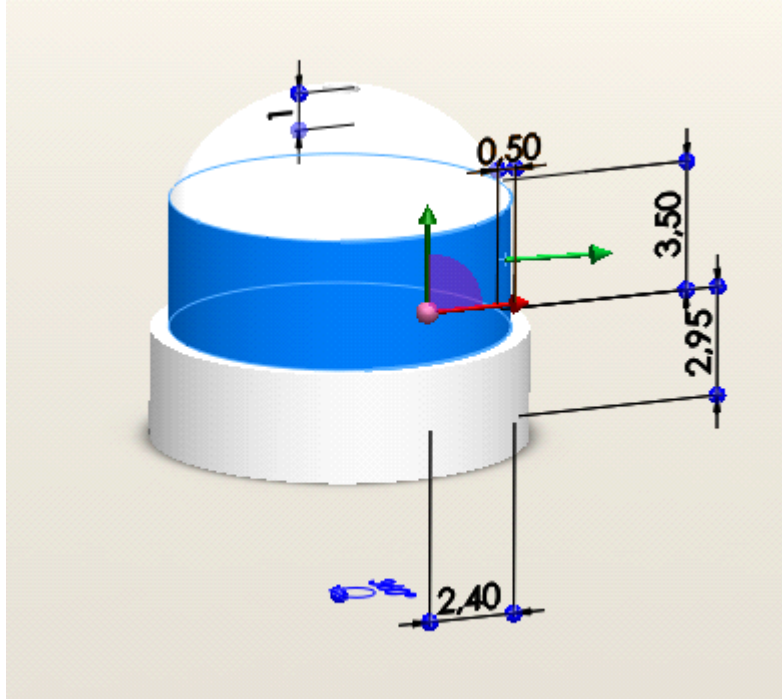
Εικόνα 19 Κάτω μέρος μηχανής πλήρωσης

Για να στερεωθεί το ελατήριο με τον ακροδέκτη στον σωλήνα χρησιμοποιούμε ένα πλαστικό σφράγισμα στο κάτω μέρος του σωλήνα. Το πλαστικό σφράγισμα, σταθεροποιεί τον ακροδέκτη με το ελατήριο και αυτά μαζί, μετά στον σωλήνα. Μετά την πλήρωση του σωλήνα με την μαγνησία, και το ελατήριο με τους ακροδέκτες, σφραγίζουμε και την άνω πλευρά της διατομής του σωλήνα με ένα ίδιο πλαστικό σφράγισμα. Σκοπός είναι, να μην διαρρεύσει η μαγνησία στο επόμενο στάδιο, που είναι η συμπίεση της σωληνωτής, πλέον, αντίστασης στην ραουλιέρα, με αποτέλεσμα την μείωση της διατομής της σωληνωτής αντίστασης και την επιμήκυνση της κατά 30% για τις αντιστάσεις με σωλήνα χαλκού και κατά 25% για τις αντιστάσεις με σωλήνα INOX. Κατά την συμπίεση, εκτός από την επιμήκυνση, επιτυγχάνουμε και την μείωση της διατομής κατά 15% και στις δύο περιπτώσεις σωλήνα. Με την συμπίεση του σωλήνα καταφέρνουμε να μειώσουμε την απόσταση που απέχει το σύρμα από τα εσωτερικά τοιχώματα του σωλήνα καθώς και το πάχος του σωλήνα. Τέλος, αποτέλεσμα είναι η συμπίεση και σταθεροποίηση της μαγνησίας μέσα στην σωλήνα. Για να γίνει αυτό, περνάμε την χάλκινη σωλήνα, μία φορά, στην ραουλιέρα με τα 8 ζεύγη ράουλα για να γίνει η βασική κατεργασία, και μετά, άλλες δύο φορές

**ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ**



από την διατομή των 8.5mm από την ραουλιέρα των 2 ράουλων για να αφαιρέσουμε τυχόν αυλακώσεις και γρέζια από την κατεργασία. Ο INOX σωλήνας περνάει 2 φορές από κάθε οπή της ραουλιέρας με τα 2 ράουλα μέχρι την επιθυμητή διατομή. Να σημειώσουμε εδώ, ότι η αντίσταση με σωλήνα INOX εισέρχεται κάθε φορά από κάθε οπή από διαφορετική πλευρά από αυτήν που βγήκε από την προηγούμενη οπή/ αυλάκωση.



Σχήμα 7 Πλαστικό σφραγίσματος και οι διαστάσεις του

ΡΑΟΥΛΙΕΡΕΣ ΜΕΙΩΣΗΣ ΔΙΑΤΟΜΗΣ

Ραουλιέρα με 2 ράουλα. Χρησιμοποιείται για το τελικό πέρασμα του χάλκινου σωλήνα και για όλα τα περάσματα του INOX σωλήνα.



Εικόνα 20 Ραουλιέρα 2 ράουλων



Εικόνα 21 Ραουλιέρα 16 ράουλων

Ραουλιέρα με 16 ράουλα. Ο χαλκοσωλήνας χρειάζεται ένα μόνο πέρασμα για να επιτύχουμε την επιθυμητή μείωση της διατομής και την επιμήκυνση.



Το επόμενο στάδιο είναι η υπερθέρμανση των αντιστάσεων στους 850-950° C. Όπως αναφέραμε και νωρίτερα, ο μαγνησίτης μετατρέπεται σε μαγνησία. Με την διαδικασία της υπερθέρμανσης καταφέρνουμε να μετατρέψουμε τον μαγνησίτη σε μαγνησία καθώς ο μαγνησίτης κατά την υπερθέρμανση του άνω των 800° C το μεγαλύτερο τμήμα του CO₂ απομακρύνεται, ενώ παραμένει 2-7%CO₂ κι έτσι από μαγνησίτης MgCO₃ προκύπτει η μαγνησία MgO, της οποίας και αξιοποιούμε τα πλεονεκτήματα που αναφέραμε παραπάνω. Με την υπερθέρμανση των αντιστάσεων λιώνουν τα πλαστικά σφραγίσματα, τα οποία πλέον δεν χρειάζονται και η αφαίρεση τους με διαφορετικό τρόπο είναι χρονοβόρα και αναποτελεσματική για την επαναχρησιμοποίηση τους. Επίσης, με την υπερθέρμανση των σωλήνων γίνεται πλέον εύκολη και η κάμψη τους που είναι και το προτελευταίο στάδιο πριν την συγκόλληση τους στην φλάντζα/ βάση.

ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ



Εικόνα 22 Ο ηλεκτρολογικός πίνακας και ο πυρίμαχος πάγκος υπερθέρμανσης

Στο μηχάνημα υπερθέρμανσης η αντίσταση συνδέεται στα δύο άκρα της με καλώδια ηλεκτρικού ρεύματος και καθώς το ρεύμα διαπερνάει την αντίσταση η θερμοκρασία της αυξάνεται στους 800 – 900° C με αποτέλεσμα την αποβολή του CO₂ από τον μαγνησίτη και τη μετατροπή του σε μαγνησία και την τήξη των πλαστικών για την αφαίρεσή τους.



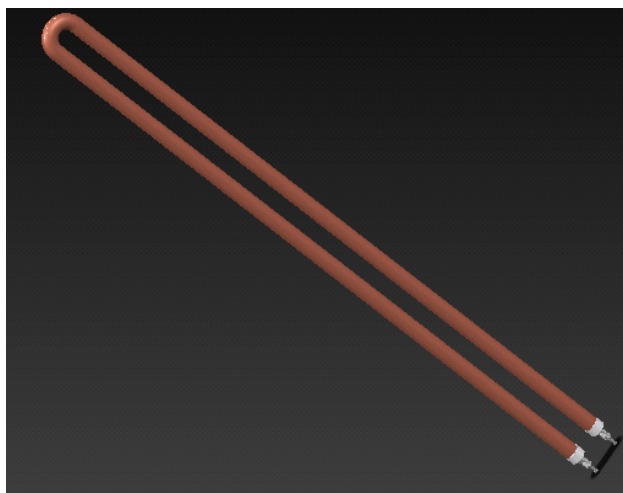
ΚΟΥΡΜΠΑΔΟΡΟΙ

Στους κουρμπαδόρους δημιουργούμε το επιθυμητό σχήμα στην αντίσταση μας. Το σχήμα έχει να κάνει με την επιθυμία του πελάτη και την χρήση της αντίστασης. Το σημείο που τοποθετείται καθώς και το μέσο που θερμαίνει.



Εικόνα 23 κουρμπαδόρος και διαμορφωμένες αντιστάσεις

Μετά την υπερθέρμανση έχουμε και μικρή αλλαγή στην δομή του χαλκού. Έτσι έχουμε και το μαύρισμα της εξωτερικής επιφάνειας του χαλκού, αλλά και την παρουσία υπολειμμάτων άνθρακα. Για να μπορέσουμε να πάμε στο στάδιο της συγκόλλησης πρέπει πρώτα να καθαριστεί η επιφάνεια του χαλκού. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση αμμοβολής. Οι αντιστάσεις εισέρχονται στον θάλαμο αμμοβολής, η πόρτα σφραγίζει και μετά ο εργάτης καθαρίζει με δέσμη συμπιεσμένου αέρα και λεπτόκοκκης άμμου μέρος της αντίστασης που πρόκειται να συγκολληθεί.



Εικόνα 24 Αντίσταση χαλκού σχεδιασμένη σε SolidWorks

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Εικόνα 25 Θάλαμος αμμοβολής. Διακρίνεται ο σωλήνας και η λάβει της δέσμης συμπιεσμένου αέρα και λεπτόκοκκης άμμου.

Για την σωστή λειτουργία της αντίστασης πρέπει να κατασκευαστεί και η υποδοχή για τον θερμοστάτη. Για την κατασκευή του χρησιμοποιούμε κομμάτια χαλκοσωλήνα 30cm, τα οποία αγοράζουμε έτοιμα καθώς είναι πιο οικονομικό από την παραγωγή τους, και κατεργαζόμαστε τη μία άκρη, ώστε να της δώσουμε ένα κωνικό σχήμα σε ραουλιέρα τύπου Müller. Έπειτα συγκολλούμε την κωνικά διαμορφωμένη άκρη του σωλήνα με συγκόλληση TIG. Ο χαλκός έχει τη κατάλληλη κωνικότητα λιώνει, συγκολλάται και ουσιαστικά κλείνει τη μία άκρη αεροστεγώς. Μέσα σε αυτό το σωλήνα μπαίνει ο θερμοστάτης.

ΚΩΝΙΚΟΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΤΗΣ (ΡΑΟΥΛΙΕΡΑ MUELLER)



Εικόνα 26 Ραουλιέρα Müller

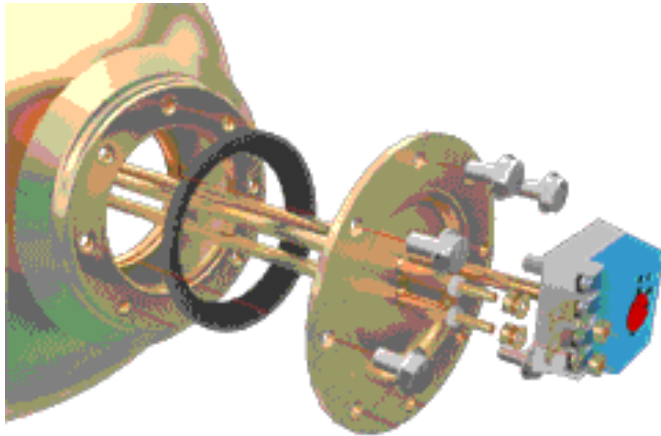
Ο κωνικός διαμορφωτής χρησιμοποιείται για να δώσει μία κωνικότητα στην μία πλευρά του υποδοχέα του θερμοστάτη, έτσι ώστε, όταν θερμανθεί αργότερα να μπορέσει καθώς λιώνει να ταπώσει το άκρο αυτό. Εάν δεν υπήρχε αυτή η κωνικότητα, δεν θα ήταν δυνατό το αεροστεγές τάπωμα, αφού ο χαλκός θα έλιωνε, αλλά δεν θα μπορούσε να γίνει συμπαγής σε εκείνο το σημείο, καθώς η διατομή θα ήταν μεγάλη.



Εικόνα 27 Σφραγισμένοι σωλήνας στο άνω άκρο έτοιμος για συγκόλληση

Παρατηρούμε ότι στο σημείο που λιώνει ο χαλκός γίνεται συμπαγής και αλλάζει χρώμα σε γκρι μεταλλικό.

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Εικόνα 28 διάταξη αντίστασης και θερμοστάτη για χρήση σε μπόιλερ



Εικόνα 29 Θερμοστάτης

Αφού διαμορφώσουμε και τις γωνίες της αντίστασης και την υποδοχή του θερμοστάτη τώρα είναι έτοιμα να κολληθούν με το κυάθιο (τη βάση ουσιαστικά της αντίστασης) στο συγκολλητή. Αυτό το στάδιο είναι πολύ σημαντικό, καθώς με υπερθέρμανση του σημείου συγκόλλησης η αντίσταση καίγεται, αφού τρυπάει ο χαλκός και έχουμε διαρροές, ενώ με τη χρήση λιγότερης θερμοκρασίας η αντίσταση

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



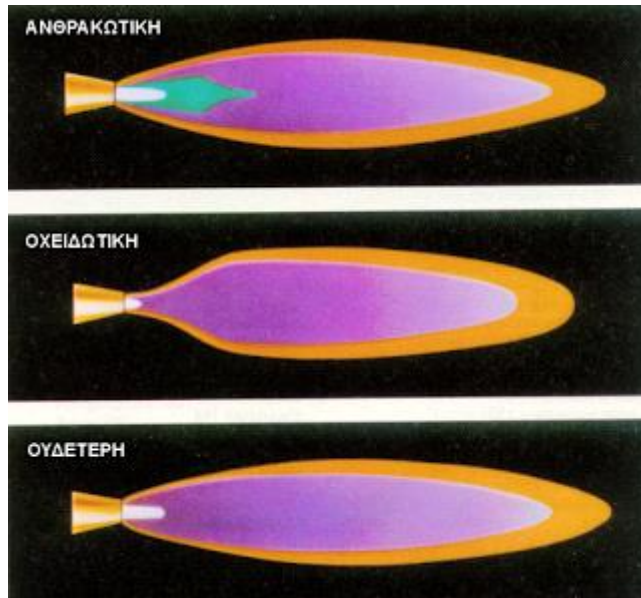
δεν κολλiέται καλά πάνω στη βάση. Όλη η διαδικασία γίνεται σε ένα κυκλικό περιστρεφόμενο πάγκο με βάσεις στήριξης των φλαντζών, στον οποίο ο εργαζόμενος στη μία θέση συναρμολογεί την αντίσταση, ενώ στην προηγούμενη θέση η αντίσταση προθερμαίνεται. Η συγκόλληση γίνεται με οξυγόνο ασετιλίνη και ασημοκόλληση. Για την προθέρμανση των συγκολλούμενων σημείων χρησιμοποιούμε προπάνιο.

Εδώ είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι οι οπές από τις οποίες περνάει μέσα η αντίσταση και ο σωλήνας του θερμοστάτη γίνονται με πρέσα και όχι με τρυπάνια, αφού η πρέσα δίνει μία κλίση στα χείλη της οπής προς τα κάτω, ώστε να μπαίνει οριακά ο χαλκοσωλήνας, κάνοντας την κόλληση πολύ πιο εύκολη και ποιοτική, αφού δεν υπάρχει κάποιο διάκενο ανάμεσα. Με τη χρήση των τρυπανιών για αυτή τη κατεργασία δεν θα είχαμε την καθοδική κλίση που δίνει η πρέσα και θα είχαμε πιο άγρια χείλη με άμεση συνέπεια δυσκολίες στη συγκόλληση.



Εικόνα 30 Οβάλ αντίσταση στην βάση συγκόλλησης

Η συγκόλληση γίνεται με οξυγόνο και ασετιλίνη, διότι θέλουμε χαμηλή θερμοκρασία συγκόλλησης. Ο χαλκός είναι ένα ιδιαίτερος μαλακό μέταλλο και η χρήση συγκόλλησης TIG σε αυτό το σημείο θα ήταν καταστροφική για το προϊόν, διότι θα δημιουργούσε αστοχίες στον χαλκό στο σημείο συγκόλλησης. Για να έχουμε, όμως, επιτυχημένη συγκόλληση με την διαδικασία οξυγόνου ασετιλίνης και ασημοκόλλησης, θα πρέπει και η φλόγα μας να έχει τη σωστή χημική αναλογία και το ανάλογο χρώμα. Η φλόγα θα πρέπει να είναι ουδέτερη. Στις άλλες περιπτώσεις έχουμε κοπή του μετάλλου λόγω υπερθέρμανσης ή λόγω οξειδωσης.



Εικόνα 31 Φλόγες συγκόλλησης και κοπής

Μετά τη συγκόλληση της αντίστασης στην φλάντζα στήριξης μένει πλέον να μονωθεί η αντίσταση. Για να γίνει αυτό, πρώτα τοποθετούνται οι συγκολλημένες αντιστάσεις σε φούρνο, ώστε να εξαλειφθεί η πιθανότητα να έχει η αντίσταση υγρασία. Ο φούρνος λειτουργεί στους 500°C και εκεί μένουν οι αντιστάσεις για περίπου 20 λεπτά. Στην περίπτωση των INOX παραμένουν για περίπου 3 ώρες, καθώς η διατομή είναι συνήθως μικρότερη και η πιθανή υγρασία είναι δυσκολότερο να απομακρυνθεί. Επομένως, ο παραπάνω χρόνος παραμονής στον φούρνο ξήρανσης είναι απαραίτητος. Έπειτα, οι αντιστάσεις μονώνονται με εποξική ρητίνη υψηλής αντοχής σε υψηλές θερμοκρασίες και κεραμικούς δακτύλιους.

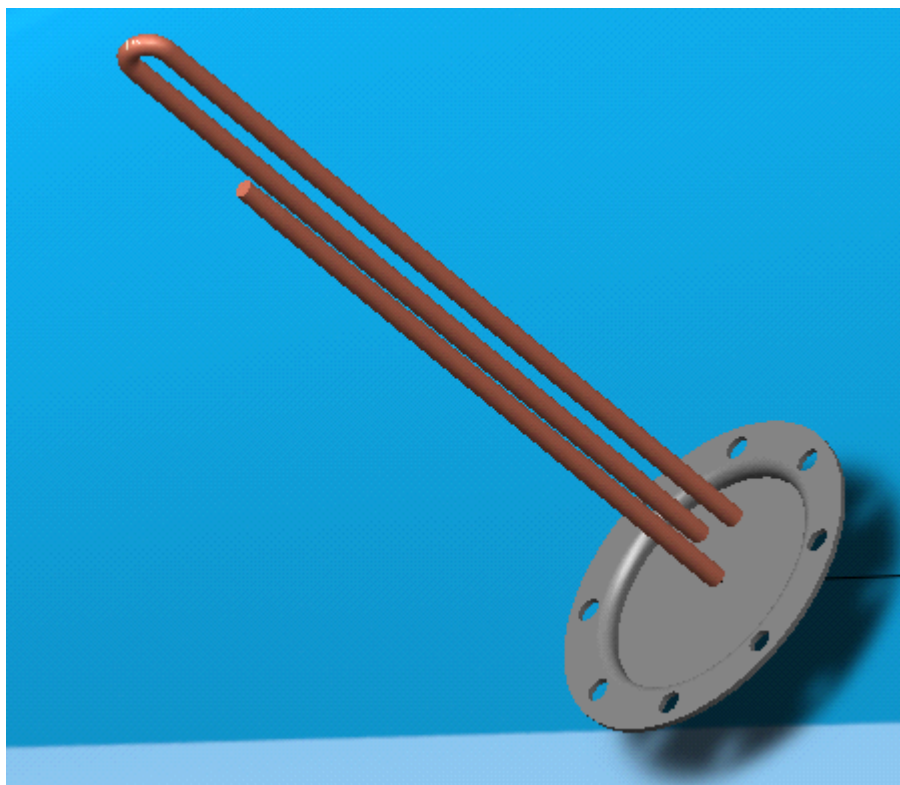


Εικόνα 32 Φούρνος ξήρανσης

Στη συνέχεια, οι έτοιμες αντιστάσεις παραδίδονται σε εξωτερικό συνεργάτη, όπου επιψευδαργυρώνονται και βάφονται. Η διαδικασία αυτή είναι απαραίτητη καθώς διασφαλίζει την κανονική λειτουργία της αντίστασης σε περιβάλλοντα με υψηλή υγρασία αλλά δεν μπορεί να γίνει μέσα στη βιομηχανία καθώς για τη επιψευδαργύρωση απαιτείται ειδική πιστοποίηση. Η επιψευδαργύρωση με βύθιση εν θερμό είναι μια σχετικά απλή διαδικασία, κατά την οποία οι αντιστάσεις βυθίζονται σε λουτρό τηγμένου ψευδαργύρου θερμοκρασίας 420 - 450°C. Η βύθιση αυτή έχει ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός στρώματος ψευδαργύρου, το οποίο προκαλεί το σχηματισμό ενός μεγαλύτερου ή μικρότερου ποσού κράματος ψευδαργύρου-σιδήρου πάχους 0.1mm. Η στρώση ψευδαργύρου που πρόσκειται στην επιφάνεια της αντίστασης έχει τη μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε σίδηρο, συνήθως 30 %περίπου. Η μεσαία στρώση περιέχει 6-12 % σίδηρο και η πάνω στρώση είναι καθαρός ψευδάργυρος. Η εξωτερική στρώση έχει συνήθως μια σπιλπνή, λαμπερή διακοσμική εμφάνιση. Η διαφορά είναι εμφανής στις παρακάτω εικόνες.



Εικόνα 33 Σφραγισμένες αντιστάσεις πριν την επιψευδαργύρωση



Σχήμα 8 Τελική μορφή της αντίστασης πριν την επιψευδαργύρωση σχεδιασμένη στο SolidWorks

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

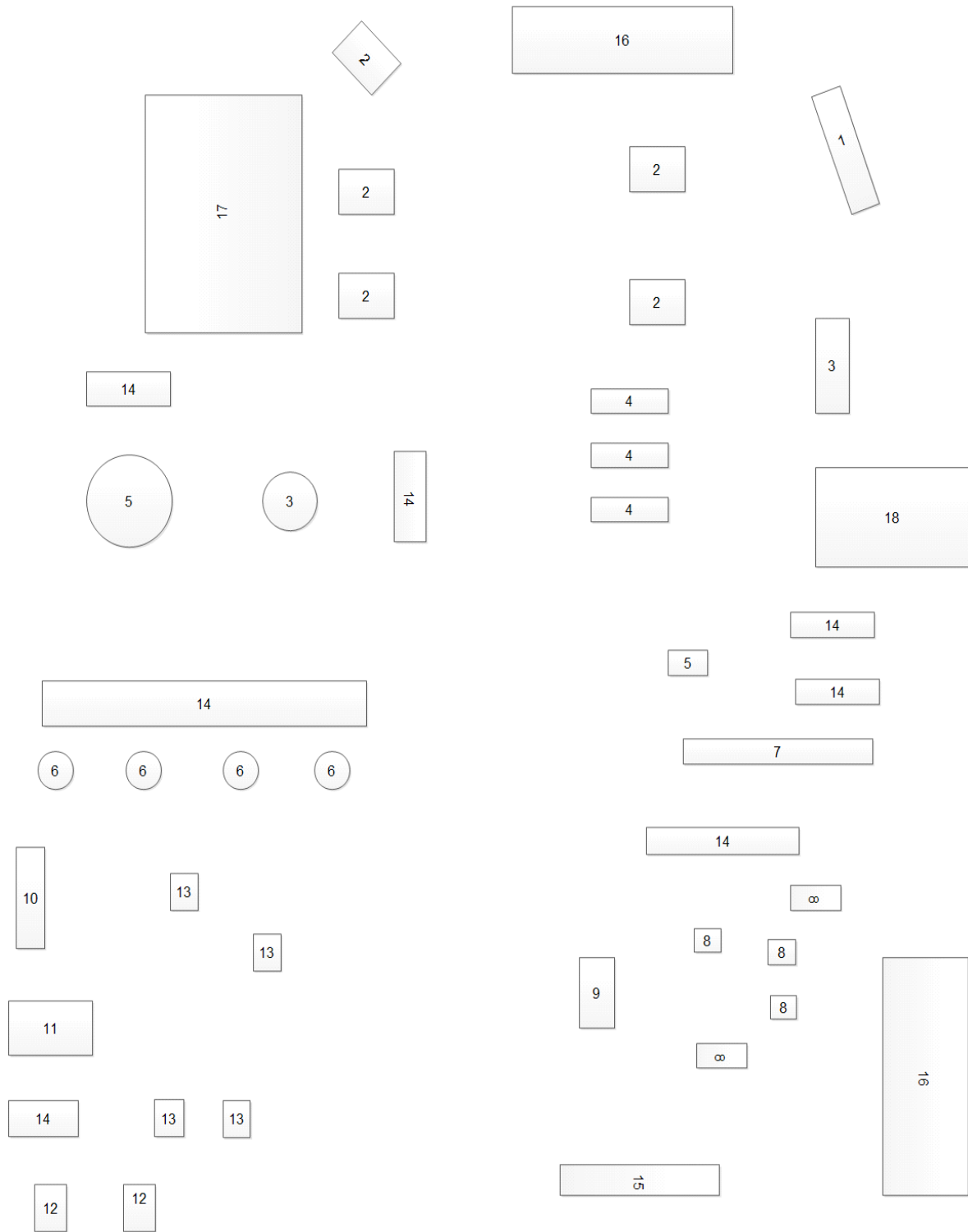


Στην γραμμή παραγωγής δεν χρησιμοποιούνται σαν βάσεις στήριξης μόνο φλάντζες από χάλυβα DCP και INOX. Χρησιμοποιούνται και μεταλλικές τάπες κυρίως ορειχάλκινες και για την διαμόρφωση τους χρειάζονται τρυπάνια. Έτσι, στον μηχανολογικό εξοπλισμό της γραμμής παραγωγής εντάσσονται και 4 τρυπάνια διαφορετικής ισχύος που χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές διαμέτρους ταπών και για διαμόρφωση χαλύβδινων φλαντζών έπειτα από ειδική παραγγελία.

ΔΡΑΠΑΝΑ



Τέσσερα δράπανα διαφορετικής ισχύος το καθένα για τη δημιουργία οπών στερέωσης της αντίστασης πάνω στις κατασκευές που χρησιμοποιείται, αλλά και για τη διαμόρφωση των μεταλλικών ταπών που έχουμε αναφέρει.



Σχήμα 9 Κάτοψη της βιομηχανίας με τις θέσεις των μηχανών.



Υπόμνημα της κάτοψης:

- 1 Ψαλίδι λαμαρίνας
- 2 Πρέσες
- 3 Τόρνος
- 4 Κουρμπαδόροι
- 5 Φούρνος
- 6 Τρυπάνια
- 7 Πληρωτικά μηχανήματα
- 8 Ραουλιέρες
- 9 Κωνικός διαμορφωτής
- 10 Γραφείο
- 11 Εξωτερική αποθήκη
- 12 Εσωτερικές αποθήκες
- 13 Τροχός – τρυπάνι
- 14 Βοηθητικοί πάγκοι αποθήκευσης
- 15 Μηχανήματα πόντας
- 16 Μηχανήματα ελατηριοποίησης
- 17 Κομπρεσέρ
- 18 Μηχάνημα υπερθέρμανσης

1.2.4 Τα προϊόντα παραγωγής

Αντιστάσεις θερμοσίφωνα

Οι αντιστάσεις για χρήση σε θερμοσίφωνα είναι 2 ειδών καθώς κατασκευάζεται είτε με στρογγυλή φλάντζα είτε με οβάλ, με τα εξής χαρακτηριστικά.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΣΩΛΗΝΑΣ: ΧΑΛΚΟΥ

ΦΛΑΝΤΖΑ: ΛΑΜΑΡΙΝΑ DCP 3mm, 5Τ/8Τ ΛΑΜΑΡΙΝΑ DCP, ΟΒΑΛ Ν.Τ.,
 Φ100/Φ120/Φ140 ή ΟΒΑΛ ELCO, ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΗ, 1", 1"^{1/2},
 1"^{1/4}

INOX 316 L 2mm

ΡΑΚΟΡ (ΚΑΛΠΑΚ)

ΙΣΧΥΣ: 1500-4000 W

ΤΑΣΗ: 230 V



Αντίσταση με ρακόρ



Αντίσταση με οβάλ φλάντζα



Αντίσταση με κυκλική φλάντζα

Αντιστάσεις για μπόιλερ

Οι αντιστάσεις για μπόιλερ είναι παρόμοιες με τις αντιστάσεις των θερμοσίφωνων μόνο που στη κατασκευή τους χρησιμοποιείται χαλκοσωλήνας μεγαλύτερης διατομής.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΣΩΛΗΝΑΣ: ΧΑΛΚΟΥ, ΧΑΛΚΟΣ Φ.15mm

ΛΑΜΑΡΙΝΑ DCP 3mm,

INOX 316 L 2mm

ΙΣΧΥΣ: 1500-4000 W

ΤΑΣΗ: 230V



Αντίσταση μπόιλερ με ελαστική τσιμούχα



Κλασική αντίσταση μπόιλερ



Αντιστάσεις κεντρικής θέρμανσης

Οι αντιστάσεις κεντρικής θέρμανσης χρησιμοποιούνται κυρίως σε μεγάλα μπόνιερ για τη θέρμανση εσωτερικού χώρου. Χρήση τους μπορεί να γίνει και σε βιομηχανικούς τομείς όπου και απαιτείται θέρμανση λαδιού.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ: ΝΕΡΟ – ΛΑΔΙ

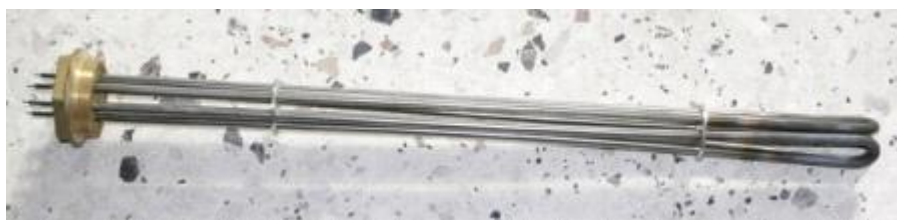
ΣΩΛΗΝΑΣ: ΧΑΛΚΟΥ, ΙΝΟΧ

ΦΛΑΝΤΖΑ: ΟΡΕΙΧΑΛΚΙΝΗ:

$1^{1/2}$, 2 , $2^{1/4}$, $2^{1/2}$

ΙΣΧΥΣ: 1.500 – 12.000 W

ΤΑΣΗ : 230 – 380 – 440 V



Αντίσταση κεντρικής θέρμανσης με ρακόρ

Αντιστάσεις γκριλ κουζίνας

Οι αντιστάσεις γκριλ κουζίνας είναι 2 ειδών και είτε είναι φορητές είτε κατασκευάζονται ως εξάρτημα φούρνου ή ψησταριάς γκριλ. Αξίζει να σημειώσουμε ότι αυτής της μορφής οι αντιστάσεις ήταν σαν τις πρώτες που κατασκευάστηκαν στις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

ΣΥΝΘΗΚΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ : ΑΕΡΑΣ

ΣΩΛΗΝΑΣ: ΙΝΟΧ

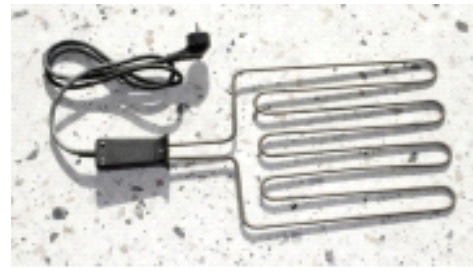
ΙΣΧΥΣ: 600 – 3.500 W

ΤΑΣΗ: 230 V

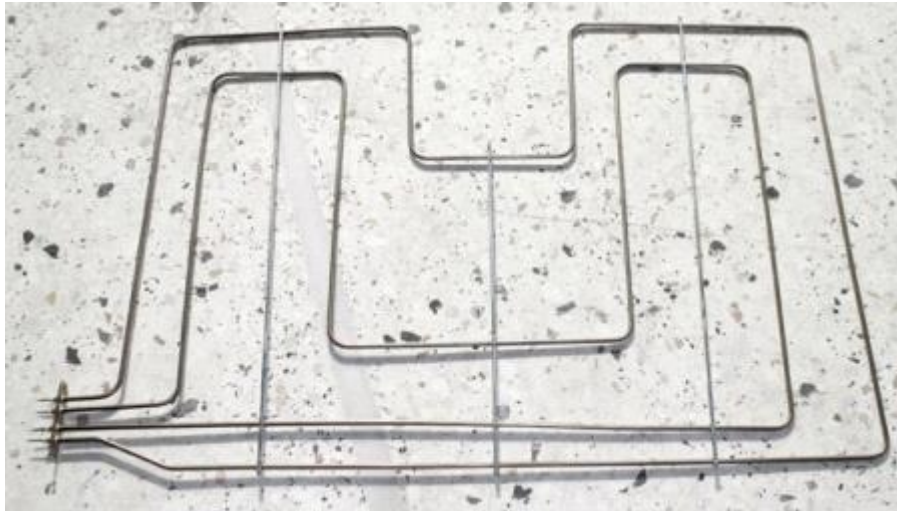
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Κυκλική αντίσταση κουζίνας (μάτι)



Φορητή αντίσταση γκριλ



Αντίσταση φούρνου



1.2.5 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της ηλεκτρικής αντίστασης

Πλεονεκτήματα:

- Είναι εξαιρετικά στιβαρές κατασκευές.
- Μπορούν να διαμορφωθούν σε πολλά μοναδικά και σύνθετα σχήματα
- Μπορεί να με πτερύγια για βελτιωμένη αναγκαστική μεταφορά θερμότητας αέρα
- Εύκολο να ελεγχθεί με ακρίβεια η παραγωγή θερμότητας για να ταιριάζουν απόλυτα με τις απαιτήσεις της διαδικασίας
- Χαμηλό κόστος κεφαλαίου
- Αμελητέα συντήρηση
- Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν σε κάθε βιομηχανικό περιβάλλον έως περίπου 1000 ° F (540 ° C)
- Έχει ένα αποδεδειγμένο ιστορικό της εδώ και πολλά χρόνια και εφαρμογές .

Μειονεκτήματα

- Ευκόλως μεταβαλλόμενο κόστος παραγωγής. Η τιμή του χαλκού είναι χρηματιστηριακή. Επίσης τα τελευταία χρόνια, λόγω και της οικονομικής κρίσης, οι τιμές των μετάλλων έχουν ανέβει με αποτέλεσμα να μειώνονται τα περιθώρια κέρδους.
- Υψηλή κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΜΟΝΟΑΞΟΝΙΚΟΥ ΕΦΕΛΚΥΣΜΟΥ

2.1 Θεωρία μονοαξονικού εφελκυσμού

Η συμπεριφορά των υλικών που υποβάλλονται σε μονοαξονική φόρτιση εξετάζεται με τη δοκιμή του εφελκυσμού. Η δοκιμή του εφελκυσμού αποτελεί την απλούστερη και συνηθέστερη μέθοδο ποιοτικού ελέγχου των υλικών και είναι η πιο βασική για τον προσδιορισμό των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Στη δοκιμή αυτή, δοκίμια που έχουν κατασκευασθεί από το εξεταζόμενο υλικό, στην περίπτωση μας χάλυβας (λαμαρίνα DCP και ανοξείδωτη), τοποθετούνται σε ειδικές μηχανές εφελκυσμού και καταπονούνται με προοδευτικά αυξανόμενο αξονικό φορτίο, με μικρή ταχύτητα φόρτισης, μέχρι τη θραύση τους. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής, καταγράφονται ταυτόχρονα, τόσο οι τιμές του επιβαλλόμενου φορτίου, όσο και οι αντίστοιχες μεταβολές του μήκους του δοκιμίου.

Οι τιμές του φορτίου P και των επιμηκύνσεων ΔL του δοκιμίου λαμβάνονται από το δυναμόμετρο της μηχανής εφελκυσμού και από το δυναμόμετρο τύπου Huggenberger αντίστοιχα, το οποίο τοποθετείται πριν από την δοκιμή στην κεντρική περιοχή του δοκιμίου. Έτσι μπορεί να κατασκευαστεί το διάγραμμα P - ΔL η μηχανή ελέγχου (H/Y) καταγράφει τις μεταβολές του μήκους και των δυνάμεων και χαράσσει αυτό το διάγραμμα.

Όμως από πλευράς αντοχής, ενδιαφέρει η μηχανική συμπεριφορά του υλικού και όχι του συγκεκριμένου δοκιμίου που εφελκύεται. Έτσι για να είναι οι μετρήσεις ανεξάρτητες από τις διαστάσεις του δοκιμίου, οι τιμές του φορτίου ανάγονται στην αρχική διατομή του και αντίστοιχες επιμηκύνσεις σε ένα αρχικό μήκος πάνω στο δοκίμιο που χαρακτηρίζεται με την ονομασία **μήκος μέτρησης (gauge length)** L_0 του δοκιμίου. Τα δοκίμια που χρησιμοποιούνται για τη δοκιμή είναι κυλινδρικά με φαρδύτερα άκρα, τα οποία έχουν διαμορφωθεί κατάλληλα. Με τη διαμόρφωση αυτή, επιτυγχάνεται μείωση της συγκέντρωσης των τάσεων που προκαλείται από την απότομη αλλαγή της διατομής στην περιοχή αυτή, σχήμα 1.

Με την παραδοχή ότι οι τάσεις και οι παραμορφώσεις είναι μακροσκοπικά ομοιόμορφες στο μήκος μέτρησης και τη διατομή του δοκιμίου, κάνοντας την προαναφερόμενη αναγωγή ορίζονται οι έννοιες συμβατική τάση και συμβατική παραμόρφωση ως εξής:

Συμβατική ορθή τάση (nominal stress) είναι ο λόγος,

$$\sigma = \frac{P}{A_0}$$

Όπου A_0 το εμβαδόν της αρχικής διατομής του δοκιμίου και,

Συμβατική ορθή παραμόρφωση (nominal strain) ο λόγος,

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$



Όπου $\Delta L = L - L_0$ είναι η διαφορά του αρχικού από το τελικό μήκος μέτρησης του δοκιμίου, το οποίο με τη σειρά του, για κάθε φόρτιση είναι:

$$L = L_0 \cdot (1 + \varepsilon)$$

Με τα ζεύγη των τιμών αυτών κατασκευάζεται το διάγραμμα **συμβατικών τάσεων – συμβατικών παραμορφώσεων**, σ-ε. Το διάγραμμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 2 (καμπύλη α).

Όμως καθώς αυξάνεται η εφελκυστική φόρτιση η διατομή του δοκιμίου γίνεται όλο και μικρότερη. Διαιρώντας το φορτίο με το εμβαδόν της διατομής A, σε κάθε στιγμή της φόρτισης, προκύπτει η **πραγματική τάση** που είναι:

$$\sigma_{\pi} = \frac{P}{A}$$

Και είναι βέβαια μεγαλύτερη της αντίστοιχης συμβατικής.

Για τον ορισμό της πραγματικής παραμόρφωσης πρέπει η επιμήκυνση ΔL να αναχθεί στο πραγματικό μήκος του δοκιμίου τη στιγμή της φόρτισης. Για στοιχειώδη μεταβολή μήκους dL ισχύει, και ολοκληρώνοντας από έως L προκύπτει:

$$\varepsilon_{\pi} = \int_{L_0}^L \frac{dL}{L} = \ln \frac{L}{L_0}$$

Από τις σχέσεις 2-3 και 2-5 προκύπτει εύκολα η σχέση,

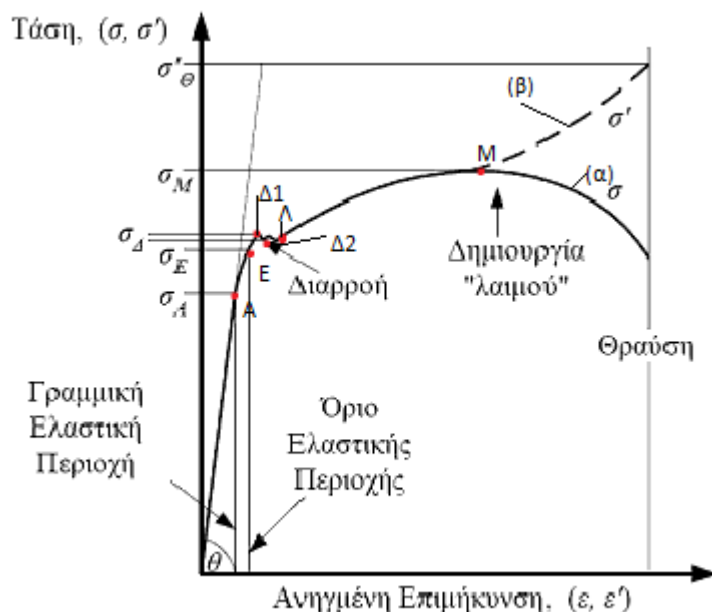
$$\varepsilon_{\pi} = \ln(1 + \varepsilon)$$

Της οποίας το δεύτερο μέλος μπορεί να γραφεί σαν άθροισμα όρων σειράς και είναι:

$$\varepsilon_{\pi} = \ln(1 + \varepsilon) = \varepsilon - \frac{1}{2}\varepsilon^2 + \frac{1}{3}\varepsilon^3 - \dots \cong \varepsilon$$

Η τελευταία σχέση οδηγεί στο συμπέρασμα, ότι για μικρές τιμές, η πραγματική παραμόρφωση ισούται με την αντίστοιχη συμβατική

Με τα ζεύγη τιμών, (σ_π-ε_π), χαράσσεται το διάγραμμα των **πραγματικών τάσεων-πραγματικών παραμορφώσεων**, που φαίνεται στην καμπύλη του σχήματος 10.



Σχήμα 10 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων

Από τα δύο διαγράμματα εκείνο που κατασκευάζεται συνήθως, από ένα πείραμα εφελκυσμού, είναι το αντίστοιχο των συμβατικών μεγεθών και, στη συνέχεια, όταν αναφερόμαστε στις έννοιες τάση και παραμόρφωση, θα εννοούμε τη συμβατική τάση και την συμβατική παραμόρφωση, εκτός και αν ορίζεται αλλιώς.

Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, σ' ένα πείραμα εφελκυσμού, από το διάγραμμα προκύπτει το αντίστοιχο των τάσεων και των παραμορφώσεων. Από αυτό προσδιορίζονται οι μηχανικές ιδιότητες (**mechanical properties**), όπως είναι το μέτρο ελαστικότητας, το όριο αναλογίας, το όριο διαρροής, η αντοχή θραύσεως κ.ά.

Με βάση το διάγραμμα, τα υλικά διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες, **στα όλκιμα και στα ψαθυρά**. **Όλκιμα (ductile)** ονομάζονται τα υλικά εκείνα που παρουσιάζουν σημαντικές παραμορφώσεις μέχρι τη θραύση τους. Αντίθετα, τα υλικά που σπάζουν εύκολα ονομάζονται **ψαθυρά (brittle)**. Γνωστά όλκιμα υλικά είναι ο μαλακός (δόκιμος) χάλυβας, το αλουμίνιο, ο χαλκός, κ.ά. Στην κατηγορία των ψαθυρών υλικών υπάγονται ο χυτοσίδηρος, το γυαλί, το σκυρόδεμα κ.ά. Στο σχήμα 2 φαίνεται το διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων, για το μαλακό χάλυβα.

Μελετώντας το διάγραμμα αυτό διακρίνουμε ένα ευθύγραμμο τμήμα ΟΑ που απεικονίζει την ελαστική συμπεριφορά του υλικού. Λέμε ότι ένα σώμα συμπεριφέρεται ελαστικά όταν κατά την αποφόρτισή του, δίνει ακριβώς το ίδιο διάγραμμα όπως και κατά τη φόρτιση με αντίθετη φορά διαγραφής, έτσι ώστε όταν η τάση μηδενιστεί το σώμα να επανέλθει στις αρχικές του διαστάσεις. Για το ΟΑ ισχύει η σχέση:

$$\sigma = E * \varepsilon$$

Που είναι η απλή μορφή του γενικευμένου νόμου του Hooke για τον μονοαξονικό εφελκυσμό σε ομογενές και ισότροπο υλικό. Ο συντελεστής αναλογίας E μεταξύ



τάσεων και παραμορφώσεων, ονομάζεται **μέτρο ελαστικότητας (Young modulus)**, ισούται με την κλίση της ευθείας ΟΑ. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο Α του διαγράμματος ονομάζεται **όριο αναλογίας (proportional limit)**. Η περιοχή από το Ο μέχρι το Α λέγεται και περιοχή της γραμμικής ελαστικότητας. Από το σημείο Α και μετά, το διάγραμμα καμπυλώνεται και η σχέση τάσεων-παραμορφώσεων παύει να είναι γραμμική. Συνεχίζουν όμως να υπάρχουν στο υλικό, μόνο ελαστικές παραμορφώσεις που εξαφανίζονται μετά την αποφόρτιση. Η τάση του σημείου Ε ονομάζεται **όριο ελαστικότητας (elastic limit)**. Για πολλά όλκιμα υλικά και ειδικότερα για τους χάλυβες, το όριο ελαστικότητας δύσκολα προσδιορίζεται, αφού η τιμή του είναι πολύ κοντά στο όριο αναλογίας.

Είδαμε λοιπόν ότι το διάγραμμα τάσεων-παραμορφώσεων είναι αντιστρεπτό μέχρι το όριο ελαστικότητας. Δηλαδή μέχρι αυτό το σημείο, μια αφαίρεση των τάσεων σημαίνει ταυτόχρονα και αφαίρεση των ελαστικών παραμορφώσεων.

Όμως, πέρα από το όριο ελαστικότητας η συμπεριφορά του υλικού δεν είναι η ίδια. Μικρή αύξηση της τάσης πάνω από την τιμή αυτή, δημιουργεί στο υλικό μόνιμες παραμορφώσεις που ονομάζονται πλαστικές. Τώρα πια κάθε στιγμή της φόρτισης, η συνολική του παραμόρφωση αποτελείται από μια ελαστική και μια πλαστική συνιστώσα, δηλαδή είναι:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\varepsilon\lambda} + \varepsilon_{\pi\lambda}$$

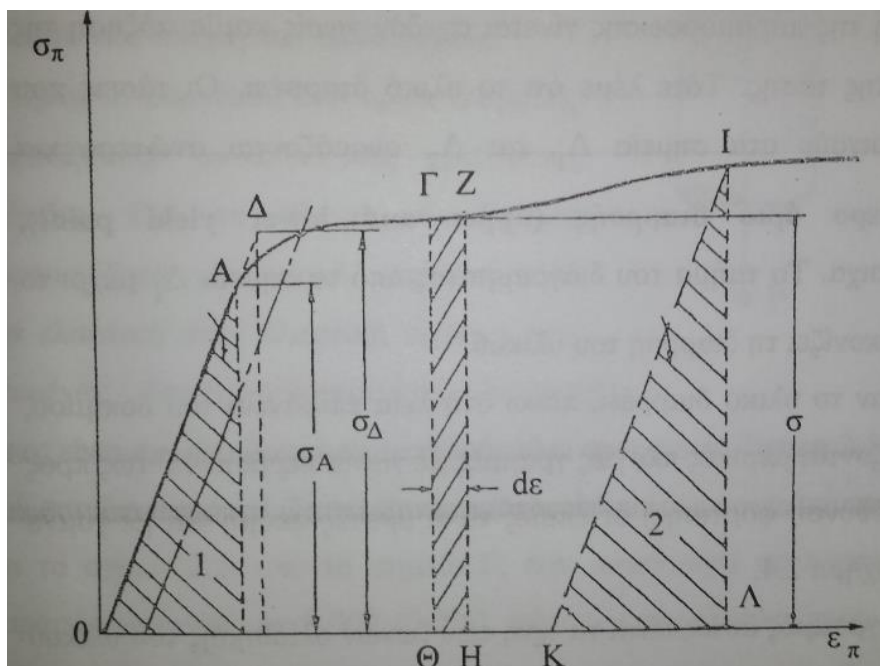
Ο δεύτερος όρος ($\varepsilon_{\pi\lambda}$) στην προηγούμενη σχέση, αυξάνει συνεχώς σε βάρος του πρώτου ($\varepsilon_{\varepsilon\lambda}$) καθώς αυξάνει η συνολική παραμόρφωση στο υλικό.

Η **πλαστική παραμόρφωση** είναι εκείνη που παραμένει στο υλικό και μετά την αφαίρεση του επιβαλλόμενου φορτίου.

Για να βρούμε την παραμένουσα (πλαστική συνιστώσα) παραμόρφωση ($\varepsilon_{\pi\lambda}$) αρκεί να φέρουμε από το σημείο του διαγράμματος, που μας ενδιαφέρει, την παράλληλη ευθεία προς το ευθύγραμμο τμήμα ΟΑ. Με τη διαδικασία αυτή αφαιρείται η ελαστική συνιστώσα ($\varepsilon_{\varepsilon\lambda}$).

Για την παραμόρφωση των υλικών απαιτείται η καταβολή εξωτερικού έργου που παρέχεται από τη μηχανή δοκιμής που επιβάλλει τα εφελκυστικά φορτία. Το έργο αυτό αποθηκεύεται στο δοκίμιο ως ενέργεια παραμορφώσεως. Το ποσόν της ανά μονάδα όγκου του δοκιμίου παραμορφωσιακής ενέργειας (πυκνότητα ενέργειας παραμορφώσεων) που απορροφάται από το υλικό μέχρι τη θραύσης που καλείται **στερρότητα (fracture toughness)** και δίνεται από το εμβαδόν του χωρίου ανάμεσα στην καμπύλη και τον άξονα των παραμορφώσεων. Στο σχήμα 11 φαίνονται δύο διαγραμμισμένες τριγωνικές περιοχές. Η πρώτη (1) δίνει την πυκνότητα ενέργειας παραμορφώσεων μέσα στη γραμμική ελαστική περιοχή. Το μέτρο της ονομάζεται **μέτρο ελαστικής ανάπλασης (modulus of resilience)**, και δίνεται από τη σχέση:

$$R_{\varepsilon} = \frac{1}{2} \varepsilon_A \sigma_A$$



Σχήμα 11 Διάγραμμα πραγματικών τάσεων- παραμορφώσεων

Η δεύτερη περιοχή (2) εκφράζει το ποσό της αντίστοιχης ενέργειας που αποδίδεται στο περιβάλλον από το παραμορφούμενο υλικό κατά την αποφόρτισή του και ονομάζεται **υπερελαστική ανάπλαση**. Το μέτρο της ισούται με το εμβαδόν του τριγώνου ΚΛΙ.

Αυξάνοντας την εξωτερική φόρτιση παρατηρούμε ότι το διάγραμμα του σχήματος 10 καμπυλώνεται ακόμη περισσότερο και οι πλαστικές παραμορφώσεις μεγαλώνουν. Αυτό συμβαίνει μέχρι το σημείο , όπου παρατηρείται μία απότομη πτώση και η οποία τελικά σταματάει στο σημείο . Από το σημείο αυτό μέχρι το Λ η αύξηση της παραμόρφωσης γίνεται σχεδόν χωρίς καμία αύξηση της τιμής της τάσης. Τότε λέμε ότι το υλικό **διαρρέει**. Οι τάσεις που αντιστοιχούν στα σημεία και ονομάζονται **άνωτερο και κατώτερο όριο διαρροής (upper and lower yield point)**, αντίστοιχα. Το τμήμα του διαγράμματος από το σημείο μέχρι το Λ απεικονίζει την διαρροή του υλικού.

Όταν το υλικό διαρρέει, πάνω στην λεία επιφάνεια του δοκιμίου, εντοπίζονται μερικές πλάγιες γραμμές με γωνία περίπου (ως προς τη διεύθυνση φόρτισης) οι οποίες είναι ορατές ακόμη και με γυμνό μάτι. Οι γραμμές αυτές είναι τα ίχνη των ζωνών ολίσθησης του υλικού οι οποίες δημιουργούνται από τις αναπτυσσόμενες μέγιστες διατμητικές τάσεις (που όπως είναι γνωστό από τη θεωρία, εμφανίζονται κατά ως προς τον άξονα του δοκιμίου) και δείχνουν την αστοχία του υλικού σ' αυτά τα επίπεδα. Οι λεπτές αυτές λουρίδες ονομάζονται **ζώνες Luders** και η ολίσθησή τους εμφανίζεται όταν οι μέγιστες διατμητικές τάσεις αρχίζουν να υπερνικούν τις δυνάμεις συνοχής μεταξύ των μορίων σε γειτονικά επίπεδα. Το σημείο συμπίπτει με την εμφάνιση των πρώτων ζωνών ολίσθησης και η ολοκλήρωσή τους επέρχεται το κατώτερο όριο διαρροής.

Από τα δύο όρια διαρροής εκείνο που παρουσιάζει σταθερή τιμή είναι το κατώτερο και μ'αυτό εργαζόμαστε σχεδόν πάντοτε στη δοκιμή του εφελκυσμού.

Όμως οι δύο τιμές του ορίου διαρροής εμφανίζονται μόνο στους μαλακούς χάλυβες. Για τα όλοιμα υλικά που παρουσιάζουν μία ομαλή μετάβαση από την ελαστική περιοχή (και επομένως δεν έχουν διακριτό όριο διαρροής) όπως είναι π.χ. το



αλουμίνιο, ο χαλκός κλπ, αυτό ορίζεται διαφορετικά. Συγκεκριμένα, όπως δείχνει το σχήμα 5, από το σημείο Γ, που αντιστοιχεί σε πλαστική παραμόρφωση ίση με 0,002(0,2%), φέρουμε παράλληλο προς την ευθεία ΟΑ. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο τομής Δ, της ευθείας με την καμπύλη σ-ε, ορίζεται ως **συμβατικό ή πρακτικό όριο διαρροής**.

Και ενώ όλα που ήδη είπαμε αφορούν τα όλκιμα υλικά, στα ψαθυρά υλικά (όταν αυτά καταπονούνται εφελκυστικά) εμφανίζονται ελάχιστες (ή σχεδόν καθόλου) πλαστικές παραμορφώσεις. Το γεγονός αυτό έχει σαν συνέπεια να μην υπάρχει εμφανές όριο διαρροής στο αντίστοιχο διάγραμμα (σ-ε) και πρακτικά να λαμβάνεται ίδιο με το όριο θραύσης. Στον εφελκυσμό τα ψαθυρά υλικά σπάζουν απότομα, με αποχωρισμό του δοκιμίου, κατά επίπεδα κάθετα προς τη διεύθυνση φόρτισης.

Επανερχόμενοι στη μελέτη των όλκιμων υλικών (μετά τη σύντομη αυτή αναφορά στα ψαθυρά) συνοψίζοντας συμπεραίνουμε : 1) ότι από το όριο διαρροής και μετά το υλικό βρίσκεται στη πλαστική περιοχή. Η συνολική του παραμόρφωση, αποτελείται από το ελαστικό ποσό (που δεν υπάρχει μετά την αποφόρτιση) και το πλαστικό που παραμένει και μετά την αποφόρτιση στο υλικό. 2) ότι από το κατώτερο όριο διαρροής μέχρι το σημείο Λ το δοκίμιο συνεχίζει να επιμηκύνεται με μηδενική σχεδόν αύξηση του εξωτερικού φορτίου.

Με φόρτιση του δοκιμίου πέρα από το σημείο Λ σημειώνουμε ότι η αύξηση της παραμόρφωσης απαιτεί και πάλι ανάλογη αύξηση της τάσης. Το φαινόμενο κατά το οποίο απαιτείται συνεχής αύξηση των τάσεων για μεγαλύτερες παραμορφώσεις, ονομάζεται **κράτυνση του υλικού (strain hardening)**. Στην περιοχή κράτυνσης το δοκίμιο απορροφά ενέργεια (ποσοστό από το έργο των εξωτερικών δυνάμεων που επενεργούν σ' αυτό) με αποτέλεσμα το υλικό να καθίσταται ισχυρότερο. Ταυτόχρονα όμως με τη διαδικασία αυτή συμβαίνει και μείωση της διατομής του δοκιμίου, που το καθιστά ασθενέστερο. Όπως διαπιστώνεται από την καμπύλη (α) του διαγράμματος η συμβατική τάση φθάνει σε μια μέγιστη τιμή, που αντιστοιχεί στο σημείο Μ και μετά μικραίνει. Στο σημείο Μ μάλιστα επέρχεται μία αστάθεια των παραμορφώσεων, δηλαδή συγκέντρωση τους σε μια περιοχή μόνο του δοκιμίου, με αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση της διατομής στην ίδια περιοχή και τη δημιουργία τοπικής στένωσης στο δοκίμιο. Η στένωση αυτή ονομάζεται **λαιμός (neck)**.

Η αρχική άνοδος της συμβατικής τάσης αμέσως μετά το σημείο Λ, οφείλεται στην ταχύτερη αύξηση της αντοχής από την ελάττωση της διατομής. Αυτό συμβαίνει μέχρι το σημείο Μ, όπου ο ρυθμός κράτυνσης ξεουδετερώνει το ρυθμό στένωσης της διατομής. Μετά το Μ όμως υπερισχύει η στένωση με αποτέλεσμα το δοκίμιο να οδηγείται στη θραύση. Ο σχηματισμός του λαιμού έχει ως αποτέλεσμα την εκκίνηση μιας διαδικασίας ανακατανομής των πραγματικών τάσεων και παραμορφώσεων στο εσωτερικό του δοκιμίου. Από τη στιγμή που εμφανίζεται ο λαιμός, η παραμόρφωση συνεχίζεται μόνο πολύ κοντά στην περιοχή του, ενώ στις υπόλοιπες περιοχές του δοκιμίου σχεδόν σταματά να εμφανίζεται. Ταυτόχρονα, εξαιτίας της δημιουργίας του λαιμού η κατανομή των τάσεων στην περιοχή αυτή παύει να είναι μονοαξονική και γίνεται τριαξονική. Κατά το στάδιο της δημιουργίας του λαιμού, οι τάσεις είναι όλες εφελκυστικές, με συνέπεια η μέγιστη διατμητική τάση να είναι μικρότερη από κάθε κύρια τάση. Τότε, μόλις η μέγιστη από αυτές, δηλαδή η, λάβει την κρίσιμη τιμή για το υλικό, δημιουργείται εσωτερικά στο δοκίμιο, ρωγμή κάθετη προς τη διεύθυνση της και αρχίζει η θραύση του με αποχωρισμό. Έχει αποδειχθεί όμως, ότι μόλις εμφανισθεί η πρώτη ρωγμή, τότε οι εγκάρσιες τάσεις, γίνονται θλιπτικές και επομένως η μέγιστη διατμητική τάση αποκτά μεγαλύτερη τιμή από την. Έτσι η



θραύση συνεχίζει να γίνεται πλέον με ολίσθηση με αποτέλεσμα ο διπλός αυτός τρόπος θραύσης να δίνει στην επιφάνεια (θραύσης) του δοκιμίου τη μορφή κώνου.

Εξετάζοντας τώρα το διάγραμμα των πραγματικών τάσεων και παραμορφώσεων παρατηρούμε ότι η (β) μετά το Λ είναι αύξουσα χωρίς ακρότατο όπως η (α). Βέβαια δεν πρόκειται για μια διαφορετική μεταβολή της κρατυνόμενης συμπεριφοράς του υλικού, (από το Λ και μετά), αλλά απλά και μόνο για το γεγονός ότι η κατασκευή της καμπύλης (α) έγινε με αναγωγή των μετρήσεων (που έχουν καταγραφεί από το πείραμα) στα αρχικά γεωμετρικά μεγέθη του δοκιμίου, θεωρώντας ότι αυτά παρέμειναν σταθερά σε όλη την διάρκεια του πειράματος .

Έτσι εξηγείται η παρατηρούμενη απόκλιση μεταξύ των δύο καμπυλών και η οποία γίνεται όλο και μεγαλύτερη καθώς το δοκίμιο προχωράει προς τη θραύση του.

2.2 Πειραματικά δοκίμια

Για τις ανάγκες του παρόντος πειράματος χρησιμοποιήθηκαν ελάσματα χάλυβα DCP και ανοξείδωτου (INOX). Τα δύο δοκίμια ήταν ορθογωνικής διατομής. Τα δοκίμια κόπηκαν σε μήκος 70,00 mm στο εργαστήριο του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ με τη βοήθεια ψαλιδιού.

Δοκίμιο	Υλικό	Μήκος	Πλάτος	Πάχος
1	Χάλυβας DCP	70mm	10mm	3mm
2	Ανοξείδωτος χάλυβας INOX	70mm	10mm	2mm

Πίνακας 4 Ονοματολογικά Και Διαστάσεις Δοκιμίων Που Καταπονήθηκαν

2.3 Συνθήκες διεξαγωγής του πειράματος

Όπως η διαμόρφωση των δοκιμίων έτσι και όλα τα πειράματα διεξήχθησαν στο κτίριο Ξ της Σχολής των Μηχανολόγων Μηχανικών. Στο κτίριο αυτό βρίσκονται οι εγκαταστάσεις του Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών.

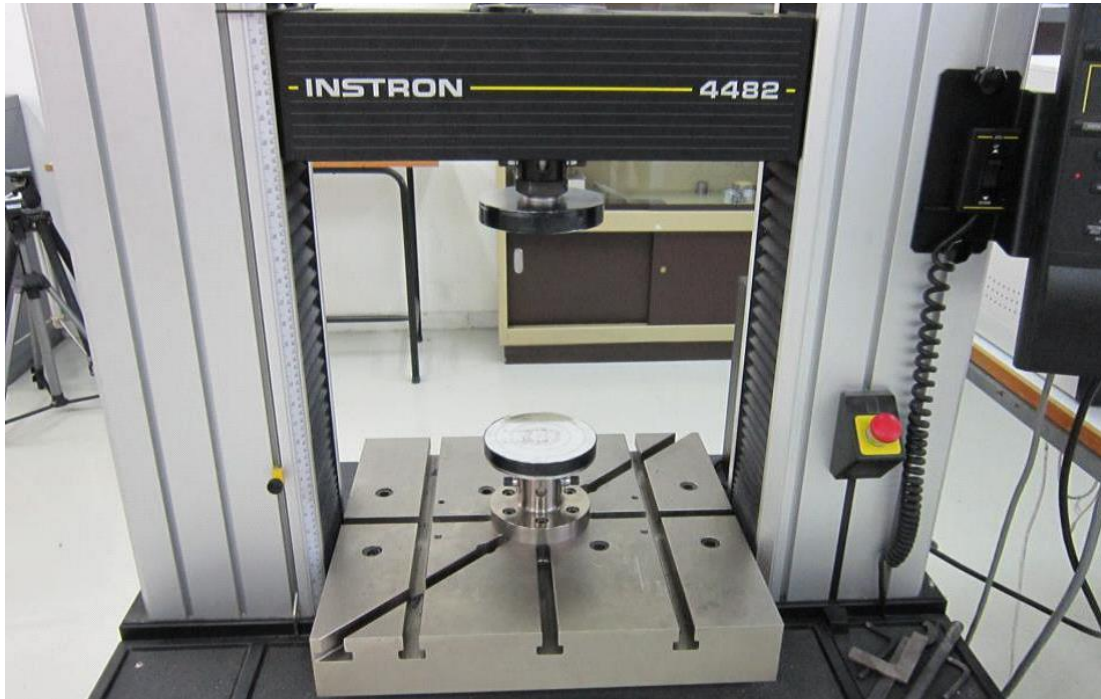
2.3.1 Μηχανική πρέσα INSTRON

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, η πειραματική διάταξη περιλαμβάνει την πειραματική μηχανική πρέσα INSTRON και το εργαλείο διέλασης το οποίο και προσαρμόστηκε κατάλληλα πάνω στη πρέσα.

Η μηχανική πρέσα INSTRON 4482 του εργαστηρίου έχει ονομαστικό φορτίο 100 kN και περιλαμβάνει κατάλληλες διατάξεις για να εκτελέσει τις ακόλουθες μηχανικές δοκιμές:

- Εφελκυσμός (Tension)
- Θλίψη (Compression)
- Κάμψη (Bending)

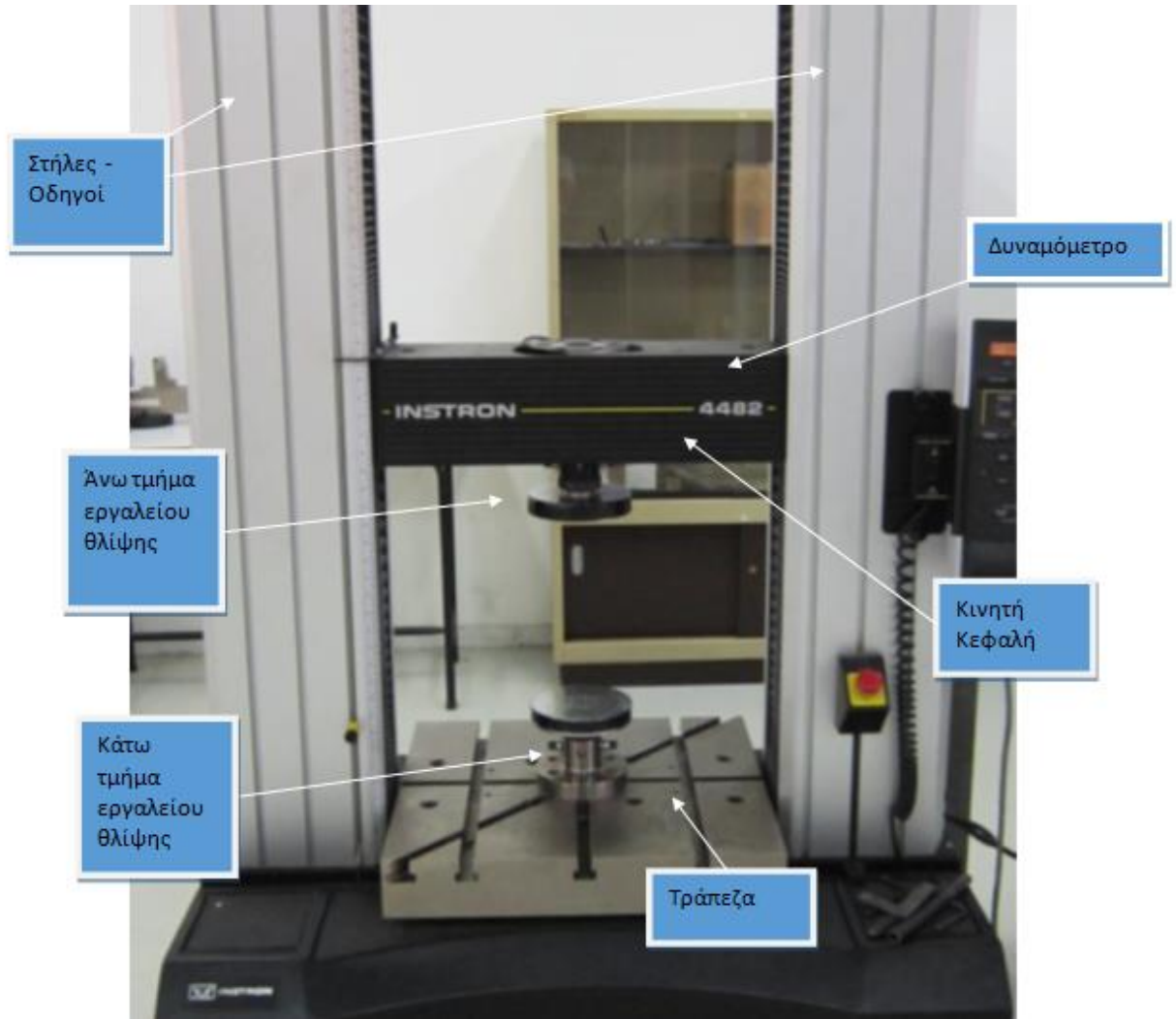
Για την εκτέλεση του μονοαξονικού εφελκυσμού προσαρμόζεται το εργαλείο-συγκρατητήρας του εφελκυσμού. Στην πρέσα αρχικά έχει προσαρμοστεί το εργαλείο της θλίψης, όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα:



Σχήμα 12 Εργαλείο θλίψης προσαρμοσμένο στην μηχανική πρέσα INSTRON

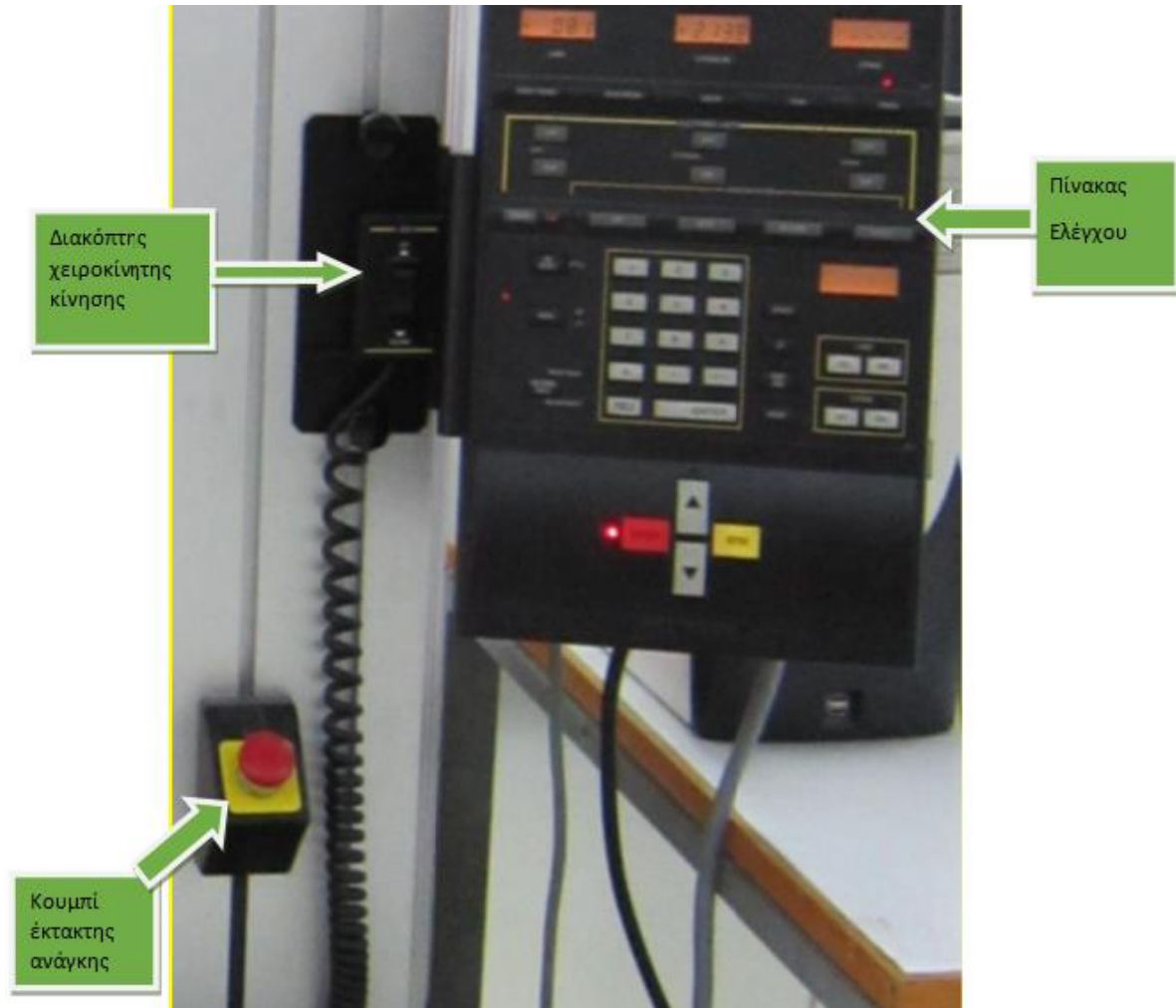
Αναλυτικότερα, η συνολική διάταξη της πρέσας, αποτελείται από τα επιμέρους τμήματα:

Το κυρίως σώμα το οποίο περιλαμβάνει τη τράπεζα, τη κινητή κεφαλή όπου είναι προσαρμοσμένο το δυναμόμετρο και οι κολώνες – οδηγοί της κινητής κεφαλής.



Σχήμα 13 Διάταξη πρέσας INSTRON

Τον πίνακα ελέγχου όπου μπορούμε να ορίσουμε τις συνθήκες των δοκιμών που πραγματοποιούμε, τον μετακινούμενο διακόπτη χειροκίνητης κίνησης (πάνω - κάτω) της κινητής κεφαλής και το κουμπί έκτακτης ανάγκης.



Σχήμα 14 Επιμέρους Τμήματα Πρέσας INSTRON

Τέλος, η μηχανική πρέσα συνδέεται μέσω σειριακής θύρας με Η/Υ ο οποίος είναι εξοπλισμένος με κατάλληλο λογισμικό (Bluehill) με το οποίο είναι δυνατός ο ορισμός των συνθηκών των δοκιμών, η εκτέλεσή τους και λήψη αποτελεσμάτων και διαγραμμάτων απαραίτητων για την επεξεργασία των μετρήσεων.



Σχήμα 6 Συνολική Διάταξη Πρέσας INSTRON του εργαστηρίου

2.3.2 Διεξαγωγή πειραμάτων

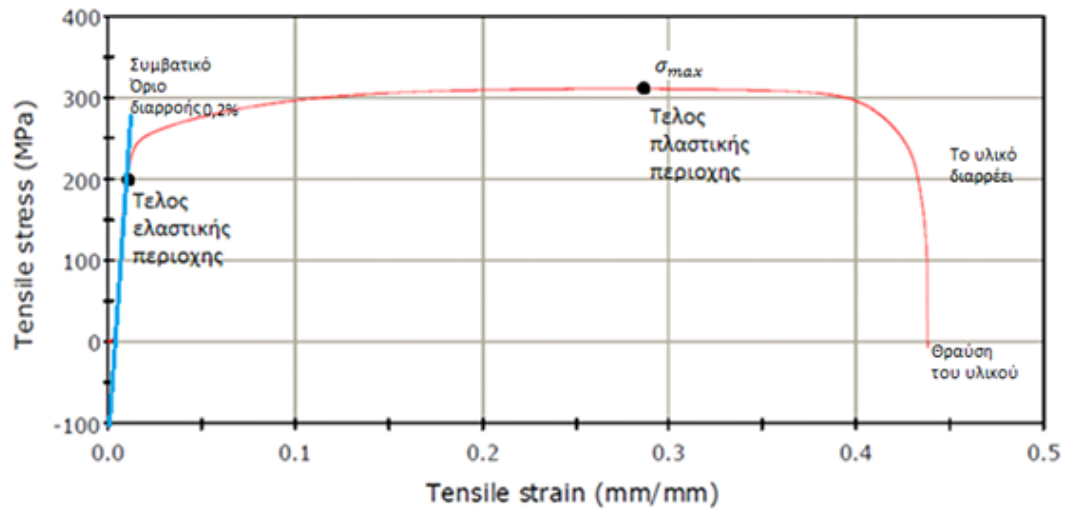
Ο εφελκυσμός των δοκιμίων 1 και 2 έγινε σε συνθήκες περιβάλλοντος του Εργαστηρίου. Και τα δύο δοκίμια εφελκύστηκαν με ταχύτητα 5mm/1min. Και τα δύο δοκίμια είχαν τις ίδιες διαστάσεις πριν.



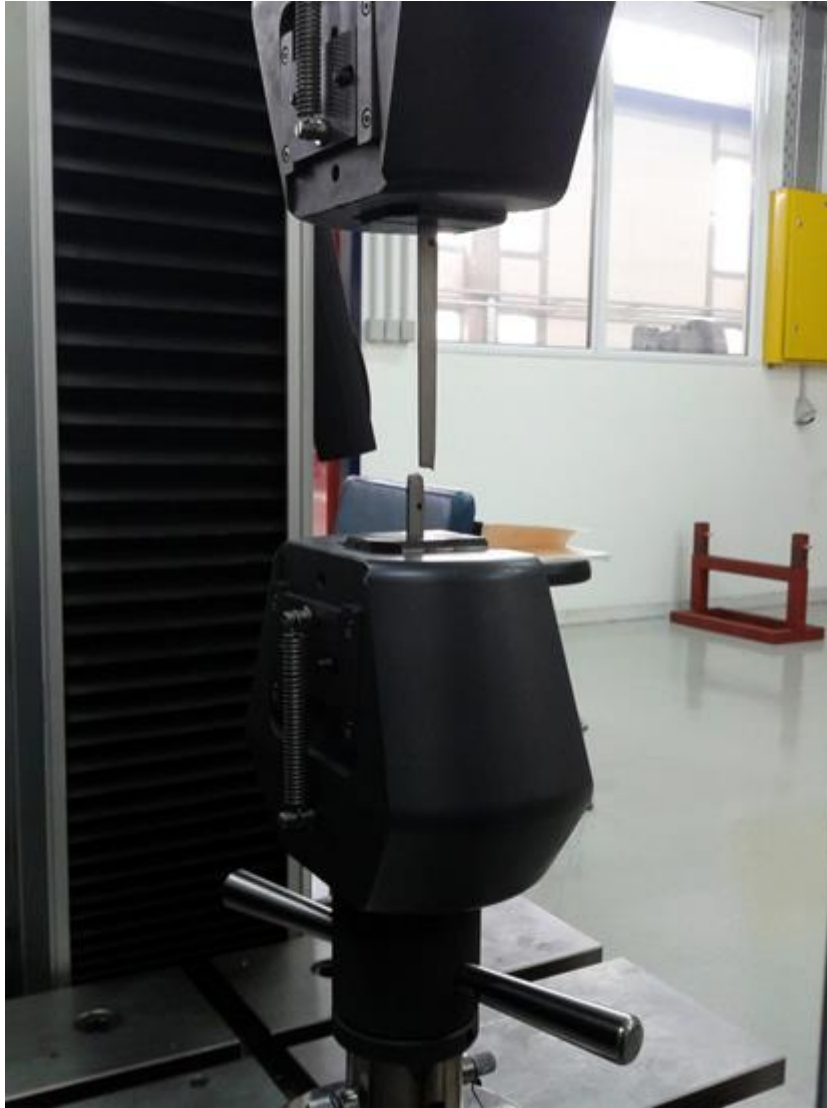
Εικόνα 34 Θραύση Δοκιμίου 1



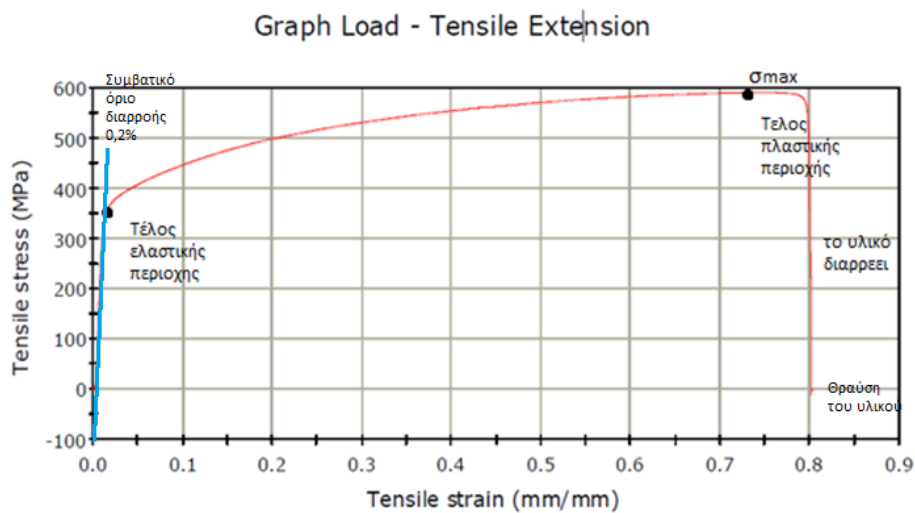
Graph Load - Tensile Extension



Σχήμα 15 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων Δοκιμίου 1



Εικόνα 35 Θραύση δοκιμίου 2



Σχήμα 16 Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων Δοκιμίου 2
ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ



Τρόπος θραύσης -Συμπεράσματα

Όπως παρατηρούμε από τα διαγράμματα τάσεων-παραμορφώσεων και των δύο δοκιμίων, και τα δύο δοκίμια καταρρέουν με τον αναμενόμενο τρόπο. Το δοκίμιο 1 χάλυβας DCP έχει μια πιο ομαλή κατάρρευση πράγμα αναμενόμενο, διότι ο χάλυβας ψυχρής έλασης είναι πιο μαλακό μέταλλο σε σχέση με τον ανοξείδωτο χάλυβα INOX που η χημική του σύσταση λόγω του χρωμίου αλλά και η κατασκευή του τον κάνουν πιο σκληρό. Γι αυτόν τον λόγο και η επιμήκυνση του δοκιμίου 2 είναι πολύ μεγαλύτερη απ το δοκίμιο 1 παρόλο που είναι κατά 1mm πιο παχύ απ το δοκίμιο 2.

Δοκίμιο	Μέγιστη Τάση MPa Y	Μέγιστη Παραμόρφωση mm	Φορτίο N	Κριτήριο διαρροής Tresca MPa	Κριτήριο διαρροής von Mises MPa
1	310,6	14,9	9318	155,3	179,32
2	591,13	53,27	11822,66	295,565	341,29

Πίνακας 5 Μέγιστη τάση-παραμόρφωση και όριο διαρροής των δοκιμίων 1και 2

Για τον μονοαξονικό εφελκυσμό ισότροπου υλικού ισχύει $Y = \sigma_{max}$

Κριτήριο διαρροής Tresca: $k = \frac{Y}{2}$

Κριτήριο διαρροής von Mises : $k = \frac{Y}{\sqrt{3}}$



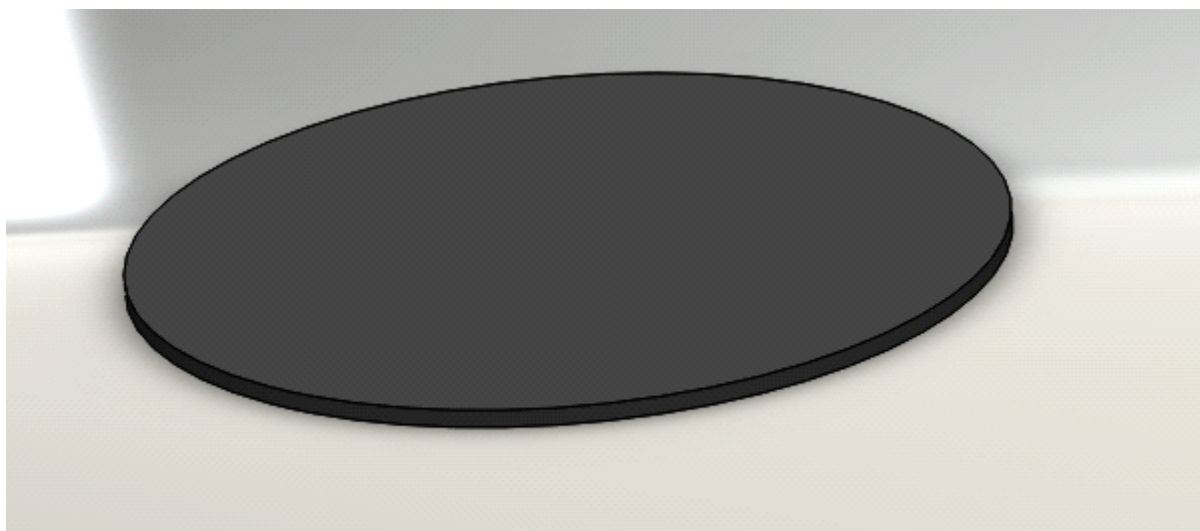
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑΣ ΚΟΙΛΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΤΜΗΣΗΣ

Για να μπορέσουμε να κατανοήσουμε βαθύτερα τον τρόπο λειτουργίας της γραμμής παραγωγής για την κατασκευή μιας σωληνωτής ηλεκτρικής αντίστασης, προχωρήσαμε στην δημιουργία μοντέλων στο σχεδιαστικό πρόγραμμα SolidWorks, όπως αναφέραμε και νωρίτερα, και, εν συνεχεία μετατρέψαμε τα μοντέλα και τα εισαγάγαμε στο πρόγραμμα σχεδίασης και προσομοίωσης κατεργασιών και διαμόρφωσης μεταλλικών κατασκευών LS – DYNA. Τούτο έγινε διότι το SolidWorks είναι πιο εύχρηστο στο σχεδιασμό της γεωμετρίας μηχανολογικών κατασκευών, ενώ το LS – DYNA είναι πιο ακριβές στην προσομοίωση και ανάλυση των κατεργασιών της κοίλανσης και της διάτμησης.

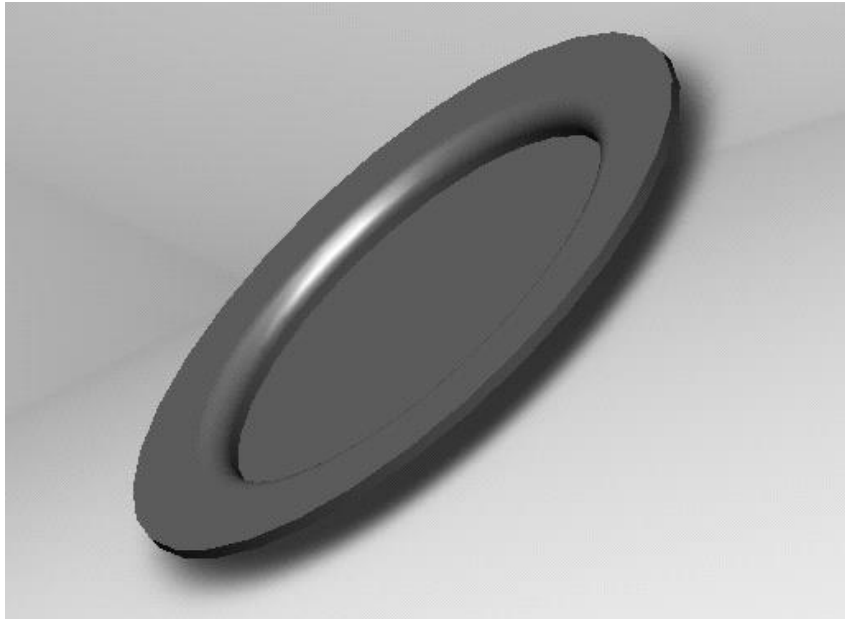
3.1 Μοντέλα προσομοίωσης

Για την προσομοίωση της κοίλανσης χρησιμοποιήθηκε μόνο η γεωμετρία και τα μηχανικά χαρακτηριστικά για τον χάλυβα ψυχρής έλασης DCP που πήραμε από τον μονοαξονικό εφελκυσμό και χρησιμοποιήθηκαν μόνο για την κυκλική φλάντζα αρχικής διαμέτρου 145mm και πάχους 3mm.

Ακολουθούν τα 3D μοντέλα βήμα προς βήμα της κατεργασίας του χάλυβα.

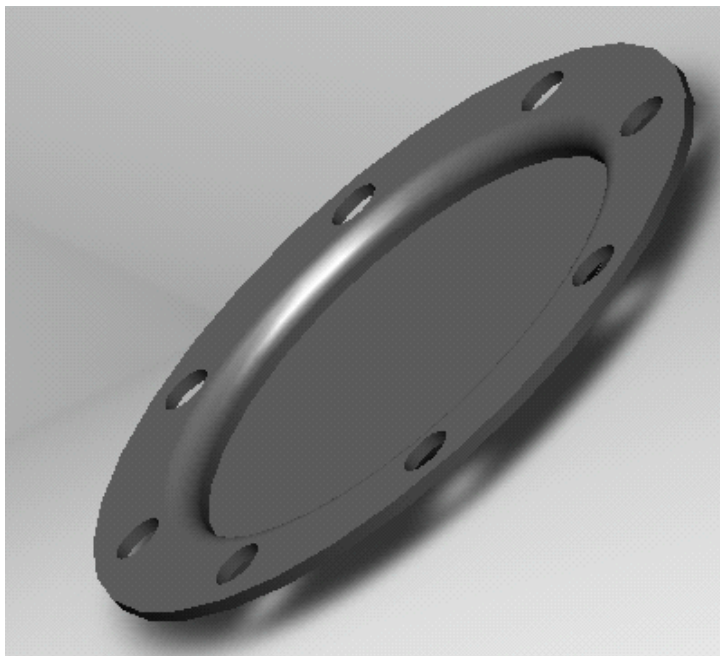


Εικόνα 36 φλάντζα 145mm πριν την κοίλανση



Εικόνα 37 κυάθιο διαμέτρου 140mm

Κατά την κοίλανση και την τελική μορφή του κατεργασμένου υλικού, η αρχική φλάντζα μικραίνει σε διατομή κατά 5 mm. Πράγμα αναμενόμενο κι επιθυμητό για να διατηρήσουμε σε όλη την επιφάνεια του κατεργασμένου υλικού το ίδιο πάχος.



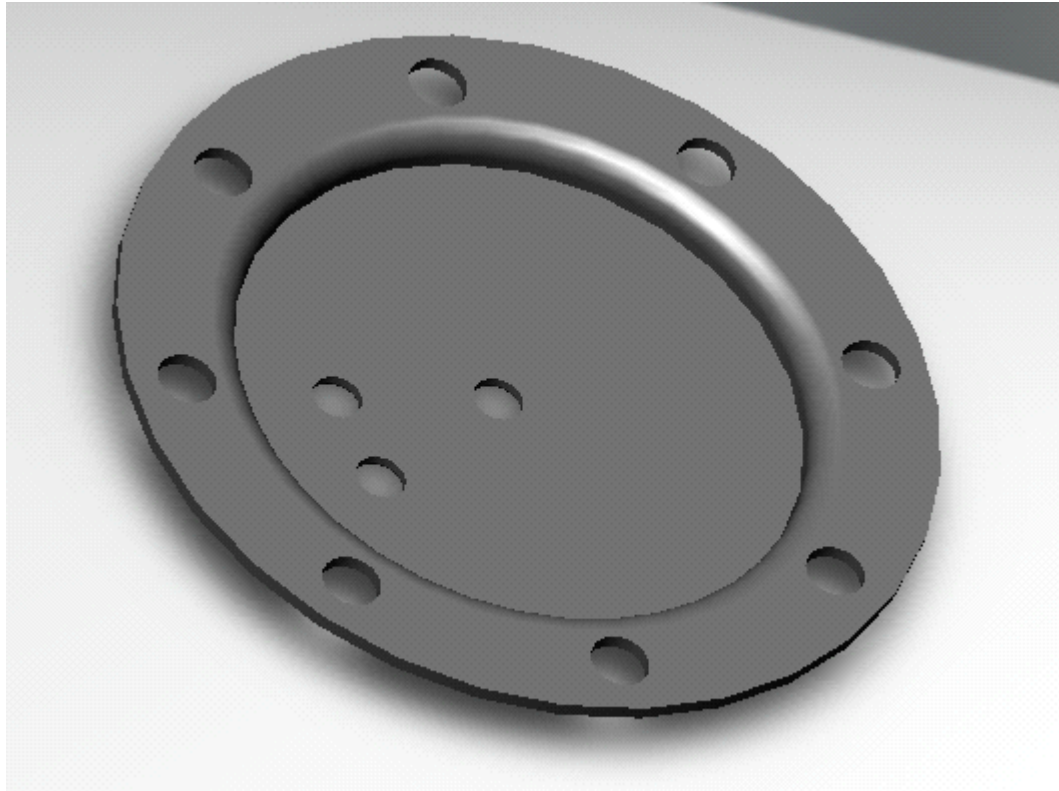
Εικόνα 38 φλάντζα με 8 τρύπες περιμετρικά

Μετά την κοίλανση, η φλάντζα πηγαίνει σε άλλη πρέσα, όχι στην ίδια για οικονομία χρόνου, όπου με την κατάλληλη μήτρα μίας επανάληψης δημιουργούνται 8 οπές $D=10\text{mm}$ γεωμετρικά ισοκατανεμημένες στον εξωτερικό δακτύλιο του

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

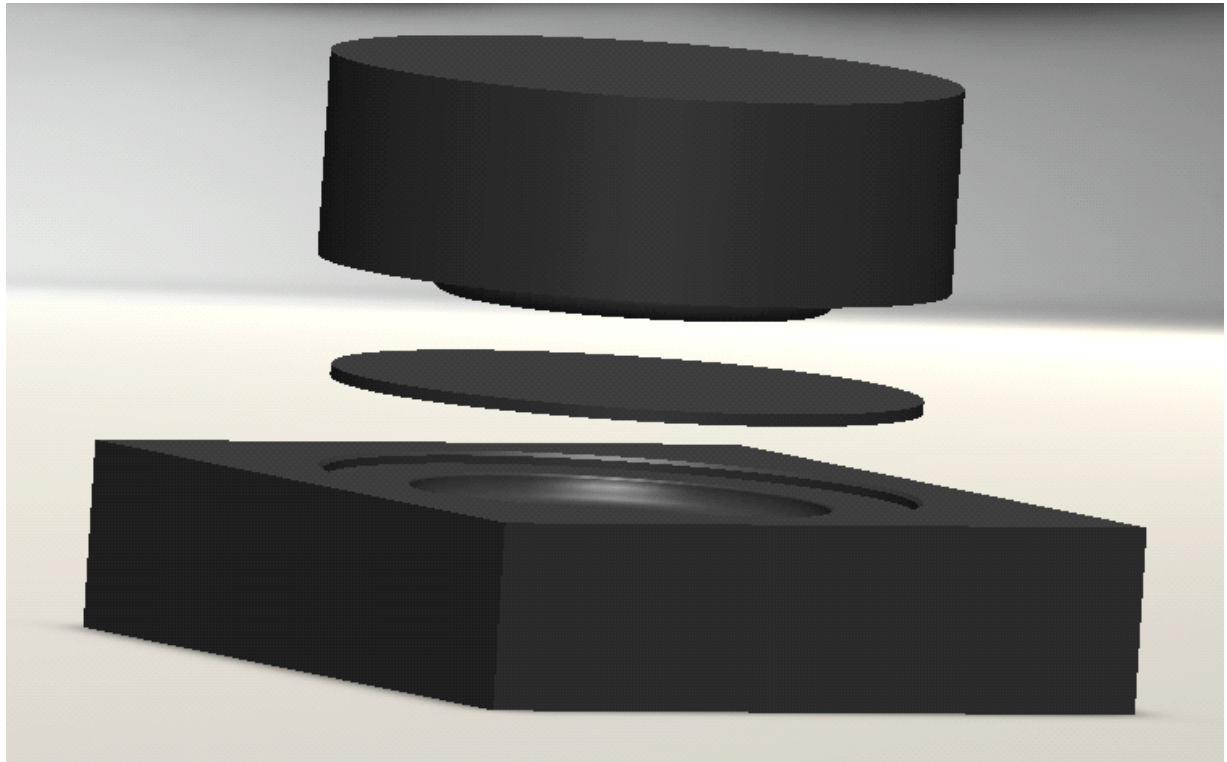


κατεργαζόμενου τεμαχίου. Ακολούθως, δημιουργούνται σε άλλη πρέσα, με άλλη μήτρα οι 3 τρύπες στο εσωτερικό του κατεργαζόμενου τεμαχίου $D=8.5\text{mm}$.

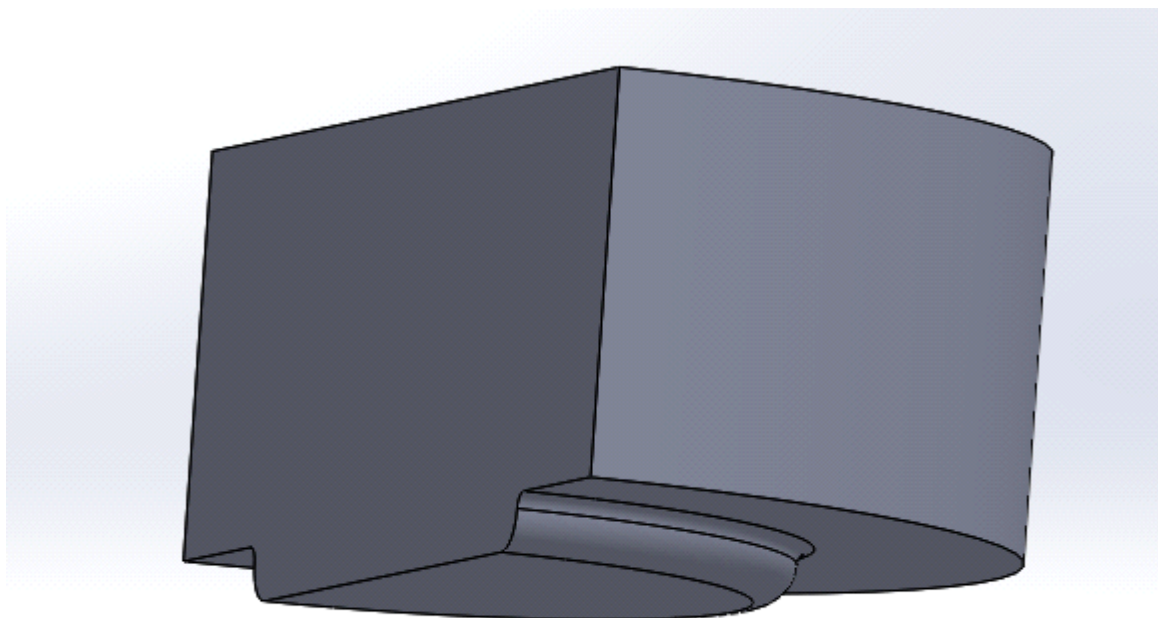


Εικόνα 39 φλάντζα έτοιμη για συγκόλληση της βάσης ανοδίου

Μήτρες κοίλανση και απότμησης



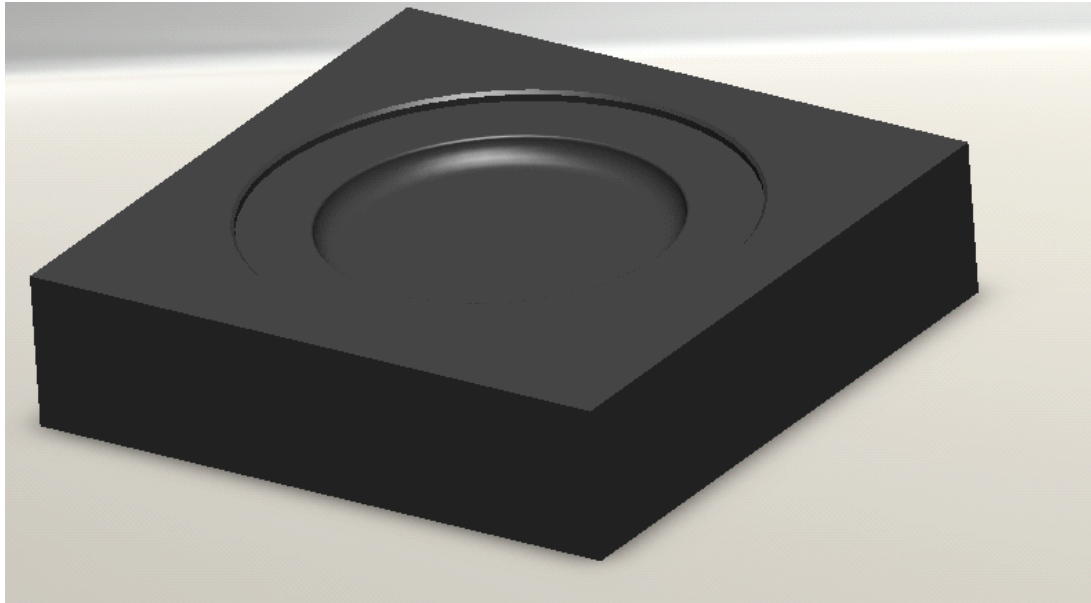
Εικόνα 40 Διάταξη της κοίλανσης: το επάνω τεμάχιο είναι το έμβολο το μεσαίο το κατεργάσιμο υλικό και το κάτω η μήτρα.



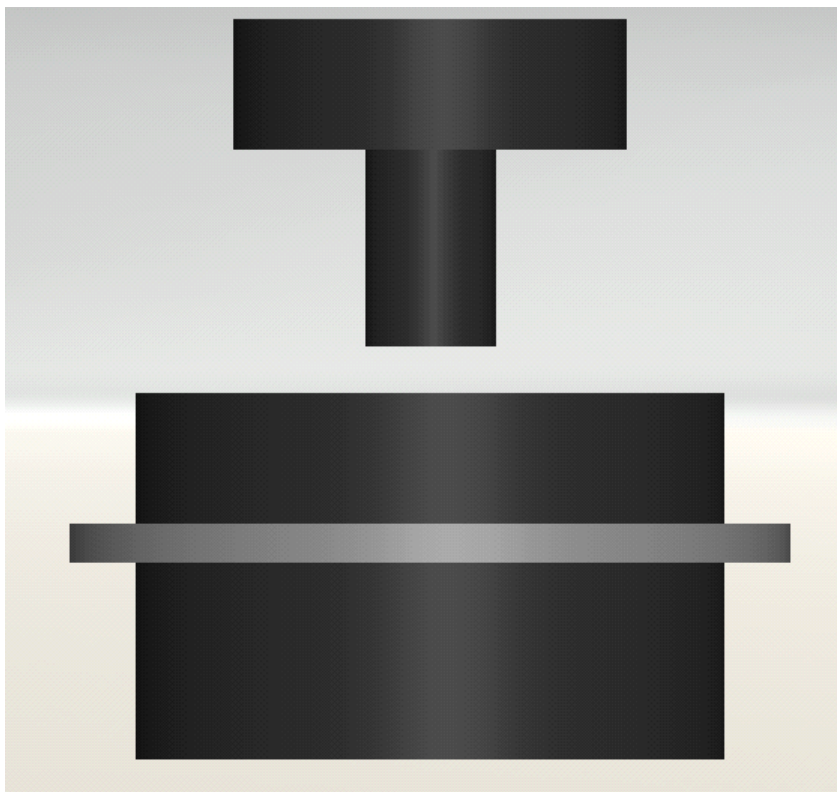
Σχήμα 17 Το έμβολο της κοίλανσης



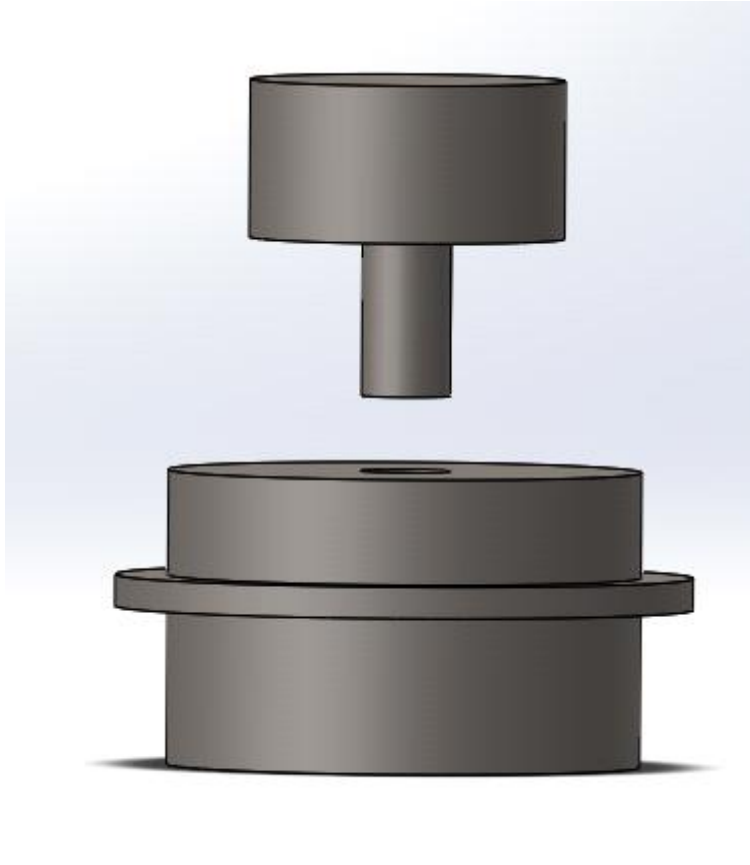
Το έμβολο της κοίλανσης δημιουργεί κυάθιο ακτίνας $r=50\text{mm}$ και χείλος εκφυγής $R=5\text{mm}$



Σχήμα 18 Μήτρα κοίλανσης



Εικόνα 41 Διάταξη απότμησης $d=10\text{MM}$

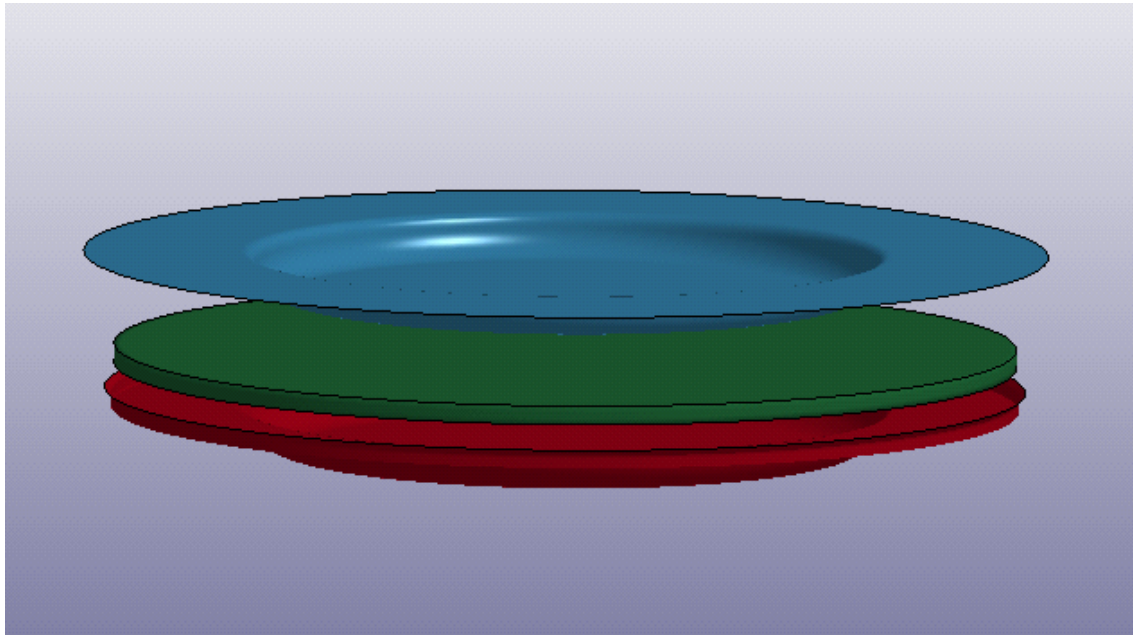


Εικόνα 42 Διάταξη απότμησης $d=8.5\text{mm}$

Οι διατάξεις διάτρησης που βλέπουμε παραπάνω είναι μοντέλα διάτρησης μίας οπής στο κατεργάσιμο τεμάχιο. Μοντελοποιούμε μία μόνο οπή, για να μπορέσουμε να υπολογίσουμε την ενέργεια που χρειάζεται, για να γίνει μία οπή και στην συνέχεια πολλαπλασιάζουμε επί 8 και επί 3, για να βρούμε την συνολική ενέργεια που απαιτείται. Στις εικόνες 41 και 42 διακρίνουμε το έμβολο, το οποίο είναι στο άνω άκρο της κατεργασίας, τον κυκλικό δακτύλιο-συγκρατητή του τεμαχίου κατεργασίας. Το τεμάχιο κατεργασίας και την μήτρα οπής. Παρακάτω θα δούμε το κάθε τεμάχιο ξεχωριστά και τις διαστάσεις του.

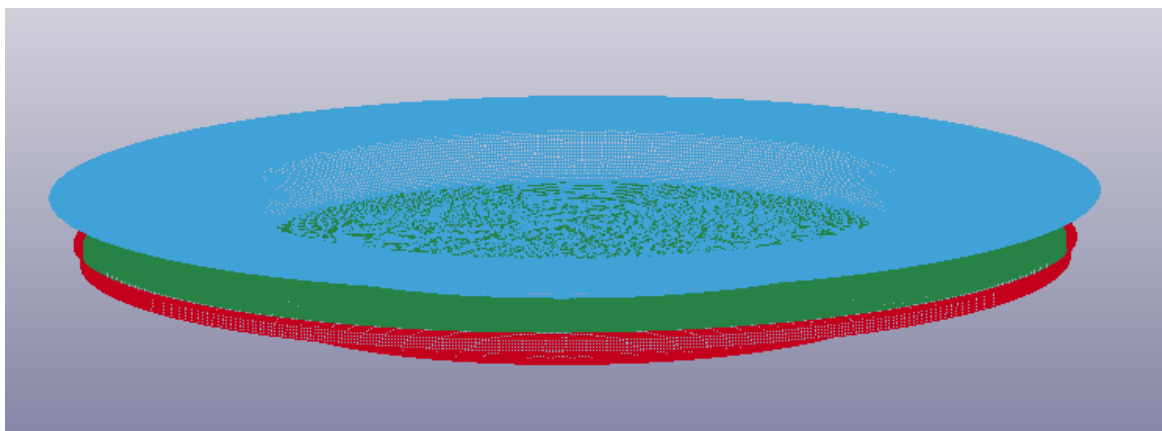
3.2 Διακριτοποίηση

Για να μπορέσουμε να εισάγουμε την γεωμετρία των μοντέλων από το SolidWorks στο LS-DYNA μετατρέψαμε το είδος του αρχείου που εξάγουμε από το SolidWorks από *PRT σε *IGES για να μπορέσει το LS-DYNA να «διαβάσει» το αρχείο. Κατόπιν αφαιρέσαμε όλες τις επιφάνειες, οι οποίες δεν εμπλέκονται στην κατεργασία.



Εικόνα 43 Επιφάνειες κατεργασίας κοίλανσης

Στην συνέχεια μετατρέπουμε τις επιφάνειες σε πεπερασμένα στοιχεία.



Εικόνα 44 επιφάνειες κατεργασίας σε πεπερασμένα στοιχεία



ΤΕΜΑΧΙΟ	ΧΡΩΜΑ	ΑΚΤΙΝΑ		ΤΥΠΟΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	ΠΑΧΟΣ (το πάχος της σταθερής επιφάνειας που ορίζουμε στο πρόγραμμα)
		ΕΣΩΤΕΡΙΚΗ	ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ		
Μήτρα	Κόκκινο	50mm	70mm	Shell	1mm
Έμβολο	Γαλάζιο	50mm	45mm	Shell	1mm
Φλάντζα	Πράσινο	70mm		Solid	3mm

Πίνακας 6 Διαστασιολόγηση και τυποποίηση επιφανειών κατά την διακριτοποίηση της κοίλανσης

Έχοντας ορίσει την γεωμετρία και το είδος των επιφανειών μπορούμε να ορίσουμε τα υλικά κατεργασίας. Για το έμβολο και την μήτρα επιλέγουμε τα υλικά να συμπαγή και σταθερά, ώστε να μην μεταβάλλονται οι επιφάνειες. Το κατεργάσιμο υλικό (φλάντζα) το θεωρούμε ισότροπο διότι παρουσιάζει τις ίδιες ιδιότητες (π.χ. μηχανικές) ανεξάρτητα ως προς τη διεύθυνση εξέτασής τους.

Για να ορίσουμε πλήρως τις μηχανικές ιδιότητες, επιλέγουμε 8 σημεία από την καμπύλη τάσεων παραμορφώσεων καθώς και την μέγιστη τάση (UTS) και το όριο διαρροής κατά von Mises. Επιλέγουμε το όριο διαρροής κατά Tresca, παρόλο που το πρόγραμμα στις απεικονίσεις που προσφέρει χρησιμοποιεί την θεωρία von Mises. Το όριο διαρροής κατά Tresca είναι χαμηλότερο και είναι πιο ασφαλές για να μπορέσουμε να προσομοιώσουμε την κατεργασία.

EPS1	EPS2	EPS3	EPS4	EPS5	EPS6	EPS7	EPS8
0.01545	0.01654	0.01779	0.0203	0.02129	0.0242	0.01056 8	0.28422
ES1	ES2	ES3	ES4	ES5	ES6	ES7	ES8
248.186	250.362	254.507	259.089	260.519	264.670	333.458	422.583 9

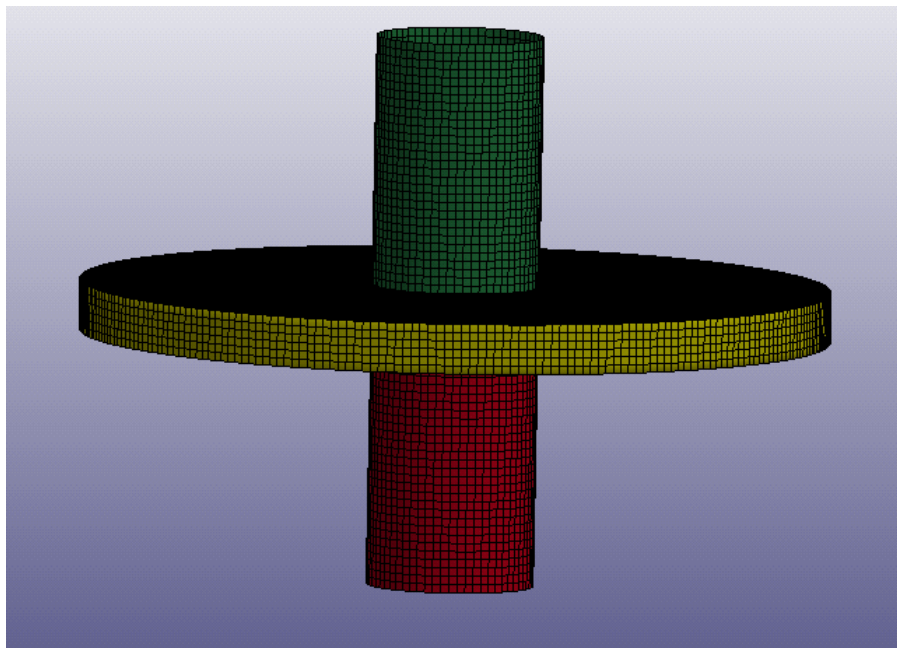
Πίνακας 7 ΣΗΜΕΙΑ ΤΑΣΕΩΝ – ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΟΝ ΟΡΙΣΜΟ ΤΩΝ ΙΔΙΟΤΗΤΩΝ ΤΟΥ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΜΟΥ ΥΛΙΚΟΥ

EPS: effective plastic strain value (πραγματική παραμόρφωση mm/mm)
 ES: Corresponding yield stress value (πραγματική τάση παραμόρφωσης MPa)

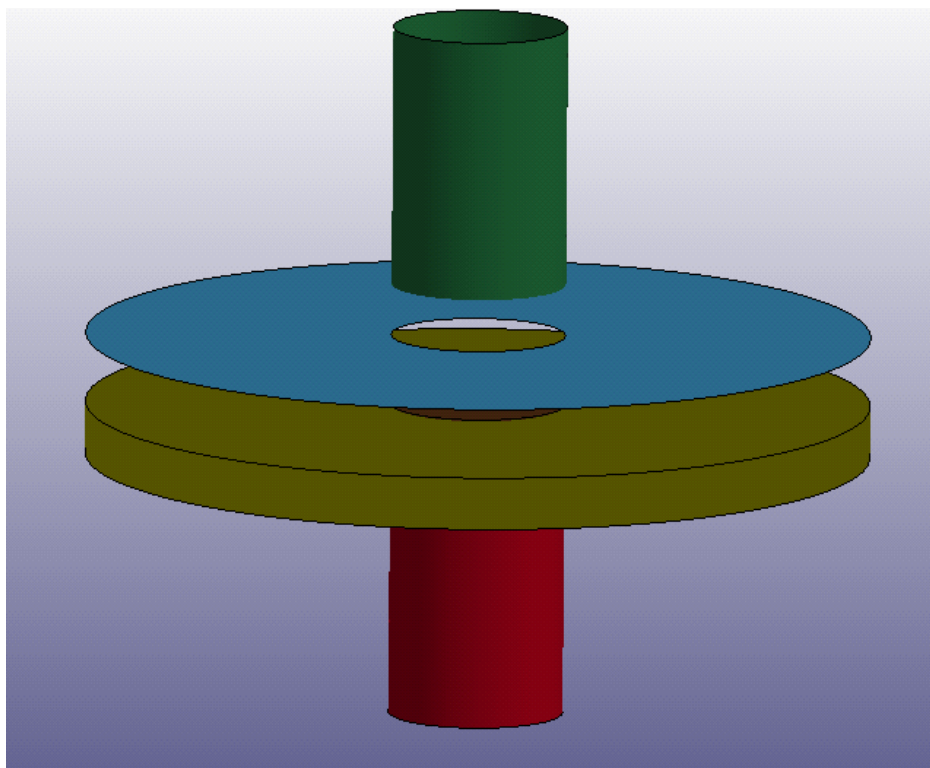
Στην συνέχεια ορίζουμε την πυκνότητα, το μέτρο Young, την κατανομή Poisson και την ελάχιστη τάση παραμόρφωσης. Όλα τα δεδομένα τα παίρνουμε από τις μηχανικές ιδιότητες του κατεργάσιμου χάλυβα. Είτε από τον μονοαξονικό εφελκυσμό είτε από τα δεδομένα του κατασκευαστή. Έπειτα ορίζουμε τις οριακές συνθήκες των επαφών των επιφανειών και την συνάρτηση μεταφοράς του εμβόλου ταχύτητα 2m/s

ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΙΜΟΤΗΤΑ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΥΛΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

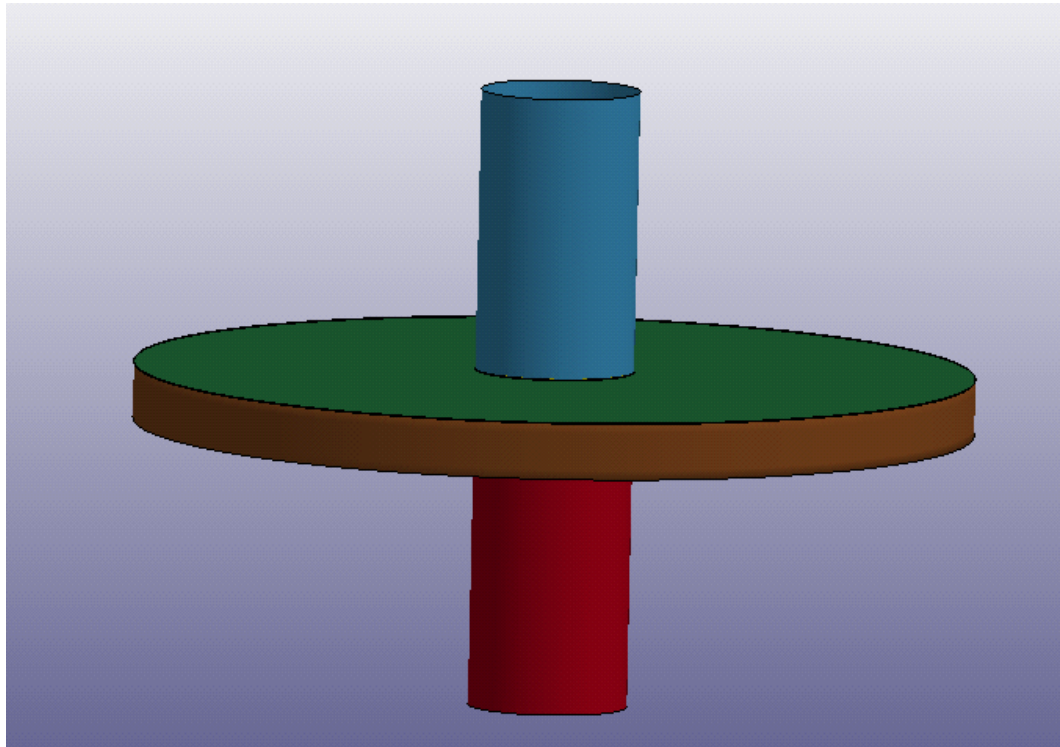
και κίνηση στον κάθετο άξονα y . Τις ίδιες οριακές συνθήκες ορίζουμε και στις προσομοιώσεις των διατρήσεων καθώς τα συνεργαζόμενα υλικά είναι τα ίδια και οι συνθήκες σε θερμοκρασία και ταχύτητα της κατεργασίας είναι και αυτές ίδιες.



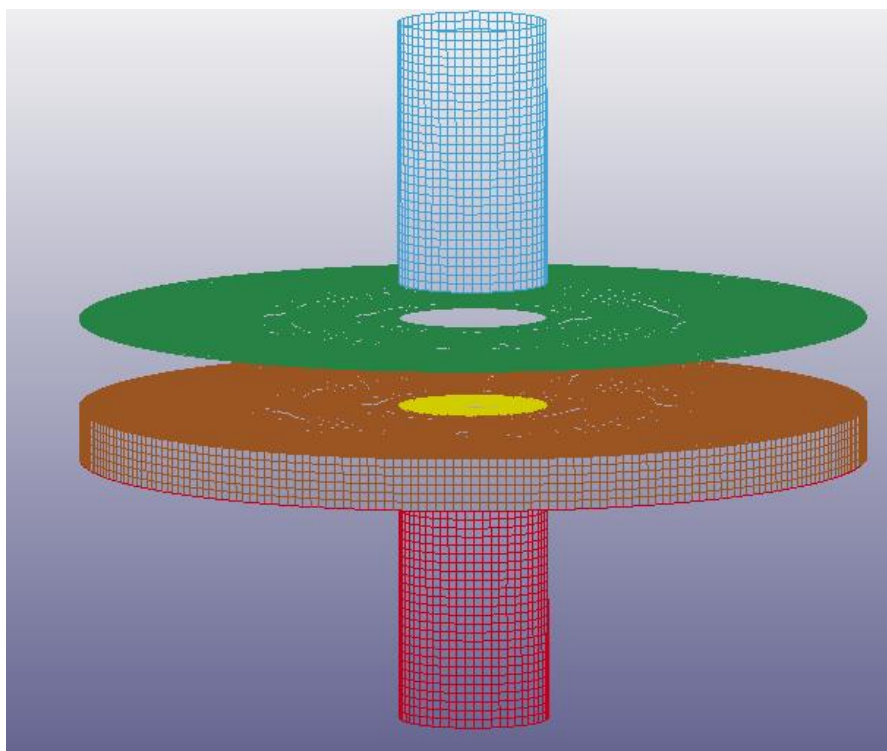
Εικόνα 45 μοντέλο διάτμησης 10mm



Εικόνα 46 συνεργαζόμενες επιφάνειες μοντέλου διάτμησης οπής 10 mm



Εικόνα 47 μοντέλο διάτμησης 8.5mm



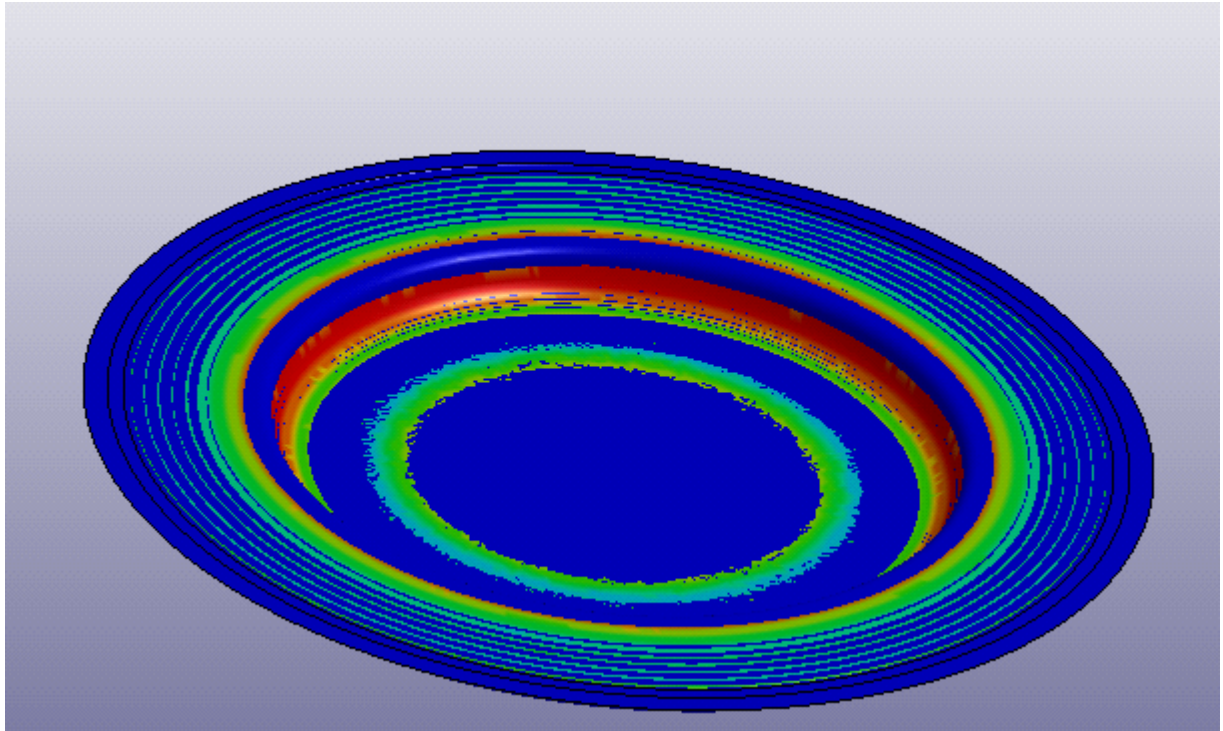
Εικόνα 48 πεπερασμένα στοιχεία μοντέλου διάτμησης 8.5mm



Στις προηγούμενες εικόνες είδαμε τις διατάξεις διάτρησης 10mm και 8.5 mm. Διακρίνονται από πάνω προς τα κάτω το έμβολο, ο δακτύλιος συγκράτησης, το τεμάχιο κατεργασίας και το υλικό που αφαιρείται και η μήτρα της διάτρησης.

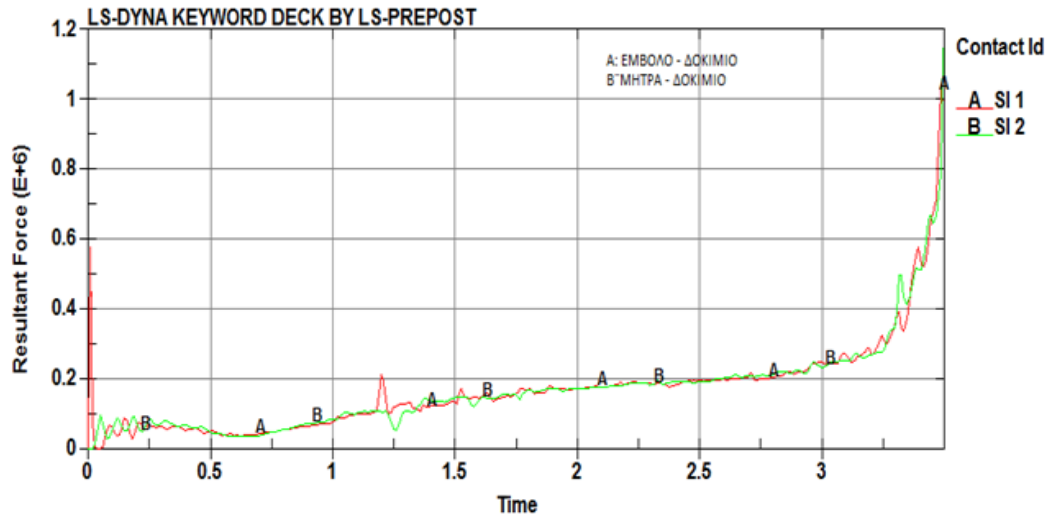
3.3 Διαδικασία προσομοίωσης

Για την διαδικασία της προσομοίωσης ορίσαμε σαν περίοδο το 0.1ms για έχουμε 35 φάσεις της κατεργασίας.

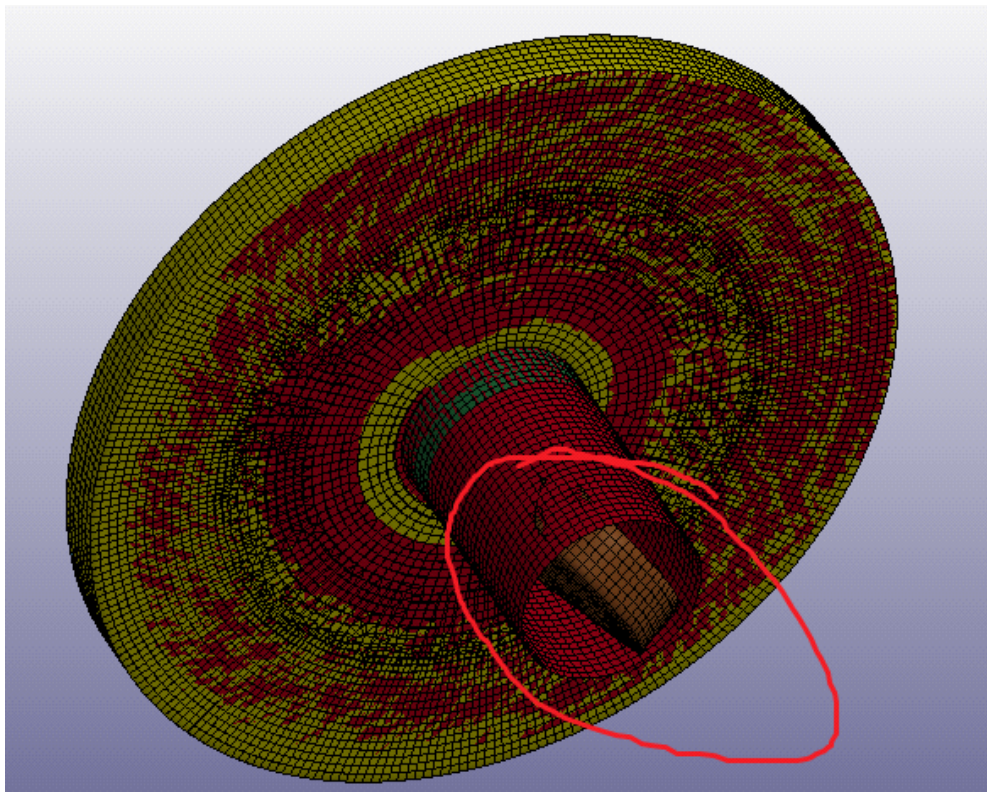


Σχήμα 19 Η κατανομή των τάσεων κατά von mises

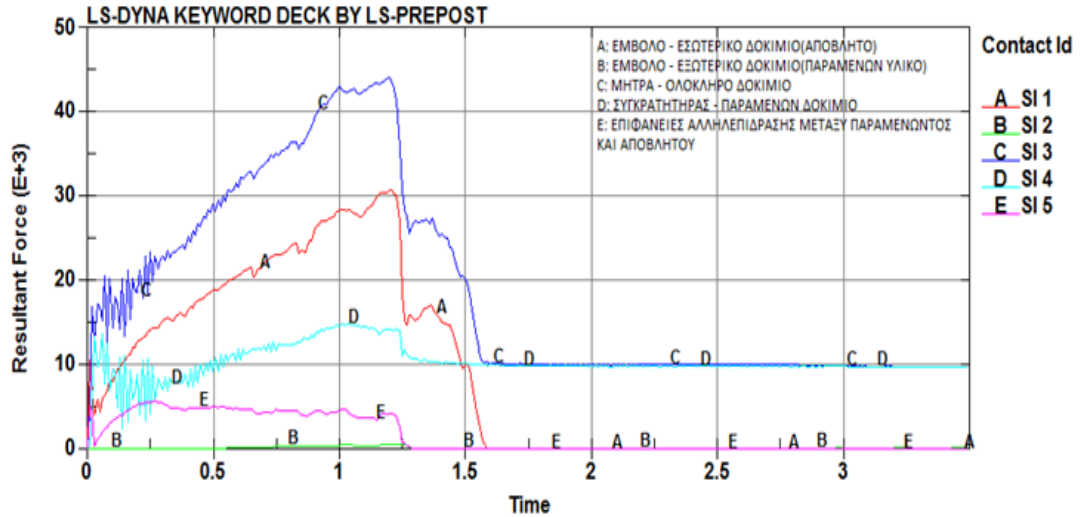
Στο τέλος της κατεργασίας παρατηρούμε την φόρτιση στο χείλος του εμβόλου και της διαμόρφωσης του κυαθίου. Μας προϊδεάζει ότι ενδεχομένως να υπάρχει γυαλάδα (φαινόμενο ironing) στον κυκλικό δακτύλιο στο εσωτερικό του κυαθίου κάτι που είναι πραγματικό. Στο σημείο αυτό συμπιέζεται το υλικό κατά την μετατόπιση στην οποία υπόκειται ώστε να προκύψει η διαμόρφωση της κοίλανσης.



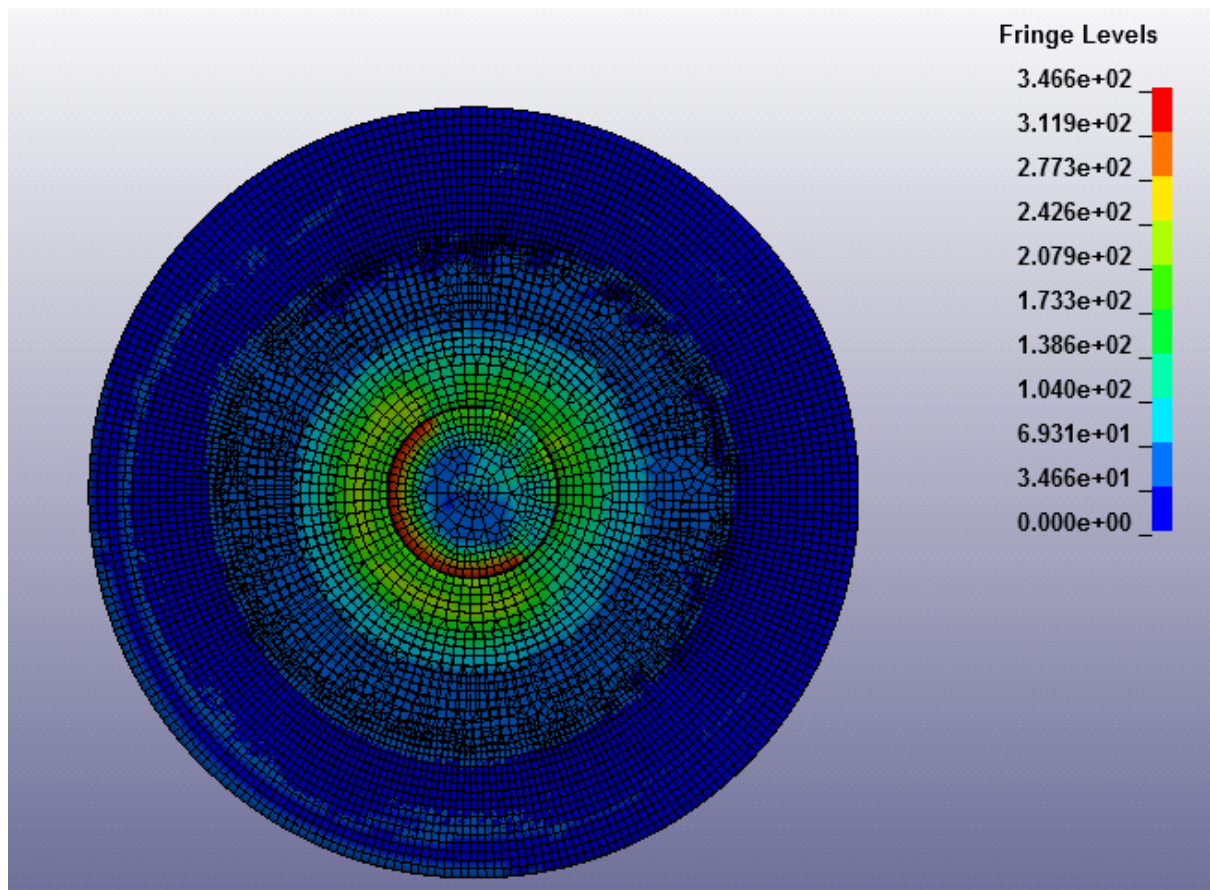
Σχήμα 20 συνιστάμενη δύναμη που ασκείται κατά την κατεργασία σε συνάρτηση με τον χρόνο



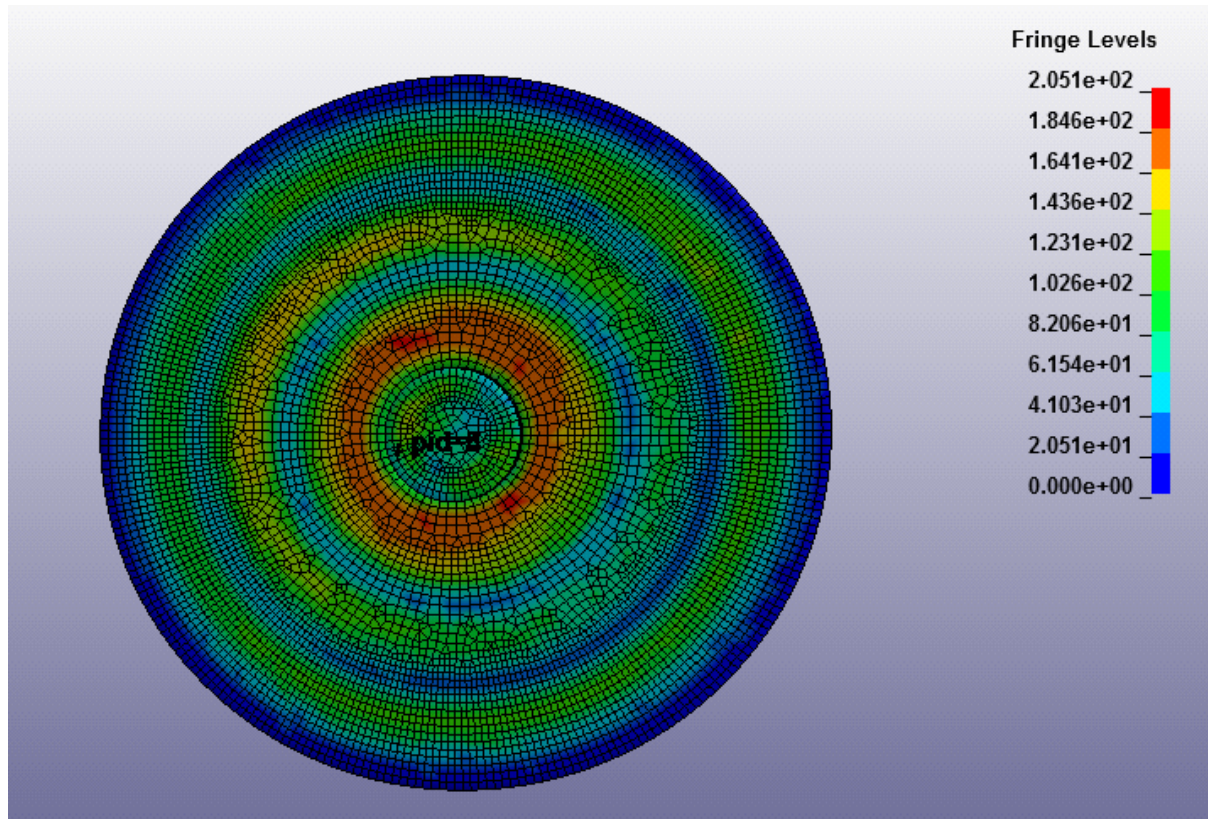
Εικόνα 49 Προσομοίωση της διάτμησης 10mm. Διακρίνεται το απότμημα



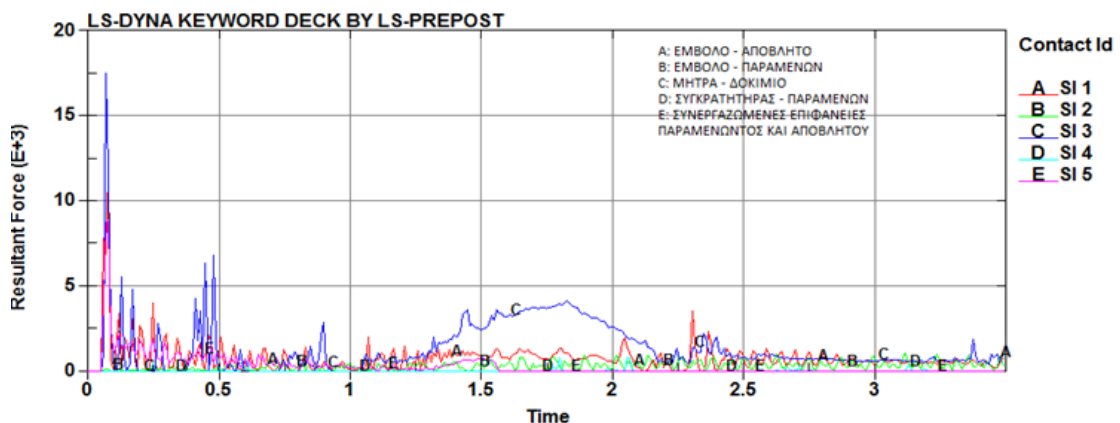
Σχήμα 21 Δυνάμεις αντιδράσεων μεταξύ των κατεργαζόμενων επιφανειών διάτμησης 10mm



Εικόνα 50 κατανομή τάσεων κατά von Mises κατά την διάτμηση των 10mm



Εικόνα 51 κατανομή τάσεων παραμόρφωσης στο δοκίμιο κατά von Mises κατά την διάτμηση 8.5mm



Σχήμα 22 Δυνάμεις αντιδράσεων μεταξύ των κατεργαζόμενων επιφανειών διάτμησης 8.5mm



3.4 Συμπεράσματα

Κατά την προσομοίωση των κατεργασιών της κοίλανσης και της απότμησης, και σε αντιπαραβολή των πραγματικών συνθηκών κατασκευής της γραμμής παραγωγής επιβεβαιώνονται η παρουσία του φαινομένου Ironing στον κάτω εσωτερικό δακτύλιο της διαμόρφωσης του κυαθίου καθώς και η ροή υλικού στην μήτρα της απότμησης. Τούτο συμβαίνει καθώς η σχεδίαση της μήτρας είναι τέτοια ούτως ώστε να διατηρείται ίδιο πάχος στο υλικό του δοκιμίου. Έτσι, το υλικό συμπιέζεται στον δακτύλιο αυτό όπως δείχνει και το διάγραμμα των τάσεων von Mises που μας δίνει το LS-DYNA. Παρατηρείται πραγματική απεικόνιση της κατεργασίας καθώς κατά την εργασία μου στην γραμμή παραγωγής παρατήρησα την ιδιαιτερότητα στην βάση του κυαθίου που παρατηρήσαμε από την κατανομή τάσεων κατά von Mises. Η δημιουργία του αποβλήτου στην προσομοίωση είναι ακριβώς ίδια με την πραγματική. Στην διάτρηση των 10mm το απόβλητο παραμορφώνεται και δεν φεύγει σαν κυκλικός δίσκος όπως στην οπή των 8.5mm. Αυτό οφείλεται και στη διαφορετική διαμόρφωση της μήτρας καθώς θέλουμε να διαρρεύσει υλικό περιμετρικά της οπής και να δημιουργηθεί ένα χείλος διαμέτρου 12 mm και ύψους 2mm ώστε να μεγαλώσει η επιφάνεια επαφής της σωληνωτής αντίστασης με την φλάντζα στήριξης. Από το διάγραμμα του φορτίου των δύο κατεργασιών προκύπτει ότι η μέγιστη τιμή του δεν ξεπερνά τους 2,13 τόνους σε καμία από τις περιπτώσεις. Όσον αφορά στην κατεργασία της απότμησης, εάν αθροίσουμε 8 φορές τη δύναμη για τη διάτρηση των 10mm, καθώς είναι 8 οι οπές που χρειαζόμαστε, η δύναμη που απαιτείται είναι μικρότερη του 1 τόνου. Αντίστοιχα, για την διάτρηση των 8.5mm όπου οι οπές που δημιουργούνται είναι 3 η δύναμη που απαιτείται είναι μικρότερη του μισού τόνου. Συγκεκριμένα για την κοίλανση το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο είναι 2,13 τόνοι. Για την διάτμηση των 10mm, το ελάχιστο απαιτούμενο φορτίο, είναι 768.160Nt και για την διάτρηση των 8.5mm είναι 110.190Nt.

Η διαδικασία κατασκευής των μοντέλων της προσομοίωσης στο SolidWorks αλλά και η απεικόνιση τους είναι απόλυτα πραγματική. Οι σχεδιαστικές δυνατότητες του προγράμματος σε συνδυασμό με την ενδελεχή μελέτη και την εμπειρία από την παρουσία μου στην γραμμή παραγωγής έδωσαν την δυνατότητα να είναι πλήρως πραγματική η απεικόνιση και των διατάξεων της κοίλανσης και των διατμήσεων αλλά και των προϊόντων που παράγονται.

Τα πειράματα του μονοαξονικού εφελκυσμού μας έδωσαν τις απαραίτητες πληροφορίες μέσω των αρχείων *raw για τις μηχανικές ιδιότητες των ελασμάτων που χρησιμοποιούνται στην γραμμή παραγωγής. Έτσι ήταν εφικτό να έχουμε μια πραγματική αποτύπωση των κατεργασιών στο LS-DYNA. Τα αποτελέσματα κρίθηκαν σωστά καθώς κατά την προσομοίωση των κατεργασιών και την χρησιμοποίηση των αποτελεσμάτων του μονοαξονικού εφελκυσμού επετεύχθησαν πραγματικές προσομοιώσεις.



ΒΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Κατεργασίες των Υλικών 1 , Α. Γ. Μάμαλη, , εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998
- Κατεργασίες των Υλικών 2, Α. Γ. Μάμαλη, , εκδόσεις Ε.Μ.Π., Αθήνα 1998
- Πειραματική Αντοχή των Υλικών ,Β.Δ. Κωνσταντέλλος, , εκδόσεις Ε.Μ.Π. 2006
- Σημειώσεις του μαθήματος Κατεργασίες 1 , Δ. Μανωλάκος,
- Σημειώσεις του μαθήματος Κατεργασίες 2, Δ. Μανωλάκος,
- Σημειώσεις του μαθήματος Τεχνικά Υλικά , Δ. Μανωλάκος,
- **Determination of forces in high speed blanking using FEM and experiments**, Soumya Subramonian, Taylan Altan, Craig Campbell, Bogdan Ciocirlan, Journal of Materials Processing Technology, Volume 213, Issue 12, December 2013, Pages 2184-2190
- **Study on flanged shapes in fineblanked-hole flanging process (FB-hole flanging process) using finite element method (FEM)**, Sutasn Thipprakmas, Masahiko Jin, Masao Murakawa, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 192–193, 1 October 2007, Pages 128-133
- **Effect of geometric factors and processing parameters on plastic damage of SUS304 stainless steel by small punch test**, Sisheng Yang, Jianxin Zhou, Xiang Ling, Zheng Yang, Materials & Design, Volume 41, October 2012, Pages 447-452
- **Perforation of metal plates due to through-thickness shearing and cracking. Optimum toughness/strength ratios, deformation transitions and scaling**, Tony Atkins, International Journal of Impact Engineering, Volume 48, October 2012, Pages 4-14
- **Finite element model fracture prediction during sheet-metal blanking processes**, Ridha Hambli , Engineering Fracture Mechanics, Volume 68, Issue 3, 15 February 2001, Pages 365-378
- **Finite element modeling of sheet-metal blanking operations with experimental verification**, Ridha Hambli, Alain Potiron, Journal of Materials Processing Technology, Volume 102, Issues 1–3, 15 May 2000, Pages 257-265
- **Springback prediction with FEM analysis of advanced high strength steel stamping process**, S. Al Azraq, R. Teti, J. Costa, Intelligent Production Machines and Systems, 2006, Pages 264-269



- **Process simulation in stamping – recent applications for product and process design**, W Thomas, T Oenoki, T Altan, Journal of Materials Processing Technology, Volume 98, Issue 2, 29 January 2000, Pages 232-243
- **The evaluation of springback in 3D stamping and coining processes**, A. Forcellese, L. Fratini, F. Gabrielli, F. Micari, Journal of Materials Processing Technology, Volumes 80–81, 1 August 1998, Pages 108-112
- **Three-dimensional finite-element method simulations of stamping processes for planar anisotropic sheet metals**, S.Y. Lee, Y.T. Keum, K. Chung, J.M. Park, F. Barlat, International Journal of Mechanical Sciences, Volume 39, Issue 10, October 1997, Pages 1181-1198
- **The application of the formability utilization indicator for finite element modeling the ductile fracture during the material blanking process**, Stanisław Kut, Materials & Design, Volume 31, Issue 7, August 2010, Pages 3244-3252



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Οδηγός εκμάθησης SolidWorks
- Οδηγός εκμάθησης LS-DYNA
- www.wikipedia.com
- <http://www.steel.org/> (American Iron and Steel Institute)
- <http://www.hotco.com.au/tubulars.html>
- <http://www.backer.se/en/Products/Tubular-heating-element1/>
- <http://www.backer.se/en/About-Backer/History/>
- <http://www.sciencedirect.com/>



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΑ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΑ

1. **SolidWorks** της Dassault Systemes SolidWorks Corp
2. **MS Office Word και Power Point**
3. **LS-DYNA** της Livermore Software Technology Corporation (LSTC)