



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

**«ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΚΑΛΟΥΠΙΩΝ ΓΙΑ
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΥΛΙΝΔΡΙΚΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ ΑΠΟ CFRP ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΠΡΩΤΟΤΥΠΩΝ ΔΟΚΙΜΙΩΝ»**



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ ΚΑΡΑΚΙΖΗ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ
ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π. Κος ΔΗΜ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

ΑΘΗΝΑ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2012

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες σε αυτούς που συνέβαλαν στην πραγματοποίηση αυτής της εργασίας με οποιοδήποτε τρόπο. Συγκεκριμένα:

- Τον Καθηγητή Κο Δημ. Μανωλάκο της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ για την υπόδειξη του θέματος, τις πολύτιμες συμβουλές του, το ενδιαφέρον και τη συμπαράσταση που έδειξε σε όλη τη διάρκεια της εργασίας αυτής.
- Τον Υπ. Διδάκτορα Κο Αλ. Κιτσέλη της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθειά του σε όλα τα στάδια της εν λόγω εργασίας καθώς και για την παραχώρηση του εξοπλισμού του μηχανουργείου της εταιρείας Κιτσέλης - Θεοδωρίδης ΟΕ.
- Τον Διδάκτορα Νικ.Γαλάνη της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών του ΕΜΠ για την πολύτιμη βοήθειά του στον προγραμματισμό του CNC κέντρου κατεργασιών ΜΧ45VΑΕ της εταιρείας ΟΚUΜΑ.
- Την οικογένειά μου και τους φίλους μου για την αμέριστη συμπαράστασή τους.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. Περίληψη.....	4
2. Εισαγωγή - Θεωρητικό μέρος	5
Ανθρακας	5
Ίνες ανθρακα - γενικά.....	5
Παραγωγή ινών άνθρακα.....	6
Δομή ινών άνθρακα.....	7
Παραγωγή υφάσματος από ίνες άνρακα.....	8
Εμποτισμός των υφασμάτων με ρητίνη	11
Ιδιότητες ινών άνθρακα	14
Πολυμερή	16
Ρητίνες	16
Εποξειδικές ρητίνες.....	17
Σύνθετα υλικά.....	19
Σύνθετα υλικά με ενίσχυση ινών	20
Αλουμίνιο.....	23
Σειρά κραμάτων 7000	24
Αλουμίνιο 7075 T651	24
CAD - CAM - CNC	28
3. Σχεδιασμός	29
4. Κατεργασία.....	46
5. Εξομοίωση καταπονήσεων - υπολογισμός διαστρωματώσεων.....	63
6. Προετοιμασία του καλουπιού	80
7. Διαστρωμάτωση CFRP	81
8. Κατασκευή πνευματικού κυκλώματος	85
9. Κλείσιμο και 'ψήσιμο' του καλουπιού	88
10. Ξεκαλούπωμα και παραλαβή του δοκιμίου - παλουκόσελου	92
11. Επίλογος.....	94
12. Βιβλιογραφία	95
Παράρτημα	

1.ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της εν λόγω διπλωματικής εργασίας είναι ο σχεδιασμός και η κατασκευή μεταλλικών καλουπιών για κατασκευή κυλινδρικών δοκιμίων από CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic) και στη συνέχεια η κατασκευή των δοκιμίων αυτών. Ο σχεδιασμός των καλουπιών έγινε με το πρόγραμμα Solidworks της εταιρείας Dassault Systèmes SolidWorks Corp. Κατόπιν έγινε χρήση του προγράμματος Solidcam της ίδιας εταιρείας με το οποίο καθορίστηκε ο τρόπος κατεργασίας των καλουπιών, η επιλογή των κοπτικών εργαλείων και η δημιουργία του κώδικα G για την εργαλειομηχανή. Η εργαλειομηχανή που χρησιμοποιήθηκε είναι τοCNC κέντρο κατεργασιών της εταιρείας OKUMAκαι συγκεκριμένα το μοντέλο MX45VAE το οποίο βρίσκεται στο Εργαστήριο Κατεργασιών των Υλικών της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών. Στη συνέχεια έγιναν περαιτέρω κατεργασίες διαμόρφωσης των καλουπιών σε συμβατική φρέζα της εταιρείας Vermac, κοπή των καλουπιών σε κορδέλα της εταιρείας Vermac καθώς και παραγωγή των δύο κωνικών σφηνών που χρησιμοποιήθηκαν σε τόρνο της εταιρείας Vermac. Ακολουθεί η επιλογή του υλικού για τη δημιουργία των κυλινδρικών δοκιμίων (ανθρακόνημα T300 πλεκτό και μονοδιευθυντικό προεμπτισμένο με ρητίνη). Έπειτα έχουμε την προετοιμασία των καλουπιών για να δεχθούν το υλικό, τη διαστρωμάτωση του υλικού, τη δημιουργία του κυκλώματος πίεσης και τον προγραμματισμό του PLCτου φούρνου. Μετά έλαβε χώρα το "ψήσιμο", η ξεκαλούπωση, η παραλαβή και η κοπή-φινίρισμα των δοκιμίων. Τελικά αποφασίστηκε ότι τα κυλινδρικά δοκίμια θα χρησιμοποιηθούν ως παλουκόσελα για εφαρμογή σε αγωνιστικά ποδήλατα γι'αυτό και έγινε μοντελοποίησή τους ως αλουμινένια και μελέτη - εξομοίωση μέσω του προγράμματος AnsysWorkbench 14 για να αποφασιστεί το τελικό πάχος που πρέπει να έχουν έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για αγωνιστική χρήση σύμφωνα με τις διατάξεις(EN 14781) του CEN(EuropeanCommitteeforStandardization). Από τα αποτελέσματα αυτά έγινε εκ νέου μοντελοποίησή τους ως ανθρακονημάτινα με το πρόγραμμα Solidworks και υπολογισμός των διαστρωματώσεων του CFRP που θα χρησιμοποιηθούν.

2.ΕΙΣΑΓΩΓΗ-ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

ΑΝΘΡΑΚΑΣ

Οι δύο γνωστότερες αλλοτροπικές μορφές του άνθρακα είναι ο αδάμας και ο γραφίτης. Ο αδάμας λόγω της sp^3 υβριδοποίησης έχει δομή κυβική, ενώ ο γραφίτης λόγω της sp^2 υβριδοποίησης των ατόμων άνθρακα έχει δομή στοιβάδων, όπου κάθε στοιβάδα τους αποτελείται από σειρά εξαγώνων συνδεδεμένων μεταξύ τους και όπου κάθε στοιβάδα βρίσκεται πάνω σε άλλη κατά την σειρά ABABA κ.ο.κ. Οι δεσμοί στο βασικό επίπεδο είναι εξαιρετικά ισχυροί και άκαμπτοι και έτσι και το μέτρο ελαστικότητας κατά τον α-άξονα είναι πολύ υψηλό. Το υλικό μπορεί να αντέχει σε θερμοκρασίες 3.3000C (σε μη οξειδωτική ατμόσφαιρα) χωρίς να υφίσταται θερμική αποικοδόμηση(θραύση δεσμών). Οι δεσμοί μεταξύ των επιπέδων είναι του ασθενούς τύπου των δυνάμεων Van der Waals και έτσι ο κρύσταλλος μπορεί να στρέφεται διατμητικά και να αποσχίζεται εύκολα σε επίπεδα κάθετα προς τον c-άξονα ακόμη και για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Η απόσταση μεταξύ ατόμων άνθρακα στις στοιβάδες είναι 1,42 Å , ενώ το διάστημα μεταξύ δύο όμοιων στοιβάδων είναι 3,354 Å .

Η δομή του γραφίτη μπορεί να υποστεί μόνιμη στρέβλωση (παραμόρφωση) με ευκολία, απλά με κάμψη ή διάτμηση των στοιβάδων. Ο αδάμας αποτελείται από άτομα άνθρακα σε τετραεδρική κατάσταση με διευθέτηση χωρίς στρέβλωση σχηματίζοντας τυπικό κυβικό πλέγμα .

ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ- ΓΕΝΙΚΑ

Οι ίνες άνθρακα έχουν μελετηθεί εκτενώς από το 1960 λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών τους, όπως την υψηλή αντοχή τους (3-7 GPa), το υψηλό μέτρο ελαστικότητας (200-500 GPa), την θλιπτική αντοχή (1-3 GPa), το μέτρο διάτμησης (10-15 GPa) και την χαμηλή πυκνότητα (1,75- 2,00 g/cm³). Οι ίνες άνθρακα προέρχονται από διάφορες πρόδρομες ουσίες, συμπεριλαμβανομένων των ισότροπων και των μεσοφασικών υλικών, αλλά και των πολυακρυλονιτριλίων (PAN).

Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι οι τελευταίες ουσίες είναι και οι ευρύτερα χρησιμοποιούμενες σήμερα. Οι ίνες άνθρακα που παρασκευάζονται από την πίσσα μπορεί να παρουσιάζουν συντελεστή αγωγιμότητας, αλλά και θερμικές και ηλεκτρικές αγωγιμότητες τόσο υψηλές όσο τα 900 Gra , 1000 W / mK, και 106 S / m, αντίστοιχα.

Οι ιδιότητες των ινών άνθρακα τις καθιστούν χρήσιμα ενισχυτικά μέσα για σύνθετες εφαρμογές. Οι ίνες άνθρακα έχουν μετατραπεί σε ένα ευρέως χρησιμοποιούμενο υλικό στην αεροδιαστημική βιομηχανία, ενώ η χρήση τους σε αυτοκίνητα, αθλητικά είδη και άλλες βιομηχανίες συνεχίζει να κατακτά όλο και περισσότερο έδαφος όσο το κόστος τους εξακολουθεί να μειώνεται.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες άνθρακα είναι ένα πολυμερές που παρουσιάζει την μορφή του γραφίτη. Στον γραφίτη, ως γνωστόν, τα άτομα άνθρακα είναι διατεταγμένα με την μορφή φύλλων από εξαγωνικούς αρωματικούς δακτυλίους. Οι ίνες άνθρακα είναι γραφίτης στον οποίο τα φύλλα είναι μακριά και λεπτά, σαν ταινίες. Ένα σύνολο από τέτοιες λουρίδες μαζί αποτελούν μια ίνα άνθρακα. Οι ίνες αυτές δεν χρησιμοποιούνται από μόνες τους, αλλά για να ενισχύσουν άλλα (θερμοστατικά) υλικά, όπως εποξειδικές ρητίνες κ.α. Τα ενισχυμένα με ίνες άνθρακα υλικά είναι πολύ ισχυρά σε σχέση με το βάρος τους.

Ίνες άνθρακα μπορούν να παραχθούν με χρησιμοποίηση ως πρώτης ύλης:

- 1) Ίνες πολυακρilonιτριλίου (PAN),
- 2) Ίνες κυτταρίνης (Rayon),
- 3) Πίσσας (κατόπιν κατάλληλης νηματοποίησης)

Για την παραγωγή όλων των παραπάνω κατηγοριών ινών άνθρακα απαιτείται να ακολουθηθεί μία σειρά βημάτων. Αναλυτικά,

- 1) Διαδικασία νηματοποίησης-οξειδωσης για την παραγωγή ενός πρόδρομου σταδίου. Αυτό συμπεριλαμβάνει υγρό και στεγνό στροβιλισμό ακολουθούμενο από τέντωμα των ινών.
- 2) Διαδικασία σταθεροποίησης της ίνας, η οποία την προστατεύει από πιθανή τήξη λόγω των υψηλών θερμοκρασιών επεξεργασίας.
- 3) Διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που καλείται *ανθρακοποίηση* με σκοπό την απομάκρυνση τυχόν προσμίξεων.
- 4) Τέλος, διαδικασία θερμικής επεξεργασίας που καλείται γραφίτοποίηση και η οποία βελτιώνει τις ιδιότητες που έχει αποκτήσει η ίνα από την διαδικασία της εξανθράκωσης.

Αξίζει εδώ να σημειωθεί πως για να παραχθεί ίνα με υψηλό μέτρο ελαστικότητας, θα πρέπει να προσανατολιστούν κατάλληλα οι γραφίτικοί κρύσταλλοι. Το γεγονός αυτό επιτυγχάνεται από ποικίλα είδη θερμικών και εφελκυστικών διαδικασιών. Για παράδειγμα, εφαρμογή μιας συνεχούς δύναμης για μεγάλο χρονικό διάστημα θα οδηγούσε σε έντονη επιμήκυνση της ίνας και κατ'επέκταση η παράλληλη μείωση υλικού κατά τόπους σε πιθανή αστοχία υλικού.

ΔΟΜΗ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Δομή γραφιτικού άνθρακα

Οι ίνες άνθρακα της κατηγορίας αυτής ανήκουν στους θερμικά μη γραφιοποιημένους άνθρακες. Διακρίνονται σε ισότροπες και ανισότροπες ίνες. Οι πρώτες ίνες που κατασκευάστηκαν με πρόδρομο υλικό την πίσσα είχαν ισότροπη δομή και οι γραφικές στοιβάδες δεν παρουσίαζαν κανένα προσανατολισμό, ενώ το μέτρο ελαστικότητας τους ήταν χαμηλό. Οι ίνες αυτές με πλαστική παραμόρφωση σε υψηλές θερμοκρασίες (τανυσμός κατά τη γραφιοποίησή τους) μπορούν να μετατραπούν σε ανισότροπες ίνες άνθρακα έχοντας μεγαλύτερο μέτρο ελαστικότητας. Ωστόσο, μεγαλύτερο τεχνολογικό ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι ίνες, οι οποίες είναι ανισότροπες ήδη από το στάδιο της ανθρακοποίησής τους. Επίσης, οι ίνες αυτές αποτελούνται σχεδόν αποκλειστικά από χημικώς καθαρό άνθρακα, σε ποσοστό 99.9%. Δεν είναι χημικές ενώσεις ή κράματα, όπως τα συμβατικά υλικά κατασκευής για παράδειγμα το αλουμίνιο ή το ασάλι που συνήθως περιέχουν μικρά ποσά από άλλα μέταλλα .

Το δομικό συστατικό των ινών αυτών είναι μονοϊνίδια (monofilaments), τα οποία είναι προσανατολισμένα παράλληλα στον άξονα της ίνας. Κάθε μονοϊνίδιο αποτελείται από στρώματα γραφικών επιπέδων, τα οποία συγκρατούνται μεταξύ τους με δυνάμεις Van der Waals, ενώ τα άτομα άνθρακα κάθε στρώματος ενώνονται με ισχυρούς δεσμούς sp. Έχουν παρατηρηθεί και μελετηθεί τόσο άμορφες αλλά και κρυσταλλικές περιοχές δομής γραφίτη, που εναλλάσσονται με τυχαίο τρόπο. Ανάλογα με την τελική θερμοκρασία γραφιοποίησης, τα γραφικά πλέγματα άλλοτε μπορεί να είναι εκτεταμένα και συνεχή κατά μήκος της ίνας και άλλοτε όχι, ενώ δεν παρουσιάζουν την τυπική A-B-A τοποθέτηση κατά τον άξονα Z, γεγονός που σε συνδυασμό με την απόσταση μεταξύ τους (που στον γραφίτη είναι ελαφρώς μικρότερη) δομικά διαφοροποιεί τις ίνες άνθρακα από τον γραφίτη .

Δομή επιφανειακά κατεργασμένων ινών άνθρακα

Η επιφανειακή σύσταση των ινών άνθρακα, οι οποίες προέρχονται από διάφορες κατασκευαστικές διαδικασίες, αποτελείται από σεβαστές ποσότητες οξυγόνου καθώς και ίχνη αζώτου και υδρογόνου. Το οξυγόνο αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από την πρώτη ύλη, η οποία γίνεται μέρος της χημικής δομής της ίνας σαν αποτέλεσμα ατελούς ανθρακοποίησης είτε ενώνεται χημικά με την επιφάνεια μέσω κάποιας επιφανειακής επεξεργασίας των ινών. Όλες οι επιφανειακές επεξεργασίες τείνουν να τροποποιήσουν την διεπιφανειακή περιοχή των ινών άνθρακα αυξάνοντας την επιφανειακή περιοχή, και έτσι αυξάνεται ο αριθμός των σημείων επαφής ή αυξάνεται η αντιδραστικότητα της περιοχής μέσω σχηματισμού επιφανειακών λειτουργικών ομάδων, οι οποίοι παρέχουν χημικό δεσμό μεταξύ ρητίνης και μήτρας .

Η ακριβής δομή των ινών άνθρακα διαφέρει ανάλογα με τη συγκεκριμένη μέθοδο επιφανειακής επεξεργασίας. Έτσι, για παράδειγμα, όσο αφορά τις οξειδωτικές επεξεργασίες, όταν η οξείδωση γίνεται από την αέρια φάση σε υψηλές θερμοκρασίες, προκαλείται υποβάθμιση των ινών και δημιουργία 'βελονών' στη δομή

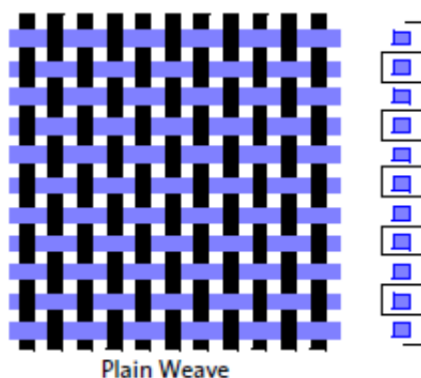
τους με αποτέλεσμα να μειώνονται οι αντοχές τους ενώ όταν η διεργασία της οξειδωσης γίνεται από την υγρή φάση είναι πιο ήπια και δεν προκαλεί υποβάθμιση των ινών. Όσο αφορά τις μη οξειδωτικές μεθόδους, κατά την επικάλυψη των ινών με πολυμερή, οι αντοχές των ινών και κυρίως η αντοχή σε διάτμηση αυξάνονται λόγω του ότι δημιουργείται ένας ισχυρός δεσμός στο γραφιτικό υπόβαθρο.

ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΥΦΑΣΜΑΤΟΣ ΑΠΟ ΙΝΕΣ ΑΝΘΡΑΚΑ

Οι ίνες ενίσχυσης μπορεί να είναι πλεγμένες σε υφάσματα. Οι ίνες που έχουν κατεύθυνση αυτήν του τυλίγματος (στο ρόλο που είναι τυλιγμένο το ύφασμα) ονομάζονται ίνες τυλίγματος (wrapfibers) και αυτές που έχουν κάθετη κατεύθυνση από αυτήν που ονομάζονται υφάδια. Υπάρχουν πολλά είδη υφάσματος που χρησιμοποιούνται συνήθως στην βιομηχανία.

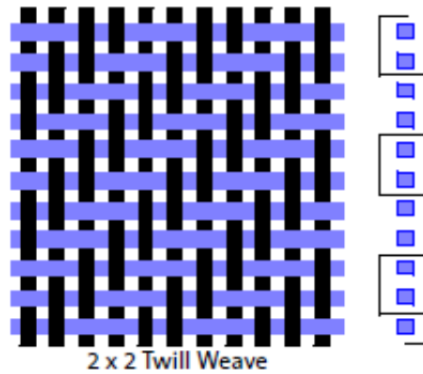
Απλή ύφανση

Ίνες τυλίγματος πλέκονται με τα υφάδια κάθε φορά που τα συναντούν. Το τελικό ύφασμα είναι πολύ σταθερό, αλλά δύσκολο να ακολουθήσει απότομες αλλαγές στην επιφάνεια που εφαρμόζεται (καλούπι). Τέτοιου είδους πλεκτά μπορούν να έχουν πολύ περισσότερες ίνες τυλίγματος και να μοιάζουν σχεδόν με την μορφή του μονοδιευθυντικού.



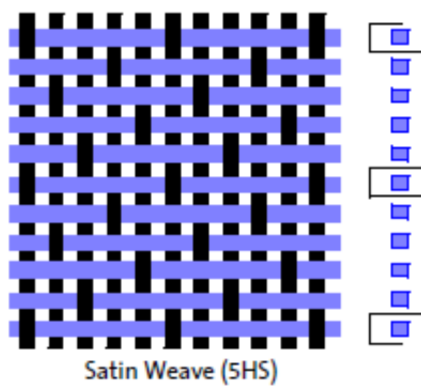
Διαγώνια ύφανση

Οι ίνες περνούν πάνω και κάτω από κάποιον αριθμό δεσμίδων ινών, π.χ. 2x2 διαγώνια ύφανση είναι ένα ύφασμα του οποίου οι ίνες περνούν 2 δεσμίδες από πάνω και 2 από κάτω. Αυτή η ύφανση χρησιμοποιείται σε πιο πολύπλοκες επιφάνειες.



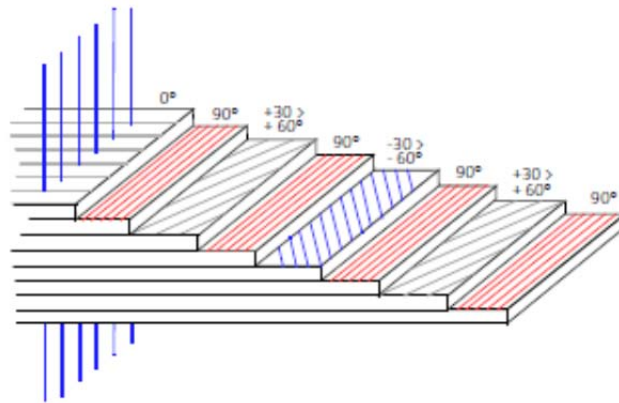
Satin ύφανση

Οι ίνες περνούν πάνω από έναν αριθμό δεσμίδων αλλά κάτω από μόνο μία. Αυτή η πλέξη παράγει πολύ πιο επίπεδο ύφασμα που εύκολα ακολουθεί πολύπλοκες επιφάνειες. Το μειονέκτημα αυτής της πλέξης είναι ότι στην μία πλευρά του έχει κυρίως ίνες τυλίγματος ενώ στην άλλη κυρίως υφάδια.



Πολυαξονικό επίπεδο ύφασμα

Ένα πολυαξονικό ύφασμα αποτελείται από μονοδιευθυντικά υφάσματα με διαφορετικές κατευθύνσεις ραμμένα μεταξύ τους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί όπως και το πλεκτό ύφασμα. Πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να παραχθούν σε πάχη που δεν είναι πρακτικό ή οικονομικό να παραχθούν τα πλεκτά υφάσματα. Επίσης τα πολυδιευθυντικά υφάσματα μπορούν να ακολουθήσουν πολύπλοκες επιφάνειες ενώ επιτυγχάνεται γρήγορα μεγάλο μέρος διαστρωμάτωσης. Παρόλα αυτά πρέπει να δοθεί μεγάλη προσοχή ώστε η διαστρωμάτωση να είναι ισορροπημένη και τα βαριά υφάσματα είναι δύσκολο να αντιγράψουν μικρές λεπτομέρειες.



ΕΜΠΟΤΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΥΦΑΣΜΑΤΩΝ ΜΕ ΡΗΤΙΝΗ

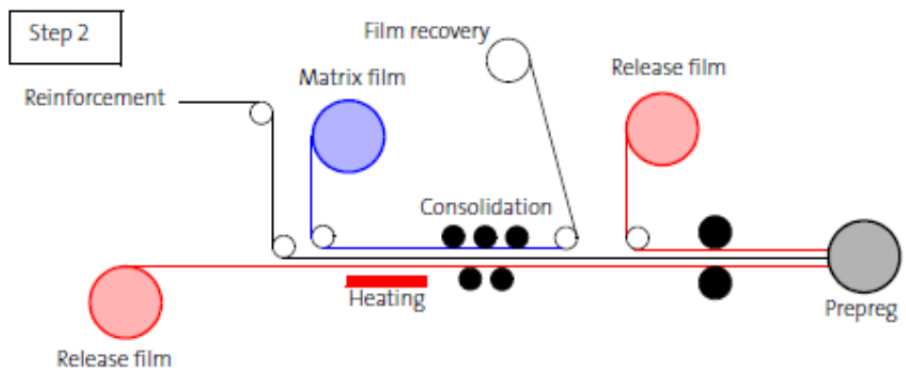
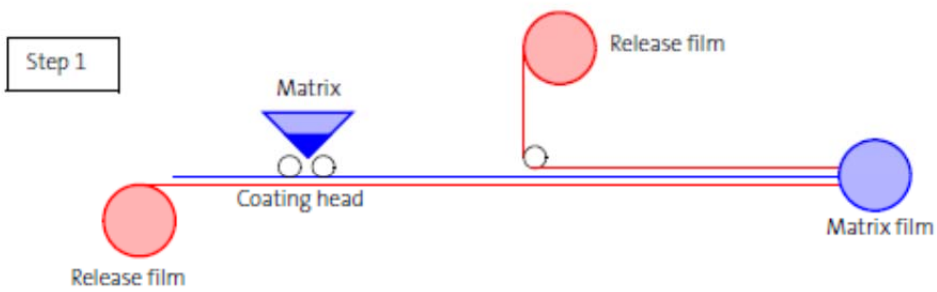
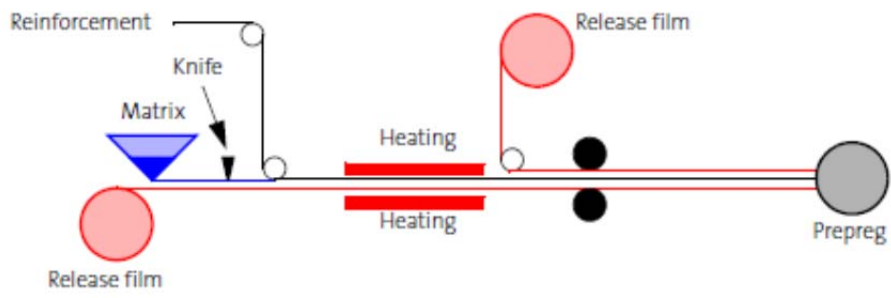
Ένα προεμποτισμένο αποτελείται από το υλικό της ενίσχυσης εμποτισμένο με μία μήτρα ρητίνης σε ένα ελεγχόμενο βαθμό. Η ρητίνη μπορεί να είναι μερικώς ψημένη (αναφέρεται ως β στάδιο) και σε αυτήν την μορφή εφαρμόζεται στο πλεκτό ύφασμα. Τα προεμποτισμένα υφάσματα μπορεί να είναι πλεκτά ή μονοδιευθυντικά.

Παραγωγή προεμποτισμένου υφάσματος

Υπάρχουν δύο βασικές μέθοδοι παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος: η μέθοδος ένωσης της ρητίνης με τις ίνες με θέρμανση (hotmelt) και η μέθοδος λουτρού διαλύτη (solventdip).

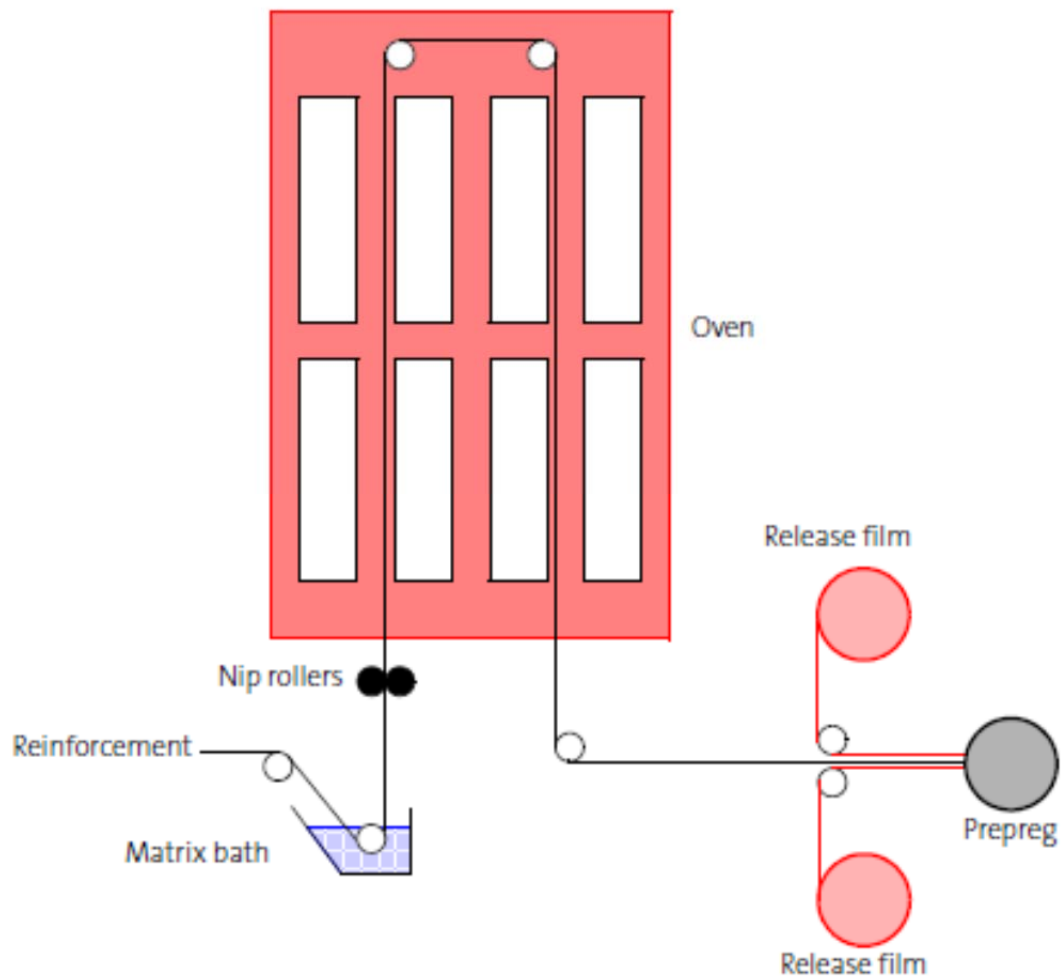
Ένωσης της ρητίνης και των ινών με θέρμανση

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί μονοδιευθυντικό ή πλεκτό προεμποτισμένο ύφασμα. Αυτή η μέθοδος απαιτεί δύο στάδια διαδικασίας. Στο πρώτο στάδιο προθερμασμένη ρητίνη στρώνεται σε ένα φύλλο (με βάση το χαρτί) και δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ. Η ενίσχυση και το φιλμ αυτό έρχονται σε επαφή στην μηχανή παραγωγής προεμποτισμένου υφάσματος. Ο εμποτισμός της ρητίνης στην ίνα επιτυγχάνεται με θέρμανση και πίεση από ράουλα. Το τελικό προϊόν τυλίγεται σ' έναν κύλινδρο (πυρήνα).



Ένωση της ρητίνης και των ινών σε λουτρό διαλύτη

Η μέθοδος αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο για την παραγωγή πλεκτού prepreg. Σε αυτήν την τεχνική η ρητίνη είναι διαλυμένη σε ένα λουτρό διαλύτη και το ύφασμα βυθίζεται στο λουτρό διαλύτη της ρητίνης. Ο διαλύτης εξατμίζεται από το εμποτισμένο ύφασμα επειδή περνά μέσα από φούρνο.



ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΙΝΩΝ ΑΝΘΡΑΚΑ

Μηχανικές ιδιότητες

Η σπουδαιότερη χρησιμοποίηση των ινών άνθρακα μέχρι σήμερα γίνεται ασφαλώς στον τομέα των ενισχυμένων συνθετικών ρητινών. Σε αυτή την εφαρμογή ενδιαφέρουν πρωτίστως οι μηχανικές ιδιότητες των ινών άνθρακα, καθώς επίσης η χρησιμοποίηση κατάλληλης μήτρας πλαστικού υλικού και η συνάφεια μεταξύ των ινών άνθρακα και της μήτρας, έτσι ώστε να αξιοποιούνται πληρέστερα οι σπουδαίες μηχανικές ιδιότητες των ινών αυτών .

Κατά την ανθρακοποίηση των οξειδωμένων ινών πολυακριλονιτριλίου, αυτές μετατρέπονται σε πολυμερή άνθρακα, η δομή του οποίου μοιάζει με εκείνη του γραφίτη. Ως συνέπεια του τανυσμού κατά την οξειδωση και την επακολουθούσα ανθρακοποίηση, οι στοιβάδες του άνθρακα αποκτούν κατεύθυνση παράλληλη προς τον άξονα της ίνας. Η σχηματιζόμενη μικροδομή χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή και ακαμψία. Επίσης, η επιμήκυνση των ινών αυτών είναι πλήρως ελαστική και η αντίσταση σε κόπωση καθώς και η διαβροχική ικανότητά τους είναι άριστη .

Τα τελευταία χρόνια έχουν παραχθεί ίνες άνθρακα με ακόμα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Οι σπουδαιότερες αυτές βελτιώσεις αναφέρονται :

- 1) Στη μεγάλη βελτίωση της επιμήκυνσης θραύσεως σε 2% με μια ουσιώδη αύξηση της αντοχής, ενώ το μέτρο ελαστικότητας παρουσίασε μια μικρότερη βελτίωση σε περίπου 240 GPa.
- 2) Στην εισαγωγή του ενδιάμεσου μέτρου ελαστικότητας ινών άνθρακα ($E=300$ GPa) με αντοχή εφελκυσμού μεγαλύτερη από 5 GPa και αντίστοιχη επιμήκυνση θραύσεως μέχρι 1.7%
- 3) Στις αρκετά υψηλότερες τιμές της αντοχής εφελκυσμού (3 GPa) και του μέτρου ελαστικότητας (440 GPa) στην περίπτωση των HM-ινών άνθρακα.

Οι φυσικές ιδιότητες του στοιχειακού άνθρακα εμφανίζονται και στην ινώδη μορφή του υπό την αλλοτροπική δομή του γραφίτη. Έτσι, οι ίνες άνθρακα δεν παρουσιάζουν σημείο τήξης υπό κανονική πίεση, έχουν μικρή τάση ατμών μέχρι υψηλές θερμοκρασίες, υψηλό σημείο εξάχνωσης και πολύ χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής που δίνει στην ίνα άνθρακα και στα σύνθετα υλικά ένα μεγάλο βαθμό διαστασιακής σταθερότητας . Σε αντίθεση με τις ίνες υάλου, οι ίνες άνθρακα

είναι ισχυρά ανισότροπες. Η ανισοτροπία αυτή επηρεάζει και τον συντελεστή θερμικής διαστολής, ο οποίος σε διεύθυνση παράλληλη του άξονα των ινών είναι διαφορετικός από αυτόν σε διεύθυνση κάθετη στον άξονα των ινών .

Είναι χημικώς αδρανές υλικό, με υψηλή αντίσταση στα περισσότερα οξέα, άλατα και διαλύτες, εκτός ισχυρών οξειδωτικών μέσων, ενώ δεν απορροφούν σχεδόν καθόλου νερό. Η θερμική σταθερότητά τους είναι αξιοσημείωτη απουσία οξυγόνου

μέχρι τους 3000 °C, καθώς είναι άτηκτες και άφλεκτες, ενώ παρουσία του καίγονται γύρω στους 400 °C. Λόγω της χημικής τους αδράνειας δεν αποτελούν κίνδυνο για την υγεία, εκτός από ερεθισμούς στο δέρμα που μπορούν να προκληθούν λόγω του μεγέθους των ινιδίων . Είναι επίσης βιοσυμβατές με το ανθρώπινο σώμα (π.χ εφαρμογή τους σε τεχνητές αρθρώσεις) .

Οι ίνες άνθρακα είναι ψαθυρές και κατά την επεξεργασία τους σπάνε σχετικά εύκολα. Για αυτό τον λόγο, είναι απαραίτητη μια εξωτερική επεξεργασία που ονομάζεται ‘κολλάρισμα’ (sizing). Αυτή η προστατευτική επεξεργασία βοηθά στην καλύτερη συνάφεια της ίνας με το υλικό σύνδεσης. Μειονέκτημα της παραπάνω επεξεργασίας είναι, ότι σε μεγάλους χρόνους αποθήκευσης, η προστατευτική αυτή επιφάνεια σκληραίνει και η ίνα δεν είναι πλέον εύκαμπτη. Τέλος, μια ακόμα ιδιότητα των ινών αυτών είναι η ανθεκτικότητά τους σε δονήσεις. Οι δυναμικές ιδιότητες των γραφικών στοιβάδων είναι πολύ καλύτερες από εκείνες άλλων υλικών (π.χ. αλουμίνιο, χάλυβας) .

Επομένως, οι ίνες άνθρακα υψηλού μέτρου ελαστικότητας και υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό χρησιμοποιούνται στην παραγωγή συνθέτων υλικών για την κατασκευή μεγάλου αριθμού αντικειμένων που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική, στην προσθετική και στην αθλητική βιομηχανία. Από την άλλη πλευρά, η βιομηχανική παραγωγή ινών άνθρακα χαμηλού μέτρου ελαστικότητας έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια. Οι ίνες αυτές είναι αρκετά φθηνότερες και έχουν πεδία πρακτικών εφαρμογών, όπως για παράδειγμα ως φίλτρα, επιφάνειες ρόφησης, επικαλυπτικά κλπ. Πέραν όμως από την ενίσχυση πολυμερών, οι ίνες άνθρακα χρησιμοποιούνται, σε μικρότερη έκταση, για την ενίσχυση μετάλλων ή κεραμικών υλικών. Εξάλλου οι ίνες αυτές χρησιμοποιούνται και χωρίς την μορφή του ενισχυμένου υλικού, όπως για θερμική μόνωση φούρνων υψηλών θερμοκρασιών και για ηλεκτρόδια μπαταριών, με τη μορφή υφασμάτων σε χρήσεις απορροφήσεως και διηθήσεως ουσιών, για την αντικατάσταση τενόντων του ανθρώπινου σώματος κλπ.

Ηλεκτρικές ιδιότητες

Οι ίνες άνθρακα δεν έχουν μαγνητικές ιδιότητες ενώ εμφανίζουν καλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα κατά τον παράλληλο άξονα στα γραφικά επίπεδα, η οποία οφείλεται σε μη εντοπισμένα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στο χώρο μεταξύ των επιπέδων αυτών. Εξαιτίας της καλής αγωγιμότητας των ινών, πρέπει να αποφεύγεται η παρεμβολή τους (π.χ. σε περίπτωση πυρκαγιάς) σε ηλεκτρικά κυκλώματα

ΠΟΛΥΜΕΡΗ

Η φυσική συμπεριφορά των πολυμερών, για παράδειγμα κατά την διαδικασία της θέρμανσης τους, επιβάλλει μια συσχέτιση με τη μοριακή τους δομή, γεγονός που οδηγεί στην κατάταξη των πολυμερών σε τρεις κατηγορίες:

- 1)Θερμοπλαστικά
- 2)Θερμοσκληρυνόμενα
- 3)Ελαστομερή

Ουσιαστικά, αυτή η κατάταξη των πολυμερών παρουσιάζει μεγάλη σημασία και πρακτική εφαρμογή. Δηλαδή, κάποιος γνωρίζοντας σε ποια κατηγορία ανήκει κάποιο πολυμερές, αμέσως προσανατολίζεται σχετικά με την μοριακή δομή του και γενικότερα με την φυσική συμπεριφορά του. Συγκεκριμένα, *θερμοσκληρυνόμενα (thermosettings)* είναι εκείνα τα πολυμερή που στην τελική φάση επεξεργασίας, με την επίδραση της θερμότητας, αποκτούν διασταυρούμενες συνδέσεις προς σχηματισμό πλέγματος. Τα μόρια, δηλαδή, συνδέονται σταθερά με κύριους δεσμούς μεταξύ τους και έτσι επιτυγχάνεται τέτοια συνοχή στο πλέγμα, ώστε δεν μπορεί πλέον το πολυμερές να μεταβεί στην πλαστική κατάσταση. Η διαδικασία, λοιπόν, της θερμοσκληρύνσεως είναι μη αναστρέψιμη.

ΡΗΤΙΝΕΣ

Τα πολυμερή ανάλογα με την μορφή στην οποία διατίθενται για την περαιτέρω επεξεργασία τους διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες. Μεταξύ αυτών και οι συνθετικές ρητίνες. Οι συνθετικές ρητίνες είναι χαμηλού μοριακού βάρους ενδιάμεσα προϊόντα ή πρώτες ύλες από μακρομοριακές ενώσεις που βρίσκονται στην υγρή κατάσταση ή είναι διαλυτά ή τηκόμενα στερεά και που λαμβάνουν την απαιτούμενη αντοχή για τις συγκεκριμένες εφαρμογές μόνο κατόπιν της κατάλληλης επεξεργασίας τους. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες :

- 1) Βασικές Ύλες για βερνίκια, επιχρίσματα και κόλλες, φερόμενες με την μορφή διαλυμάτων και γαλακτωμάτων.
- 2) Τεχνικές Ρητίνες ως συνδετικά μέσα για ξύλινα αντικείμενα, δέρματα, τεχνητό λίθο και ενδιάμεσα προϊόντα για την κυρίως επεξεργασία των πολυμερών, ενώ συνήθως μαζί με τα πρόσθετα επεξεργάζονται προς μια «μάζα μορφώσεως», δηλαδή ως πρώτη ύλη για την παραγωγή των τελικών εμπορικών προϊόντων του πολυμερούς με μορφοποίηση υπό θέρμανση και πίεση.

Οι τεχνητές ρητίνες αποτελούνται από μία ευρεία συλλογή πολυμερών:

1) Σκληρυνόμενες τεχνητές ρητίνες :

- Θερμοσκληρυνόμενες Ρητίνες: Σκληραίνουν μόνιμα κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού και σκλήρυνσής τους (curing). Τέτοιες είναι οι φαινολικές ή φαινοπλάστης (phenolic), οι εποξειδικές (epoxy), οι βινυλεστερικές (vinylester) και οι πολυεστερικές (polyester) ρητίνες, οι οποίες αποτελούν και τις περισσότερο χρησιμοποιούμενες. Αυτές αναμειγνυόμενες με φυτικές ρητίνες (κυρίως με κολοφώνιο), με λινέλαιο ή με τερεβινθέλαιο δίνουν πολλά είδη υλικών, τα οποία διαλύονται μόνο στα έλαια.
- Μονομερείς Ρητίνες Χυτεύσεως : πολυμεθακρυλικό μεθύλιο

2) Ρητίνες για βερνίκια , μέσα διαποτίσεως, κόλλες κλπ :

- Θερμοπλαστικές Ρητίνες: Είναι διαλύματα πτητικών διαλυτών (20-60%) και επίσης αραιές υδατικές διασπορές. Τέτοιες είναι το πολυχλωριούχο βινύλιο, πολυοξικό βινύλιο, πολυβινυλική αλκοόλη.
- Ρητίνες σκληρυνόμενες ως πλέγμα : Τέτοιες είναι ρητίνες φορμόλης – ουρίας (αμινοπλάστες), οι οποίες διαλύονται στο οινόπνευμα και στους υδρογονάνθρακες, οι ακόρεστες πολυεστερικές ρητίνες, οι εποξειδικές ρητίνες, η πολυουρεθάνη, οι γλυκεροφθαλικές ρητίνες.

ΕΠΟΞΕΙΔΙΚΕΣ ΡΗΤΙΝΕΣ

Αν και αναπτύχθηκαν ευρέως κατά τον Δεύτερο Παγκόσμιο πόλεμο, οι εποξειδικές ρητίνες έγιναν εμπορικά διαθέσιμες κατά το 1950, προσφέροντας υψηλή απόδοση σε υψηλές θερμοκρασίες και διαβρωτικά περιβάλλοντα. Λόγω των ιδιοτήτων τους, βρίσκουν μεγάλη εφαρμογή στη βιομηχανία και μια από τις πιο διαδεδομένες εφαρμογές τους είναι η χρήση τους ως μήτρες στα σύνθετα υλικά.

Εποξειδικό ή πολυεποξειδικό είναι ένα θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές. Οι εποξειδικές ρητίνες αποτελούνται από αλυσίδες που έχουν τουλάχιστον δύο επόξυ-ομάδες. Οι εποξειδικές ρητίνες ανήκουν στην κατηγορία των θερμοσκληρυνόμενων πολυμερών και χαρακτηρίζονται από την παρουσία του οξιρανικού δακτυλίου. Ανάλογα με τον αριθμό των δακτυλίων που βρίσκονται παρόντες στο μόριο, οι εποξειδικές ρητίνες χωρίζονται σε διδραστικές (δύο οξιρανικοί δακτύλιοι), ή πολυδραστικές (τρεις ή περισσότεροι δακτύλιοι). Ο οξιρανικός δακτύλιος αντιδρά με ένα ευρύ φάσμα άλλων οργανικών ενώσεων. Για την ένωση δύο μορίων στα άκρα των οποίων υπάρχει η συγκεκριμένη ομάδα, απαιτείται ένα τρίτο μόριο που ουσιαστικά χρησιμοποιείται ως συνδετικός κρίκος, έτσι ώστε να ξεκινήσει η αντίδραση που οδηγεί στο σχηματισμό ενός τρισδιάστατου δικτύου. Το τρίτο αυτό μόριο ονομάζεται σκληρυντής και συνήθως είναι κάποιος διδραστικός ανυδρίτης ή αμίνη. Επίσης, χρησιμοποιούνται και άλλες χημικές ουσίες που ονομάζονται εκκινητές,

για να ξεκινήσει ομαλότερα η διαδικασία της αντίδρασης. Οι εποξειδικές ρητίνες που κυκλοφορούν στο εμπόριο αποτελούνται συνήθως από μίγματα μακρομορίων που φέρουν στα άκρα τους τον οξιρανικό δακτύλιο, περιέχουν αρωματικούς δακτυλίους και συνοδεύονται από συστήματα σκληρυντών και εκκινητών. Από πλευράς σύστασης οι εποξειδικές ρητίνες μπορεί να στερεές ή ρευστές. Οι στερεές εποξειδικές ρητίνες είναι άκαμπτα άμορφα στερεά που μοιάζουν με γυαλί. Μελετώντας την δομή των εποξειδικών ρητινών με κάποιο πρόσθετο όπως σκληρυντής, πλαστικοποιητής με την βοήθεια ηλεκτρονικών μικροσκοπίων, παρατηρούμε ότι οι ρητίνες αποτελούνται από σχεδόν μικρού μεγέθους μακρομόρια τρισδιάστατα διακλαδωμένα δίκτυα ή συσσωματώματα, μέτριου μοριακού βάρους, τοποθετημένα σε ένα πλαίσιο από μόρια μικρού μοριακού βάρους.

Τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των στερεών εποξειδικών ρητινών σε σχέση τις υγρές ρητίνες είναι η εύκολη επεξεργασία τους, η μηχανική αντοχή, η υψηλή χημική αντίσταση και το άριστο κολλώδες.

Οι κυριότερες ιδιότητες των υγρών εποξειδικών ρητινών είναι οι παρακάτω:

- 1) Χαμηλή υδροσκοπικότητα, καλή διαστατική σταθερότητα και ικανοποιητική αντοχή στην επίδραση ύδατος, οξέων, βάσεων και πολλών οργανικών διαλυτών. Είναι υγρά με χαμηλό ιξώδες, όπως και τα μίγματά τους με πρόσθετα (πλαστικοποιητές, σκληρυντές), με αποτέλεσμα την εύκολη κατεργασία τους.
- 2) Η επεξεργασία των ρητινών είναι εύκολη και γρήγορη για θερμοκρασίες από 50C μέχρι 150C και εξαρτάται από την εκλογή του πρόσθετου.
- 3) Υψηλές μηχανικές ιδιότητες που μπορεί να οφείλονται στη μικρή συστολή τους, έτσι μειώνεται η παρουσία τάσεων.
- 4) Άριστη ηλεκτρική μόνωση.
- 5) Υψηλή δύναμη συγκόλλησης. (Στην σύγχρονη τεχνολογία πλαστικών είναι από τις μεγαλύτερες που έχουν παρατηρηθεί). Αυτή η ιδιότητα αποτελεί έναν σημαντικό παράγοντα για τις πολλές εφαρμογές.
- 6) Ποικιλία εφαρμογών. Οι βασικές τους ιδιότητες μπορούν να τροποποιούνται κάθε φορά ανάλογα με τις απαιτήσεις της συγκεκριμένης εφαρμογής. (Ανάμειξη με κάποιο πρόσθετο της επιλογής μας, χρήση τροποποιητικών και συνθέσεων).
- 7) Καλή χημική αντίσταση που εξαρτάται από το πρόσθετο που χρησιμοποιείται. Συνολικά οι εποξειδικές ρητίνες έχουν πολύ υψηλή αντίσταση στα καυστικά και καλή μέχρι άριστη στα οξέα.
- 8) Μικρή συστολή κατά τον πολυμερισμό και κατά την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Αυτή η μικρή συστολή είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα για τις εποξειδικές ρητίνες.

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Σύνθετο υλικό θεωρείται κάθε πολυφασικό υλικό, το οποίο επιδεικνύει ένα μεγάλο ποσοστό από τις ιδιότητες και των δύο επιμέρους φάσεων, ούτως ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερος συνδυασμός των ιδιοτήτων τους. Σύμφωνα με αυτή την αρχή της συνδυασμένης δράσης, καλύτεροι συνδυασμοί ιδιοτήτων διαμορφώνονται με τον επιλεκτικό συνδυασμό δύο ή και περισσότερων διακριτών υλικών. Οι συνιστώσες φάσεις πρέπει να είναι χημικά ανόμοιες και να διαχωρίζονται με μια διακριτή επιφάνεια. Έτσι, πολλά κράματα μετάλλων και πολλά κεραμικά δεν περιλαμβάνονται σε αυτό τον ορισμό διότι οι πολλαπλές φάσεις τους σχηματίζονται ως αποτέλεσμα φυσικών φαινομένων. Πολλά σύνθετα υλικά αποτελούνται από δύο φάσεις: την μήτρα, η οποία είναι μια συνεχής φάση και περιβάλλει την άλλη φάση, η οποία ονομάζεται δισπαρμένη φάση. Οι ιδιότητες των συνθέτων υλικών είναι συνάρτηση των ιδιοτήτων των συνιστωσών τους φάσεων, των σχετικών ποσών και της γεωμετρίας της δισπαρμένης φάσης, δηλαδή το σχήμα των κόκκων, το μέγεθός τους, η κατανομή τους και τέλος ο προσανατολισμός τους.

Ανάλογα με τη μορφή του συστατικού ενίσχυσης, τα σύνθετα κατατάσσονται σε τρεις μεγάλες κατηγορίες:

- Ινώδη σύνθετα (fibrous composites): Με ενίσχυση ινών εμποτισμένων σε υλικό μήτρας.
- Στρωματικά σύνθετα (laminated composites): Με επάλληλες στρώσεις υλικών.
- Κοκκώδη σύνθετα (particulate composites): Με ενίσχυση σωματιδίων διασκορπισμένων στο υλικό της μήτρας.

Τα ινώδη σύνθετα υλικά διακρίνονται περαιτέρω ανάλογα με τον προσανατολισμό και τη διάταξη των ινών μέσα στη μήτρα. Σύμφωνα με την ταξινόμηση αυτή τα ινώδη σύνθετα διακρίνονται σε:

- Μονοδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία οι ίνες έχουν όλες την ίδια διεύθυνση.
- Πολυδιευθυντικά σύνθετα, στα οποία, οι ίνες έχουν διαφορετικές διευθύνσεις.

Πλεονεκτήματα σύνθετων υλικών

Τα σύνθετα υλικά προσφέρουν την δυνατότητα για βελτιστοποίηση κατασκευών. Τα βασικά πλεονεκτήματά τους είναι:

- Η χαμηλή πυκνότητα, η υψηλή αντοχή και το μεγάλο μέτρο ελαστικότητας έχουν ως αποτέλεσμα να μπορούν να κατασκευαστούν γερές κατασκευές με χαμηλό βάρος.
- Οι ίνες σύνθετου μπορούν να έχουν την κατεύθυνση της βασικής καταπόνησης κάνοντας την κατασκευή αποδοτικότερη.
- Πολύ ανθεκτική σε διάβρωση και γενικά σε αντίξοες συνθήκες περιβάλλοντος.
- Βελτιωμένες ιδιότητες συντονισμού και απόσβεσης.
- Δυνατότητα κατασκευής πολύπλοκων σχημάτων.
- Πολύ χαμηλή θερμική διαστολή.
- Πολύ καλή αντοχή σε κόπωση.
- Δυνατότητα χρήσης σε κατασκευές ασφαλείας απορρόφησης ενέργειας.
- Φθαρμένες κατασκευές μπορούν να επισκευασθούν ευκολότερα.

ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΕ ΕΝΙΣΧΥΣΗ ΙΝΩΝ

Τεχνολογικώς, τα πιο σπουδαία σύνθετα υλικά είναι εκείνα στα οποία η διασπαρμένη φάση έχει τη μορφή της ίνας. Οι στόχοι σχεδιασμού τέτοιων υλικών αναφέρονται στην υψηλή αντοχή και δυσκαμψία τους, με αποτέλεσμα τα ινώδη σύνθετα υλικά να παρουσιάζουν εξαιρετικά υψηλές τιμές ειδικής αντοχής (εφελκυστική αντοχή/ειδικό βάρος) και ειδικού μέτρου ελαστικότητας (μέτρο ελαστικότητας/ ειδικό βάρος). Τα υλικά αυτά έχουν παραχθεί με χρήση χαμηλής πυκνότητας ινών και μητρικών υλικών. Τα σύνθετα υλικά με ίνες μπορούν να είναι είτε ισότροπα είτε ανισότροπα. Επίσης, σε αντίθεση με τα ενισχυμένα λόγω διασποράς σύνθετα, η αντοχή τους αυξάνεται τόσο σε θερμοκρασία δωματίου όσο και σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Η ινώδης φάση: Ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό των περισσοτέρων υλικών, ιδιαίτερος των ψαθυρών, είναι ότι οι ίνες μικρής διαμέτρου είναι πολύ πιο ανθεκτικές από το αντίστοιχο υλικό από το οποίο αποτελούνται. Η πιθανότητα της παρουσίας μιας επιφανειακής ατέλειας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε θραύση, ελαχιστοποιείται με την ελάττωση του όγκου του υλικού και αυτό το χαρακτηριστικό χρησιμοποιείται προ όφελος των ινωδών συνθέτων υλικών. Επίσης, τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται για ίνες ενίσχυσης έχουν μεγάλες εφελκυστικές αντοχές.

Τα συνηθέστερα υλικά που χρησιμοποιούνται ως ίνες είναι το γυαλί, ο άνθρακας και το αραμίδιο. Υπάρχουν, όμως, και άλλων ειδών ίνες (οι ίνες είναι στη μορφή συνεχών νημάτων). Αυτές μπορεί να είναι πλεγμένες ή ραμμένες μεταξύ τους για να παραχθεί το ύφασμα. Ή θα μπορούσαν να είναι μονοδιευθυντικές, όπως παράγονται άλλωστε.

Συνήθη είδη ινών

Ανθρακονήματα

Οι ίνες ανθρακονήματος χωρίζονται σε κατηγορίες υψηλής αντοχής, μεσαίου μέτρου ελαστικότητας, υψηλού μέτρου ελαστικότητας και πολύ υψηλού μέτρου ελαστικότητας. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατασκευές υψηλής αντοχής και στιβαρότητας όπου τα πλεονεκτήματα του χαμηλού βάρους υπερκαλύπτουν το επιπλέον κόστος υλικού.

Υαλονήματα

Τα πλέον χρησιμοποιούμενα είναι τα E-glass, S-glass και Quartz. Χρησιμοποιούνται σε ειδικές εφαρμογές όπως η βαλλιστική, όπου οι διηλεκτρικές ιδιότητες είναι κρίσιμες. Το υαλόνημα είναι χαμηλότερου κόστους του ανθρακονήματος αλλά βαρύτερο και φτωχότερο μηχανικών ιδιοτήτων σε αντοχή και στιβαρότητα.

Αραμίδιο

Γνωστό από τα εμπορικά ονόματα Kevlar, Tecnona ή Twaron το αραμίδιο συνήθως χρησιμοποιείται όπου αναμένεται ζημιά από κρούση. Το αραμίδιο έχει την ιδιότητα να απορροφά και να διαχέει ενέργεια όπως επίσης και την ιδιότητα να αντιστέκεται στην απόξεση αλλά υποφέρει από μικρή αντοχή σε θλίψη.

Dyneema

Dyneema είναι ένα πολύ υψηλού μοριακού βάρους πολυεθυλένιο. Χρησιμοποιείται κυρίως για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή και χαμηλή πυκνότητα. Παρόλα αυτά έχει μικρή αντοχή στην θερμοκρασία και όπως το αραμίδιο μικρή αντοχή σε θλίψη.

Zylon

Zylon ίνες έχουν ανώτερη αντοχή σε εφελκυσμό από τις ίνες αραμιδίου. Έχουν επίσης εξαιρετική αντοχή σε κρούση και υψηλή αντοχή στην θερμοκρασία. Οι αδυναμίες τους περιλαμβάνουν φτωχή αντοχή σε θλίψη και φτωχή αντοχή σε υπέρυθρη ακτινοβολία.

Όσο αφορά τη διάμετρο και τον τύπο, οι ίνες ομαδοποιούνται σε τρεις διαφορετικές κατηγορίες:

1) Βελόνες

2) Ίνες

3) Σύρματα

Οι βελόνες είναι πολύ λεπτοί μονοκρύσταλλοι στους οποίους ο λόγος του μήκους προς τη διάμετρο έχει πολύ υψηλές τιμές. Σαν αποτέλεσμα του πολύ μικρού τους μεγέθους έχουν ένα πολύ υψηλό βαθμό κρυσταλλικότητας και είναι σχεδόν ελεύθεροι ατελειών. Θεωρούνται ως τα πιο ανθεκτικά υλικά που είναι γνωστά μέχρι σήμερα. Παρά τις μεγάλες αντοχές τους, οι βελόνες δεν χρησιμοποιούνται ευρέως σαν μέσα ενίσχυσης διότι είναι πάρα πολύ ακριβές. Επιπλέον είναι πολύ δύσκολη η ενσωμάτωση αυτών των βελονών μέσα σε μια μήτρα. Στα βελονοειδή συγκαταλέγονται ο γραφίτης, το καρβίδιο του πυριτίου, το νιτρίδιο του πυριτίου και το οξειδίο του αλουμινίου.

Τα υλικά, τα οποία ταξινομούνται ως *ίνες* είναι είτε πολυκρυσταλλικά είτε άμορφα και έχουν μικρές διαμέτρους. Τα ινώδη υλικά είναι γενικά πολυμερή ή κεραμικά (π.χ. αραμιδικά πολυμερή, γυαλί, άνθρακας, βόριο, οξειδίο του αλουμινίου και νιτρίδιο του πυριτίου).

Τέλος, τα λεπτά *σύρματα* έχουν σχετικά μεγάλες διαμέτρους. Ενδεικτικά παραδείγματα αυτών των υλικών είναι το ασάλι, το μολυβδένιο και το βολφράμιο.

Φάση της μήτρας: Η φάση της μήτρας των ινωδών συνθέτων υλικών μπορεί να είναι μεταλλική, πολυμερής (όπως στην παρούσα εφαρμογή η εποξειδική ρητίνη) ή κεραμική. Γενικά, τα μέταλλα και τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σαν μητρικά υλικά γιατί είναι επιθυμητός κάποιος βαθμός ολκιμότητας. Για τα σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας, το ενισχυτικό συστατικό προστίθεται για να βελτιώσει τη δυσθραυστότητα. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πιο ακριβές και εκτός από τις εμπορικές εφαρμογές που έχουν, χρησιμοποιούνται ευρέως σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Έχουν καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τους πολυεστέρες, ένα άλλο είδος πολυμερούς καθώς και αντοχή στην υγρασία. Για εφαρμογές υψηλών θερμοκρασιών χρησιμοποιούνται τα πολυϊμίδια. Το ανώτατο θερμοκρασιακό όριο για συνεχή χρήση αυτών είναι περίπου 230 °C. Τέλος, οι θερμοπλαστικές ρητίνες υψηλών θερμοκρασιών έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε αεροναυπηγικές εφαρμογές. Σε αυτά τα υλικά συγκαταλέγονται η πολυαιθεραιθερκετόνη (PEEK), το πολυφαινυλοσουλφίδιο (PPS) και το πολυαιθεριμίδιο (PEI).

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ

Το αργίλιο(Al) ή αλουμίνιο όπως είναι ευρέως γνωστό και η οικογένεια των κραμάτων του είναι σήμερα μετά το σίδηρο και το χάλυβα, τα σημαντικότερα βιομηχανικά μέταλλα και η χρήση τους διαρκώς επεκτείνεται. Είναι ένα αργυρόλευκο μέταλλο και είναι το πιο άφθονο μέταλλο στο φλοιό της γης και συνολικά το τρίτο πιο άφθονο χημικό στοιχείο συνολικά στον πλανήτη μας, μετά το οξυγόνο και το πυρίτιο. Κατά βάρος αποτελεί περίπου το 8% του στερεού φλοιού. Ωστόσο είναι πολύ δραστικό χημικά ώστε να βρίσκεται στη φύση ως ελεύθερο μέταλλο. Αντίθετα, βρίσκεται ενωμένο σε πάνω από 270 διαφορετικά ορυκτά. Η κύρια πηγή για τη βιομηχανική παραγωγή του μετάλλου είναι ο βωξίτης.

Η σημερινή διάδοση του αλουμινίου είναι εύκολο να εξηγηθεί εάν ληφθούν υπόψη οι φυσικές ιδιότητές του. Πράγματι, το αλουμίνιο έχει το μικρότερο μετά το μαγνήσιο ειδικό βάρος από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα. Επίσης, η μηχανική αντοχή ορισμένων κραμάτων του φθάνει το όριο θραύσεως 70kp/mm^2 . Για τους λόγους αυτούς, η αντοχή ανά μονάδα βάρους ορισμένων κραμάτων είναι εντυπωσιακά υψηλή, κατάλληλη για εφαρμογές στις αεροπορικές και διαστημικές κατασκευές. Επίσης, η ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα του καθαρού αλουμινίου είναι πολύ υψηλή, μικρότερη μόνο από το χαλκό, τον άργυρο και το χρυσό. Η ανά μονάδα βάρους αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι η μεγαλύτερη από όλα τα βιομηχανικά μέταλλα.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή στην οξείδωση και στη διάβρωση, αν και αντιδρούν ισχυρά με το οξυγόνο. Αυτό οφείλεται στο οξείδιο του αλουμινίου που σχηματίζει ένα αδιαπέραστο στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου και δεν επιτρέπει την περαιτέρω οξείδωση του. Στο οξείδιο αυτό οφείλεται και το μοναδικό ίσως μειονέκτημα που παρουσιάζει το αλουμίνιο και τα κράματά του, δηλαδή τη δύσκολη συγκόλληση τους στον ατμοσφαιρικό αέρα. Αντίθετα, το αλουμίνιο και τα κράματά του προσφέρονται για όλους τους τύπους των μηχανουργικών κατεργασιών, χύτευση, κοπή, εξέλαση κλπ. Τα πλεονεκτήματα αυτά σε συνδυασμό με τα μεγάλα αποθέματα αλουμινίου που υπάρχουν το καθιστούν ισχυρό ανταγωνιστή του σιδήρου και του χάλυβα.

Οι ιδιότητες του αλουμινίου και των κραμάτων του επηρεάζονται σημαντικά από τις μηχανικές και θερμικές κατεργασίες του. Ιδιαίτερη σημασία από μηχανουργικής άποψης έχουν οι εσωτερικές τάσεις που δημιουργούνται κατά τις μηχανουργικές κατεργασίες του υλικού. Οι τάσεις αυτές είναι σκόπιμο να απαλείφονται με αναθέρμανση του υλικού γιατί πολύ συχνά λόγω του μικρού μέτρου ελαστικότητας του αλουμινίου προκαλούν με την πάροδο του χρόνου μεταβολή του σχήματος και των διαστάσεων ή ακόμα και εμφάνιση ρωγμών. Το αλουμίνιο χρησιμοποιείται στην καθαρή του μορφή με περιεκτικότητα 99% και άνω σε Al και κράμα με Si, Cu, Zn, Mn, Mg, Nik. α.

ΣΕΙΡΑ ΚΡΑΜΑΤΩΝ 7000

Πρόκειται για κράματα Al – Zn – Mg και για κράματα Al – Zn – Mg – Cu. Αυτά, μετά από κατάλληλες θερμικές κατεργασίες, παρουσιάζουν τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από όλα τα κράματα αλουμινίου. Το ποσοστό του Zn κυμαίνεται από 4 – 8% και αυτό του Mg από 1 – 3%. Η επιταχυνόμενη σκλήρυνση δομής οφείλεται κυρίως στην κατακρήμνιση της ένωσης MgZn₂. Προσθήκη χαλκού, σε ποσοστό μικρότερο του 2%, προκαλεί σκλήρυνση λόγω της δημιουργίας στερεού διαλύματος και κατακρήμνισης. Ωστόσο, η παρουσία χαλκού, μειώνει την εμβαισιότητα, τη συγκολλησιμότητα και τη δυσθραυστότητα των κραμάτων Al – Mg – Zn. Παρουσία χρωμίου, σε ποσοστό μικρότερο του 0,3% βελτιώνει την αντοχή των κραμάτων αυτών σε διάβρωση υπό μηχανική καταπόνηση, ενώ η παρουσία Zn βελτιώνει τη συγκολλησιμότητα τους. Τα κράματα της σειράς 7000 υποβάλλονται εύκολα σε θερμικές κατεργασίες, λόγω του μεγάλου θερμοκρασιακού εύρους της περιοχής ομογενοποίησης τους, της καλής τους εμβαισιότητας (ενίοτε η βαφή πραγματοποιείται στον αέρα) και των σχετικά χαμηλών θερμοκρασιών γήρανσης. Λόγω του συνόλου των ιδιοτήτων αυτών, τα χαρακτηριστικά των κραμάτων της σειράς 7000 δεν αλλοιώνονται κατά τη συγκόλληση τους. Ωστόσο, η συγκολλησιμότητα τους παραμένει μέτρια. Το κυριότερο μειονέκτημα των κραμάτων της σειράς αυτής είναι η μειωμένη αντοχή εν θερμώ, έτσι, η θερμοκρασία χρήσης τους παραμένει χαμηλή (έως 120°C). Τα κράματα του αλουμινίου της σειράς 7000 χρησιμοποιούνται, κυρίως, στην κατασκευή δομικών στοιχείων αεροσκαφών και τμημάτων κατασκευών που υφίστανται ισχυρή καταπόνηση, όπου απαιτούνται υψηλή μηχανική αντοχή και αντοχή σε διάβρωση. Αντιπροσωπευτικά κράματα είναι τα 7005, 7075, 7475 και 7150. Το εύρος αντοχής τους σε εφελκυσμό είναι 220 – 605 Μpa.

ΑΛΟΥΜΙΝΙΟ 7075 T651

Το σύμβολο t στην ονομασία των κραμάτων αλουμινίου σημαίνει πως το υλικό έχει υποστεί θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με γήρανση. Αυτή είναι μια διαδικασία που εφαρμόζεται σε θερμικώς κατεργάσιμα χυτά και διαμορφωμένα κράματα και αποσκοπεί στην αύξηση των μηχανικών ιδιοτήτων τους. Πιο συγκεκριμένα με t6 συμβολίζεται η θερμική κατεργασία ομογενοποίησης σε συνδυασμό με τεχνητή γήρανση. Αναφέρεται σε προϊόντα τα οποία δεν επιδέχονται κατεργασίες ψυχρής διαμόρφωσης μετά από ομογενοποίηση και οι μηχανικές ιδιότητες τους βελτιώνονται σημαντικά με θερμική κατεργασία σκλήρυνσης με κατακρήμνιση σε υψηλότερη θερμοκρασία από αυτή του περιβάλλοντος (τεχνητή γήρανση).

Κατά τη διαδικασία της *ομογενοποίησης* έχουμε θέρμανση του υλικού κοντά στη θερμοκρασία solidus. Με τη θέρμανση αυτή προσπαθούμε να επιτύχουμε τη

διαλυτοποίηση των κραματικών στοιχείων στη μητρική φάση του αλουμινίου. Έτσι ένα υπέρκορο σε κραματικά στοιχεία στερεό διάλυμα. Στη συνέχεια ακολουθεί η διαδικασία της βαφής. Σκοπός της βαφής είναι η διατήρηση του υπέρκορου στερεού διαλύματος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αυτό επιτυγχάνεται με ταχεία ψύξη του κράματος σε κάποιο ψυκτικό μέσο όπως το νερό, το λάδι, το υγρό άζωτο κ.α. Ο ρυθμός ψύξης επιδρά στις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων καθώς και στην αντοχή τους στη διάβρωση. Όσο μεγαλύτερος είναι ο ρυθμός ψύξης αυξάνεται το όριο διαρροής σε κράματα τα οποία είναι ευαίσθητα στις αλλαγές του ρυθμού ψύξης όπως τα κράματα της σειράς 7000. Συγκεκριμένα στο κράμα 7075 για να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή απαιτείται ρυθμός ψύξης 330oC/sec και άνω. Επίσης για μέγιστη αντοχή σε διάβρωση απαιτείται ρυθμός ψύξης ανώτερος από 280oC/sec.

Ακολουθεί διάγραμμα με την κατά βάρος περιεκτικότητα των κραματικών στοιχείων του αλουμινίου **7075T651**:

<u>Υλικό:</u>	<u>Περιεκτικότητα % κατά βάρος:</u>
Al	87,1 – 91,4
Cr	0,18 – 0,28
Cu	1,2 – 2
FeΜέγιστη0,5	
Mg	2,1 – 2,9
MnΜέγιστη 0,3	
SiΜέγιστη 0,4	
TiΜέγιστη 0,2	
Zn	5,1 – 6,1
Άλλο, έκαστο	Μέγιστη 0,05
Άλλα, σύνολο	Μέγιστη 0,15

Επίσης παρατίθεται διάγραμμα με τις ιδιότητες του κράματος:

<u>Φυσικές ιδιότητες:</u>	<u>Τιμή:</u>	<u>Σχόλια:</u>
Πυκνότητα	2.81 g/cm ³	
<u>Μηχανικές ιδιότητες:</u>	<u>Τιμή:</u>	<u>Σχόλια:</u>
Σκληρότητα, Brinell	150	φορτίο 500 g : σφαίρα 10 mm
Σκληρότητα, Knoop	191	
Σκληρότητα, Rockwell A	53.5	
Σκληρότητα, Rockwell B	87	
Σκληρότητα, Vickers	175	
Αντοχή σε εφελκυσμό	572 MPa	
Όριο διαρροής	503 MPa	
Επιμήκυνση στη θραύση	11 %	1/16 in. (1.6 mm) Πάχος
Επιμήκυνση στη θραύση	11 %	1/2 in. (12.7 mm) Διάμετρος
Μέτρο ελαστικότητας	71.7 GPa	Μέσος όρος εφελκυσμού και θλίψης. Το μέτρο θλίψης είναι περίπου 2% μεγαλύτερο από το μέτρο εφελκυσμού.
Λόγος Poisson	0.33	
Αντοχή σε κόπωση	159 MPa	500.000.000 κύκλοι τελείως ανεστραμμένης παραμόρφωσης σε μηχανή RR Moore
Αντοχή σε θραύση	20 MPa-m ^{1/2}	K(IC) στην S-L διεύθυνση
Αντοχή σε θραύση	25 MPa-m ^{1/2}	K(IC) στην T-L διεύθυνση
Αντοχή σε θραύση	29 MPa-m ^{1/2}	K(IC) στην L-T διεύθυνση
Κατεργασιμότητα	70 %	0-100 κλίμακα των κραμάτων αλουμινίου
Μέτρο διάτμησης	26.9 GPa	
Αντοχή σε διάτμηση	331 MPa	

Ηλεκτρικές ιδιότητες: Τιμή: _____ Σχόλια:

Ωμική Ηλεκτρική αντίσταση 5.15e-006 ohm-cm Τυπική στους 20°C

Θερμικές ιδιότητες: Τιμή: _____ Σχόλια:

Συντελεστής θερμικής 23.6 m/m°C Μέσος όρος 20°C-100°C

διαστολής (γραμμική)

στοις 20°C

Συντελεστής θερμικής 25.2 m/m°C Μέσος όρος 20°C-300°C

διαστολής (γραμμική)

στοις 20°C

Ειδική θερμοχωρητικότητα 0.96 J/g°C

Θερμική αγωγιμότητα 130 W/mK Τυπική στους 25°C

Σημείο τήξεως 477 - 635 °C

Θερμοκρασία solidus 477 °C

Θερμοκρασία liquidus 635 °C

Θερμοκρασία ανόπτησης 413 °C

Θερμοκρασία διάλυσης 466 - 482 °C

Θερμοκρασία γήρανσης 121 °C

CAD - CAM - CNC

CAD

Ο σχεδιασμός προϊόντος με την βοήθεια υπολογιστή(Computer - Aided - Design), έφερε επανάσταση στη μηχανολογία. Με την βοήθεια λογισμικών Cad μπορεί κανείς όχι μόνο να σχεδιάσει το προϊόν του και να παράγει τα απαραίτητα σχέδια για την κατασκευή του αλλά και να το ελέγξει ως προς την αντοχή του στις αναμενόμενες καταπονήσεις, να ελέγξει τις όποιες ανοχές υπάρχουν, να κάνει δυναμική μελέτη, μελέτη μετάδοσης θερμότητας, μελέτη αεροδυναμικής και πολλές άλλες προσομοιώσεις και να καταλήξει σε κάποια βελτιστοποίηση γλιτώνοντας έτσι χρόνο και οικονομικούς πόρους. Από τα πιο διαδεδομένα λογισμικά Cad στις μέρες μας είναι το Autocad, το Solidworks, το Parasolid και το Solidedge.

CAM

Cam είναι η κατασκευή με την βοήθεια υπολογιστή (ComputerAidedManufacturing). Αυτή περιλαμβάνει πολλές επιμέρους διαδικασίες όπως τον προγραμματισμό PLC, συσκευών ελέγχου ποιότητας κ.α. αλλά κυρίως τον προγραμματισμό CNC μηχανών.

CNC

Πρόκειται για έλεγχο μηχανών με την βοήθεια υπολογιστή(ComputerNumericalControl). Μία εργαλειομηχανή για να θεωρείται CNC πρέπει να έχει ένα σερβοσύστημα που να την ελέγχει. Το σερβοσύστημα αποτελείται από τους επενεργητές, τα σερβομοτέρ δηλαδή, τους αισθητήρες που δίνουν αναφορά κατάστασης (π.χ. θέση, ταχύτητα, επιτάχυνση του ελεγχόμενου σημείου), την μονάδα ελέγχου και το λογισμικό. Η βασική αρχή κάθε σερβοσυστήματος είναι η ανάδραση. Η ανάδραση (feedback) είναι η διαδικασία διόρθωσης της τρέχουσας τιμής της ελεγχόμενης μεταβλητής βάσει της επιθυμητής (δοσμένη). Την πραγματική τιμή της μεταβλητής την δίνουν οι αισθητήρες, συγκρίνεται από την μονάδα ελέγχου με την θεμιτή τιμή και αποφασίζεται από το λογισμικό ο τρόπος δράσης. Υπάρχουν τρεις τρόποι προγραμματισμού CNC εργαλειομηχανών. Ο πιο παλιός είναι η γραφή όλου του προγράμματος. Ο δεύτερος είναι ο προγραμματισμός με βάση προσωποποιημένες γεωμετρικές μορφές και ο τελευταίος τρόπος είναι η παραγωγή του επιθυμητού κώδικα πλήρως αυτοματοποιημένα από κατάλληλο λογισμικό όταν του δοθεί το τρισδιάστατο μοντέλο του παραγόμενου προϊόντος. Ένα κέντρο κατεργασιών χαρακτηρίζεται από την διεύθυνση της ατράκτου του (κατακόρυφη, οριζόντια), τον αριθμό των ατράκτων του, τους άξονές του, τον τρόπο αλλαγής επεξεργαζόμενων τεμαχίων και τον τρόπο αποθήκευσης και αλλαγής των εργαλείων του. Οι τρεις άξονες συνήθως είναι αρκετοί εκτός αν υπάρχουν γλυπτές επιφάνειες που τότε απαιτούνται παραπάνω (συνήθως πέντε).

Η CNC μηχανή μπορεί να εκτελέσει το πρόγραμμά της είτε ολόκληρο, είτε τμηματικά, είτε ανά εντολή. Σε περίπτωση επανάληψης μοτίβων υπάρχει δυνατότητα μετασχηματισμού του συστήματος συντεταγμένων, ώστε να απλοποιηθεί η διαδικασία του προγραμματισμού. Για την απλοποίηση της αρχικοποίησης της διαδικασίας μπορεί να χρησιμοποιηθούν συστήματα αυτόματου προσδιορισμού θέσης τεμαχίου. Τα συστήματα αυτά βοηθούν και στον έλεγχο της μηχανής. Έτσι διαπιστώνονται τακτικά σφάλματα και διορθώνονται. Άλλος ένας τρόπος απλοποίησης του προγραμματισμού είναι η αποθήκευση των χαρακτηριστικών των εργαλείων, για να είναι δυνατή η αντιστάθμιση του κοπτικού ώστε να μην χρειάζεται να παίρνει συνέχεια αναφορά η μηχανή. Επίσης ο χειριστής μπορεί ανά πάσα στιγμή να διακόψει τη διαδικασία αλλά και να επέμβει-τροποποιήσει τον κώδικα G. Πολλή προσοχή πρέπει επίσης να δοθεί στη σωστή αρχικοποίησης της μηχανής, στο μηδενισμό, στον ορισμό του ύψους των εργαλείων κοπής κ.α. Καλή εποπτεία της επικείμενης κοπής δίνεται από την προσομοίωση της διαδικασίας σε γραφικό περιβάλλον. Για την καλή λειτουργία του μηχανήματος και καλό παραγόμενο προϊόν πρέπει να υπάρχει εμφάνιση της κατάστασης της μηχανής στην οθόνη του χειριστή ώστε να προλαμβάνονται ατυχήματα ή προβλήματα στη παραγωγή.

3.ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ

Σκοπός μας ήταν ο σχεδιασμός καλουπιών για την κατασκευή κυλινδρικών δοκιμίων διαφορετικών διαμέτρων $\Phi 27,2 - \Phi 30,9 - \Phi 31,6$. Το υλικό που επιλέχθηκε για τα καλούπια είναι το αλουμίνιο 7076T651 λόγω της καλής κατεργασιμότητάς του, του χαμηλού βάρους του και της αντοχής του. Το εκάστοτε καλούπι έχει ένα κεντρικό αυλάκι μήκους 450mm στο οποίο θα γίνει η διαστρωμάτωση του CFRP για την κατασκευή του κυλινδρικού δοκιμίου. Επειδή μετά τη διαστρωμάτωση το καλούπι ψήνεται στο φούρνο στους 120°C με σκοπό να σκληρύνει η ρητίνη του προεμπροτισμένου CFRP και επίσης το αυλάκι δέχεται πίεση 8βαρμέσω πνευματικού κυκλώματος (για να ακουμπήσει το CFRP στα τοιχώματα χωρίς επιφανειακές ανωμαλίες) κρίθηκε σκόπιμο να γίνει υπολογισμός των θερμικών διαστολών καθώς επίσης και των διαστολών λόγω πίεσης. Έτσι μπορούμε να υπολογίσουμε την τελική διάμετρο που πρέπει να έχουν τα αυλάκια των καλουπιών.

Θερμική διαστολή:

Συντελεστής θερμικής διαστολής αλουμινίου: $\alpha = 23,6 \cdot 10^{-6}$

Περίμετρος αύλακα: $c = 2\pi r = \pi d$

$\Delta c = c' - c_0 = \alpha \pi d_0 \Delta T$

$c' = d' \pi$

Άρα: $d' = d_0(\alpha \Delta T + 1) \Rightarrow d_0 = d' / (\alpha \Delta T + 1)$

Στους 120°C με θερμοκρασία περιβάλλοντος 20°C έχω :

$d_{01} = 27,2 / (23,6 \cdot 10^{-6} \cdot 100 + 1) = 27,136 \text{mm}$

$d_{02} = 30,827 \text{mm}$ και

$d_{03} = 31,526 \text{mm}$

Διαστολή λόγω πίεσης:

Μελετώ τη δυσμενέστερη περίπτωση(δηλαδή αυτή με τη μεγαλύτερη διάμετρο):

$$P = 8\text{bar} = 8 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$$

$$\text{Ελαστικός συντελεστής(Young): } 71,7\text{GPa} = 7,17 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$$

$$L_0 = r_3 = d_3/2 = 15,77025\text{mm}$$

$$E = \sigma/\varepsilon = (F/A_0)/(\Delta L/L_0) = P/(\Delta L/L_0) \Rightarrow$$

$$\Delta L = (PL_0)/E = (8 \cdot 10^5 \cdot 15,77025 \cdot 10^{-3}) / (7,17 \cdot 10^{10}) = 17,5958 \cdot 10^{-8} \text{m} = 0,176 \mu\text{m}$$

Παρατηρούμε ότι η μεταβολή λόγω πίεσης είναι πολύ μικρή άρα δε λαμβάνεται υπόψη στο σχεδιασμό των καλουπιών.

Υπολογισμός αριθμού και τύπου κοχλιών συγκράτησης και συντελεστή ασφαλείας:

Επιλέγεται και πάλι η δυσμενέστερη περίπτωση (δηλαδή η διάμετρος $d = 31,6\text{mm}$)

Επίσης πρέπει να ληφθεί υπόψη ότι το καλούπι πρέπει να ανοιχτεί σε σύντομο χρονικό διάστημα ώστε να μη συσταλεί και σπάσει το δοκίμιο στο εσωτερικό του. Άρα ο αριθμός των κοχλιών δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Εκτιμήθηκε ότι 8 κοχλίες $\Phi 10$ κανονικού βήματος $P = 1,50$ είναι αρκετοί. Παρακάτω υπολογίζεται ο συντελεστής ασφαλείας με χρήση των εν λόγω κοχλιών:

$$\text{Πίεση } 8\text{bar} = 8 \cdot 10^5 \text{N/m}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Επιφάνεια κυλίνδρου} &= (2\pi r l) / 2 = \pi r l = 3,14 \cdot 15,8 \cdot 10^{-3} \cdot 450 \cdot 10^{-3} \\ &= 44650,8 \cdot 10^{-6} \text{m}^2 \end{aligned}$$

$$N = P \cdot A = 8 \cdot 10^5 \cdot 44650,8 \cdot 10^{-6} = 35720,64 \text{N}$$

$$\text{Ο κάθε κοχλίας παραλαμβάνει δύναμη } 35720,64 / 8 = 4465,08 \text{N}$$

$$d_2 = d - 0,64953 \cdot P = 9,025705 \text{mm}$$

$$d_3 = d - 1,22687 \cdot P = 8,159695 \text{mm}$$

$$d_s = (d_2 + d_3) / 2 = 8,5927 \text{mm}$$

$$\text{Ορθή τάση } \sigma_z = N/A = N / (\pi d_s^2 / 4) = 4N / \pi d_s^2 = 77,0372 \text{N/mm}^2$$

$$\text{Για κοχλίες κλάσεως 8.8 έχω } \sigma_{\text{vm}} = 640 \text{N/mm}^2$$

$$S_{\text{υπαρκτήmin}} = 6$$

$$S_{\text{υπαρκτή}} = \sigma_{\text{vm}} / \sigma_n = 640 / 77,0372 = 8,3 > 6$$

Άρα οι κοχλίες που επιλέχθηκαν δίνουν ικανό συντελεστή ασφαλείας.

Υπολογισμός των κωνικών σφηνών που χρησιμοποιούνται για τη συγκράτηση του πνευματικού συστήματος και τη διασφάλιση της κατάλληλης πίεσης μέσα στο καλούπι:

Επιλέγω το μήκος τους στα 25mm και τη γωνία (στην πλάγια όψη) στις 6 μοίρες.

Πρώτη περίπτωση: $d_a = 27,1487\text{mm}$, $l = 25\text{mm}$ και $\alpha = 6$ μοίρες

Έχω: $\tan 6 = 0,1051042$

$(27,1487 - x)/(2 \cdot 25) = 0,1051042 \Rightarrow$

$27,1487 - x = 5,255212 \Rightarrow x = 21,8935\text{mm}$ (αυτή είναι η μικρή διάμετρος)

Ομοίως για τη δεύτερη περίπτωση όπου $d_a = 30,8418$ έχω $x = 23,2743\text{mm}$

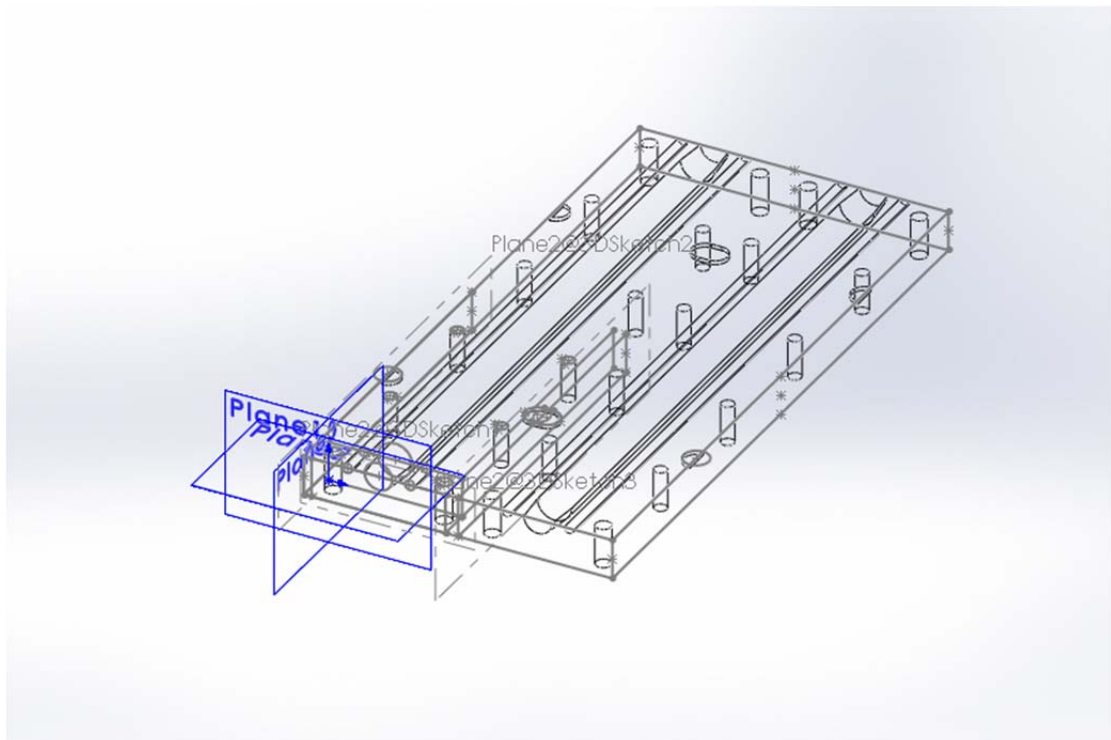
και για την Τρίτη όπου $d_a = 31,5405$ έχω $x = 23,9730\text{mm}$

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται αναλυτικά σχέδια των καλουπιών και των κωνικών σφηνών τα οποία έγιναν με το πρόγραμμα Solidworks της εταιρείας Dassault Systèmes SolidWorks Corp.

Καλούπι με διάμετρο αύλακα 31,526mm για παραγωγή σωλήνα με διάμετρο 31,6mm:

Για το εν λόγω καλούπι αποφασίστηκε τόσο το πάνω όσο και το κάτω μέρος του να κατεργαστούν στην ίδια μεταλλική πλάκα και μετά αυτή να κοπεί στη μέση.

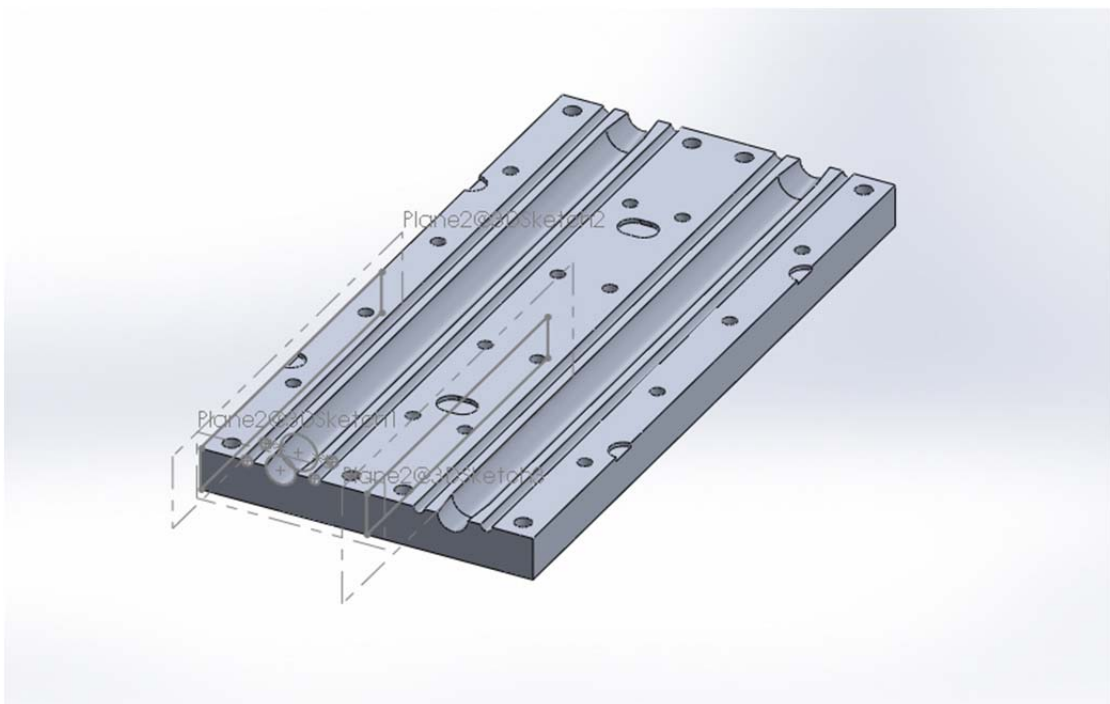
Σχέδιο wireframeστο οποίο φαίνονται αναλυτικά οι λεπτομέρειες σχεδιασμού:



Σχέδιο shaded στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή:



Σχέδιο shaded with edges στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή και κάποιες λεπτομέρειες από το σχεδιασμό του:

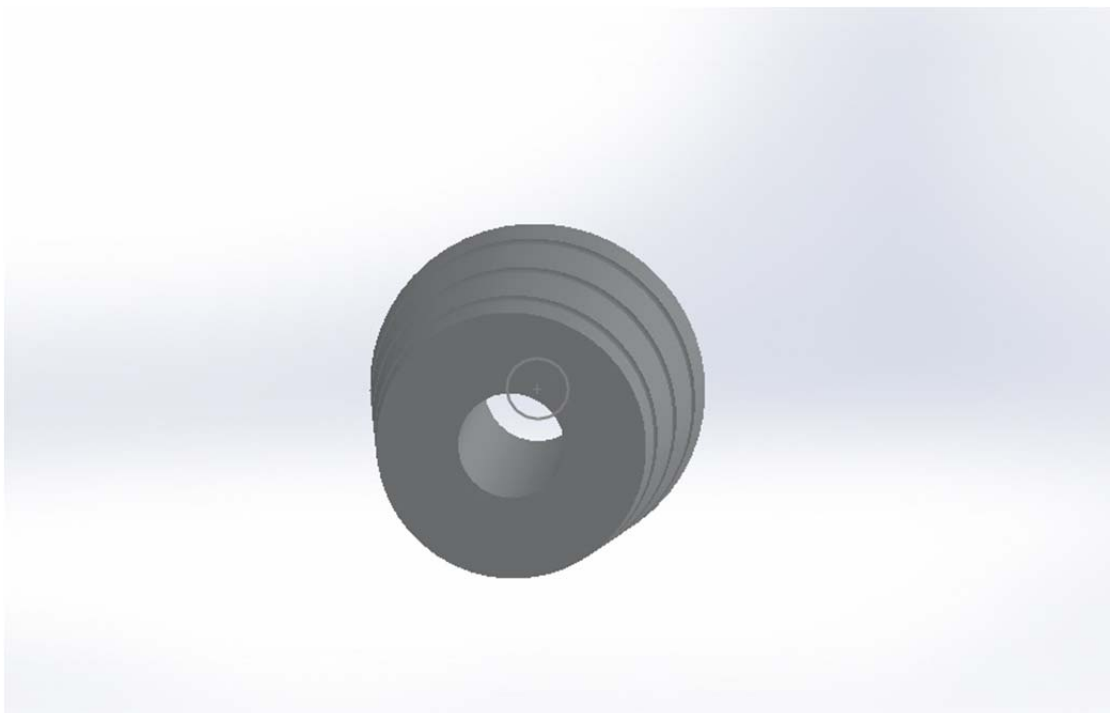


Ακολουθούν σχέδια των σφηνών που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκράτηση του πνευματικού συστήματος και τη διασφάλιση της κατάλληλης πίεσης μέσα στο καλούπι.

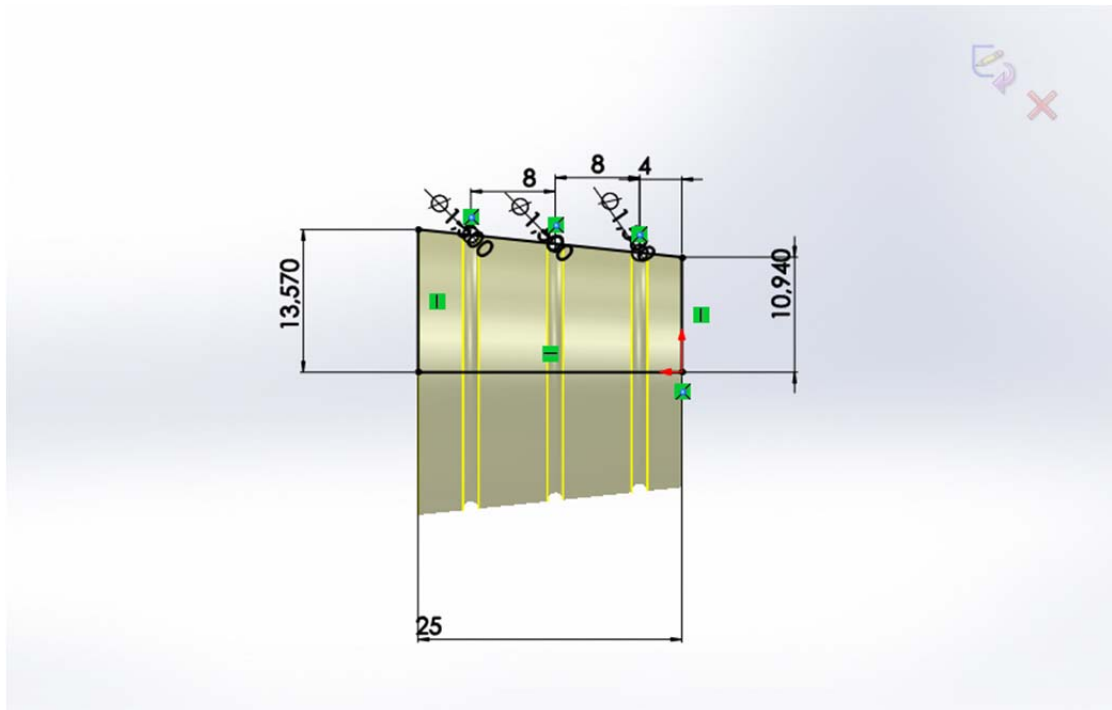
Σφήνα με λαβή συγκράτησης:



Σφήνα με οπή για το πνευματικό σύστημα:



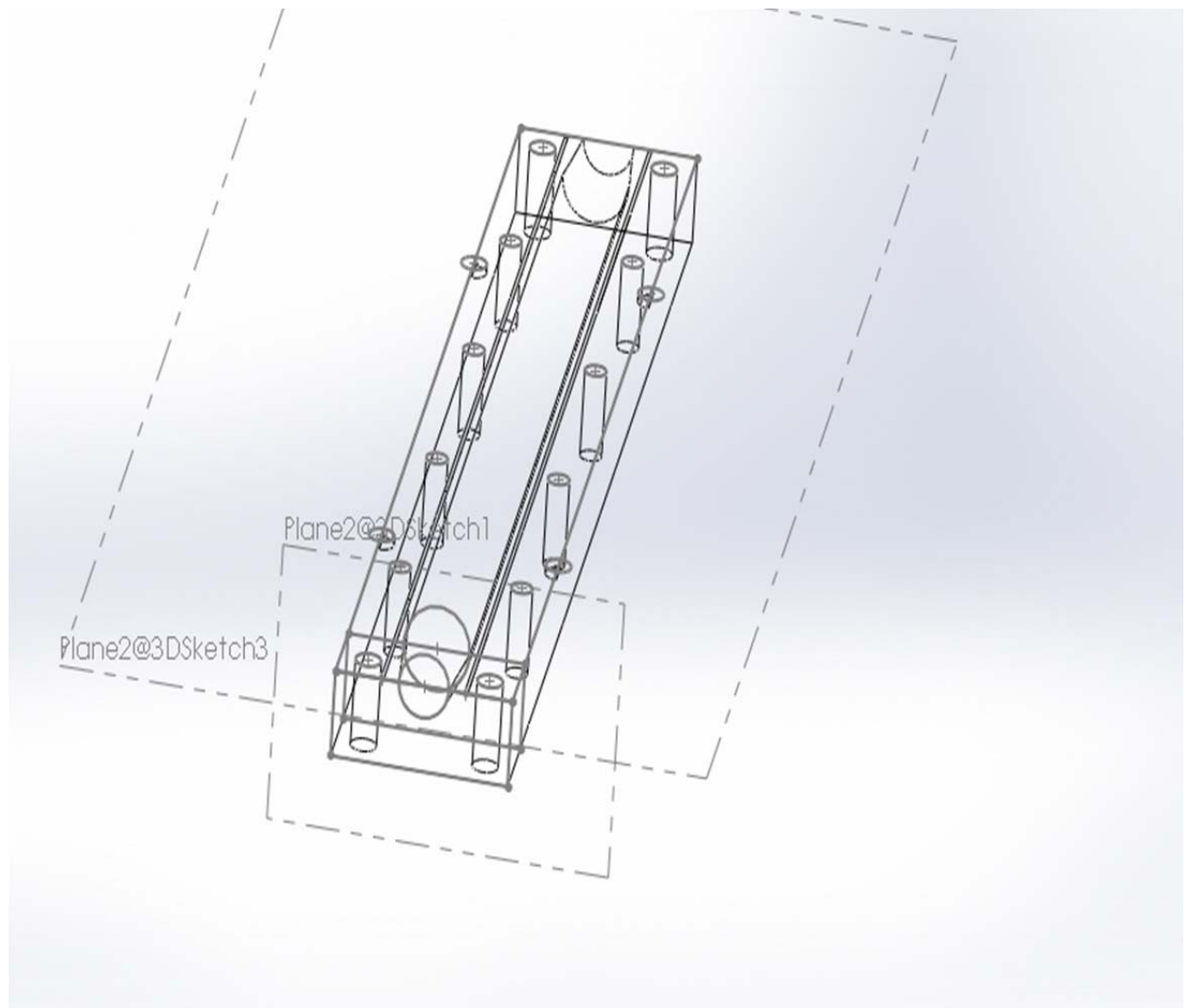
Διαστάσεις:



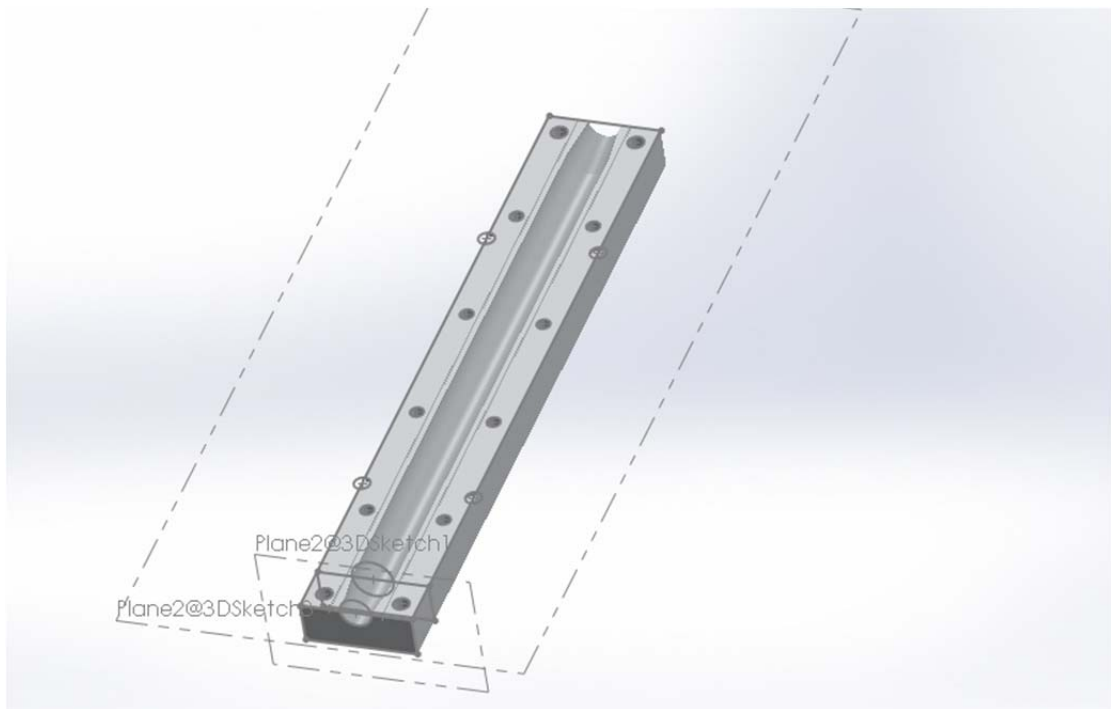
Καλούπι με διάμετρο αύλακα 30,827mm για παραγωγή σωλήνα με διάμετρο 30,9mm:

Στο εν λόγω καλούπι το πάνω και το κάτω μέρος είναι πανομοιότυπα.

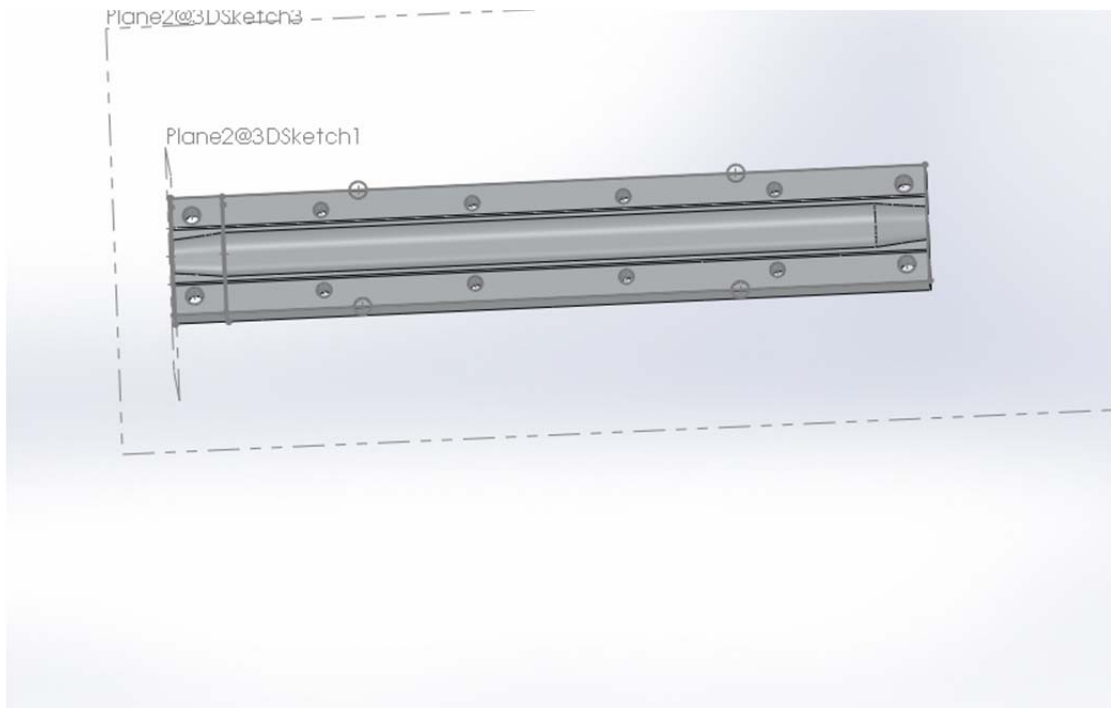
Σχέδιο wireframeστο οποίο φαίνονται αναλυτικά οι λεπτομέρειες σχεδιασμού:



Σχέδιο shaded στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή:

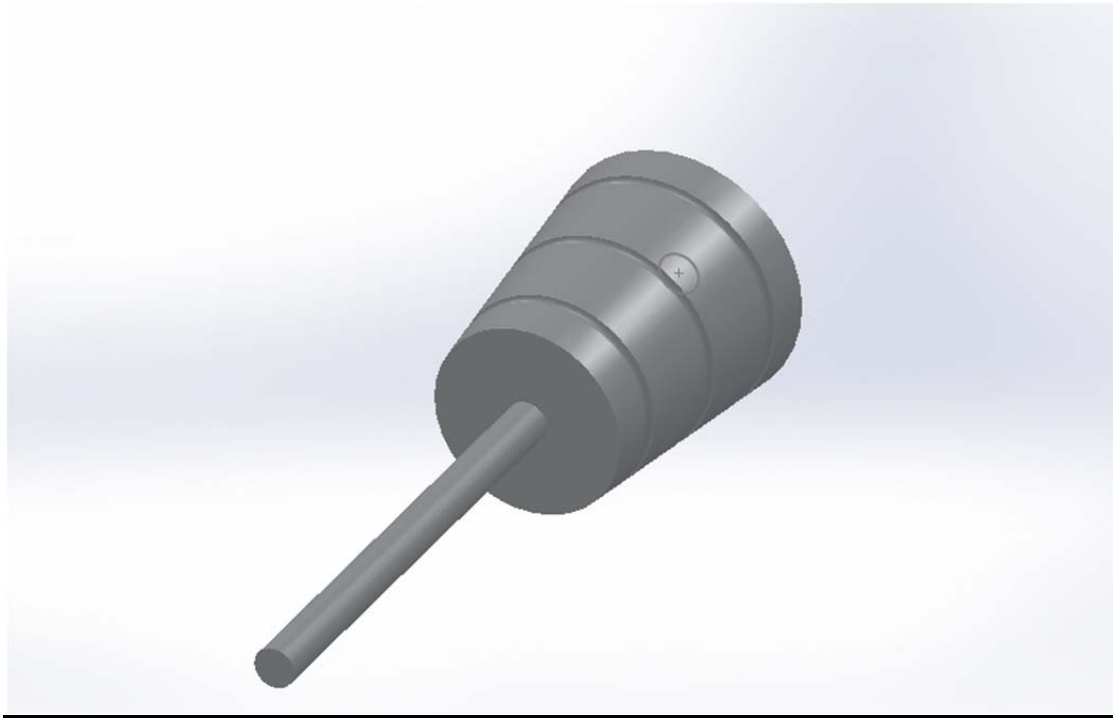


Σχέδιο shaded with edges στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή και κάποιες λεπτομέρειες από το σχεδιασμό του:

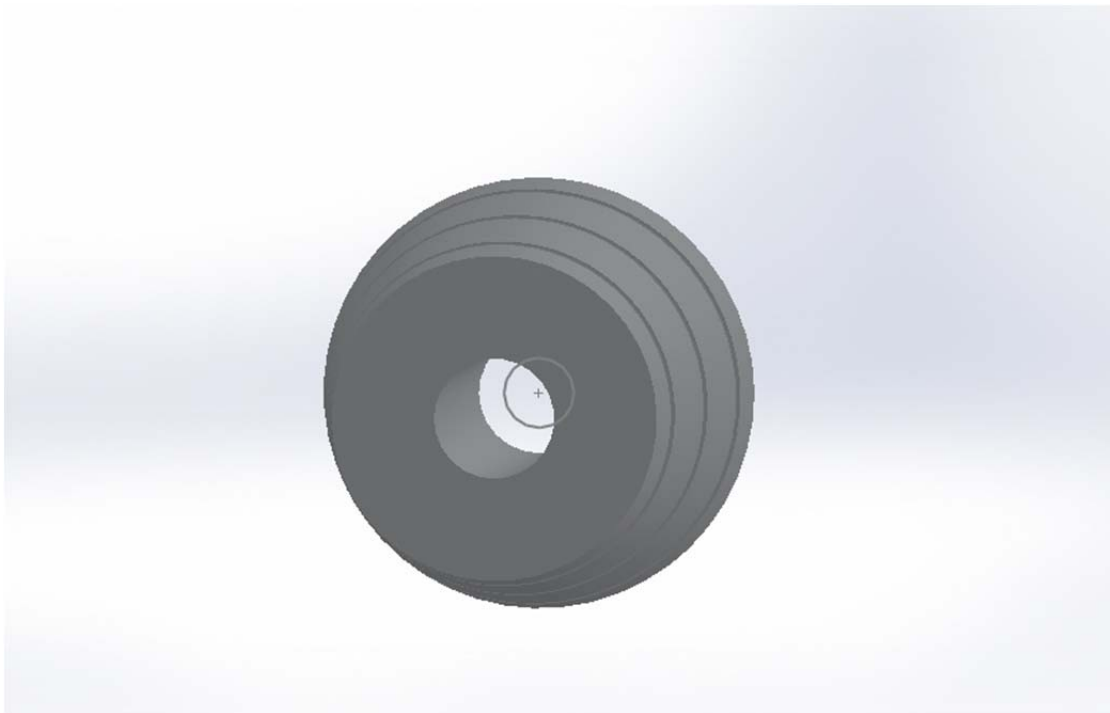


Ακολουθούν σχέδια των σφηνών που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκράτηση του πνευματικού συστήματος και τη διασφάλιση της κατάλληλης πίεσης μέσα στο καλούπι.

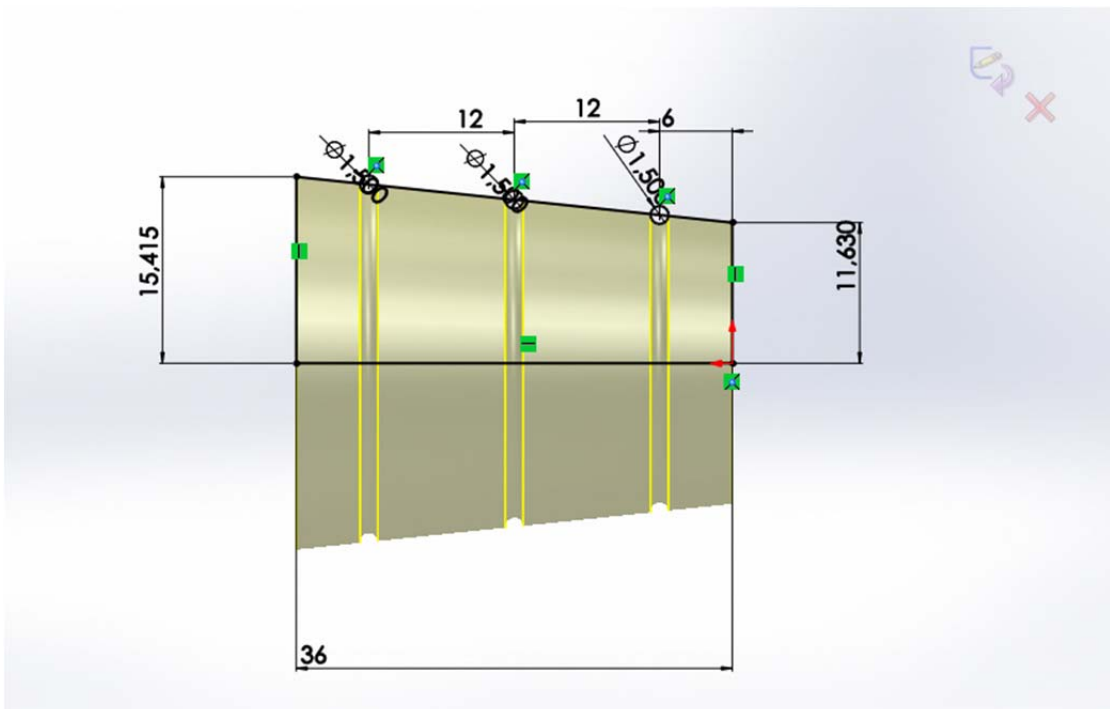
Σφήνα με λαβή συγκράτησης:



Σφήνα με οπή για το πνευματικό σύστημα:



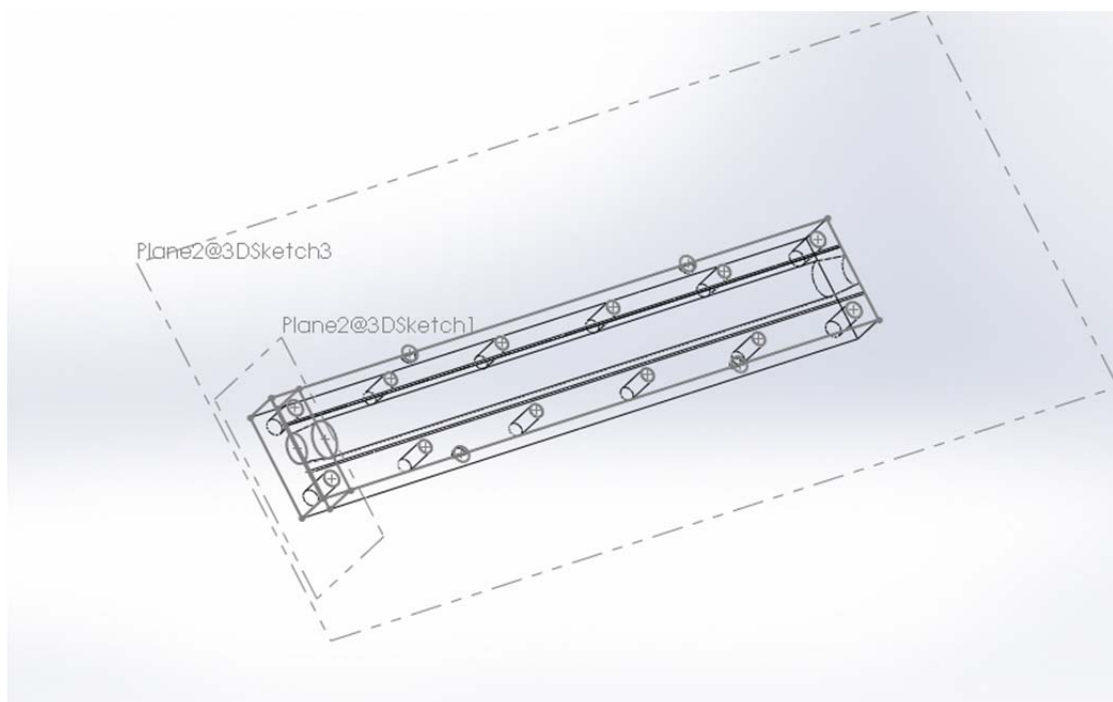
Διαστάσεις:



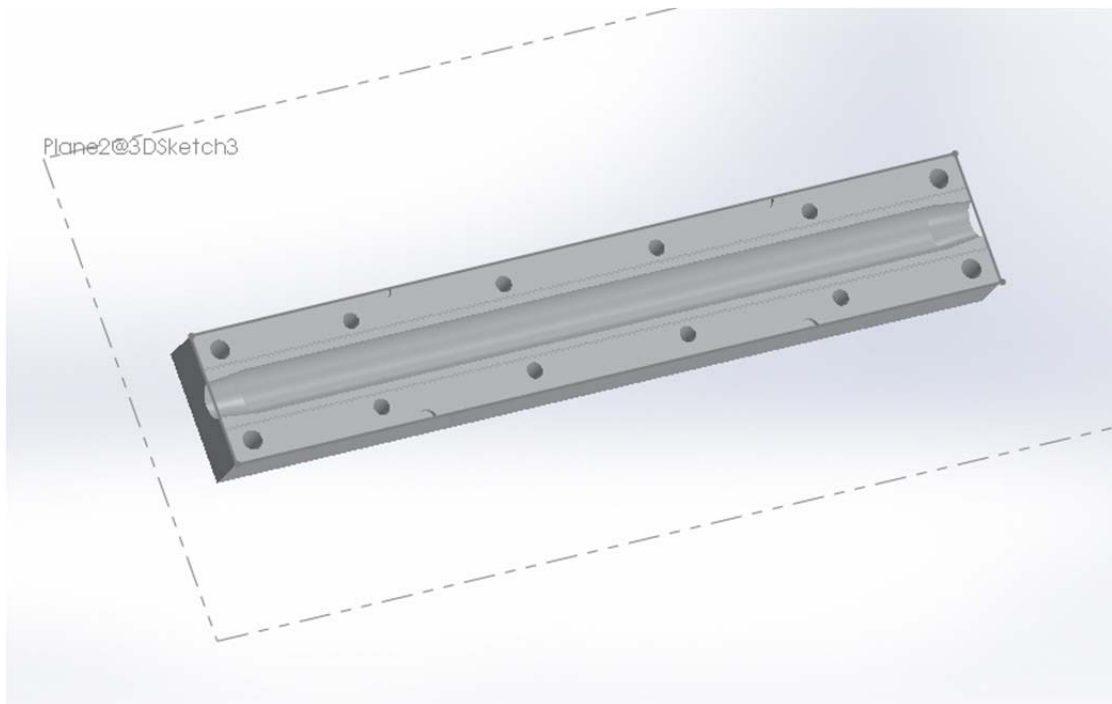
Καλούπι με διάμετρο αύλακα 27,136mm για παραγωγή σωλήνα με διάμετρο 27,2mm:

Στο εν λόγω καλούπι το πάνω και το κάτω μέρος είναι πανοποιοτύπια.

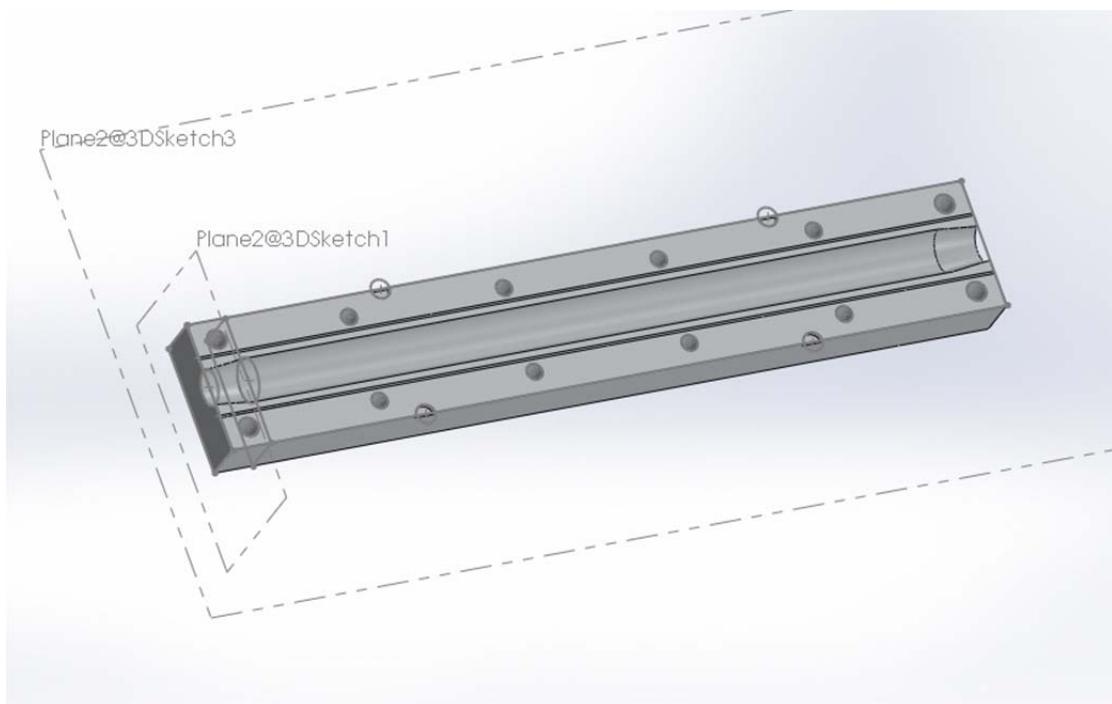
Σχέδιο wireframeστο οποίο φαίνονται αναλυτικά οι λεπτομέρειες σχεδιασμού:



Σχέδιο shaded στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή:

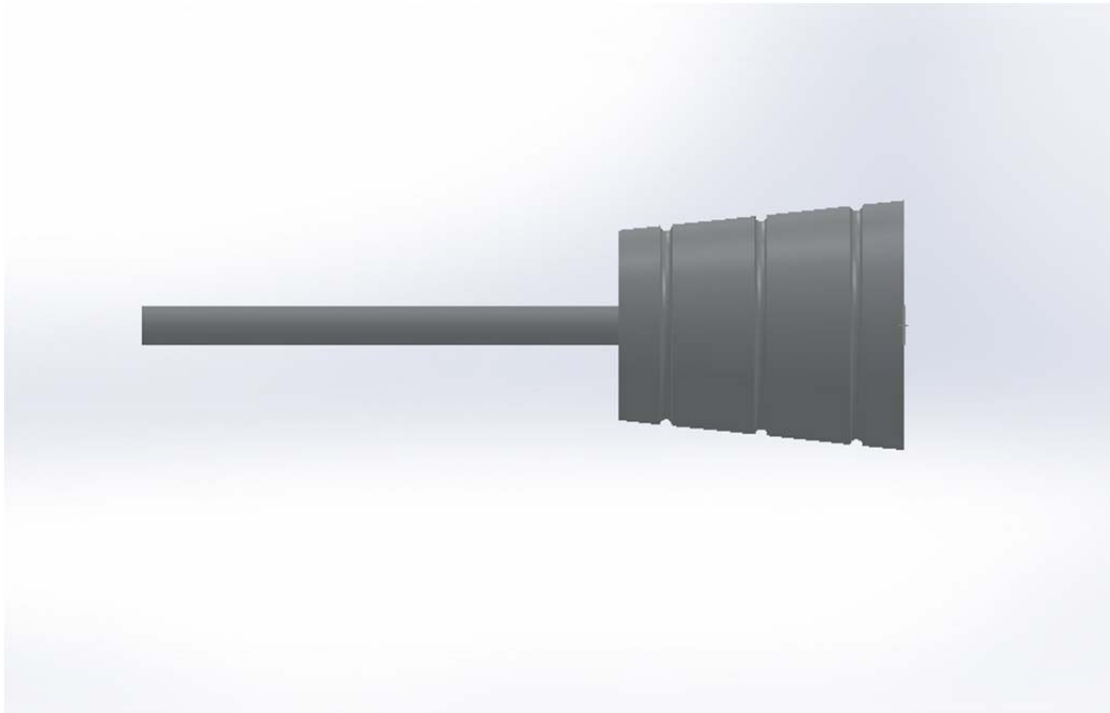


Σχέδιο shaded with edges στο οποίο φαίνεται το καλούπι στην τελική του μορφή και κάποιες λεπτομέρειες από το σχεδιασμό του:



Ακολουθούν σχέδια των σφηνών που θα χρησιμοποιηθούν για τη συγκράτηση του πνευματικού συστήματος και τη διασφάλιση της κατάλληλης πίεσης μέσα στο καλούπι.

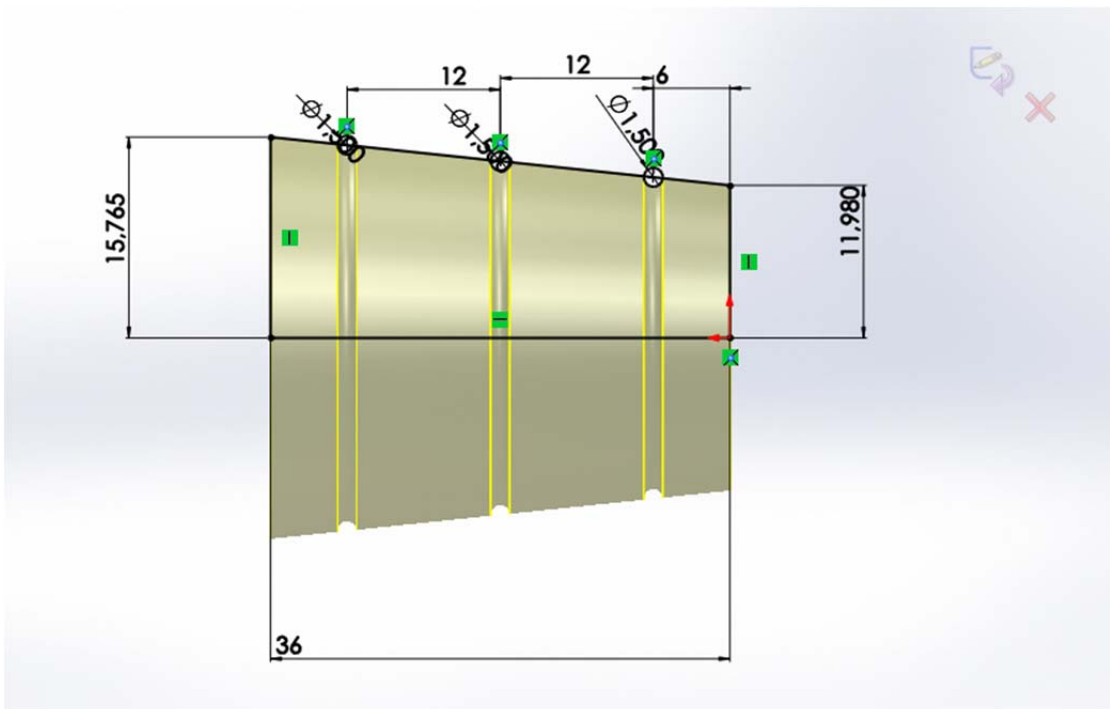
Σφήνα με λαβή συγκράτησης:



Σφήνα με οπή για το πνευματικό σύστημα:



Διαστάσεις:



4.ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

Η αρχική κατεργασία των καλουπιών έγινε με τοCNC κέντρο κατεργασιών MX45VAE της εταιρείας OKUMAτο οποίο βρίσκεται στο Εργαστήριο Κατεργασιών των Υλικών της σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών. Στη συνέχεια έγιναν περαιτέρω κατεργασίες διαμόρφωσης των καλουπιών σε συμβατική φρέζα της εταιρείας Vermacκαι κοπή των καλουπιών σε κορδέλατης εταιρείας Vermac.Τέλος έγινε παραγωγή των δύο κωνικών σφηνών που χρησιμοποιήθηκαν σε συμβατικό τόρνο της εταιρείας Vermac.

Καλούπι με διάμετρο αύλακα 31,526mm για παραγωγή σωλήνα με διάμετρο 31,6mm:

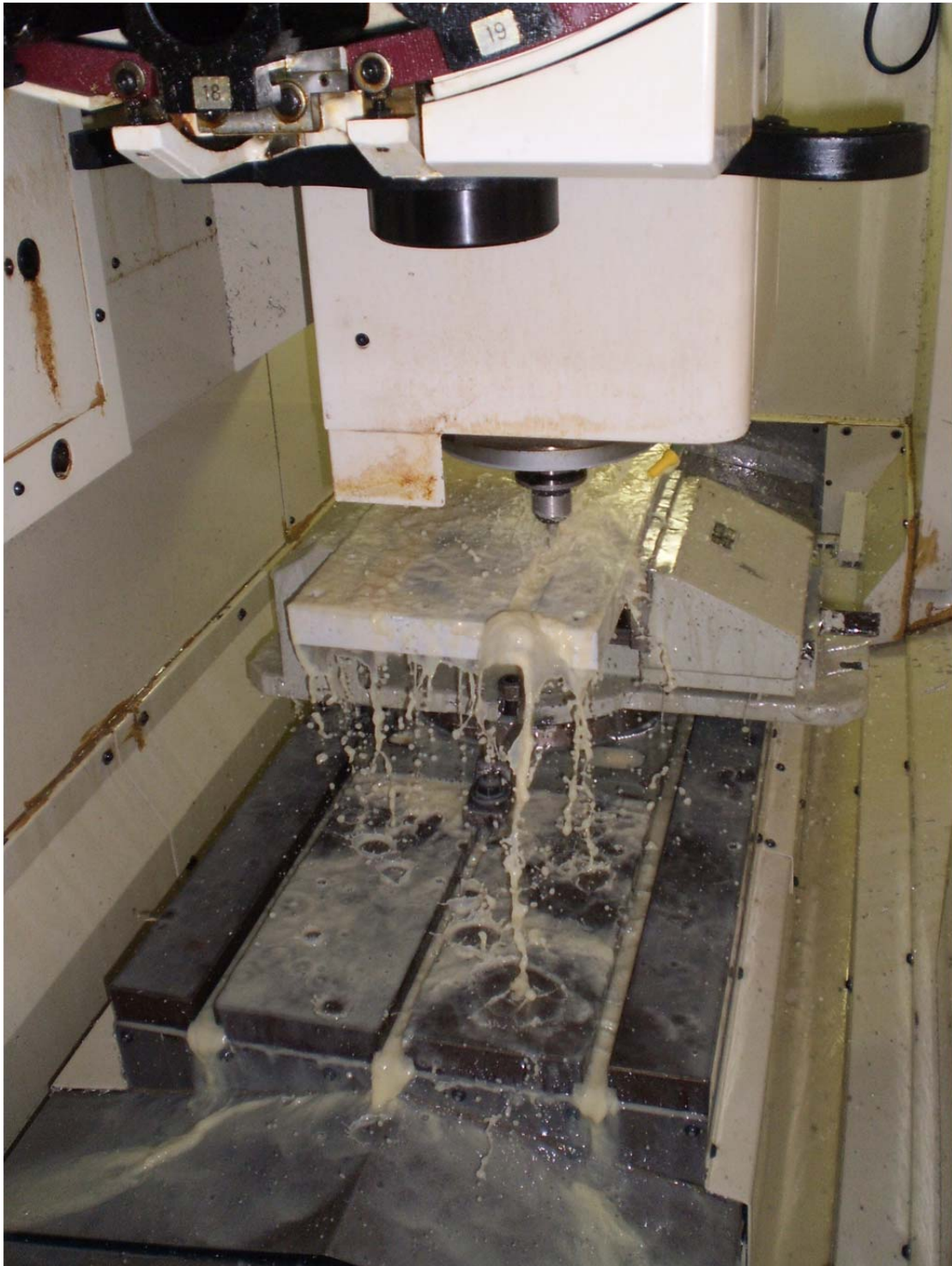
Η πλάκα αλουμινίου αρχικά περάστηκε με φρεζοκεφαλή για να γίνει η επιφάνεια επαφής κατά το κλείσιμο του καλουπιού τελείως λεία. Για την περαιτέρω διαμόρφωση του καλουπιού χρησιμοποιήθηκε το πρόγραμμα Solidcam και συγκεκριμένα έγιναν κατεργασίες drilling για τις τρύπες και HSS για τα μεγάλα αυλάκια. Για τα αυλάκια το κονδύλι που χρησιμοποιήθηκε ήταν ένα δίπτερο Φ20(ξεχόνδρισμα) και ένα δίπτερο Φ6(φινίρισμα) και για τις τρύπες τρυπάνι Φ10 και μακρύ κονδύλι Φ10. Στο συνημμένο αρχείο παρατίθεται ο κώδικας G που χρησιμοποιήθηκε με τις κατάλληλες τροποποιήσεις για να διαβάζεται από τη μηχανή MX45VAE.

Παρακάτω ακολουθεί σειρά φωτογραφιών που τραβήχτηκαν κατά τη διάρκεια της κατεργασίας:

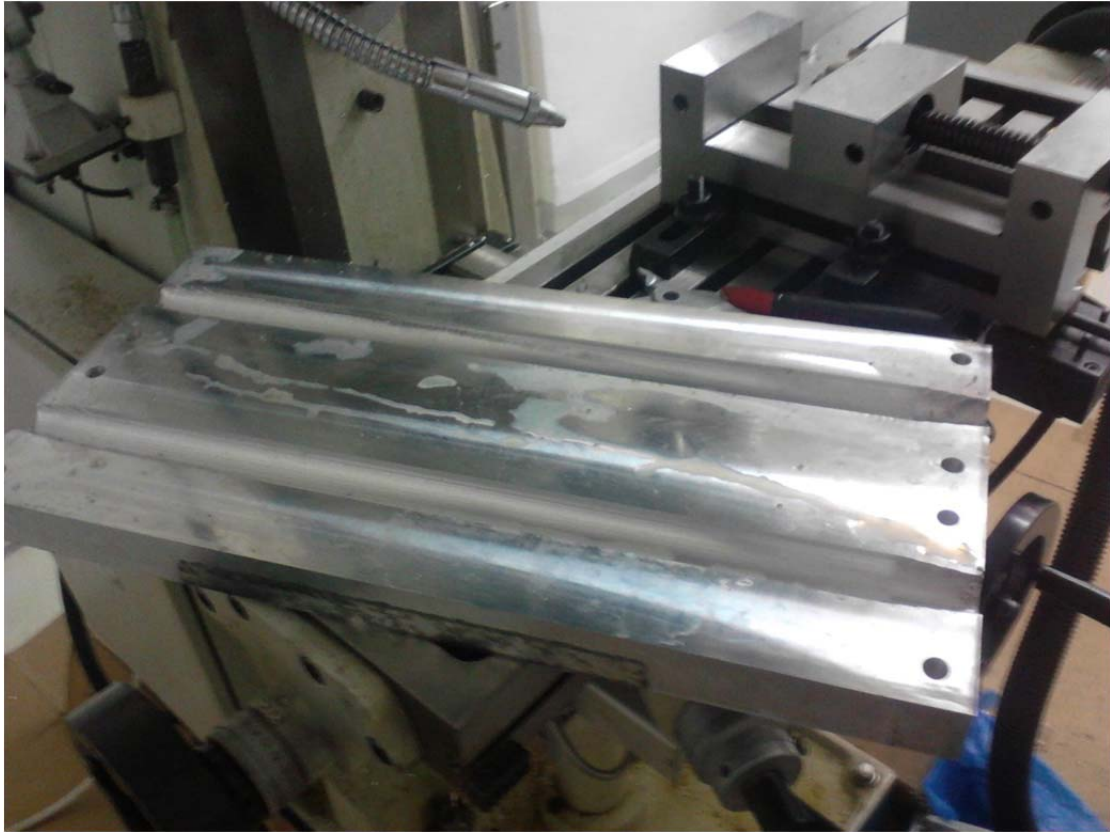








Το τεμάχιο μετά την ολοκλήρωση της διαδικασίας:

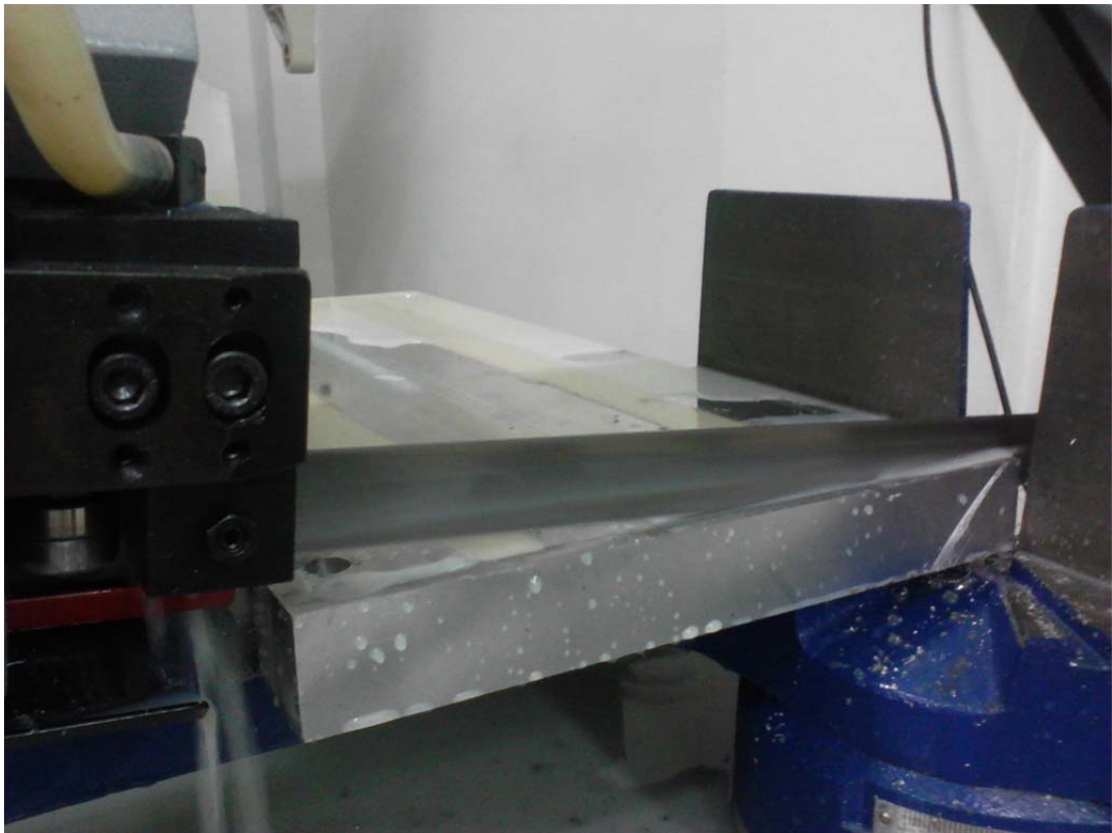




Ακολουθεί η συμβατική κατεργασία του καλουπιού.

Κοπή του καλουπιού:







Κοπή του καλουπιού στη μέση:

Χρησιμοποιήθηκε δίπτερο μακρύ κονδύλι Φ5 και ακολουθεί ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της προώσεως:

$V_f = f_z \cdot z \cdot n$ όπου f_z : δεδομένο από το εγχειρίδιο του κατασκευαστή του κονδυλιού,
 z : αριθμός δοντιών και n : στροφές ανά λεπτό.

Άρα τελικά $V_f = 0,031 \cdot z \cdot n = 108,5 \text{ mm/min}$







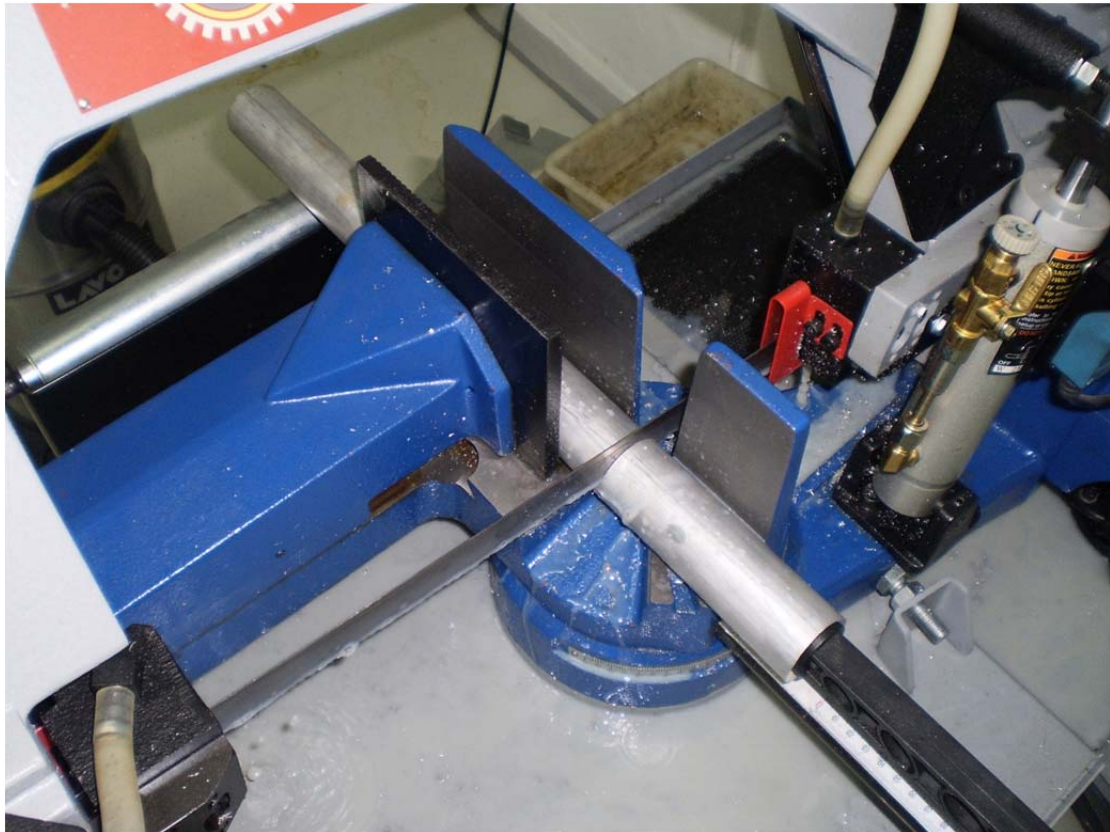
Διάνοιξη οπών για κοσχλίες:



Λείανση των επιφανειών του καλουπιού με φρεζοκεφαλή:



Κατασκευή των κωνικών σφηνών:



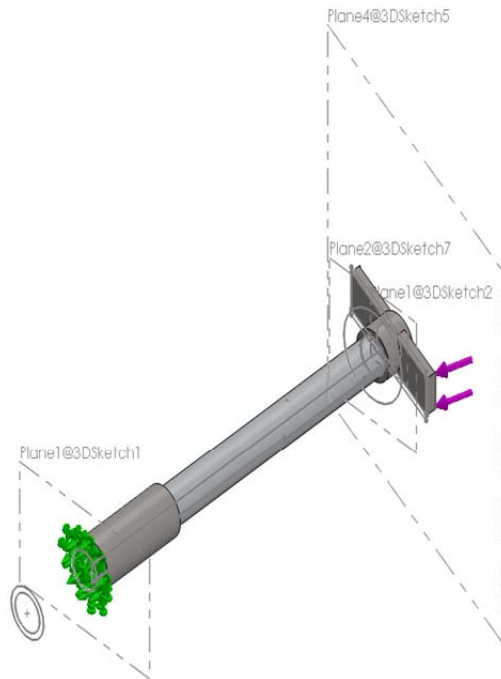
5.ΕΞΟΜΟΙΩΣΗ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΩΝ – ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ ΔΙΑΤΡΩΜΑΤΩΣΕΩΝ

Τα κυλινδρικά δοκίμια θα χρησιμοποιηθούν ως παλουκόμελα για εφαρμογή σε αγωνιστικά ποδήλατα γι'αυτό και έγινε μοντελοποίησή τους ως αλουμινένια και μελέτη - εξομείωση μέσω του προγράμματος Solidworks και του Ansys Workbench 14 για να αποφασιστεί το τελικό πάχος που πρέπει να έχουν έτσι ώστε να είναι κατάλληλα για αγωνιστική χρήση σύμφωνα με τις διατάξεις(EN 14781) του CEN (European Committee for Standardization). Από τα αποτελέσματα αυτά έγινε εκ νέου μοντελοποίησή τους ως ανθρακονημάτινα με το πρόγραμμα Solidworks και υπολογισμός των διαστρωματώσεων του CFRP που θα χρησιμοποιηθούν. Αναλυτική επεξήγηση των ελέγχων καθώς και των διατάξεων που χρησιμοποιούνται από τον CEN υπάρχει στο παράρτημα. Για κάθε διάμετρο έγινε μοντελοποίηση για τρία διαφορετικά μήκη παλουκόμελου (320mm,360mm,400mm). Ακολουθούν οι μοντελοποιημένες διατάξεις. Με πράσινο χρώμα φαίνεται η συγκράτηση και με μωβ χρώμα το φορτίο.

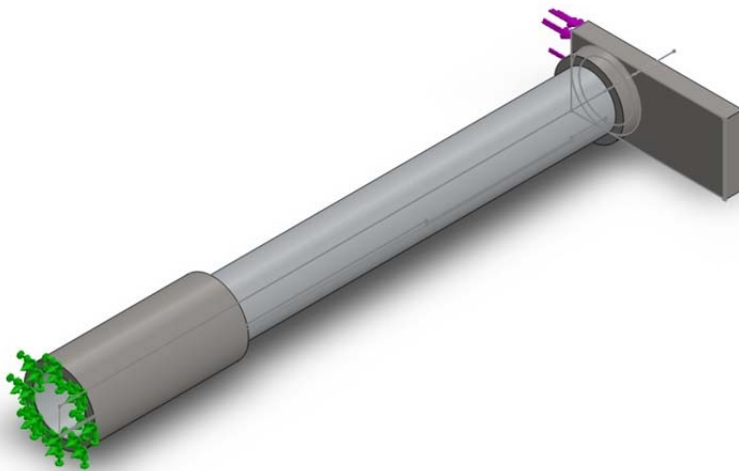
1) Φορτίο 1200N:



2) Φορτίο 1200N:

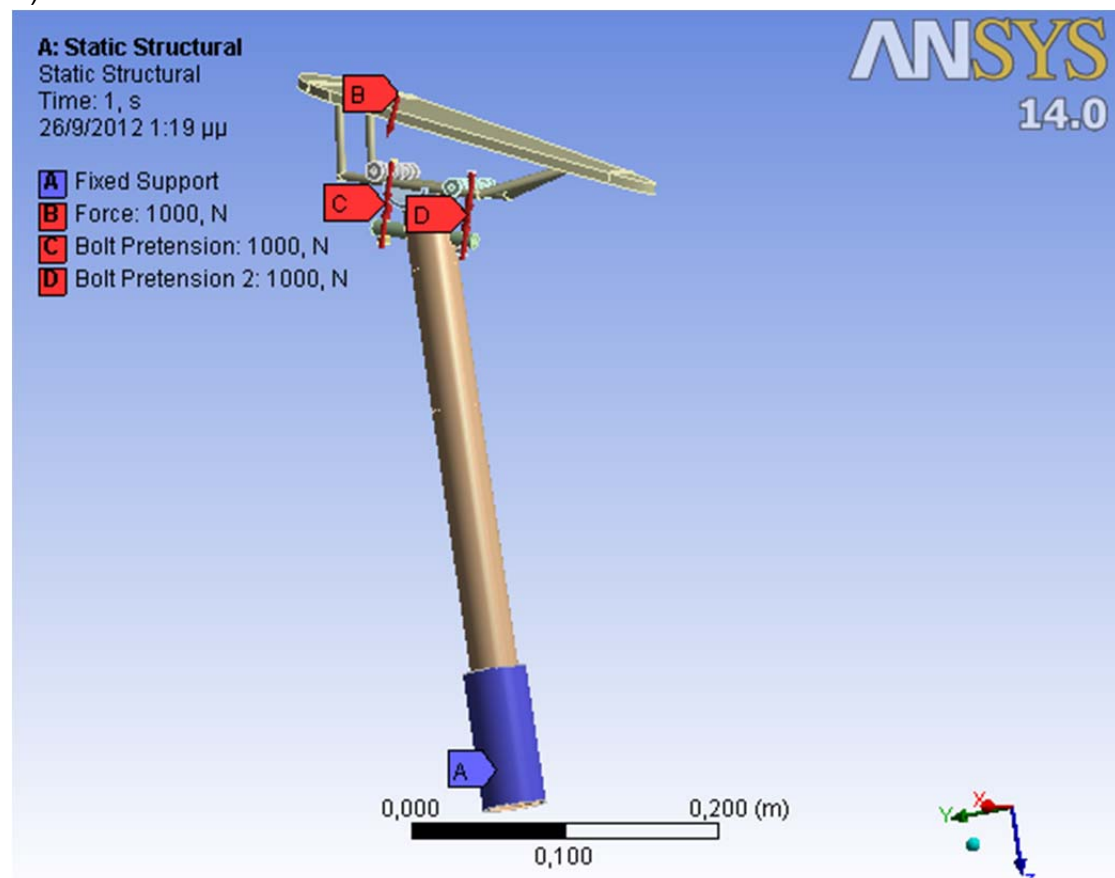


3) Φορτίο 900N:

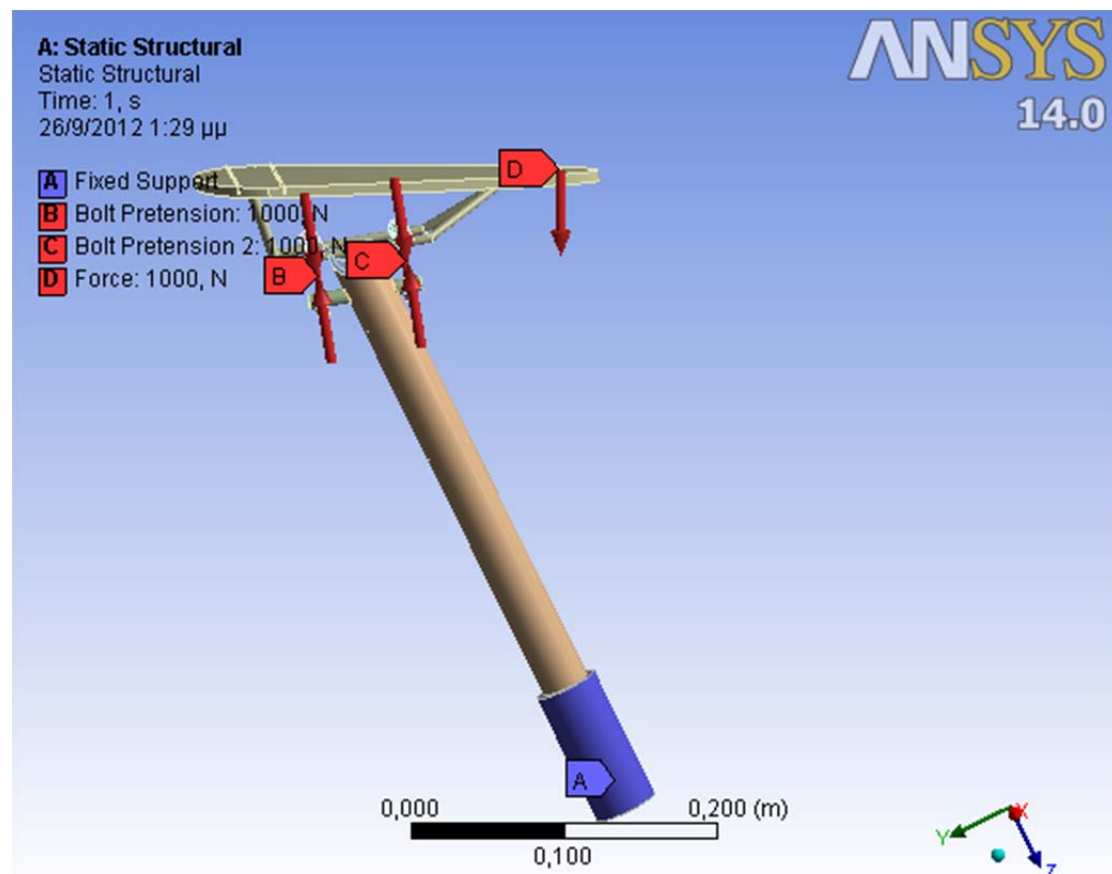


Για τα παρακάτω τεστ χρειάστηκε να γίνει μοντελοποίηση της σέλας του ποδηλάτου καθώς και όλου του μηχανισμού συγκράτησης:

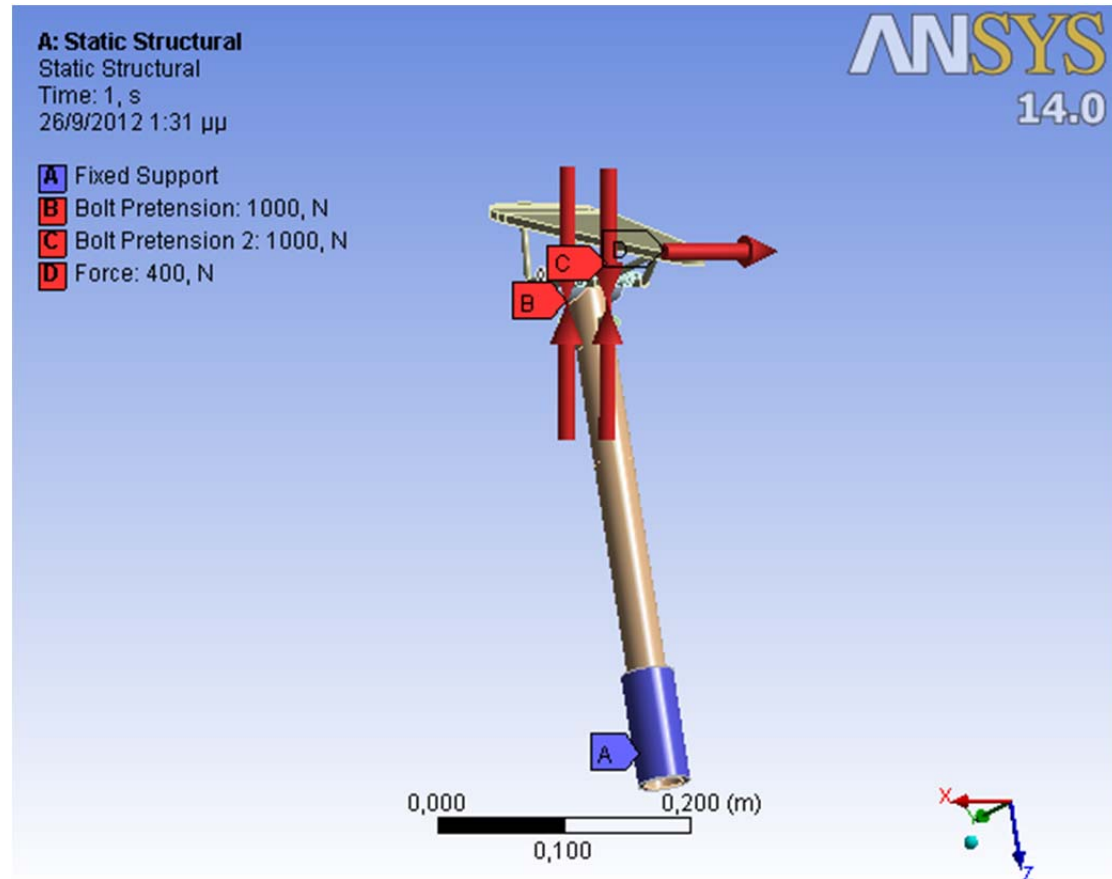
4)



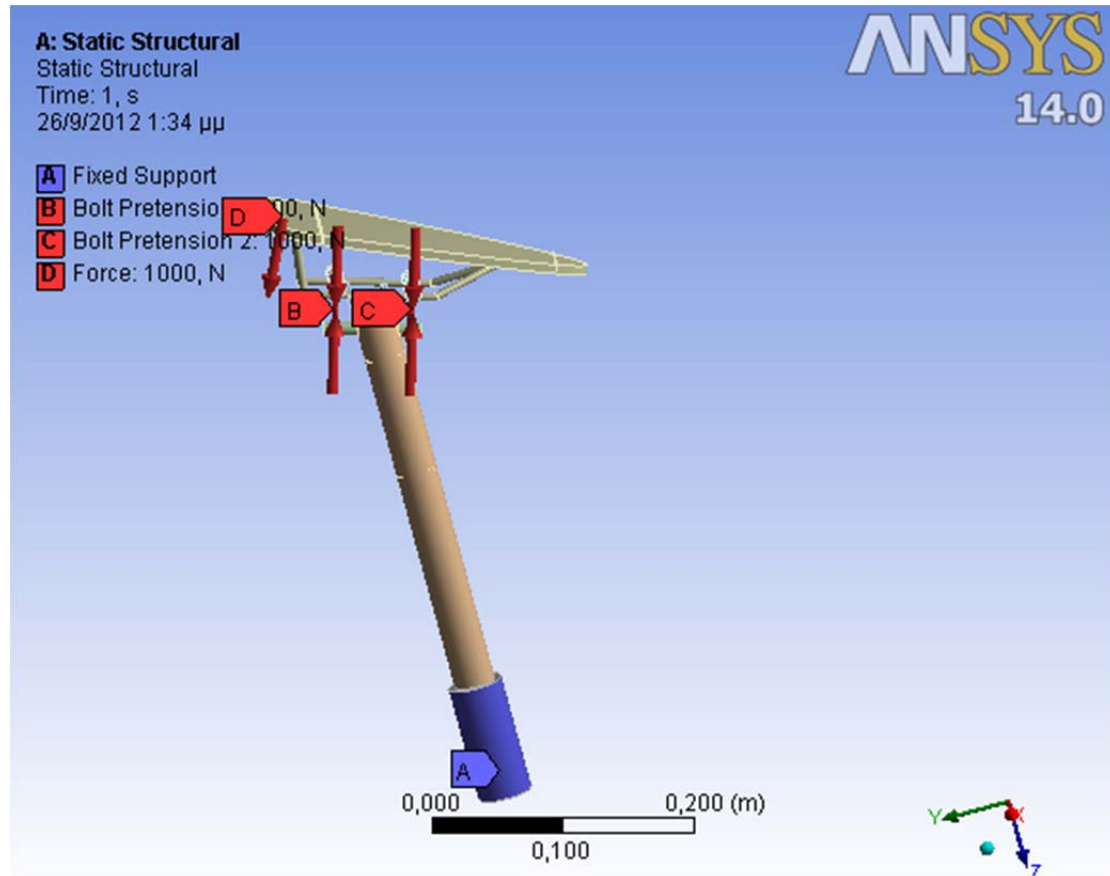
5)



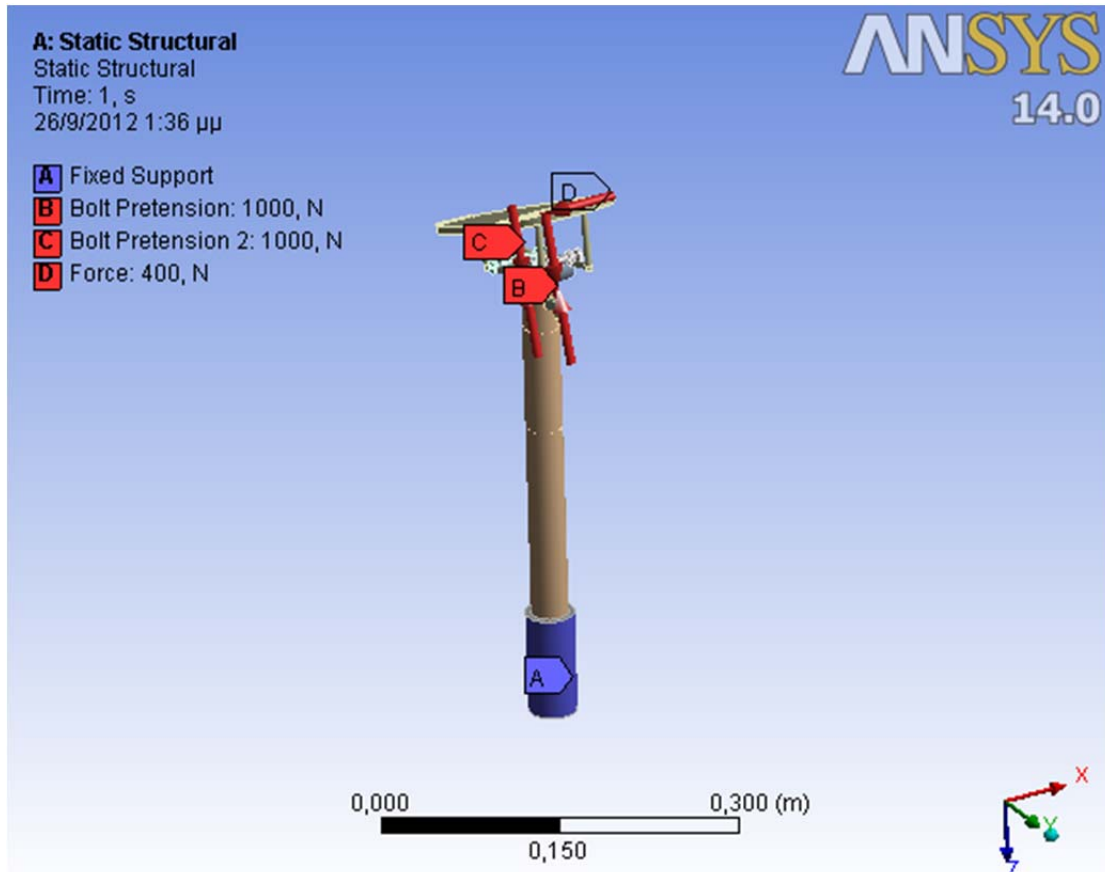
6)



7)

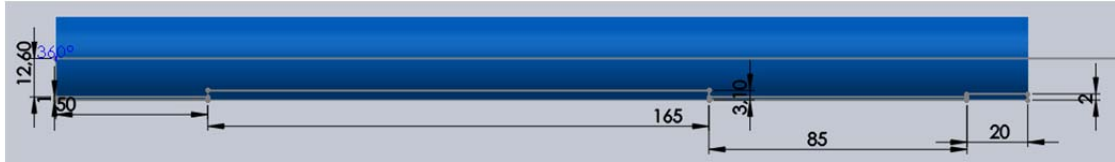


8)



Από τις εξομοιώσεις παρατηρήθηκε ότι μεγαλύτερη συγκέντρωση τάσεων έχουμε στο τεστ 3, συγκεκριμένα στο σημείο επαφής του παλουκόσελου με το σκελετό του ποδηλάτου, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε για να γίνουν οι δοκιμές μέσω Solidworks για τις διάφορες διατομές όσον αφορά τα μοντέλα αλουμινίου. Προστέθηκε και δοκιμή κοπώσεως έτσι ώστε τα τελικά δοκίμια να αντέχουν 100000 κύκλους. Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται αναλυτικά οι διαστάσεις των διατομών στις οποίες καταλήξαμε.

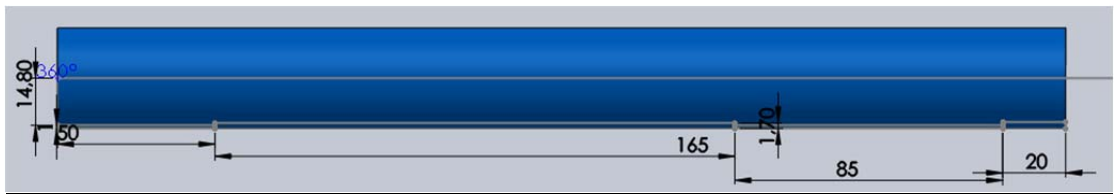
L = 320, d = 27,2:



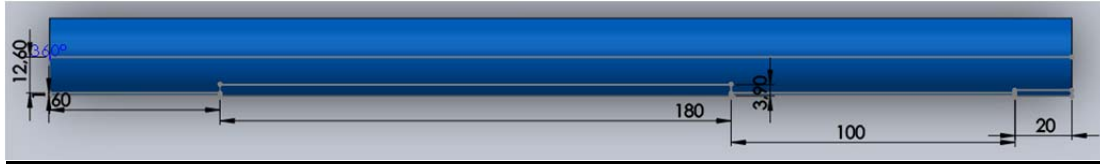
L = 320, d = 30,9:



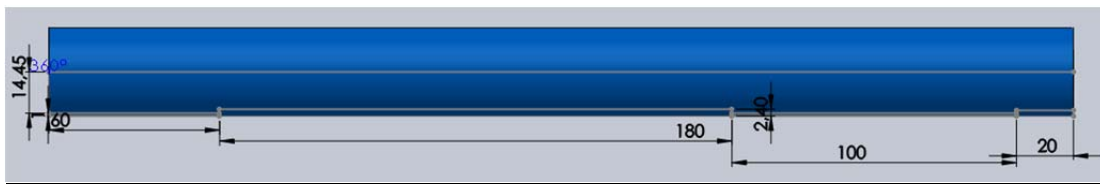
L = 320, d = 31,6:



L = 360, d = 27,2:



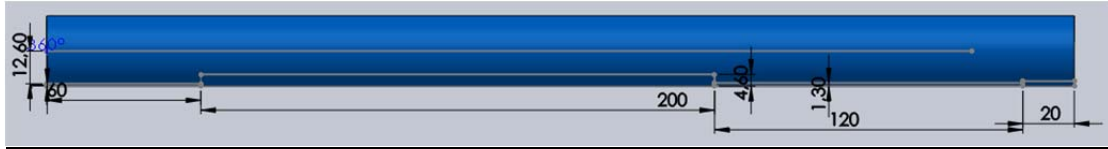
L = 360, d = 30,9:



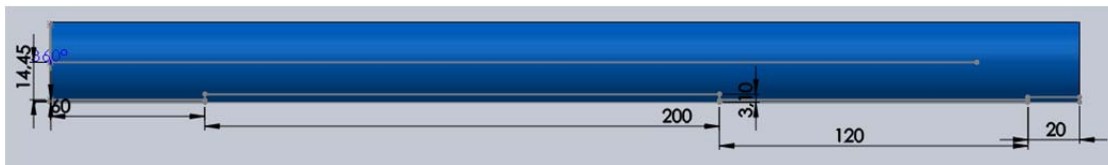
L = 360, d = 31,6:



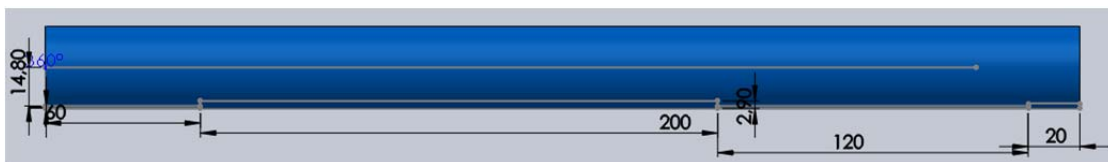
L = 400, d = 27,2:



L = 400, d = 30,9:



L = 400, d = 31,6:

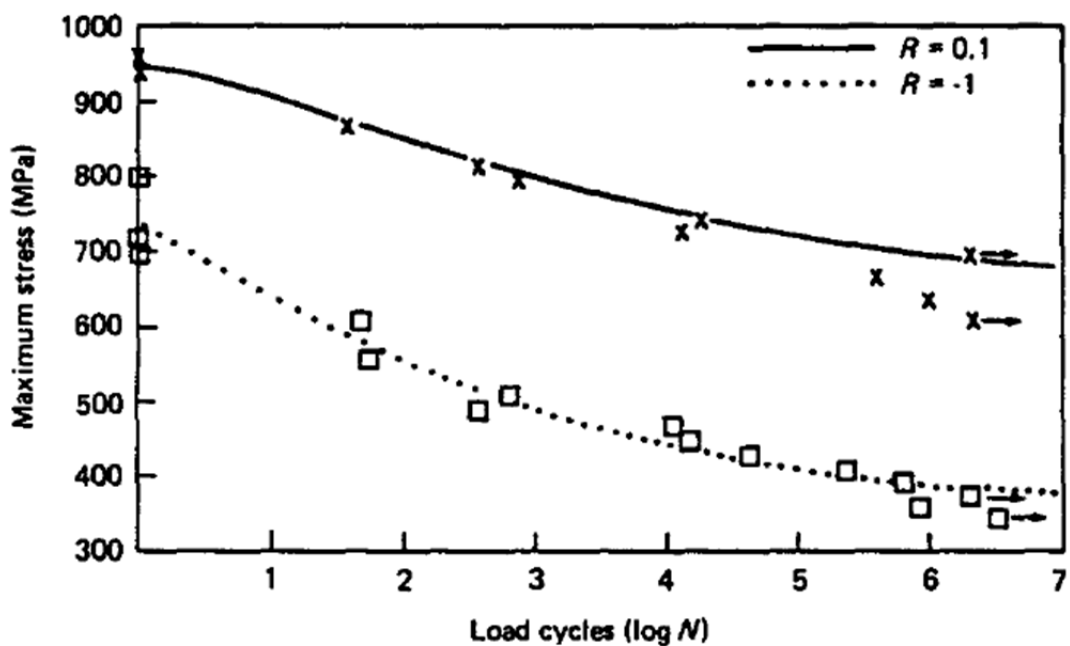


Έπειτα, ακολούθησε η μοντελοποίηση των δοκιμών ως ανθρακονημάτινα με βάση τις προηγούμενες διατομές. Αποφασίστηκε το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή τους να είναι το T300woven και T300unidirectional της εταιρείας TORAYCA επειδή συνδυάζει καλό μέτρο ελαστικότητας και καλή αντοχή σε εφελκυσμό και θλίψη. Ακολουθεί πίνακας με τις ιδιότητες των συγκεκριμένων υλικών:

<u>Material</u>	<u>T300w</u>	<u>T300ud</u>	<u>units</u>
Elastic Modulus in X	6,00E+10	6,00E+10	N/m ²
Elastic Modulus in Y	6,05E+010	1,20E+8	N/m ²
Elastic Modulus in Z	1,00E+10	1,00E+10	N/m ²
Poisson's Ration in XY	0,26	0.26	N/A
Poisson's Ration in YZ	0,3	0.1	N/A
Poisson's Ration in XZ	0,3	0.3	N/A
Shear Modulus in XY	3,9E+09	3,9E+09	N/m ²
Mass Density	1000	1000	kg/m ³
Tensile Strength in X	7E+08	7E+08	N/m ²
Tensile Strength in Y	7,45E+08	1,49E+07	N/m ²
Compressive Strength in X	5,4E+08	5,4E+08	N/m ²
Compressive Strength in Y	5,6E+08	1,08E+07	N/m ²
Shear Strength in XY	95000000	95000000	N/m ²
Yield Strength	2,6E+09	2,6E+09	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient in X	0,003	0,003	/K
Thermal Conductivity in X	10,46	10,46	W/(m·K)
Specific Heat	795	795	J/(kg·K)

Αξίζει να σημειωθεί ότι το υλικό είναι προεμπροτισμένο με ρητίνη και κάθε φύλλο T300woven έχει πάχος 0,23mm ενώ κάθε φύλλο T300udέχει πάχος 0,16mm.

Παρατίθεται ο πίνακας κοπώσεως του υλικού βάσει του οποίου επιλέχθηκαν οι τελικές αποδεχτές τιμές μέγιστης τάσεως VonMises κατά την εξομοίωση (για να αντέχει 100000 κύκλους).



Τα δοκίμια μοντελοποιήθηκαν ως compositeshells μέσω του Solidworks με βάση τις διατομές των αλουμινένιων. Για τις εξομοιώσεις χρησιμοποιήθηκε και πάλι το τεστ 3 με το οποίο μετρήθηκε η μέγιστη τάση VonMises που παρουσιάζεται καθώς επίσης και οι τάσεις μεταξύ των στρώσεων του υλικού. Στις απόμενες σελίδες παρατίθενται αναλυτικά οι στρώσεις που είναι απαραίτητες καθώς και το που θα τοποθετηθούν κατά μήκος του καλουπιού.

L = 320, d = 27,2:

Από 0 έως 50mmκαι από 215 έως 300mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w

Από 50 έως 215mmκαι από 300 έως 320mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300ud
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w

L = 320, d = 30,9:

Από 0 έως 50mmκαι από 215 έως 300mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w

Από 50 έως 215mmκαι από 300 έως 320mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300ud
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w

L = 320, d = 31,6:

Από 0 έως 50mmκαι από 215 έως 300mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w

Από 50 έως 215mmκαι από 300 έως 320mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300w
6	±0, 90	T300w

L = 360, d = 27,2:

Από 0 έως 60mmκαι από 240 έως 340mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w

Από 60 έως 240mmκαι από 340 έως 360mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300ud
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w
8	±0, 90	T300w

L = 360, d = 30,9:

Από 0 έως 60mmκαι από 240 έως 340mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300ud

Από 60 έως 240mmκαι από 340 έως 360mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300ud
5	±0, 90	T300w
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w

L = 360, d = 31,6:

Από 0 έως 60mmκαι από 240 έως 340mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w

Από 60 έως 240mmκαι από 340 έως 360mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300w
6	±0, 90	T300w

L = 400, d = 27,2:

Από 0 έως 60mmκαι από 260 έως 380mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300ud

Από 60 έως 260mmκαι από 380 έως 400mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300ud
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w
8	±0, 90	T300w
9	±0, 90	T300w

L = 400, d = 30,9:

Από 0 έως 60mmκαι από 260 έως 380mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w

Από 60 έως 260mmκαι από 380 έως 400mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300w
5	±0, 90	T300w
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w

L = 400, d = 31,6:

Από 0 έως 60mm και από 260 έως 380mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300ud

Από 60 έως 260mm και από 380 έως 400mm.

<u>Στρώση</u>	<u>Γωνία</u>	<u>Υλικό</u>
1	±45	T300w
2	±0, 90	T300w
3	±45	T300w
4	±0, 90	T300ud
5	±0, 90	T300w
6	±0, 90	T300w
7	±0, 90	T300w

Αφού καταλήξαμε στα παραπάνω αποτελέσματα έγιναν άλλα δυο τελικά τεστ επιβεβαίωσης στο Solidworks. Το πρώτο αφορούσε στο αν αντέχει το παλουκόσελο τη ροπή σύσφιξης(περίπου 6Nm) στο λαιμό του σκελετού του ποδηλάτου. Το δεύτερο στο αν αντέχει το πάνω μέρος του παλουκόσελου(το οποίο συνδέεται με συνδέσμους με τη σέλα) τόσο το βάρος του αναβάτη(100kg) όσο και τη δύναμη συγκράτησης από τους 2 κοχλίες-συνδέσμους. Παρατηρήθηκε ότι αντέχει και μάλιστα με πολύ μεγαλύτερο συντελεστή ασφαλείας σε σχέση με το τεστ 3.

6.ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ

Το καλούπι για να δεχθεί το CFRP πρέπει να δεχθεί κάποιες διαδικασίες:

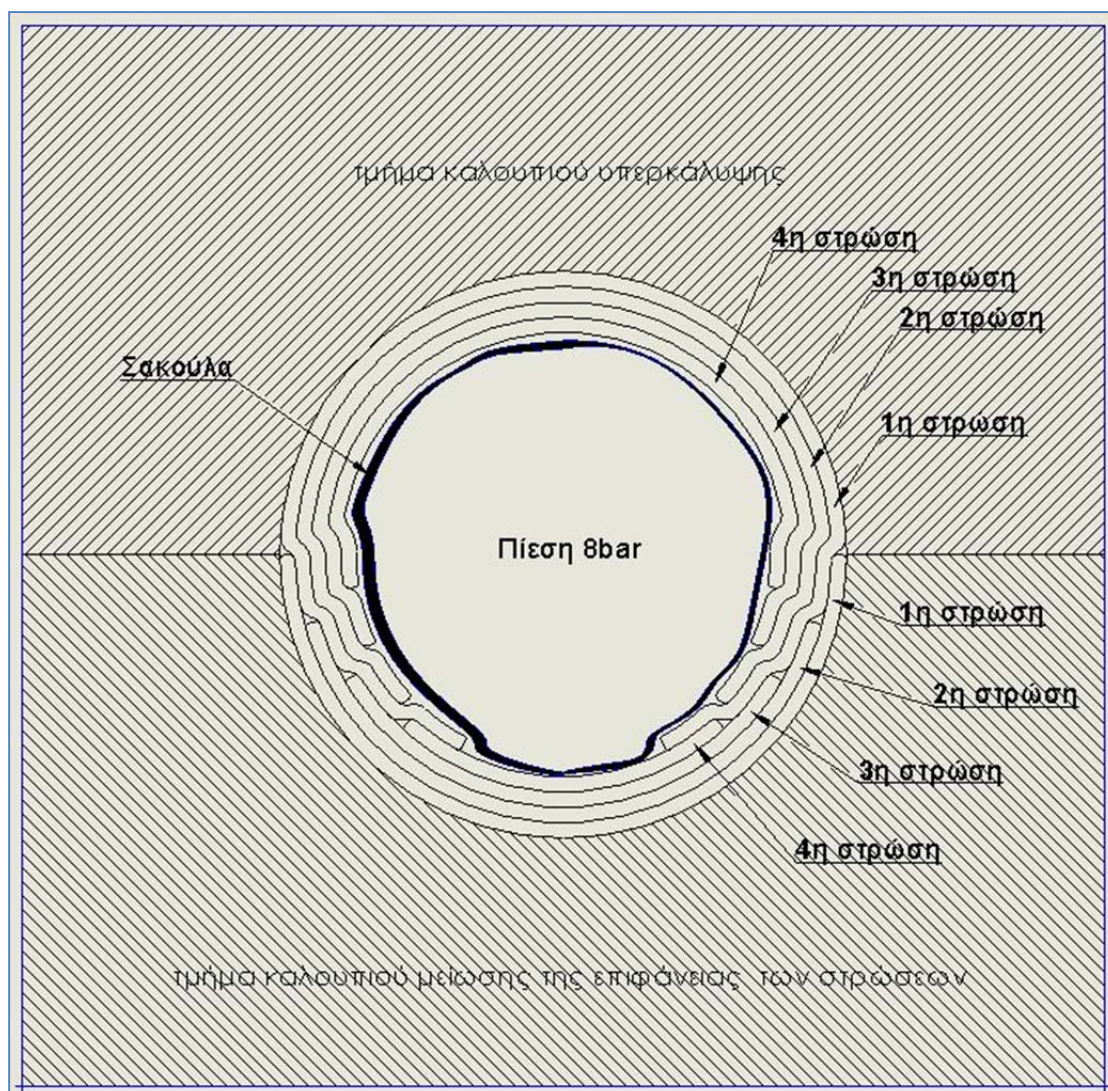
- 1) Καθαρισμός με ασετόν.
- 2) Γυάλισμα με Dremel.



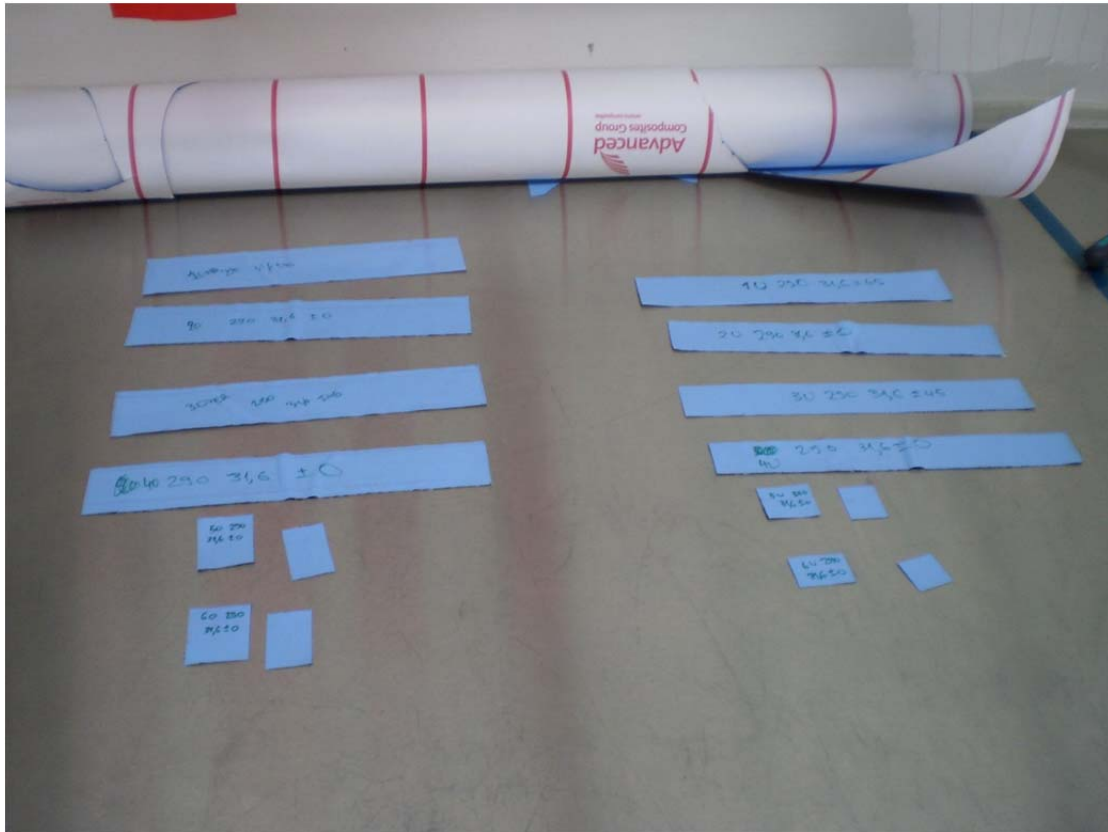
- 3) Καθαρισμός με moldcleaner.
- 4) Πέρασμα με στεγανωτικό υλικό για να κλείσουν οι επιφανειακοί πόροι του μετάλλου.
- 5) Πέρασμα με αποκολλητικό υλικό για να μην κολλήσει το κυλινδρικό δοκίμιο στο καλούπι.

7.ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΩΣΗ CFRP

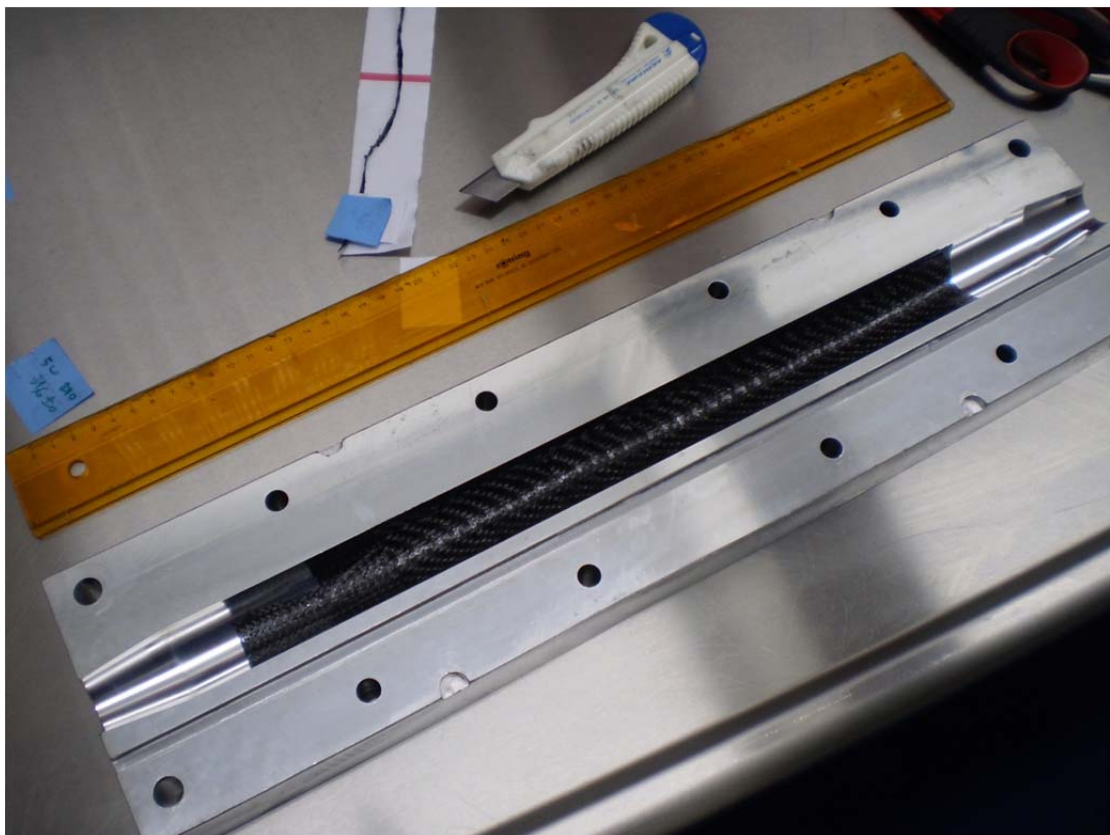
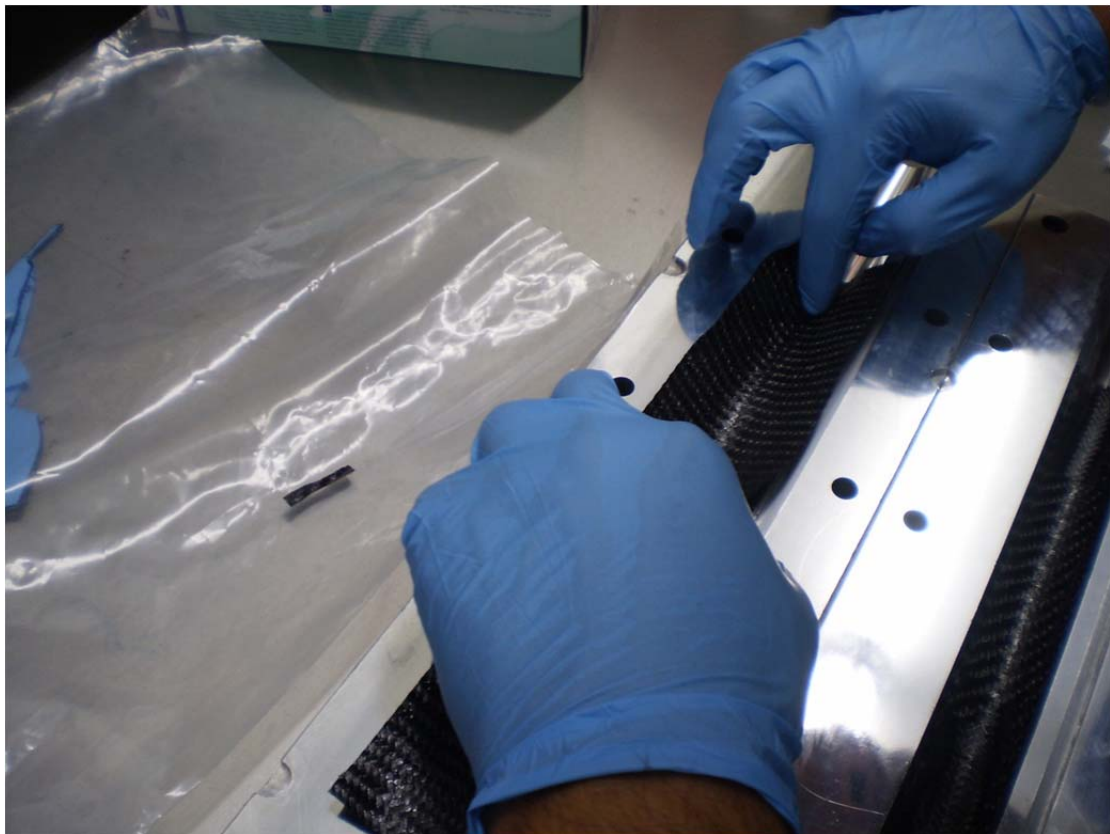
Το προεμπροτισμένο ανθρακόνημα τοποθετείται ανά στρώση στα τμήματα του καλουπιού. Τα τμήματα του όμως πρέπει να ενωθούν μεταξύ τους για να συνθέσουν το τιμόνι. Για να γίνει αυτό απαιτείται υπερκάλυψη (overlap) των στρώσεων του ενός τμήματος του καλουπιού με το απέναντί του. Ένας εμπειρικός κανόνας για το μήκος υπερκάλυψης της κάθε στρώσης είναι δέκα με είκοσι φορές το πάχος της στρώσης. Το πάχος της στρώσης είναι 2 - 2.5 δέκατα του χιλιοστού άρα η υπερκάλυψη ανά στρώση πρέπει να είναι 2.5mm τουλάχιστον. Επειδή στο σημείο των ενώσεων θα υπάρχει παραπάνω υλικό από το υπολογισμένο θα πρέπει να μην γίνονται στο ίδιο σημείο για να μην δημιουργηθεί εσωτερικά του δοκιμίου έντονο ανάγλυφο που θα οδηγήσει σε συσσώρευση τάσεων. Για αυτόν τον λόγο η μία πλευρά του καλουπιού πρέπει να έχει υλικό που θα εξέχει και το μήκος που θα εξέχει θα πρέπει να αυξάνεται ανά στρώση, και η άλλη θα έχει υλικό που θα ξεκινάει ακριβώς από τον αρμό του καλουπιού και θα μειώνεται ανά στρώση. Για να μπορεί να κλείσει το καλούπι χωρίς φόβο να πιαστεί ανθρακόνημα ή σακούλα στους αρμούς του, θα πρέπει να περαστεί η σακούλα μέσα στην διαστρωμάτωση υπερκάλυψης, η οποία θα έχει κλίση προς το εσωτερικό της κοιλότητας, να κλείσει το καλούπι και μετά, ανοίγοντας την πίεση, η σακούλα θα πιέσει τα κομμάτια του ανθρακονήματος που κάνουν την υπερκάλυψη πάνω σε αυτά που μειώνουν το εμβαδόν τους. Επειδή όμως αυτή η διαστρωμάτωση είναι δύσκολο να επιτευχθεί χωρίς να πιαστεί ανθρακόνημα στους αρμούς, θα γίνει διαφορετικά ώστε να κλείσουν πιο εύκολα τα τμήματα του καλουπιού. Τα τμήματα του καλουπιού που έχουν το υλικό της υπερκάλυψης θα έχουν την μεγαλύτερη στρώση πρώτη και θα μειώνεται η υπερκάλυψη 2.5mm ανά στρώση. Ακολουθεί σχηματική αναπαράσταση στην επόμενη σελίδα.



Αρχικά έχουμε την κοπή του υλικού:

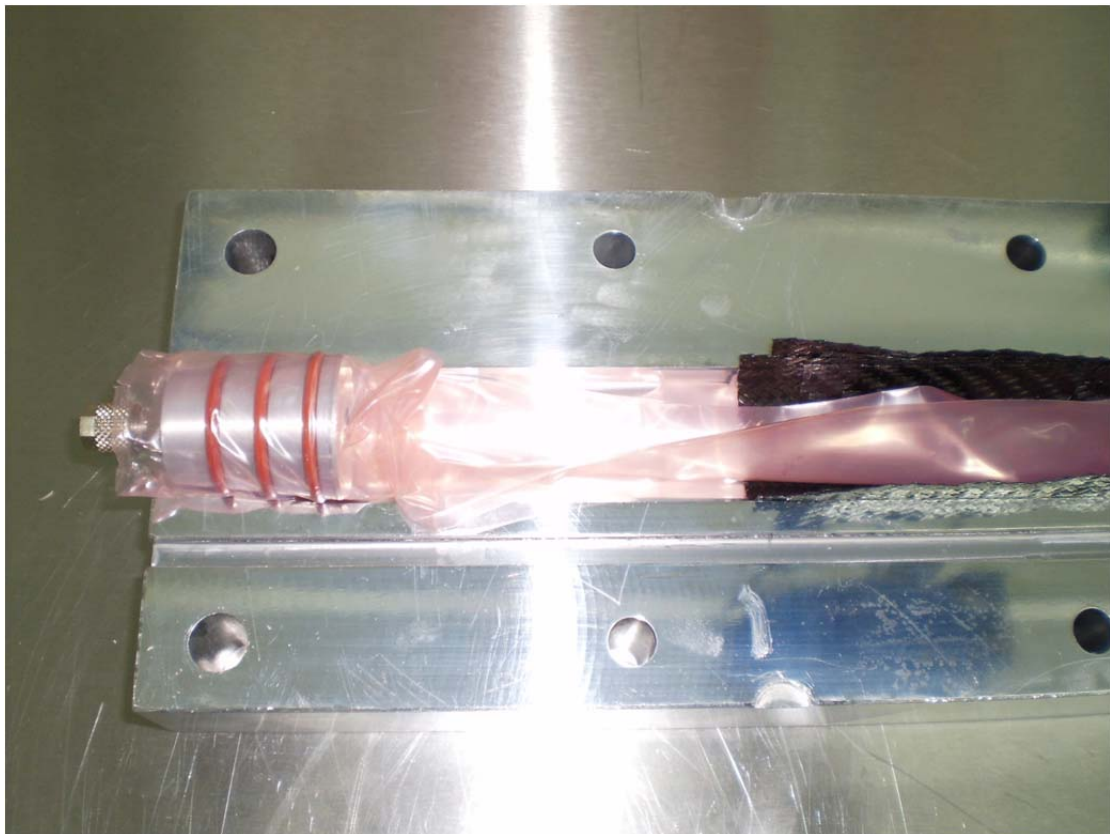


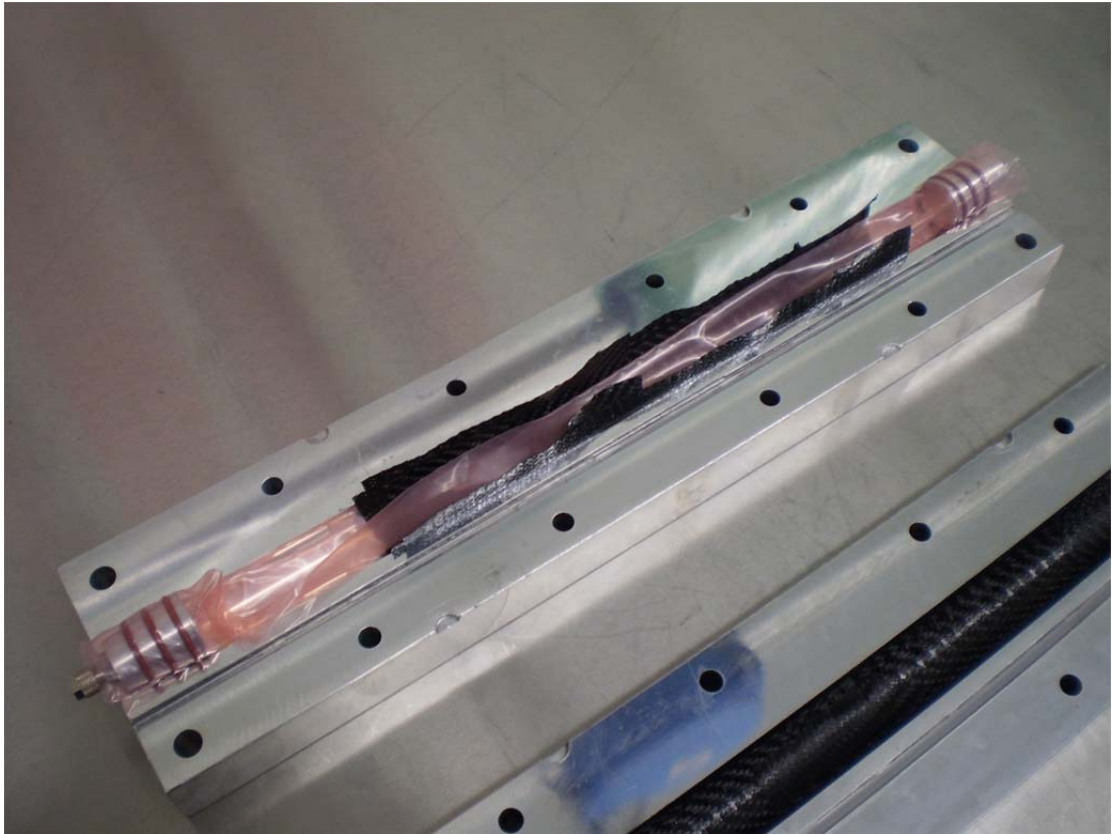
Έπειτα τη διαδικασία διαστρωμάτωσης:



8.ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΠΝΕΥΜΑΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΩΜΑΤΟΣ

Για να είμαστε σίγουροι ότι το υλικό θα ακουμπήσει στα τοιχώματα του καλουπιού εφαρμόζουμε στο εσωτερικό του καλουπιού πίεση 6,5bar. Γι'αυτό το σκοπό απαιτείται η κατασκευή πνευματικού κυκλώματος με χρήση ειδικής σακούλας.

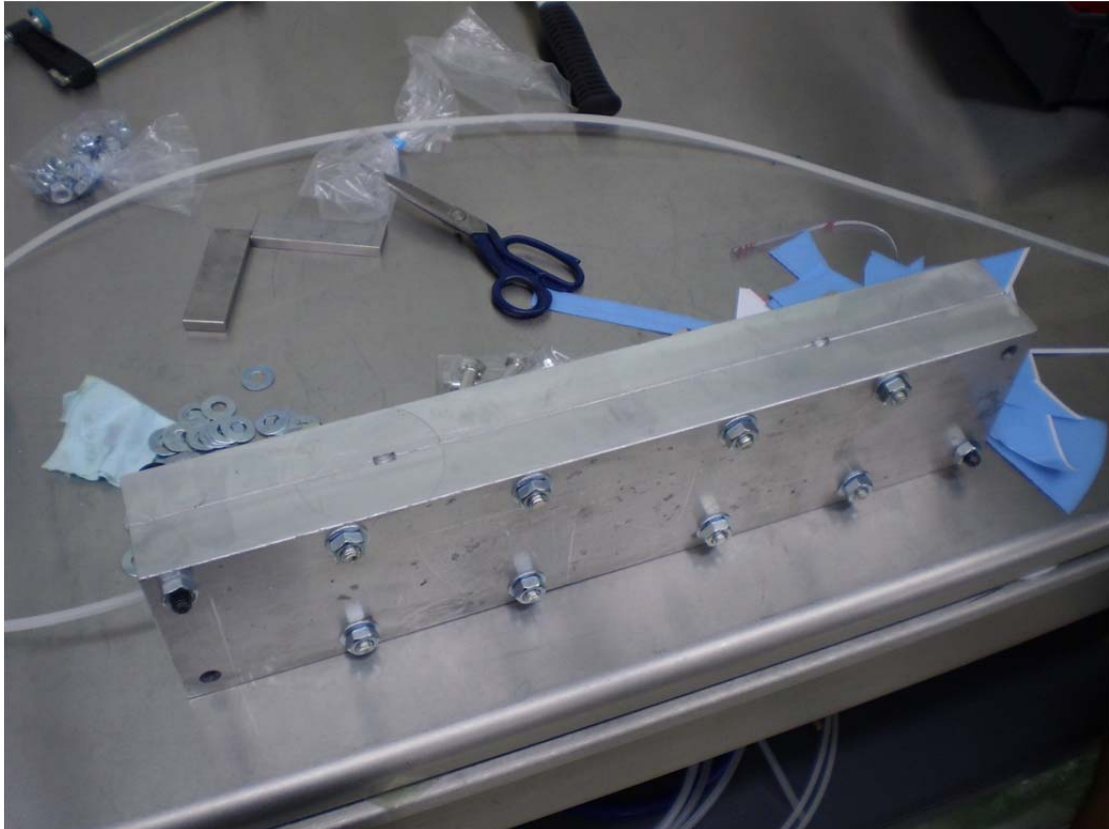






9.ΚΛΕΙΣΙΜΟ ΚΑΙ 'ΨΗΣΙΜΟ' ΤΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ

Κλείσιμο του καλουπιού με κοχλίες $\Phi 10$:



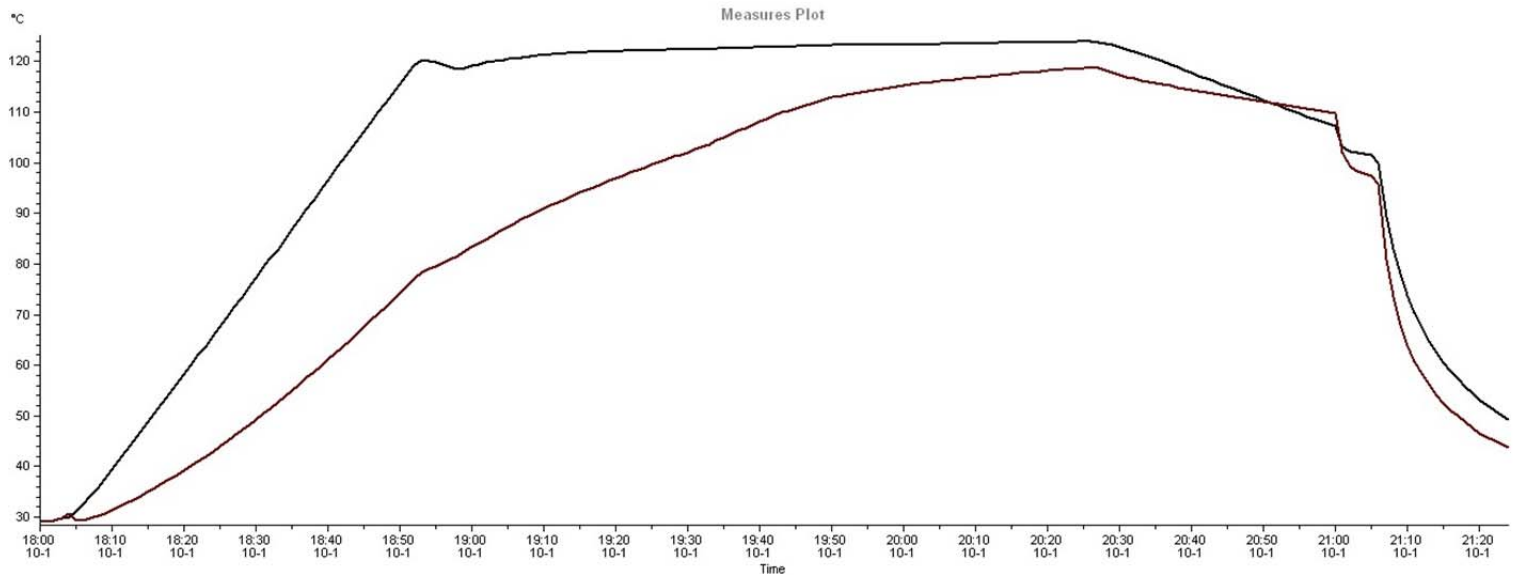
Για να σκληρύνει η ρητίνη του προεμποτισμένου υφάσματος πρέπει να φτάσει τη θερμοκρασία των 120°C και να διατηρηθεί σε αυτή για περίπου μία ώρα. Γι'αυτό το καλούπι 'ψήνεται' σε φούρνο βιομηχανικού τύπου:



Προγραμματισμός του PLC του φούρνου:

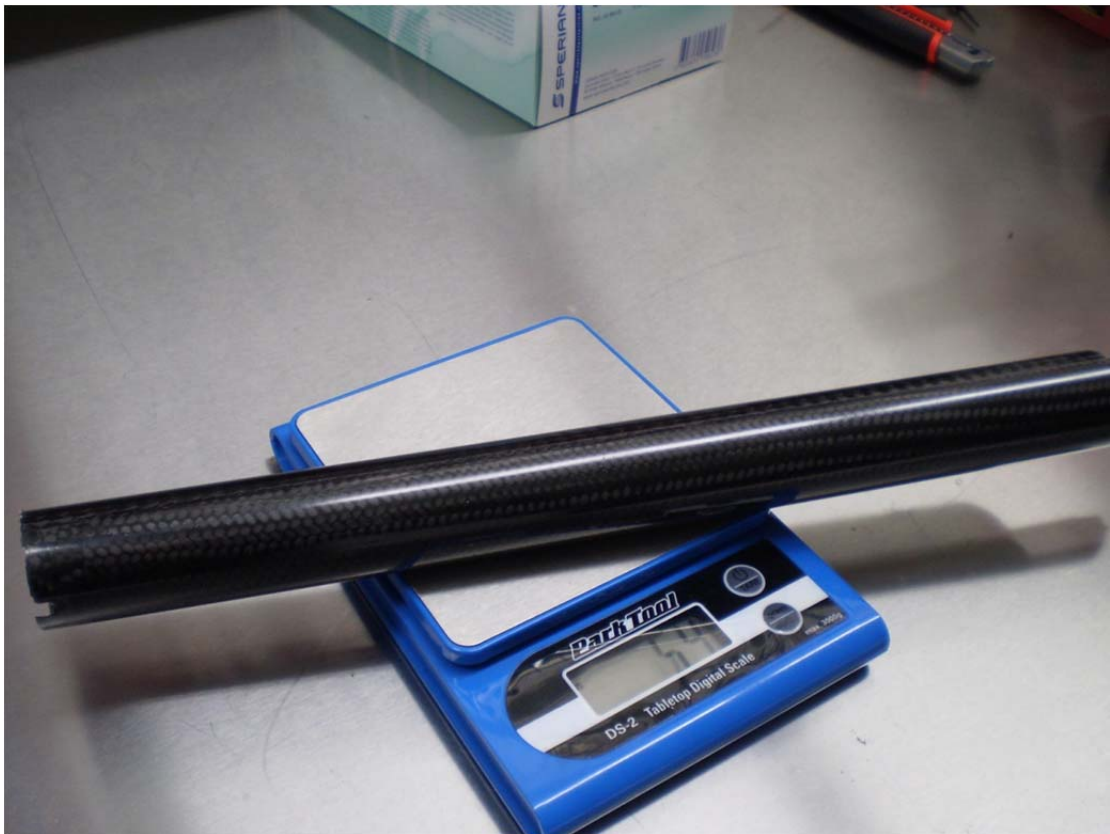


Ακολουθεί η καμπύλη θερμοκρασίας του κύκλου ψησίματος:



Παρατηρείται ότι παρόλο που η θερμοκρασία του αέρα έφτασε του 120°C και διατηρήθηκε σε αυτό το επίπεδο για παραπάνω από μιάμιση ώρα η θερμοκρασία του καλουπιού έφτασε μόλις τους 110 °C και αυτό για μικρό χρονικό διάστημα. Αυτό συνέβη λόγω της μεγάλης θερμοχωρητικότητας του υλικού του καλουπιού και έχει ως αποτέλεσμα το τελικό προϊόν να μην έχει τις επιθυμητές ιδιότητες κυρίως όσον αφορά στην αντοχή του.

10.ΞΕΚΑΛΟΥΠΩΜΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΑΒΗ ΤΟΥ ΚΥΛΙΝΡΙΚΟΥ ΔΟΚΙΜΙΟΥ – ΠΑΛΟΥΚΟΣΕΛΟΥ





Παρατηρείται ότι το τελικό βάρος του δοκιμίου είναι αρκετά μικρό, κάτι που το καθιστά ιδανικό για την πρακτική του εφαρμογή ως παλουκόσελο ποδηλάτου.

11.ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Το παλουκόσελο έχει άριστη επιφάνεια και είναι πολύ ελαφρύ. Αυτό αποδεικνύει ότι ο σχεδιασμός του καλουπιού είναι επιτυχημένος και η ποιότητα της κατεργασίας καλύτερη από την αναμενόμενη. Επίσης η μελέτη διαστρωμάτωσης έγινε σωστά διότι το βάρος του δοκιμίου είναι συγκρίσιμο με αντίστοιχα του εμπορίου σε αυτές τις διαστάσεις. Παρατηρήθηκε όμως ότι η θερμοκρασία του καλουπιού δεν άγγιξε τους 120oC και αυτό έχει αντίκτυπο στην αντοχή του παλουκόσελου σε εφελκυσμό και θλίψη. Αυτό θα μπορούσε να το καθιστά ακατάλληλο για ποδηλατική χρήση. Σε παρόμοια περίπτωση πρέπει η θερμοκρασία του φούρνου να διατηρείται στους 120oC για περισσότερη ώρα έτσι ώστε να μπορεί το καλούπι να αγγίξει την επιθυμητή θερμοκρασία στο εσωτερικό του. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η σακούλα του πνευματικού συστήματος που χρησιμοποιείται για να διασφαλίζει πίεση στο εσωτερικό του καλουπιού ίση με 6,5 bar παραμορφώθηκε αρκετά λόγω της θερμότητας και κόλλησε στα εσωτερικά τοιχώματα του δοκιμίου. Θα πρέπει λοιπόν να χρησιμοποιείται πιο ανθεκτική σακούλα για τέτοιου είδους θερμικές καταπονήσεις.

12.ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Βιβλία:

- 1) 3D Fibre Reinforced Polymer Composites
L. Tong, A.P. Mouritz and M.K. Bannister
Elsevier
- 2) Advanced Mechanics of composite Materials
Valery V. Vasiliev and Evgeny V. Morozov
- 3) Carbon Fiber Composites
Deborah D. L. Chung
Butterworth-Heinemann
- 4) Σημειώσεις μαθήματος Προηγμένα υλικά
Δημήτριος Μανωλάκος
- 5) CARBON FIBERS and their Composites
Peter morgan
Taylor and Francis
- 6) Σημειώσεις μαθήματος Εργαλειομηχανές
Γ. Βοσνιάκος
- 7) Leading Edge Composite Material research
Tobias G.Wouters
Nova
- 8) Μη μεταλλικά τεχνικά υλικά
Δημήτρης Ι. Παντελής
- 9) Μηχανουργική τεχνολογία
Λάζαρος Ε.Λαζαρίδης
- 10) COMPOSITE MATERIALS design and applications
Daniel Gay Suong V. Hoa Stephen W. Tsai
CRC press

11) Engineering Mechanics of Composite Materials

Isaac M.Daniel Ori Ishai

12) FIBER REINFORCED COMPOSITES, Materials, Manufacturing and design.

P.K. Mallick

CRC Press

Ιστοσελίδες:

<http://www.torayca.com>

<http://www.wikipedia.org>

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ