

Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών μέσω συστήματος CAD/CAM - Σχεδιομελέτη και παραγωγή ακραζονίων.

Νικόλαος Τιριακίδης

Πολυτεχνείο Κρήτης – Χανιά 2019



Καθ. Κωνσταντίνος Μπάλας
Καθ. Κωνσταντίνος Καλαϊτζάκης
Καθ. Αριστομένης Αντωνιάδης



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 1

1: Εισαγωγή

2: Σύνθετα υλικά

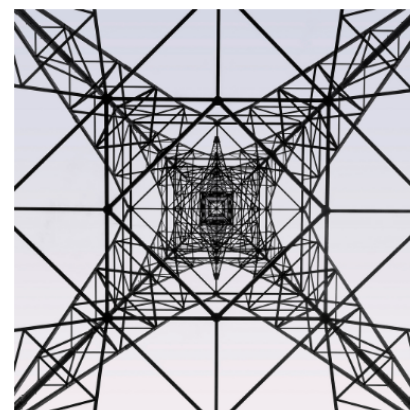
3: Περιγραφή της διαδικασίας παραγωγής των ινοπλισμένων
σύνθετων

4: Ακραζόνια

5: Τόρνευση

6: Παραγωγή ακραζονίων

7: Τελικό προϊόν



Δομή της Εργασίας

<http://www.m3.tuc.gr>

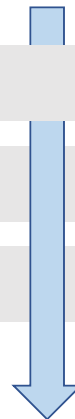


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

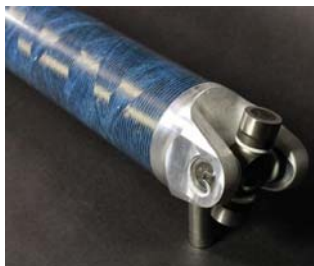
Νικόλαος Τιριακίδης 2



- Ανάγκη για υψηλές αποδόσεις
- Ανάγκη για υλικά με ειδικές αντοχές
- Μέρος μιας μεγαλύτερης εφαρμογής



Σύνθετα υλικά σε συνδυασμό με συμβατικά υλικά



Κίνητρο

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 3

Σύνθετα υλικά, είναι τα υλικά, τα οποία μακροσκοπικά αποτελούνται από δύο ή περισσότερα χημικά ευδιάκριτα συστατικά μέρη που έχουν μια συγκεκριμένη διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ τους.

Bhagwan D. Agarwal, Analysis and Performance of Fiber Composites.



Ορισμός σύνθετων υλικών

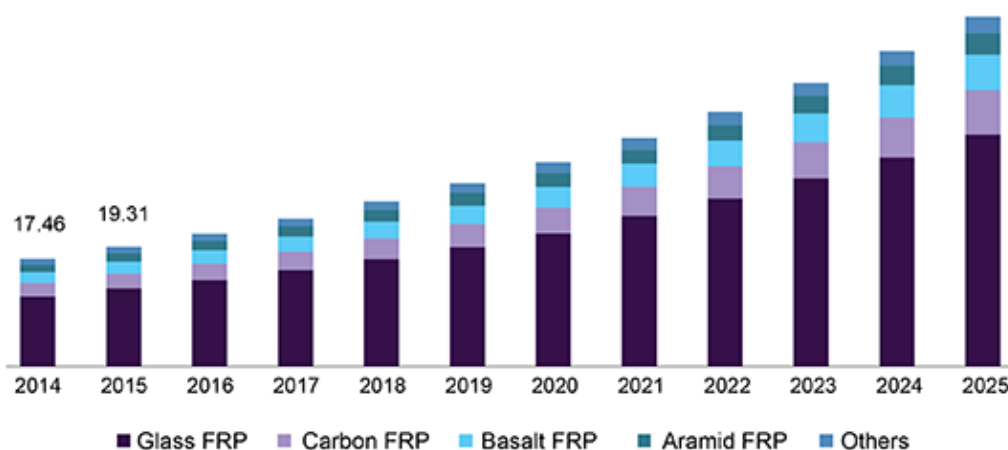
<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 4

U.S. fiber reinforced polymer (FRP) composites market, by type, 2014 - 2025 (USD Bn)

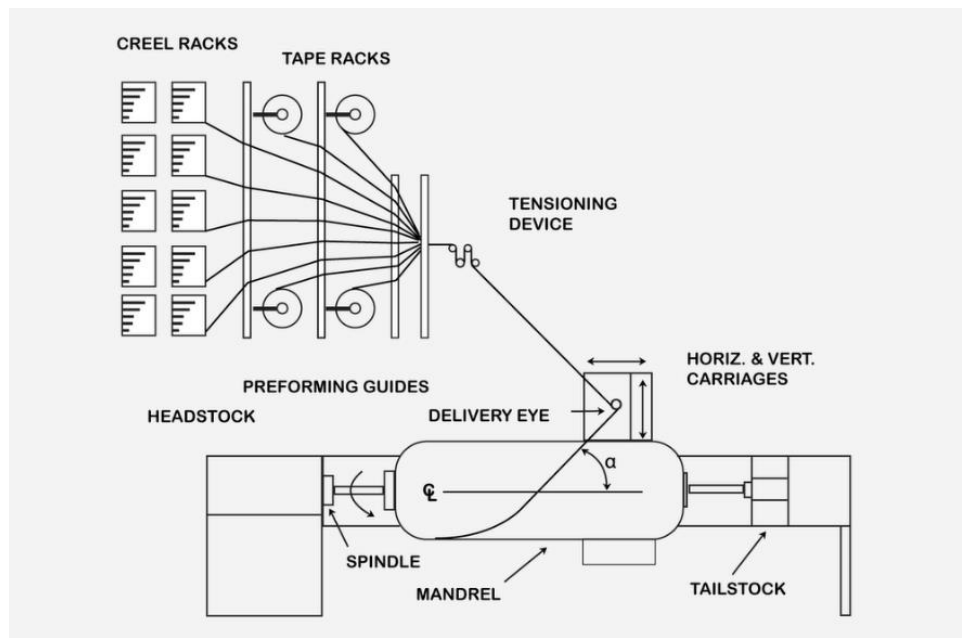


- Ρυθμός ανάπτυξης: 6,5% από το 1960 έως σήμερα.
- Διπλάσιο ποσοστό ανάπτυξης από την Αμερικανική οικονομία.

Σημασία σύνθετων υλικών

<http://www.m3.tuc.gr>

Νικόλαος Τιριακίδης 5



Filament Winding: Περιέλιξη ινών γύρω από μεταλλική μήτρα

Filament winding

<http://www.m3.tuc.gr>

Νικόλαος Τιριακίδης 6

Τάνυση (N) στον προεντατήρα (tensioner).

Γωνία περιέλιξης.

Έλεγχος αλληλουχίας των layers
διαφορετικών γωνιών περιέλιξης.

Αριθμός των ινών.

Bandwidth του batch των ινών.

Έλεγχος πάχους / layer.

Ταχύτητα περιέλιξης των ινών.



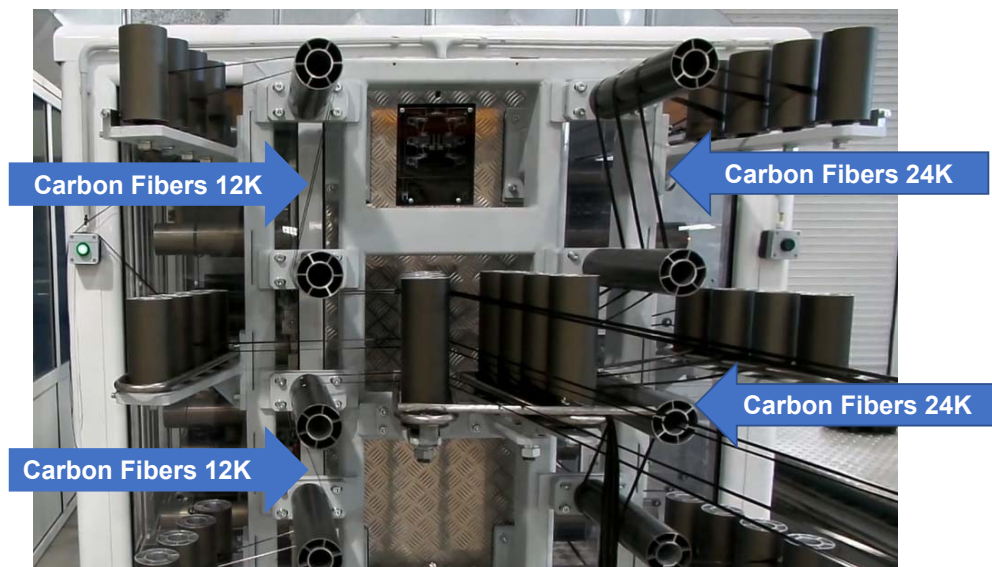
Παράμετροι προς ορισμό διαδικασίας περιέλιξης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 7



- ✓ Τάνυση από 8N έως 50N.
- ✓ Η διαφορετική τιμή τάνυσης επιτρέπει:
 - Ίδια τάνυση των ινών ανεξαρτήτως του διαφορετικού βάρους/μέτρο κάθε τύπου ίνας.
 - Έλεγχο της τάνυσης των ινών κατά την εναπόθεση τους στο καλούπι.



Τάνυση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 8



Κεραμικά “μάτια” για αποφυγή
τραυματισμού των ινών

Οι ίνες οδηγούνται με προσοχή προς το λουτρό ρητίνης



Οδήγηση ινών

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 9



Οι ίνες απλώνουν και γίνεται ο εμποτισμός τους .

Η περίσσεια της ρητίνης απομακρύνεται.

Θέρμανση στους 50° C.

- ✓ Σταθερή θερμοκρασία λουτρού ρητίνης
- ✓ Σωστή ποσότητα ρητίνης



Εμποτισμός ινών

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 10



- ✓ Η εναπόθεση των ινών πάνω στην μεταλλική μήτρα γίνεται με την κλίση που επιλέγει κάθε φορά ο σχεδιαστής μηχανικός.
- ✓ Καθ' όλη τη διάρκεια της περιέλιξης η μήτρα και οι ίνες θερμαίνονται με υπέρυθρη ακτινοβολία.



Περιέλιξη ινών

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 11

Mandrel Ø mm		Winding angel	Fiber type	Numbers of fibers	Band Width Real mm	Band Width used for program	Cycles
76,2	cylidric	45	T700 12K	2	11	10	
199,7	conic	12	T700 12K	8	21	19	33
199,7	conic	87= radial +	T700 12K	8	31	30	1 way
150	conic	12	T700 12K	8	21	19	25
150	conic	radial -	T700 12K	8	31	30	1 way
65	Cylindr	12	T700 12K	8	17/19	28/30	13
65	Cylindr	radial	T700 12K	8	41	40	1 way
65	Cylindr	55	T700 12K	8	27	29	5
30	Cylindr	12	T700 12K	6	18	15	6
30	Cylindr	radial	T700 12K	6	31	30	1 way
200	Cylindr	12	T700 12K	8	29/31	31	21
200	Cylindr	radial	T700 12K	8	41	41	1 way
25	Cylindr	12	T700 12K	6	17/19	17	5
25	Cylindr	radial	T700 12K	6	32	32	1 way
110	Cylindr	8	T700 12K	8	25	25	14
110		//	T700 12K	8	40	40	
110	Cylindr	8	T700 12K	8	19		19/20/21
110	Cylindr	//	T700 12K	8	30/31		
110	Cylindr	8	T700 12K	8	19		19/20
110	Cylindr	//	T700 12K	8	27	27	1 way
Reinf 210	Cylindr	55	T700 12K	8	39/40	38	10 11

Ανάλογα με τον τύπο και το πλήθος των ινών, τη γωνία περιέλιξης και τη διάμετρο της μήτρας, βρίσκουμε το εύρος της ομάδας των ινών.



Εύρεση εύρους ινών

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 12

Συνοψίζοντας για την περιέλιξη των ινών:

- Κάθε layer δημιουργείται από επάλληλους **κύκλους** του carriage. Ο αριθμός των κύκλων που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός layer εξαρτάται από τη **διάμετρο**, τη **γωνία περιέλιξης** και το **bandwidth** των ινών. Το αποτέλεσμα αυτό προκύπτει γεωμετρικά.
- Επιλέγοντας διαφορετικό **pattern** περιέλιξης, μπορώ να πετύχω σημαντική εξοικονόμηση πρώτων υλών, χωρίς να αλλάξουν οι μηχανικές ιδιότητες του προϊόντος.
- Αριθμός ινών $\uparrow$ καθώς η διάμετρος $\uparrow$
- Bandwidth $\uparrow$ καθώς η διάμετρος $\uparrow$
- Πάχος/layer $\downarrow$ καθώς η διάμετρος $\uparrow$
- Η γωνιακή ταχύτητα του μάντρελ $\uparrow$ καθώς η διάμετρος $\uparrow$



Σύνοψη διαδικασίας περιέλιξης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 13



Τοποθέτηση θερμοσυρρικνούμενης ταινίας ως τελευταία επίστρωση.



Τελική επίστρωση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 14



- ✓ Έλεγχος της θερμοκρασίας.
- ✓ Το καλούπι μαζί με το τυλιγμένο υλικό περιστρέφεται κατά τη διάρκεια του πολυμερισμού.
- ✓ Η διαδικασία του πολυμερισμού εξαρτάται από το σύστημα της ρητίνης που χρησιμοποιούμε κάθε φορά. Το σύστημα της ρητίνης δεν επηρεάζει τη διαδικασία περιέλιξης (filament winding).



Πολυμερισμός

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 15



Εξόλκευση

<http://www.m3.tuc.gr>



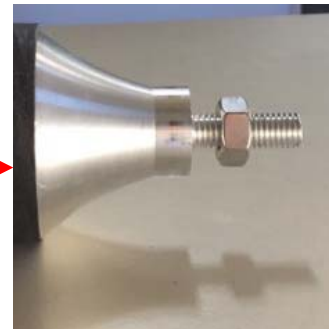
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 16

Άξονας από σύνθετο υλικό.

Εφαρμογή που απαιτεί **συνύπαρξη**
διαφορετικών υλικών.

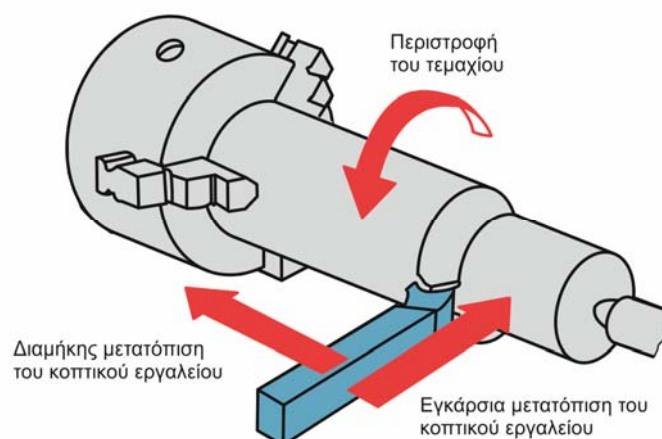
Ανάγκη **διεπαφής** μεταξύ σύνθετων και
συμβατικών υλικών.



Ακραξόνια

<http://www.m3.tuc.gr>

Τα ακραξόνια λόγω της κυλινδρικής τους γεωμετρίας
κατασκευάστηκαν με τη κατεργασία της τórνευσης.



$$V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ m/min}$$

- V_c : ταχύτητα κοπής
- n : ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου (rpm)
- D : η διάμετρος του τεμαχίου (mm)

Τórνευση

<http://www.m3.tuc.gr>

Τα ακραξόνια λόγω της κυλινδρικής τους γεωμετρίας κατασκευάστηκαν με τη κατεργασία της τόννευσης.



Χαρακτηριστικά εργαλειομηχανής:

- Μέγιστη διάμετρος κατεργαζόμενου τεμαχίου: 200mm.
- Μέγιστο μήκος κατεργαζόμενου τεμαχίου: 455mm.
- Μήκη Διαδρομών:
 - Χ άξονας: 182.5mm.
 - Ζ άξονας: 455mm.

Η εργαλειομηχανή DMG CTX310 ecoline

2019

Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών μέσω συστήματος CAD/CAM
Σχεδιαστική και παραγωγή ακραξονίων.



Εργαλειομηχανή τόννευσης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 19

1^η Φάση

Είδος κατεργασίας:

Στροφές (rpm)

400

Εκχόνδριση εξωτερικής επιφάνειας

Πρόωση (mm/rev)

0.1



Στη συγκεκριμένη φάση γίνεται η κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου από 60mm στα 55mm.

Τμήμα Προγράμματος

```

N01 G90 G18 G71 G54
N02 WORKPIECE(,,"CYLINDER",192,0,-290,-240,60)
N03 T12 M06
N04 S400 M04
N05 G00 Z5
N06 X60
N07 CYCLE951(60,0,55,-162,55,-162,1,1,0,0,11, 0,
0,0,1,1,0,2,0)
N08 M30
  
```



2019

Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών μέσω συστήματος CAD/CAM
Σχεδιαστική και παραγωγή ακραξονίων.



Κατασκευή ακραξονίου – 1^η Φάση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 20

2^η Φάση

Είδος κατεργασίας:

Εκχόνδριση εξωτερικής επιφάνειας

Στροφές (rpm)

400

Πρόωση (mm/rev)

0.1



Στη συγκεκριμένη φάση γίνεται η κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου για περαιτέρω μείωση της εξωτερικής διαμέτρου στα 16 mm

Τμήμα Προγράμματος

```
N01 G90 G18 G71 G54
N02 WORKPIECE(,,"CYLINDER",192,0,-290,-240,55)
N03 T12 M06
      S400 M04
N04 G00 Z5
N05 X60
N06 CYCLE951(55,0,16,-40,16,-40,1,1,0,0,11,0,0,
N07 0,1,1,0,2,0)
N08 M30
```



Κατασκευή ακραζονίου – 2^η Φάση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 21

3^η Φάση

Είδος κατεργασίας:

Εκχόνδριση εξωτερικής επιφάνειας

Στροφές (rpm)

400

Πρόωση (mm/rev)

0.1



Κατεργασία εκχόνδρισης της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου για τη δημιουργία καμπυλότητας (σφαιρικής γεωμετρίας) στο τεμάχιο ακτίνας 26 mm. Για τη συγκεκριμένη κατεργασία είναι υποχρεωτική η χρήση υπορουτίνας στο κυρίως σώμα του προγράμματος.



Κατασκευή ακραζονίου – 3^η Φάση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Ττριακίδης 22



Κατασκευή ακραζονίου – 3^η Φάση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τριακίδης 23

Τμήμα Προγράμματος

N01	G90 G18 G71 G54
N02	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-290,-240,55)
N03	G00 X100
N04	Z100
N05	T12 M06
N06	G00 Z20
N07	X90
N08	G97 S400 M04
N09	CYCLE95("KAMPILI",1,0,0,0.2,1,1,0.2,9,0.,5,0,2)
N10	G00 X100
N11	Z150
N12	M30

Τμήμα Υποπρογράμματος

N01	G90
N02	X16
N03	Z-40
N04	G02 X55 Z-65 CR=25.8 F1
N05	M17

4^η Φάση

Είδος κατεργασίας:

Στροφές (rpm)

200

Σπειρωτόμηση

Πρόωση (mm/rev)

1.337



Τμήμα Προγράμματος

N01	G71 G54 G18 G90
N02	WORKPIECE(,,,"CYLINDER",192,0,-70,-45,9.8)
N03	T05 M06
N04	S200 M03
N05	G00 X30
N06	Z30
N07	CYCLE99(0,9.8,-30,,10,0.5,0.9,0,30,0,4,1,1.5,1310101,2,10,0.25,0,0,0,1,0,0.519615,1,,"ISO_METRIC","M10",2,0)
N08	G01 X50
N09	G00 Z100
N10	M30

Το βάθος του σπειρώματος ίσο με 9,3 καθώς αφορά σπείρωμα M10. Ακόμα έχει οριστεί το πάχος για κάθε πέρασμα ίσο με 0.150mm



Κατασκευή ακραζονίου – 4^η Φάση

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τριακίδης 24

5^η Φάση

Είδος κατεργασίας:

Στροφές (rpm)

400

Αποκοπή

Πρόωση (mm/rev)

0.75



Στη συγκεκριμένη φάση γίνεται αποκοπή του τεμαχίου.

Τμήμα Προγράμματος

```

N01 G90 G18 G71 G54
N02 WORKPIECE(,,"CYLINDER",192,0,-290,-240,60)
N03 T11 M06
N04 S400 M04
N05 G00 Z-80
N06 X60
N07 G01 X0
N08 M30
  
```



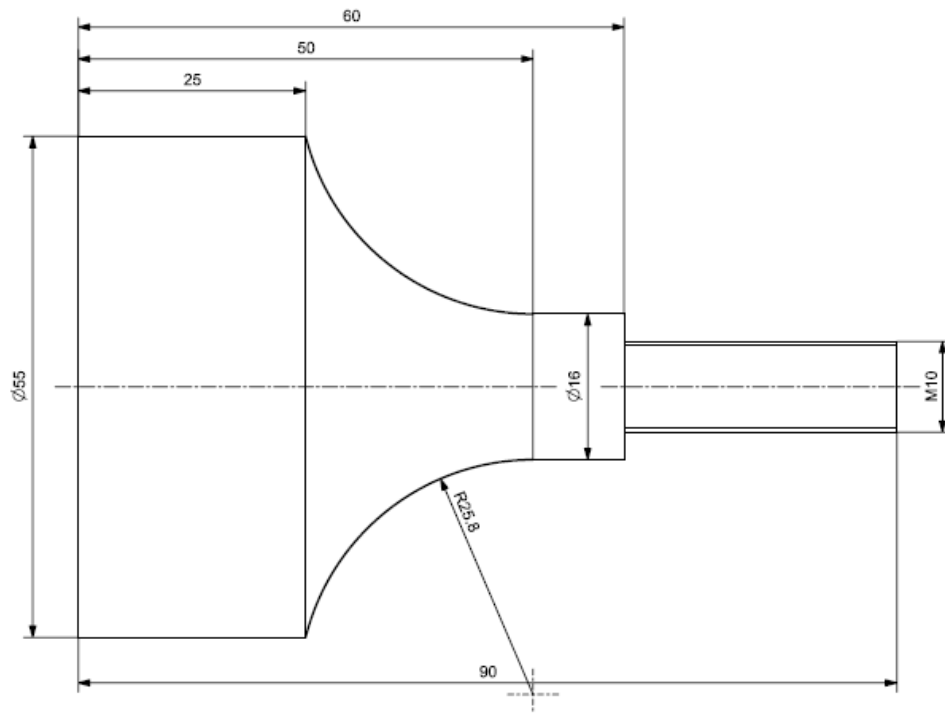
2019

Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών μέσω συστήματος CAD/CAM
Σχεδιομελετή και παραγωγή ακραζονίων.

Κατασκευή ακραζονίου 5^η Φάση
<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 25



2019

Ψηφιακή καθοδήγηση εργαλειομηχανών μέσω συστήματος CAD/CAM
Σχεδιομελετή και παραγωγή ακραζονίων.

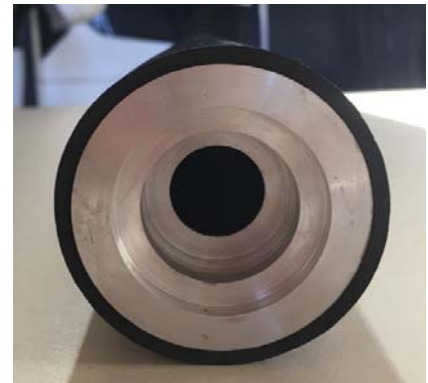
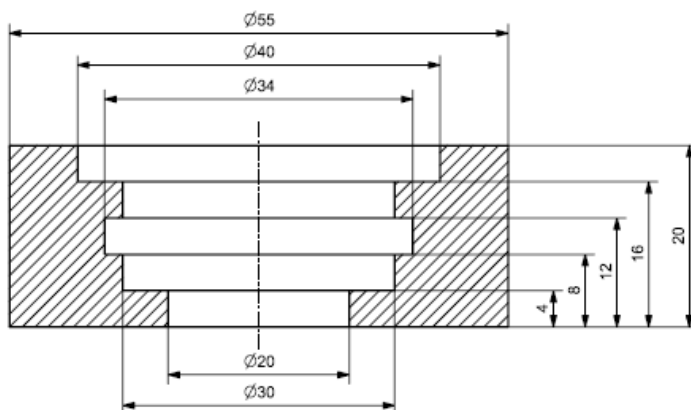


Μηχανολογικό σχέδιο τεμαχίου

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 26



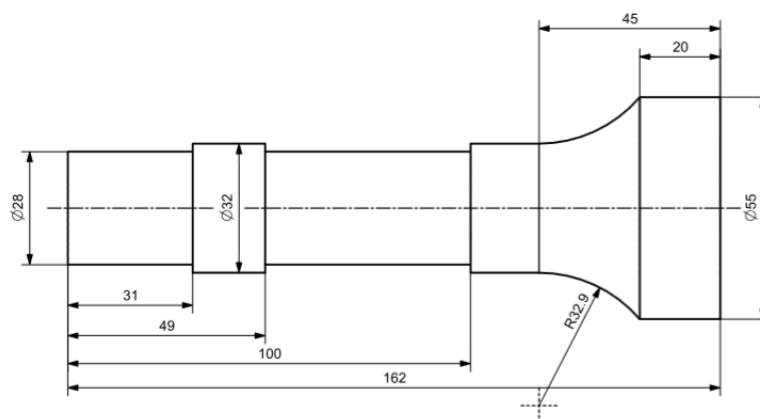
Μηχανολογικό σχέδιο και τελικό τεμάχιο

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 27



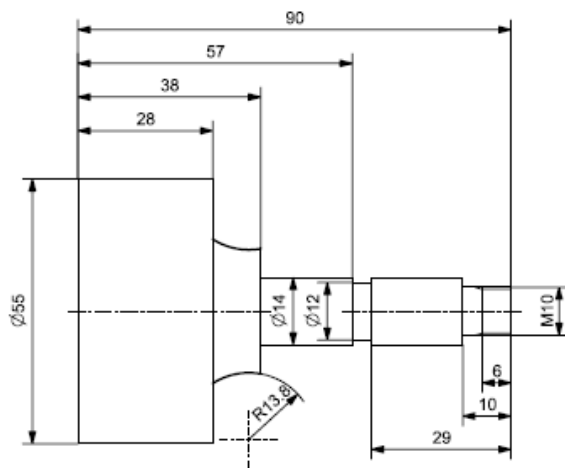
Μηχανολογικό σχέδιο και τελικό τεμάχιο

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Νικόλαος Τιριακίδης 28



Σας ευχαριστώ!

