

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



15

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



Φραιζάρισμα



2019-20

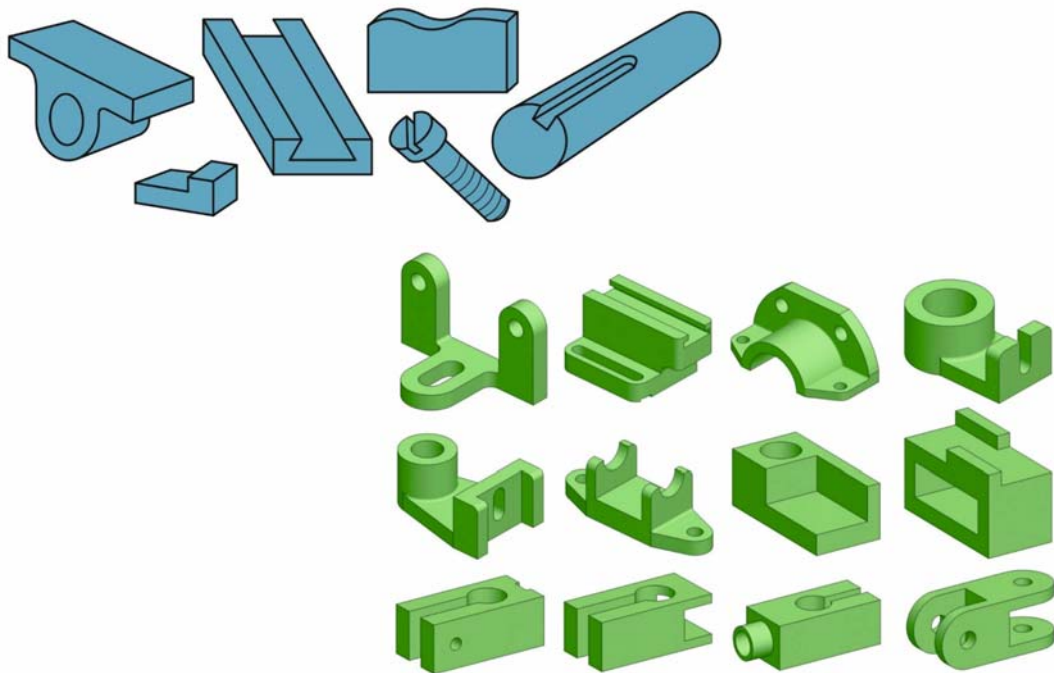


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

1

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

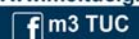


Με φραιζάρισμα καταργάζονται τεμάχια από διάφορα υλικά όπως χάλυβας, χυτοσίδηρος, σύνθετα υλικά κ.λπ., με επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες, εσοχές, αυλάκια ακόμα και οδοντωτοί τροχοί.

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



Τεμάχια καταργασμένα με φραιζάρισμα



2019-20



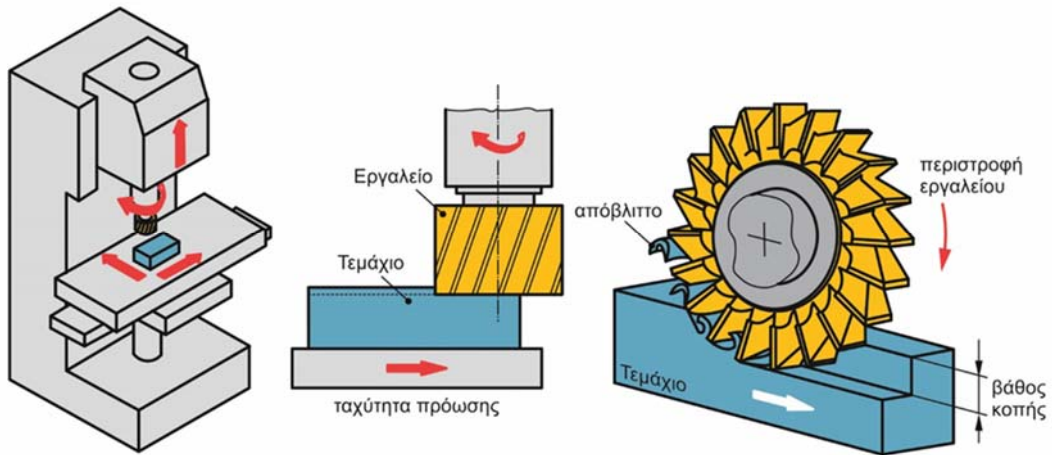
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

2

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

Η **περιστροφή του κοπτικού εργαλείου** αποτελεί και την **κύρια κίνηση κοπής**. Η γωνιακή ταχύτητα της περιστροφής αυτής είναι σημαντική παράμετρος της ταχύτητας κοπής, γι' αυτό και επιλέγεται σε συνδυασμό με το κατεργαζόμενο υλικό, το υλικό του κοπτικού εργαλείου καθώς και το είδος του φραιζαρίσματος. Για τη συνέχεια της κοπής, το κατεργαζόμενο κομμάτι, το οποίο είναι "δεμένο" στο τραπέζι της εργαλειομηχανής, **μετατοπίζεται με προκαθορισμένο ρυθμό** που είναι η **ταχύτητα πρόωσης**.



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



Κινηματική φραιζαρίσματος



2019-20

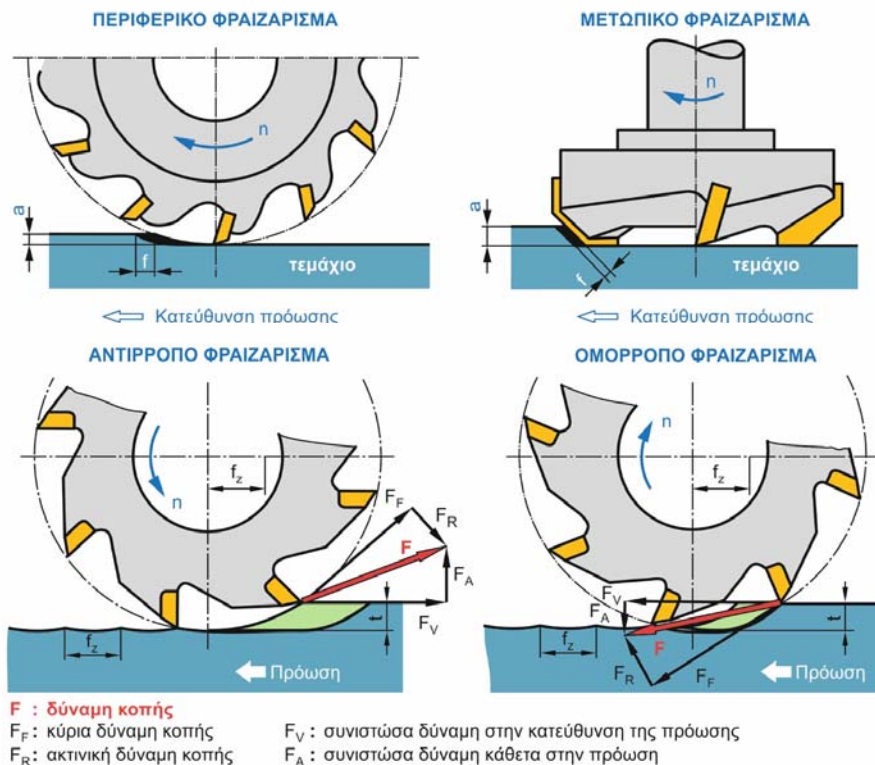


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

3

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

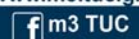
Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Είδη φραιζαρίσματος



2019-20



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

4

20

19

18

17

16

15

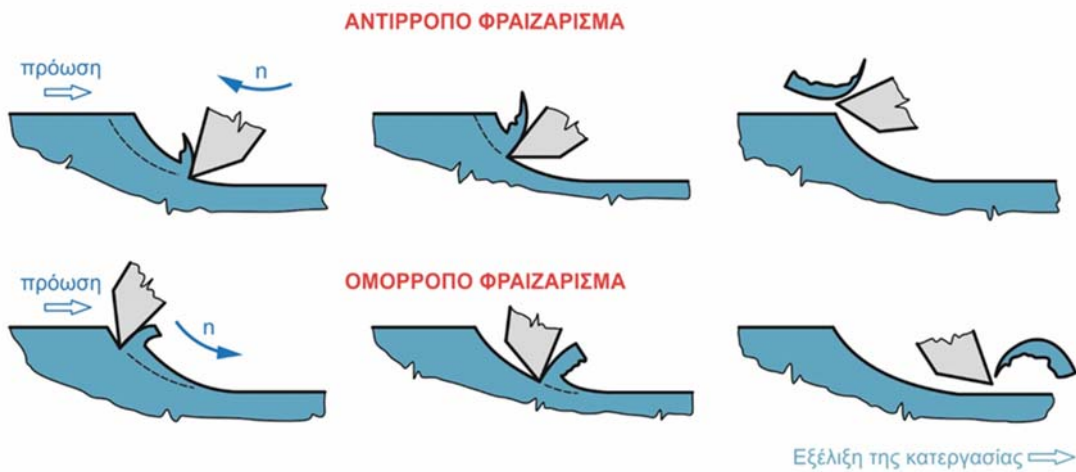
14

13

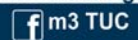
12

11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

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

Δημιουργία αποβλίττου στο ομόρροπο και αντίρροπο φραιζάρισμα



m3 TUC

2019-20

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

5

20

19

18

17

16

15

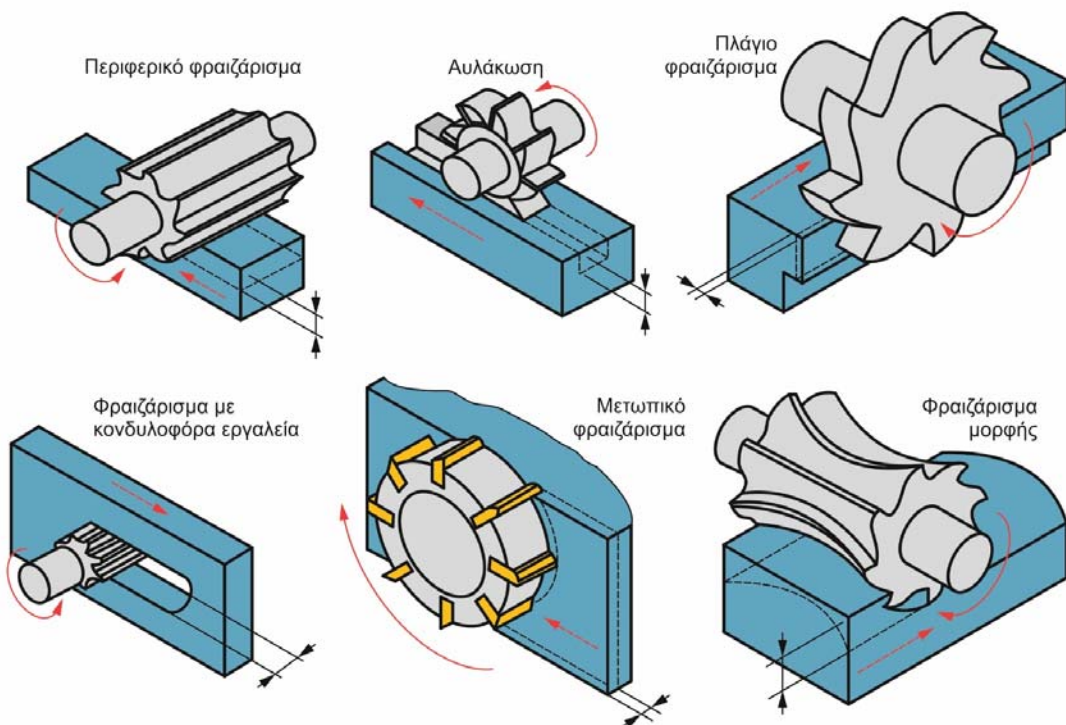
14

13

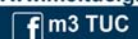
12

11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

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

Είδη φραιζαρίσματος



m3 TUC

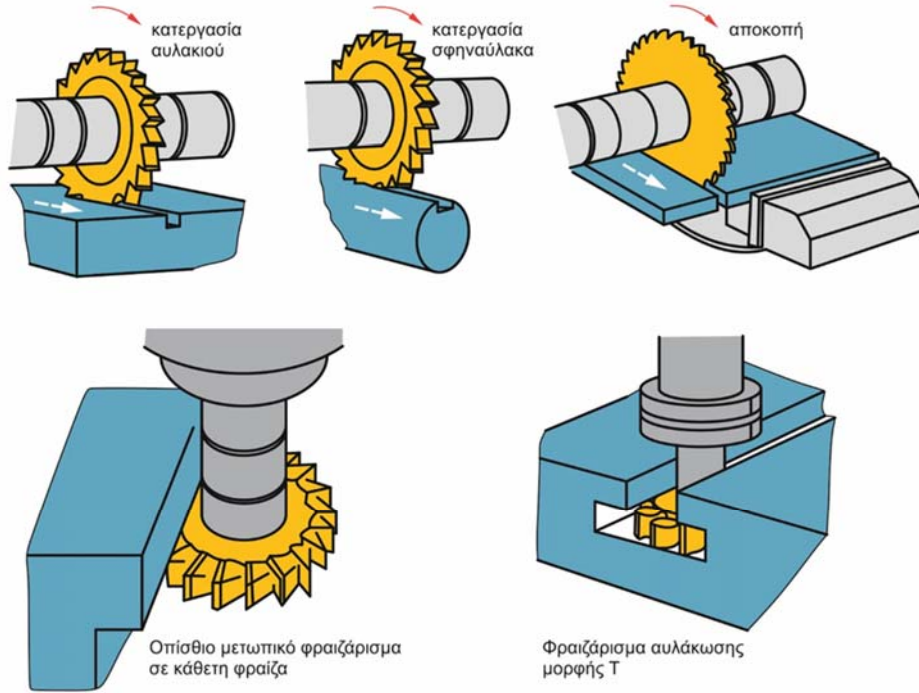
2019-20

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

6

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Εφαρμογές φραιζαρίσματος με δισκοειδή εργαλεία



2019-20

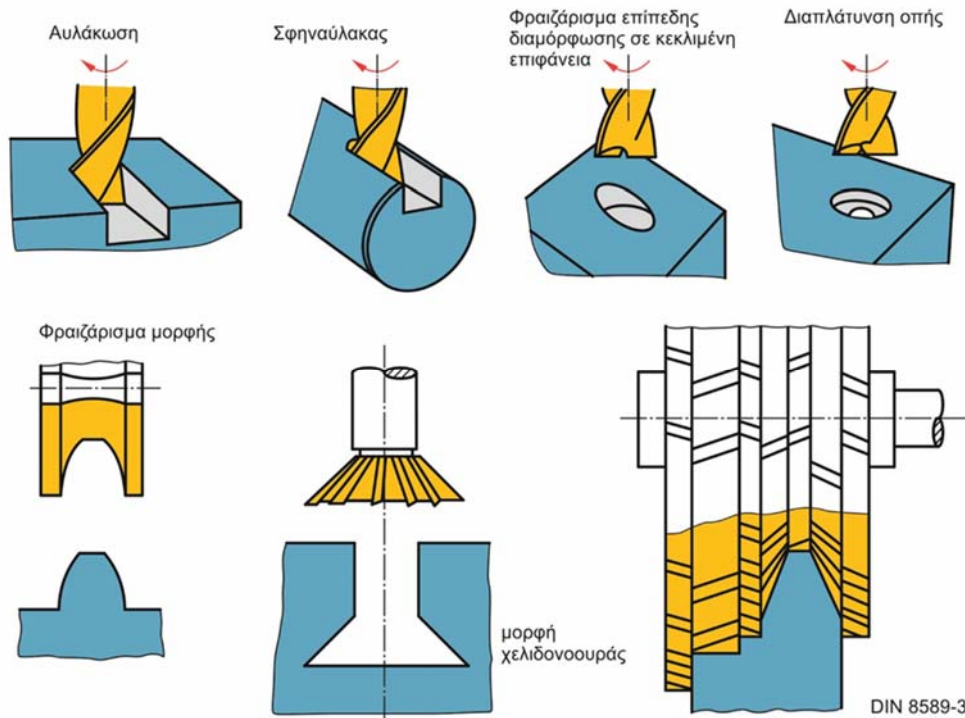


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

7

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Εφαρμογές φραιζαρίσματος με εργαλεία κονδυλοειδή και ειδικών μορφών

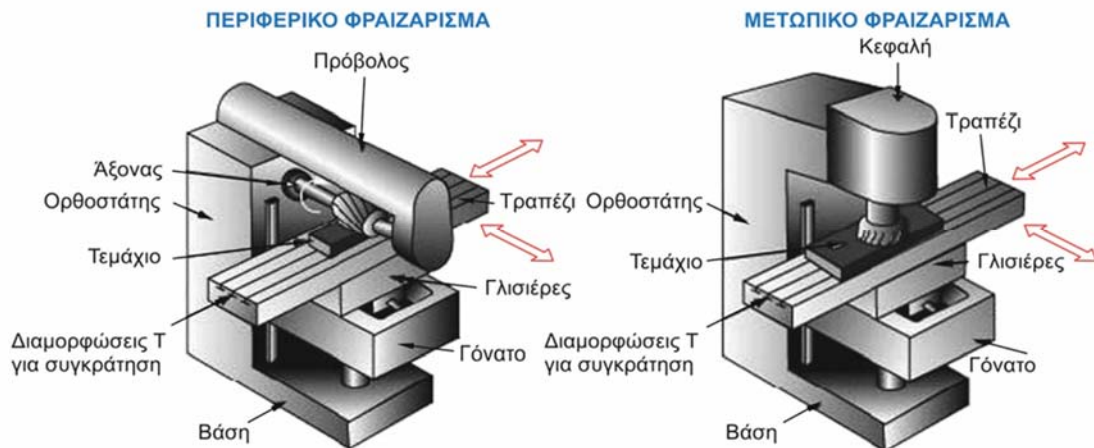
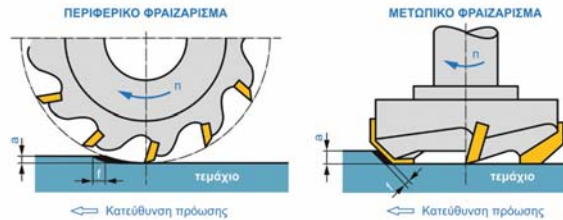


2019-20

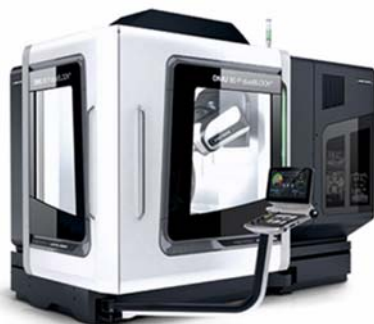


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

8



Οι σύγχρονες φραιζες με ψηφιακή καθοδήγηση που διαθέτουν και αυτόματη αλλαγή εργαλείου, ονομάζονται **κέντρα κατεργασίας**. Τα κέντρα κατεργασίας χαρακτηρίζονται και ονομάζονται από το πλήθος των κατευθύνσεων των κινήσεων οι οποίες μπορούν να καθοδηγηθούν από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το πρόγραμμα καθοδήγησης. Έτσι, μια εργαλειομηχανή η οποία μπορεί και κινεί ταυτόχρονα το τραπέζι στο οριζόντιο επίπεδο, αλλά στην κατακόρυφο δεν υπάρχει αυτόματη καθοδήγηση, είναι μια φραιζα **2 αξόνων**. Αν στην κατακόρυφο υπάρχει καθοδήγηση, αλλά όχι ταυτόχρονα με την καθοδήγηση του οριζοντίου επιπέδου, τότε καλείται **2 1/2 αξόνων**. Αντίστοιχα, η ταυτόχρονη καθοδήγηση του τραπέζιού μιας φραιζας και στις τρεις κατευθύνσεις (δύο οριζόντιες και την κάθετη), την κατατάσσει στις φραιζες **3 αξόνων** ή τριαξονικές και τέλος, ανάλογα τις δυνατότητες περιστροφής του τραπέζιού ή της προβοσκίδας με το εργαλείο, μπορεί μια φραιζα να είναι **4, 5 ή 6 αξόνων**.



Σύγχρονο πενταξονικό κέντρο κατεργασίας (προσφορά της DMG MORI SEIKI)



20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

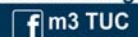
Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Διατάξεις συγκράτησης τεμαχίων



2019-20

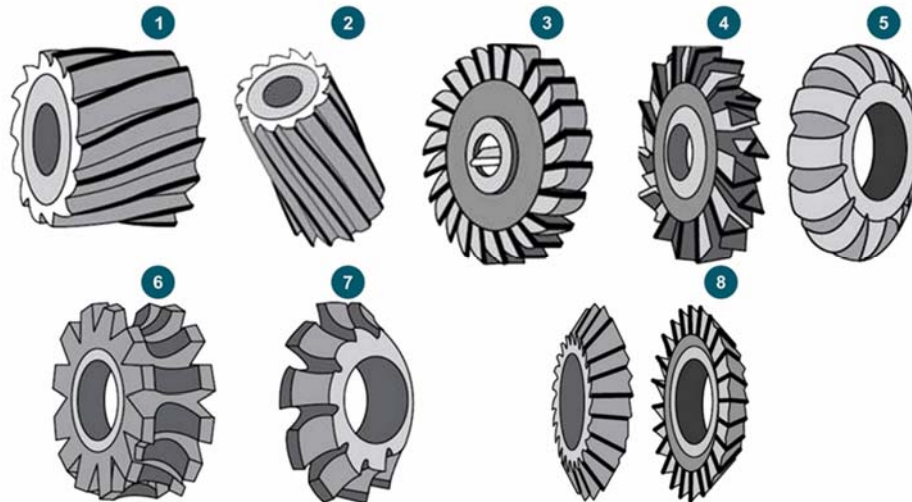


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

11

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

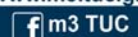


1. Περιφερικός ή κυλινδρικός κοπτήρας με ελαφρώς ελικοειδή δόντια, ελαφρού τύπου για κατεργασίες γενικής χρήσης.
2. Περιφερικός ή κυλινδρικός κοπτήρας βαρέως τύπου με ελικοειδή δόντια 45° που χρησιμοποιείται για έντονη αφαίρεση υλικού.
3. Απλός δισκοειδής τρίκοπος κοπτήρας (με κοπτικές ακμές στο πλάι και περιφερικά) για την κατεργασία εγχοπών.
4. Τρίκοπος δισκοειδής κοπτήρας με δόντια εναλλασσόμενης κατεύθυνσης για έντονες κατεργασίες εγχοπών.
5. Δισκοειδής κοπτήρας μορφής με κυρτές ακμές δημιουργώντας κοίλο αποτύπωμα (αλυσίδα).
6. Δισκοειδής κοπτήρας μορφής με κοίλες ακμές δημιουργώντας κυρτό αποτύπωμα.
7. Κοπτήρας μορφής για διαμόρφωση οδόντωσης.
8. Μετωπικοί πρισματικοί κοπτήρες με ακμές τοποθετημένες σε κώνο (αντί κύλινδρο) για μετωπικό φραιζάρισμα.

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



Κοπτικά εργαλεία φραιζαρίσματος διαφόρων μορφών

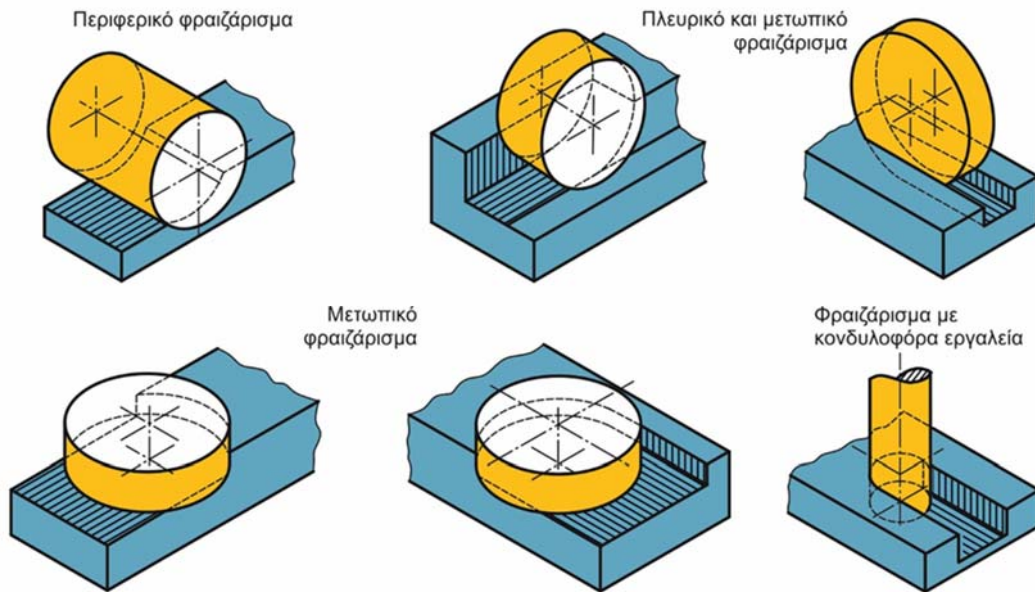


2019-20



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

12



Τα **κονδυλοφόρα εργαλεία ή κονδύλια** χρησιμοποιούνται ευρέως στις κατεργασίες φραιζαρίσματος και πολλές φορές στα τελικά στάδια κατεργασίας διαμορφώσεων. Τα εργαλεία αυτά αποτελούνται από ένα κυλινδρικό σώμα που κατά μήκος του αναπτύσσεται μία ή περισσότερες κοπτικές ακμές με τυπικές γωνίες ελίκωσης που κυμαίνονται μεταξύ 15° και 30°. Χρησιμοποιούνται κυρίως σε κατεργασίες εκχόνδρισης και μόνο εκείνα τα κονδύλια που έχουν σφαιρική απόληξη χρησιμοποιούνται και σε κατεργασίες φινιρίσματος.

Στα **κονδυλοφόρα εργαλεία σφαιρικής απόληξης** το κυλινδρικό σώμα καταλήγει σε ημισφαιρικό τμήμα όπου πάνω του αναπτύσσεται η κοπτική ακμή, ενώ στον κυλινδρικό τους κορμό συνεχίζεται η κόψη με την ελίκωση. Στα εργαλεία σφαιρικής απόληξης είναι δυνατόν ο άξονας του εργαλείου να είναι κάθετος ή με κλίση σε σχέση με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το βάθος κοπής επιλέγεται αρκετά μικρότερο από το αντίστοιχο βάθος στις κατεργασίες με κυλινδρικά εργαλεία.

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Μανέλες φραιζαρίσματος για εκχόνδριση με αλασσόμενα πλακίδια



2019-20



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

15

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

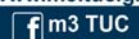
Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Μανέλες φραιζαρίσματος για φινιρίσμα ή ειδικών διαμορφώσεων με αλασσόμενα πλακίδια

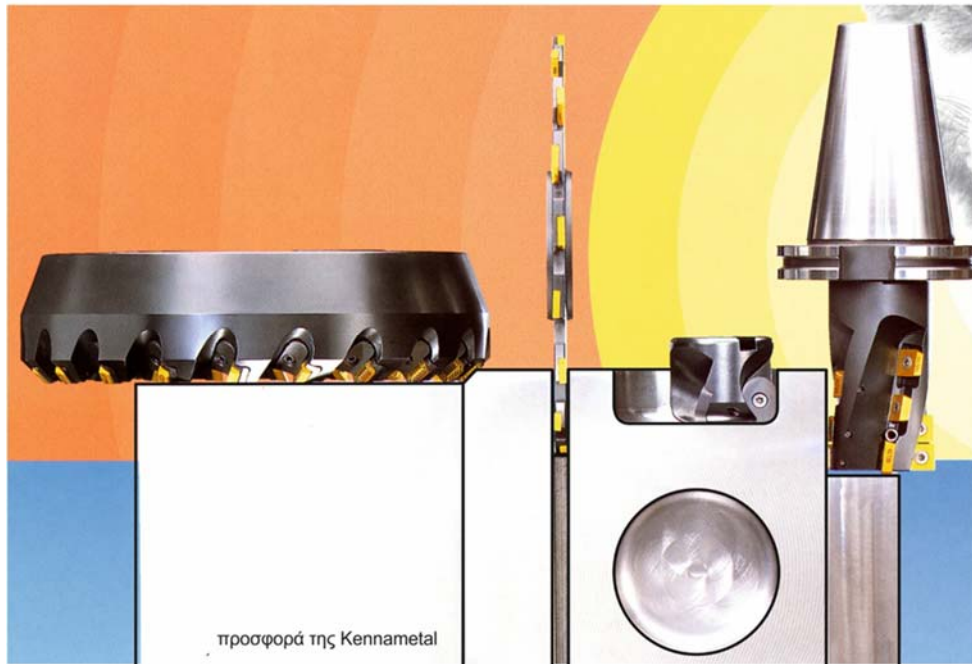


2019-20



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

16



15.3.4 Συνθήκες κατεργασίας (Cutting conditions)

Ο αριθμός των στροφών του κοπτικού εργαλείου, εξαρτάται, όπως και στην τόννευση και τη διάτρηση, από την επιθυμητή ταχύτητα κοπής. Η ταχύτητα κοπής στο φραιζάρισμα αντιπροσωπεύει την περιστροφή του κοπτικού δοντιού στο χρόνο.

Ταχύτητα κοπής v_c : Εκφράζει το ρυθμό κοπής στην κύρια κίνηση που είναι η περιστροφή του εργαλείου. Όπως και στην τόννευση, έτσι και στο φραιζάρισμα τεμαχίου με κοπτικό εργαλείο διαμέτρου D [mm] το οποίο περιστρέφεται με n στροφές το λεπτό (rpm), η ταχύτητα κοπής v_c σε **m/min**, ισούται:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n / 1000$$

Παράδειγμα: Πλάκα από χάλυβα St50 πρόκειται να εκχονδριστεί με κοπτικό εργαλείο φραιζαρίσματος διαμέτρου 25mm από σκληρομέταλλο. Να υπολογιστεί ο ενδεικνυόμενος αριθμός στροφών του εργαλείου.

Λύση: Από πίνακες στη βιβλιογραφία προκύπτει, για το είδος της κατεργασίας και το συγκεκριμένο κατεργαζόμενο υλικό και υλικό κοπτικού εργαλείου, ταχύτητα κοπής $v_c = 60 \text{ m/min}$. Έτσι, επιλύοντας ως προς n

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \Rightarrow n = \frac{1000 \cdot 60}{3.14 \cdot 25} [\text{rpm}] \Rightarrow n \cong 764 \text{ rpm}$$

Πρόωση:

Είναι η σχετική ταχύτητα ανάμεσα στο κατεργαζόμενο κομμάτι και στο κοπτικό εργαλείο και ονομάζεται **ταχύτητα πρόωσης**. Συνήθως η κίνηση της πρόωσης είναι στο τραπέζι της εργαλειομηχανής και έτσι εκφράζεται συχνά ως η ταχύτητα κίνησής του. Η επιλογή της ταχύτητας πρόωσης (ή απλούστερα πρόωση) εξαρτάται από το κοπτικό εργαλείο, το κατεργαζόμενο υλικό, το βάθος κοπής και την επιδιωκόμενη ποιότητα επιφάνειας. Η πρόωση στο φραιζάρισμα δίνεται με δύο μορφές:

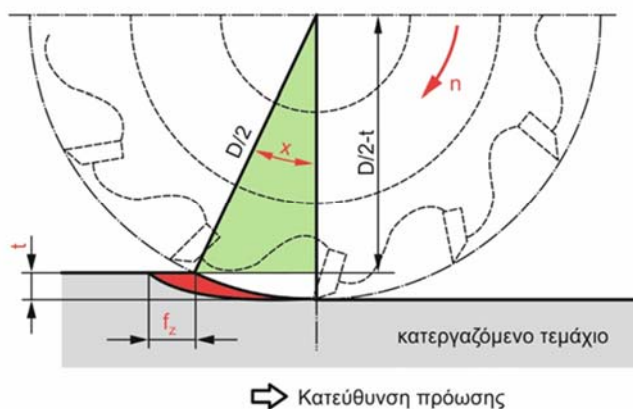
- **πρόωση ανά λεπτό f_{min}** : είναι η σχετική μετατόπιση ανάμεσα στο κατεργαζόμενο κομμάτι και στο κοπτικό εργαλείο σε ένα λεπτό.
- **πρόωση ανά δόντι f_z** : είναι η σχετική μετατόπιση ανάμεσα στο κατεργαζόμενο κομμάτι και στο κοπτικό εργαλείο, στο χρονικό διάστημα από την εισχώρηση ενός δοντιού (μίας κόψης) της φραιζας, μέχρι την εισχώρηση του επόμενου.

Η σχέση που συνδέει τις δύο αυτές προώσεις προκύπτει ως εξής: Έστω κοπτική φραιζα με z κοπτικές ακμές (ή δόντια), η οποία περιστρέφεται με n στροφές το λεπτό και το τραπέζι της μετατοπίζεται με πρόωση ανά λεπτό f_{min} . Τότε το τραπέζι της φραιζας προχωρά με f_{min} χιλιοστά το λεπτό. Επειδή σε ένα λεπτό η φραιζα κάνει n στροφές και σε κάθε στροφή συμμετέχουν στην κοπή z δόντια, προκύπτει μετατόπιση ανά δόντι $f_z \cdot z \cdot n$. Άρα ο τύπος που συνδέει τις δύο προώσεις είναι:

$$f_{min} = f_z \cdot z \cdot n$$

Η **γωνία επαφής** στο περιφερικό φραιζάρισμα είναι η γωνία του τόξου στο οποίο υπάρχει κοπή και προκύπτει συναρτήσει του βάθους κοπής t και της διαμέτρου του κοπτικού εργαλείου D .

$$\cos x = 1 - (2 \cdot t / D)$$



$$\cos x = \frac{D/2 - t}{D/2} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow \cos x = 1 - \frac{2 \cdot t}{D}$$

x : γωνία επαφής [°]
 D : διάμετρος εργαλείου [mm]
 t : βάθος κοπής [mm]

Σε κάθε κατεργασία φραιζαρίσματος συμμετέχουν ταυτόχρονα στην κοπή παραπάνω από ένα δόντια του κοπτήρα. Ο αριθμός των **ενεργών αυτών οδόντων** z_e , προκύπτει από το συνολικό αριθμό δοντιών του κοπτήρα z και τη γωνία επαφής x , από τη σχέση:

$$z_e = z \cdot x / 360^\circ$$

20

19

18

17

16

15

14

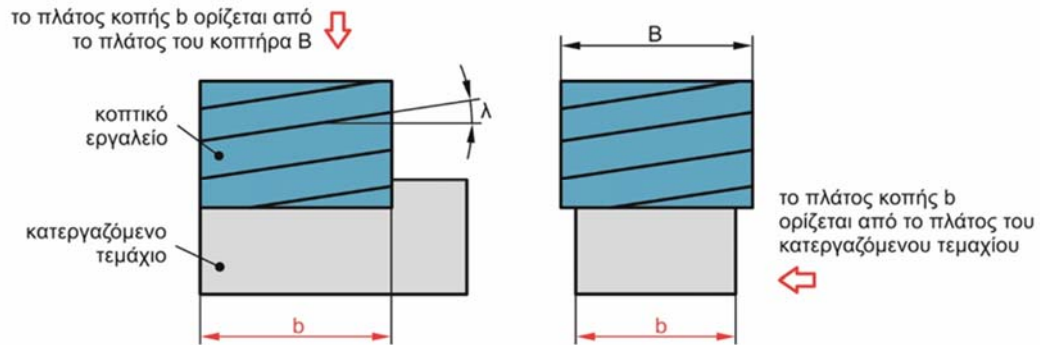
13

12

11

Στο περιφερικό και το μετωπικό φραιζάρισμα, η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου που θα επιλεγεί προτείνεται να είναι περίπου ίση με το **πλάτος της κατεργασίας b** το οποίο σε περίπτωση ευθέων ή με γωνία ελίκωσης κοπτικών δοντιών της φραιζας, είναι αντίστοιχα:

$$b = B \quad \text{ή} \quad b = B \cdot \cos\lambda$$



20

19

18

17

16

15

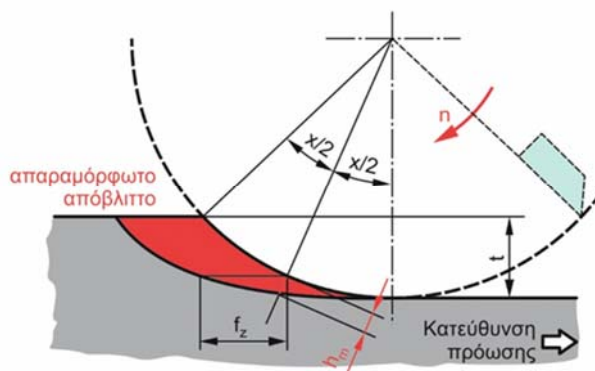
14

13

12

11

Το απόβλιτο κατά την κατεργασία του περιφερικού φραιζαρίσματος μεταβάλλεται αυξανόμενο ή μειούμενο, ανάλογα εάν το φραιζάρισμα είναι αντίρροπο ή ομόρροπο αντίστοιχα. Στο **αντίρροπο φραιζάρισμα** το απόβλιτο ξεκινά από μηδενικό πάχος και αυξάνεται συνεχώς έως την έξοδο του κοπτικού δοντιού από την κοπή. Αυτή η ομαλή αύξηση του πάχους του αποβλίτου έχει ως συνέπεια αντίστοιχα την ομαλή κατεργασία χωρίς ένταση για το κοπτικό δόντι που συμμετέχει στην κοπή. Αντίθετα, στο **ομόρροπο φραιζάρισμα**, το απόβλιτο ξεκινά με το μέγιστο πάχος, του γεγονός που σημαίνει μια ξαφνική κρουστική καταπόνηση στο κοπτικό δόντι, στη μέγιστη μάλιστα τιμή. Για τους σχετικούς υπολογισμούς, συχνά χρησιμοποιείται μια **μέση τιμή του πάχους του αποβλίτου**. Το μέσο πάχος αποβλίτου που μπορεί να δώσει εικόνα για τις μέσες δυνάμεις κοπής, υπολογίζεται στη μέση της γωνίας επαφής x , από τη σχέση στο σχήμα:



$$h_m = \frac{360^\circ}{\pi \cdot x} \cdot \frac{t}{D} \cdot f_z \cdot \sin k$$

h_m : μέσο πάχος αποβλίτου [mm]

x : γωνία επαφής [°]

D : διάμετρος εργαλείου [mm]

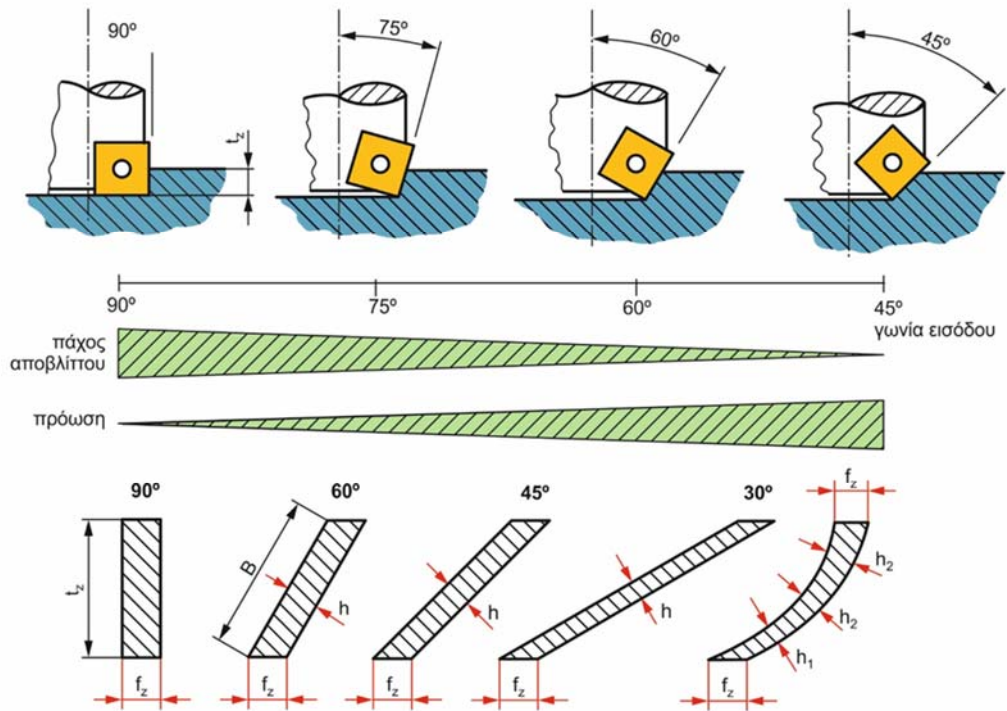
t : βάθος κοπής [mm]

f_z : ταχύτητα πρόωσης ανά δόντι (mm/στρ, δόντι)

k : $k=90^\circ$ -λ για κοπή με γωνία ελίκωσης λ και για ευθέα δόντια ($\lambda=0^\circ$) $k=90^\circ$

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

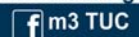
Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



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



Πάχος αποβλίττου ανάλογα τη γωνία κλίσης της κόψης



2019-20



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

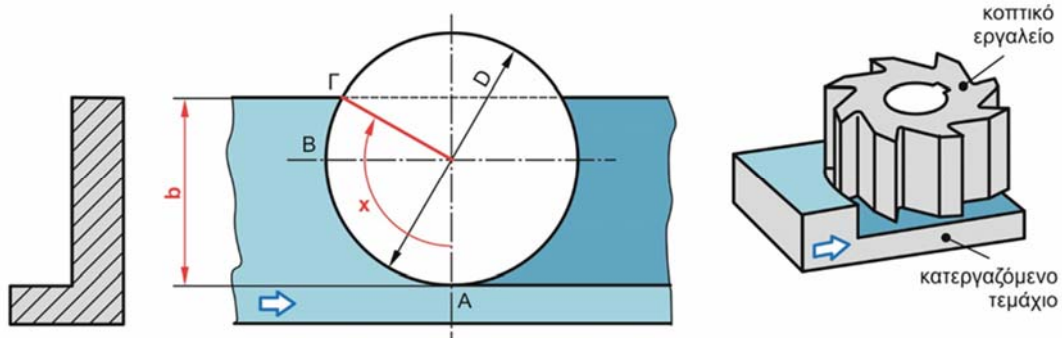
23

20
19
18
17
16
15
14
13
12
11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη

Μία σημαντική ιδιαιτερότητα του μετωπικού φραιζαρίσματος είναι ότι **δεν διατηρείται σε όλη την κοπή το ίδιο είδος φραιζαρίσματος**, δηλαδή δεν είναι σταθερά η κατεργασία ομόρροπο ή αντίρροπο φραιζάρισμα. Στο σχήμα παρουσιάζεται αυτή η συμπεριφορά, όπου διακρίνεται η γωνία επαφής x η οποία μεταβάλλεται, αυξανόμενη από 0° στη θέση Α έως τη μέγιστη τιμή της στη θέση Γ.

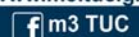
- Για το διάστημα κατεργασίας μέχρι τη θέση Β, δηλαδή για όσο $x < 90^\circ$, το φραιζάρισμα είναι **αντίρροπο**.
- Από τη θέση Β και έως τη θέση Γ, για όσο δηλαδή $x > 90^\circ$ και μέχρι τις 180° εφόσον υπήρχε κοπή, το φραιζάρισμα είναι **ομόρροπο**.



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



Εναλλαγή στο είδος φραιζαρίσματος στο μετωπικό φραιζάρισμα



2019-20



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

24

20

19

18

17

16

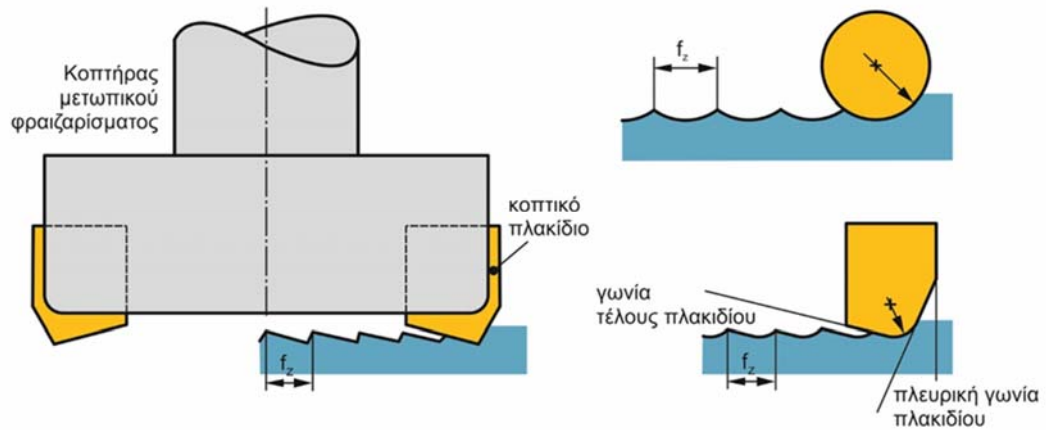
15

14

13

12

11



Το αποτύπωμα στο κατεργαζόμενο τεμάχιο, όπως και σε όλες τις κατεργασίες κοπής, εξαρτάται από τη μορφή του κοπτικού πλακιδίου. Στο σχήμα παρουσιάζονται χαρακτηριστικές θεωρητικές μορφές αποτυπωμάτων για τρία διαφορετικά πλακίδια

20

19

18

17

16

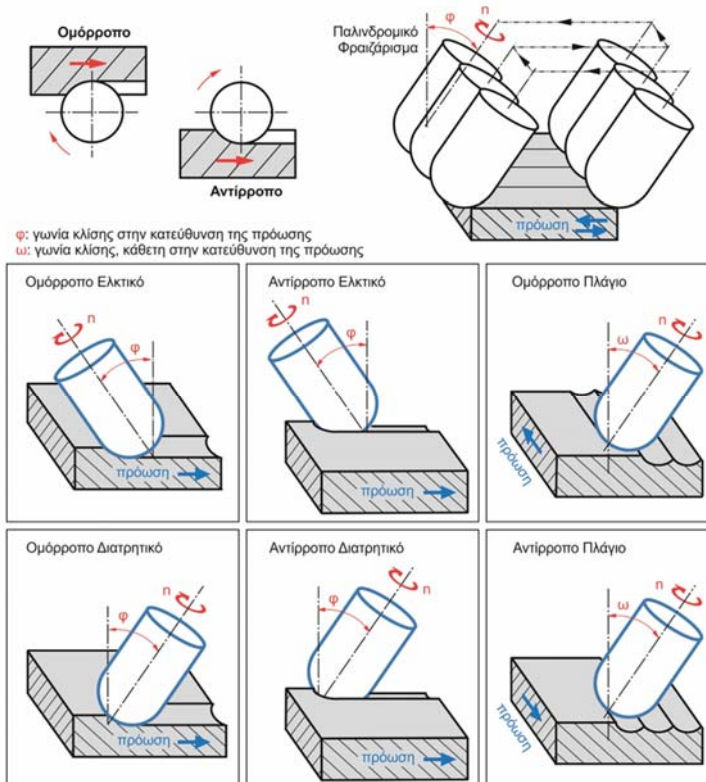
15

14

13

12

11



20

19

18

17

16

15

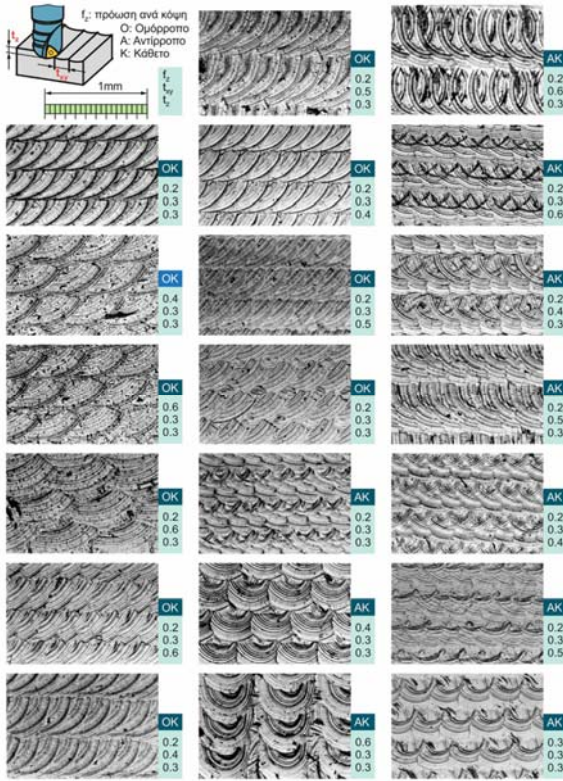
14

13

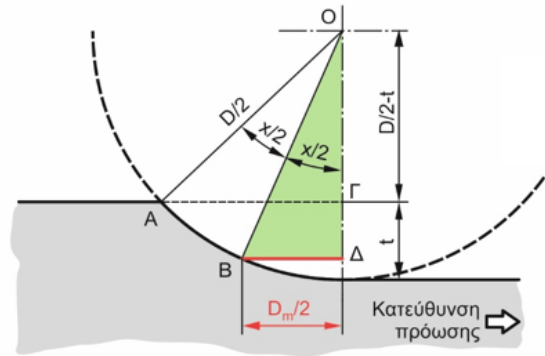
12

11

Κοπές με εργαλεία με γεωμετρικά καθορισμένη κόψη



Υπολογισμός μέσης ταχύτητας κοπής για κατεργασία με κοπτικά εργαλεία με σφαιρική απόληξη



$$\text{τρίγωνο OAG} \Rightarrow \cos x = \frac{D/2-t}{D/2} \Rightarrow x = \arccos \frac{D/2-t}{D/2}$$

$$\text{τρίγωνο OBD} \Rightarrow \sin(x/2) = \frac{D_m/2}{D/2} = \frac{D_m}{D} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow D_m = D \cdot \sin(x/2)$$

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



Τοπομορφίες φραιζαρίσματος με κοπτικά εργαλεία με σφαιρική απόληξη



2019-20



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

27