

**Πειραματικός προσδιορισμός των συντελεστών του  
προσομοιωτικού προτύπου των δυνάμεων κοπής για κοπτικό  
εργαλείο πλακίδιο σκληρομετάλλου κατηγορίας P 20 με  
επικάλυψη TiN και υλικό κατεργασίας χάλυβα  
επιβελτιώσεως 42CrMo4**

Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι ο προσδιορισμός, μέσω πειραμάτων, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου σκληρομετάλλου κατηγορίας P20 με επικάλυση Τιτανίου Αζώτου TiN – κατεργαζόμενου τεμαχίου χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 (DIN) ή 4140 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
42CrMo4	0,38	0,15	0,50	0,90	0.15	max	-	-	-

Τα παραδοτέα του ερευνητικού αυτού έργου είναι μία βάση δεδομένων με τις τιμές των συνιστωσών της δύναμης κοπής για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου και ο προσδιορισμός, με βάση τα πειραματικά δεδομένα, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα. Οι συνθήκες κοπής κατά την εκτέλεση των πειραμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Αξονικό βάθος κοπής σε mm</b>	<b>0,6</b>	<b>Πρόωση σε mm/rev</b>	<b>0,055</b>
<b>Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα</b>			

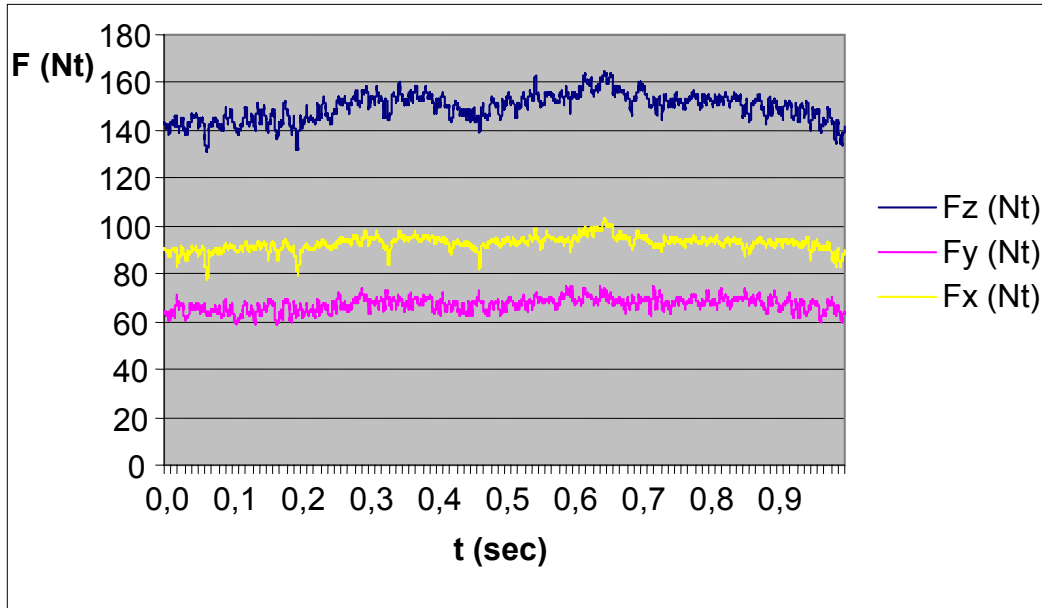
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής  $F_z$ ,  $F_y$ ,  $F_x$  και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που λειτουργεί ως ενισχυτής και διαμορφωτής σήματος μετατρέπονται σε ηλεκτρική τάση της τάξεως των mVolt. Τα αναλογικά αυτά σήματα αφού ενισχυθούν καταλλήλως, μετατρέπονται σε ψηφιακά για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή τους πραγματοποιείται μέσω μίας κάρτας ψηφιοποίησης, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της δυναμομετρικής τράπεζας και της μονάδας επεξεργασίας τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ήταν το Labview, το οποίο διακρίνεται για την ακρίβειά του και την ευκολία στη χρήση του.

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

α/α	Fz (Nt)	Fy (Nt)	Fx (Nt)	t (msec)
1	143,555	64,453	89,844	1
2	142,578	64,453	89,844	2
3	143,555	64,453	89,844	3
4	143,555	64,453	89,844	4
5	143,555	64,453	89,844	5
6	142,578	64,453	89,844	6
7	143,555	64,453	90,82	7
8	143,555	64,453	89,844	8
9	142,578	63,477	89,844	9
10	143,555	63,477	89,844	10
11	143,555	64,453	89,844	11
12	142,578	64,453	90,82	12
13	142,578	64,453	90,82	13
14	142,578	63,477	89,844	14
15	142,578	64,453	90,82	15
16	142,578	64,453	90,82	16
17	142,578	63,477	89,844	17
18	142,578	63,477	89,844	18
19	142,578	63,477	89,844	19
20	142,578	63,477	89,844	20
21	141,602	63,477	89,844	21

22	141,602	63,477	89,844	22
23	141,602	63,477	89,844	23
24	140,625	63,477	89,844	24
25	141,602	63,477	89,844	25
26	140,625	62,5	89,844	26
27	140,625	63,477	88,867	27
28	140,625	62,5	88,867	28
29	140,625	63,477	88,867	29
.....	.....	.....	.....	.....
9990	139,648	63,477	87,891	9990
9991	139,648	63,477	88,867	9991
9992	140,625	63,477	88,867	9992
9993	140,625	63,477	88,867	9993
9994	140,625	63,477	88,867	9994
9995	140,625	63,477	88,867	9995
9996	140,625	63,477	88,867	9996
9997	140,625	63,477	88,867	9997
9998	140,625	64,453	89,844	9998
9999	141,602	63,477	89,844	9999
10000	141,602	63,477	89,844	10000

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά οι παραπάνω μετρήσεις:



Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν κατά καιρούς με τον προσδιορισμό των δυνάμεων κοπής κατά την κατεργασία υλικών και διατύπωσαν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης τους. Τα μοντέλα αυτά είναι εξισώσεις που έχουν προκύψει με αναλυτικό ή ημιεμπειρικό τρόπο και εκφράζουν τις δυνάμεις κοπής σε συνάρτηση με τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται κατά την κοπή. Τα αναλυτικά μοντέλα βασίζονται πάνω στην θεωρία των μηχανισμών της κοπής και τα διακρίνει ασάφια και πολυπλοκότητα. Για αυτό και προτιμάται η χρήση των ημιεμπειρικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν σταθερές που προσδιορίζονται μέσω πειραμάτων. Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο ημιεμπειρικό μοντέλο, παρότι είναι αρκετά παλιό, είναι αυτό που διατύπωσαν οι Kienzle – Victor και είναι γνωστό ως «μοντέλο της ειδικής αντίστασης κοπής». Στην ουσία είναι μια εξίσωση  $F_C = K_S * A$ , όπου  $A$  είναι η επιφάνεια του απαραμόρφωτου αποβλήτου, η οποία ισούται με το γινόμενο του βάθους κοπής  $a$  (mm) επί την πρόωση  $s$  (mm/rev) και  $K_S$  μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες κοπής (υλικό κοπτικού εργαλείου και υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου).

Ως  $F_Z$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z999} + F_{Z1000}) / 10000 = 149,77 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_Y$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y999} + F_{Y1000}) / 10000 = 67,09 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_X$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X999} + F_{X1000}) / 10000 = 92,82 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 3.42CrMo4 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής  $F_{C1A1}$ :

$$F_{C1A1} = \sqrt{F_{z\mu1A1}^2 + \sqrt{F_{y\mu1A1}^2 + F_{x\mu1A1}^2}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{149,77^2 + \sqrt{67,09^2 + 92,82^2}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{22431,05 + \sqrt{4501,06 + 8615,55}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{22431,05 + \sqrt{13117,15}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{22431,05 + 114,53}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{22545,58}$$

$$F_{C1A1} = 150,15$$

Μετά με βάθος κοπής  $a_B=0,6$  mm και πρόωση  $S_1=0,055$  mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής  $K_{S1A1}$ :

$$K_{S1A1} = \frac{F_{C1A1}}{a_B * S_1} = \frac{150,15}{0,6 * 0,055} = \frac{150,15}{0,033} = 4550 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$

**Πειραματικός προσδιορισμός των συντελεστών του  
προσομοιωτικού προτύπου των δυνάμεων κοπής για κοπτικό  
εργαλείο πλακίδιο σκληρομετάλλου κατηγορίας P 20 με  
επικάλυψη TiN και υλικό κατεργασίας χάλυβα  
επιβελτιώσεως 42CrMo4**

Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι ο προσδιορισμός, μέσω πειραμάτων, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου σκληρομετάλλου κατηγορίας P20 με επικάλυση Τιτανίου Αζώτου TiN – κατεργαζόμενου τεμαχίου χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 (DIN) ή 4140 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
42CrMo4	0,38	0,15	0,50	0,90	0.15	max	-	-	-

Τα παραδοτέα του ερευνητικού αυτού έργου είναι μία βάση δεδομένων με τις τιμές των συνιστωσών της δύναμης κοπής για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου και ο προσδιορισμός, με βάση τα πειραματικά δεδομένα, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα. Οι συνθήκες κοπής κατά την εκτέλεση των πειραμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αξονικό βάθος κοπής σε mm	0,6	Πρόωση σε mm/rev	0,11
<b>Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα</b>			

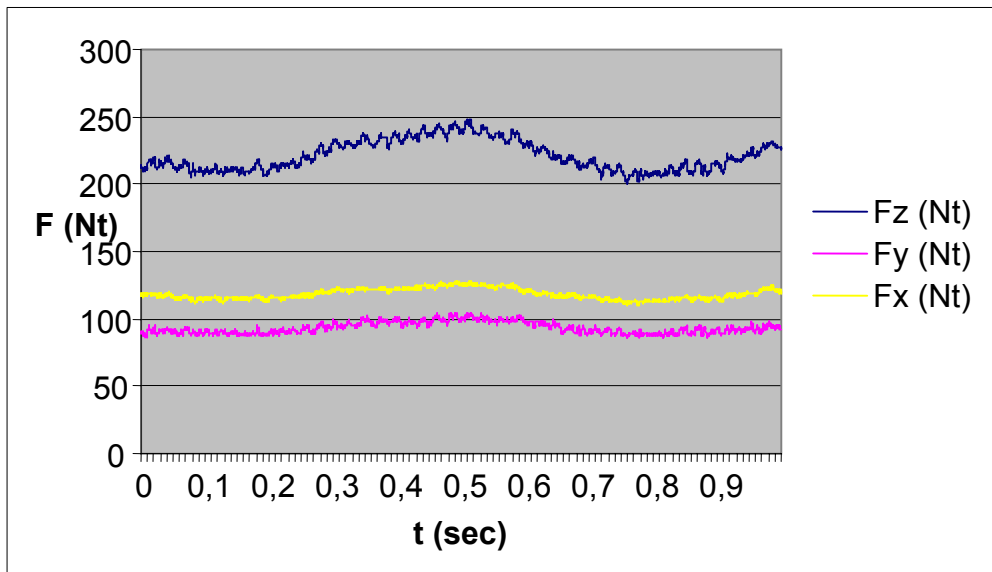
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής  $F_z$ ,  $F_y$ ,  $F_x$  και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που λειτουργεί ως ενισχυτής και διαμορφωτής σήματος μετατρέπονται σε ηλεκτρική τάση της τάξεως των mVolt. Τα αναλογικά αυτά σήματα αφού ενισχυθούν καταλλήλως, μετατρέπονται σε ψηφιακά για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή τους πραγματοποιείται μέσω μίας κάρτας ψηφιοποίησης, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της δυναμομετρικής τράπεζας και της μονάδας επεξεργασίας τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ήταν το Labview, το οποίο διακρίνεται για την ακρίβειά του και την ευκολία στη χρήση του.

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

$\alpha/\alpha$	$F_z$ (Nt)	$F_y$ (Nt)	$F_x$ (Nt)	t (msec)
1	212,891	88,867	117,187	1
2	213,867	89,844	117,187	2
3	212,891	88,867	117,187	3
4	212,891	89,844	117,187	4
5	213,867	89,844	117,187	5
6	213,867	90,82	117,187	6
7	212,891	89,844	117,187	7
8	212,891	89,844	118,164	8
9	212,891	90,82	118,164	9
10	211,914	90,82	117,187	10
11	212,891	90,82	117,187	11
12	212,891	90,82	117,187	12
13	212,891	90,82	118,164	13
14	211,914	90,82	117,187	14
15	211,914	90,82	117,187	15
16	212,891	90,82	117,187	16
17	212,891	90,82	117,187	17
18	211,914	89,844	117,187	18
19	211,914	89,844	117,187	19
20	211,914	90,82	117,187	20
21	212,891	89,844	117,187	21
22	211,914	89,844	116,211	22

23	211,914	89,844	116,211	23
24	211,914	89,844	116,211	24
25	211,914	89,844	116,211	25
26	211,914	89,844	116,211	26
27	211,914	89,844	117,187	27
28	210,937	89,844	117,187	28
29	210,937	89,844	117,187	29
.....	.....	.....	.....	.....
9990	225,586	92,773	120,117	9990
9991	225,586	92,773	120,117	9991
9992	225,586	91,797	120,117	9992
9993	225,586	92,773	120,117	9993
9994	225,586	92,773	120,117	9994
9995	225,586	92,773	120,117	9995
9996	226,562	92,773	119,141	9996
9997	225,586	92,773	119,141	9997
9998	226,562	92,773	120,117	9998
9999	226,562	92,773	119,141	9999
10000	226,562	92,773	119,141	10000

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά οι παραπάνω μετρήσεις:



Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν κατά καιρούς με τον προσδιορισμό των δυνάμεων κοπής κατά την κατεργασία υλικών και διατύπωσαν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης τους. Τα μοντέλα αυτά είναι εξισώσεις που έχουν προκύψει με αναλυτικό ή ημιεμπειρικό τρόπο και εκφράζουν τις δυνάμεις κοπής σε συνάρτηση με τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται κατά την κοπή. Τα αναλυτικά μοντέλα βασίζονται πάνω στην θεωρία των μηχανισμών της κοπής και τα διακρίνει ασάφια και πολυπλοκότητα. Για αυτό και προτιμάται η χρήση των ημιεμπειρικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν σταθερές που προσδιορίζονται μέσω πειραμάτων. Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο ημιεμπειρικό μοντέλο, παρότι είναι αρκετά παλιό, είναι αυτό που διατύπωσαν οι Kienzle – Victor και είναι γνωστό ως «μοντέλο της ειδικής αντίστασης κοπής». Στην ουσία είναι μια εξίσωση  $F_C = K_S * A$ , όπου  $A$  είναι η επιφάνεια του απαραμόρφωτου αποβλήτου, η οποία ισούται με το γινόμενο του βάθους κοπής  $a$  (mm) επί την πρόωση  $s$  (mm/rev) και  $K_S$  μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες κοπής (υλικό κοπτικού εργαλείου και υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου).

Ως  $F_Z$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 221,24 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_Y$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 93,43 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_X$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X9999} + F_{X10000}) / 10000 = 118,27 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 42CrMo4 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής  $F_{C1A2}$ :

$$F_{C1A2} = \sqrt{F^2_{z\mu1A2} + \sqrt{F^2_{y\mu1A2} + F^2_{x\mu1A2}}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{221,24^2 + \sqrt{93,43^2 + 118,27^2}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{48947,13 + \sqrt{8729,16 + 13987,79}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{48947,13 + \sqrt{22716,95}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{48947,13 + 150,72}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{49097,85}$$

$$F_{C1A2} = 221,58$$

Μετά με βάθος κοπής  $a_B=0.6$  mm και πρόωση  $S_2=0.11$  mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής  $K_{S1A2}$ :

$$K_{S1A2} = \frac{F_{C1A2}}{a_B * S_2} = \frac{221,58}{0,6 * 0,11} = \frac{221,58}{0,066} = 3357,27 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$



**Πειραματικός προσδιορισμός των συντελεστών του  
προσομοιωτικού προτύπου των δυνάμεων κοπής για κοπτικό  
εργαλείο πλακίδιο σκληρομετάλλου κατηγορίας P 20 με  
επικάλυψη TiN και υλικό κατεργασίας χάλυβα  
επιβελτιώσεως 42CrMo4**

Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι ο προσδιορισμός, μέσω πειραμάτων, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου σκληρομετάλλου κατηγορίας P20 με επικάλυση Τιτανίου Αζώτου TiN – κατεργαζόμενου τεμαχίου χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 (DIN) ή 4140 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
42CrMo4	0,38	0,15	0,50	0,90	0.15	max	-	-	-

Τα παραδοτέα του ερευνητικού αυτού έργου είναι μία βάση δεδομένων με τις τιμές των συνιστωσών της δύναμης κοπής για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου και ο προσδιορισμός, με βάση τα πειραματικά δεδομένα, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα. Οι συνθήκες κοπής κατά την εκτέλεση των πειραμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

Αξονικό βάθος κοπής σε mm	0,6	Πρόωση σε mm/rev	0,22
<b>Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα</b>			

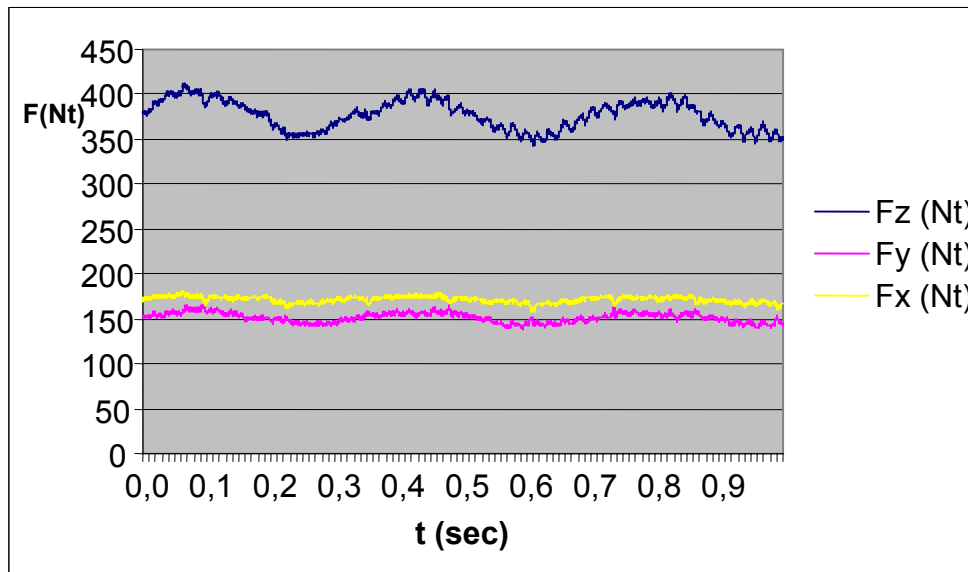
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής  $F_z$ ,  $F_y$ ,  $F_x$  και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που λειτουργεί ως ενισχυτής και διαμορφωτής σήματος μετατρέπονται σε ηλεκτρική τάση της τάξεως των mVolt. Τα αναλογικά αυτά σήματα αφού ενισχυθούν καταλλήλως, μετατρέπονται σε ψηφιακά για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή τους πραγματοποιείται μέσω μίας κάρτας ψηφιοποίησης, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της δυναμομετρικής τράπεζας και της μονάδας επεξεργασίας τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ήταν το Labview, το οποίο διακρίνεται για την ακρίβειά του και την ευκολία στη χρήση του.

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

$\alpha/\alpha$	$F_z$ (Nt)	$F_y$ (Nt)	$F_x$ (Nt)	t (msec)
1	379,883	153,32	171,875	1
2	379,883	153,32	171,875	2
3	379,883	152,344	171,875	3
4	379,883	152,344	172,852	4
5	378,906	152,344	172,852	5
6	378,906	151,367	171,875	6
7	379,883	152,344	171,875	7
8	380,859	151,367	171,875	8
9	380,859	152,344	171,875	9
10	380,859	152,344	170,898	10
11	380,859	152,344	170,898	11
12	380,859	152,344	169,922	12
13	380,859	152,344	169,922	13
14	380,859	152,344	170,898	14
15	380,859	152,344	170,898	15
16	379,883	152,344	171,875	16
17	379,883	152,344	172,852	17
18	379,883	152,344	172,852	18
19	379,883	152,344	171,875	19
20	379,883	152,344	170,898	20
21	379,883	152,344	170,898	21

22	379,883	153,32	170,898	22
23	378,906	152,344	170,898	23
24	378,906	152,344	171,875	24
25	378,906	152,344	172,852	25
26	378,906	152,344	172,852	26
27	379,883	151,367	172,852	27
28	378,906	151,367	172,852	28
29	379,883	151,367	172,852	29
.....	.....	.....	.....	.....
9990	350,586	143,555	166,992	9990
9991	349,609	144,531	166,992	9991
9992	349,609	143,555	166,992	9992
9993	349,609	142,578	166,992	9993
9994	349,609	143,555	167,969	9994
9995	350,586	141,602	166,992	9995
9996	350,586	141,602	167,969	9996
9997	350,586	141,602	166,992	9997
9998	350,586	141,602	166,992	9998
9999	351,562	141,602	166,992	9999
10000	350,586	141,602	167,969	10000

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά οι παραπάνω μετρήσεις:



Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν κατά καιρούς με τον προσδιορισμό των δυνάμεων κοπής κατά την κατεργασία υλικών και διατύπωσαν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης τους. Τα μοντέλα αυτά είναι εξισώσεις που έχουν προκύψει με αναλυτικό ή ημιεμπειρικό τρόπο και εκφράζουν τις δυνάμεις κοπής σε συνάρτηση με τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται κατά την κοπή. Τα αναλυτικά μοντέλα βασίζονται πάνω στην θεωρία των μηχανισμών της κοπής και τα διακρίνει ασάφια και πολυπλοκότητα. Για αυτό και προτιμάται η χρήση των ημιεμπειρικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν σταθερές που προσδιορίζονται μέσω πειραμάτων. Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο ημιεμπειρικό μοντέλο, παρότι είναι αρκετά παλιό, είναι αυτό που διατύπωσαν οι Kienzle – Victor και είναι γνωστό ως «μοντέλο της ειδικής αντίστασης κοπής». Στην ουσία είναι μια εξίσωση  $F_C = K_S * A$ , όπου  $A$  είναι η επιφάνεια του απαραμόρφωτου αποβλήτου, η οποία ισούται με το γινόμενο του βάθους κοπής  $a$  (mm) επί την πρόωση  $s$  (mm/rev) και  $K_S$  μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες κοπής (υλικό κοπτικού εργαλείου και υλικό κατεργαζόμενου τεμαχίου).

Ως  $F_Z$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 377,18 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_Y$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 151,4 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_X$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X9999} + F_{X10000}) / 10000 = 171,51 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 3.42CrMo4 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής  $F_{C1A3}$ :

$$F_{C1A3} = \sqrt{F^2_{Z\mu1A3} + \sqrt{F^2_{Y\mu1A3} + F^2_{X\mu1A3}}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{377,18^2 + \sqrt{151,4^2 + 171,51^2}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{142264,75 + \sqrt{22921,96 + 29415,68}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{142264,75 + \sqrt{52337,64}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{142264,75 + 228,77}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{142493,52}$$

$$F_{C1A3} = 377,48$$

Μετά με βάθος κοπής  $a_B=0.6$  mm και πρόωση  $S_3=0.22$  mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής  $K_{S1A3}$ :

$$K_{S1A3} = \frac{F_{C1A3}}{a_B * S_3} = \frac{377,48}{0,6 * 0,22} = \frac{377,48}{0,13} = 2903,69 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$

**Πειραματικός προσδιορισμός των συντελεστών του  
προσομοιωτικού προτύπου των δυνάμεων κοπής για κοπτικό  
εργαλείο πλακίδιο σκληρομετάλλου κατηγορίας P 20 με  
επικάλυψη TiN και υλικό κατεργασίας χάλυβα  
επιβελτιώσεως 42CrMo4**

Σκοπός του ερευνητικού αυτού έργου είναι ο προσδιορισμός, μέσω πειραμάτων, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου σκληρομετάλλου κατηγορίας P20 με επικάλυση Τιτανίου Αζώτου TiN – κατεργαζόμενου τεμαχίου χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 (DIN) ή 4140 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 42CrMo4 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
42CrMo4	0,38	0,15	0,50	0,90	0.15	max	-	-	-

Τα παραδοτέα του ερευνητικού αυτού έργου είναι μία βάση δεδομένων με τις τιμές των συνιστωσών της δύναμης κοπής για το συγκεκριμένο ζεύγος υλικού κοπτικού εργαλείου και ο προσδιορισμός, με βάση τα πειραματικά δεδομένα, των σταθερών συντελεστών του προσομοιωτικού προτύπου που περιγράφει τις δυνάμεις κοπής κατά το φραιζάρισμα. Οι συνθήκες κοπής κατά την εκτέλεση των πειραμάτων παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Αξονικό βάθος κοπής σε mm</b>	<b>0,6</b>	<b>Πρόωση σε mm/rev</b>	<b>0,44</b>
<b>Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα</b>			

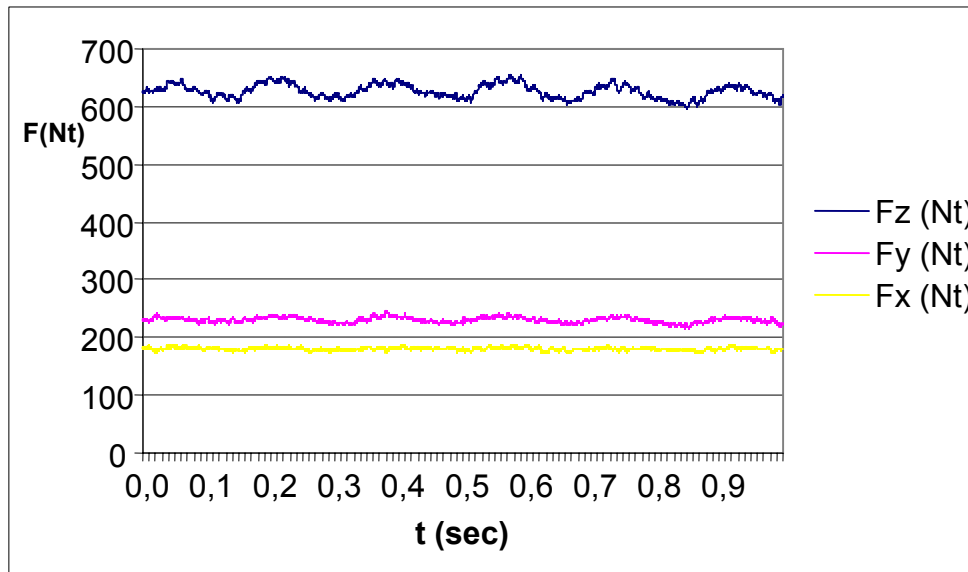
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής  $F_z$ ,  $F_y$ ,  $F_x$  και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που λειτουργεί ως ενισχυτής και διαμορφωτής σήματος μετατρέπονται σε ηλεκτρική τάση της τάξεως των mVolt. Τα αναλογικά αυτά σήματα αφού ενισχυθούν καταλλήλως, μετατρέπονται σε ψηφιακά για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία τους. Η μετατροπή τους πραγματοποιείται μέσω μίας κάρτας ψηφιοποίησης, η οποία παρεμβάλλεται μεταξύ της δυναμομετρικής τράπεζας και της μονάδας επεξεργασίας τους, που στην προκειμένη περίπτωση είναι ένας ηλεκτρονικός υπολογιστής με κατάλληλο λογισμικό. Το λογισμικό που επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί ήταν το Labview, το οποίο διακρίνεται για την ακρίβειά του και την ευκολία στη χρήση του.

Τα πειραματικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες:

α/α	Fz (Nt)	Fy (Nt)	Fx (Nt)	t (msec)
1	626,953	233,398	181,641	1
2	625,977	233,398	181,641	2
3	625	232,422	182,617	3
4	624,023	231,445	182,617	4
5	623,047	230,469	182,617	5
6	623,047	229,492	182,617	6
7	623,047	229,492	181,641	7
8	623,047	229,492	181,641	8
9	623,047	230,469	180,664	9
10	625	230,469	179,687	10
11	625	231,445	178,711	11
12	625,977	231,445	179,687	12
13	625,977	232,422	179,687	13
14	625,977	232,422	180,664	14
15	625,977	231,445	181,641	15
16	625	231,445	183,594	16
17	624,023	230,469	183,594	17
18	623,047	230,469	183,594	18
19	623,047	229,492	182,617	19
20	623,047	229,492	182,617	20
21	623,047	229,492	181,641	21
22	624,023	230,469	181,641	22

23	625	230,469	180,664	23
24	625,977	232,422	180,664	24
25	626,953	232,422	180,664	25
26	626,953	232,422	180,664	26
27	626,953	232,422	181,641	27
28	626,953	231,445	182,617	28
29	625,977	230,469	183,594	29
.....	.....	.....	.....	.....
9990	617,187	223,633	178,711	9990
9991	619,141	224,609	178,711	9991
9992	619,141	224,609	178,711	9992
9993	619,141	224,609	179,687	9993
9994	619,141	224,609	179,687	9994
9995	619,141	224,609	179,687	9995
9996	618,164	224,609	179,687	9996
9997	618,164	223,633	179,687	9997
9998	619,141	224,609	178,711	9998
9999	619,141	224,609	178,711	9999
10000	620,117	225,586	178,711	10000

Παρακάτω παρουσιάζονται διαγραμματικά οι παραπάνω μετρήσεις:



Πολλοί ερευνητές ασχολήθηκαν κατά καιρούς με τον προσδιορισμό των δυνάμεων κοπής κατά την κατεργασία υλικών και διατύπωσαν διάφορα μοντέλα πρόβλεψης τους. Τα μοντέλα αυτά είναι εξισώσεις που έχουν προκύψει με αναλυτικό ή ημιεμπειρικό τρόπο και εκφράζουν τις δυνάμεις κοπής σε συνάρτηση με τις συνθήκες που χρησιμοποιούνται κατά την κοπή. Τα αναλυτικά μοντέλα βασίζονται πάνω στην θεωρία των μηχανισμών της κοπής και τα διακρίνει ασάφια και πολυπλοκότητα. Για αυτό και προτιμάται η χρήση των ημιεμπειρικών μοντέλων τα οποία περιλαμβάνουν σταθερές που προσδιορίζονται μέσω πειραμάτων. Το περισσότερο χρησιμοποιούμενο ημιεμπειρικό μοντέλο, παρότι είναι αρκετά παλιό, είναι αυτό που διατύπωσαν οι Kienzle – Victor και είναι γνωστό ως «μοντέλο της ειδικής αντίστασης κοπής». Στην ουσία είναι μια εξίσωση  $F_C = K_S * A$ , όπου  $A$  είναι η επιφάνεια του απαραμόρφωτου αποβλήτου, η οποία ισούται με το γινόμενο του βάθους κοπής  $a$  (mm) επί την πρόωση  $s$  (mm/rev) και  $K_S$  μια σταθερά η οποία εξαρτάται από τις εκάστοτε συνθήκες κοπής (υλικό κοπτικού εργαλείου και υλικό κατεργαζόμενο τεμαχίου).

Ως  $F_Z$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 626,73 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_Y$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 230,48 \text{ (Nt)}$$

Ως  $F_Z$  χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x9999} + F_{x10000}) / 10000 = 180,55 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 3.42CrMo4 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής  $F_{C1A4}$ :

$$F_{C1A4} = \sqrt{F_{Z\mu1A4}^2 + \sqrt{F_{Y\mu1A4}^2 + F_{X\mu1A4}^2}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{626,73^2 + \sqrt{230,48^2 + 180,55^2}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{392790,49 + \sqrt{53121,03 + 32598,30}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{392790,49 + \sqrt{85719,33}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{392790,49 + 292,77}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{393083,26}$$

$$F_{C1A4} = 626,96$$

Μετά με βάθος κοπής  $a_B=0.6$  mm και πρόωση  $S_4=0,44$  mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής  $K_{S1A4}$ :

$$K_{S1A4} = \frac{F_{C1A4}}{a_B * S_4} = \frac{626,96}{0,6 * 0,44} = \frac{626,96}{0,26} = 2411,38 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$