

**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	0,35	Πρόωση σε mm/rev	0,055
Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα			

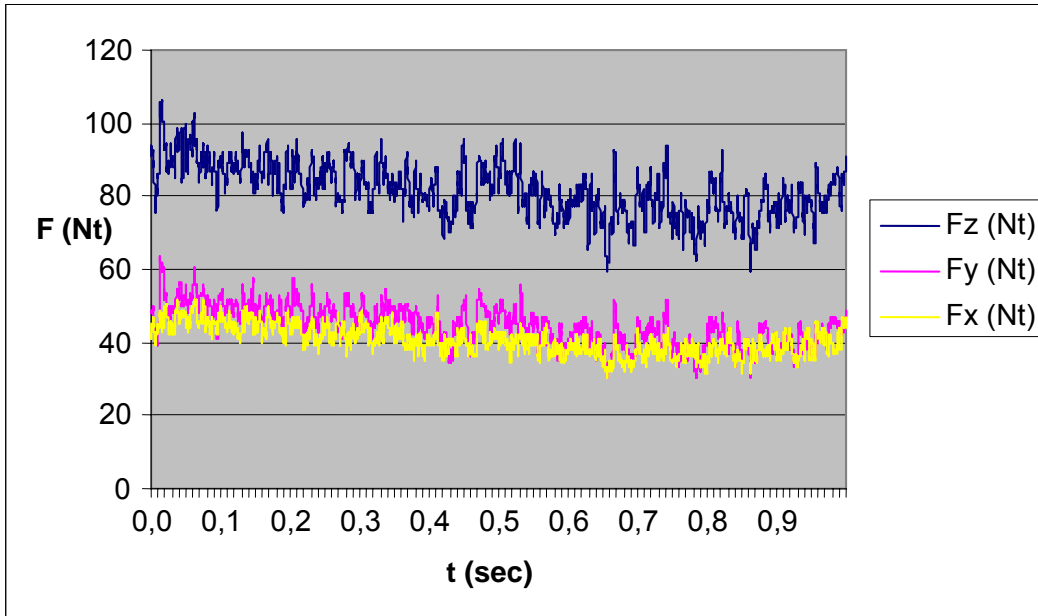
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	90,82	47,852	41,992	1
2	90,82	47,852	41,016	2
3	90,82	47,852	41,992	3
4	90,82	47,852	41,992	4
5	91,797	47,852	41,992	5
6	91,797	47,852	41,992	6
7	92,773	47,852	41,992	7
8	92,773	48,828	41,992	8
9	93,75	48,828	41,992	9
10	93,75	48,828	41,992	10
11	93,75	48,828	42,969	11
12	92,773	48,828	43,945	12
13	93,75	47,852	43,945	13
14	92,773	48,828	44,922	14
15	92,773	48,828	44,922	15
16	92,773	48,828	44,922	16
17	91,797	48,828	44,922	17
18	91,797	48,828	45,898	18
19	92,773	48,828	45,898	19
20	91,797	48,828	45,898	20

21	90,82	48,828	46,875	21
22	90,82	49,805	46,875	22
23	90,82	49,805	46,875	23
24	90,82	49,805	45,898	24
25	89,844	49,805	46,875	25
26	89,844	49,805	46,875	26
27	89,844	49,805	46,875	27
28	88,867	48,828	45,898	28
29	89,844	49,805	45,898	29
.....
9990	88,867	47,852	46,875	9990
9991	89,844	48,828	46,875	9991
9992	89,844	48,828	45,898	9992
9993	89,844	48,828	45,898	9993
9994	89,844	48,828	45,898	9994
9995	89,844	47,852	45,898	9995
9996	89,844	48,828	44,922	9996
9997	89,844	48,828	44,922	9997
9998	90,82	48,828	43,945	9998
9999	90,82	48,828	43,945	9999
10000	90,82	48,828	43,945	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 πρόβλεψής 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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 81,68 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 44,42 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x9999} + F_{x10000}) / 10000 = 40,74 \text{ (Nt)}$$

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

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

$$F_{C1A1} = \sqrt{81,68^2 + \sqrt{44,42^2 + 40,74^2}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{6671,62 + \sqrt{1973,13 + 1659,74}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{6671,62 + \sqrt{3632,87}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{6671,62 + 60,27}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{6731,89}$$

$$F_{C1A1} = 82,04$$

Μετά με βάθος κοπής $a_A=0.35$ mm και πρόωση $S_1=0.055$ mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής K_{S1A1} :

$$K_{S1A1} = \frac{F_{C1A2}}{a_A * S_1} = \frac{82,04}{0,35 * 0,055} = \frac{82,04}{0,019} = 4317,89 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$

**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 επικάλυψη 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:**

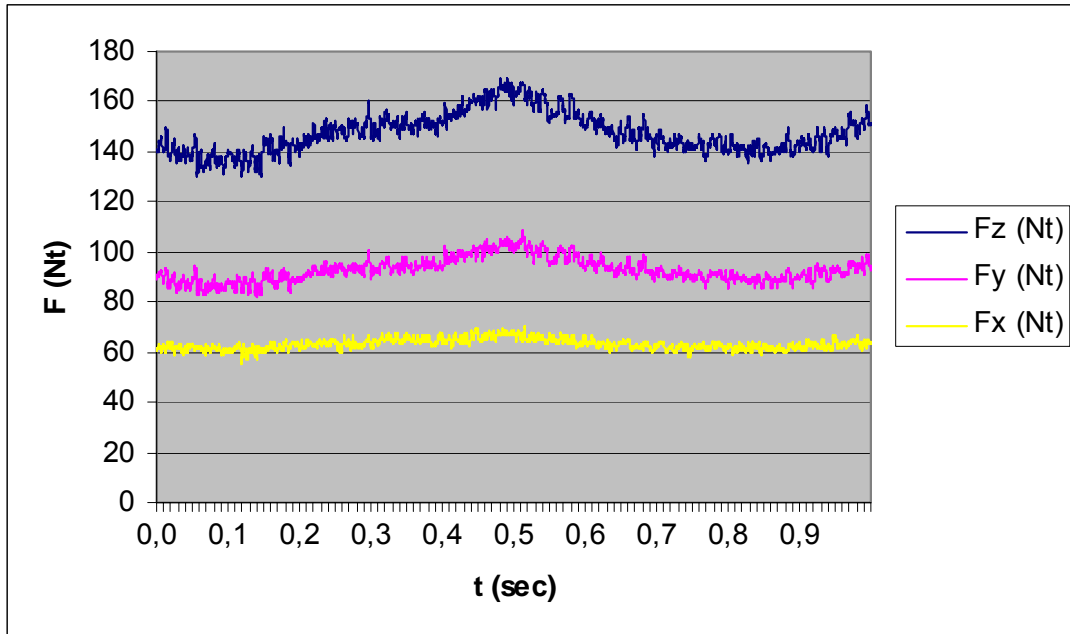
Αξονικό βάθος κοπής σε mm	0,35	Πρόωση σε mm/rev	0,11
Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα			

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)	23	140,625	90,82	61,523	23
1	140,625	89,844	60,547	1	24	139,648	90,82	62,5	24
2	140,625	88,867	61,523	2	25	140,625	90,82	61,523	25
3	140,625	89,844	61,523	3	26	140,625	90,82	62,5	26
4	139,648	89,844	60,547	4	27	140,625	90,82	62,5	27
5	139,648	89,844	61,523	5	28	142,578	90,82	62,5	28
6	139,648	89,844	60,547	6	29	141,602	90,82	62,5	29
7	140,625	89,844	61,523	7	30	142,578	90,82	62,5	30
8	140,625	89,844	61,523	8	31	142,578	90,82	63,477	31
9	139,648	89,844	61,523	9	32	143,555	90,82	62,5	32
10	140,625	89,844	61,523	10	33	143,555	90,82	62,5	33
11	140,625	90,82	61,523	11	34	144,531	90,82	62,5	34
12	140,625	89,844	61,523	12	35	144,531	91,797	62,5	35
13	140,625	89,844	61,523	13	36	144,531	90,82	62,5	36
14	140,625	89,844	61,523	14	37	143,555	90,82	62,5	37
15	140,625	89,844	61,523	15	38	144,531	90,82	61,523	38
16	139,648	89,844	61,523	16	39	144,531	90,82	61,523	39
17	139,648	89,844	61,523	17	40	144,531	90,82	61,523	40
18	139,648	89,844	61,523	18
19	139,648	89,844	61,523	19	9997	150,391	92,773	64,453	9997
20	139,648	89,844	61,523	20	9998	150,391	92,773	64,453	9998
21	139,648	89,844	61,523	21	9999	150,391	93,75	64,453	9999
22	140,625	90,82	61,523	22	10000	150,391	93,75	64,453	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 βάρους κοπής a (mm) επί την πρόωση s (mm/τεν) 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:
 $F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z999} + F_{Z1000})/1000 = 147,487$ (Nt)

Ως F_Z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_y = (F_{y1} + F_{y2} + \dots + F_{y9999} + F_{y10000}) / 10000 = 92,846 \text{ (Nt)}$$

Ως F_z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x9999} + F_{x10000}) / 10000 = 63,319 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 3.42CrMo4 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A2} :

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

$$F_{C1A2} = \sqrt{147,487^2 + \sqrt{92,846^2 + 63,319^2}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{21752,41 + \sqrt{8620,37 + 4009,29}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{21752,41 + \sqrt{12629,66}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{21752,41 + 112,38}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{21864,79}$$

$$F_{C1A2} = 147,86$$

Μετά με βάθος κοπής $a_A=0.35$ mm και πρόωση $S_2=0.11$ mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής K_{S1A2} :

$$K_{S1A2} = \frac{F_{C1A2}}{a_A * S_2} = \frac{147,86}{0.35 * 0.11} = \frac{147,86}{0,03} = 3840,51 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$

**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 1060 (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	0.61	0.20	0.75	0.20	0.05	0.20	-	-	-

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	0,35	Πρόωση σε mm/rev	0,22
Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα			

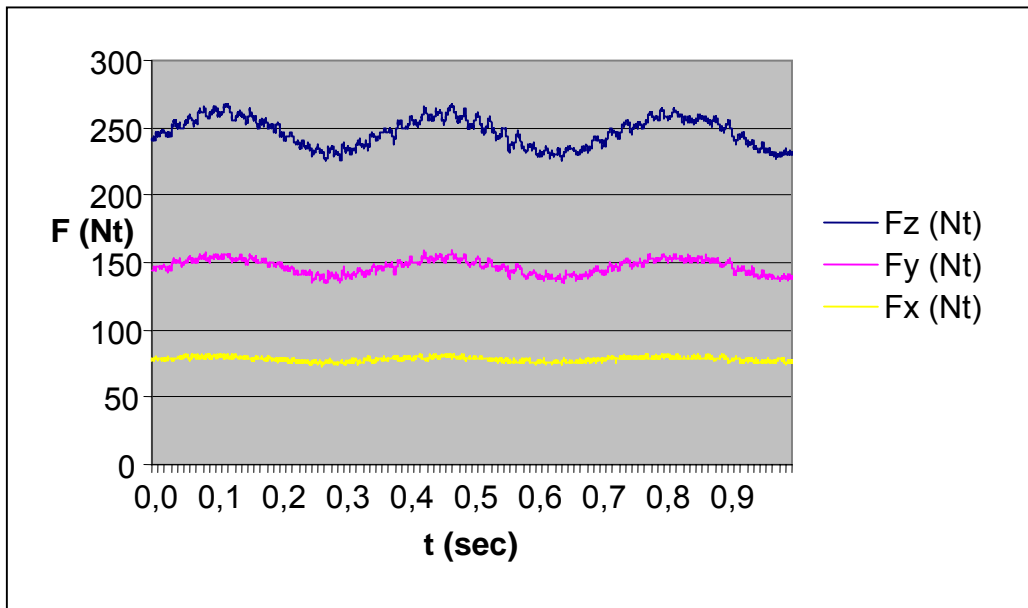
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	241,211	144,531	78,125	1
2	241,211	143,555	78,125	2
3	241,211	144,531	78,125	3
4	241,211	144,531	78,125	4
5	241,211	144,531	78,125	5
6	241,211	143,555	78,125	6
7	241,211	144,531	78,125	7
8	241,211	143,555	78,125	8
9	241,211	143,555	78,125	9
10	241,211	143,555	78,125	10
11	241,211	143,555	77,148	11
12	241,211	143,555	77,148	12
13	242,187	144,531	77,148	13
14	241,211	144,531	77,148	14
15	241,211	144,531	78,125	15
16	241,211	144,531	77,148	16
17	241,211	144,531	78,125	17
18	241,211	145,508	78,125	18
19	241,211	145,508	77,148	19
20	241,211	145,508	77,148	20
21	241,211	145,508	77,148	21

22	241,211	145,508	78,125	22
23	241,211	145,508	77,148	23
24	241,211	145,508	78,125	24
25	242,187	145,508	78,125	25
26	242,187	145,508	78,125	26
27	242,187	146,484	78,125	27
28	242,187	146,484	78,125	28
29	242,187	146,484	78,125	29
.....
9990	231,445	138,672	77,148	9990
9991	230,469	138,672	76,172	9991
9992	230,469	138,672	77,148	9992
9993	231,445	139,648	77,148	9993
9994	231,445	138,672	77,148	9994
9995	231,445	139,648	76,172	9995
9996	231,445	139,648	77,148	9996
9997	231,445	139,648	77,148	9997
9998	231,445	139,648	76,172	9998
9999	232,422	139,648	76,172	9999
10000	232,422	139,648	76,172	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 πρόβλεψής 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/τεν) 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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 246,8 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 146,89 \text{ (Nt)}$$

Ως F_X χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X9999} + F_{X10000}) / 10000 = 78,147 \text{ (Nt)}$$

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

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

$$F_{C1A3} = \sqrt{246,8^2 + \sqrt{146,89^2 + 78,147^2}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{60910,24 + \sqrt{21576,67 + 6106,95}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{60910,24 + \sqrt{27683,62}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{60910,24 + 166,38}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{61076,62}$$

$$F_{C1A3} = 247,13$$

Μετά με βάθος κοπής $a_A=0,35$ mm και πρόωση $S_3=0.22$ mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής K_{S1A2} :

$$K_{S1A3} = \frac{F_{C1A3}}{a_A * S_3} = \frac{247,13}{0,35 * 0,22} = \frac{247,13}{0,07} = 3530,42 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$

**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 επικάλυψη 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	0,35	Πρόωση σε mm/rev	0,44
Ταχύτητα κοπής 50 m/min για όλα τα πειράματα			

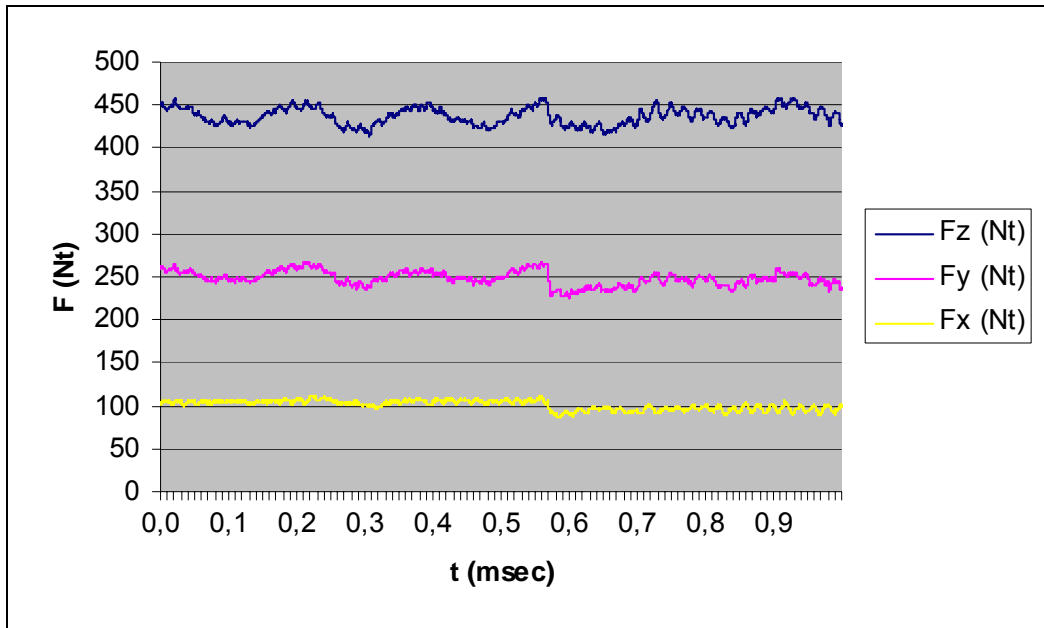
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	451,172	259,766	100,586	1
2	451,172	259,766	101,562	2
3	451,172	259,766	101,562	3
4	451,172	260,742	102,539	4
5	451,172	260,742	102,539	5
6	452,148	260,742	102,539	6
7	452,148	260,742	102,539	7
8	452,148	260,742	102,539	8
9	452,148	260,742	102,539	9
10	452,148	260,742	102,539	10
11	452,148	261,719	102,539	11
12	453,125	260,742	102,539	12
13	452,148	261,719	103,516	13
14	452,148	261,719	103,516	14
15	452,148	261,719	103,516	15
16	452,148	261,719	103,516	16
17	452,148	260,742	103,516	17
18	452,148	261,719	103,516	18
19	451,172	260,742	103,516	19
20	452,148	260,742	104,492	20
21	451,172	260,742	104,492	21
22	451,172	260,742	103,516	22

23	451,172	260,742	104,492	23
24	451,172	260,742	104,492	24
25	451,172	260,742	103,516	25
26	451,172	260,742	103,516	26
27	451,172	259,766	104,492	27
28	451,172	259,766	104,492	28
29	450,195	259,766	103,516	29
.....
9990	426,758	236,328	100,586	9990
9991	427,734	236,328	100,586	9991
9992	427,734	236,328	100,586	9992
9993	427,734	236,328	100,586	9993
9994	427,734	236,328	99,609	9994
9995	427,734	237,305	98,633	9995
9996	427,734	236,328	99,609	9996
9997	427,734	237,305	98,633	9997
9998	427,734	237,305	98,633	9998
9999	427,734	237,305	98,633	9999
10000	428,711	237,305	99,609	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:
 $F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 437,161$ (Nt)

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:
 $F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 248,39$ (Nt)

Ως F_Z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x9999} + F_{x10000}) / 10000 = 100,98 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 1.CK60 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A4} :

$$F_{C1A4} = \sqrt{F^2_{z\mu1A4} + \sqrt{F^2_{y\mu1A4} + F^2_{x\mu1A4}}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{437,161^2 + \sqrt{248,39^2 + 100,98^2}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{191109,73 + \sqrt{61697,59 + 10196,96}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{191109,73 + \sqrt{71894,55}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{191109,73 + 268,13}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{191377,86}$$

$$F_{C1A4} = 437,46$$

Μετά με βάθος κοπής $a_A=0.35$ mm και πρόωση $S_4=0.44$ mm/rev θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής K_{S1A4} :

$$K_{S1A4} = \frac{F_{C1A4}}{a_A * S_4} = \frac{437,46}{0,35 * 0,44} = \frac{437,46}{0,15} = 2916,4 \text{ [Nt/mm}^2\text{]}$$