

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 15CrNi6

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 15CrNi6 (DIN) ή 3115 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 15CrNi6 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
15CrNi6	0,12	0,15	0,40	0,40	-	1,4	-	-	-

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			

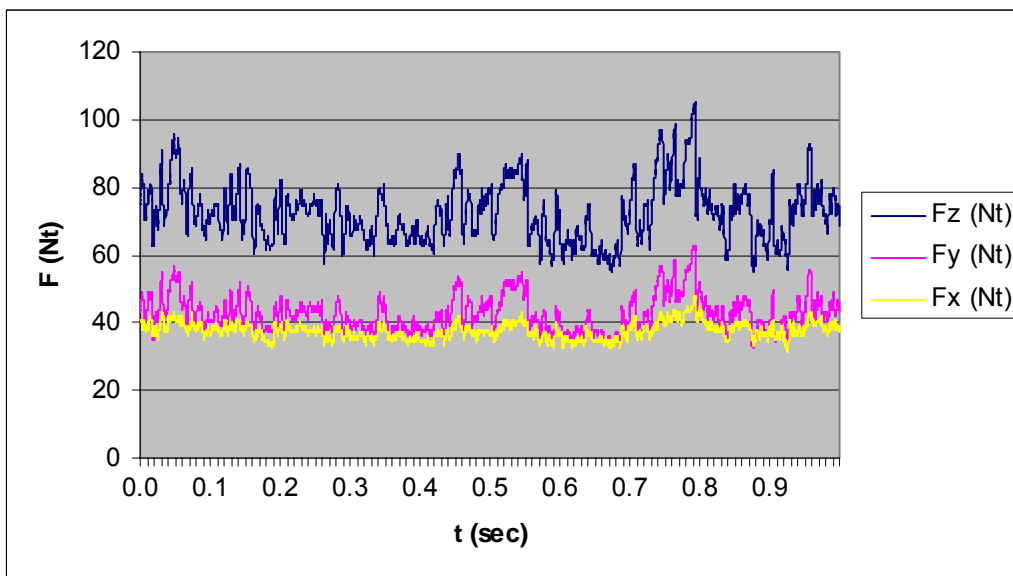
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	F_z (Nt)	F_y (Nt)	F_x (Nt)	t (msec)
1	75,195	42,969	41,016	1
2	75,195	43,945	40,039	2
3	76,172	43,945	41,016	3
4	76,172	43,945	40,039	4
5	77,148	43,945	40,039	5
6	77,148	43,945	40,039	6
7	78,125	44,922	40,039	7
8	78,125	44,922	40,039	8
9	79,102	45,898	40,039	9
10	79,102	45,898	40,039	10
11	79,102	45,898	40,039	11
12	80,078	45,898	40,039	12
13	80,078	46,875	40,039	13
14	80,078	46,875	40,039	14
15	81,055	46,875	40,039	15
16	80,078	46,875	40,039	16
17	81,055	46,875	40,039	17
18	81,055	46,875	40,039	18
19	82,031	46,875	40,039	19
20	81,055	46,875	40,039	20
21	81,055	46,875	39,062	21
22	82,031	47,852	39,062	22

23	82,031	46,875	39,062	23
24	82,031	47,852	39,062	24
25	82,031	47,852	39,062	25
26	82,031	47,852	39,062	26
27	82,031	47,852	39,062	27
28	82,031	47,852	39,062	28
29	82,031	47,852	38,086	29
.....
9990	73,242	44,922	39,062	9990
9991	72,266	44,922	39,062	9991
9992	71,289	43,945	38,086	9992
9993	71,289	43,945	39,062	9993
9994	71,289	43,945	38,086	9994
9995	70,312	43,945	38,086	9995
9996	69,336	43,945	38,086	9996
9997	69,336	43,945	37,109	9997
9998	68,359	43,945	38,086	9998
9999	68,359	42,969	38,086	9999
10000	68,359	42,969	39,062	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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z999} + F_{Z1000}) / 1000 = 72,55 \text{ Nt}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y999} + F_{Y1000}) / 1000 = 42,73 \text{ (Nt)}$$

Ως F_X χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X999} + F_{X1000}) / 1000 = 37,68 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 2.15CrNi6 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A1} :

$$F_{C1A1} = \sqrt{F_{Z\mu1A1}^2 + \sqrt{F_{Y\mu1A1}^2 + F_{X\mu1A1}^2}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{72,55^2 + \sqrt{42,73^2 + 37,68^2}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{5263,50 + \sqrt{1825,85 + 1419,78}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{5263,50 + \sqrt{3245,63}}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{5263,50 + 56,97}$$

$$F_{C1A1} = \sqrt{5320,47}$$

$$F_{C1A1} = 72,94$$

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} :

$$K_{S1A1} = \frac{F_{C1A1}}{a_A * S_1} = \frac{72,94}{0.35 * 0.055} = \frac{72,94}{0.019} = 3838,94$$

**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 15CrNi6**

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 15CrNi6 (DIN) ή 3115 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 15CrNi6 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
15CrNi6	0,12	0,15	0,40	0,40	-	1,4	-	-	-

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			

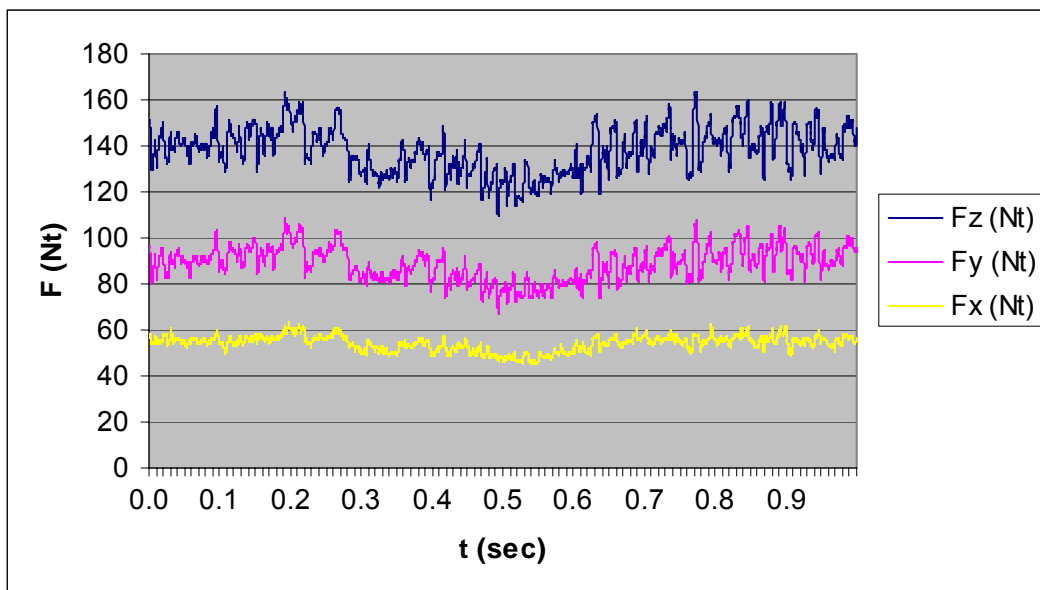
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	F_z (Nt)	F_y (Nt)	F_x (Nt)	t (msec)
1	140,625	89,844	60,547	1
2	140,625	88,867	61,523	2
3	140,625	89,844	61,523	3
4	139,648	89,844	60,547	4
5	139,648	89,844	61,523	5
6	139,648	89,844	60,547	6
7	140,625	89,844	61,523	7
8	140,625	89,844	61,523	8
9	139,648	89,844	61,523	9
10	140,625	89,844	61,523	10
11	140,625	90,82	61,523	11
12	140,625	89,844	61,523	12
13	140,625	89,844	61,523	13
14	140,625	89,844	61,523	14
15	140,625	89,844	61,523	15
16	139,648	89,844	61,523	16
17	139,648	89,844	61,523	17
18	139,648	89,844	61,523	18
19	139,648	89,844	61,523	19
20	139,648	89,844	61,523	20
21	139,648	89,844	61,523	21
22	140,625	90,82	61,523	22

23	140,625	90,82	61,523	23
24	139,648	90,82	62,5	24
25	140,625	90,82	61,523	25
26	140,625	90,82	62,5	26
27	140,625	90,82	62,5	27
28	142,578	90,82	62,5	28
29	141,602	90,82	62,5	29
.....
9990	150,391	93,75	63,477	9990
9991	150,391	94,727	64,453	9991
9992	150,391	93,75	64,453	9992
9993	150,391	93,75	64,453	9993
9994	150,391	93,75	64,453	9994
9995	150,391	93,75	64,453	9995
9996	150,391	92,773	64,453	9996
9997	150,391	92,773	64,453	9997
9998	150,391	92,773	64,453	9998
9999	150,391	93,75	64,453	9999
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 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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z999} + F_{Z1000}) / 10000 = 137,96 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y999} + F_{Y1000}) / 10000 = 88,68 \text{ (Nt)}$$

Ως F_X χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_X = (F_{X1} + F_{X2} + \dots + F_{X999} + F_{X1000}) / 10000 = 54,17 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 2.15CrNi6 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A2} :

$$F_{C1A2} = \sqrt{F_{Z\mu1A2}^2 + \sqrt{F_{Y\mu1A2}^2 + F_{X\mu1A2}^2}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{137,96^2 + \sqrt{88,68^2 + 54,17^2}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{19032,96 + \sqrt{7864,14 + 2934,38}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{19032,96 + \sqrt{10798,52}}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{19032,96 + 103,91}$$

$$F_{C1A2} = \sqrt{19136,87}$$

$$F_{C1A2} = 138,33$$

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

$$K_{S1A2} = \frac{F_{C1A2}}{a_A * S_2} = \frac{138,33}{0,35 * 0,11} = \frac{138,33}{0,0385} = 3592,98$$

**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 15CrNi6**

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 15CrNi6 (DIN) ή 3115 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 15CrNi6 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
15CrNi6	0,12	0,15	0,40	0,40	-	1,4	-	-	-

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			

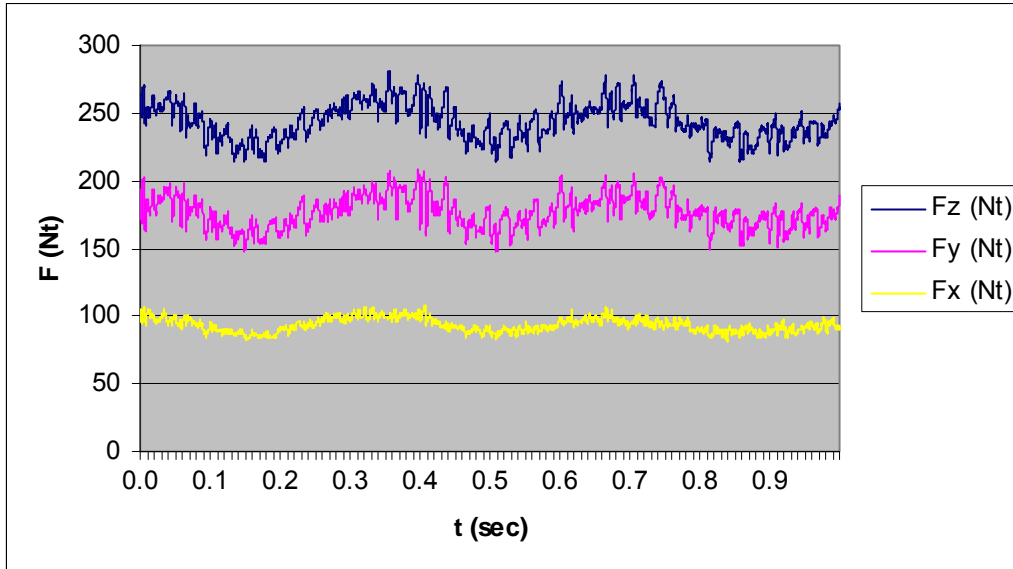
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	264,648	193,359	105,469	1
2	263,672	192,383	105,469	2
3	262,695	190,43	105,469	3
4	261,719	189,453	104,492	4
5	259,766	187,5	104,492	5
6	258,789	185,547	103,516	6
7	256,836	183,594	102,539	7
8	255,859	181,641	102,539	8
9	253,906	179,687	101,562	9
10	252,93	177,734	99,609	10
11	250,977	175,781	99,609	11
12	250	174,805	97,656	12
13	249,023	172,852	97,656	13
14	248,047	171,875	96,68	14
15	247,07	170,898	95,703	15
16	246,094	169,922	95,703	16
17	246,094	169,922	95,703	17
18	246,094	169,922	94,727	18
19	246,094	169,922	94,727	19
20	247,07	168,945	94,727	20

21	247,07	169,922	94,727	21
22	248,047	170,898	94,727	22
23	248,047	171,875	94,727	23
24	249,023	172,852	95,703	24
25	250	172,852	95,703	25
26	251,953	173,828	95,703	26
27	252,93	175,781	97,656	27
28	253,906	176,758	97,656	28
29	254,883	178,711	97,656	29
.....
9990	252,93	182,617	91,797	9990
9991	253,906	182,617	91,797	9991
9992	253,906	183,594	91,797	9992
9993	253,906	184,57	91,797	9993
9994	253,906	184,57	91,797	9994
9995	254,883	185,547	92,773	9995
9996	254,883	185,547	92,773	9996
9997	255,859	186,523	92,773	9997
9998	255,859	187,5	92,773	9998
9999	255,859	188,477	93,75	9999
10000	256,836	188,477	93,75	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 βήθους 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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z999} + F_{Z1000}) / 10000 = 243,67 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y999} + F_{Y1000}) / 10000 = 176,47 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x9999} + F_{x10000}) / 10000 = 93,49 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 2.15CrNi6 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A3} :

$$F_{C1A3} = \sqrt{F_{z\mu1A3}^2 + \sqrt{F_{y\mu1A3}^2 + F_{x\mu1A3}^2}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{243,67^2 + \sqrt{176,47^2 + 93,49^2}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{59375,06 + \sqrt{31141,66 + 8740,38}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{59375,06 + \sqrt{39882,04}}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{59375,06 + 199,70}$$

$$F_{C1A3} = \sqrt{59574,76}$$

$$F_{C1A3} = 244,07$$

Μετά με βάθος κοπής $a_A=0.35 \text{ mm}$ και πρόωση $S_3=0.22 \text{ mm/rev}$ θα υπολογίσουμε τον Συντελεστή της δύναμη κοπής K_{S1A3} :

$$K_{S1A3} = \frac{F_{C1A3}}{a_A * S_3} = \frac{244,07}{0.35 * 0.22} = \frac{244,07}{0,077} = 3169,74$$

**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 15CrNi6**

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 15CrNi6 (DIN) ή 3115 (AISI). Η σύσταση του χάλυβα επιβελτιώσεως 15CrNi6 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα:

	Χημική σύσταση (κατά βάρος %)								
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Άλλα
15CrNi6	0,12	0,15	0,40	0,40	-	1,4	-	-	-

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			

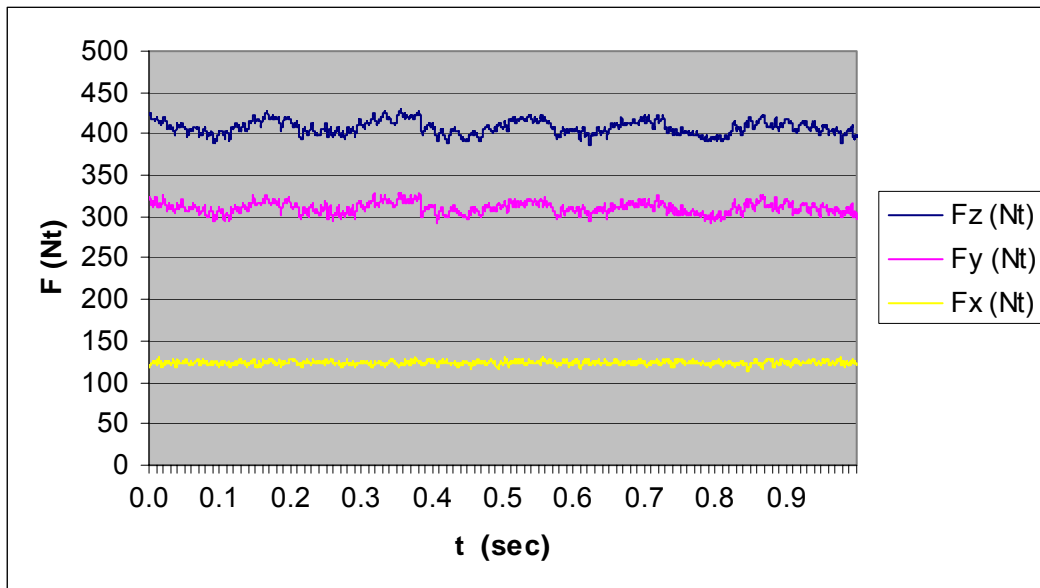
Για τη μέτρηση των δυνάμεων χρησιμοποιήθηκε δυναμομετρική τράπεζα πιεζοκρυστάλλων τύπου Kistler. Για κάθε δύναμη κοπής που μετράται παράγονται από τη δυναμομετρική τράπεζα τρία ηλεκτρικά σήματα που αντιστοιχούν στις συνιστώσες της δύναμης κοπής F_z , F_y , F_x και τα οποία μέσω μίας μονάδας ελέγχου που 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	424,805	321,289	120,117	1
2	424,805	321,289	120,117	2
3	424,805	320,312	119,141	3
4	424,805	322,266	119,141	4
5	424,805	322,266	119,141	5
6	424,805	323,242	118,164	6
7	424,805	322,266	118,164	7
8	424,805	323,242	118,164	8
9	423,828	323,242	118,164	9
10	424,805	323,242	119,141	10
11	424,805	323,242	119,141	11
12	425,781	323,242	120,117	12
13	424,805	322,266	121,094	13
14	424,805	322,266	121,094	14
15	424,805	322,266	121,094	15
16	424,805	321,289	122,07	16
17	424,805	320,312	122,07	17
18	424,805	320,312	122,07	18
19	424,805	320,312	123,047	19
20	424,805	319,336	123,047	20

21	424,805	319,336	123,047	21
22	424,805	318,359	123,047	22
23	423,828	318,359	123,047	23
24	423,828	318,359	123,047	24
25	422,852	318,359	122,07	25
26	422,852	318,359	123,047	26
27	421,875	317,383	123,047	27
28	421,875	317,383	123,047	28
29	420,898	317,383	122,07	29
.....
9990	398,437	303,711	123,047	9990
9991	397,461	302,734	124,023	9991
9992	397,461	302,734	123,047	9992
9993	397,461	301,758	123,047	9993
9994	396,484	300,781	123,047	9994
9995	397,461	299,805	123,047	9995
9996	396,484	298,828	122,07	9996
9997	396,484	297,852	122,07	9997
9998	395,508	296,875	122,07	9998
9999	395,508	296,875	121,094	9999
10000	395,508	295,898	121,094	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:

$$F_Z = (F_{Z1} + F_{Z2} + \dots + F_{Z9999} + F_{Z10000}) / 10000 = 407,83 \text{ (Nt)}$$

Ως F_Y χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_Y = (F_{Y1} + F_{Y2} + \dots + F_{Y9999} + F_{Y10000}) / 10000 = 310,59 \text{ (Nt)}$$

Ως F_z χρησιμοποιείται ο μέσος όρος των μετρημένων τιμών:

$$F_x = (F_{x1} + F_{x2} + \dots + F_{x999} + F_{x1000}) / 10000 = 123,54 \text{ (Nt)}$$

Οπότε για το υλικό κατεργασίας 2.15CrNi6 υπολογίζουμε την Συνισταμένη κύρια δύναμη κοπής F_{C1A4} :

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

$$F_{C1A4} = \sqrt{407,83^2 + \sqrt{310,59^2 + 123,54^2}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{166325,30 + \sqrt{96466,14 + 15262,13}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{166325,30 + \sqrt{111728,27}}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{166325,30 + 334,25}$$

$$F_{C1A4} = \sqrt{166659,55}$$

$$F_{C1A4} = 408,23$$

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} :

$$K_{S1A4} = \frac{F_{C1A4}}{a_A * S_4} = \frac{408,23}{0.35 * 0.44} = \frac{408,23}{0,154} = 2650,84$$