

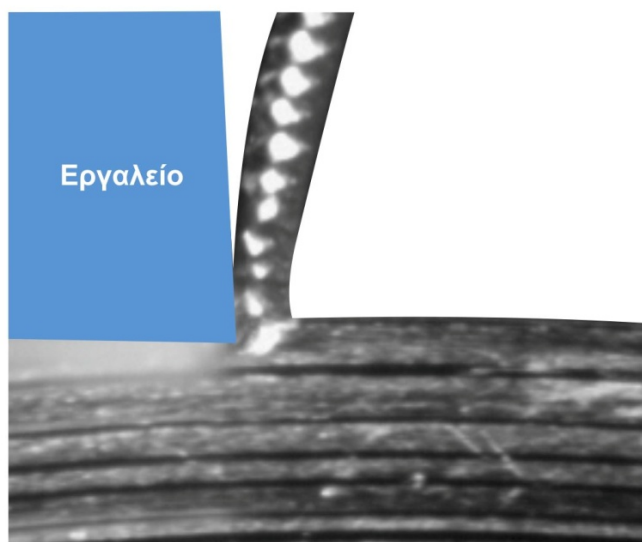


ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ

ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΑΜΕΡΑΣ ΥΨΗΛΗΣ ΤΑΧΥΤΗΤΑΣ



ΜΑΡΙΑ ΜΩΡΑΪΤΗ

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

*.....but the dreamers of the day are dangerous men,
for they may act on their dream with open eyes,
to make it possible.*

T.E Lawrence

Με το πέρας της παρούσας διπλωματικής εργασίας
θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Διδάκτορα κ. Ταξιάρχη Μπελή
για την προθυμία, την υπομονή και την αμέριστη υποστήριξη
μέχρι την περάτωση της.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	6
2.ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ.....	8
3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ.....	18
3.1. Πειραματικές μέθοδοι.....	19
3.2.Πειραματική διάταξη που αναπτύχθηκε.....	21
3.2.1. Κατεργαζόμενο τεμάχιο.....	21
3.2.2. Κέντρο κατεργασίας.....	29
3.2.3. Κάμερα υψηλής ταχύτητας.....	30
3.2.4.Πηγή φωτός.....	31
3.2.5. Κοπτικό εργαλείο.....	31
3.3. Πειραματική διαδικασία.....	32
3.3.1. Σχεδιασμός πειραμάτων.....	33
3.3.2. Επεξεργασία αποτελεσμάτων.....	35
4.ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	56
4.1. Επίδραση του πάχους αποβλίπτου στο λόγο συμπίεσης αποβλίπτου.....	56
4.2. Επίδραση της ταχύτητας κοπής στο λόγο συμπίεσης αποβλίπτου.....	58
4.3. Επίδραση της γωνίας αποβλίπτου στο λόγο συμπίεσης αποβλίπτου.....	60
4.4. Επίδραση της ταχύτητας κοπής στη γωνία διάτμησης.....	61
4.5. Επίδραση της ταχύτητας κοπής στο ρυθμό διατμητικής παραμόρφωσης.....	63
5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	65
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	66

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι κατεργασίες κοπής αποτελούν τις παλαιότερες μεθόδους για την ακριβή διαμόρφωση των εξαρτημάτων στη βιομηχανία κατασκευής. Εκτιμάται ότι το 15% όλων των μηχανικών εξαρτημάτων που κατασκευάζονται παγκοσμίως προέρχεται από δραστηριότητες κοπής (Merchant, 1998). Ωστόσο, παρά την προφανή σημαντικότητα σε οικονομικό και τεχνικό επίπεδο, η κατεργασία της κοπής εξακολουθεί να είναι μία από τις λιγότερο κατανοητές διαδικασίες κατασκευής που οφείλεται στη χαμηλή προγνωστική ικανότητα των υπαρχόντων μοντέλων κατεργασίας (Usui και Shirakashi, 1982, Usui, 1988).

Η αποδοτικότητα των συστημάτων κοπής μπορεί να μετρηθεί αν υπάρξει ένα σύστημα μέτρησης της πλαστικής παραμόρφωσης στην κοπή των μετάλλων, το οποίο θα μπορούσε επίσης να αξιολογήσει την αποτελεσματικότητα των δεδομένων κοπτικών διαδικασιών. Το αντικείμενο αυτής της μελέτης είναι να παρουσιάσει ένα τέτοιο σύστημα μέτρησης το οποίο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί από επιστήμονες μέχρι μηχανουργούς.

Ο απώτερος στόχος των κατεργασιών κοπής είναι να διαχωρίσουν ένα μέρος του υλικού από το υπόλοιπο κομμάτι με την ελάχιστη δυνατή πλαστική παραμόρφωση και συνεπώς την ελάχιστη δυνατή κατανάλωση ενέργειας. Ως εκ τούτου η ενέργεια που καταναλώνεται στη πλαστική παραμόρφωση κατά την κοπή πρέπει να θεωρείται ως σπατάλη. Αφετέρου, οποιαδήποτε άλλη κατεργασία, ειδικά αυτές που περιλαμβάνουν υψηλές τάσεις (π.χ. βαθιά κοίλανση, εξώθηση) χρησιμοποιούν την πλαστική παραμόρφωση για να πετύχουν το τελικό αποτέλεσμα. Κομμάτια υλικού μετατρέπονται σε χρήσιμες μορφές, όπως σωλήνες, ράβδοι, φύλλα μετάλλου, μεταφέροντας υλικό από ένα σημείο σε ένα άλλο. Επομένως, το καλύτερο υλικό (με τη μεγαλύτερη κατεργασιμότητα) πρέπει να παρουσιάζει την μεγαλύτερη δυνατή αντοχή πριν τη θραύση. Είναι κατανοητό ότι αυτό δεν είναι θέμα στις κατεργασίες κοπής όπου είναι επιθυμητό το υπό επεξεργασία υλικό να έχει τη μικρότερη δυνατή αντοχή σε θραύση.

Δυστυχώς, αυτό δεν έπεται της θεωρίας των παραδοσιακών κατεργασιών κοπής, όπου χρησιμοποιούν τη διατμητική τάση ή στην καλύτερη περίπτωση τη ροή της διατμητικής τάσης (ο όρος αυτός εφευρέθηκε ειδικά για τις κατεργασίες κοπής για να καλυφθούν οι διαφορές μεταξύ θεωρητικών και πειραματικών αποτελεσμάτων) ώστε να υπολογιστούν οι παράμετροι των δυνάμεων κοπής, θερμοκρασία, χαρακτηριστικά επαφής) παρόλο που οι καθημερινές πρακτικές κατεργασίας δείχνουν ότι αυτές οι παράμετροι είναι χαμηλότερες όταν κόβονται εύθραυστα υλικά υψηλότερης αντοχής.

Ιστορικά, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου (λ ή Chip Compression Ratio, CCR) ο οποίος καθορίζεται ως το πηλίκο του μήκους κοπής προς το μήκος του αποβλίπτου ή το πηλίκο του πάχους αποβλίπτου δια το πάχος του άκοπου μετάλλου, παρουσιάστηκε στις αρχικές μελέτες της κοπής μετάλλων ως ένα μέτρο της πλαστικής παραμόρφωσης του υπό επεξεργασία υλικού και της μετατροπής του σε απόβλητο. Λόγω της σχετικής απλότητας του πειραματικού καθορισμού του, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου χρησιμοποιήθηκε ευρέως στις μελέτες κοπής ως μια ποσοτική μονάδα μέτρησης της πλαστικής παραμόρφωσης. Πολυάριθμες απόπειρες έχουν γίνει για να εξακριβωθεί ένας μαθηματικό μοντέλο πρόβλεψης του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου, με τις θεμελιώδεις μεταβλητές της διαδικασίας κοπής. Μολαταύτα, καμία από αυτές τις απόπειρες δεν έχει φέρει αποτελέσματα που να ταιριάζουν στα δεδομένα των πειραμάτων. Αργότερα, οι ερευνητές εγκατέλειψαν τις προσπάθειες χάρη στις εξελιγμένες προσεγγίσεις στις οποίες η παράμετρος αυτή αναμένεται να προσδιοριστεί πειραματικά.

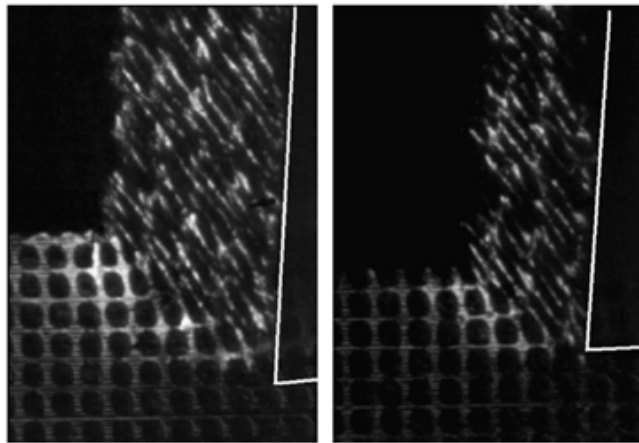
Επειδή ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου ανταγωνίζεται με τη διατμητική παραμόρφωση για το ρόλο της μονάδας μέτρησης της πλαστικής παραμόρφωσης που συναντάται στις κατεργασίες κοπής, φαίνεται λογικό να επαληθευτεί η αιτιολόγηση της χρήσης ενός τέτοιου μετρικού συστήματος. Η επαλήθευση έρχεται από το σύγγραμμα «Tribology of Metal Cutting» του V. Astakhov [1], το οποίο αποτέλεσε βασική πηγή πληροφοριών για την παρούσα εργασία. Ο Astakhov προτείνει τη χρήση του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου (CCR) ως μετρικό σύστημα της πλαστικής παραμόρφωσης, γιατί στην ακραία περίπτωση όπου το πάχος του άκοπου αποβλίπτου ισούται με το πάχος αποβλίπτου δεν υπάρχει παραμόρφωση (CCR=1), όμως η διατμητική παραμόρφωση παραμένει ισχυρά θετική. Αυτό οφείλεται στο ότι ο υπολογισμός της διατμητικής παραμόρφωσης είναι γεωμετρικός.

2. ΣΤΑΘΜΗ ΤΩΝ ΓΝΩΣΕΩΝ

Για να σχεδιαστεί με επιτυχία η εκτέλεση του πειράματος είναι αναγκαίο να μελετηθούν μια σειρά παρόμοιων δοκιμών, δημοσιεύσεων και ερευνών επιστημών. Από τις παρακάτω μελέτες αντλήθηκαν δεδομένα σχετικά με την σπουδαιότητα του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου. Αντλήθηκαν επίσης πειραματικά αποτελέσματα για να συγκριθούν με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης και να επαληθευτεί η αξιοπιστία της.

Οι Cotterell και Byrne πραγματοποίησαν πειράματα ορθογωνικής κοπής σε μια σειρά από επίπεδους δίσκους τιτανίου Ti-6Al-4V. Συμπαγείς δίσκοι χρησιμοποιήθηκαν για τα πειράματα συνεχόμενης κοπής ενώ δίσκοι με 3 ακτινικές εσοχές για τα πειράματα διακοπτόμενης κοπής. Οι δίσκοι είχαν ονομαστικό πάχος 2 mm παρασκευάστηκαν από συμπαγείς ράβδους μήκους 60mm. Η μία όψη του δίσκου γυαλίστηκε σταδιακά με πέτρα φινιρίσματος SiC, 9μη αδαμάντινο τροχό, 0,04μm κολλοειδή χαλαζία και τέλος με το αντενεργό του Kroll για να επιτευχθεί ένα αμβλύ φινίρισμα με σκοπό την αποφυγή λάμπων κατά τη διάρκεια της βιντεοσκόπησης. Οι δοκιμές πραγματοποιήθηκαν σε χειροκίνητο τόρνο ισχύος 5.5 kW κατάλληλα προσαρμοσμένο στις ανάγκες του πειράματος. Το κοπτικό εργαλείο, ο εργαλειοφόρέας, το δυναμόμετρο και η κάμερα υψηλής ταχύτητας βιδώθηκαν σε κοινή βάση πάνω στον τόρνο. Για την μέτρηση της δύναμης κοπής F_c χρησιμοποιήθηκε τετραξονικό δυναμόμετρο Kistler 9272. Για την καταγραφή της διαδικασίας χρησιμοποιήθηκε μονόχρωμη κάμερα υψηλής ταχύτητας, με συχνότητα 24.000 f/s και ανάλυσης 512x128 pixels. Ο μέγιστος χρόνος καταγραφής ήταν 1,6 δευτερόλεπτα [2].

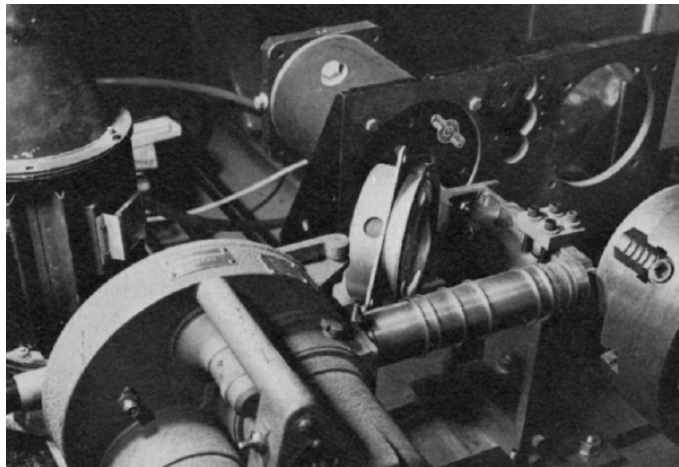
Οι J. Pujana, P.J. Arrazola και J.A. Villar χρησιμοποίησαν την κάμερα υψηλής ταχύτητας στην ορθογωνική κοπή. Χρησιμοποιήθηκε πηγή φωτός αλογόνου με οπτικές ίνες, ισχύος 270 W, καθώς και 100mm προέκταση του φακού της κάμερας με μεγέθυνση 12x και εστίαση 12mm. Κατά την ορθογωνική κοπή χρησιμοποιήθηκαν ράβδοι χάλυβα 42CrMo4, μήκους 45mm και διαμέτρου 85mm. Δοκιμάστηκαν 3 τρόποι χάραξης της διαβάθμισης στη ράβδο με σκοπό να βρεθεί ο καταλληλότερος, χάραξη με laser, ηλεκτροχημική επεξεργασία και φωτοχημική επεξεργασία. Ο καλύτερος τρόπος ήταν η χάραξη πλέγματος τύπου σκακίερας με laser. Όλες οι εικόνες αποκτήθηκαν σε συχνότητα 22.500-25.000 fps με χρόνο έκθεσης 1μs. Με μέγιστη ταχύτητα κοπής $V_c=300\text{m/min}$ η απόσταση μεταξύ δύο διαδοχικών εικόνων είναι 0,22mm και η απόσταση που περιστρέφεται το κατεργαζόμενο κομμάτι όσο είναι ανοιχτό το κλείστρο είναι 5μm, περίπου το 8% του ενός τετραγώνου της διαβάθμισης. Ο υπολογισμός της τάσης γίνεται χειρωνακτικά με τη μέτρηση των τετραγώνων του χαραγμένου πλέγματος όπως απεικονίζεται στο σχήμα 2.1 [3].



Σχήμα 2.1 Στις δύο εικόνες το κάθε τετραγωνικό του εικονιζόμενου πλέγματος αντιστοιχεί σε 0.065mm, με V_c : 150 m/min, f: 0.3mm (αριστερά), V_c : 300 m/min, f: 0.2mm (δεξιά)

Οι Martin Novak, Petr Majrich, Natasa Naprstkova χρησιμοποίησαν την κάμερα υψηλής ταχύτητας κατά την κοπή. Κατέγραψαν την διαδικασία με την κάμερα υψηλής ταχύτητας χρησιμοποιώντας διαφορετικά υλικά και διαφορετικές ταχύτητες κοπής. Η κάμερα έχει τη δυνατότητα καταγραφής 150000 frames ανά δευτερόλεπτο [4].

Ο W.A. Knight μελέτησε τη δυναμική της κατεργασίας κοπής για να δημιουργήσει ένα μοντέλο πρόβλεψης του ορίου σταθερότητας του κοπτικού εργαλείου. Ορίζεται η πειραματική διάταξη όπως φαίνεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2 Πειραματική Διάταξη μελέτης W.A. Knight

Το κοπτικό εργαλείο τοποθετείται με τέτοιο τρόπο ώστε να πραγματοποιεί ορθογωνική κοπή σε ράβδους χάλυβα που συγκρατούνται στο τσωνκ. Η διαδικασία καταγράφεται με κάμερα με μέγιστη ταχύτητα καταγραφής 8000 frames ανά δευτερόλεπτο. Προστίθεται μια επέκταση 7 ιντσών του μεγεθυντικού φακού με zoom 9:1. Με αυτή τη μεγέθυνση είναι απαραίτητη μια έντονη πηγή φωτός. Εδώ χρησιμοποιήθηκε μια λάμπα υδραργύρου 1kW. Οι εικόνες καταγράφουν ταχύτητες κοπής από 240 μέχρι 400 ft/min και συχνότητες 70 και 140 κύκλους/δευτερόλεπτο με κοπτικά εργαλεία διαφορετικού πλάτους. Επιλέχθηκαν κάποιες

από αυτές τις εικόνες προς επεξεργασία με προβολή σε οθόνη με συνολική μέγιστη μεγέθυνση 400 προς 1. Η γωνία διάτμησης και το βάθος κοπής εκτιμήθηκαν με τη βοήθεια πλέγματος του σχεδιάστηκε πάνω στην οθόνη [5].

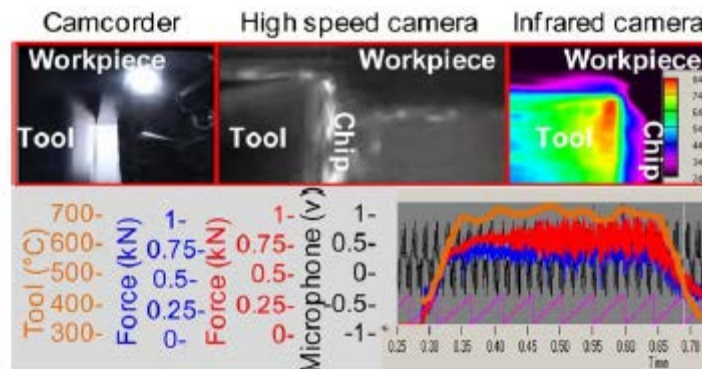
Η εργασία των Aurich, Bil παρουσιάζει έναν τρισδιάστατο συνδυασμό θερμό-μηχανικών μοντέλων πεπερασμένων στοιχείων για την προσομοίωση του διακοπόμενου σχηματισμού αποβλίπτου κατά την κοπή. Για την μοντελοποίηση χρησιμοποιείται ένας εμπορικός κώδικας πεπερασμένων στοιχείων. Αρκετοί ερευνητές ανέλυσαν τη μοντελοποίηση του αποβλίπτου με ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων. Ωστόσο, οι περισσότεροι χρησιμοποίησαν μοντέλα δύο διαστάσεων. Η τρισδιάστατη ανάλυση προσφέρει μια πιο ρεαλιστική προσομοίωση της διαδικασίας με την αποφυγή των υποθέσεων που συνοδεύουν την δισδιάστατη μοντελοποίηση. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για ένα ευρύτερο φάσμα μηχανουργικών εργασιών, όπως είναι η λοξή κοπή. Αυτή η εργασία παρουσιάζει την εφαρμογή δύο μοντέλων και προσεγγίσεις για την προσομοίωση της δημιουργίας διακοπόμενου αποβλίπτου. Η πρώτη προσέγγιση γίνεται με τη χρήση θερμικής χαλάρωσης στο υλικό του τεμαχίου, ενώ η δεύτερη μέθοδος περιλαμβάνει την έναρξη και διάδοση ρωγμής [6].

Η πρωτοτυπία της εργασίας του G. Sutter συνίσταται στη λήψη φωτογραφιών των αποβλίπτων κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κοπής για ένα μεγάλο εύρος ταχυτήτων. Αντίθετα προς τις μεθόδους που χρησιμοποιούνται συνήθως όπως η γρήγορη παύση, στην οποία τα απόβλιττα αναλύονται μετά από μια απότομη διακοπή της κοπής, η προτεινόμενη διαδικασία φωτογραφίζει τη γεωμετρία του αποβλίπτου κατά την επεξεργασία του. Μια πρωτότυπη συσκευή που αναπαράγει τέλεια ορθογωνικές συνθήκες κοπής χρησιμοποιείται επειδή επιτρέπει μια καλή προσβασιμότητα στην ζώνη της κατεργασίας και μειώνει σημαντικά τους κραδασμούς που παρουσιάζονται σε συμβατικές δοκιμές κατεργασίας. Παρουσιάζεται ένα μεγάλο εύρος των ταχυτήτων κοπής [17 - 60 m / s] για ένα μέσο σκληρό ατσάλι (γαλλικά πρότυπα XC18). Τα πειραματικά μέτρα η γεωμετρία του αποβλίπτου, ειδικότερα το μήκος επαφής αποβλίπτου- κοπτικού και η γωνία κλίσης, λαμβάνονται από την ανάλυση των εικόνων. Οι εικόνες λαμβάνονται με ψηφιακή κάμερα υψηλής ταχύτητας. Αυτά τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά μελετήθηκαν για διάφορες ταχύτητες κοπής, τρεις γωνίες κλίσης K5, 0, C58 και για διαφορετικά βάθη κοπής που φθάνουν τα 0,65 χιλιοστά.[7]

Κατά τη μελέτη των Arriola, Whitenton, Heigel και Arrazola συλλέχθηκαν δεδομένα σχετικά με τη θερμοκρασία και την πλαστική παραμόρφωση, κατά την ορθογωνική κοπή δύο χαλύβων με διαφορετικές κατεργασιμότητες, χρησιμοποιώντας μία κάμερα υψηλής ταχύτητας διπλού φάσματος (ορατό και υπέρυθρο) και μία κάμερα ορατού φάσματος. Η επιφανειακή και η εσωτερική θερμοκρασία συγκρίθηκαν με ταυτόχρονες μετρήσεις με μία θερμική κάμερα και μία θερμοστοιχεία ενσωματωμένη στο πλάγιο πρόσωπο του κοπτικού εργαλείου. Προσδιορίζεται μια σχέση αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ του δείκτη κατεργασιμότητας και των αναλυόμενων μεταβλητών. Τα αποτελέσματα βοηθούν στην ανάπτυξη ενός πρακτικού εργαλείου για τον επιστημονικό σχεδιασμό των διαφόρων δεικτών κατεργασιμότητας των υλικών, δηλαδή μια εναλλακτική από τις χρονοβόρες και δαπανηρές τυποποιημένες δοκιμές κατεργασιμότητας.

Η μελέτη αυτή εστιάζεται κυρίως στην κατανόηση των διαφορών της κατεργασιμότητας μεταξύ των υλικών : αμερικάνικου σιδήρου, χάλυβα τύπου AISI, 4140 Standard, E 42CD4 και AISI 4140 MECAMAX1. Χρησιμοποιήθηκαν διαφορετικές ταχύτητες κοπής από 300 μέχρι 400 [m/min] σε ξηρές συνθήκες. Σχηματίστηκαν απόβλιττα πάχους 0,1, 0,2 και 0,3 [mm]. Το σχήμα 2.3 δείχνει ένα παράδειγμα από (i) μια τυπική εικόνα βιντεοκάμερας, (ii) την ορατή εικόνα του φάσματος που συλλαμβάνεται σε 30.000 καρέ ανά δευτερόλεπτο και 33 ms χρόνο κλείστρου, αποδίδοντας 256x128 pixels, και (iii) οι φασματικοί χάρτες που

αποκτήθηκαν στα 300 καρέ ανά δευτερόλεπτο και 19 [ms] χρόνο κλείστρου, από 3,8 [mm] μέχρι 5.1 [mm] μήκος κύματος με 160x120 pixels.



Σχήμα 2.3 Έξοδος παραμέτρων από εξοπλισμό διπλού φάσματος μετά από ορθογωνικές κοπές. [8]

Αυτή η μελέτη των Guinting και Nuari διερεύνησε την καταλληλότητα των επικαλυμμένων εργαλείων σφαιρικής απόληξης καρβιδίου που χρησιμοποιούνται στο φραιζάρισμα υλικών που χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική. Τα πειράματα διεξήχθησαν υπό ξηρές συνθήκες κοπής. Οι ταχύτητες κοπής κυμάνθηκαν από 60 έως 150 [m/min]. Τα αξονικά και τα ακτινικά βάθη κοπής διατηρήθηκαν σταθερά στα 2,0 και 8,8 [mm], αντίστοιχα. Η ανάλυση SEM που διεξάχθηκε στα φθαρμένα εργαλεία, δείχνει ότι η υπερβολική δημιουργία αποβλίπτου και η μεγάλη κρούση στην άκρη του κοπτικού είναι οι κύριοι λόγοι φθοράς. Για τις 2 ταχύτητες πρόωσης, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα κοπής τόσο καλύτερο είναι το φινίρισμα της επιφάνειας. Η προσομοίωση FEM παρέχει δεδομένα για την μοντελοποίηση του σχηματισμού αποβλίπτου, τα οποία είναι χρήσιμα για τον υπολογισμό των παραμέτρων κατά την επαφή και την κατανόηση του μηχανισμού φθοράς του εργαλείου κατά την ξηρή κατεργασία κραμάτων τιτανίου αεροδιαστημικής μηχανικής. [9]

Στη μελέτη των Sutter και Ranc, κατά τη διάρκεια της κοπής, το πεδίο της θερμοκρασίας στο απόβλιπτο μετράται με τη χρήση της αρχής της πυρομετρίας στο εύρος ορατού φάσματος. Αναπτύχθηκε μια μηχανική συσκευή ικανή να αναπαράγει συνθήκες ορθογωνικής κοπής και παράλληλα να φτάνει πολύ υψηλές ταχύτητες κοπής (έως 120 m/s). Τα παρουσιαζόμενα πειραματικά αποτελέσματα αφορούν δύο υλικά που επιλέχθηκαν για τη μορφή του αποβλίπτου που παράγεται: χάλυβα χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (C15) και χάλυβα μεσαίας περιεκτικότητας σε άνθρακα (42CrMo4). Οι παραστάσεις της πειραματικής διάταξης συμπληρώνονται από τη δυνατότητα καταγραφής φωτογραφιών σε πραγματικό χρόνο του σχηματισμένου αποβλίπτου. Τα αρχεία αυτά αναλύονται σε χάρτες θερμοκρασίας με παραμέτρους, το μήκος επαφής στη διεπιφάνεια εργαλείου-αποβλίπτου ή της διατμητικής γωνίας που πρόκειται να καθοριστεί. Η μη-ομοιόμορφη θέρμανση στο απόβλιπτο τονίζεται από την παρουσία μιας περιοχής μέγιστης θερμοκρασίας. Τα πεδία θερμοκρασίας που μετρούνται για μία ταχύτητα κοπής περίπου 20 [m/s] κυμαίνονται από 870° C για CrMo4 και 630° C για C15 που βρίσκεται κοντά στην διεπαφή εργαλείου-αποβλίπτου. Παρουσιάζονται γραφικά τα αποτελέσματα της ταχύτητας κοπής σχετικά με την μέγιστη τιμή της θερμοκρασίας του αποβλίπτου και την τοποθεσία αυτής της ζώνης θερμότητας. [10]

Τα σύνθετα υλικά PMMC είναι μια κατηγορία υλικών μηχανικής που γνωρίζουν μεγάλη άνθιση στη σύγχρονη βιομηχανία. Συμβατικές μηχανουργικές κατεργασίες

χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων μηχανικής PMMC. Αυτό το άρθρο παρουσιάζει μια πρώτη πειραματική μελέτη βασισμένη στη θεωρία του Merchant (χρησιμοποιήθηκε κράμα αλουμινίου ενισχυμένο με 20% καρβίδιο του πυριτίου-SiC). Τα πειράματα διεξήχθησαν κατά την τόννευση ειδικών τεμαχίων PMMC χρησιμοποιώντας επικαλυμμένα με καρβίδιο κοπτικά εργαλεία K20. Στόχος αυτής της μελέτης είναι να αξιολογηθεί ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου R_c , η γωνία κλίσης U , η διατμητική παραμόρφωση ε , ο ρυθμός διάτμησης του στελέχους de/dt , η ορθή τάση r και η διατμητική τάση τ , σύμφωνα με προκαθορισμένες παραμέτρους κοπής (ταχύτητα κοπής και την ταχύτητα πρόωσης).

Το πάχος του μη παραμορφωμένου αποβλίττου t υπολογίζεται συναρτήσει της γωνίας κοπής x και της ταχύτητας πρόωσης f μέσω του τύπου:

$$t = f \sin x \quad (1)$$

Ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου κατά τον Merchant :

$$R_c = \frac{t'}{t} \quad (2)$$

με t' το πάχος του αποβλίττου μετά την κοπή και t το πάχος του άκοπου αποβλίττου .

Τα πειράματα του Davim διεξήχθησαν με τη χρήση ενός κοπτικού εργαλείου K20(N151.2-850-60-313) με 10 mm αιχμή και ειδικά τεμάχια PMMC.

Από την κατεργασία PMMC αντλήθηκαν τα εξής συμπεράσματα:

1. Η γωνία αποβλίττου μειώνεται όσο μειώνεται ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου. Αντίθετα, στον ρυθμό παραμόρφωσης παρατηρείται μια μικρή αύξηση καθώς αυξάνεται ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου.
2. Ο ρυθμός διάτμησης αυξάνεται με την ταχύτητα κοπής. Αντιθέτως, ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου και η διατμητική παραμόρφωση μειώνονται με την ταχύτητα κοπής.
3. Η κανονική τάση είναι πάντα υψηλότερη από τη διατμητική τάση. Αμφότερες οι καταπονήσεις μειώνονται με την αύξηση της πρόωσης [11].

Μια ακόμη μελέτη του Astakhon παρουσιάζει μια μεθοδολογία για πρακτική αξιολόγηση της δύναμης κοπής βασισμένη στην ενέργεια που δαπανάται σε ένα σύστημα κοπής.

Με βάση έναν προηγούμενο ορισμό, η ισχύς που δαπανάται στην κοπή μετάλλων είναι το άθροισμα των εξής τεσσάρων συνιστωσών: η ισχύς που δαπανάται για την πλαστική παραμόρφωση του στρώματος που αφαιρέθηκε με δύο κύριες και δευτερεύουσες ακμές κοπής, η ισχύς που δαπανάται για τη διασύνδεση εργαλείου-αποβλίττου, η ισχύς που δαπανάται για το εργαλείο-τεμαχίου διεπαφής, και η ισχύς που δαπανάται στο σχηματισμό νέων επιφανειών (συνεκτική ενέργεια).

Η προτεινόμενη μεθοδολογία βασίζεται στον ορισμό της διαδικασίας κοπής μετάλλου που προτείνεται από τον Astakhon [1] και το μοντέλο της κατανεμημένης ενέργειας στο σύστημα κοπής μετάλλων με βάση αυτό τον ορισμό [1].

Σύμφωνα με αυτό το μοντέλο, η ισορροπία ενέργειας στο σύστημα κοπής μπορεί να γραφτεί ως:

$$P_c = F_c V = P_{pd} + P_{fR} + P_{fF} + P_{ch} + P_{mn-ce} \quad (3)$$

Από την οποία η δύναμη κοπής ορίζεται ως:

$$F_c = \frac{P_{pd} + P_{fR} + P_{fF} + P_{ch} + P_{mn-ce}}{V} \quad (4)$$

Η ισχύς που δαπανάται για την πλαστική παραμόρφωση του στρώματος που αφαιρείται, P_{pd} , μπορεί να υπολογιστεί από το λόγο συμπίεσης αποβλίττου και τις παραμέτρους της καμπύλης παραμόρφωσης του υλικού εργασίας ως εξής:

$$P_{pd} = \frac{K(1.15 \ln \zeta)^{n+1}}{n+1} v A_w \quad (5)$$

Όπου K είναι ο συντελεστής αντοχής (N/m^2), n είναι ο βαθμός σκλήρυνσης του υλικού εργασίας, ζ είναι ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου (Astakhov 2004, 2006), A_w η διατομή του άκοπου αποβλίττου (m^2).

Η δύναμη που δαπανάται λόγω της τριβής στη διεπιφάνεια εργαλείου-αποβλίττου υπολογίζεται ως:

$$P_{pd} = \frac{K(1.15 \ln \zeta)^{n+1}}{n+1} v A_w \quad (6)$$

Όπου $\tau_c = 0,28\sigma_R$ είναι η μέση διατμητική τάση στην επαφή εργαλείου - αποβλίττου [N/m^2], σ^R είναι η αντοχή στον εφελκυσμό (N/m^2), l_c είναι το μήκος επαφής εργαλείου- αποβλίττου (m), b_{1T} είναι το πραγματικό πλάτος του αποβλίττου.

Το μήκος επαφής εργαλείου - αποβλίττου υπολογίζεται ως (Astakhov, 2006):

$$l_c = t_{1T} \zeta^{1.5} \quad (7)$$

όπου t_{1T} είναι το πραγματικό πάχος του άκοπου αποβλίττου.

Η δύναμη που δαπανάται λόγω της τριβής στη διεπιφάνεια εργαλείου-τεμαχίου υπολογίζεται ως:

$$P_{fF} = F_{fF} V \quad (8)$$

όπου F_{fF} είναι η δύναμη τριβής στη διεπαφή εργαλείου-τεμαχίου

$$F_{fF} = 0.625 \tau_y \rho_{ce} l_{ac} \sqrt{\frac{Br}{\sin \alpha^*}} \quad (9)$$

όπου τ_y είναι η αντοχή σε διάτμηση του υλικού του εργαλείου(N/m²), ρ_{ce} είναι η ακτίνα από την γωνία αιχμής(m), α^* είναι η κανονική γωνία πλευρών(deg), l_{ac} είναι το μήκος του ενεργού μέρους της αιχμής (m)

$$l_{ac} = r_n(0.018k_r + \frac{r_n + \cos K_r}{\sin K_r}) \quad (10)$$

και Br είναι ο αριθμός Briks

$$Br = \frac{\cos \gamma}{\zeta - \sin \gamma} \quad (11)$$

όπου γ είναι η κανονική γωνία κλίσης [deg].

Η ισχύς που δαπανάται στο σχηματισμό της νέας επιφάνειας P_{ch} υπολογίζεται ως το προϊόν της ενέργειας που απαιτείται για το σχηματισμό ενός επιπέδου διατμήσεως και ο αριθμός των επιπέδων διατμήσεως που σχηματίζονται ανά δευτερόλεπτο, δηλαδή

$$P_{ch} = E_{ff} f_{cf} \quad (12)$$

όπου f_{cf} είναι η συχνότητα δημιουργίας αποβλίπτου, E_{ff} είναι η δύναμη της θραύσης ανά διάτμηση. [12]

Ο στόχος της μελέτης των Tarek Mabrouki , Francois Girardin, Muhammad Asad, Jean-Francois Rigal αφορά την κατανόηση των φυσικών φαινομένων που συνοδεύουν το σχηματισμό αποβλίπτου ανάλογα με τη διακύμανση του ρυθμού πρόωσης και την ταχύτητα κοπής. Το υλικό που μελετήθηκε ήταν αεροναυτικό κράμα αλουμινίου A2024 - T351. Ο κύριος σκοπός της εργασίας τους είναι να εισαγάγει ένα μοντέλο πεπερασμένων στοιχείων το οποίο αφορά τη σύνδεση μεταξύ των παραμορφώσεων και της ενέργειας θραύσης.

Για να επικυρωθεί αυτή η αριθμητική προσέγγιση, προτάθηκε μια πειραματική διαδικασία. Τα πειραματικά αποτελέσματα δείχνουν ότι όσο υψηλότερη είναι η ταχύτητα κοπής, τόσο πιο έντονη η μορφοποίηση διακοπτόμενου αποβλίπτου. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται θρυμματισμό των αποβλίπτων στις ζώνες όπου τα τμήματα είναι βαθύτερα. Οι απεικονίσεις των αποβλίπτων δείχνουν ότι ο θρυμματισμός εμφανίζεται αμέσως μετά την εκκένωση των αποβλίπτων και όχι στην άκρη του εργαλείου. Τα αριθμητικά αποτελέσματα εξηγούν ότι ο θρυμματισμός, συμβαίνει στην βαθύτερη ζώνη των ακμών του αποβλίπτου και είναι το αποτέλεσμα των καμπτικών φορτίων που προκαλούνται από την επίδραση των προηγούμενων εργαλείων, αποβλίπτου και τεμαχίου επαφής, ταυτόχρονα. Όταν το απόβλιπτο παίρνει τη μορφή σπείρας, το εσωτερικό μέρος του αποβλίπτου παρουσιάζει στενότερα τμήματα ιδίως στις ζώνες όπου το απόβλιπτο παρουσιάζει μικρή ακτινική καμπυλότητα. Αυτό το αποτέλεσμα είναι ποιοτικά παρόμοιο με εκείνο που λαμβάνεται πειραματικά. Στη βιομηχανία, ο κατακερματισμός των αποβλίπτων είναι ένα φαινόμενο κατάλληλο για να αποφευχθεί η συμπίεση των αποβλίπτων πάνω σε μια μηχανικά κατεργασμένη επιφάνεια και κατά συνέπεια τα επιπλέον μικρογεωμετρικά ελαττώματα.

Μια σύγκριση μεταξύ υπολογισμένης και μετρημένης δύναμη κοπής για δεδομένες παρόμοιες συνθήκες κοπής δείχνει ότι τα αριθμητικά αποτελέσματα είναι κοντά στα πειραματικά. Σημειώνεται, αφενός για μια σταθερή ταχύτητα κοπής, όσο υψηλότερος είναι ο

ρυθμός πρόωσης, τόσο υψηλότερη η δύναμη κοπής. Αφετέρου, για μια σταθερή τιμή πρόωσης, όσο αυξάνεται η ταχύτητα, η δύναμη κοπής παραμένει σταθερή.

Η αριθμητική προσομοίωση δείχνει σαφώς τον τρόπο με τον οποίο η παραμόρφωση διαδίδεται κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης εργαλείου-τεμαχίου. Μεταξύ του προτεινόμενου μοντέλου, μπορεί επίσης να υπογραμμιστεί ότι η περιοδικότητα του κατακερματισμού προκαλεί μια κυματιστή επιφάνεια με κατάτμηση ιδίου μήκους. Τέλος, η επιβεβαίωση που λαμβάνεται μεταξύ των πειραματικών και αριθμητικών αποτελεσμάτων δείχνει ότι η απαιτούμενη δύναμη για την παραμόρφωση του υλικού είναι η κατάλληλη για την προσομοίωση κοπής. [13]

Αριθμητικές προσομοιώσεις και συγκεκριμένες πειραματικές προσεγγίσεις διεξάγονται για τη δημιουργία ενός μοντέλου πεπερασμένων στοιχείων σε διαδικασία ορθογωνικής κοπής. Τα αποτελέσματα που σχετίζονται με την κατεργασία μαλακού χάλυβα με ένα μη επιστρωμένο εργαλείο για την κοπή καρβιδίου ταχύτητας από 20 έως 60 [m/s] και ένα βάθος κοπής που κυμαίνεται 0,26 έως 0,48 [mm]. Για να εξερευνηθεί η περιοχή αυτών των υψηλών ταχυτήτων κοπής, ένας συγκεκριμένος πίνακας βαλλιστικών χρησιμοποιείται με τη βοήθεια θερμογραφικής μέτρησης και γρήγορης απεικόνισης. Ένα σημαντικό θέμα του μοντέλου αναφέρεται στη θερμική μεταφορά λόγω τριβής στη διασύνδεση εργαλείου-αποβλήτου. Ειδικές εκτιμήσεις που πραγματοποιούνται στο περιορισμό της διατμητικής τάσης t_{max} , η οποία είναι η πιο σημαντική παράμετρος ελέγχου της επαφής και της θερμοκρασίας στην επιφάνεια. Η πρόβλεψη του μεγέθους της τριβής λαμβάνεται με την παραδοχή ότι:

1. η διατμητική τάση t_{max} είναι μια συνάρτηση της διεπιφανειακής μέσης θερμοκρασίας T
2. η διατμητική τάση t_{max} εξελίσσεται παράλληλα με τη θερμική μαλάκυνση της τάσης διαρροής

Ο υπολογισμός της διεπιφανειακής μέσης θερμοκρασίας T_{int} είναι καθορίζεται λαμβάνοντας υπόψη μια σχετική κίνηση των δύο στερεών σωμάτων σε κατάσταση υψηλής ταχύτητας ολίσθησης που συνεπάγεται υψηλή τιμή του ποσοστού της θερμότητας R_s που κινείται στο απόβλητο και τον υπολογισμό της διατμητικής παραμόρφωσης U_s με δυναμικά αποτελέσματα. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι η καλύτερη συσχέτιση λαμβάνεται όταν η μείωση της τάσης είναι προοδευτική σε χαμηλή θερμοκρασία και πιο σημαντική σε υψηλή θερμοκρασία. Ένας πολυωνυμικός νόμος είναι ικανός να περιγράψει τη θερμική λειτουργία αποσκήρυξης και παρέχει καλύτερα αποτελέσματα από ό, τι ο κλασικός νόμος δυνάμεων Johnson -Cook.

Επιπλέον, ο συντελεστής τριβής μ έχει επιλεγεί σχετικά με την πειραματική εξέλιξη της ταχύτητας ολίσθησης. Αυτές οι τιμές του μ ορίζονται χάρη σε ένα ειδικό τραχύμετρο. Στην παρούσα μελέτη, μια καλή συσχέτιση με τα πειραματικά αποτελέσματα από τη συγκεκριμένη συσκευή είναι ότι παρατηρείται σε σχέση με την διεπιφανειακή θερμοκρασία, συμπεριλαμβανομένης της θέσης και του μεγέθους της μεγίστης τιμής. Το μήκος επαφής, το πάχος του αποβλήτου και η δύναμη κοπής, μπορούν επίσης να προβλεφθούν με μεγάλη ακρίβεια. Το επόμενο βήμα επικύρωσης του σημερινού μοντέλου θα μπορούσε να είναι η αντιπαράθεση με τα πειράματα που εκτελούνται σε εργαλειομηχανές για τη βιομηχανία.

Επιπλέον, η ενσωμάτωση ενός μοντέλου φθοράς το μοντέλο FEM είναι αναγκαίο ώστε να ληφθεί υπόψη η προοδευτική αλλαγή της γεωμετρίας του κοπτικού εργαλείου κατά τη διάρκεια της εξέλιξης του σχηματισμού αποβλήτου.

Σε αυτή τη μελέτη, μια προσέγγιση της φθοράς έχει ενταχθεί στο αριθμητικό μοντέλο. Η θερμοκρασία, η ταχύτητα ολίσθησης και πίεση υπολογίζονται αριθμητικά και χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν την φθορά του κρατήρα του κοπτικού εργαλείου. Κορυφαίο στοιχείο των αποτελεσμάτων αποτελεί η τροποποιημένη κατανομή της θερμοκρασίας του είναι και ένα δεύτερο υψηλή θερμοκρασία και μία δεύτερη ζώνη υψηλής θερμοκρασίας μπορεί να βρεθεί στην έξοδο της επαφής, όταν το εργαλείο παρουσιάζει κρατήρα. Η επακόλουθη υψηλή θερμοκρασία συνδυάζεται με τη δράση του αποβλίττου σε αυτή την περιοχή και αυτό συμβάλλει στην ανάπτυξη του προφίλ κρατήρα κατά μήκος K_B του. Μια επανάληψη αυτών των βημάτων μπορεί να προβλέψει με ακρίβεια την ανάπτυξη και την γεωμετρία του κρατήρα. [14]

Η μεγάλη πρόοδος στα κοπτικά εργαλεία και τα μηχανήματα έχει βελτιώσει εντυπωσιακά την αποδοτικότητα και την παραγωγικότητα της κοπής. Τέτοια υψηλή παραγωγικότητα, ωστόσο, έφερε προβλήματα. Το σημαντικότερο από τα οποία είναι η έλλειψη ενός ασφαλούς περιβάλλοντος για το σύστημα και την προστασία των μηχανικών επιφανειών, του εργαλείου κοπής, του κέντρου κατεργασίας από φθορά και του χειριστή από τραυματισμό που οφείλεται στο απόβλιττο. Αυτά τα προβλήματα είναι τα σημαντικότερα σε ευέλικτων συστήματα παραγωγής. Για την αντιμετώπιση των ανωτέρω προβλημάτων, υπάρχει ανάγκη ταξινόμησης των αποβλίττων με βάση τη δομή τους. Υπάρχουν διάφορα γνωστά συστήματα για την ταξινόμηση των αποβλίττων, τα περισσότερα από τα οποία είναι απλά και εύκολα στη χρήση.

Ωστόσο, όταν κάποιος προσπαθεί να λύσει ένα πρόβλημα σχετικά με το απόβλιττο, τα συστήματα αυτά είναι απλά για να παρέχουν τις απαραίτητες πληροφορίες. Το πραγματικό πρόβλημα είναι ότι οι γνωστές ταξινομήσεις εφαρμόζονται μετά την διαδικασία της κοπής. Προσδιορίζονται δύο βασικοί τύποι ταξινόμησης των αποβλίττων. Η πρώτη λαμβάνει υπόψη τη δομή του αποβλίττου, παρόλο που αυτό ταξινομεί τα απόβλιττα από την εμφάνισή τους, ενώ η δεύτερη βασίζεται μόνο στην εμφάνιση του αποβλίττου και δεν ασχολείται καθόλου με την υφή ή τη δομή του. Η πρώτη χρησιμοποιείται θεωρητικά στην κοπή μετάλλων, ενώ η δεύτερη χρησιμοποιείται στην πράξη. Το πρόβλημα είναι ότι και οι δύο τύποι ταξινόμησης συχνά χρησιμοποιούν την ίδια ορολογία, η οποία προκαλεί σύγχυση στον σχεδιαστή του εργαλείου, όταν αυτός/αυτή προσπαθεί να επιλέξει το βέλτιστο γρεζοθραύστη για μια δεδομένη κατεργασία κοπής.

Για να επιλεγεί ο κατάλληλος γρεζοθραύστης για ένα συγκεκριμένο σύνολο συνθηκών κοπής, η γνώση της δομής του αποβλίττου είναι απαραίτητη. Με βάση αυτό, ο γρεζοθραύστης πρέπει μόνο να αυξήσει την πίεση, που έχει ήδη συγκεντρωθεί από τα προηγούμενα στάδια σχηματισμού του αποβλίττου, μέχρι το σημείο αποκοπής του αποβλίττου από το δοκίμιο. Μια τέτοια προσέγγιση καθιστά την αποκοπή του αποβλίττου φυσική και αποτελεσματική και ως εκ τούτου, καταναλώνεται η ελάχιστη δυνατή ποσότητα ενέργειας. Η δομή του αποβλίττου εξαρτάται από τις μηχανικές ιδιότητες του τεμαχίου και την γεωμετρία του εργαλείου κοπής.

Όταν το τεμάχιο έχει κυρίως ελαστικές ιδιότητες, ένα διακοπτόμενο απόβλιττο ή ένα μη διακοπτόμενο απόβλιττο μπορεί να σχηματιστεί, ανάλογα με τη γεωμετρία του εργαλείου: εδώ δεν παρέχεται γρεζοθραύστης. Ωστόσο, για να επιτευχθούν καλύτερες συνθήκες εργασίας, μια τάση κάμψης είναι απαραίτητη στη ζώνη μηχανικής κατεργασίας. Όταν η θλίψη και η κάμψη ενεργούν από κοινού, πολύ λιγότερη ενέργεια πρέπει να παρέχεται στη ζώνη κατεργασίας και μια βελτίωση των συνθηκών εργασίας (τουλάχιστον η απουσία της σκόνης) μπορεί να επιτευχθεί. Σε τέτοιες περιπτώσεις, για να ενεργοποιηθεί η κάμψη στο απόβλιττο, συνιστάται μια υψηλή γωνία κλίσης της αιχμής, ως συμβιβασμός μεταξύ ενός εργαλείου φτιαγμένου από εύθραυστο υλικό και της αναγκαιότητας της κάμψης.

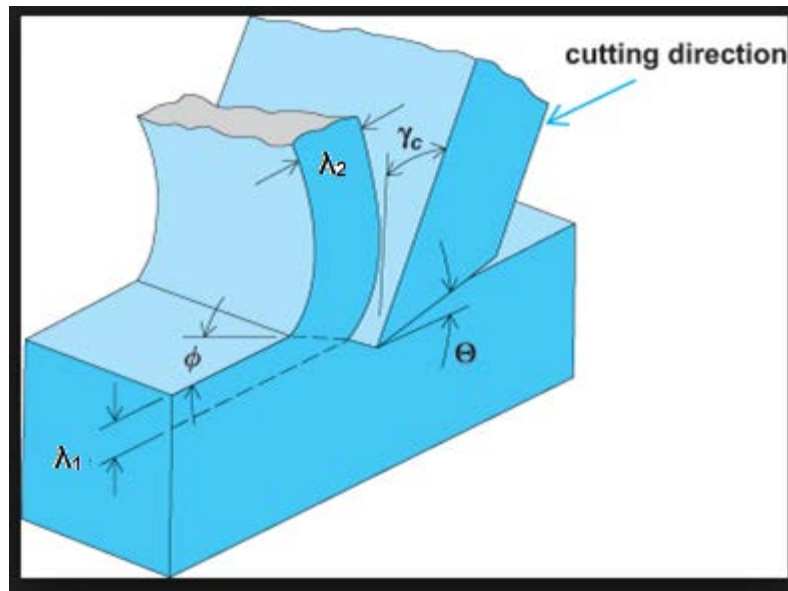
Όταν το τεμάχιο έχει κυρίως ελαστοπλαστικές ιδιότητες, σχηματίζεται ένα συνεχές αλλά αποσπασματικό απόβλιττο ή ένα συνεχές απόβλιττο με σφηνοειδή υφή, ανάλογα με την γεωμετρία του εργαλείου. Το διακοπτόμενο απόβλιττο έχει ανομοιόμορφη αντοχή κατά το μήκος του. Η διατμητική αντοχή των θραυσμάτων είναι πολύ μεγαλύτερη από ό,τι η διατμητική αντοχή των συνδέσεων θραύσματος. Ως εκ τούτου, για να σπάσει αυτού του είδους το απόβλιττο σε επιμέρους τμήματα, μια μικρή διατμητική τάση πρέπει να εφαρμοστεί. Αυτό μπορεί να γίνει από τον κατακερματισμό του αποβλίττου από το άκρο του γρεζοθραύστη. Το μέγεθος του αποκομμένου αποβλίττου ποικίλει ανάλογα με το μήκος του γρεζοθραύστη. Συνεχές διακοπτόμενο απόβλιττο με σφηνοειδή μορφή εμφανίζεται κατά την κοπή με υψηλές γωνίες κλίσης της αιχμής του κοπτικού. Οι αυλακώσεις κατά μήκος του αποβλίττου, παράλληλες στην αιχμή του κοπτικού δεν βοηθούν στο σπάσιμο αυτών των αποβλίττων, ενώ μία στρογγυλευμένη αυλάκωση πάνω στην επιφάνεια του κοπτικού μπορεί να είναι φανεί χρήσιμη. Μια τέτοια αύλακα μπορεί να αυξήσει την πίεση στο λεπτό τμήμα της επιφάνειας στο επίπεδο της θραύσης του αποβλίττου.

Όταν το τεμάχιο έχει κυρίως πλαστικές ιδιότητες, ένα συνεχούς τύπου απόβλιττο σχηματίζεται. Εδώ, το απόβλιττο εμφανίζεται με πριονοειδή μορφή. Υπό τις ίδιες συνθήκες κοπής, με μια αύξηση της πλαστικότητας του υλικού, το μήκος των θραυσμάτων μειώνεται. Ωστόσο, οι συνθήκες σχηματισμού του αποβλίττου δείχνουν ότι το απόβλιττο είναι το ίδιο με το αποσπασματικό, αλλά το μήκος του τείνει στο μηδέν. Όταν φτάσει στο μηδέν, ο σχηματισμός του αποβλίττου διακόπτεται. Μια καμπύλη αυλάκωση στην επιφάνεια του εργαλείου μπορεί να λειτουργήσει ως γρεζοθραύστης.

Όταν το υλικό του τεμαχίου έχει τέτοιες ιδιότητες ώστε το σχηματιζόμενο απόβλιττο δεν έχει επαρκή ακαμψία για να μεταδώσει την ροπή κάμψεως προς τη βάση, ειδικά στρογγυλεμένες εγκοπές πρέπει να χρησιμοποιηθούν ώστε να αυξηθεί η ακαμψία του αποβλίττου αλλάζοντας το σχήμα της διατομής. Τέτοιες αυλακώσεις είναι πολύ χρήσιμες για κατεργασίες με χαμηλή πρόωση, όταν το πάχος του αποβλίττου είναι μικρό. Ασταθής σχηματισμός αποβλίττου συμβαίνει κυρίως όταν υπάρχει κρίση στη διεπαφή αποβλίττου - εργαλείου. Δύο βασικοί τύποι δομής του αποβλίττου μπορεί να σχηματιστούν. Όταν το υλικό του τεμαχίου έχει πλαστικές ιδιότητες σχηματίζεται το συνεχές απόβλιττο καμπύλη μορφή. Ένα τέτοιο απόβλιττο είναι κοινό στη μηχανική κατεργασία υλικών αεροδιαστημικής με υψηλή περιεκτικότητα σε χρώμιο και νικέλιο. Ακόμα κι αν αυτό το απόβλιττο φαίνεται εύκολο να σπάσει, ειδικοί γρεζοθραύστες τύπου παρεμπόδισης πρέπει να χρησιμοποιούνται. Όταν το τεμάχιο έχει ελαστοπλαστικές ιδιότητες σχηματίζεται το διακοπτόμενο απόβλιττο καμπύλης μορφής [15].

3. ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΟΥ ΛΟΓΟΥ ΣΥΜΠΙΕΣΗΣ ΑΠΟΒΛΙΤΤΟΥ

Στην ορθογωνική κοπή θεωρείται ότι το κοπτικό έχει μορφή σφήνας, πλάτος μεγαλύτερο από το πλάτος του κατεργαζόμενου τεμαχίου και είναι κάθετο στην διεύθυνση της κοπής. Η κατεργασία με αφαίρεση υλικού μπορεί να προσομοιωθεί με την είσοδο στο κατεργαζόμενο τεμάχιο μιας κοπτικής σφήνας όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1. Η κόψη αυτής της σφήνας έχει σχεδόν πάντα συγκεκριμένη γεωμετρία, επιλεγμένη σχετικά με το προς κατεργασία υλικό, το είδος και της συνθήκες της κατεργασίας. Τα χαρακτηριστικά αυτής της γεωμετρίας αποτελούν και τα κύρια γεωμετρικά χαρακτηριστικά κάθε κοπτικού εργαλείου.



Σχήμα 3.1 Απεικόνιση κοπτικής σφήνας κατά την αφαίρεση υλικού

Στο σχήμα 3.1 απεικονίζονται οι εξής γωνίες:

- γωνία διάτμησης(ϕ): επηρεάζει τη φθορά του κοπτικού
- γωνία ελευθερίας(θ): χαρακτηρίζει την αιχμή του κοπτικού εργαλείου
- γωνία αποβλίττου (γ_c) : $\gamma > 0$ ή $\gamma < 0$ ή $\gamma = 0$

Ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου (Chip Compression Ratio, CCR) ορίζεται ως το πηλίκο του πάχους του παραμορφωμένου αποβλίττου προς το πάχος του άκοπου αποβλίττου.

$$\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (13)$$

όπου λ_2 : πάχος αποκομμένου αποβλίττου (mm), λ_1 : πάχος άκοπου αποβλίττου (mm).

Το πάχος λ_2 του παραμορφωμένου αποβλίττου, λόγω της συνεχούς πλαστικής διάτμησης, παρουσιάζεται μεγαλύτερο από το λ_1 του απαραμόρφωτου

3.1 Γενικές πειραματικές μέτρησης του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου

Παρόλο που ένας αριθμός πειραματικών μεθόδων για τον προσδιορισμό του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου(CCR), αναγνωρίζεται από τους ερευνητές, σύγχρονα βιβλία και άλλες δημοσιεύσεις σχετικά με την κοπή μετάλλων δεν θεωρούν κάποια από αυτές τις μεθόδους σημαντικές, επειδή θεωρούν τον λόγο συμπίεσης αποβλίπτου (CCR) ως μία ασήμαντη παράμετρο. Υποστηρίζεται σε μελέτη του Astakhov[1] ότι οι μεγάλες παράμετροι και τα χαρακτηριστικά της κοπής μετάλλων συσχετίζονται με τον λόγο συμπίεσης αποβλίπτου (CCR), έτσι γίνεται απαραίτητο να παρουσιαστούν μερικά κοινά σημεία σε πειραματικές μεθόδους για τον προσδιορισμό του CCR.

➤ Με μέτρηση των επιμέρους αποβλίπτων

Η απλούστερη μέθοδος είναι η μέτρηση των επιμέρους αποβλίπτων και στη συνέχεια να υπολογιστεί ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου (CCR)

$$\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (13)$$

όπου λ_2 : πάχος αποκομμένου αποβλίπτου (mm), λ_1 : πάχος άκοπου αποβλίπτου (mm).

Ωστόσο, αυτό δεν είναι πάντοτε εφικτό, διότι το απόβλιπτο:

- μπορεί να έχει μια πριονωτή ελεύθερη επιφάνεια
- να είναι πολύ μικρό
- να παρουσιάζει κύρτωση σε 3 διαστάσεις

➤ Ζύγιση

Η δεύτερη είναι η μέθοδος ζύγισης. Ένα μικρό (5-10mm μήκος) ευθύ κομμάτι αποβλίπτου διαχωρίζεται από το υπόλοιπο. Στη συνέχεια μετρούνται το μήκος L_c και το πλάτος D_w του. Σήμερα υπάρχει η δυνατότητα όταν το κομμάτι του αποβλίπτου που επιλέγεται για τη μελέτη δεν είναι ευθύ, ένας υπολογιστής με σύστημα όρασης να χρησιμοποιείται για τη σωστή μέτρηση του μήκους. Στη συνέχεια, ζυγίζεται έτσι ώστε να προσδιοριστεί το βάρος του G_{ch} (N). Τότε το πάχος του αποβλίπτου υπολογίζεται ως:

$$\lambda_2 = \frac{G_{ch}}{d_{wl} L_c \rho_w g} \quad (14)$$

όπου ρ_w είναι η πυκνότητα του υλικού εργασίας (kg/m³) και $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ είναι η επιτάχυνση της βαρύτητας. Για εργασίες φινιρίσματος, όταν το βάθος της κοπής είναι πολύ ρηχό, καθίσταται μάλλον δύσκολο να μετρηθεί το πλάτος του αποβλίπτου. Σε αυτή την περίπτωση ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου, υπολογίζεται από τον λόγο των εμβαδών διατομής του αποκομμένου αποβλίπτου και του άκοπου αποβλίπτου, A_{ch} και A_w , αντίστοιχα, δηλαδή

$$\zeta = \frac{A_{ch}}{A_w} \quad (15)$$

Ως εκ τούτου, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο ζύγισης το εμβαδόν διατομής του αποβλίπτου προσδιορίζεται από τον τύπο:

$$A_{ch} = \frac{G_{ch}}{L_c \rho_w g} \quad (16)$$

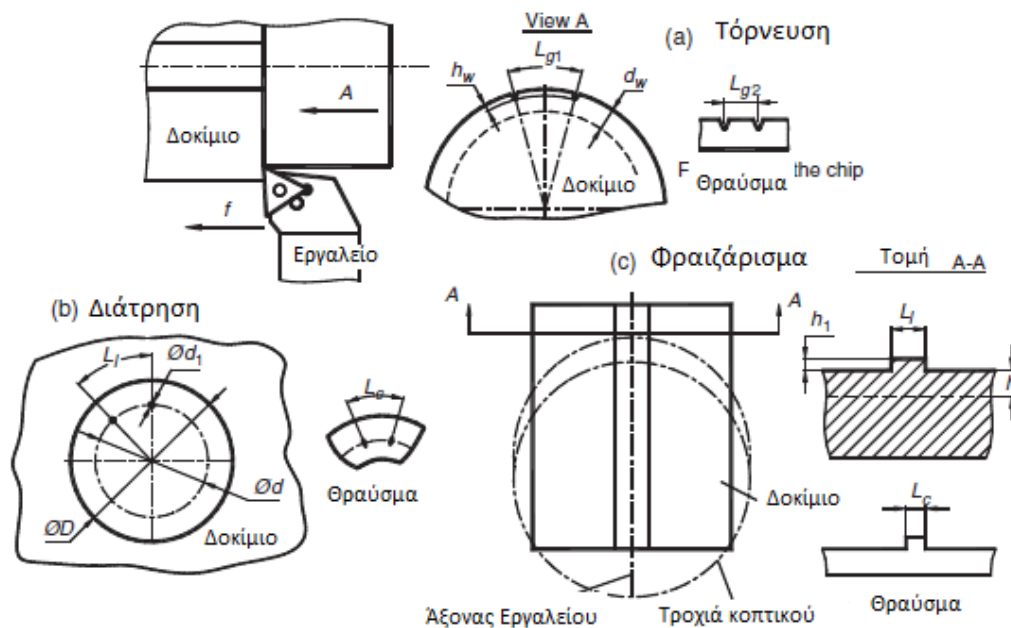
και το εμβαδόν διατομής του άκοπου αποβλήτου προσδιορίζεται ως:

$$A_w = d_w f \quad (17)$$

όπου d_w είναι το βάθος της κοπής και f η πρόωση.

➤ Χάραξη

Η τρίτη μέθοδος είναι εφαρμόσιμη σε τóρνευση, φραιζάρισμα, διάτρηση και άλλες κοινές δραστηριότητες κατεργασίας. Η ουσία αυτής της μεθόδου είναι ότι το τεμάχιο εργασίας "χαράζεται" πριν από την κοπή και στη συνέχεια τα σημάδια του αποκομμένου αποβλήτου συγκρίνονται με την αρχική σήμανση. Η υλοποίηση αυτής της μεθόδου για τη διαμήκη τóρνευση εικονίζεται στο σχήμα 3.2.α.



Σχήμα 3.2 Πειραματικές τεχνικές μέτρησης του λόγου συμπίεσης αποβλήτου

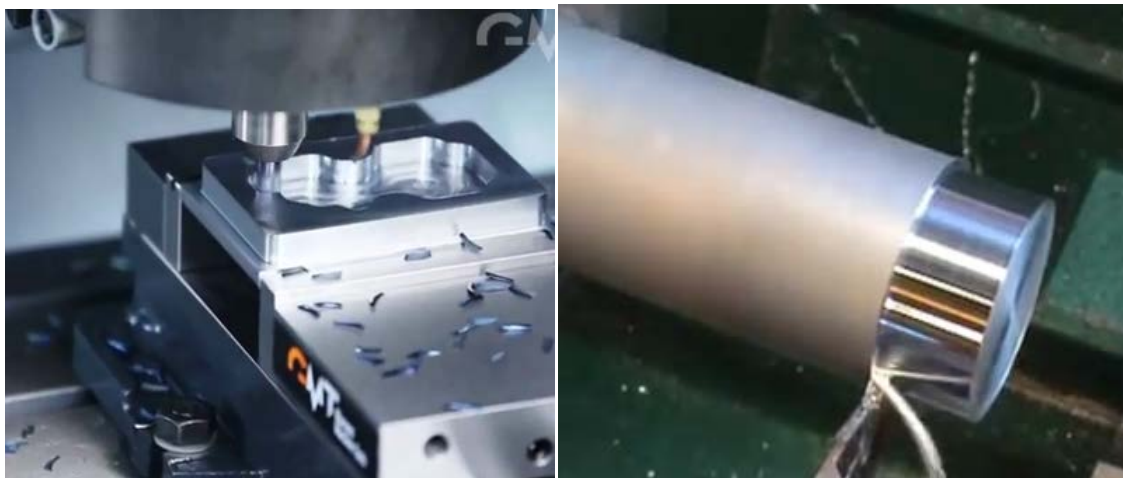
Όπως φαίνεται, τα δύο διαμήκη αυλάκια γίνονται επί της εξωτερικής επιφάνειας του τεμαχίου πριν από τη δοκιμή και μετράται την απόσταση (τόξο) μεταξύ αυτών των αυλακών L_{g1} . Μετά τη δοκιμή, ένα τμήμα αποβλήτου με αυτή τη σήμανση μπορεί εύκολα να βρεθεί και η απόσταση L_{g2} να μετρηθεί. Στη συνέχεια ο λόγος συμπίεσης αποβλήτου (CCR) προσδιορίζεται ως

$$\zeta = \frac{L_{g1}}{L_{g2}} \quad (18)$$

Η υλοποίηση αυτής της μεθόδου κατά τη διάτρηση δεικνύεται στο σχήμα 3.2.b. Δύο μικρές οπές διαμέτρου d_1 ανοίγονται όπως φαίνεται στην εικόνα # (b) κατά μήκος της τροχιάς της αιχμής του τρυπανιού. Η διάμετρος d_2 είναι μικρότερη από την προσδοκώμενη D . Μετράται η απόσταση του τόξου μεταξύ των κέντρων των οπών αυτών L_{G1} . Μετά τη δοκιμή, βρίσκεται ένα θραύσμα που έχει τα σημάδια από τις δύο οπές και μετράται η απόσταση του τόξου (L_{G2}) μεταξύ των κέντρων, με τη βοήθεια υψηλής οπτικής μεγέθυνσης ή ένα σύστημα μηχανικής όρασης. Χρησιμοποιώντας την Εξ(18), υπολογίζεται ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου (CCR). Η εφαρμογή αυτής της μεθόδου κατά την τόννευση φαίνεται στο σχήμα 3.2.c. Όπως εικονίζεται, η επιφάνεια του τεμαχίου «τρώγεται» με βήμα πλάτους $L_{G1} = 3-6\text{mm}$ και ύψους είναι 4-6 φορές μικρότερο ότι το βάθος της κοπής, δηλαδή $d_w / h_w = 4-6$. Μετά τη δοκιμή, μετράται το πλάτος L_{G2} και προσδιορίζεται ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου (CCR) χρησιμοποιώντας την Εξ. (18). Μετατοπίζοντας τις θέσεις των αξόνων του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου, μπορεί κανείς να καθορίσει τον λόγο συμπίεσης αποβλίπτου (CCR) κάτω από ένα εύρος παχών άκοπων αποβλίπτων.

3.2 Πειραματική διάταξη

Το κέντρο κατεργασίας του εργαστηρίου λειτουργεί ως φραιζα. Δηλαδή το επιλεγμένο κοπτικό εργαλείο περιστρέφεται στην κινητήρια άτρακτο και το υπό κατεργασία υλικό βρίσκεται σε σταθερή θέση όπως παρουσιάζεται στο αριστερό μέρος του σχήματος 3.3. Για την εκτέλεση που πειράματος είναι απαραίτητη η μετατροπή της κινηματικής της κατεργασίας της φραιζας σε κινηματική τόννου, όπου το υπό κατεργασία δοκίμιο θα περιστρέφεται στην κινητήρια άτρακτο και το κοπτικό εργαλείο θα βρίσκεται σε σταθερή θέση (Σχήμα 3.3.δεξιά).



Σχήμα 3.3 (αριστερά) Φραιζάρισμα, (δεξιά) Τόννευση

Το δοκίμιο θα υποστεί την κατάλληλη μετατροπή ώστε να εφαρμόσει στην θέση του κοπτικού και το κοπτικό θα εφαρμοστεί στην τράπεζα του κέντρου κατεργασίας.

3.2.1 Κατεργαζόμενο τεμάχιο

Το πείραμα θα διεξαχθεί με δοκίμιο αλουμινίου 7075 T6. Πασίγνωστο και πολυδουλεμένο υλικό συναντάται σε αντικείμενα ευρείας καθημερινής χρήσης. Δέχεται υψηλή κατεργασιμότητα, στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται σε όλα τα στάδια από πρώτη ύλη μέχρι τελικό προϊόν. Χαρακτηρίζεται από το συνδυασμό χαμηλής πυκνότητας ($SG=2.7$ έως 2.85)

και υψηλής αντοχής. Δεκτικό βαθιάς έλξης, αξιόλογα ανθεκτικό με ψυχρή παραμόρφωση και αντιμαγνητικό. Ιδιαίτερα καλός αγωγός του ηλεκτρισμού και της θερμότητας, ανακλά θερμότητα και φως, ενώ είναι εύκολο να συγκολληθεί αλλά δύσκολο να κολληθεί. Δεν σκουριάζει, μιας και καλύπτεται από προστατευτικό στρώμα οξειδίου, αντέχει στο καθαρό νερό, σε αραιό φωσφορικό οξύ, πυκνό νιτρικό οξύ, διοξείδιο του θείου και σε πολλές ενώσεις του αζώτου. Δεν αντέχει στο θαλασσινό νερό, σε ανόργανα οξέα, στη σόδα, την αμμοκονία και στο μπετόν. Σε συνθετικά σημεία με άλλα μέταλλα απαιτείται προστασία του από ηλεκτρολυτική διάβρωση.



Σχήμα 3.4. Αλουμίνιο από πρώτη ύλη μέχρι τελικό προϊόν

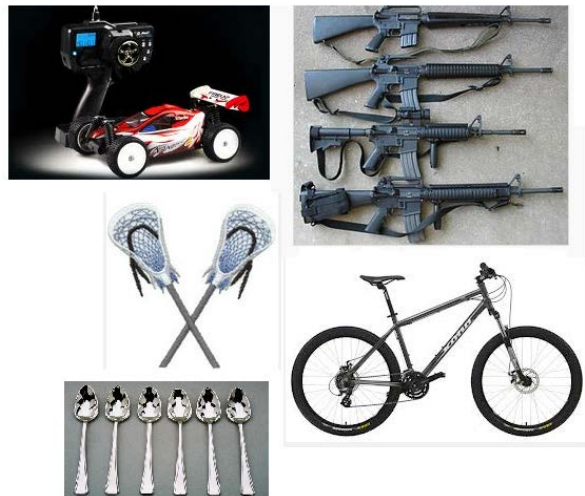
➤ Το κράμα αλουμινίου 70-75

Το κράμα αλουμινίου 7075 έχει ως κύριο συστατικό τον ψευδάργυρο. Είναι ισχυρό, με αντοχή συγκρίσιμη με πολλούς χάλυβες, και έχει καλή αντοχή σε κόπωση και κατεργασιμότητα, αλλά έχει μικρότερη αντοχή στη διάβρωση από πολλά άλλα κράματα αλουμινίου. Το σχετικά υψηλό κόστος του, περιορίζει τη χρήση του σε εφαρμογές όπου φθηνότερα κράματα δεν είναι κατάλληλα. Η σύνθεση κράματος αλουμινίου 7075 περιλαμβάνει περίπου 5.6 έως 6.1% ψευδάργυρο, 2,1-2,5% μαγνήσιο, 1.2-1.6% χαλκό, και λιγότερο από το μισό τοις εκατό πυρίτιο, σίδηρο, μαγγάνιο, τιτάνιο, χρώμιο, και άλλα μέταλλα. Παράγεται σε πολλές παραλλαγές, μερικές των οποίων είναι 7075-O, 7075-T6, 7075-T651.

➤ Το κράμα αλουμινίου 70-75 T6

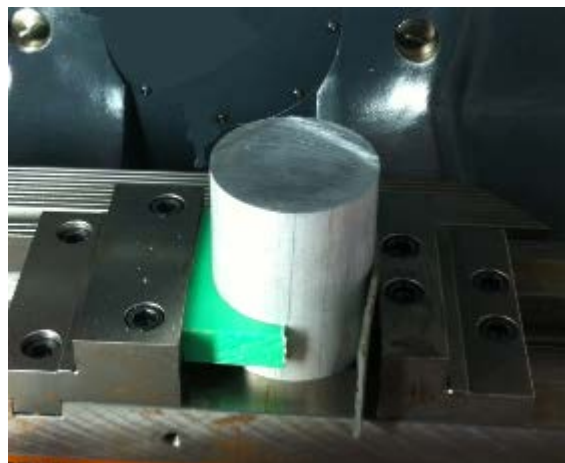
Το κράμα T6 7075 έχει αντοχή εφελκυσμού 74,000-78,000 psi (510-572 MPa) και αντοχή υποχώρησης τουλάχιστον 63,000-69,000 psi (434-503 MPa). Έχει μια επιμήκυνση αποτυχίας 5-11%. Τα κράματα της σειράς 7000, όπως το 7075 που χρησιμοποιείται συχνά σε εφαρμογές μεταφορών, συμπεριλαμβανομένων των θαλάσσιων, αεροπορικών και αυτοκινήτων (Σχήμα 3.5), λόγω της υψηλής αναλογίας αντοχής - πυκνότητας. Η δύναμη και το μικρό του βάρος είναι επίσης επιθυμητά και σε άλλους τομείς. Εξοπλισμός αναρρίχησης, εξαρτήματα ποδηλάτων, και άτρακτοι ανεμόπτερων είναι συνήθως κατασκευασμένα από

κράμα αλουμινίου 7075(Σχήμα 3.5). Η Hobby Grade RC (τηλεκατευθυνόμενα αυτοκίνητα) κατασκευάζει πλάκες σασί από αλουμίνιο 70-75 T6 για τα μοντέλα της. Μία ενδιαφέρουσα χρήση του κράματος 7075 είναι στην παρασκευή των M16 τυφεκίων για την αμερικανικό στρατό. Χρησιμοποιείτε επίσης σε άξονες για ρακέτες του λακρός, και μαχαιροπήρουνα. Τέλος οι εταιρίες κατασκευής οπλικών συστημάτων Desert Tactical και η γαλλική PGM το χρησιμοποιούν για την κατασκευή τυφεκίων ακριβείας. Λόγω της αντοχής του, της υψηλής πυκνότητας, τις θερμικές ιδιότητες και την ικανότητά του να είναι εξαιρετικά στιλβωμένο, το 7075 T6 χρησιμοποιείται ευρέως στην κατασκευή εργαλείων καλουπιού.



Σχήμα 3.5 Αντικείμενα φτιαγμένα από κράμα αλουμινίου 7075 T6

Για την εκτέλεση του πειράματος επιλέχθηκε δοκίμιο αλουμινίου 7075 T6 κυλινδρικού σχήματος διαμέτρου 8mm και μήκους 20mm (σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6 Δοκίμιο πειράματος πριν την κατεργασία

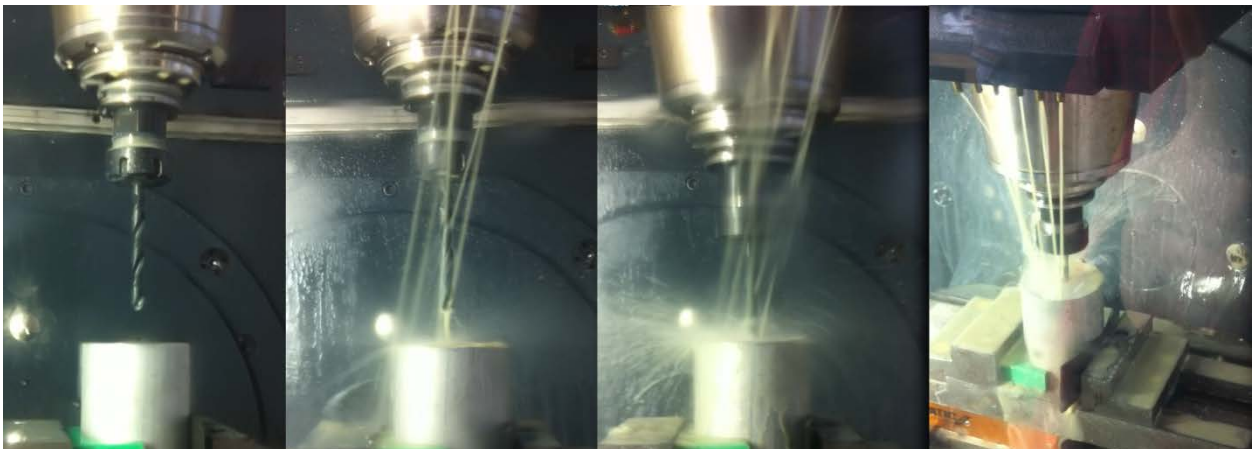
Το κατεργαζόμενο τεμάχιο μηδενίστηκε με τη βοήθεια τρισδιάστατου μετρητικού βραχίονα όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 3.7.



Σχήμα 3.7 Μηδενισμός με τη χρήση του οργάνου μηδενισμού

Ο μετρικός βραχίονας είναι σημαντικός για τις εργαλειομηχανές με ψηφιακή καθοδήγηση, αφενός για τον μηδενισμό των κατεργαζόμενων τεμαχίων και αφετέρου για μετρήσεις ακριβείας και επίτευξη συγκεκριμένου πεδίου ανοχών σε μηχανουργικές κατεργασίες. Πρόκειται για μετρικό όργανο υψηλής ακρίβειας που εισάγεται αυτόματα από τον εργαλειοφορέα της εργαλειομηχανής. Αποτελείται από το κυρίως σώμα, στο οποίο εφαρμόζει ο αντίστοιχος κώνος τοποθέτησης στην εργαλειομηχανή, από το στέλεχος με την ακίδα μέτρησης και τους αεραγωγούς εξαγωγής αέρα για τον καθορισμό της μετρούμενης επιφάνειας. Ο μετρικός βραχίονας του εργαστηρίου έχει τη δυνατότητα μέσω κατάλληλου αισθητήρα που διαθέτει να επικοινωνεί ασύρματα με την καθοδήγηση της εργαλειομηχανής.

Στο κέντρο της κυκλικής επιφάνειας του δοκιμίου εφαρμόστηκε διάτρηση με τρυπάνι $\phi 10$. Η διαδικασία παρουσιάζεται διαδοχικά στο σχήμα 3.8 από αριστερά προς δεξιά.



Σχήμα 3.8 Διάτρηση του δοκιμίου

Η μία πλευρά του δοκιμίου υπόκειται σε περεταίρω επεξεργασία. Μεγαλώνει η διάμετρος της διάτρησης για λίγα εκατοστά από την κυκλική επιφάνεια του δοκιμίου (σχήμα 3.9), σχηματίζεται αυλάκωση κατά μήκος της διαμέτρου του δοκιμίου (σχήμα 3.10). Η επεξεργασία αυτή έχει ως αποτέλεσμα το δοκίμιο να πάρει την ακριβή μορφή του άκρου του κώνου SK40 με σκοπό να επιτευχθεί η καλύτερη δυνατή εφαρμογή και να μειωθούν στο ελάχιστο οι ανοχές (σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.9 Αύξηση της διαμέτρου διάτρησης



Σχήμα 3.10 Αυλάκωση κατά μήκος της διαμέτρου του δοκιμίου



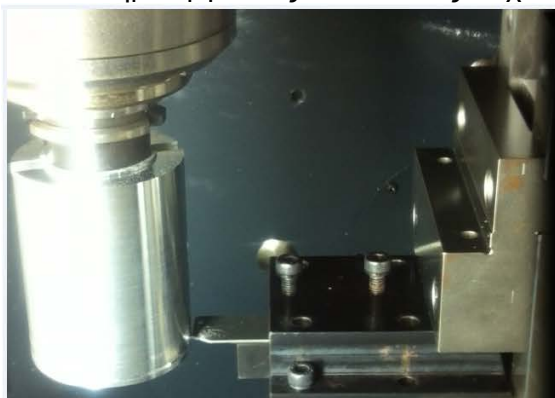
Σχήμα 3.11 Ακριβή μορφή του άκρου του κώνου SK40

Το δοκίμιο εφαρμόζει στον κώνο SK40 (σχήμα 3.12) και είναι έτοιμο για την τοποθέτηση του στην αποθήκη εργαλείων της εργαλειομηχανής. Η επεξεργασία του συνεχίζεται.



Σχήμα 3.12 Τοποθέτηση του δοκιμίου στον κώνο Wellington

Το δοκίμιο παίρνει τη θέση του στην κινητήρια άτρακτο(σχήμα 3.13 αριστερά). Μανέλα διαχωρισμού πάχους 17 mm (σχήμα 3.13 δεξιά) εφαρμόζεται κάθετα στην περίμετρο του κύκλου δημιουργώντας αυλακώσεις πάχους 2,5 mm ανά 1,6 mm και βάθους 6mm.



Σχήμα 3.13 Θέση δοκιμίου στην άτρακτο και κοπτικό δημιουργίας αυλακώσεων πάχους 17mm

Τέλος γίνεται μια διαμήκης αυλάκωση με σκοπό την σταδιακή εισχώρηση του εργαλείου στο τεμάχιο ώστε να μη δημιουργούνται ταλαντώσεις (σχήμα 3.14) και το δοκίμιο παίρνει την τελική του μορφή (σχήμα 3.15).

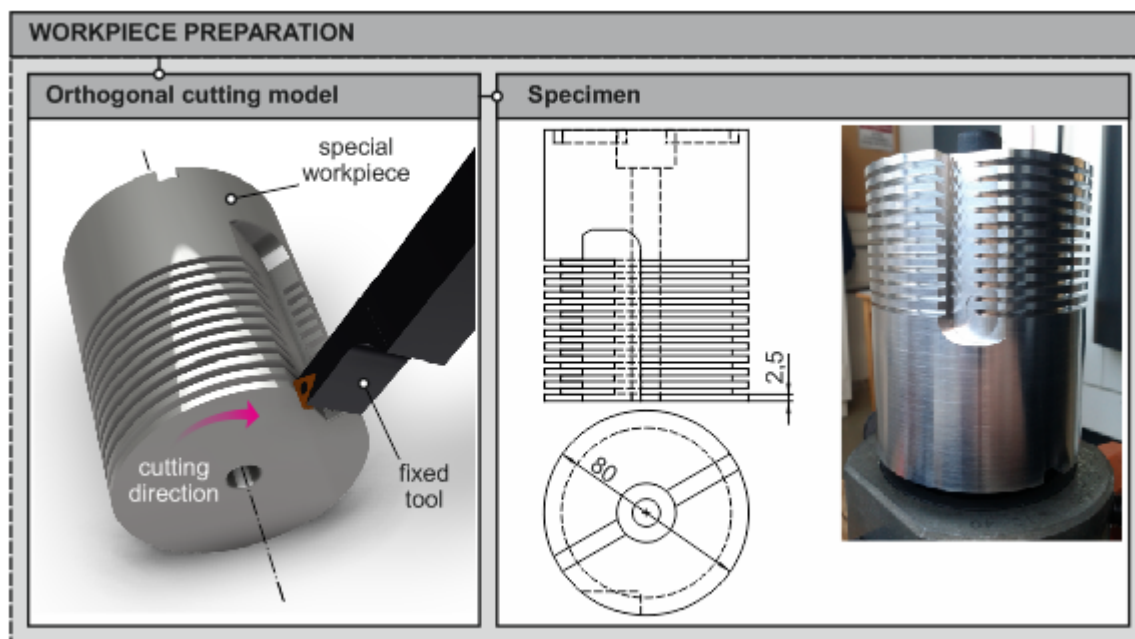


Σχήμα 3.14 Διαμήκης αυλάκωση του δοκιμίου



Σχήμα 3.15 Τελική μορφή του δοκιμίου

Μια προσομοίωση της πειραματικής διαδικασίας φαίνεται στο σχήμα 3.16.



Σχήμα 3.16 Προσομοίωση πειραματικής διαδικασίας και τελική μορφή δοκιμίου

3.2.2 Κέντρο κατεργασίας

Το κέντρο κατεργασίας γενικής χρήσης CNC DMU 50 eco (σχήμα 3.17) είναι εξοπλισμένο με ισχυρή άτρακτο μέχρι 8.000 rpm, 83 Nm (40% ED), ισχύ ατράκτου 13 kW (40% ED) και 12 m/min γρήγορη μετατόπιση. Το περιστρεφόμενο τραπέζι του καθιστά εφικτή την κατασκευή πολύ σύνθετων τεμαχίων κατεργασίας. Η υδραυλική σύσφιξη εμπεριέχεται στο περιστρεφόμενο τραπέζι και η περιοχή περιστροφής μέχρι τις 115° (-5° / +110°) καθιστά εφικτές κλίσεις μέχρι 20°. Ο εργαλειοφόρας με 16 θέσεις και το αποσπώμενο χειριστήριο καθιστούν εφικτή την απλή και άνετη εκτέλεση των διαφόρων εργασιών φραιζαρίσματος. Η κατασκευή είναι με χυτοσίδηρο σκελετό, για μέγιστη ακρίβεια και ποιότητα επιφανειών. Το εργονομικό DMG SLIMline® Panel με οθόνη TFT 15", SIEMENS 810D powerline και λογισμικό ShopMill καθιστούν εφικτό τον απλό προγραμματισμό και την τρισδιάστατη προσομοίωση.



Σχήμα 3.17 Το κέντρο κατεργασίας γενικής χρήσης CNC DMU 50 eco

3.2.3 Κάμερα υψηλής ταχύτητας

Η MotionBLITZ EoSens ® mini 2 (σχήμα 3.18) κάμερα υψηλής ταχύτητας λήψης φωτογραφιών αναπτύχθηκε για να καταγράψει τις ταχύτερες διαδικασίες σε εξαιρετικά περιορισμένους χώρους. Λόγω των πολύ μικρών διαστάσεων του (63 x 63 x 64,5 χιλιοστά), το MotionBLITZ EoSens ® mini μπορεί να χρησιμοποιηθεί ευέλικτα. Ο μέγιστος χρόνος εγγραφής είναι 6,5 δευτερόλεπτα με 290.000 καρέ ανά δευτερόλεπτο.

Χάρη στην εξαιρετική ποιότητα του φακού, μπορούν να επιτευχθούν με τη χρήση της ευκρινείς και πεντακάθαρες εικόνες με πλούσιες λεπτομέρειες. Λόγω της εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης, από 1,696 x 1,710 pixels η υψηλής ταχύτητας κάμερα αιχμαλωτίζει ακόμη και λεπτομέρειες από τα μικρότερα αντικείμενα.



Σχήμα 3.18 MotionBLITZ Eosens mini 2

3.2.4 Πηγή φωτός

Για την επίτευξη της μέγιστης ποιότητας στην εικονοληψία χρησιμοποιήθηκε πηγή συνεχόμενου φωτός.

Η KL 2500 LCD πηγή ψυχρού φωτός αλογόνου (σχήμα 3.19) εστιάστηκε στο σημείο της κοπής και βελτίωσε την εικόνα κατά το μέγιστο δυνατό. Τα χαρακτηριστικά της παρουσιάζονται στο σχήμα 3.20.



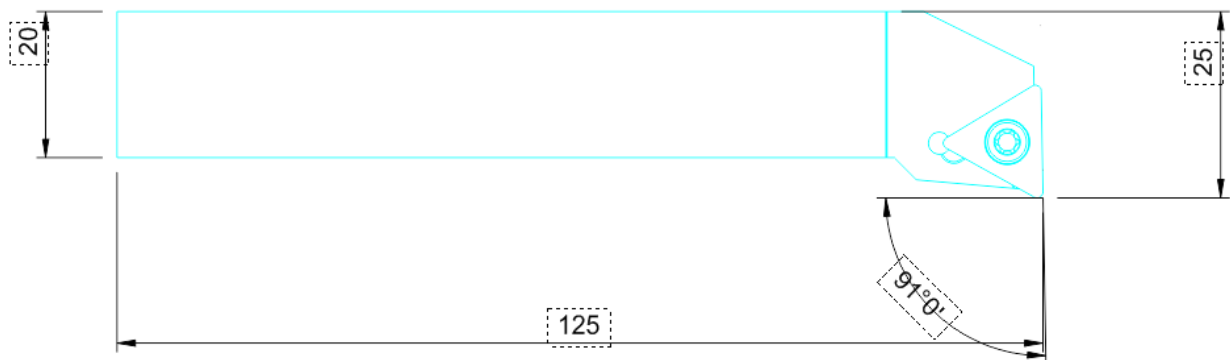
Σχήμα 3.19 Πηγή φωτός KL 2500 LCD

KL 2500 LCD			
Type designation			General data
Dimensions (W x D x H)		(mm)/(inch)	Ca. 200 x 265 x 170/Ca. 7.9" x 10.4" x 6.7"
Weight		(kg)	Approx. 6.0
Cooling			Low-noise fan
		Part-No.	Electrical data
Operating voltage 120 volt version		250 201	100 V ~ 50/60 Hz, 120 V ~ 60 Hz
230 volt version		250 200	220 V ... 240 V ~ 50/60 Hz
Protection Class			II
Lamp type			Halogen reflector lamp Type ELC
Lamp voltage rating (V)			24
Lamp power rating (W)			250
Average lamp	level 4	(h)	1.500
service life	level 5	(h)	150
Illumination data			
Light flux		(lm)	1.300
Light control			Electrical and mechanical
Active light guide diam.		(mm)/(inch)	Max. 15/Max. 0.59"
Certification marks			
120 volt version			CSA (C/US)
230 volt version			CE, CSA

Σχήμα 3.20 Χαρακτηριστικά KL 2500 LcD, Schott 1

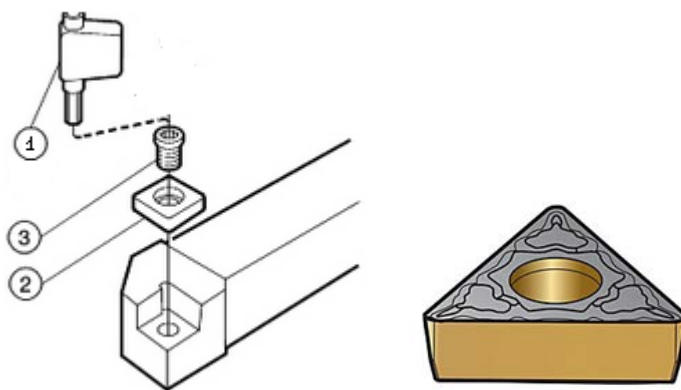
3.2.5 Κοπτικό εργαλείο

Χρησιμοποιήθηκε το κοπτικό εργαλείο STFL 2020K 11-AB1 της Sandvik Coromant με κατασκευαστικό σχέδιο που παρουσιάζεται στο σχήμα 3.21.



Σχήμα 3.21 Κατασκευαστικό σχέδιο του κοπτικού

Στο κοπτικό εφαρμόζει πλακίδιο γρεζοθραύστη TCMT 11 03 04 – PM 4225(σχήμα 3.23). Το πλακίδιο φθείρεται και αντικαθίσταται συχνά. Η συναρμογή πλακιδίου-κοπτικού εμφανίζεται όπως στο σχήμα 3.22.



Σχήμα 3.22 Εργαλείο αλλαγής πλακιδίου(1), ανταλλακτικό πλακίδιο (2), βίδα (3), Πλακίδιο

3.3 Πειραματική διαδικασία

Το δοκίμιο πήρε τη μορφή του σχήματος 3.24 ώστε να σχηματίσει παράλληλους δίσκους σε κάθε έναν από τους οποίους θα γίνουν δοκιμές ορθογωνικής κοπής με διαφορετικές συνθήκες κάθε φορά, με σκοπό τη συλλογή δεδομένων για τον προσδιορισμό του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου. Όπως προαναφέρθηκε, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου είναι το πηλίκο του μήκους του αποκομμένου αποβλίπτου προς το μήκος του άκοπτου.



Σχήμα 3.24 Οι παράλληλοι δίσκοι του δοκιμίου

Το δοκίμιο έχει τοποθετηθεί στην κινητήρια άτρακτο του κέντρου κατεργασίας και το κοπτικό εργαλείο στην τράπεζα, η οποία έχει περιστραφεί κατά 90 μοίρες. Κάτω από το σημείο επαφής κοπτικού – δοκιμίου και στην κατάλληλη απόσταση για την καλύτερη δυνατή εστίαση, έχει τοποθετηθεί η κάμερα υψηλής ταχύτητας. Για να επιτευχθεί η μέγιστη ποιότητα της εικόνας στο ίδιο σημείο εφαρμόζεται και η πηγή ψυχρού φωτός που εικονίζεται στο σχήμα 3.25. Η κάμερα υψηλής ταχύτητας θα καταγράψει κάθε δοκιμή και από τις εικόνες θα μετρηθεί το μήκος του αποκομμένου αποβλίπτου που θα οδηγήσει στον υπολογισμό του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου.



Σχήμα 3.25 Η πειραματική διάταξη

3.3.1 Σχεδιασμός των πειραμάτων

Από τη μελέτη των δημοσιεύσεων και κεφαλαίου 2 προσδιορίστηκε ο αριθμός των πειραμάτων και το εύρος των παραμέτρων.

Θα εκτελεσθούν 60 δοκιμές κοπής, με 5 διαφορετικές ταχύτητες κοπής V_c , 4 διαφορετικά βάθη κοπής a_p και 3 διαφορετικές γωνίες αποβλίττου γ .

Συγκεκριμένα σε κάθε εκτέλεση θα προσδιορίζεται ο αριθμός των στροφών του δοκιμίου, θα προγραμματίζεται κατάλληλα το κέντρο κατεργασίας, θα εκτελείται η διαδικασία ενώ καταγράφεται από την κάμερα υψηλής ταχύτητας και θα προσδιορίζεται το μήκος του αποκομμένου αποβλίττου. Ο αριθμός των στροφών του δοκιμίου ορίζεται για κάθε ταχύτητα κοπής από τον τύπο:

$$n = \frac{V_c 1000}{\pi D}$$

(19)

Οι τιμές των μεταβλητών με τις οποίες θα εκτελεσθεί το πείραμα εμφανίζονται στον πίνακα 1.

A/A	V_c [m/min]	n [rpm]	a_p [mm]	γ°
1	100	417	0,2	6
2	100	420	0,3	6
3	100	436	0,4	6
4	100	441	0,5	6

5	80	358	0,2	6
6	80	360	0,3	6
7	80	363	0,4	6
8	80	367	0,5	6
9	60	246	0,2	6
10	60	247	0,3	6
11	60	249	0,4	6
12	60	252	0,5	6
13	40	168	0,2	6
14	40	169	0,3	6
15	40	170	0,4	6
16	40	172	0,5	6
17	20	89	0,2	6
18	20	90	0,3	6
19	20	91	0,4	6
20	20	82	0,5	6
21	100	415	0,2	3
22	100	417	0,3	3
23	100	420	0,4	3
24	100	425	0,5	3
25	80	340	0,2	3
26	80	341	0,3	3
27	80	344	0,4	3
28	80	348	0,5	3
29	60	261	0,2	3
30	60	263	0,3	3
31	60	265	0,4	3
32	60	268	0,5	3
33	40	164	0,2	3
34	40	165	0,3	3
35	40	166	0,4	3
36	40	168	0,5	3
37	20	84	0,2	3
38	20	85	0,3	3
39	20	86	0,4	3
40	20	87	0,5	3
41	100	441	0,2	0
42	100	445	0,3	0
43	100	450	0,4	0
44	100	456	0,5	0
45	80	367	0,2	0
46	80	369	0,3	0
47	80	327	0,4	0
48	80	331	0,5	0
49	60	252	0,2	0
50	60	253	0,3	0
51	60	255	0,4	0
52	60	258	0,5	0
53	40	174	0,2	0

54	40	175	0,3	0
55	40	177	0,4	0
56	40	179	0,5	0
57	20	90	0,2	0
58	20	82	0,3	0
59	20	83	0,4	0
60	20	84	0,5	0

Πίνακας 1. Δεδομένα Πειράματος

3.3.2 Επεξεργασία των αποτελεσμάτων

Με δεδομένα την Ταχύτητα κοπής V_c , το βάθος κοπής a_p και την γωνία αποβλίπτου γ , από τους τύπους 19 - 22 υπολογίστηκαν ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου (CCR), η διατμητική παραμόρφωση (ε), η γωνία διάτμησης (φ) και ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης ($d\varepsilon/dt$).

Λόγος συμπίεσης αποβλίπτου
(19)

$$\lambda = \frac{\lambda_2}{\lambda_1}$$

Διατμητική παραμόρφωση
(20)

$$\varepsilon = \frac{1 + \lambda^2 - 2\lambda \sin\varphi}{\lambda \cos\varphi}$$

Γωνία διάτμησης
(21)

$$\varphi = \tan \frac{\cos\gamma}{\lambda - \sin\gamma}$$

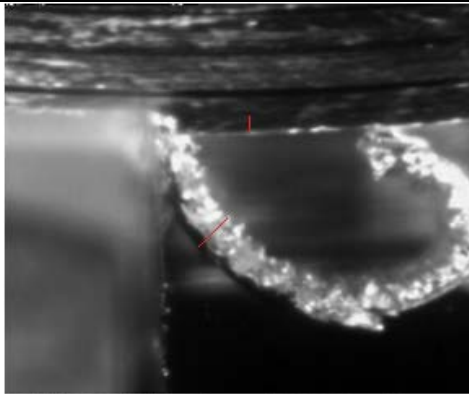
Ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης
(22)

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{\cos\varphi}{\cos(\varphi - \gamma)} \frac{V_c}{\Delta y}$$

όπου $\Delta y = 2.5\text{mm}$

Σε κάθε εκτέλεση του πειράματος καταγράφηκε βίντεο διάρκειας περίπου 4,2 δευτερολέπτων. Σε αυτή τη χρονική διάρκεια λήφθηκαν περίπου 3500-4000 στιγμιότυπα. Από αυτά επιλέχθηκε η φωτογραφία με την καλύτερη απεικόνιση της κοπής. Η φωτογραφία εισήχθη σε σχεδιαστικό πρόγραμμα ώστε να μετρηθούν τα πάχη των αποβλίπτων. Η διαδικασία φαίνεται στο πείραμα 1 όπου οι γραμμές κόκκινου χρώματος δείχνουν τα πάχη των αποβλίπτων. Ομοίως και για τα υπόλοιπα πειράματα, οι επιλεγμένες φωτογραφίες των οποίων, τα χαρακτηριστικά αλλά και τα αποτελέσματα της επεξεργασίας τους παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες.

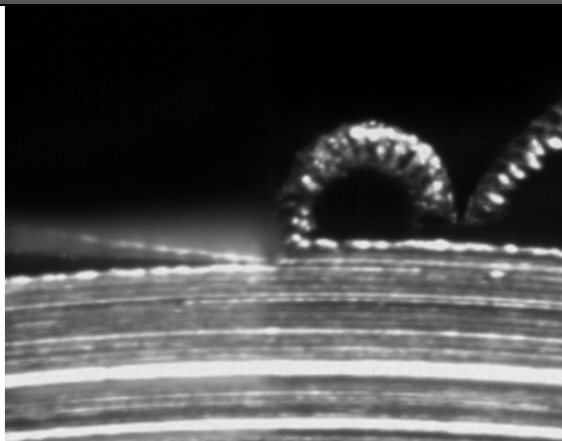
Πείραμα 1



8/3/2013 7:04:32 μs -2738,4[ms]
000007146 MotionBLITZ EoSens mini2
Mikrotron GmbH 272x228 @ 10000fps
98 μs

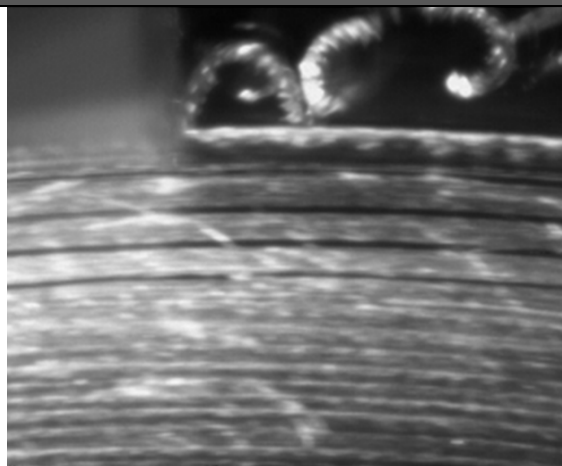
Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,2
Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
CCR	2,76175
Διατμητική παραμόρφωση	3,089405
Γωνία διάτμησης [deg]	20,51944
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38698,05

Πείραμα 2



Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0.3
Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
CCR	2,580167
Διατμητική παραμόρφωση	2,899706
Γωνία διάτμησης [deg]	21,88568
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38590,91

Πείραμα 3

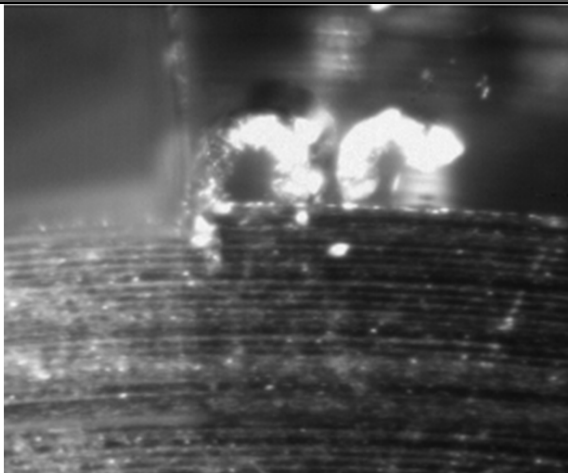


Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,4
Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
CCR	2,055
Διατμητική παραμόρφωση	2,44029
Γωνία διάτμησης [deg]	27,01649
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38174,51

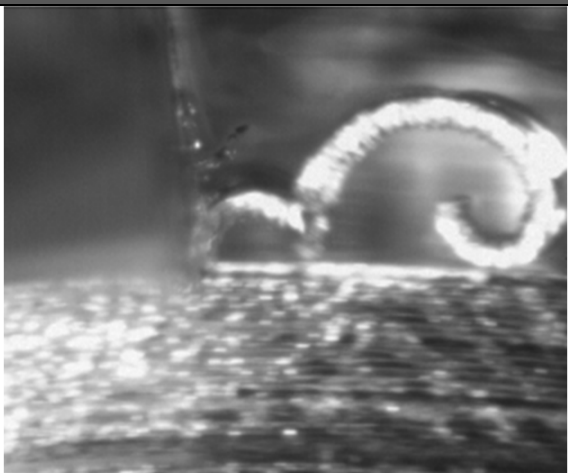
Πείραμα 4

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,002
	Διατμητική παραμόρφωση	2,367755
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,66039
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38120,35

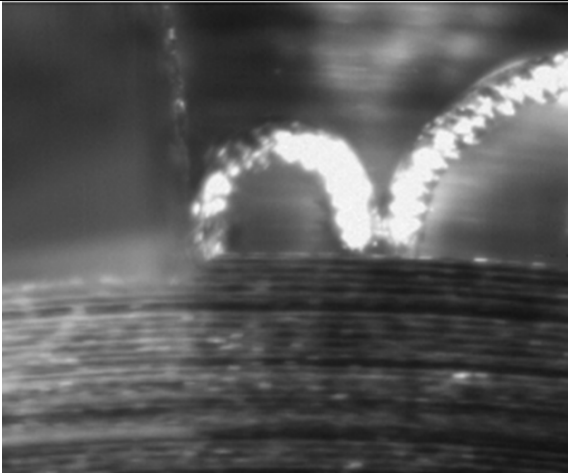
Πείραμα 5

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,0305
	Διατμητική παραμόρφωση	2,35765
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,31066
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	30519,86

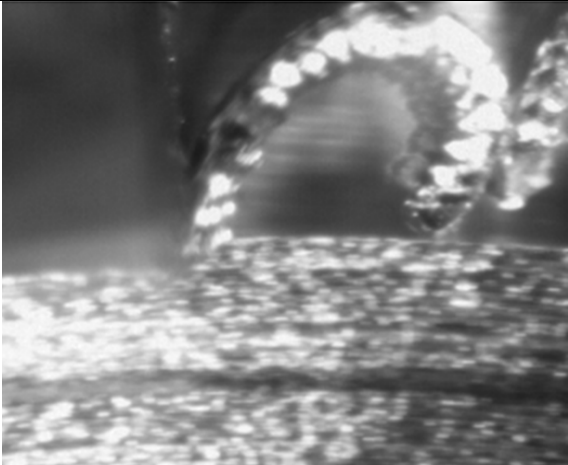
Πείραμα 6

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,025
	Διατμητική παραμόρφωση	2,322493
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,37751
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	30515,36

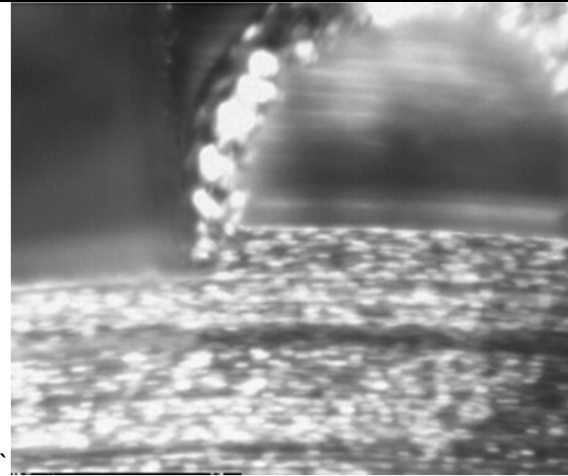
Πείραμα 7

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,03775
	Διατμητική παραμόρφωση	2,301907
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,22299
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	30525,75

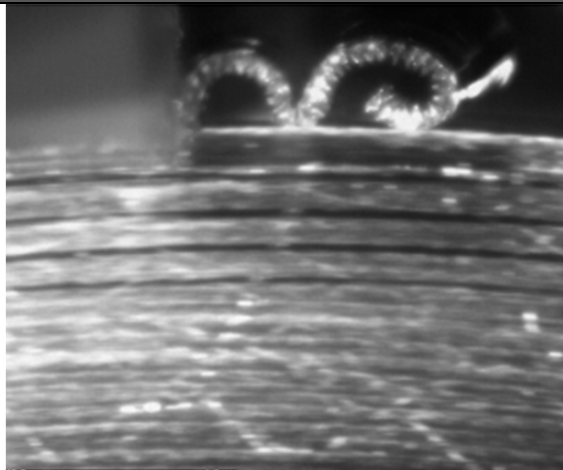
Πείραμα 8

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	1,9443
	Διατμητική παραμόρφωση	2,201705
	Γωνία διάτμησης [deg]	28,39424
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	30446,42

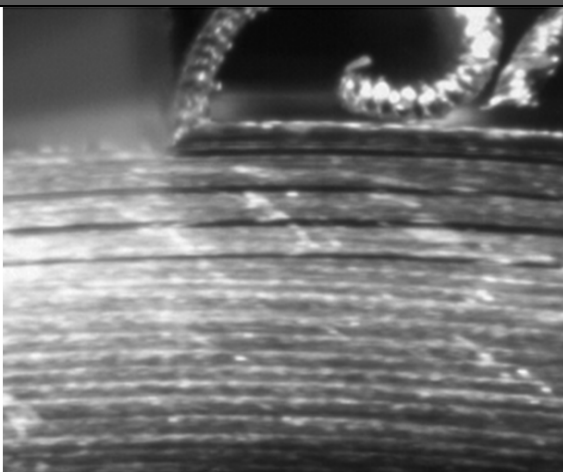
Πείραμα 9

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,3975
	Διατμητική παραμόρφωση	2,532917
	Γωνία διάτμησης [deg]	23,44764
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	23080,06

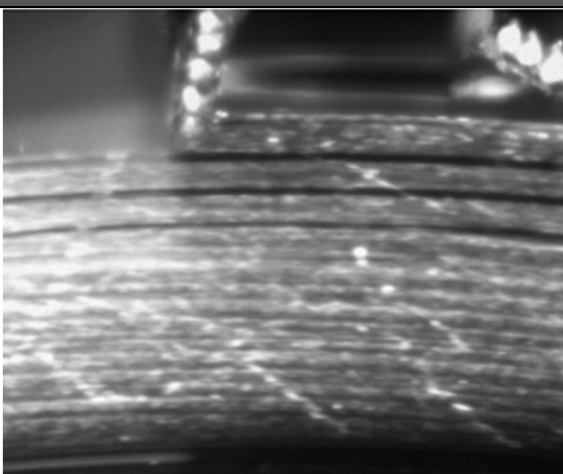
Πείραμα 10

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,0235
	Διατμητική παραμόρφωση	2,203879
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,3958
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	22885,6

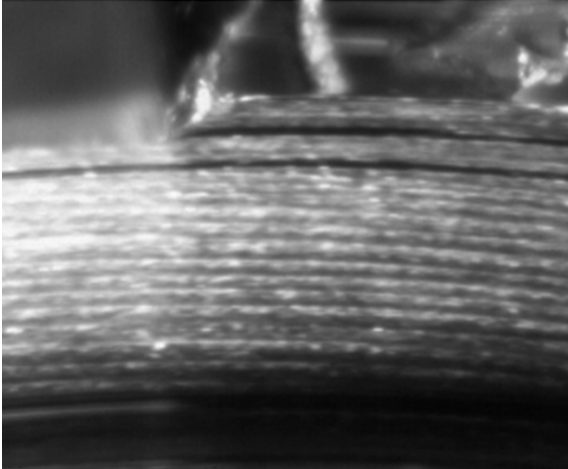
Πείραμα 11

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	1,641875
	Διατμητική παραμόρφωση	1,904304
	Γωνία διάτμησης [deg]	32,89915
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	22595,84

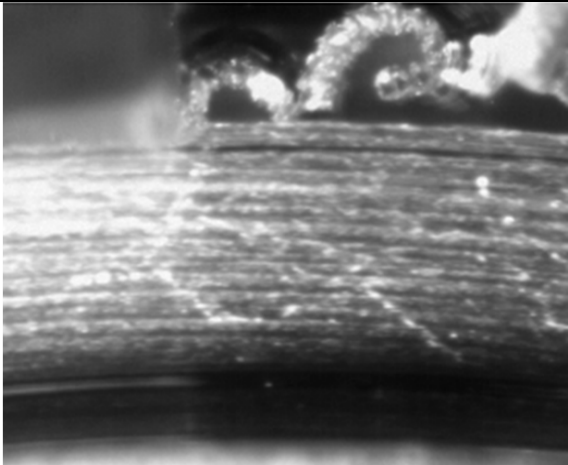
Πείραμα 12

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	1,404
	Διατμητική παραμόρφωση	1,738416
	Γωνία διάτμησης [deg]	37,42784
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	22335,55

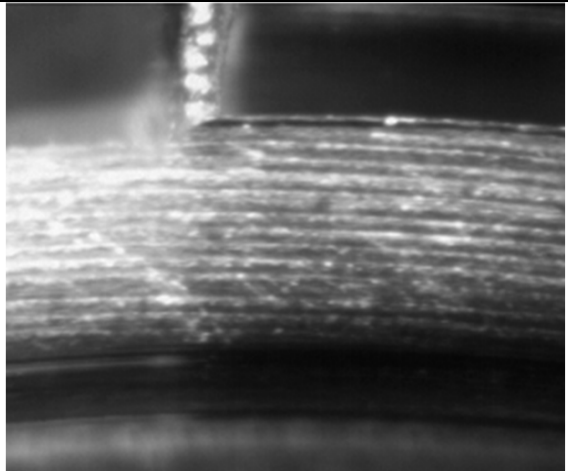
Πείραμα 13

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,65975
	Διατμητική παραμόρφωση	2,653841
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,26657
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15455,87

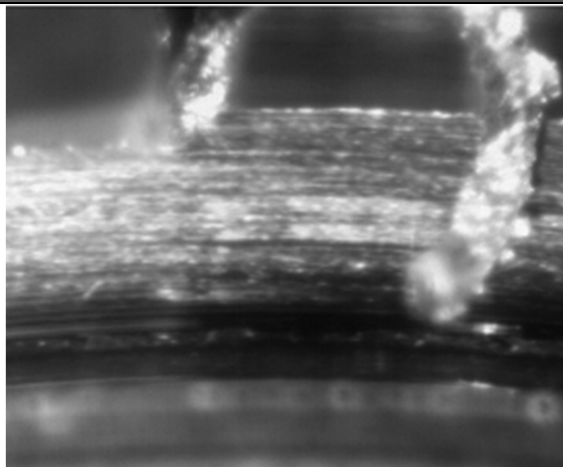
Πείραμα 14

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,2475
	Διατμητική παραμόρφωση	2,276208
	Γωνία διάτμησης [deg]	24,89533
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15339,89

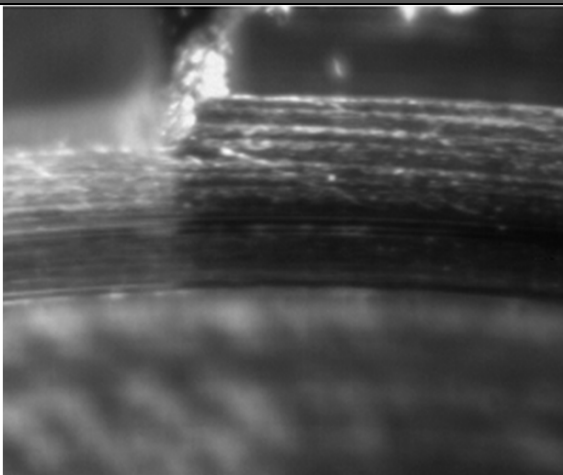
Πείραμα 15

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	1,8085
	Διατμητική παραμόρφωση	1,908849
	Γωνία διάτμησης [deg]	30,26995
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15158,26

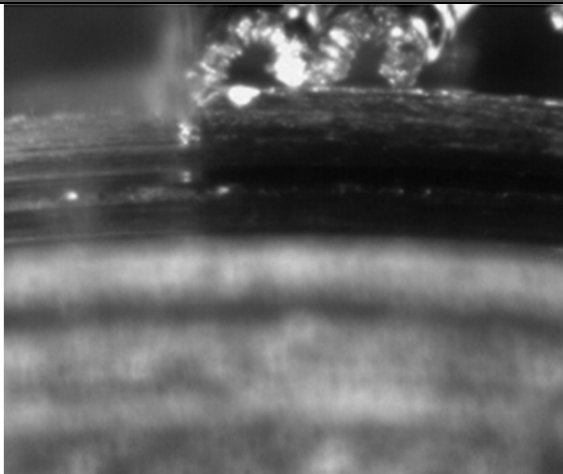
Πείραμα 16

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	1,643
	Διατμητική παραμόρφωση	1,768892
	Γωνία διάτμησης [deg]	32,88004
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15064,6

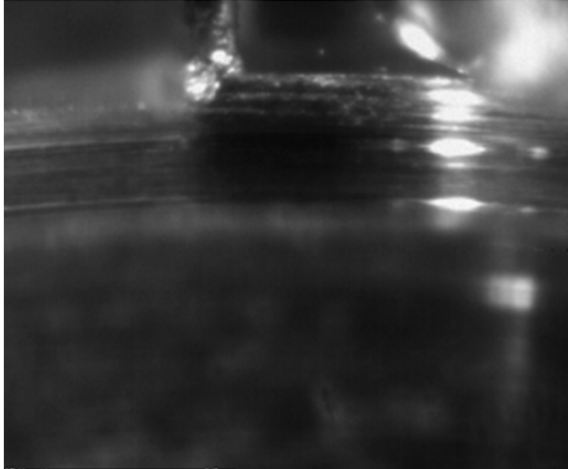
Πείραμα 17

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,2335
	Διατμητική παραμόρφωση	2,192276
	Γωνία διάτμησης [deg]	25,03903
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	76676,02

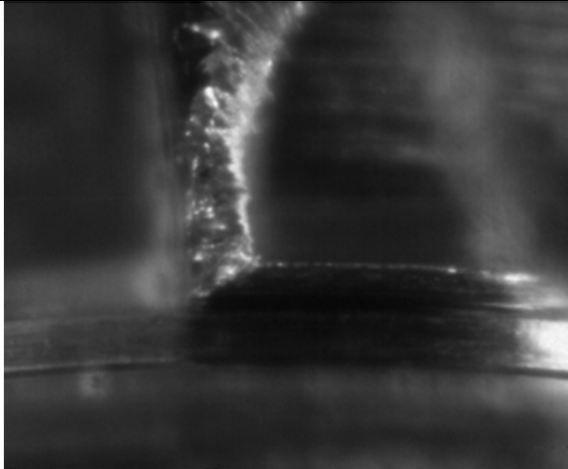
Πείραμα 18

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,253167
	Διατμητική παραμόρφωση	2,18594
	Γωνία διάτμησης [deg]	24,8376
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	76708,88

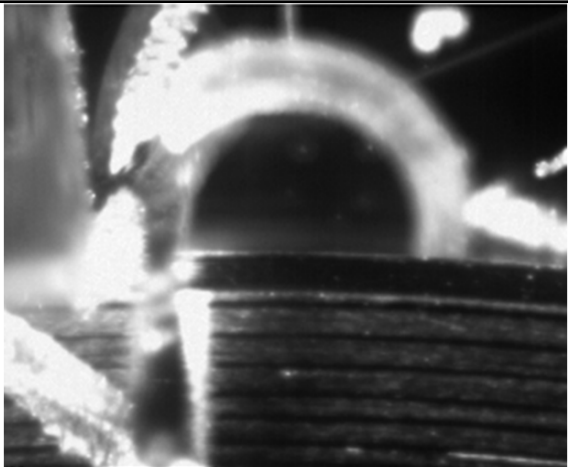
Πείραμα 19

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,3545
	Διατμητική παραμόρφωση	2,250704
	Γωνία διάτμησης [deg]	23,84616
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	76869,48


Πείραμα 20

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	6
	CCR	2,6039
	Διατμητική παραμόρφωση	2,451758
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,69804
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	77211,53

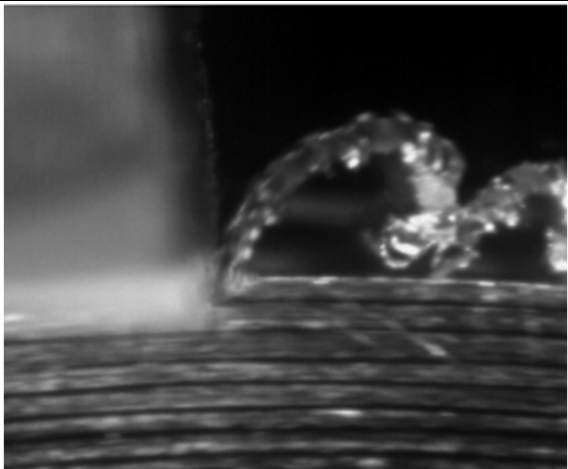
Πείραμα 21

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,18675
	Διατμητική παραμόρφωση	2,064432
	Γωνία διάτμησης [deg]	25,07351
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	39096,25


Πείραμα 22

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,730667
	Διατμητική παραμόρφωση	1,681722
	Γωνία διάτμησης [deg]	30,75322
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38843,62

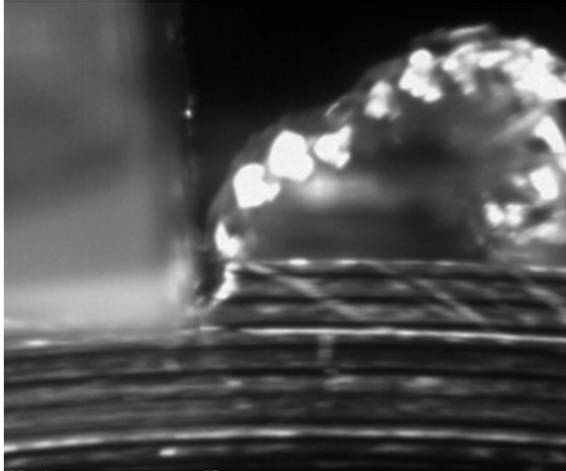
Πείραμα 23

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,626375
	Διατμητική παραμόρφωση	1,585844
	Γωνία διάτμησης [deg]	32,39258
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38765,95

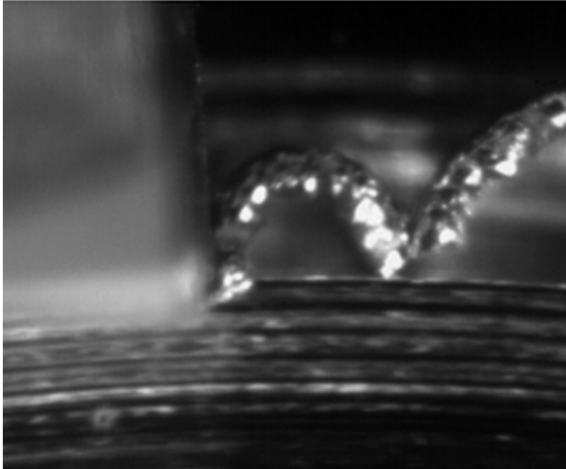
Πείραμα 24

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,8347
	Διατμητική παραμόρφωση	1,714501
	Γωνία διάτμησης [deg]	29,2612
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	38912,3


Πείραμα 25

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	3,32025
	Διατμητική παραμόρφωση	3,063193
	Γωνία διάτμησης [deg]	16,99243
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	31538,82

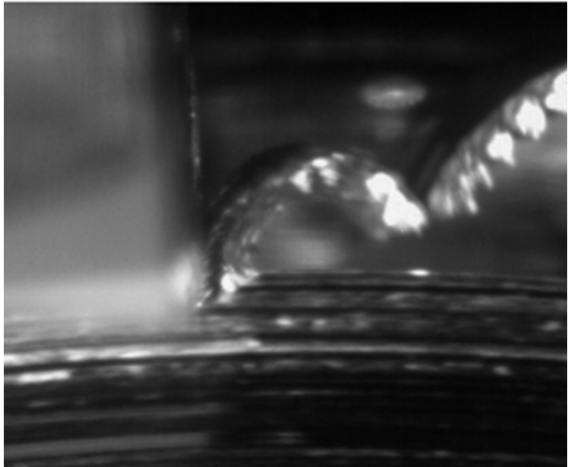
Πείραμα 26

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,562667
	Διατμητική παραμόρφωση	2,309921
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,69306
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	31389,5


Πείραμα 27

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,1155
	Διατμητική παραμόρφωση	1,885756
	Γωνία διάτμησης [deg]	25,82829
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	31251,17

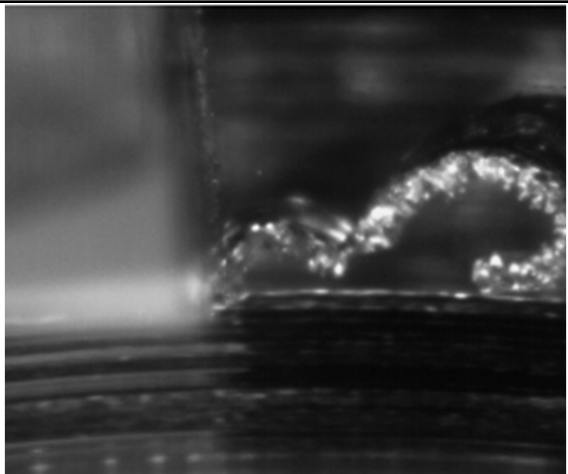
Πείραμα 28

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,9319
	Διατμητική παραμόρφωση	1,71084
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,98212
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	31175,83


Πείραμα 29

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,409
	Διατμητική παραμόρφωση	2,12034
	Γωνία διάτμησης [deg]	22,96466
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	23510,82

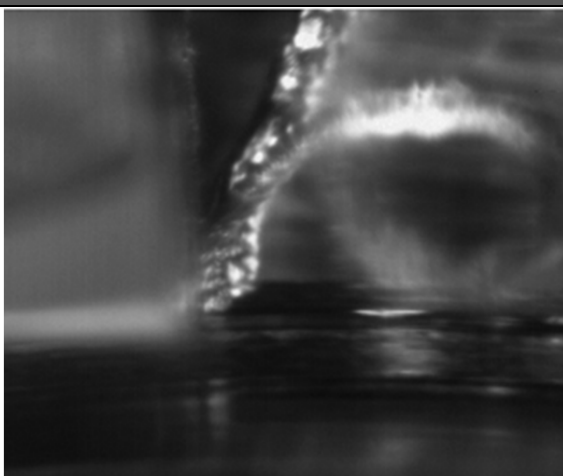
Πείραμα 30

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,993667
	Διατμητική παραμόρφωση	1,726572
	Γωνία διάτμησης [deg]	27,2215
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	23402,05

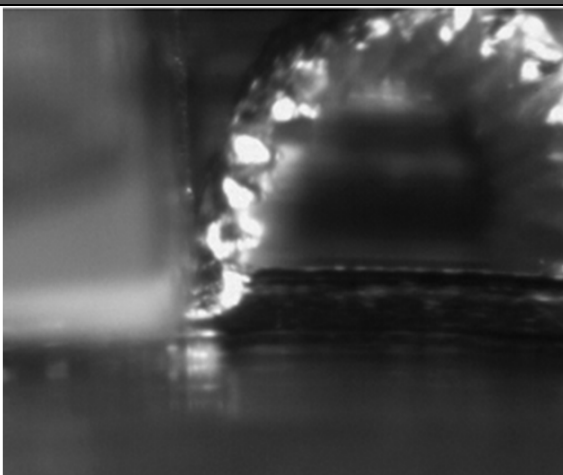
Πείραμα 31

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	1,838625
	Διατμητική παραμόρφωση	1,577794
	Γωνία διάτμησης [deg]	29,20749
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	23348,85

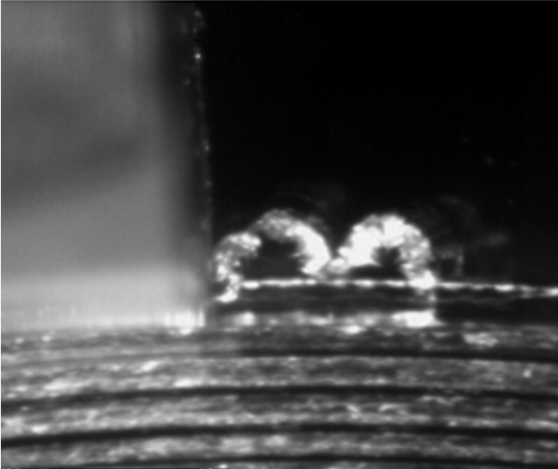
Πείραμα 32

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,4106
	Διατμητική παραμόρφωση	2,081953
	Γωνία διάτμησης [deg]	22,95069
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	23511,16

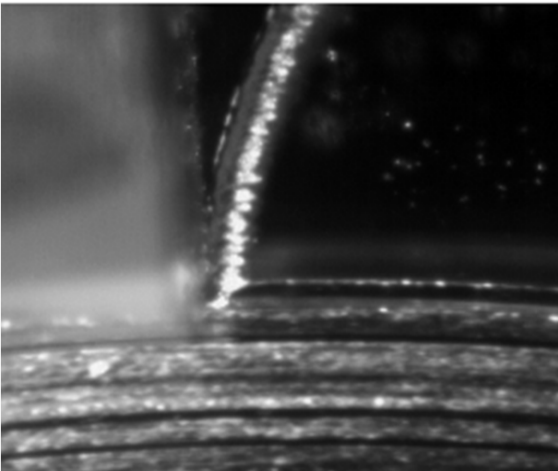
Πείραμα 33

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,707
	Διατμητική παραμόρφωση	2,366298
	Γωνία διάτμησης [deg]	20,63662
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15711,85

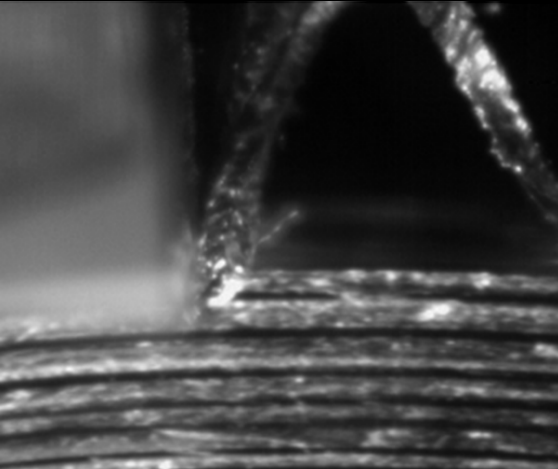
Πείραμα 34

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,5775
	Διατμητική παραμόρφωση	2,22799
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,57737
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15696,63

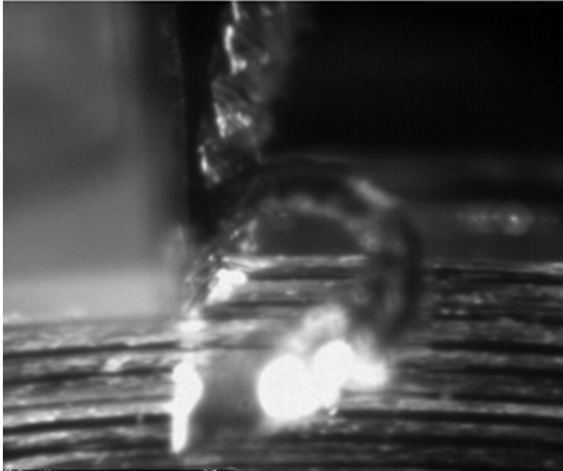
Πείραμα 35

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,625375
	Διατμητική παραμόρφωση	2,269567
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,21187
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15702,57

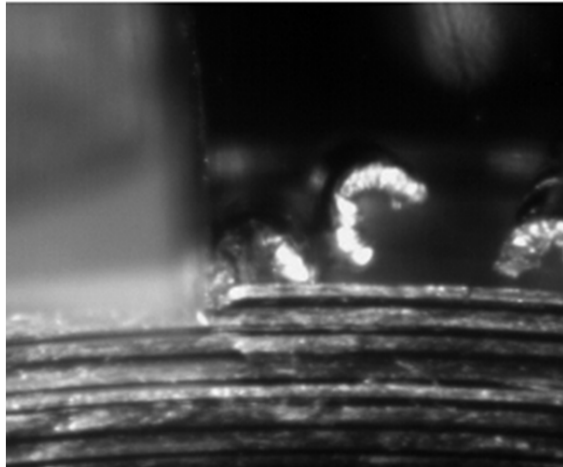
Πείραμα 36

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,4899
	Διατμητική παραμόρφωση	2,121033
	Γωνία διάτμησης [deg]	22,2781
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	15685,19

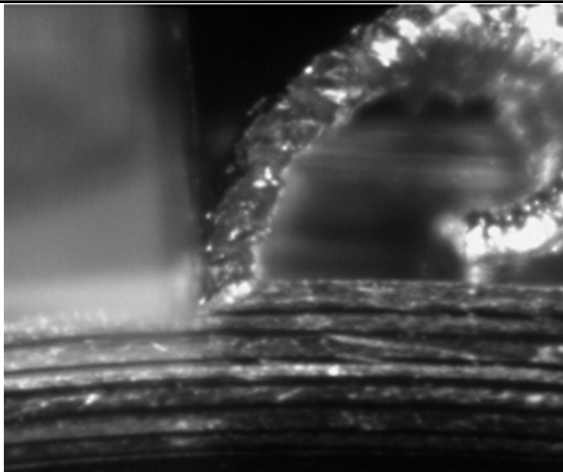
Πείραμα 37

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,4835
	Διατμητική παραμόρφωση	2,106753
	Γωνία διάτμησης [deg]	22,33099
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	7842,16

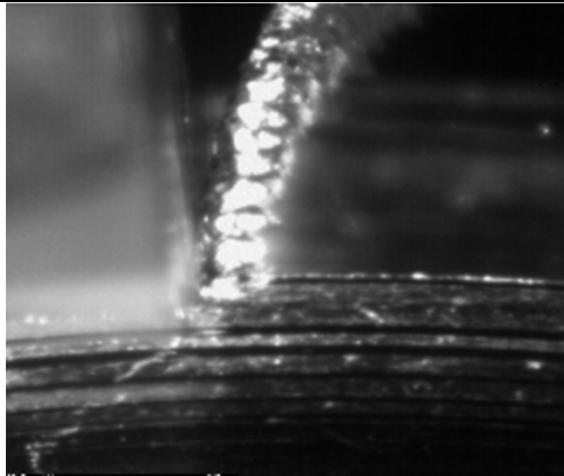
Πείραμα 38

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,6255
	Διατμητική παραμόρφωση	2,25258
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,21093
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	7851,29

Πείραμα 39

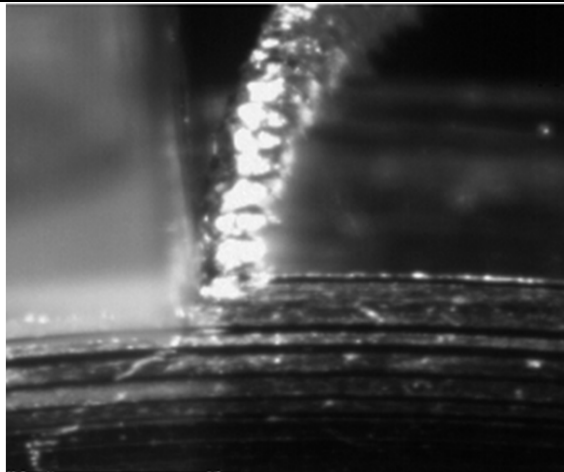
	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
	CCR	2,153375
	Διατμητική παραμόρφωση	1,748863
	Γωνία διάτμησης [deg]	25,42187
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	7816,279

Πείραμα 40



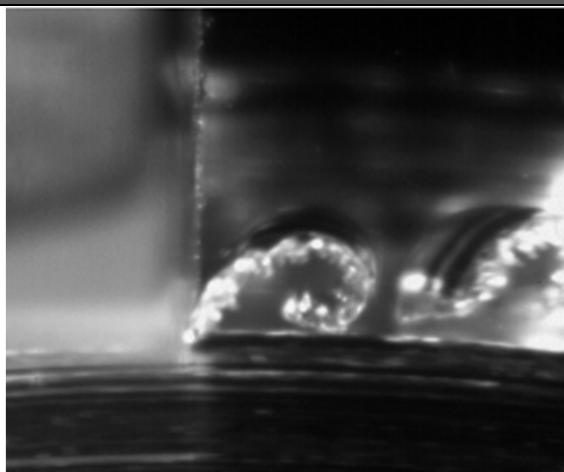
Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
Βάθος κοπής [mm]	0,5
Γωνία αποβλίπτου [deg]	3
CCR	2,5928
Διατμητική παραμόρφωση	2,209935
Γωνία διάτμησης [deg]	21,45926
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	7849,276

Πείραμα 41



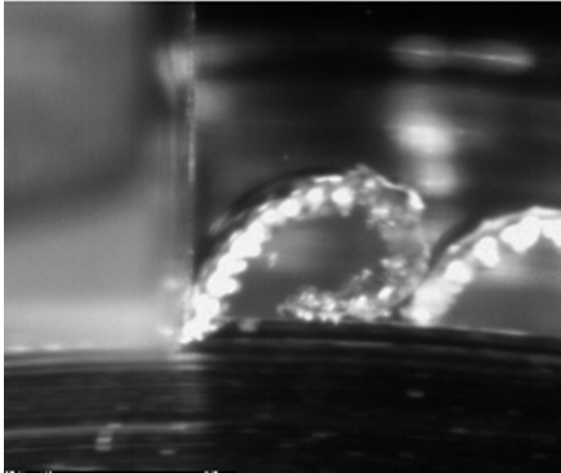
Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,2
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,389
Διατμητική παραμόρφωση	2,255309
Γωνία διάτμησης [deg]	20,78449
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	40000

Πείραμα 42



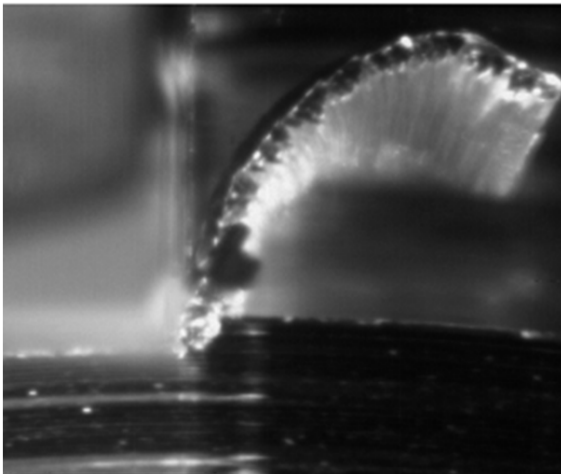
Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,3
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,634667
Διατμητική παραμόρφωση	1,97717
Γωνία διάτμησης [deg]	22,71346
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	40000

Πείραμα 43



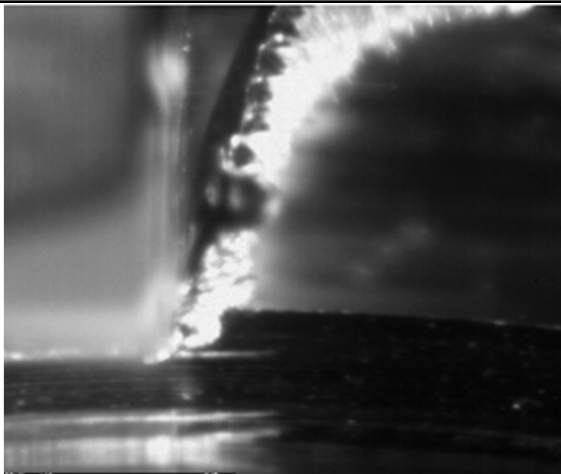
Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,4
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	1,99075
Διατμητική παραμόρφωση	1,543817
Γωνία διάτμησης [deg]	26,67144
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	40000

Πείραμα 44



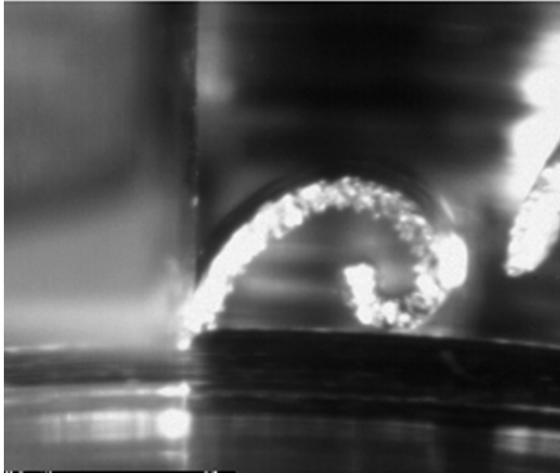
Ταχύτητα κοπής [m/min]	100
Βάθος κοπής [mm]	0,5
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	1,7758
Διατμητική παραμόρφωση	1,320113
Γωνία διάτμησης [deg]	29,38501
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	40000

Πείραμα 45



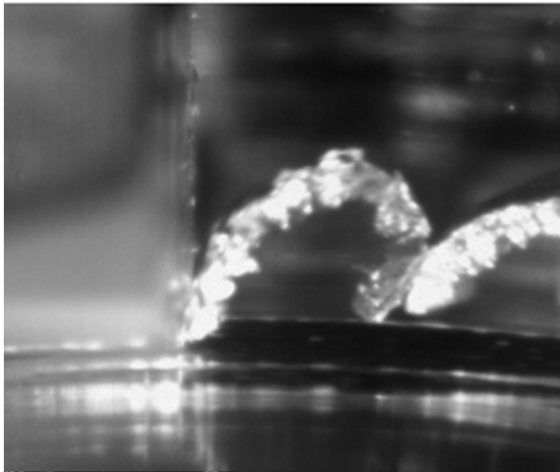
Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
Βάθος κοπής [mm]	0,2
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,99
Διατμητική παραμόρφωση	2,70148
Γωνία διάτμησης [deg]	18,49242
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	32000

Πείραμα 46



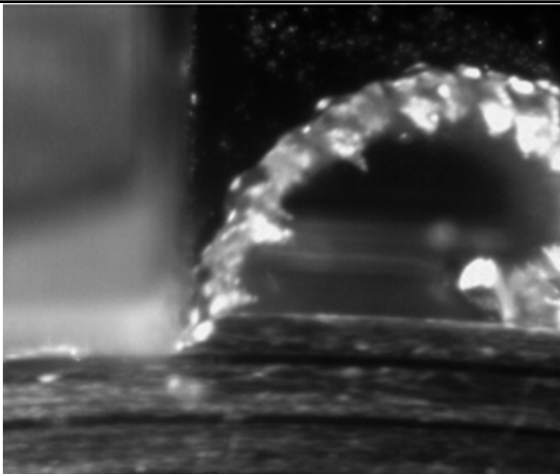
Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
Βάθος κοπής [mm]	0,3
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,1555
Διατμητική παραμόρφωση	1,699756
Γωνία διάτμησης [deg]	24,88798
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	32000

Πείραμα 47



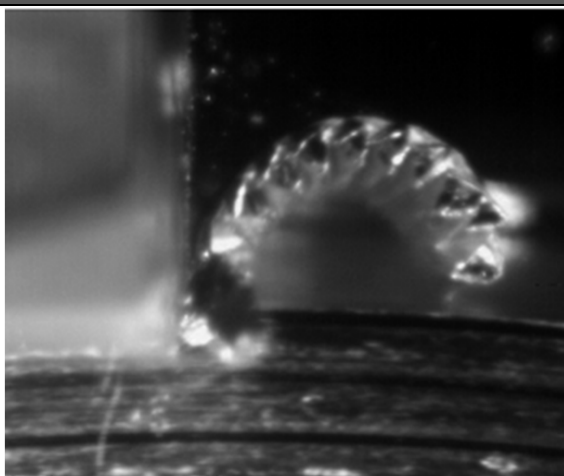
Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
Βάθος κοπής [mm]	0,4
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	1,939625
Διατμητική παραμόρφωση	1,455254
Γωνία διάτμησης [deg]	27,27398
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	32000

Πείραμα 48



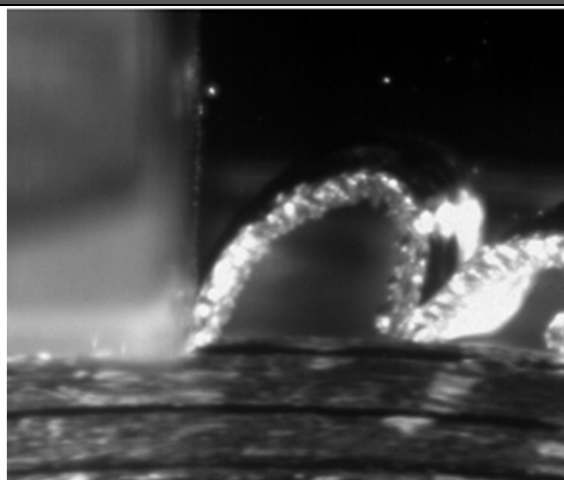
Ταχύτητα κοπής [m/min]	80
Βάθος κοπής [mm]	0,5
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	1,6399
Διατμητική παραμόρφωση	1,140889
Γωνία διάτμησης [deg]	31,37456
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	32000

Πείραμα 49



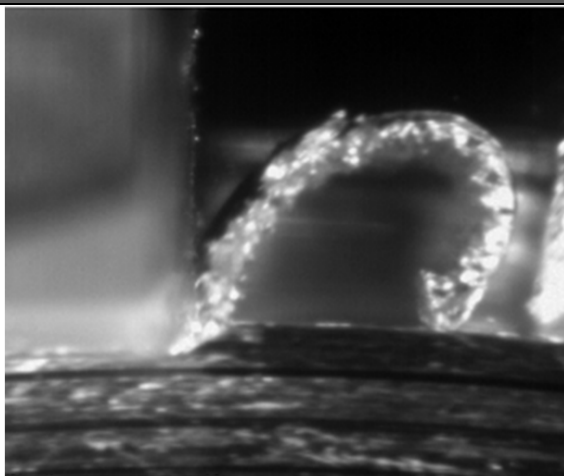
Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
Βάθος κοπής [mm]	0,2
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	3,25
Διατμητική παραμόρφωση	3,122087
Γωνία διάτμησης [deg]	17,10273
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	24000

Πείραμα 50



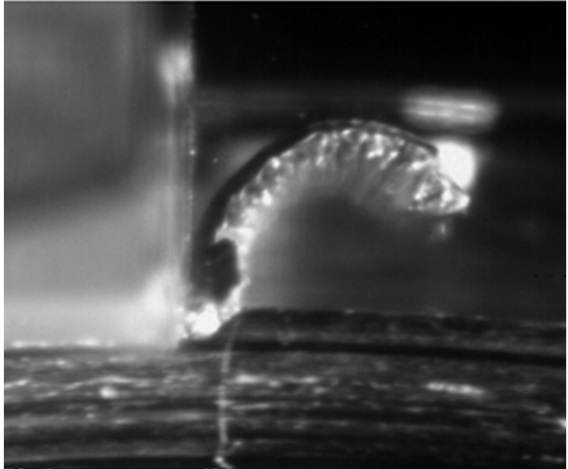
Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
Βάθος κοπής [mm]	0,3
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,428667
Διατμητική παραμόρφωση	2,035394
Γωνία διάτμησης [deg]	22,37934
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	24000

Πείραμα 51

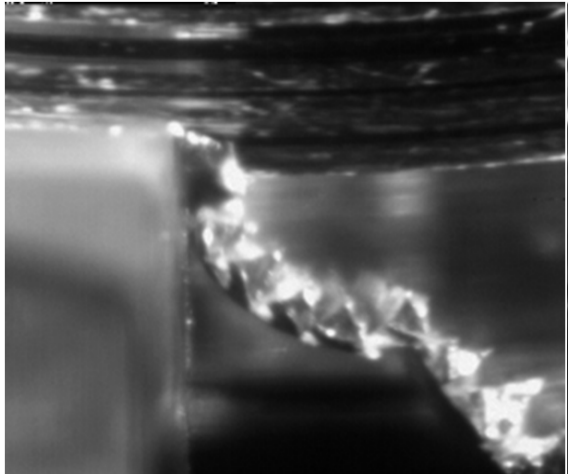


Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
Βάθος κοπής [mm]	0,4
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	1,905
Διατμητική παραμόρφωση	1,39141
Γωνία διάτμησης [deg]	27,69653
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	24000

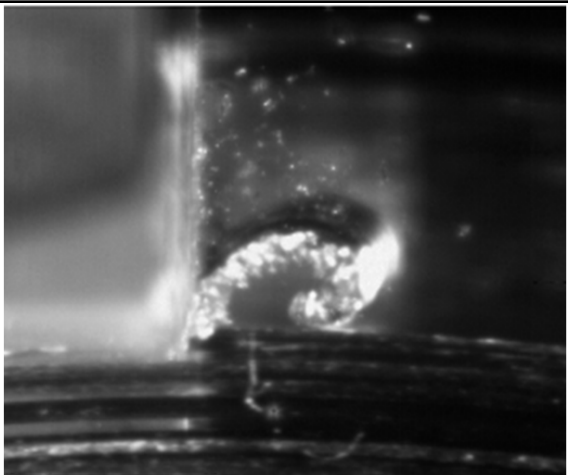
Πείραμα 52

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	60
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	1,8282
	Διατμητική παραμόρφωση	1,298058
	Γωνία διάτμησης [deg]	28,67805
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	24000

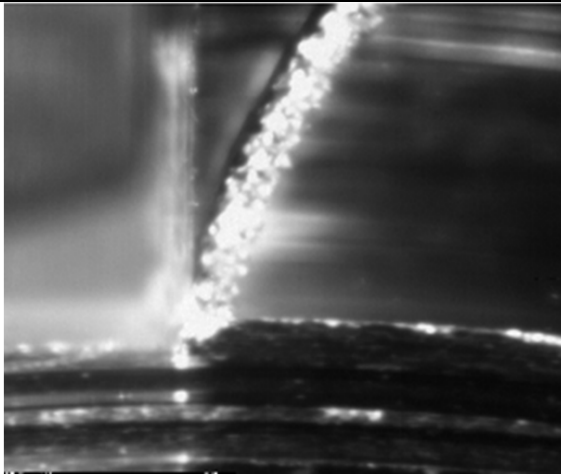
Πείραμα 53

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,2
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	3,8165
	Διατμητική παραμόρφωση	4,122943
	Γωνία διάτμησης [deg]	14,68258
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	16000

Πείραμα 54

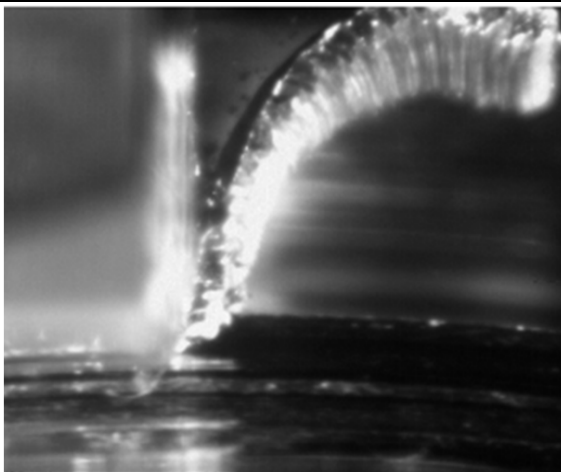
	Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	2,953
	Διατμητική παραμόρφωση	2,847306
	Γωνία διάτμησης [deg]	18,70809
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	16000

Πείραμα 55



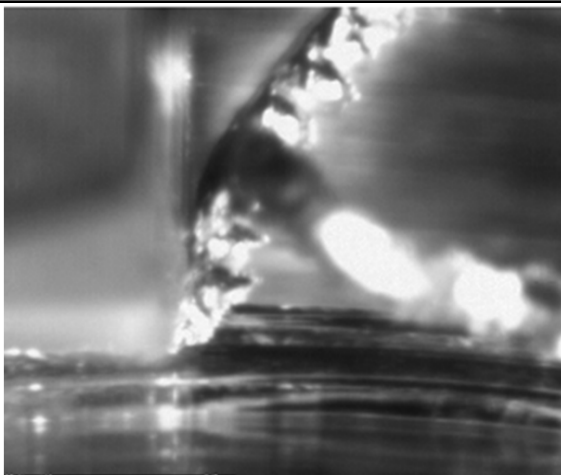
Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
Βάθος κοπής [mm]	0,4
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,33475
Διατμητική παραμόρφωση	1,960954
Γωνία διάτμησης [deg]	23,186
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	16000

Πείραμα 56



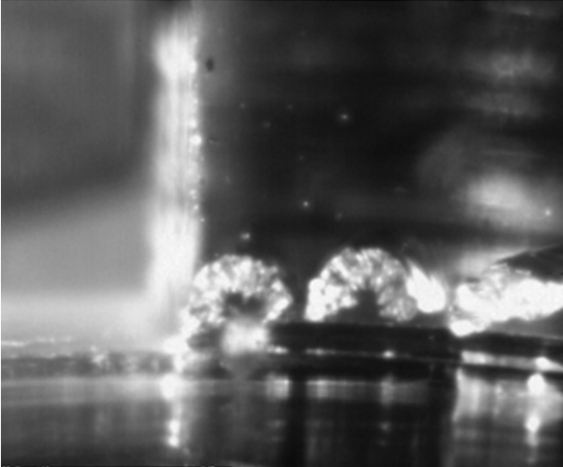
Ταχύτητα κοπής [m/min]	40
Βάθος κοπής [mm]	0,5
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	2,002
Διατμητική παραμόρφωση	1,505875
Γωνία διάτμησης [deg]	26,56276
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	16000

Πείραμα 57

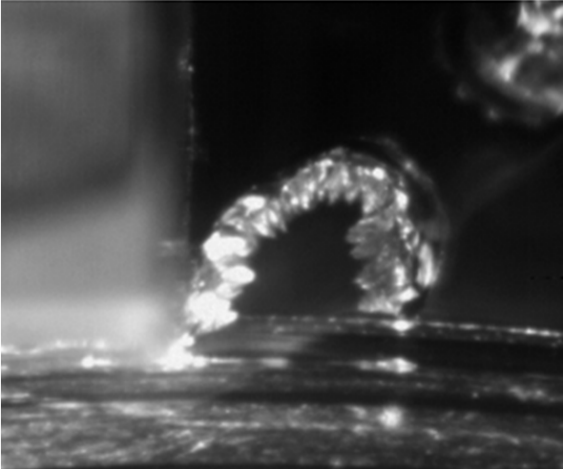


Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
Βάθος κοπής [mm]	0,2
Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
CCR	3,20475
Διατμητική παραμόρφωση	3,377367
Γωνία διάτμησης [deg]	17,32984
Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	8000

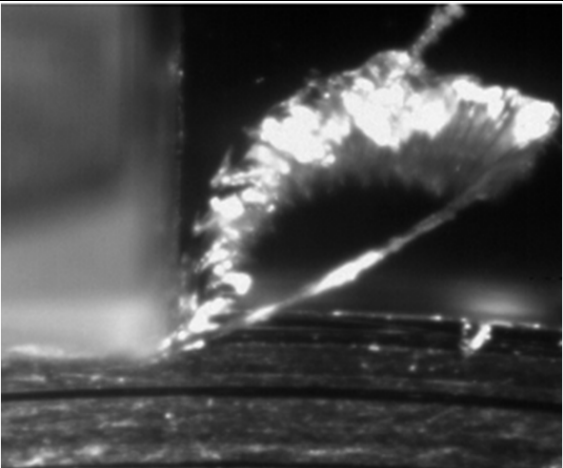
Πείραμα 58

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,3
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	2,51233
	Διατμητική παραμόρφωση	2,694265
	Γωνία διάτμησης [deg]	19,90478
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	8000

Πείραμα 59

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,4
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	2,76175
	Διατμητική παραμόρφωση	2,545377
	Γωνία διάτμησης [deg]	20,69158
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	8000

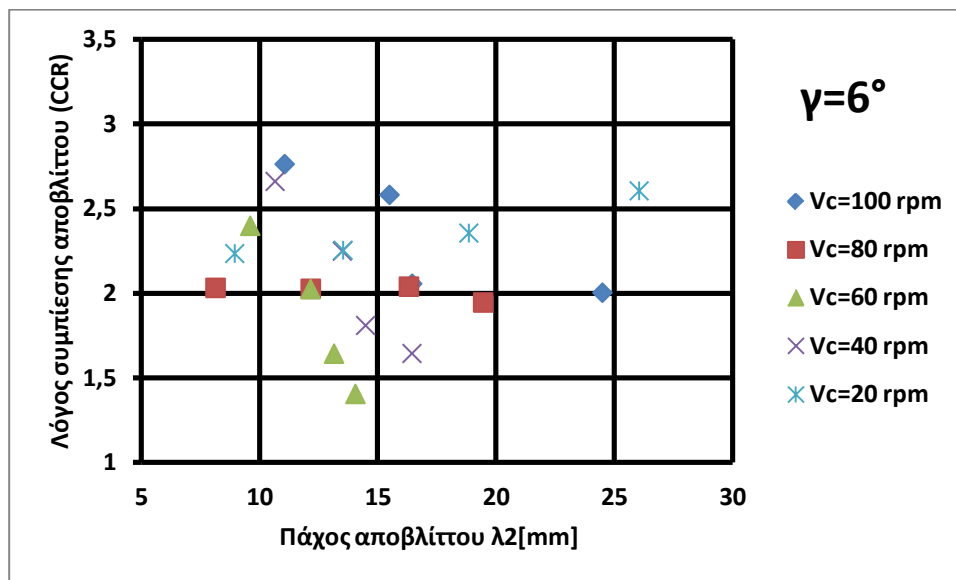
Πείραμα 60

	Ταχύτητα κοπής [m/min]	20
	Βάθος κοπής [mm]	0,5
	Γωνία αποβλίπτου [deg]	0
	CCR	2,6476
	Διατμητική παραμόρφωση	2,356638
	Γωνία διάτμησης [deg]	21,70435
	Ρυθμός διατ. παραμ. [sec ⁻¹]	8000

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

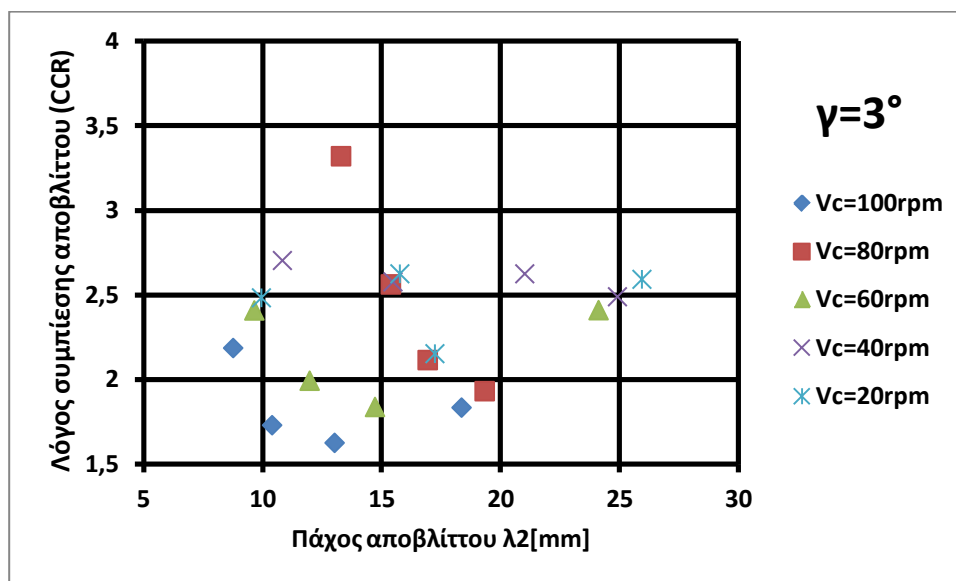
4.1 Επίδραση του πάχους αποβλίπτου στον λόγο συμπίεσης αποβλίπτου

Το πάχος αποβλίπτου μετρήθηκε για κάθε πείραμα από την επιλεγμένη εικόνα. Τα αποτελέσματα παριστάνονται γραφικά στα διαγράμματα λόγου συμπίεσης αποβλίπτου–πάχους αποβλίπτου (σχήμα 4.1, σχήμα 4.2, σχήμα 4.3). Το κάθε διάγραμμα αντιστοιχεί σε μια από τις τρεις διαφορετικές γωνίες κοπής, με σταθερή την ταχύτητα κοπής. Τα τρία διαγράμματα (σχήμα 4.1, σχήμα 4.2 σχήμα 4.3)παρουσιάζουν μια βασική ομοιότητα, όσο το πάχος αποβλίπτου αυξάνεται, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου μειώνεται. Ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου κυμαίνεται από 3,8165 μέχρι 1,404.



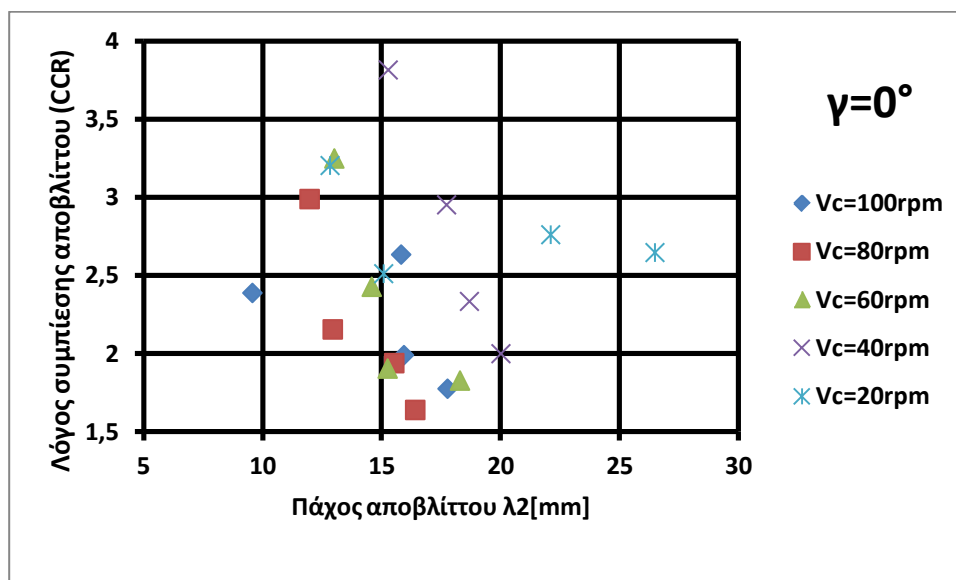
Σχήμα 4.1 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίπτου – πάχους αποβλίπτου, με γωνία αποβλίπτου 6°

Πιο συγκεκριμένα όταν η γωνία κοπής είναι 6°, η μέγιστη τιμή είναι 2,7175 και παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα κοπής είναι 100 [m/min], ενώ η ελάχιστη τιμή είναι 1,404 και παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα κοπής είναι 60 [m/min]. Παρατηρείται μια ομοιομορφία σε αυτό το διάγραμμα καθώς ξεκάθαρα όσο το πάχος αποβλίπτου αυξάνεται, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου μειώνεται.



Σχήμα 4.2 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίττου – πάχους αποβλίττου, με γωνία αποβλίττου 3°

Όταν η γωνία κοπής είναι 3° (σχήμα 4.2), η μέγιστη τιμή είναι 2,7175 και παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα κοπής είναι 100 [m/min], ενώ η ελάχιστη τιμή είναι 1,404 και παρουσιάζεται όταν η ταχύτητα κοπής είναι 60 [m/min]. Στα στοιχεία του διαγράμματος αυτού παρατηρείται μια κυρτότητα που όμως δεν αποκλίνει από το αρχικό συμπέρασμα. Και σε αυτό το διάγραμμα όσο το πάχος αποβλίττου αυξάνεται, ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου μειώνεται.

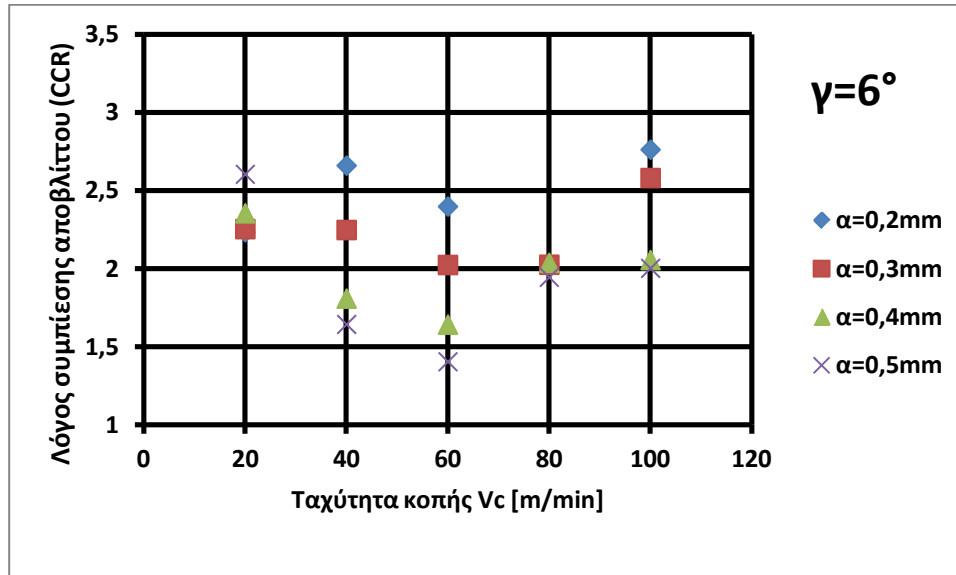


Σχήμα 4.3 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίττου – πάχους αποβλίττου, με γωνία αποβλίττου 0°

Το τρίτο και τελευταίο διάγραμμα ακολουθεί τη ροή του πρώτου. Με μέγιστη τιμή 3,8165 με ταχύτητα 40 [m/min], και ελάχιστη 1,6399 με ταχύτητα 80 [m/min].

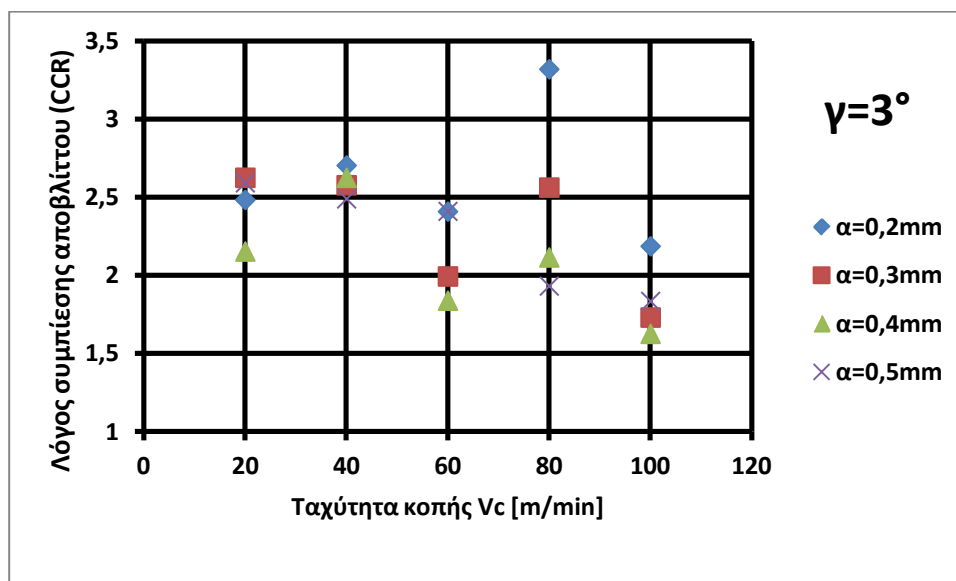
4.2 Επίδραση της ταχύτητας κοπής στον λόγο συμπίεσης αποβλίπτου

Από τα τρία διαγράμματα Ταχύτητας κοπής – Λόγου συμπίεσης αποβλίπτου(σχήμα 4.4, σχήμα 4.5, σχήμα 4.6) παρατηρείτε ότι όσο η ταχύτητα κοπής αυξάνεται, ο λόγος συμπίεσης αποβλίπτου μειώνεται, υπάρχουν όμως και κάποιες τιμές που αποκλίνουν από τη σχέση αυτή.



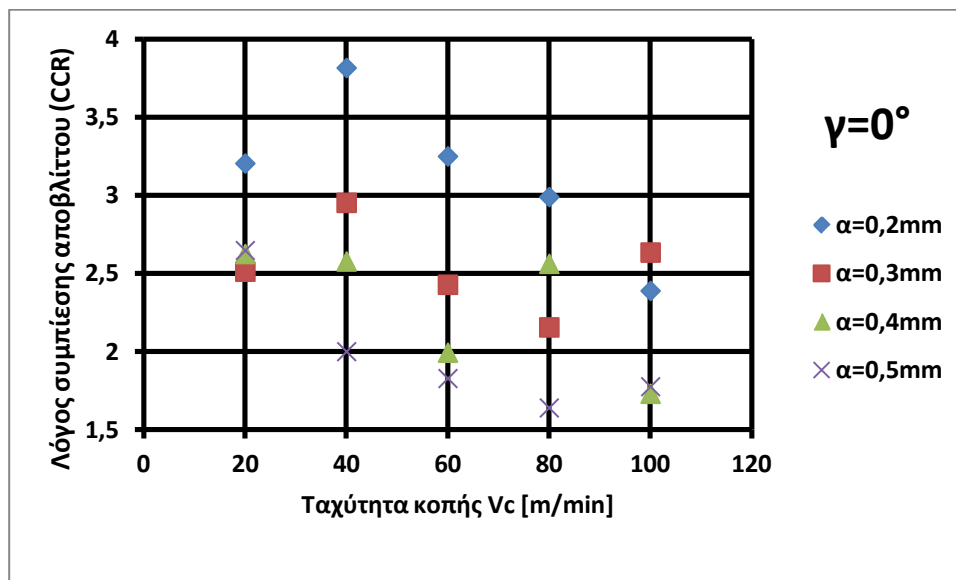
Σχήμα 4.4 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίπτου – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίπτου 6°

Το πρώτο διάγραμμα(σχήμα 4.1) με γωνία κοπής 6° παρουσιάζει μεγάλο λόγο συμπίεσης αποβλίπτου 2,65975 και 2,76175 στις ταχύτητες 40 [m/min], και 100 [m/min], με βάθος κοπής 0,2 [mm] και στις δύο περιπτώσεις. Η μικρότερη τιμή του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου (1,404) σε αυτό το διάγραμμα παρουσιάζεται στην ταχύτητα κοπής 60 [m/min], με βάθος κοπής 0,5[mm].



Σχήμα 4.5 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίττου – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίττου 3°

Το διάγραμμα με γωνία κοπής 3° δίνει μέγιστη τιμή του λόγου συμπίεσης αποβλίττου 3,32025 για ταχύτητα 80 [m/min], και βάθος κοπής 0.2 [mm], ενώ ελάχιστη τιμή 1,626375 παρουσιάζει για ταχύτητα 100 [m/min], και βάθος κοπής 0.4 [mm]. Επίσης παρατηρείται ότι οι τιμές του λόγου συμπίεσης αποβλίττου για τα τέσσερα διαφορετικά βάθη κοπής ταυτίζονται στην ταχύτητα κοπής 40 [m/min]. Η μεγαλύτερη απόκλιση παρουσιάζεται στην ταχύτητα κοπής 80[m/min], όπου εμφανίζονται τιμές από 1,9319 μέχρι 3,32025.

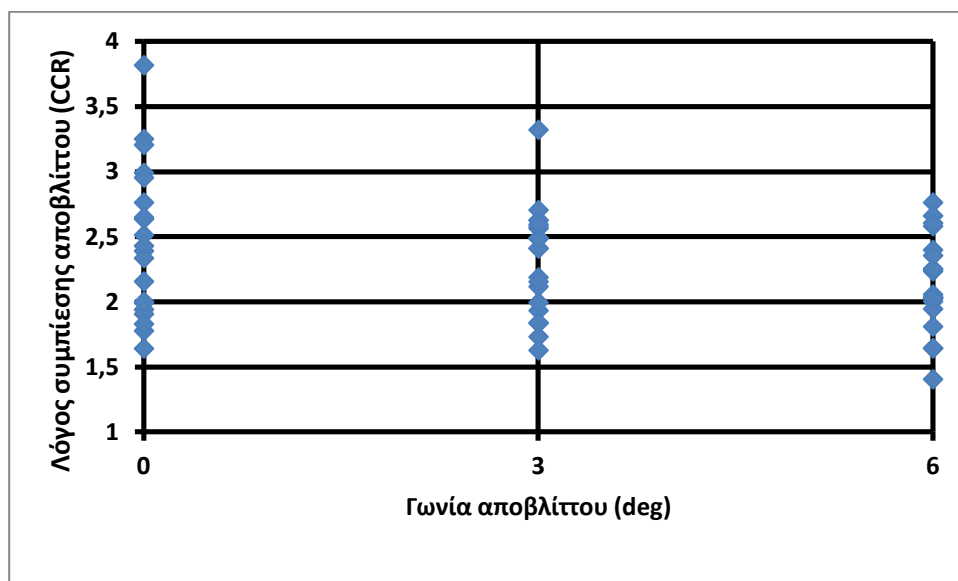


Σχήμα 4.6 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίττου – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίττου 0°

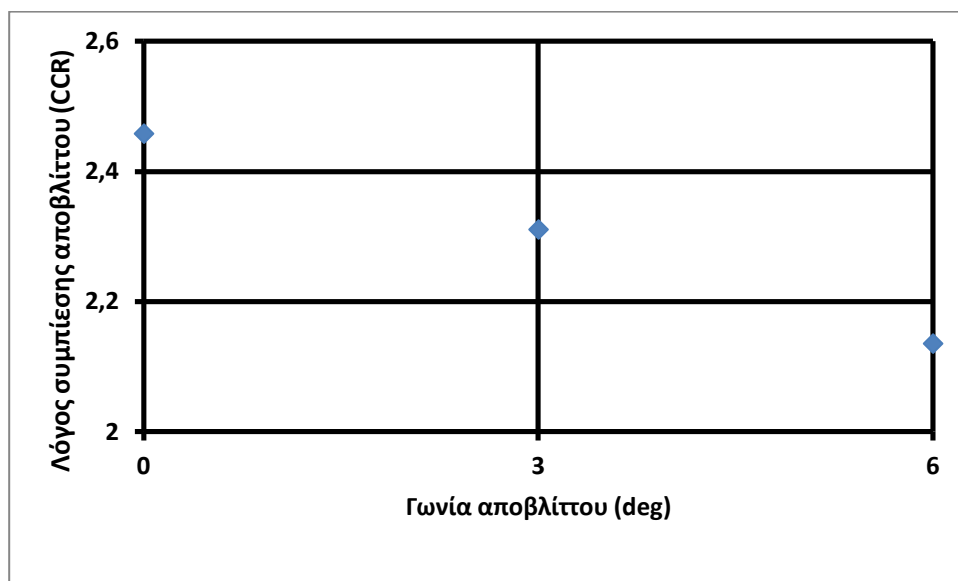
Στο διάγραμμα με γωνία κοπής 0° εμφανίζεται μια ομοιομορφία στην κατανομή των τιμών ανά βάθος κοπής. Οι τιμές ανά ταχύτητα κοπής είναι μεταξύ τους παράλληλες και όσο μειώνεται το βάθος κοπής αυξάνεται ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου.

4.3 Επίδραση της γωνίας αποβλίττου στον λόγο συμπίεσης αποβλίττου

Στο διάγραμμα γωνίας αποβλίττου – λόγου συμπίεσης αποβλίττου (σχήμα 4.7) εμφανίζονται όλες οι τιμές του λόγου συμπίεσης αποβλίττου για τις τρεις γωνίες αποβλίττου. Καθώς η γωνία αποβλίττου αυξάνεται, ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου μειώνεται. Το συμπέρασμα αυτό φαίνεται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.7 Διάγραμμα λόγου συμπίεσης αποβλίττου – γωνίας αποβλίττου

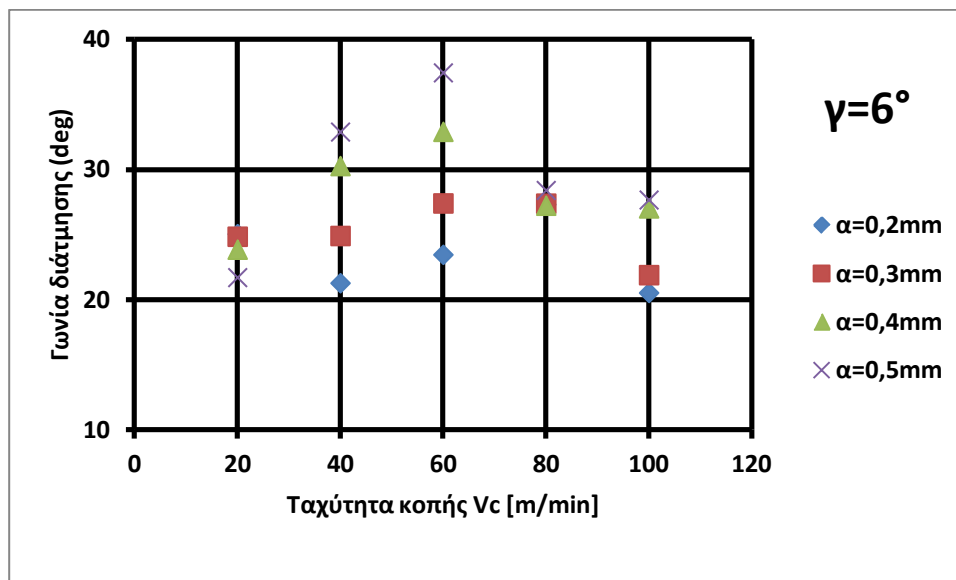


Σχήμα 4.8 Διάγραμμα Μ.Ο. λόγου συμπίεσης αποβλίττου – γωνίας αποβλίττου

Το σχήμα 4.8 παρουσιάζει για την κάθε γωνία αποβλίπτου τον μέσο όρο των τιμών του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου. Φαίνεται πως για τις γωνίες αποβλίπτου 0, 3, 6° ο μέσος όρος των τιμών του λόγου συμπίεσης αποβλίπτου είναι 2,4579, 2,310633 και 2,135358 αντίστοιχα. Δηλαδή υπάρχει μείωση του λόγου αποβλίπτου κατά 0,175275 όταν η γωνία αποβλίπτου αυξάνεται από τις 0 στις 3° και κατά 0,147267 όταν η γωνία αποβλίπτου αυξάνεται από τις 3 στις 6°.

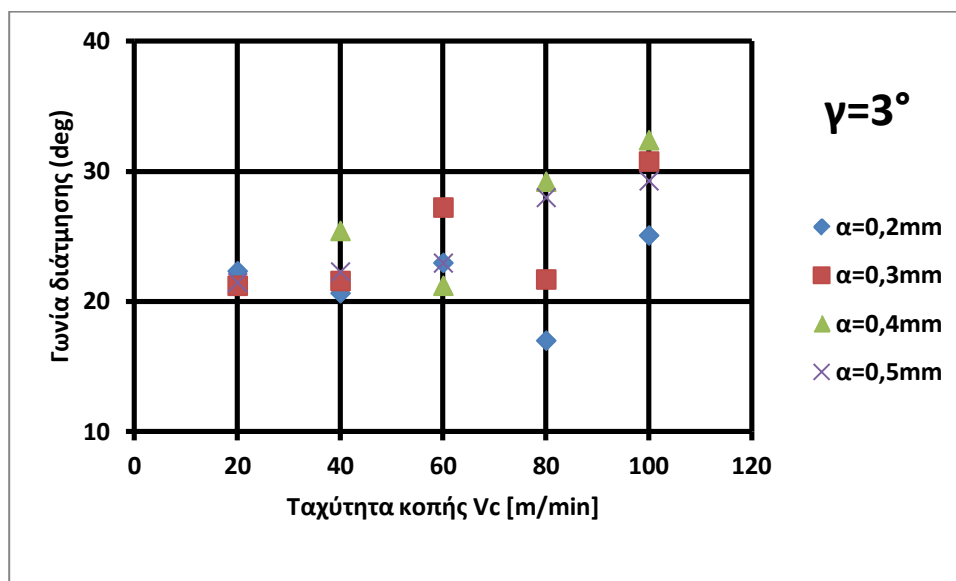
4.4 Επίδραση της ταχύτητας κοπής στη γωνία διάτμησης

Στα διαγράμματα Σχήμα 4.9, Σχήμα 4.10, Σχήμα 4.11, φαίνονται οι τιμές της γωνίας διάτμησης σε σχέση με την ταχύτητα κοπής.



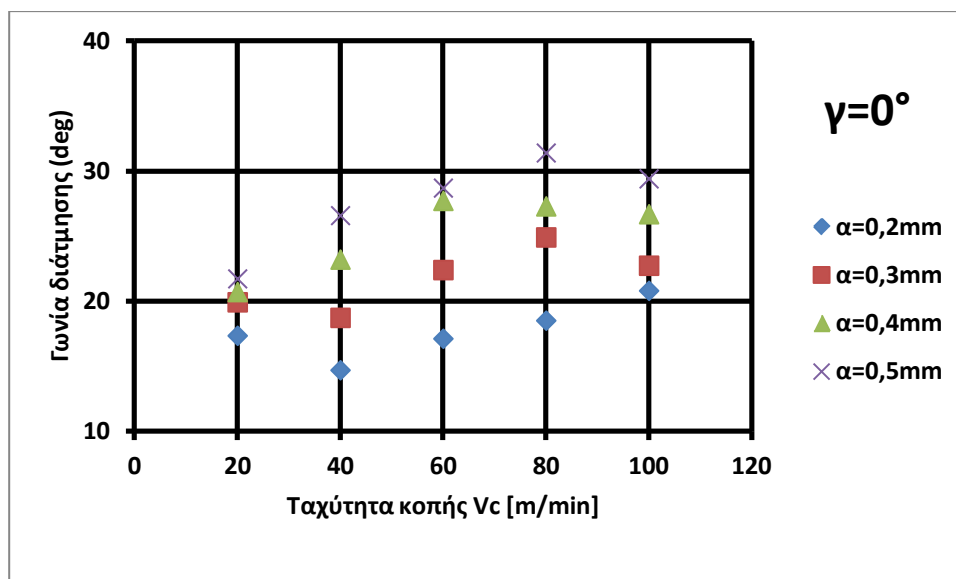
Σχήμα 4.9 Διάγραμμα γωνίας διάτμησης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίπτου 6°

Το σχήμα 4.9 παρουσιάζει τις τιμές της γωνίας διάτμησης σε κάθε ταχύτητα κοπής με γωνία αποβλίπτου 6°. Η μεγαλύτερη γωνία διάτμησης παρατηρείται καθώς η ταχύτητα κοπής είναι 60 rpm και το πάχος αποβλίπτου είναι 0,5mm. Από το σχήμα 4.9 φαίνεται ακόμα ότι για όλες τις τιμές της ταχύτητας, η γωνία διάτμησης μεγαλώνει καθώς αυξάνεται το βάθος κοπής.



Σχήμα 4.10 Διάγραμμα γωνίας διάτμησης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίτου 3°

Το σχήμα 4.10 παρουσιάζει τις τιμές της γωνίας διάτμησης σε κάθε ταχύτητα κοπής με γωνία αποβλίτου 3° . Η μεγαλύτερη γωνία διάτμησης παρατηρείται καθώς η ταχύτητα κοπής είναι 100 rpm και το πάχος αποβλίτου είναι 0,4mm. Σε αυτό το σχήμα 4.10 όπως και στο προηγούμενο παρατηρείται ότι η γωνία διάτμησης μεγαλώνει καθώς αυξάνεται το βάθος κοπής.

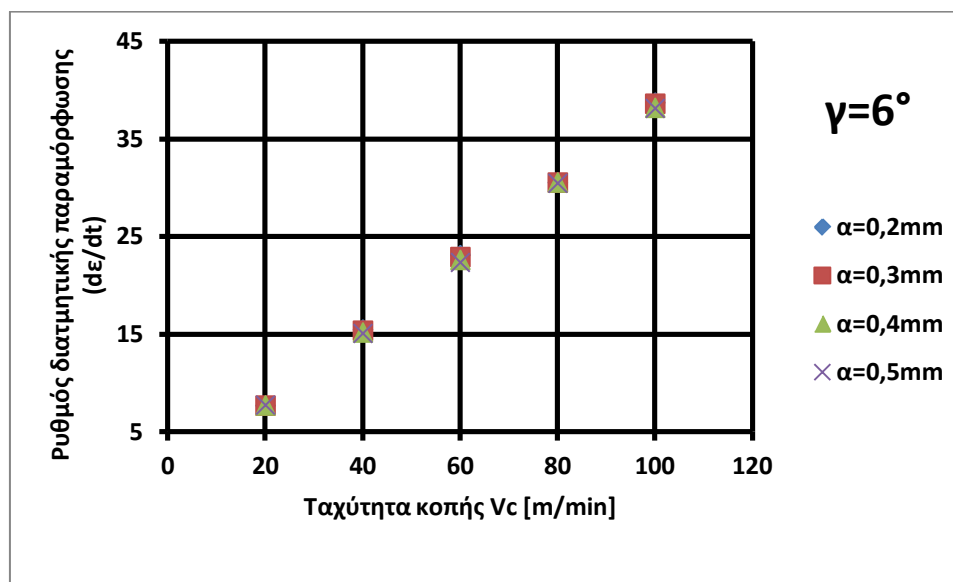


Σχήμα 4.11 Διάγραμμα γωνίας διάτμησης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίτου 0°

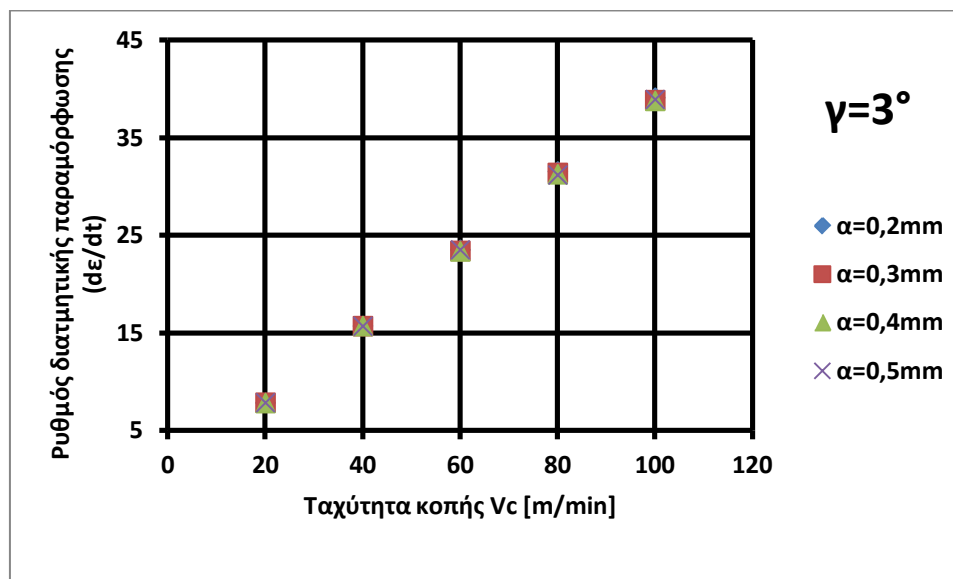
Και σε αυτό το διάγραμμα παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το βάθος κοπής, αυξάνεται και η γωνία αποβλίτου. Μέγιστη τιμή της γωνίας διάτμησης παρουσιάζεται στο πείραμα με βάθος κοπής 0,5mm και ταχύτητα κοπής 80rpm, ενώ ελάχιστη τιμή της γωνίας διάτμησης παρουσιάζεται στο πείραμα με βάθος κοπής 0,2mm και ταχύτητα κοπής 40rpm.

4.5 Επίδραση της ταχύτητας κοπής στο ρυθμό διατμητικής παραμόρφωσης

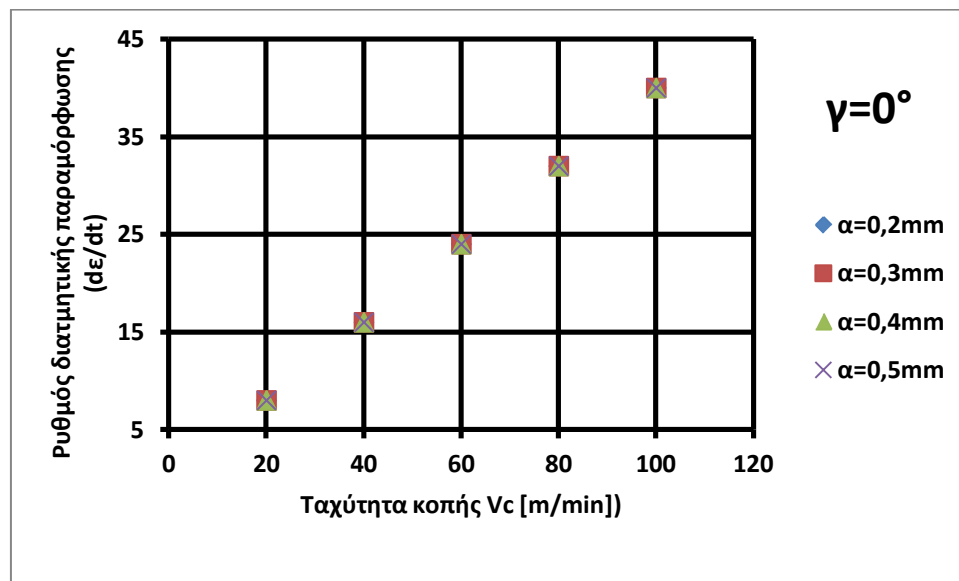
Τα αποτελέσματα σχετικά με την σχέση ταχύτητας κοπής- ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης είναι ξεκάθαρα και ταυτίζονται κατά μεγάλο ποσοστό στα τρία διαγράμματα (Σχήμα 4.12, Σχήμα 4.13, Σχήμα 4.14). Όσο η ταχύτητα κοπής αυξάνεται, αυξάνεται και ο ρυθμός διατμητικής παραμόρφωσης.



Σχήμα 4.12 Διάγραμμα ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίπτου 6°



Σχήμα 4.13 Διάγραμμα ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίπτου 3°



Σχήμα 4.14 Διάγραμμα ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης – ταχύτητας κοπής με γωνία αποβλίπτου 0°

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μετά την επεξεργασία των αποτελεσμάτων και τη διαγραμματική τους απεικόνιση προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα:

- ❖ Αύξηση του πάχους αποβλίττου προκαλεί μείωση του λόγου συμπίεσης αποβλίττου.
- ❖ Αύξηση της ταχύτητας κοπής προκαλεί μείωση του λόγου συμπίεσης αποβλίττου.
- ❖ Αύξηση της γωνίας αποβλίττου προκαλεί μείωση του λόγου συμπίεσης αποβλίττου.
- ❖ Αύξηση της ταχύτητας κοπής προκαλεί αύξηση της γωνίας διάτμησης.
- ❖ Αύξηση της ταχύτητας κοπής προκαλεί αύξηση του ρυθμού διατμητικής παραμόρφωσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι αύξηση/μείωση του λόγου συμπίεσης αποβλίττου σημαίνει αύξηση/μείωση της παραμόρφωσης. Στο σημείο που η παραμόρφωση είναι μηδενική, ο λόγος συμπίεσης αποβλίττου ισούται με 1, δηλαδή το πάχος του άκοπου αποβλίττου ισούται με το πάχος που αποκομμένου αποβλίττου. Τα συμπεράσματα της εργασίας συμφωνούν με την μελέτη του Davim [11].

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1] Tribology of Metal Cutting, Victor Astakhov
- [2] Dynamics of chip formation during orthogonal cutting of titanium alloy Ti-6Al-4V, Cotterell, Byrne
- [3] In Progress high – speed photography applied to orthogonal turning, Pujana, P.J. Arrazola, J.A. Villar
- [4] The usage of high – speed camera at machining, Martin Novak, Petr Majrich, Natasa Naprstkova
- [5] Some observations on the Vibratory metal cutting process employing high speed photography, W.A. Knight
- [6] 3D finite element modeling of segmented chip formation, Aurich, Bil
- [7] Chip geometries during high speed machining, G. Sutter
- [8] Relationship between machinability index and in – process parameters during orthogonal cutting of steels, Arriola, Whitenton, J. Heigel, Arrazola
- [9] Experimental and numerical studies on the performance of alloyed carbide tool in dry milling of aerospace material, Ginting, Nouari
- [10] Temperature fields in a chip during high speed orthogonal cutting - An experimental investigation, Sutter, Rank
- [11] Application of Merchant theory in machining particulate metal matrix composites, J. Paulo Davim
- [12] A methodology for practical cutting force evaluation based on the energy spent in the cutting system, Astakhov, Xiao
- [13] Numerical and Experimental study of dry cutting for an aeronautic aluminium alloy (A2024-T351), Tarek Mabrouki, Francois Girardin, Muhammad Asad, Jean – Francois Rigal
- [14] Cutting temperature prediction in high speed machining by numerical modelling of chip formation and its dependence with crater wear, G. List, G.Sutter, A.Bouthiche
- [15] Chip structure classification based on mechanics of its formation, V. Astakhov, S.V. Shvets, M.O.M. Osman