



**ΕΘΝΙΚΟ
ΜΕΤΣΟΒΙΟ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

Α.Π. :
Αθήνα,

ΚΟΣΜΗΤΟΡΑΣ

**Προς τα Μέλη ΔΕΠ της
Σχολής Μηχ/γων
Μηχ/κών**

ΠΡΟΣΚΛΗΣΗ

Σας προσκαλούμε στην παρουσίαση της Διδακτορικής Διατριβής του **Υ.Δ. κ. Κάρκαλου Νικολάου του Ελευθερίου**, Διπλωματούχου Μηχανολόγου Μηχανικού, την οποία εκπόνησε στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τετάρτη 26 Ιανουαρίου, ώρα 11.00π.μ. διαδικτυακά στην διεύθυνση :

<https://centralntua.webex.com/meet/amark>

Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Αριθμητική Μοντελοποίηση Κατεργασιών Αποβολής Υλικού σε Μικρό και
Νανοκλίμακα »

Και ο Αγγλικός ως εξής

«Numerical Modeling of Material Removal Processes in Micro and Nanoscale »

Ο Κοσμήτορας της Σχολής



**N. Μαρισράς
Καθηγητής Ε.Μ.Π.**

Περίληψη Διδακτορικής Διατριβής Νικόλαου Κάρκαλου

ΑΡΙΘΜΗΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ ΑΠΟΒΟΛΗΣ ΥΛΙΚΟΥ ΣΕ ΜΙΚΡΟ ΚΑΙ ΝΑΝΟΚΛΙΜΑΚΑ

Οι συνεχείς εξελίξεις σε βιομηχανίες αιχμής όπως η αυτοκινητοβιομηχανία, η αεροδιαστημική βιομηχανία και η βιομηχανία ηλεκτρονικών υπαγορεύουν μεταξύ άλλων την ανάγκη για συνεχή ανάπτυξη και εξέλιξη του πεδίου των Μικροκατεργασιών ώστε να παράγεται ένα μεγάλο πλήθος απαραίτητων μικροεξαρτημάτων με υψηλή ποιότητα και διαστατική ακρίβεια και να εξασφαλίζεται η υψηλή αποτελεσματικότητα της παραγωγής. Για το σκοπό αυτό, πρέπει να διεξάγονται εμπειριστατωμένες θεωρητικές μελέτες βασισμένες σε πειραματικά στοιχεία, ώστε να κατανοηθούν σε μεγάλο βαθμό τα ιδιαίτερα φαινόμενα που προκύπτουν στη μικροκλίμακα και να σχεδιαστούν κατάλληλα οι στρατηγικές κατεργασίας προκειμένου να επιτευχθούν οι προαναφερθέντες στόχοι. Ειδικότερα για τις μικροκατεργασίες αποβολής υλικού, τα φαινόμενα κλίμακας που προκύπτουν όταν οι διαστάσεις των μικροαντικειμένων ή των κοπτικών εργαλείων είναι συγκρίσιμες με το μέγεθος των κόκκων αλλά και όταν οι τιμές των παραγόντων της κατεργασίας που επιλέγονται είναι κατώτερες ορισμένων οριακών τιμών, επηρεάζουν δυσμενώς τις σχετικές απαιτήσεις ισχύος των εργαλειομηχανών, τη φθορά των κοπτικών εργαλείων, την ποιότητα επιφανείας και την εντατική κατάσταση των παραγόμενων αντικειμένων. Επιπλέον καθώς τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μικροηλεκτρονικών κυκλωμάτων είναι ψαθυρά, η ανάγκη για πραγματοποίηση της κατεργασίας τους υπό συνθήκες «όλκιμης» κοπής οδηγεί στην ανάγκη διερεύνησης των κατάλληλων συνθηκών που εξασφαλίζουν αυτή την ευνοϊκή κατάσταση, διατηρώντας παράλληλα όσο το δυνατόν μεγαλύτερη παραγωγικότητα.

Τις τελευταίες δεκαετίες διάφοροι ερευνητές ανέπτυξαν μοντέλα προσομοίωσης για τις κατεργασίες σε επίπεδο μικροκλίμακας και νανοκλίμακας προκειμένου να κατανοήσουν και να εξηγήσουν ικανοποιητικά τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα κατά τις κατεργασίες αυτές, κάτι που είναι είτε πρακτικά αδύνατο είτε αναποτελεσματικό να πραγματοποιηθεί αποκλειστικά μέσω πειραματικών διερευνήσεων. Ειδικότερα για την περίπτωση των κατεργασιών της νανοκλίμακας, λόγω της εξάρτησης πολλών φαινομένων από την κρυσταλλική δομή των υλικών και την αμεσότερη δυνατότητα μελέτης των θεμελιωδών μηχανισμών αποβολής υλικού μέσω προσομοιώσεων που λαμβάνουν υπόψη την ύλη σε ατομικό επίπεδο, η μέθοδος της Μοριακής Δυναμικής έχει τον σημαντικότερο ρόλο αναφορικά με τις προσομοιώσεις των νανοκατεργασιών. Μέσω αυτής της μεθόδου το μοντέλο προσομοίωσης δημιουργείται με βάση την κρυσταλλική του δομή, η θερμομηχανική και τριβολογική συμπεριφορά των υλικών μοντελοποιείται με βάση κατάλληλη συνάρτηση δυναμικής ενέργειας και το αποτέλεσμα της κατεργασίας μετά την επιβολή αρχικών και οριακών συνθηκών προκύπτει μέσω της επίλυσης του δεύτερου νόμου

του Νεύτωνα για κάθε άτομο του συστήματος που επιτρέπεται να κινηθεί ελεύθερα. Η μετεπεξεργασία των αποτελεσμάτων οδηγεί στον προσδιορισμό των δυνάμεων της κατεργασίας, της θερμοκρασίας του τεμαχίου, της εντατικής κατάστασης, του συντελεστή τριβής αλλά και των μεταβολών στη μορφή του αποβλίττου και του γρεζιού που σχηματίζεται και της μεταβολής της δομής του υλικού του τεμαχίου προκειμένου μετά από ανάλυση να εντοπιστούν και να εξηγηθούν τα φαινόμενα που εμφανίζονται κατά τις νανοκατεργασίες και να προσδιοριστούν οι καταλληλότερες συνθήκες κατεργασίας.

Κατά τις τρεις προηγούμενες δεκαετίες πραγματοποιήθηκαν αρκετές μελέτες για διάφορες νανοκατεργασίες με χρήση της Μοριακής Δυναμικής, τόσο για μεταλλικά όσο και για κεραμικά υλικά ή κράματα. Παρότι έχουν μελετηθεί αρκετά είδη νανοκατεργασιών και έχουν αναδειχθεί διάφορα σημαντικά θέματα, όπως η επίδραση των παραγόντων της κατεργασίας, των χαρακτηριστικών των κοπτικών εργαλείων και της μικροδομής του τεμαχίου στο αποτέλεσμα της κατεργασίας, οι συνθήκες μετάβασης από ψαθυρή σε όλκιμη κοπή, η καταλληλότητα της χρήσης υβριδικών τεχνικών κατεργασίας και η φθορά των κοπτικών εργαλείων, μεταξύ άλλων, είναι αναγκαίο να βελτιωθεί το επίπεδο κατανόησης των νανοκατεργασιών με χρήση πιο ρεαλιστικών μοντέλων ή με την μελέτη άλλων ειδών κατεργασιών.

Γι' αυτό το σκοπό, στην παρούσα διατριβή μελετήθηκαν κυρίως η νανο-λείανση και το νανο-φρεζάρισμα με χρήση μοντέλων προσομοίωσης Μοριακής Δυναμικής. Αρχικά, διερευνήθηκε η επίδραση ορισμένων θεμελιωδών παραμέτρων των κατεργασιών, όπως η ταχύτητα κοπής και η γωνία αποβλίττου μέσω ενός γενικού μοντέλου νανοκοπής προκειμένου να εξαχθούν απαραίτητα συμπεράσματα που θα διευκολύνουν την ανάλυση των δύο βασικών κατηγοριών προσομοιώσεων που προαναφέρθηκαν. Στη συνέχεια μελετήθηκε διεξοδικά η κατεργασία της περιφερικής νανο-λείανσης, με μοντέλο πολλαπλών κόκκων οι οποίοι ακολουθούν ρεαλιστική τροχιά λόγω τόσο της μεταφορικής όσο και περιστροφικής ταχύτητας σε αντίθεση με τα υπάρχοντα μοντέλα που απλοποιούν την τροχιά σε ευθύγραμμη, αγνοώντας ότι στην πράξη κατά τη λείανση το πάχος απαραμόρφωτου αποβλίττου είναι μεταβλητό. Επομένως, με χρήση αυτού του υπολογιστικού μοντέλου μελετήθηκαν διάφοροι παράμετροι όπως το βάθος κοπής, το μέγεθος του λειαντικού κόκκου, η επίδραση περισσότερων σειρών λειαντικών κόκκων και της απόστασής τους, το σχήμα και η γωνία αποβλίττου του λειαντικού κόκκου, η θερμοκρασία προθέρμανσης του τεμαχίου αλλά και η καταλληλότητα των οριακών συνθηκών που επιβάλλονται στο μοντέλο.

Στη συνέχεια, μελετήθηκε η κατεργασία του νανο-φρεζαρίσματος με δύο διαφορετικά είδη κοπτικών εργαλείων, δηλαδή ένα εργαλείο που προσομοιάζει το κονδύλι και ένα εργαλείο που προσομοιάζει τη φρεζοκεφαλή με ένθετους κοπτήρες. Καθώς το νανο-φρεζάρισμα με κονδύλι έχει μελετηθεί ελάχιστα στη βιβλιογραφία, έγινε μια προσπάθεια συστηματικής διερεύνησης της επίδρασης σημαντικών παραμέτρων στην κατεργασία αυτή για μεγάλο εύρος τιμών. Έτσι, διερευνήθηκε η επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική στο νανοφρεζάρισμα που αποτελεί μια κατεργασία διακοπτόμενης κοπής, του αριθμού των κοπτικών ακμών και του βάθους κοπής και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα τόσο αναφορικά με τις δυνάμεις κατεργασίας όσο και με τη μορφολογία του αποβλίττου και τις μεταβολές της δομής του τεμαχίου. Όσον αφορά το

νανο-φρεζάρισμα με φρεζοκεφαλή, το οποίο δεν είχε μελετηθεί προηγουμένως στη βιβλιογραφία, διερευνήθηκε η επίδραση της ταχύτητας περιστροφής του κοπτικού εργαλείου, του αριθμού των κοπτήρων, του βάθους κοπής και της ταχύτητας πρόωσης προκειμένου να προσδιοριστεί το εύρος των κατάλληλων συνθηκών ώστε να εξασφαλίζεται η αποδοτικότερη κατεργασία με τη μικρότερη επιβάρυνση στο τεμάχιο.