



**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. ΠΑΠΑΖΟΓΛΟΥ Λάζαρου Εμμανουήλ**, διπλωματούχος **Μηχανολόγος Μηχανικός ΕΜΠ και κάτοχος ΜΔΕ** του ΔΠΜΣ Επιστήμη και Τεχνολογία Υλικών της Σχολής Χημικών Μηχανικών, την οποία εκπόνησε στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί τη Δευτέρα 31 Οκτωβρίου 2022 και ώρα. 17.15 διαδικτυακά στην κάτωθι διεύθυνση:

<https://centralntua.webex.com/centralntua/j.php?MTID=m9ca0db7d8a47df52f6f0d3d330322494>

Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής:

«Μεθοδολογία μοντελοποίησης σε μικροκλίμακα της κατεργασίας  
SLM με χρήση πεπερασμένων στοιχείων»»

Και ο Αγγλικός ως εξής  
«Methodology for Microscale modelling of the SLM process by using FEM».

Ο Κοσμητορός της Σχολής



# Μεθοδολογία μοντελοποίησης σε μικροκλίμακα της κατεργασίας SLM με χρήση πεπερασμένων στοιχείων

Περίληψη ΔΔ Διατριβής Λ.Ε. Παπάζογλου

Οι τεχνολογίες κατασκευής μέσω προσθήκης υλικού (Additive Manufacturing – AM) αποτελούν μια πραγματική επανάσταση στον τρόπο αντίληψης και προσέγγισης των διαδικασιών σχεδιασμού και κατασκευής, με τα τεμάχια πλέον που κατασκευάζονται με τη χρήση μεθόδων AM να μην περιορίζονται σε πρωτότυπα ή εξαιρετικά υψηλού κόστους, αλλά και σε λειτουργικά και ευρείας χρήσης εξαρτήματα. Η Επιλεκτική Τήξη με Χρήση Laser (Selective Laser Melting – SLM) αποτελεί ίσως την πλέον διαδεδομένη μέθοδο για κατασκευή μεταλλικών τεμαχίων, με το αντικείμενο να κατασκευάζεται μέσω της επιλεκτικής τήξης με χρήση δέσμης laser του υλικού που βρίσκεται υπο την μορφή κλίνης πούδρας και σε επάλληλες στρώσεις πάχους μερικών μικρομέτρων. Οι διαφορετικές μέθοδοι μελέτης της συγκεκριμένης κατεργασίας μπορούν να διακριθούν σε πειραματικές και υπολογιστικές με την ανάπτυξη αριθμητικών ή/και αναλυτικών μοντέλων προσομοίωσης, ενώ οι υπολογιστικές προσεγγίσεις μπορούν περαιτέρω να ταξινομηθούν ανάλογα με τη χρονική και χωρική τους κλίμακα σε μοντέλα μικρο-, μεσο- και μακροκλίμακας (micro-, meso- and macroscale) και σε αυτά πολλαπλής κλίμακας (multiscale). Στην παρούσα διδακτορική διατριβή γίνεται ανάπτυξη και παρουσίαση μεθοδολογίας μοντελοποίησης της κατεργασίας SLM σε επίπεδο μικροκλίμακας με χρήση πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method – FEM).

Αρχικά, και έπειτα από την απαραίτητη συστηματική βιβλιογραφική ανασκόπηση, αναπτύσσεται μέθοδος μοντελοποίησης της περιοχής τήξης για συνθήκες Conduction Mode. Το μοντέλο είναι αμιγώς θερμικό, με την δέσμη laser να προσεγγίζεται ως ογκομετρική πηγή θερμότητας Gaussian κατανομής (ως προς το επίπεδο της κλίνης πούδρας και συναρτήσει του πάχους της κλίνης πούδρας). Έμφαση δίνεται στην αποφυγή, κατά το δυνατόν, της χρήσης ημι-εμπειρικών συντελεστών και τον ακριβή προσδιορισμό των θερμοφυσικών ιδιοτήτων και του συντελεστή απορρόφησης της κλίνης πούδρας, ενώ η επικύρωση του μοντέλου γίνεται με βάση πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας. Στην συνέχεια, παρουσιάζεται μεθοδολογία μοντελοποίησης της περιοχής τήξης για Conduction Mode, Transition Mode και Keyhole Mode και πάλι μέσω ενός αμιγούς θερμικού μοντέλου. Η δέσμη laser μοντελοποιείται με τη χρήση επιφανειακής 2D πηγής θερμότητας κατανομής Gauss, ενώ με τη χρήση διανυσμάτων θέσης συνυπολογίζεται η μεταβολή της πυκνότητας ισχύος ανά μονάδα επιφάνειας συναρτήσει της γωνίας πρόσπτωσης της δέσμης. Η εξάτμιση του υλικού μοντελοποιείται με χρήση παραμορφώσιμης γεωμετρίας, με τον συντελεστή επανασύνδεσης του υλικού να αποτελεί τη μοναδική ημι-εμπειρική παράμετρο που χρήζει προσδιορισμού. Επίσης, προτείνεται η χρήση ενός 2D μοντέλου για τον ταχύτερο υπολογισμό του συντελεστή επανασύνδεσης υλικού με το φυσικό σύστημα να ανάγεται σε 2D και να προσομοιώνεται ένα κάθετο επίπεδο της περιοχής τήξης. Η κινούμενη δέσμη laser προσεγγίζεται σε αυτή την περίπτωση από πηγή θερμότητας κατανομής Gauss μεταβαλλόμενης ισχύος και διαμέτρου. Τα προαναφερθέντα μοντέλα επικυρώνονται και πάλι με βάση πειραματικά δεδομένα της βιβλιογραφίας. Ως τελευταίο βήμα, γίνεται σύζευξη των εξισώσεων μεταφοράς θερμότητας και των εξισώσεων ρευστομηχανικής ώστε να προκύψει ένα θερμοϋδραυλικό μοντέλο. Λαμβάνονται υπόψιν ως οριακές συνθήκες η πίεση ανάκρουσης καθώς και η ανάπτυξη επιφανειακών τριχοειδών τάσεων λόγω καμπυλότητας και κλίσης θερμοκρασίας, ενώ για την ρεαλιστικότερη μοντελοποίηση των διαφορετικών φάσεων του υλικού (στερεή, ημίρρευστη και ρευστή) ως προς την ρευστομηχανική τους συμπεριφορά προτείνεται, και αποδεικνύεται ως κατάλληλη, η χρήση σημειακού περιορισμού σε συνδυασμό με συνάρτηση «εξομάλυνσης» ταχύτητα. Η ταχύτητα τέλος της ελεύθερης επιφάνειας ορίζεται συναρτήσει του ρυθμού εξάτμισης υλικού και της προβλεπόμενης κίνησης του ρευστού.

Με βάση τα προαναφερθέντα, προτείνεται και παρουσιάζεται ένα σαφές, ολοκληρωμένο και συνεπές πλαίσιο για την μοντελοποίηση της κατεργασίας SLM σε επίπεδο μικροκλίμακας με χρήση FEM.