



**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. Παπαντωνίου Ιωάννη**, Διπλωματούχου Μηχανικός Παραγωγής και Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, την οποία εκπόνησε στον Τομέα Τεχνολογίας των Κατεργασιών. Η παρουσίαση θα πραγματοποιηθεί την Τρίτη 14 Ιουλίου 2020, ώρα 9:00 π.μ διαδικτυακά\*. Ο ελληνικός τίτλος της Διδακτορικής Διατριβής είναι ο εξής :

**«ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΑΦΡΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΤΡΙΒΗ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗ .»**

Και ο Αγγλικός ως εξής:

**« FRICTION STIR PROCESSING »**

Ο Κοσμήτορας της Σχολής



**Ν. Μαρμαράς  
Καθηγητής Ε.Μ.Π**

- Για οδηγίες για την πρόσβαση σας διαδικτυακά απευθυνθείτε στον Επιβλέποντα του Υ.Δ. Καθ. Δ. Μανωλάκο [manolako@central.ntua.gr](mailto:manolako@central.ntua.gr)

# ***ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΜΕΘΟΔΟΥ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΣΥΝΘΕΤΩΝ ΑΦΡΩΝ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΜΕ ΤΡΙΒΗ ΚΑΙ ΑΝΑΔΕΥΣΗ (FRICTION STIR PROCESSING)***

Διδακτορική Διατριβή Ιωάννη Παπαντωνίου

## Περίληψη

Οι μεταλλικοί αφροί που βασίζονται σε ελαφρά μέταλλα και ειδικά στο αλουμίνιο και στα κράματά του αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη οικογένεια υλικών, με εφαρμογές ως δομικά στοιχεία σε πολλούς βιομηχανικούς τομείς, εξαιτίας ενός ασυνήθιστου συνδυασμού ιδιοτήτων που προσφέρουν, ιδιότητες όπως υψηλή ακαμψία σε χαμηλή πυκνότητα, μεγάλη ικανότητα απορρόφησης ενέργειας σε χαμηλές τιμές τάσεων, καθώς και υψηλή απόσβεση κραδασμών. Οι μεταλλικοί αφροί αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ως δομικά εξαρτήματα στην αυτοκινητοβιομηχανία, στην αεροδιαστημική και στη θαλάσσια βιομηχανία, όπου η μεγάλη αντοχή και η δυσκαμψία ως προς το βάρος είναι κρίσιμα ζητήματα. Επομένως, η παραγωγή και ο χαρακτηρισμός αυτών των σύνθετων κυψελοειδών υλικών αποτελούν ένα ενδιαφέρον και δημοφιλές ερευνητικό αντικείμενο.

Την τελευταία δεκαετία υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός ερευνητικών έργων που στοχεύουν στη φθηνότερη και πιο τυποποιημένη παραγωγή μεταλλικών αφρών υψηλής ποιότητας, λόγω των συνεχώς αυξανόμενων εφαρμογών τους. Ωστόσο, η εφαρμογή των μεταλλικών αφρών παραμένει περιορισμένη. Προκειμένου να προωθηθεί η χρήση μεταλλικών αφρών στο βιομηχανικό τομέα, είναι εξαιρετικά σημαντικό να εισαχθούν διαδικασίες κατασκευής χαμηλού κόστους, φιλικές προς το περιβάλλον, με υψηλή παραγωγικότητα.

Η μέθοδος κατεργασίας δια τριβής με ανάδευση (Friction Stir Process, FSP) είναι μια τεχνική επιφανειακής τροποποίησης μεταλλικών υλικών που περιλαμβάνει την παραγωγή θερμότητας μέσω τριβής και την έντονη ροή υλικού μέσω πλαστικής παραμόρφωσης. Κατά τη διάρκεια του FSP, ένα περιστρεφόμενο εργαλείο με πείρο και περιαιχένιο εισάγεται σε ένα μεταλλικό υλικό και διασχίζοντας κατά μήκος την επιθυμητή περιοχή ενδιαφέροντος πραγματοποιεί τροποποίηση της μικροδομής. Η μέθοδος FSP αναπτύχθηκε από τις βασικές αρχές της συγκόλλησης δια τριβής μέσω ανάδευσης (Friction Stir Welding, FSW), η οποία είναι μια διαδικασία συγκόλλησης στερεάς κατάστασης.

Στην παρούσα διδακτορική διατριβή αναπτύχθηκε μια καινούργια μέθοδος παραγωγής μεταλλικών αφρών ενισχυμένων με νανοσωματίδια. Η μέθοδος στηρίζεται στην εφαρμογή της FSP για την

εισαγωγή και ενσωμάτωση μίγματος κόνεων αφροποιητικού παράγοντα ( $\text{TiH}_2$ ) και ενισχυτικού παράγοντα (nano  $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ ) σε πλάκα αλουμινίου κράματος AA5083-H111. Η προσθήκη του μίγματος κόνεων στην πλάκα κατέστη δυνατή ύστερα από την διάνοιξη αυλάκων κατά μήκος των δοκιμίων. Στην συνέχεια, μέσω ξεχωριστού σταδίου θερμικής κατεργασίας αφροποίησης, πραγματοποιείται η διάσπαση του ενσωματωμένου αφροποιητικού παράγοντα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πορώδους δομής.

Με αυτήν τη μέθοδο είναι δυνατή η δημιουργία ενισχυμένων αφροποιημένων περιοχών σε μεταλλικές πλάκες/εξαρτήματα, βελτιώνοντας έτσι τοπικά τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.

Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν πειράματα εύρεσης των παραμέτρων που οδηγούν σε μια βέλτιστη πορώδη δομή. Ο χαρακτηρισμός της δομής πραγματοποιήθηκε μακροσκοπικά με χρήση οπτικών μεθόδων. Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε εκτενής μεταλλογραφικός έλεγχος τόσο στα βελτιστοποιημένα αφροποιημένα δοκίμια, όσο και στα αντίστοιχα πρόδρομα δοκίμια (δοκίμια πριν το στάδιο της αφροποίησης), με σκοπό τη συσχέτιση της επίδρασης των χαρακτηριστικών της ζώνης ανάδευσης στην τελική πορώδη δομή.

Για τον μεταλλογραφικό χαρακτηρισμό των δοκιμίων χρησιμοποιήθηκαν τεχνικές οπτικής μικροσκοπίας (OM), ηλεκτρονικής μικροσκοπίας (SEM), μικροσκοπίας ατομικών δυνάμεων (AFM), περίθλασης ακτίνων-X (XRD) και περίθλασης οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων (EBSD). Επιπλέον, πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις μικροσκληρότητας, οι οποίες συσχετίστηκαν με τα αποτελέσματα του μεταλλογραφικού χαρακτηρισμού.

Η περαιτέρω μελέτη των μηχανικών ιδιοτήτων των παραχθέντων μεταλλικών αφρών δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί σε μικρές τοπικές περιοχές, γι' αυτό δημιουργήθηκαν σε δεύτερη φάση με την ίδια μέθοδο ενισχυμένοι μεταλλικοί αφροί μεγάλης επιφάνειας, στους οποίους πραγματοποιήθηκαν στατικές δοκιμές θλίψης. Από τα αποτελέσματα των πειραμάτων της μονοαξονικής θλίψης υπολογίστηκε η κρίσιμη τάση (τάση πλατώ), η τιμή παραμόρφωσης έναρξης της πύκνωσης, το ειδικό μέτρο ελαστικότητας, καθώς και ο βαθμός απορρόφησης ενέργειας κατ' όγκο για χαρακτηριστικές τιμές παραμόρφωσης.