



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΕΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ – ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**  
**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΨΕΥΔΑΡΓΥΡΟΥ (Zn-10Al-  
1.5Cu)**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΑΡΓΥΡΩ Γ. ΤΣΟΠΑΝΗ

ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ – ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΤΟΥ BRIGHTON

Επιβλέπων Καθηγητής

**Καθ. Χρ. Ν. Παναγόπουλος**

Αθηνά 2012

## Ευχαριστίες

Στο σημείο αυτό θα ήθελα να εκφράσω τις θερμές μου ευχαριστίες στον Επιβλέποντα Καθηγητή μου Δρα κ. Χρ. Ν. Παναγόπουλο για την συνεχή καθοδήγηση και επίβλεψη της Διδακτορικής μου Διατριβής. Η ηθική και επιστημονική του βοήθεια, η αμέριστη στήριξη καθώς και η εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου όλα αυτά τα χρόνια, με βοήθησαν καθοριστικά στην ολοκλήρωση αυτής της Διατριβής, καθώς και στην εξέλιξή μου ως άνθρωπο και ως επιστήμονα.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Καθηγητή Δρα κ. Ε. Χριστοφόρου και τον Καθηγητή Δρα κ. Δ. Μανωλάκο, μέλη της Τριμελούς μου Συμβουλευτικής Επιτροπής, για την αγαστή συνεργασία μας και την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφεραν κατά την εκπόνηση της Διδακτορικής μου Διατριβής.

Ευχαριστώ τα μέλη της Επταμελούς Εξεταστικής μου Επιτροπής: Καθ. κ. Δ. Τσιπά (Τ.Μ.Μ., Α.Π.Θ.), Καθ. κ. Θ. Ματίκα (Τ.Μ.Ε.Υ., Π. Ι.), Αν. Καθ. κ. Χ. Λεφάκη (Τ.Μ.Μ., Π.Δ.Μ.) και Αν. Καθ. κα. Κ. Κόλλια (Σ.Χ.Μ., Ε.Μ.Π.). Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω:

Την κα Α. Θωμά, Τεχνικό του Εργαστηρίου Μεταλλογνωσίας Ε.Μ.Π., για την βοήθεια και τις ώρες που μας διέθεσε στο Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (SEM).

Τους: Δρα κ. Εμ. Γεωργίου, Δρα. Δ. Λάγαρη , Δρα Μ. Τσούτσουβα και Δρα κ. Π. Τσακιρίδη, καθώς και τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου Μεταλλογνωσίας για την συμπαράσταση και το ενδιαφέρον τους.

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένειά μου για την πολύτιμη ηθική και υλική υποστήριξή της όλα αυτά τα χρόνια.

$\mu$

$\mu$   $\mu$   $\mu$  ,  
 $\mu$   $\mu$  :  $\mu$   
 $\mu$   $\mu$   $\mu$  ,  
 $\mu$   $\mu$  .

, ,  
,  
 $\mu$  ,  
 $\mu$  .

.

## Περίληψη

Ο ψευδάργυρος και τα κράματά του είναι από τα πλέον χρησιμοποιούμενα μεταλλικά υλικά σε ποικίλες εφαρμογές όπως σε τεχνολογικές, κατασκευαστικές, σε αυτοκινητοβιομηχανικές αλλά και τα τελευταία χρόνια σε ρομποτικές. Από πλευράς μηχανικών ιδιοτήτων παρουσιάζουν σχετικά βελτιωμένη μηχανική αντοχή σε κάμψη μετά από θερμική κατεργασία. Ωστόσο, η επιτακτική ανάγκη στην σημερινή εποχή για μεταλλικά υλικά υψηλών απαιτήσεων οδήγησε στην ανάπτυξη διαφόρων κραμάτων ψευδαργύρου.

Η παρούσα Διδακτορική Διατριβή αποσκοπεί στην μελέτη της δομής και των ιδιοτήτων του κράματος ψευδαργύρου (Zn-10Al-1.5Cu). Τα κράματα ψευδαργύρου με παρόμοιες ποσοστιαίες κραματικές προσθήκες έχουν πολλαπλές τεχνολογικές εφαρμογές. Η προσθήκη χαλκού στα κράματα ψευδαργύρου αλουμινίου (Zamak) βελτίωσε της μηχανικές του ιδιότητες και κυρίως την αντοχή του.

Συγκεκριμένα, στο παραπάνω κράμα έγινε αρχικά έλεγχος της δομής και της μορφολογίας του χυτευμένου κράματος. Κατόπιν μελετήθηκε η μικροσκληρότητα, η αντοχή σε διάφορα διαβρωτικά περιβάλλοντα, η αντοχή σε οξείδωση σε διαφορετικές θερμοκρασίες, η αντιτριβική συμπεριφορά υπό ξηρές συνθήκες και τέλος η αντοχή σε κάμψη μετά από θερμικές κατεργασίες

Το κράμα ψευδαργύρου (Zn-10Al-1.5Cu) βρέθηκε να αποτελείται από (α) στερεό διάλυμα αλουμινίου-ψευδάργυρου, (β) στερεό διάλυμα ψευδαργύρου- αλουμινίου ή αδιάλυτο αλουμίνιο και (γ) την ενδομεταλλική ένωση  $CuZn_4$ .

Όσον αφορά την αντοχή του κράματος στη διάβρωση βρέθηκε ότι σε μεγαλύτερες θερμοκρασίες διαλύματος καθώς και μεγαλύτερες συγκεντρώσεις διαλύματος η διάβρωση αυξάνεται. Ο μηχανισμός διάβρωσης

βρέθηκε να είναι έντονη βελονοειδής διάβρωση καθώς και το φαινόμενο της περικρυσταλλικής διάβρωσης.

Η οξειδωτική συμπεριφορά του κράματος ψευδαργύρου (Zn-10Al-1.5Cu) μελετήθηκε σε διάφορες θερμοκρασιακές διαβαθμίσεις και σε διαφορετικούς χρόνους. Παρατηρήθηκε ότι ο ρυθμός οξείδωσης αυξάνεται σύμφωνα με την αύξηση της θερμοκρασίας και του χρόνου.

Η τριβολογική δε συμπεριφορά του κράματος ψευδαργύρου (Zn-10Al-1.5Cu) βρέθηκε να επηρεάζεται από την αύξηση του επιβαλλόμενου φορτίου. Ειδικότερα στο κράμα βρέθηκε να είναι παρεμφερής ο συντελεστής τριβής ( $\mu$ ) του ζεύγους των υλικών κράματος ψευδαργύρου (Zn-10Al-1.5Cu)-ανοξείδωτος μαρτενσιτικός χάλυβας.

Τέλος, μελετήθηκε η επίδραση των θερμικών κατεργασιών στην αντοχή της κάμψης. Παρατηρήθηκε ότι υπάρχει διαφοροποίηση στην συμπεριφορά του κράματος σύμφωνα με την θερμική κατεργασία. Σε κάποιες περιπτώσεις παρατηρείται το φαινόμενο της υπερσκλήρωσης για δεδομένο χρόνο και θερμοκρασία.