

**ΑΝΩΤΑΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΕΙΡΑΙΑ Τ.Τ.**

**ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ**

**ΤΜΗΜΑ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ Τ.Τ.**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ**  
**(SHAPE MEMORY ALLOYS)**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:**  
**ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ ΣΤΕΦΟΣ**  
**ΑΝΤΗ ΠΟΥΛΟ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:**  
**ΣΑΒΒΑΣ ΒΑΣΙΛΕΙΑΔΗΣ**

**ΑΘΗΝΑ 2016**

## **ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Στόχος της πτυχιακής εργασίας είναι η μελέτη των χαρακτηριστικών των κραμάτων μνήμης σχήματος και των εφαρμογών τους σε διάφορους βιομηχανικούς τομείς. Αρχικά, γίνεται αναφορά στα ευφυή υλικά στα οποία ανήκουν τα κράματα μνήμης σχήματος και στα ιστορικά στοιχεία, ξεκινώντας από την ανακάλυψη των ιδιοτήτων των κραμάτων μνήμης σχήματος έως και τη μετέπειτα εξέλιξή τους. Στη συνέχεια, ακολουθεί η μελέτη των μοναδικών χαρακτηριστικών αυτής της κατηγορίας κραμάτων, δίνοντας έμφαση στις μεθόδους κατεργασίας, τις μηχανικές ιδιότητες και τους μηχανισμούς λειτουργίας (μετασχηματισμός φάσης, φαινόμενο μνήμης σχήματος, υπερελαστικότητα). Επίσης, εξετάζονται οι διάφορες κατηγορίες κραμάτων μνήμης σχήματος και τα πλεονεκτήματα/μειονεκτήματα που παρουσιάζουν. Τέλος, διερευνώνται οι δυνατότητες εφαρμογής των κραμάτων μνήμης σχήματος, στους τομείς της βιοϊατρικής, της αυτοκινητοβιομηχανίας και της αεροδιαστημικής, με έμφαση στα πλεονεκτήματα και στις σχεδιαστικές δυσκολίες, καθώς και οι μελλοντικές τους δυνατότητες.

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ**

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	5
1.1. ΤΑ ΥΛΙΚΑ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΕΥΦΥΗ ΥΛΙΚΑ.....	5
1.2. ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	7
1.3. ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΦΟΡΑ .....	9
2. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	12
2.1. ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	12
2.2. ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ .....	13
3. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΗΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	17
3.1. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΗΣ.....	17
3.1.1. ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ ΦΑΣΗΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	17
3.1.2. ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	18
3.1.3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΜΕΤΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΩΝ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΥ.....	19
3.1.4. ΥΣΤΕΡΗΣΗ .....	22
3.1.5. ΘΕΡΜΟΕΛΑΣΤΙΚΟΣ ΜΑΡΤΕΝΣΙΤΙΚΟΣ ΜΕΤΑΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ.....	23
3.2. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΥΠΕΡΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ .....	25
3.2.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	25
3.2.2 ΥΠΕΡΕΛΑΣΤΙΚΟΤΗΤΑ.....	28
3.2.3. ΑΜΦΙΔΡΟΜΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	30
4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	32
4.1. ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ NiTiNOL .....	32
4.1.1. NiTi.....	32
4.1.2. NiTiCu.....	33
4.1.3. NiTiNb .....	34
4.1.4. NiTiX.....	35
4.2. ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΧΑΛΚΟ .....	36
4.2.1. CuZnAl .....	37
4.2.2. CuAlNi .....	37
4.3. ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟΝ ΣΙΔΗΡΟ .....	38
4.4. ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	38
4.4.1. CoNiAl.....	38
4.4.2. NiMnGa .....	39
5. ΤΑ ΚΡΑΜΑΤΑ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΩΣ ΕΝΕΡΓΑ ΥΛΙΚΑ – ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	40
5.1. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΑ ΑΝΑΔΟΜΗΣΗΣ ΜΥΪΚΟΥ ΙΣΤΟΥ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	40
5.1.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	40
5.1.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	40
5.1.3. ΔΟΜΗ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ.....	41
5.1.4. ΒΙΟΣΥΜΒΑΤΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΜΦΥΤΕΥΣΗ.....	44
5.1.5. ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΕΜΠΟΡΕΥΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ .....	44
5.2. ΣΥΣΚΕΥΗ ΑΚΙΝΗΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΕΦΑΛΙΟΥ ΚΑΙ ΑΥΧΕΝΑ ΓΙΑ ΑΚΤΙΝΟΘΕΡΑΠΕΙΑ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	45
5.2.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	45
5.2.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	46
5.2.3. ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ ΤΗΣ ΣΥΣΚΕΥΗΣ .....	47
5.2.4. ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ .....	52
5.3. ΧΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΣΦΑΛΕΙΑΣ ΑΥΤΟΚΙΝΗΤΩΝ .....	55
5.3.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	55
5.3.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	56
5.3.3. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ	

ΔΙΕΥΘΥΝΣΗΣ .....	57
5.3.4. ΠΡΩΤΟΤΥΠΟ ΤΥΜΠΑΝΟΥ.....	58
5.3.5. ΠΛΕΥΡΙΚΟΣ ΕΝΕΡΓΟΠΟΙΗΤΗΣ .....	59
5.3.6. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	62
5.4. ΑΕΡΟΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ.....	62
5.4.1. ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	62
5.4.2. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....	63
5.4.3. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΑΕΡΟΣΚΑΦΗ ΜΕ ΣΤΑΘΕΡΑ ΚΑΙ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΑ ΠΤΕΡΥΓΙΑ .....	63
5.4.4. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΣΕ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΑ ΣΚΑΦΗ.....	73
5.4.5. ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΔΥΣΚΟΛΙΕΣ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΑΕΡΟΔΙΑΣΤΗΜΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	79
6. ΟΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΜΝΗΜΗΣ ΣΧΗΜΑΤΟΣ .....	83
7. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	86