



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΣΤΗΝ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑ ΤΗΣ ΩΡΟΛΟΓΟΠΟΙΑΣ

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΣΤΕΦΑΝΗΣ ΜΕ ΤΗ ΜΕΘΟΔΟ ΤΗΣ
ΠΥΡΟΣΥΣΣΩΜΑΤΩΣΗΣ

ΚΑΜΑΤΣΕΛΟΣ Β. ΣΤΑΜΑΤΙΟΣ

Επιβλέπων Καθηγητής: Δ. ΜΑΝΩΛΑΚΟΣ

Αθήνα

Ιούλιος 2022

Υπεύθυνη δήλωση για λογοκλοπή και για κλοπή πνευματικής ιδιοκτησίας:

Έχω διαβάσει και κατανοήσει τους κανόνες για τη λογοκλοπή και τον τρόπο σωστής αναφοράς των πηγών που περιέχονται στον οδηγό συγγραφής Διπλωματικών Εργασιών. Δηλώνω ότι, από όσα γνωρίζω, το περιεχόμενο της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας είναι προϊόν δικής μου εργασίας και υπάρχουν αναφορές σε όλες τις πηγές που χρησιμοποίησα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτή τη Διπλωματική εργασία είναι του συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις της Σχολής Μηχανολόγων Μηχανικών ή του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Καματσέλος Σταμάτιος

Περίληψη

Ο κλάδος της ωρολογοποιίας αποτελεί ένα ιδιαίτερο και συναρπαστικό επίτευγμα της μηχανολογίας. Σε τοπικό επίπεδο, από τον μηχανισμό των Αντικυθήρων μέχρι και σήμερα, το μυστήριο της αναλογικής ένδειξης του χρόνου και των φαινομένων του, αποτελεί κάτι το μοναδικό για όποιον έχει τη δυνατότητα να το προσεγγίσει. Έχοντας θέσει ως σημαντικότερο στόχο την ακρίβεια των ενδείξεων και στη συνέχεια την καλαισθησία των μηχανισμών, οι ωρολογοποιοί κατάφεραν να ποιήσουν μηχανισμούς που βοήθησαν πληθώρα κλάδων στην καταγραφή των μεγεθών, ιδιαιτέρως του χρόνου. Ο στόχος αυτός επιτεύχθηκε με την εφεύρεση αποτελεσματικών, μικροσκοπικών μηχανισμών, οι οποίοι περιορίστηκαν στο μέγεθος της θήκης ενός ρολογιού. Και ενώ οι θήκες αρχικά κατασκευάστηκαν από ξύλο, η εξέλιξη των υλικών οδήγησε στη χρήση μετάλλων και σήμερα στη χρήση των κεραμικών υλικών. Για το λόγο αυτό κρίθηκε αναγκαία η γνωστοποίηση των κεραμικών υλικών αυτού του κλάδου και η κατανόηση των πλεονεκτημάτων τους.

Στην παρούσα εργασία, επεξηγείται η λειτουργία ενός μηχανισμού ένδειξης της ώρας και καταγράφεται η επίσημη ορολογία των εξαρτημάτων του. Έπειτα, παρουσιάζεται η χρήση των κεραμικών υλικών στους μηχανισμούς αυτούς και αναφέρονται τα πλεονεκτήματά τους. Ιδιαίτερη βαρύτητα, συμεριζόμενοι τις ικανότητες των εργαστηρίων του Ε.Μ.Π., δόθηκε στην χρήση των κεραμικών υλικών της θήκης ενός ρολογιού, βασικό τμήμα για την αισθητική, το βάρος αλλά και την προστασία του μηχανισμού από τις μαγνητικές δυνάμεις και τις εναλλαγές της θερμοκρασίας. Το τμήμα που αναλύεται κυρίως είναι η στεφάνη της θήκης του ρολογιού, όπου μετά την επεξήγηση της χρησιμότητάς της και των διαφόρων τύπων που έχουν εφευρεθεί, πραγματοποιείται η κατασκευή της με τη διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης.

Το πειραματικό μέρος, μέσα από τα αναλυτικά βήματα που ακολουθήθηκαν και καταγράφηκαν στην έρευνα αυτή, αποτελεί ένα εγχειρίδιο χρήσης των κεραμικών υλικών, ζirkονίας (ZrO_2) και αλουμίνας (Al_2O_3). Στόχος αποτελεί η κατασκευή ενός εξαρτήματος ανθεκτικού στην οξείδωση, τις γρατσουνιές και τη γήρανση, με την προϋπόθεση ότι η επιφάνεια και η όψη του θα είναι εξαιρετικής ποιότητας.

Μετά την εκτέλεση των πειραμάτων γνωστοποιείται ότι ένα μείγμα κεραμικών υλικών 90% Ζirkονίας και 10% Αλουμίνας, πυροσυσσωματομένο στους 1500°C για μια ώρα, ορίζεται το καταλληλότερο για την κατασκευή ενός τέτοιου εξαρτήματος.

Με το εγχείρημα αυτό δίνεται η δυνατότητα κατασκευής κεραμικών εξαρτημάτων και εργαλείων στο εργαστήριο κατεργασίας υλικών. Έρευνες πάνω στην κατασκευή κοπτικών εργαλείων από κεραμικά υλικά ή οποιουδήποτε εξαρτήματος το οποίο επιζητούμε να έχει αυτά τα χαρακτηριστικά, μπορεί να κατασκευαστεί στο εργαστήριο

αυτό. Έτσι ενισχύονται οι ικανότητες του ίδιου του ιδρύματος και χαρτογραφείται ένας νέος κλάδος που αξίζει να εξερευνηθεί.

Abstract

The watchmaking industry is an exciting achievement of engineering. From the Antikythera mechanism until today, the mystery of the analog indication of time is something unique for anyone who has the opportunity to approach it. Having set as the main goal the accuracy of indications and then the elegance of the movements, the watchmakers managed to create mechanisms that helped a lot of science sections making accurate records, especially these who are relative with time. This was achieved by building movements, mechanically efficient and tiny, which were limited to the size of a watch case. And while the cases were originally made of wood, the evolution of materials led them to use metals and now ceramic materials. For this reason it was deemed necessary to disclose the ceramic materials of this industry as also understand their advantages.

In this thesis, you can find an explanation of the operation of a watch movement and an official record of its components. After that there is a presentation of the components where ceramic materials are used and a report of their advantages. Particular emphasis, sharing the abilities of the NTUA laboratories, was given at the ceramic case of a watch, a key part for the aesthetics, the weight as also the protection of the movement from the magnetic forces and the temperature changes. The part that mainly analyzed is the bezel of the watch case, where after the explanation of its use and the various types that have been found, follows a construction of it with the method of sintering.

The experimental part, through the analytical steps followed and recorded in this research, is a manual of how to use some of the most useful ceramic materials in industry, zirconia (ZrO_2) and alumina (Al_2O_3). The aim was to make a component resistant to oxidation, scratches and aging, expecting that its surface and appearance will be of excellent quality.

After performing the experiments it is reported that a combination of a ceramic material with the composition of 90% Zirconia & 10% Alumina, sintered at $1500^\circ C$ for 60min. is the most suitable for the manufacture of such a component.

This project enables the manufacture of ceramic components and tools in the materials processing laboratory. Research on the manufacture of cutting tools from ceramic materials or any other component that meets these requirements, can be made in this laboratory. This both strengthens the capabilities of the institution itself but also strike out new directions for study.

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να τιμήσω τέσσερις ανθρώπους που με στήριξαν στα πρώτα μου βήματα στον κλάδο της ωρολογοποιίας, τον Αριστοτέλη, την Έλενα, την Ανδριάνα και τον πρώτο μου καθηγητή ωρολογοποιίας, κ. Μιχάλη.

Την οικογένεια μου για τη στήριξη που μου προσέφερε όλα αυτά τα χρόνια.

Τον κ. Μανωλάκο για την εμπιστοσύνη του και τη βοήθεια σε αυτή την έρευνα, τον κ. Κωστάζο, τον κ. Μελισσά και τον κ. Κερασιώτη για την βοήθεια τους στο πειραματικό μέρος.

Λίστα περιεχομένων.

| | |
|--|----|
| ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ | 1 |
| Περίληψη..... | 3 |
| Abstract | 5 |
| Ευχαριστίες..... | 6 |
| Λίστα περιεχομένων..... | 7 |
| 1.1 Ορισμός : | 9 |
| 1.2 Ιστορική αναδρομή στα κεραμικά υλικά | 9 |
| 1.3 Γενική συμπεριφορά κεραμικών υλικών | 12 |
| 1.4 Μερικοί γενικοί κανόνες σχεδιασμού κεραμικών κατασκευών..... | 15 |
| 1.5 Επισκόπηση κεραμικών υλικών | 16 |
| 2.0 Η λειτουργία ενός μηχανικού ρολογιού | 24 |
| 2.1 Η μετάδοση της κίνησης/ροπής σε ένα μηχανικό ρολόι | 24 |
| 2.2 Το σύστημα διαφυγής..... | 27 |
| 3.0 Βελτιώσεις του μηχανισμού με τη χρήση κεραμικών υλικών..... | 31 |
| 3.1 Μείωση των τριβών με τη χρήση κεραμικών υλικών | 31 |
| 3.2 Μείωση των αδρανειακών δυνάμεων με τη χρήση κεραμικών υλικών..... | 34 |
| 3.3 Μείωση των μαγνητικών και των θερμοκρασιακών επιρροών με τη χρήση κεραμικών υλικών | 37 |
| 4.0 Τρίχα / Hairspring | 38 |
| 4.1 Τρίχα Nivarox / Nivarox Hairspring | 40 |
| 4.2 Τρίχα πυριτίου / Silicon hairspring..... | 41 |
| 4.3 Εταιρίες που χρησιμοποιούν το πυρίτιο | 41 |
| 5.0 Κεραμική θήκη & στεφάνη | 45 |
| 5.1 Κεραμική επίστρωση θήκης (COATING)..... | 45 |
| 5.2 Τύποι επιστρώσεων: PACVD, CVD, PVD, DLC..... | 45 |
| 5.3 Ιστορική αναφορά κεραμικών ρολογιών | 50 |
| 5.4 Η χρήση της στεφάνης | 56 |
| 5.5 Τύποι στεφάνης και η χρησιμότητά τους | 56 |
| 5.5.1 Απλή στεφάνη | 57 |

| | | |
|--------|--|-----|
| 5.5.2 | Στεφάνη GMT (Greenwich Mean Time) / Ώρα Γκρίνουιτς | 57 |
| 5.5.3 | Δεκαδική στεφάνη..... | 58 |
| 5.5.4 | Regatta ή Yacht-Timer (στεφάνη λεμβοδρομίας) | 59 |
| 5.5.5 | Παλμομετρική στεφάνη. | 61 |
| 5.5.6 | Στεφάνη πυξίδα..... | 62 |
| 5.5.7 | Στεφάνη με τηλέμετρο. | 63 |
| 5.5.8 | Αύξουσα στεφάνη με κλίμακα 0-60..... | 64 |
| 5.5.9 | Φθίνουσα στεφάνη με κλίμακα 60-0..... | 65 |
| 5.5.10 | Στεφάνη με ταχύμετρο. | 65 |
| 5.5.11 | Παγκόσμια ώρα..... | 67 |
| 5.5.12 | Στεφάνη κώδικα επικοινωνίας αέρος-εδάφους. | 67 |
| 5.5.13 | Στεφάνη Λογαριθμικού κανόνα / Slide Rule bezel..... | 68 |
| 6.0 | Πειραματικό μέρος..... | 70 |
| 6.1 | Κατασκευή καλουπιού | 71 |
| 6.2 | Επιλογή των υλικών για την κατασκευή της στεφάνης | 83 |
| 6.3 | Υπολογισμός ποσότητας κεραμικού υλικού. | 89 |
| 6.4 | Δημιουργία του κεραμικού μείγματος | 92 |
| 6.5 | Ανάμειξη υλικών και προετοιμασία για συμπίεση | 95 |
| 6.6 | Υπολογισμός της δύναμης συμπίεσης | 98 |
| 6.7 | Πλήρωση καλουπιού, συμπίεση και προετοιμασία για έψηση. | 99 |
| 6.8 | Υπολογισμός της θερμοκρασίας έψησης..... | 105 |
| 7.0 | Πειραματικές συνθήκες / μετρήσεις & αποτελέσματα..... | 113 |
| 7.1 | Συνθήκες συμπίεσης | 113 |
| 7.2 | Μέτρηση διαστάσεων στεφάνης πριν και μετά την έψηση , μεταβολή όγκου DV & μεταβολή πυκνότητας Dρ. | 115 |
| 7.3 | Επιφανειακή λείανση κεραμικής στεφάνης & φωτογράφιση δοκιμίων | 118 |
| 7.4 | Έλεγχος τραχύτητας & σκληρότητας κατά Brinell-Vickers..... | 120 |
| 7.5 | Φωτογράφιση και περιγραφή δοκιμίων μετά την έψηση..... | 124 |
| 8.0 | Συμπεράσματα, παρατηρήσεις και προτάσεις προς μελλοντική διερεύνηση..... | 129 |
| 9.0 | Κατάλογος Πινάκων..... | 137 |
| 10.0 | Κατάλογος Εικόνων | 138 |
| 11.0 | Κατάλογος Αναφορών..... | 142 |

1.0 Κεραμικά υλικά

1.1 Ορισμός :

(σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή και την Αμερικάνικη Ένωση κεραμικών υλικών)

Κεραμικό υλικό είναι κάθε ανόργανο μη μεταλλικό υλικό, το οποίο έχει υποστεί θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες (>1000 °C) είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας του είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής του. [1]

1.2 Ιστορική αναδρομή στα κεραμικά υλικά

Η ιστορία της τεχνολογίας της επεξεργασίας των κεραμικών υλικών είναι αρκετά ενδιαφέρουσα τόσο για τις απλές διαδικασίες των αρχαίων χρόνων που περιλάμβαναν τη χρήση φυσικών υλικών, όσο και για τις πρόσφατα ανεπτυγμένες και αρκετά εξελιγμένες για χρήση συνθετικών υλικών και χρησιμοποιούνται εκτενώς σήμερα.

Περίπου από το 5000π.Χ. εμφανίζεται η διαδικασία ανάμειξης υλικών, η διαμόρφωση και η διακόσμηση κεραμικών προϊόντων με το χέρι. Η πρώτη μηχανή διαμόρφωσης κεραμικών υλικών, ήταν πιθανότερα ο τροχός του αγγειοπλάστη, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε από το 3500π.Χ. και έπειτα, ενώ η διαμόρφωση του υλικού με συμπίεση σε καλούπια και το ψήσιμο τους σε κλειστούς κλιβάνους ήταν μεταγενέστερες εξελίξεις.

Το πιο αξιοσημείωτο επίτευγμα στις αρχές της χριστιανικής εποχής ήταν η ανάπτυξη της λευκής πορσελάνης υψηλής διαφάνειας στην Κίνα. Στην Δύση δεν είχε υπάρξει κάποια εξέλιξη μέχρι το 1708, όταν ένας νεαρός Γερμανός αλχημιστής, ο Fredrich Bottger, υπό την καθοδήγηση του διάσημου φυσικού Count von Tschirnhaus, ανακάλυψε ότι μπορούσε να παραχθεί λεπτή πορσελάνη, ψήνοντας ένα μείγμα που περιείχε πυρίμαχο πηλό και εύτηκτα υλικά. Άλλες εφευρέσεις τον 18^ο αιώνα περιελάμβαναν τη χρήση ενός πρότυπου για τη διαμόρφωση του προϊόντος, τη χύτευση ολίσθησης σε πορώδη καλούπια, την εξώθηση με κοχλία, τη διακόσμηση με μεταφορά χρωμάτων και το ψήσιμο σε κλίβανο σήραγγας. Η εκμετάλλευση της ενέργειας του ατμού τον 19^ο αιώνα οδήγησε στη μηχανοποίηση της ανάμειξης των υλικών, στην συμπίεση με φίλτρα, την ξηρή συμπίεση και στη διαμόρφωση της επιφάνειας του προϊόντος με πέτρες λειάνσεως. Κοντά στα τέλη εκείνου του αιώνα, διακρίθηκαν διαφορετικές φάσεις του πυριτίου χρησιμοποιώντας οπτικό μικροσκόπιο και επίσης καρβίδιο του πυριτίου συντέθηκε σε ηλεκτρικό κλίβανο.

Εν συνεχεία, πυρομετρικοί κώνοι αναπτύχθηκαν από τον Segar για τον έλεγχο του ψησίματος.



Εικόνα 1 - Πυρομετρικός κώνος της Segar.

Το πρώτο μισό του εικοστού αιώνα είδε την ταχεία ανάπτυξη των τεχνικών ακτινών Χ για την ανάλυση της ατομικής δομής των κρυστάλλων και αργότερα της ηλεκτρονικής μικροσκοπίας για την εξέταση της μικροδομής πέρα από το όριο του οπτικού μικροσκοπίου. Τα συστήματα δομής των υλικών έγιναν πιο εξευγενισμένα και ειδικές ενώσεις αναπτύχθηκαν, συντέθηκαν και κατασκευάστηκαν σε προϊόντα για πυρίμαχες και ηλεκτρονικές εφαρμογές. Τα εξευγενισμένα οργανικά πρόσθετα εισήχθησαν σκόπιμα για τη βελτίωση της συμπεριφοράς των υλικών κατά την επεξεργασία. Η βιομηχανική παραγωγή μηχανοποιήθηκε και πολλά στάδια κατασκευής αυτοματοποιήθηκαν. Τα θερμοστοιχεία χρησιμοποιήθηκαν τακτικά για την παρακολούθηση των θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του πυρώματος. Το δεύτερο μισό του εικοστού αιώνα σημειώθηκε σημαντική πρόοδος στη σύνθεση, τον χαρακτηρισμό και την κατασκευή κεραμικών προϊόντων. Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο χρησιμοποιήθηκε για την μικροδομική ανάλυση και τον ποιοτικό έλεγχο στην κατασκευή των κεραμικών και έγινε δυνατός ο προσδιορισμός σωματιδίων κάτω από 0,1 μm. Η συμπεριφορά της ροής κατά τη διαμόρφωση δρομολογήθηκε και ελέγχθηκε χρησιμοποιώντας ένα σύστημα πολλαπλών συστατικών προσθέτων. Οι συσκευές δοκιμών και τα μηχανήματα επεξεργασίας είναι πολύ πιο προηγμένα και οι υπολογιστές χρησιμοποιούνται πλέον σε όλη τη βιομηχανία για την παρακολούθηση και/ή τον έλεγχο του χειρισμού και της προετοιμασίας, της σύνθεσης και της προετοιμασίας των πρώτων υλών. [2]. Τα τελευταία δέκα χρόνια πολλά μέταλλα αντικαταστήθηκαν από τα κεραμικά υλικά σε πάρα πολλές χρήσεις τους. Μάλιστα κοπτικά εργαλεία από Sialon ή συμπαγή αλουμίνα παρουσιάζουν καλύτερες ιδιότητες κοπής κι από τα καλύτερα κοπτικά μεταλλικά εργαλεία. Η διάρκεια ζωής των γεωργικών μηχανημάτων αυξήθηκε κατά 10 φορές καθώς εκμεταλλευτήκαμε την αντιτριβική αντοχή των προηγμένων κεραμικών.

Επίσης η συμβατότητά τους με τους ανθρώπινους ιστούς βοήθησε στη κατασκευή τεχνητών συνδέσμων. Λόγω των υψηλών σημείων τήξης τους χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που λειτουργούν σε υψηλές θερμοκρασίες και φτάνοντας στο σήμερα, μετά βεβαιότητας παρατηρούμε τη χρήση κεραμικών υλικών στην κατασκευή οργάνων ακριβείας , όπως είναι και τα ρολόγια. [3]

1.3 Γενική συμπεριφορά κεραμικών υλικών

Τα πιο σημαντικά πλεονεκτήματα των κεραμικών υλικών, σε σύγκριση με τα μεταλλικά είναι:

- α) Χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα
- β) Χαμηλή θερμική αγωγιμότητα
- γ) Χαμηλό βάρος ως αποτέλεσμα της χαμηλής πυκνότητας
- δ) Υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
- ε) Αντοχή στη φθορά ως αποτέλεσμα της υψηλής σκληρότητας
- ζ) Αντοχή στη θλίψη
- η) Αντοχή στη διάβρωση
- θ) Ειδικές φυσικές ιδιότητες (οπτικές, ηλεκτρικές, μαγνητικές)

Αυτές οι ιδιότητες κάνουν τα κεραμικά υλικά κατάλληλα για χρήση σε αρκετούς τεχνικούς τομείς. Για παράδειγμα, η χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα χρησιμοποιείται σε εφαρμογές μόνωσης με τα μπουζί να είναι από τις πιο γνωστές εφαρμογές στην αυτοκινητοβιομηχανία. Ακόμη, η χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, χρησιμοποιείται για τη θερμική προστασία των Διαστημικών Λεωφορείων αλλά και ως μονωτικά στρώματα στους θαλάμους καύσης, ενώ η αντίσταση στη διάβρωση τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογή στους θερμικούς εναλλάκτες. Στην βιοϊατρική (αρθρώσεις ισχίου, οδοντοστοιχίες), η συμβατότητα των κεραμικών υλικών με το ανθρώπινο σώμα είναι ένα μεγάλο πλεονέκτημα που έχει εξελίξει αρκετά τον προαναφερθέντα κλάδο. Η εξαιρετική αντοχή στη φθορά αξιοποιείται για την κατασκευή εργαλείων κοπής, για ρουλεμάν ή ακόμη και μέσα στην κλωστοϋφαντουργία για την καθοδήγηση νημάτων. Η αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία χρησιμοποιείται στις πυρηνικές εφαρμογές τεχνολογίας σύντηξης, στην εξέλιξη των αεριοστρόβιλων και στον τομέα της ηλιακής ενέργειας.

Τα κύρια μειονεκτήματα των κεραμικών υλικών, σε σύγκριση με τα μεταλλικά είναι:

- α) Χαμηλή αντοχή σε εφελκυσμό (ψαθυρά υλικά) για κάποια υλικά, σε θερμοκρασία δωματίου.
- β) Ευθραυστότητα.

- γ) Μεγάλος διασκορπισμός δυνάμεων.
- δ) Εύκολη διάδοση ρωγμών
- ε) Μικρή αντοχή σε κόπωση, λυγισμό και κρούση.
- ζ) Μεγάλη επίδραση μικροδομής και πορώδους στις μηχανικές και φυσικές τους ιδιότητες.
- η) Συνήθως υψηλό κόστος παραγωγής.
- θ) Η έλλειψη μεθόδων μη καταστροφικού ελέγχου.

Η ευθραυστότητα προϋποθέτει την αστοχία χωρίς προηγούμενη μετρήσιμη πλαστική παραμόρφωση. Αυτό οφείλεται στην ισχυρή συγκόλληση των ατόμων στα κεραμικά υλικά, που οδηγεί σε υψηλές τάσεις κατά την κίνηση των εξαρθρώσεων. Έτσι, η αστοχία μπορεί να ξεκινήσει από μικρές ατέλειες πριν να είναι δυνατή η πλαστική παραμόρφωση. Αυτό το γεγονός μπορεί επίσης να εκφραστεί σε χαμηλή αντίσταση ως προς την επέκταση μιας ρωγμής, η οποία τα υποβιβάζει από ανθεκτικά σε εύθραυστα. Η απουσία τοπικής πλαστικής παραμόρφωσης οδηγεί στη αστοχία των θέσεων με μεγάλες τοπικές τάσεις, π.χ. στις εγκοπές, στις επαφές μεταξύ διαφορετικών υλικών ή κατά τη διάρκεια κάποιου θερμικού σοκ, ενώ στα μέταλλα αυτές οι αναμενόμενες τοπικές τάσεις οδηγούν σε μικρές πλαστικές παραμορφώσεις.

Η εύκολη επέκταση των ρωγμών μπορεί να προκαλέσει αστοχία είτε σε συνεχή είτε σε κυκλική φόρτιση κατά τη λειτουργία ενός εξαρτήματος και θα οδηγήσει, κατά συνέπεια, στην περιορισμένη διάρκεια ζωής του.

Λόγω αυτών των μειονεκτημάτων τα κεραμικά υλικά εφαρμόζονται μόνο σε περιπτώσεις όπου υπερισχύουν οι θετικές ιδιότητες έναντι των αρνητικών. Προκειμένου να επιβληθούν τα θετικά χαρακτηριστικά των κεραμικών πρέπει κανείς να περιορίσει την επιρροή των αρνητικών χαρακτηριστικών όσο το δυνατόν περισσότερο. Αυτό απαιτεί προσεκτική επιλογή υλικού και φυσικά θα πρέπει να ακολουθηθούν οι σωστές οδηγίες κατά την παραγωγή τους.

Για την σωστή επιλογή των υλικών είναι σημαντικό να έχουμε υπόψη μας τις εξής ιδιότητες:

α) Φυσικές ιδιότητες:

- συντελεστής θερμικής διαστολής,
- θερμική αγωγιμότητα,
- πυκνότητα,
- ελαστικές σταθερές (Μέτρο του Young, Λόγος Poisson),
- ηλεκτρική αγωγιμότητα.

β) Μηχανικές ιδιότητες:

- αντοχή σε εφελκυσμό (κυρίως δίνεται ως αντοχή κάμψης)
- προένταση,
- αντοχή σε θραύση,
- παράμετροι ανάπτυξης ρωγμών.

1.4 Μερικοί γενικοί κανόνες σχεδιασμού κεραμικών κατασκευών

(α) Ελαχιστοποιήστε τις τάσεις εφελκυσμού.

Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με τον ακόλουθο τρόπο:

1. Τα κεραμικά στοιχεία πρέπει να εισάγονται σε θέσεις όπου αναμένονται θλιπτικές τάσεις.
2. Θα πρέπει να αποφεύγονται οι αιχμηρές εγκοπές και όλες οι διαμορφώσεις που συγκεντρώνουν πιέσεις.
3. Τα εξωτερικά φορτία δεν πρέπει να κατανέμονται ούτε σημειακά ούτε γραμμικά.
4. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας θα πρέπει να ελαχιστοποιούνται.
5. Θα πρέπει να επιτρέπεται η ελεύθερη διαστολή των θερμικών παραμορφώσεων. Οποιοσδήποτε περιορισμός θα οδηγήσει στη δημιουργία πιέσεων.

(β) Είναι απαραίτητος ένας προσεκτικός και ακριβής υπολογισμός των τάσεων σε ολόκληρο το στοιχείο.

Στις περισσότερες περιπτώσεις αυτό απαιτεί την εφαρμογή της μεθόδου των πεπερασμένων στοιχείων (Finite Element Method). Οφείλουμε να αναφέρουμε πως ο προσδιορισμός των θερμικών τάσεων είναι ιδιαίτερης σημασίας.

(γ) Μια στατιστική ανάλυση για διάφορες τιμές των μεταβλητών είναι απαραίτητη για την ελαχιστοποίηση των αστοχιών.

1.5 Επισκόπηση κεραμικών υλικών

Τα κεραμικά υλικά μπορούν να υποδιαιρεθούν σε αρκετές ομάδες, λαμβάνοντας υπόψη τη χημική τους σύνθεση, τη μικροδομή και τον τομέα εφαρμογής τους. Με βάση την εφαρμογή τους μπορεί κανείς να διακρίνει τα υλικά αυτά μεταξύ των παραδοσιακών κεραμικών και των προηγμένων. Τα παραδοσιακά κεραμικά περιλαμβάνουν επιτραπέζια σκεύη, αγγεία, είδη υγιεινής, πλακάκια, τούβλα και τσιμεντόλιθους. Τα προηγμένα κεραμικά μπορούν να υποδιαιρεθούν σε *ηλεκτρονικά κεραμικά* (*μονωτές, υποστρώματα, πυκνωτές, βαρίστορ, ενεργοποιητές, αισθητήρες*), *οπτικά κεραμικά* (παράθυρα, λέιζερ), *μαγνητικά κεραμικά* και *μηχανικά κεραμικά*. Τα μηχανικά ή δομικά κεραμικά έχουν εφαρμογές στη μηχανολογία, τη χημική μηχανική, την τεχνολογία υψηλής θερμοκρασίας και τη βιοϊατρική τεχνολογία. Ειδικά κεραμικά που δεν είναι άμεσα συσχετιζόμενα με τις κατηγορίες που αναφέρονται παραπάνω είναι τα *κεραμικά αντιδραστήρων* (απορροφητικά υλικά, υλικά αναπαραγωγής, πυρηνικά καύσιμα) και τα πυρίμαχα προϊόντα.

Μια πιθανή ταξινόμηση των κεραμικών είναι η διάκριση μεταξύ

- α) κεραμικά πυριτίου (silicate ceramics)**
- β) κεραμικά οξειδία (oxide ceramics)**
- γ) κεραμικά μη οξειδία (Non-oxide ceramics)**

Αυτή η ταξινόμηση είναι ένας συνδυασμός χημικής σύνθεσης (οξείδιο, μη οξείδιο) και ατομικής δομής (υαλομορφική / κρυσταλλική). Το κύριο χαρακτηριστικό των πυριτικών κεραμικών είναι η ύαλο-άμορφη φάση με έντονη δομή πόρων. Το κύριο περιεχόμενο είναι το SiO_2 με προσθήκες Al_2O_3 , MgO , BeO , ZrO_2 και άλλα οξειδία. Η περαιτέρω υποδιαίρεση είναι μεταξύ αργίλου-κεραμικής με κύριο συστατικό τον Μουλίτη ($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$) και κάποιου άλλου κεραμικού πυριτίου, π.χ. Κορδιερίτη ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$). Τα πηλοκεραμικά υποδιαιρούνται σε αυτά με λεπτούς και αυτά με χονδροειδείς κόκκους. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν τα πήλινα, τα επιτραπέζια, τα πορσελάνινα κεραμικά και τα πλακάκια. Τα τούβλα, ο πηλός, οι σωλήνες και το τσιμέντο ανήκουν στην τελευταία κατηγορία. Τα κεραμικά οξειδία διακρίνονται από τα πυριτικά κεραμικά με βάση την κυριαρχία της κρυσταλλικής φάσης στη δομή τους, με μια μικρή περιεκτικότητα σε υαλώδη φάση. Τα σημαντικότερα οξειδία είναι: Al_2O_3 , BeO , MgO , ThO_2 , TiO_2 , VO_2 , ZrO_2 .

Οι ιδιότητες των μεμονωμένων οξειδίων μπορούν να τροποποιηθούν με πρόσθετα. Τα κεραμικά σκληρυμένα με διασπορά είναι κυρίως Al_2O_3 -κεραμικά με λεπτή διασπορά σωματιδίων ZrO_2 ή TiC . Το σύστημα Al_2O_3 - ZrO_2 ονομάζεται ΖΤΑ (οξείδιο αλουμινίου σκληρυμένο με ζirkόνιο).

Η Ζιρκονία υπάρχει σε διάφορες μορφές. Η καθαρή ZrO_2 δεν έχει πρακτική χρήση καθώς δημιουργούνται ρωγμές κατά την πυροσυσσωμάτωση και πραγματοποιείται μετασχηματισμός φάσης από τετραγωνική σε μονοκλινική. Προσθήκη άλλων οξειδίων (MgO , Y_2O_3 , CaO , CeO) μπορούν να καταστείλουν μερικώς ή πλήρως τον μετασχηματισμό αυτό. Τα παρακάτω υλικά παρουσιάζουν ένα ιδιαίτερο ενδιαφέρον:

| | |
|-------------|--|
| Mg – PSZ | μερικώς σταθεροποιημένο ZrO_2 με MgO |
| Y – PSZ | μερικώς σταθεροποιημένο ZrO_2 με Y_2O_3 |
| Mg/Ca – PSZ | μερικώς σταθεροποιημένο ZrO_2 με MgO και CaO |
| Y – TZP | τετραγωνικό ZrO_2 με Y_2O_3 |
| Ca – CSZ | πλήρως σταθεροποιημένο ZrO_2 με CaO |
| Y – CSZ | πλήρως σταθεροποιημένο ZrO_2 με Y_2O_3 |

Εάν υπάρχουν διαφορετικά συστατικά σε ένα κεραμικό οξείδιο που μπορεί να αντιδράσει με μια ένωση οξειδίου ειδικής δομής, τότε το κεραμικό αυτό ονομάζεται πολυσυστατικό (multicomponent) ή μικτό οξείδιο (mixed oxide). Τα υλικά που ακολουθούν ανήκουν σε αυτή την κατηγορία:

Spinel $MgO \cdot Al_2O_3$

Mullite $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$

Aluminium titanate Al_2TiO_5 ($Al_2O_3 \cdot TiO_2$)

Τα κεραμικά μη οξείδια περιλαμβάνουν στοιχεία άνθρακα σε μορφή γραφίτη και διαμαντιού. Κάποια από αυτά είναι:

- Νιτρίλια AlN , BN , Si_3N_4 , TiN
- Καρβίδια B_4C , SiC , TiC , WC
- Βορίδια TiB_2 , ZrB_2
- Σελενίδες $ZnSe$
- Σιλινίδες $MoSi_2$
- Sialons Si_3N_4 με Al_2O_3
- Syalons Si_3N_4 με Al_2O_3 και Y_2O_3

Τα νιτρίδια και τα καρβίδια παράγονται με διαφορετικές διαδικασίες. Για τα προϊόντα αυτά χρησιμοποιείται η ακόλουθη ονοματολογία:

SSN: sintered silicon nitride (πυροσυσσωματομένο πυριτικό νιτρίδιο)

RBSN: reaction bonded silicon nitride (πυριτικό νιτρίδιο θερμοσμένο σε αζωτούχα ατμόσφαιρα)

HPSN hot-pressed silicon nitride (πυριτικό νιτρίδιο πυροσυσσωματωμένο σε μήτρα γραφίτη) με προσθήκη MgO ή Y_2O_3 .

HIPSN hot isostatic pressed silicon nitride (πυριτικό νιτρίδιο πυροσυσσωματωμένο σε μήτρα γραφίτη, ισοστατικά)

SRBSN post sintered reaction bonded silicon nitride (πυροσυσσωμάτωση μεταξύ 1780 και 2000°C, χρησιμοποιώντας φούρνο υπερπίεσης αζώτου, αφού έχει προστεθεί πυροσυσσωματωμένο Si_3N_4)

SSiC pressureless sintered silicon carbide (πυροσυσσωμάτωση καρβιδίου του πυριτίου σε ατμοσφαιρικές συνθήκες)

RBSiC reaction bonded silicon carbide (πυριτικό καρβίδιο θερμασμένο σε αζωτούχα ατμόσφαιρα)

HPSiC hot-pressed silicon carbide (πυριτικό καρβίδιο πυροσυσσωματωμένο σε μήτρα γραφίτη) με προσθήκη MgO ή Y_2O_3 .

HIPSiC hot isostatic pressed silicon carbide (πυριτικό καρβίδιο πυροσυσσωματωμένο σε μήτρα γραφίτη, ισοστατικά)

RSiC recrystallized silicon carbide (Πυριτικό καρβίδιο πυροσυσσωματωμένο σε πολύ υψηλή θερμοκρασία 2400°C (κρυστάλλωση), ώστε να παράχθει ένα εξαιρετικά καθαρό κεραμικό με πορώδη δομή.

SiSiC silicon carbide containing free silicon (silicon infiltrated silicon carbide).

Τα προϊόντα με RBSN, RBSiC και RSiC είναι αισθητά πορώδη.

Μια ειδική κατηγορία υλικών είναι αυτή των υαλοκεραμικών. Περιλαμβάνουν μερικώς κρυσταλλωμένα γυαλιά τα οποία κατασκευάζεται με ελεγχόμενη κρυστάλλωση. Η περιεκτικότητα της κρυσταλλικής φάσης είναι μεταξύ 50 και 100% και διακρίνονται

Τρεις ομάδες:

- SiO_2 - Li_2O με προσθήκη Au, Ag, P_2O_5
- LAS με βάση Li_2O - Al_2O_3 - SiO_2
- MAS με βάση MgO - Al_2O_3 - SiO_2 , επιπλέον προσθετικά είναι τα K_2O , ZnO , P_2O_5 , TiO_2 , MoO_3 , WO_3 .

Γνωστότερα στον τομέα αυτό υλικά είναι τα Zerodur (Schott) και το Pyroceram [4]



Εικόνα 2 – Pyroceram.



Εικόνα 3 - Zerodur.

Πίνακας 1 –Τα κεραμικά υλικά και οι χρήσιμες ιδιότητές τους.

| <i>Χρήσιμες ιδιότητες</i> | <i>Υλικά</i> | <i>Παραδείγματα</i> |
|--|--|---|
| Κατασκευή κινητήρων | | |
| Αντοχή στη φθορά, θερμομόνωση, χαμηλή πυκνότητα, αντίσταση στη διάβρωση, ηλεκτρική μόνωση, αντοχή σε υψηλή θερμοκρασία | Al ₂ O ₃ , Al ₂ TiO ₅ , ZrO ₂ , SiC, Si ₃ N ₄ | θερμομόνωση θαλάμων καύσης, έδρες βαλβίδων, μπουζί, στροβιλοσυμπιεστές, τουρμπίνες αερίου |
| Βιομηχανικές εφαρμογές | | |
| Αντοχή στην διάβρωση και τη φθορά | Al ₂ O ₃ , C (graphite), ZrO ₂ , SiC | Χρώματα βαφής, γλύστρες διαδρόμων, οδηγόι νημάτων, κύλινδροι χαρτοβιομηχανίας |
| Εφαρμογές υψηλής θερμοκρασίας | | |
| Αντοχή στην διάβρωση, θερμική μόνωση, ηλεκτρική μόνωση, πυρίμαχη αντοχή | Si ₃ N ₄ , SiC, Al ₂ O ₃ , C, BN, MoSi ₂ | εναλλάκτες θερμότητας, χυτήρια, αγωγοί θέρμανσης, προστατευτικοί σωλήνες θερμοστοιχείων, συσκευές φόρτωσης για δοκιμή υλικών, μονάδες καυστήρων |
| Βιομηχανικά υλικά | | |
| Αντοχή στην διάβρωση, αντοχή στη φθορά | Al ₂ O ₃ , Si ₃ N ₄ , SiC, B ₄ C, TiC, TiN, BN, διαμάντι | Κοπτικά εργαλεία, πέτρες ακονίσματος, ακροφύσια αμμοβολής |
| Ιατρικές εφαρμογές | | |
| Αντοχή στη διάβρωση, συμβατότητα με το ανθρώπινο σώμα | Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ | Κεραμικά οδοντοτεχνίας, κεραμικά οστά και αρθρώσεις |
| Ηλεκτρονικές εφαρμογές | | |
| Ηλεκτρική μόνωση, θερμομόνωση | Al ₂ O ₃ , AlN | πλακέτες για ολοκληρωμένα κυκλώματα, μονώσεις |

Πίνακας 2 - Τα κεραμικά υλικά και οι εφαρμογές τους.

| ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ |
|--|--|
| Αλουμίνα | Δακτύλιοι στεγανοποίησης, πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, κοπτικά εργαλεία, ακροφύσια αμμοβολής, προστατευτικές σωληνοειδής θήκες θερμοστοιχείων, μπουζί, ρουλεμάν, βαλβίδες, οδηγοί νημάτων για μηχανές υφασμάτων, εξαρτήματα αντλιών, κουζινέτα, ιατρικά εμφυτεύματα, ακροφύσια αντιδραστήρων, χωνευτήρια χύτευσης, |
| Μαγνησία | Πυρότουβλα, χωνευτήρια χύτευσης, επικαλύψεις θερμοστοιχείων |
| Ζirkονία | Χωνευτήρια χύτευσης, εξαρτήματα έδρασης, εργαλεία λείανσης, κάρτερ αντλιών, εργαλεία σύρματος(πένσες κλπ), θερμομονωτική επένδυση, |
| Καρβίδιο του πυριτίου | Δακτύλιοι στεγανοποίησης, εναλλακτες θερμότητας, εργαλεία λείανσης, χωνευτήρια, κουζινέτα, ακροφύσια λείζερ και συγκόλλησης πλαστικών, κονιάματα, συσκευές δοκιμής υλικών μεγάλων θερμοκρασιών, |
| Τιτανικό αλουμίνιο | Τελικά εξαρτήσεων, ακροφύσια καυστήρων, χιτώνια θερμοστοιχείων. |
| Διπυριτικό μολυβδένιο | Ηλεκτρικές αντιστάσεις |
| Καρβίδιο του βορίου | Ακροφύσια αμμοβολής, πλάκες θωράκισης, σκόνες λείανσης και στίλβωσης, κονιάματα, εργαλεία επίδεσης για λείανση δίσκων, |
| Καρβίδιο του βολφραμίου (σε μήτρα από κράμα | Κοπτικά εργαλεία, ακροφύσια αμμοβολής |
| Νιτρίδιο του πυριτίου | Ρουλεμάν, έμβολα θερμής συμπίεσης, εξαρτήματα για χημικές εγκαταστάσεις, χωνευτήρια, ακροφύσια λείζερ και συγκόλλησης πλαστικών, εργαλεία κοπής, βαλβίδες, στοιχεία για αεριοστροβίλους και στροβιλοσυμπιεστές, μπίλιες ρουλεμάν, ακροφύσια συγκόλλησης |
| Νιτρίδιο του αλουμινίου | Χωνευτήρια, ηλεκτρονικά υποστρώματα, εναλλάκτες θερμότητας, ψύκτες θερμότητας σε ηλεκτρονικές συσκευές |
| Νιτρίδιο του βορίου | Χωνευτήρια τήξης μετάλλων, χιτώνια θερμοστοιχείων, αντλίες για υγρά μέταλλα, έμβολα θερμής πίεσης. |
| Κεραμικό γυαλί | Εργαστηριακός εξοπλισμός, πλάκες εστίας, εναλλάκτες θερμότητας, χωνευτήρια, παράθυρα κλιβάνων, αντλίες για διαβρωτικούς παράγοντες, ρουλεμάν, αστρονομικά όργανα (κάτοπτρα για τηλεσκόπια). |

Πίνακας 3 - Παραδείγματα εφαρμογών κεραμικών υλικών με βάση τις ιδιότητές τους. ΜΕΡΟΣ Α'.

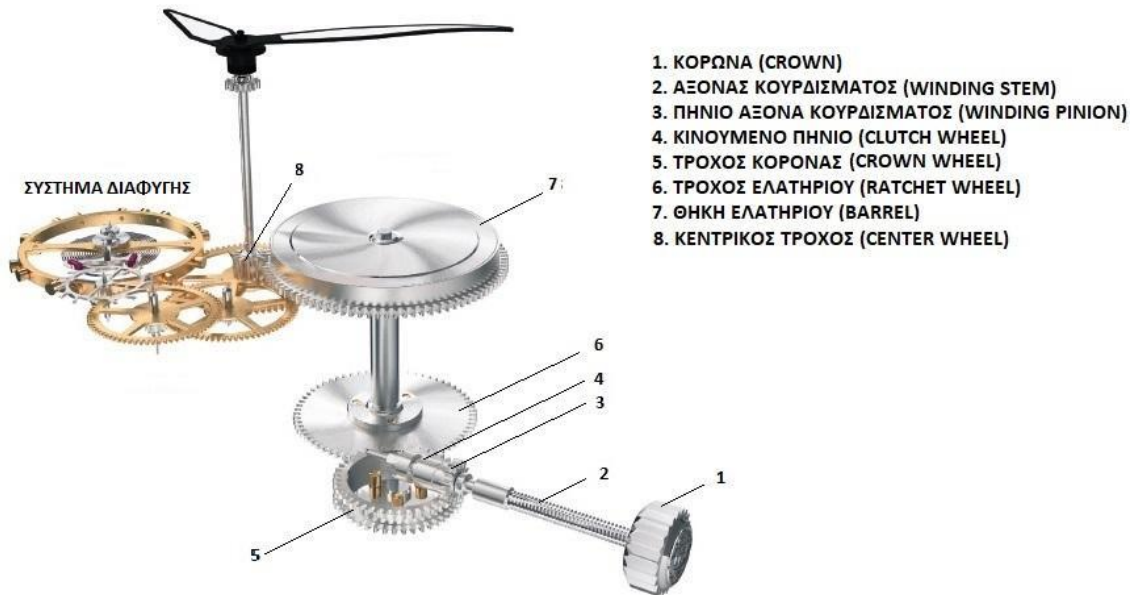
| ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ (παραδείγματα) |
|--|--|
| Θερμικές | |
| Μόνωση | Επενδύσεις κλιβάνων υψηλής θερμοκρασίας για μόνωση (ίνες οξειδίων όπως πυρίτιο, αλουμίνα και ζirkόνιο). |
| Θερμική ανθεκτικότητα | Επενδύσεις κλιβάνων υψηλής θερμοκρασίας για μόνωση και συγκράτηση λιωμένων μετάλλων και σκωριών. |
| Θερμική αγωγιμότητα | Ψύκτρες για ηλεκτρονικές συσκευασίες (AlN). |
| Ηλεκτρικές και διηλεκτρικές | |
| Αγωγή | Θερμαντικά στοιχεία για κλιβάνους (SiC, ZrO ₂ , MoSi ₂). |
| Σιδηροηλεκτρισμός | Πυκνωτές (υλικά με βάση το τιτανικό άλας). |
| Μονωτήρες χαμηλής τάσης | Κεραμική μόνωση (πορσελάνη, στεατίτης, φορστερίτης). |
| Μονωτήρες σε ηλεκτρονικές εφαρμογές | Υποστρώματα ηλεκτρονικών συσκευασιών και γενικά ηλεκτρικών μονωτών (Al ₂ O ₃ , AlN). |
| Μονωτήρες σε εχθρικά περιβάλλοντα | Αναφλεκτήρας ή Μπουζί (Al ₂ O ₃). |
| Ιοντοαγωγή | Αισθητήρες, κυψέλες καυσίμου και στερεοί ηλεκτρολύτες (ZrO ₂ , β-αλουμίνα κ.λπ.). |
| Ημιαγωγών | Θερμίστορ και θερμαντικά στοιχεία (οξείδια Fe, Co, Mn). |
| Μη γραμμικά χαρακτηριστικά I-V | Προστατευτικά ρεύματος υπέρτασης (Bi-Doped ZnO, SiC). |
| Ευαίσθητη στα αέρια αγωγιμότητα | Αισθητήρες αερίων (SnO ₂ , ZnO). |

Πίνακας 4 - Παραδείγματα εφαρμογών κεραμικών υλικών με βάση τις ιδιότητές τους. ΜΕΡΟΣ Β'

| ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ | ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ (παραδείγματα) |
|--|--|
| Μαγνητικές και υπεραγώγιμες | |
| Σκληροί μαγνήτες | Μαγνήτες φερρίτη [(Ba,Sr)O.6Fe2O3]. |
| Υπεραγωγιμότητα | Σύρματα και μαγνητόμετρα SQUID (YBa2Cu3O7). |
| Οπτικές | |
| Διαφάνεια | Παράθυρα (γυαλιά σόδα-λάιμ), καλώδια οπτικής επικοινωνίας (υπερκαθαρό πυρίτιο). |
| Ημιδιαφάνεια και χημική αδράνεια | Υλικά ανθεκτικά στη θερμότητα και στη διάβρωση, συνήθως για λαμπτήρες Na (Al2O3, MgO). |
| Μη γραμμικότητα | Συσκευές μεταγωγής για οπτικούς υπολογιστές (LiNbO3). |
| Διαφάνεια υπερύθρων | Παράθυρα λέιζερ υπερύθρων (CaF2, SrF2, NaCl). |
| Πυρηνικές εφαρμογές | |
| Σχάση | Πυρηνικό καύσιμο (UO3, UC), επένδυση καυσίμου (C, SiC), συντονιστές νετρονίων (C, BeO). |
| Σύντηξη | Υλικά αναπαραγωγής τρίτιου (ζirkονικά και πυριτικά άλατα Li, Li2O). Επένδυση αντιδραστήρα σύντηξης (C, SiC, Si3N4, B4C). |
| Χημικές | |
| Κατάλυση | Φίλτρα κατάλυσης (ζεόλιθοι); καθαρισμός των καυσαερίων. |
| Αντιδιαβρωτικές ιδιότητες | Εναλλάκτες θερμότητας (SiC), χημικός εξοπλισμός σε περιβάλλοντα διαβρωτικών/αντιδιαβρωτικών ιδιοτήτων. |
| Βιοσυμβατότητα | Τεχνητά αρθρικά πρόσθετα (Al2O3). |
| Μηχανικές | |
| Σκληρότητα | Εργαλεία κοπής (SiC ενισχυμένο με Al2O3, Si3N4). |
| Διατήρηση αντοχής σε υψηλή θερμοκρασία | Στάτες και πτερύγια τουρμπίνας, κεραμικοί κινητήρες (Si3N4). |
| Αντοχή στη φθορά | Ρουλεμάν (Si3N4). |

2.0 Η λειτουργία ενός μηχανικού ρολογιού

2.1 Η μετάδοση της κίνησης/ροπής σε ένα μηχανικό ρολόι



1. ΚΟΡΩΝΑ (CROWN)
2. ΑΞΟΝΑΣ ΚΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ (WINDING STEM)
3. ΠΗΝΙΟ ΑΞΟΝΑ ΚΟΥΡΔΙΣΜΑΤΟΣ (WINDING PINION)
4. ΚΙΝΟΥΜΕΝΟ ΠΗΝΙΟ (CLUTCH WHEEL)
5. ΤΡΟΧΟΣ ΚΟΡΩΝΑΣ (CROWN WHEEL)
6. ΤΡΟΧΟΣ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ (RATCHET WHEEL)
7. ΘΗΚΗ ΕΛΑΤΗΡΙΟΥ (BARREL)
8. ΚΕΝΤΡΙΚΟΣ ΤΡΟΧΟΣ (CENTER WHEEL)

Εικόνα 4 - Τα βασικά εξαρτήματα ενός μηχανικού ρολογιού.

Από τα παραπάνω εξαρτήματα της Εικόνας 4, δύο είναι αυτά που μπορούν να αναγνωρισθούν παρατηρώντας ένα ρολόι. Το πρώτο είναι η κορώνα (1) ή κουρδιστήρι και το δεύτερο οι δείκτες. Όπως και σε κάθε μηχανισμό δηλαδή, αυτό που βλέπουμε είναι η είσοδος και η έξοδος του. Για την ενεργοποίηση του μηχανισμού αυτού, χρειάζεται να δώσουμε την ενέργεια μας περιστρέφοντας την κορώνα (1), η οποία βρίσκεται βιδωμένη στον άξονα κουρδίσματος (2). Καθώς το τελείωμα του άξονα κουρδίσματος έχει την διαμόρφωση ενός τετράγωνου καρέ¹, η περιστροφή της κορώνας οδηγεί στην περιστροφή του πηνίου του άξονα κουρδίσματος (3) του οποίου το εσωτερικό έχει διαμόρφωση τετράγωνης οπής και εφαρμόζει στο τελείωμα του άξονος κουρδίσματος.

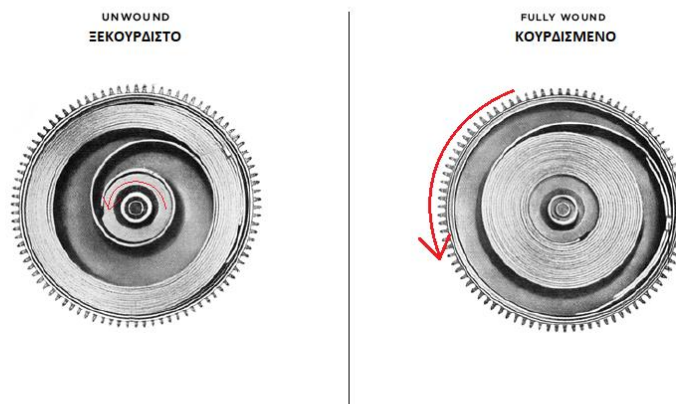
¹ Η διαμόρφωση του τετράγωνου καρέ δίνει τη δυνατότητα εναλλαγής του μετακινούμενου πηνίου άξονος κουρδίσματος μεταξύ δύο ή και τριών θέσεων. Αυτές είναι το κούρδισμα, η αλλαγή ημέρας ή/και ημερομηνίας και τέλος η αλλαγή της ώρας.



Εικόνα 5 - Το σύστημα αλλαγής ώρας ενός ρολογιού

Εφόσον η κορώνα είναι στην θέση κουρδίσματος, (η άλλη θέση είναι αυτή της αλλαγής ώρας κατά την οποία η κορώνα έχει τραβηχτεί έξω, (βλέπε υποσημείωση 1), το πηνίο του άξονα κουρδίσματος περιστρέφει τον τροχό της κορώνας (5) και συνεπώς τώρα η περιστροφή από κάθετη ως προς τους τροχούς του μηχανισμού μετασχηματίζεται σε ομοαξονική με αυτούς. Ο τροχός της κορώνας βρίσκεται σε επαφή με τον τροχό του ελατηρίου (6) ο οποίος βρίσκεται δεμένος στον άξονα της θήκης του ελατηρίου (7).

Η κίνηση έως εδώ είναι μονόδρομη. Αυτό σημαίνει ότι όση ενέργεια δίνουμε μέσω της κορώνας αποθηκεύεται στο ελατήριο και δεν μπορεί να απελευθερωθεί περιστρέφοντας αντίθετα την κορώνα. Η δυνατότητα αυτή δίνεται μέσα από ένα σύστημα καστάνιας που χρησιμοποιείται στα μέχρι τώρα κινούμενα εξαρτήματα.



Εικόνα 6 - Θήκη ελατηρίου, με το ελατήριο, χωρίς το καπάκι σε πλήρης αποφόρτιση αριστερά και πλήρη φόρτιση δεξιά.

Έτσι λοιπόν, η περιστροφή της κορώνας οδήγησε στην περιστροφή του άξονα του ελατηρίου και καταλήξαμε από ξεκούρδιστο και χωρίς ενέργεια ελατήριο, στο πλήρως κουρδισμένο ελατήριο της δεξιάς εικόνας. Ο μόνος τρόπος για να απελευθερωθεί η ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στο ελατήριο, καθώς ο άξονας που το συγκρατεί από το κέντρο είναι σταθερός και δεν μπορεί να αναστραφεί, είναι η περιστροφή της θήκης του ελατηρίου η οποία φέρει δόντια τα οποία συνδέονται με τον κεντρικό τροχό του ρολογιού και τον περιστρέφουν.



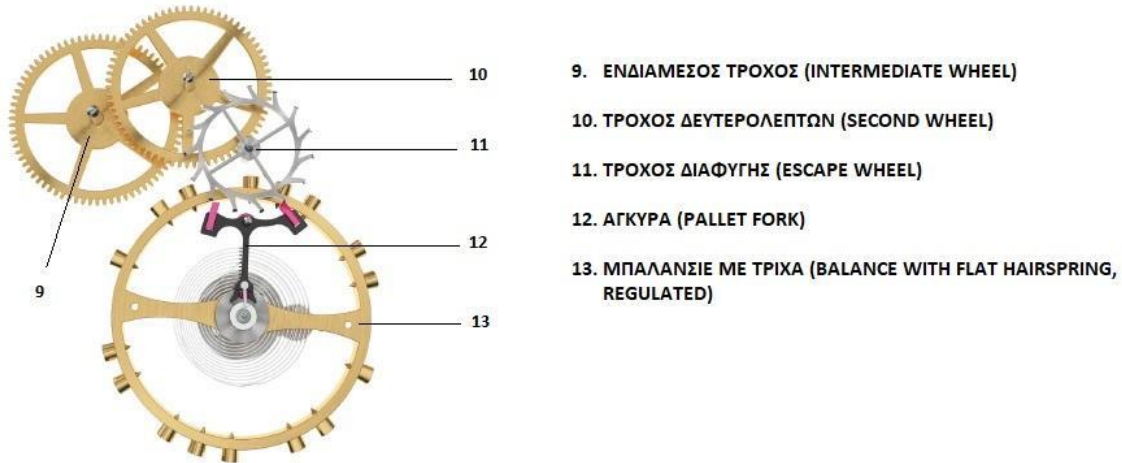
Εικόνα 7 - Κινήσεις της θήκης ελατηρίου.

Ο κεντρικός τροχός είναι αυτός ο οποίος κάνει μια πλήρη περιστροφή σε μία ώρα και στο τελείωμα του άξονα του τοποθετούμε τον δείκτη των λεπτών. Για να είναι εφικτή αυτή η σταθερή περιστροφή του ελατηρίου, σύμφωνα με τις αρχές της ωρολογοποιίας, η ενέργεια εκτονώνεται με τον ρυθμό που ορίζει το σύστημα διαφυγής. [5], [6], [7]



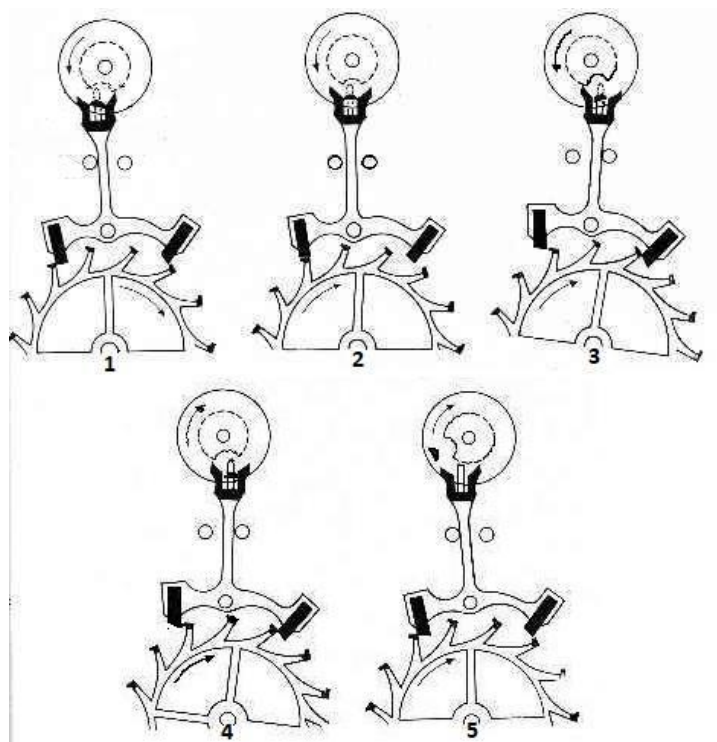
Εικόνα 8 - Κινήσεις των τροχών του μηχανισμού.

2.2 Το σύστημα διαφυγής



Εικόνα 9 - Τα εξαρτήματα του συστήματος διαφυγής.

Η ενέργεια μετά τον κεντρικό τροχό (8) μεταφέρεται στον ενδιάμεσο τροχό (9), μέσω της σύνδεσης πηνίου-ζάντας και από εκεί στον τροχό δευτερολέπτων (10). Γίνεται κατανοητό πως ο λόγος μετάδοσης μεταξύ του κεντρικού τροχού και του τροχού δευτερολέπτων είναι $1/60$, που σημαίνει πως για μια περιστροφή του κεντρικού τροχού, ο τροχός δευτερολέπτων θα περιστραφεί 60 φορές. Ικανοποιείτε λοιπόν και η συνθήκη που ορίζει ότι η ώρα έχει 60 λεπτά, καθώς μια πλήρης περιστροφή του τροχού δευτερολέπτων πραγματοποιείται σε 1 λεπτό. Η ενέργεια από εκεί μεταφέρετε στον τροχό διαφυγής, ο οποίος είναι και ο τελευταίος τροχός που περιστρέφεται και από εκεί η κίνηση γίνεται γραμμική καθώς η άγκυρα μπορεί να κάνει μία γραμμική κίνηση μεταξύ των δύο στηλών περιορισμού της και έπειτα πάλι περιστροφική στο ταλαντωτή.



Εικόνα 10 - Οι κινήσεις της άγκυρας με τους στύλους περιορισμού να φαίνονται στο μέσο της διάταξης.

Κατά την κίνηση της, η άγκυρα, σπρώχνει τον ταλαντωτή (balance) ο οποίος και εκτελείτε μια εξαναγκασμένη σταθερή ταλάντωση γύρο από τον άξονα συγκράτησής του, συσπειρώνοντας και αποσυσπειρώνοντας την τρίχα ή Hairspring, ένα έλασμα υπό την γεωμετρία του σπειρώματος του Αρχιμήδη.



Εικόνα 11 - Κινήσεις του συστήματος διαφυγής.

Με την παραπάνω εξήγηση κατανοήσαμε την λειτουργία αυτού του μηχανισμού που για τους περισσότερους αποτελεί κάτι το τρομακτικά πολύπλοκο. Σίγουρα υπάρχουν και άλλες αρχές που πρέπει να αναφερθούν για την πλήρη κατανόηση του συστήματος (ΤΡΟΧΟΣ ΔΙΑΦΥΓΗΣ-ΑΓΚΥΡΑ-ΜΠΙΛΛΑΝΣ), αλλά την προσοχή μας θα δώσουμε κυρίως στη χρήση των κεραμικών υλικών στο μηχανισμό αυτό.

Στη συνέχεια για την καλύτερη κατανόηση του συστήματος θα ήταν σωστό να αναφερθεί η ονοματολογία των υπόλοιπων μερών του μηχανισμού:

Τα όσα είδαμε παραπάνω, είναι εξαρτήματα τα οποία τοποθετούνται σε συγκεκριμένες θέσεις και με συγκεκριμένη σειρά. Η μεταλλική πλάκα στην οποία τοποθετούμε τα εξαρτήματα ονομάζεται πλατίνα.

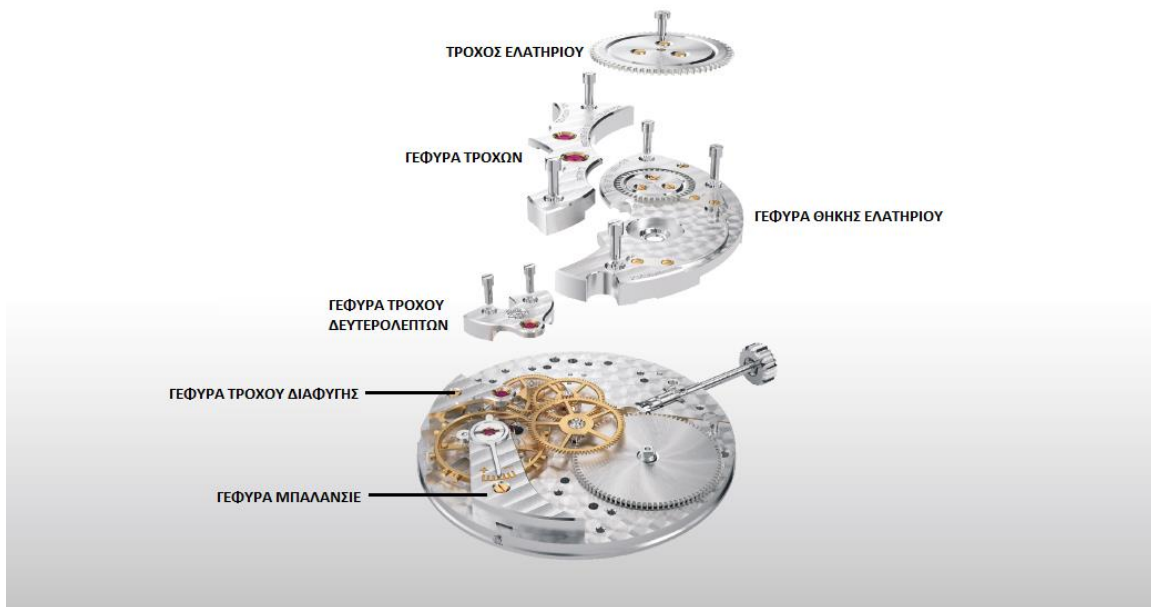


Εικόνα 12 - Η πλατίνα στο κατώτερο τμήμα του ρολογιού και τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

Για να συγκρατηθεί ένα εξάρτημα, όπως για παράδειγμα ένας τροχός στην πλατίνα, χρειάζεται μια ακόμη άρθρωση στο άλλο μέρος του άξονα του. Έτσι, καθώς το ένα άκρο του άξονα ενός τροχού σταθεροποιείτε στην πλατίνα, το άλλο άκρο του συγκρατείται από μια γέφυρα. Στην επόμενη εικόνα μπορεί κανείς να παρατηρήσει τις διάφορες γέφυρες που καλύπτουν τους τροχούς και τη θήκη ελατηρίου.



Εικόνα 13 - Οι γέφυρες συγκράτησης των εξαρτημάτων.



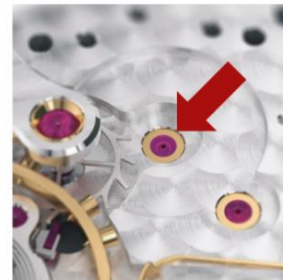
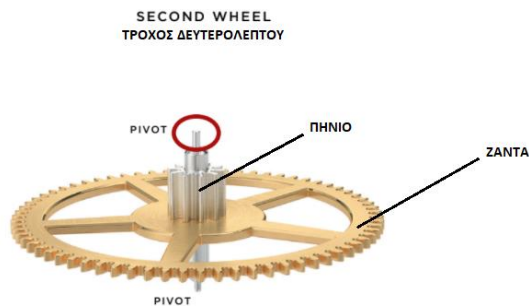
Εικόνα 14 - Οι γέφυρες του μηχανισμού.

[5], [6], [7]

3.0 Βελτιώσεις του μηχανισμού με τη χρήση κεραμικών υλικών

3.1 Μείωση των τριβών με τη χρήση κεραμικών υλικών

Καθώς η δύναμη του ελατηρίου περιστρέφει τον σιδηρόδρομο των τροχών του μηχανισμού, δημιουργούνται τριβές στα σημεία στήριξής τους.



Εικόνα 15 - Η γεωμετρία του τροχού δευτερολέπτων και λεπτομέρεια από τη στήριξή του στην πλατίνα.

Με τον Γαλλικό όρο pivot (πιβό), ορίζουμε τον τελείωμα του άξονα στον οποίο είναι τοποθετημένη η ζάντα με την οδόντωση. Το πιβό είναι το τέλεια λειασμένο τμήμα του άξονα, το οποίο εισέρχεται στο ρουμπίνι που υποδεικνύεται στην δεξιά εικόνα. Το κέντρο του ρουμπινιού φέρει οπή, η οποία είναι επίσης λειασμένη και με τη βοήθεια κατάλληλου λιπαντικού η συναρμογή έχει τις ελάχιστες τριβές. Η σκληρότητα των ρουμπινιών έναντι των διαφόρων μεταλλικών υλικών που χρησιμοποιούνται για τους άξονες, είναι το κατά κόρων πλεονέκτημα χρήσης τους.



Εικόνα 16 - Τα ρουμπίνια ενός μηχανισμού.

Σε περίπτωση λοιπόν λειτουργίας ενός μηχανισμού, χωρίς την κατάλληλη λίπανση, το πιβό του τροχού αποκτά μεγάλες τριβές κατά την περιστροφή του εντός του ρουμπινιού και δημιουργούνται φθορές.



Εικόνα 17 - Ένα αρκετά φθαρμένο πιβό από την τριβή κατά τη στήριξη και την έλλειψη λίπανσης.

Κατά την επισκευή του μηχανισμού απαιτείται η αντικατάσταση του τροχού και όχι ολόκληρη η πλατίνα με την οποία θα συνεργαζόταν το πιβό αν δεν υπήρχε ρουμπίνι. Με αυτό τον τρόπο η επισκευή είναι πιο οικονομική. Στα ρολόγια χαμηλής αξίας χρησιμοποιούνται μεταλλικά κουζινέτα, τα οποία φθείρονται με τον καιρό και χρειάζονται η αντικατάστασή τους ενώ τα ρουμπίνια στα πρώτα χρόνια ήταν πραγματικοί λίθοι. Στη συνέχεια έγιναν οξείδια του αλουμινίου και σήμερα υπάρχει μια περεταίρω εξέλιξη.

Σύμφωνα με την έρευνα [8] των CaoWang ZheZhao, παρασκευάστηκαν λεπτόκοκκα και διαφανή πολυκρυσταλλικά κεραμικά ρουμπίνια από οξείδιο του χρωμίου και αλουμίνα (Cr_2O_3 -doped Al_2O_3) με την διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης με σπινθήρα πλάσματος (spark plasma sintering). Στη συνέχεια διερευνήθηκε συστηματικά η επίδραση της συγκέντρωσης του οξειδίου του χρωμίου στο μέγεθος των κόκκων, τη σκληρότητα, την αντοχή στη θραύση και τη θερμική αγωγιμότητα των κεραμικών ρουμπινιών.

- Για περιεκτικότητα 0,05 wt.% Cr₂O₃, μπορεί να επιτευχθεί υψηλή in-line διαπερατότητα ίση με 85% στα 2000 nm, ενώ περαιτέρω αύξηση της συγκέντρωσης Cr₂O₃ οδηγεί στη μείωση αυτής.
- Ως προς τη σκληρότητα μπορεί να επιτευχθούν υψηλά επίπεδα της κλάσης των 23,95-25,05 GPa λόγω του λεπτού μεγέθους των κόκκων σε όλα τα κεραμικά ρουμπίνια.
- Η αντοχή στη θραύση κυμαίνεται στα 1,9–2,29 MPa*m^{1/2} και υποδηλώνει ότι δεν μπορεί να επιτευχθεί βελτίωση στην ανθεκτικότητα θραύσης με προσθήκη Cr₂O₃ σε καθαρή Al₂O₃, σε σχέση με το καθαρό οξείδιο.
- Μπορεί να επιτευχθεί υψηλή θερμική αγωγιμότητα 28–29,8 W/(m K) σε θερμοκρασία δωματίου, κοντά σε αυτή του μονοκρυσταλλικού ζαφειριού.
- Η αλλαγή στο μέγεθος των κόκκων για διαφορετικές συγκεντρώσεις Cr₂O₃ είναι ο κύριος λόγος για τις αλλαγές ως προς τις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες, αλλά όχι για κάποια αλλαγή στις οπτικές.

Πίνακας 5 - Μέγεθος κόκκων, σχετική πυκνότητα, σκληρότητα, ευθραυστότητα και θερμική αγωγιμότητα των πυροσυσσωματωμένων διάφανων κεραμικών ρουμπινιών σε θερμοκρασία δωματίου.

| | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Συγκέντρωση Cr ₂ O ₃ (wt.%) | 0.05 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.5 | 1.0 |
| Μέγεθος κόκκων (nm) | 708 | 726 | 753 | 785 | 706 | 694 |
| Σχετική πυκνότητα (%) | 99.94 | 99.89 | 99.85 | 99.81 | 99.93 | 99.98 |
| Σκληρότητα (GPa) | 24.08 | 24.06 | 24.03 | 23.95 | 24.33 | 25.05 |
| Ευθραυστότητα (MPa m ^{1/2}) | 2.08 | 2.08 | 2.09 | 2.29 | 2.05 | 1.88 |
| Θερμική αγωγιμότητα(W/(m K)) | 28.02 | 28.28 | 29.09 | 29.66 | 27.89 | 27.47 |



Εικόνα 18 - Η οπτική διαφάνεια της αλουμίνας με πρόσμιξη οξειδίου του χρωμίου στις διάφορες συγκεντρώσεις CrO₃ πυροσυσσωματωμένα στους 1350 βαθμούς Κελσίου για 5 λεπτά. α)0,05%(1,47mm),β)0,1%(1,44mm),γ)0,2%(1,37mm),δ)0,3%(1,46mm),ε)0,5%(1,35mm),στ)1,0%(1,36mm).

3.2 Μείωση των αδρανειακών δυνάμεων με τη χρήση κεραμικών υλικών

Ο τροχός διαφυγής μέχρι σήμερα κατασκευάζεται εξολοκλήρου από χάλυβα (ή ατσάλι). Ο λόγος χρήσης της χαλύβδινης ζάντας, σε αντίθεση με όλους τους προηγούμενους τροχούς όπου χρησιμοποιείται ορείχαλκος, είναι η αντοχή των δοντιών της στην επαφή με τα ρουμπίνια της άγκυρας, η οποία δεν είναι σημειακή αλλά αντιθέτως, τα ρουμπίνια της άγκυρας ολισθαίνουν πάνω σε κάθε δόντι του τροχού διαφυγής.



Εικόνα 19 - Κινήσεις της άγκυρας, ολίσθηση των ρουμπινιών στα δόντια του τροχού διαφυγής.

Η διάταξη αυτή δημιουργεί σημαντικές αδρανειακές δυνάμεις που επηρεάζουν τη λειτουργία του μηχανισμού. Όσον αφορά τις τριβές του συγκεκριμένου τροχού στις αρθρώσεις του, αυτές βελτιώθηκαν κατά το μέγιστο με τη χρήση των ρουμπινιών όπως προαναφέρθηκε. Πέραν αυτού, τα κεραμικά υλικά έχουν αλλάξει κάπως τα δεδομένα σε αυτό τον τομέα.

Το πυρίτιο αποτελεί ένα σπουδαίο κεραμικό υλικό για την ωρολογοποιία. Χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 2005 από την Patek Philippe, για την κατασκευή του τροχού διαφυγής από μονοκρυσταλλικό πυρίτιο (που αναπτύχθηκε σε συνεργασία με διάφορα ερευνητικά κέντρα, μεταξύ των οποίων η Ecole Polytechnique Fédérale στη Λωζάνη, το Institut de Microtechnique στο Πανεπιστήμιο του Neuchâtel, το Κέντρο Suisse d'Electronique et de Microtechnique, και το εργαστήριο COMLAB). Αυτό το εξαιρετικά σκληρό (1100 Vickers έναντι 700 Vickers για χάλυβα), ανθεκτικό στη διάβρωση, αντιμαγνητικό, ελαφρύ και χαμηλής πυκνότητας (2,33g/cm³ έναντι 8g/cm³ για χάλυβα) υλικό, επιλέχθηκε αρχικά λόγω των τριβολογικών του πλεονεκτημάτων, καθώς ένας από τους κύριους στόχους της μηχανικής ωρολογοποιίας είναι η εξάλειψη της ανάγκης για λίπανση. Το πυρίτιο, λόγω των φυσικών του ιδιοτήτων, συμπεριλαμβανομένης της εξαιρετικής επιφανειακής του τραχύτητας, δεν χρειάζεται

λίπανση. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό για ένα από τα πιο ευαίσθητα μέρη του μηχανισμού, την διαφυγή.

Πέρα από αυτό το σημαντικό πλεονέκτημα, οι ειδικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή εξαρτημάτων πυριτίου (παρόμοιες με τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται στην επιλεκτική φωτολιθογραφία - DRIE) επέτρεψαν στην βιομηχανία της ωρολογιοποιίας να επανεξετάσουν θεμελιωδώς τα σχήματα αυτών των εξαρτημάτων.



Εικόνα 20 - Πλάκα πυριτίου όπου έχουν τυπωθεί τροχοί διαφυγής με την τεχνική Drie.

Η τεχνική DRIE.

Η τεχνική DRIE (Deep Reactive Ion Etching) για την κατασκευή ενός εξαρτήματος από πυρίτιο δεν έχει καμία απολύτως σχέση με τις παραδοσιακές μεθόδους όπως την κοπή οδόντων, την διάτρηση, το φινίρισμα κλπ., καθώς στη μέθοδο αυτή τα εξαρτήματα κατασκευάζονται εξ ολοκλήρου με «φωτογραφικά» μέσα.

Μια εικόνα του τεμαχίου που θα παραχθεί προβάλλεται σε μια στρογγυλή πλάκα πυριτίου με διάμετρο 100 mm & 0,5 mm πάχος, η οποία μπορεί να παράξει περίπου 250 τροχούς. Αποτελείται από τρία διαφορετικά υποστρώματα ή στρώματα πυριτίου, με το κεντρικό υπόστρωμα να είναι το στρώμα διαχωρισμού. Αφού αναπτυχθεί η «φωτογραφία», το εκτεθειμένο λακαρισμένο υπόστρωμα ξεπλένεται, αφήνοντας τα μη εκτεθειμένα μέρη στην πλάκα. Στη συνέχεια τα μη λακαρισμένα μέρη χαράσσονται με πλάσμα μέχρι το στρώμα διαχωρισμού. Οι τροχοί πυριτίου μπορούν τώρα να εξέλθουν με ισότροπη χάραξη. Τα εξαρτήματα που παράχθηκαν από αυτή τη κατεργασία πρέπει να καθαριστούν μόνο επιφανειακά. Είναι όλα πανομοιότυπα, έτοιμα για χρήση και δεν απαιτούν ζυγοστάθμιση, κεντράρισμα ή γυάλισμα.

Η διαδικασία DRIE επιτρέπει την κατασκευή ασυνήθιστων σχημάτων σε πολύ μικροσκοπικά μεγέθη με μεγάλη ακρίβεια, ενώ οι ανοχές μειώνονται στο μισό σε σύγκριση με τις παραδοσιακές τεχνικές. [9]

3.3 Μείωση των μαγνητικών και των θερμοκρασιακών επιρροών με τη χρήση κεραμικών υλικών

Από τα όσα είδαμε παραπάνω γίνεται κατανοητό ότι οι δυνάμεις είναι μεγαλύτερες κοντά στο ελατήριο και μειώνονται φτάνοντας στο μπαλανσέ. Καθώς λοιπόν η επιρροή του μαγνητισμού στο ελατήριο είναι αμελητέα λόγω σχετικά μεγάλης δύναμης ($=5-6 \text{ N*mm}$) και οι τροχοί είναι κατασκευασμένοι από ορείχαλκο ο οποίος επίσης δεν επηρεάζεται σημαντικά από τις μαγνητικές δυνάμεις, η προσοχή μας στέκεται αρχικά στον τροχό διαφυγής και το μπαλάνς.

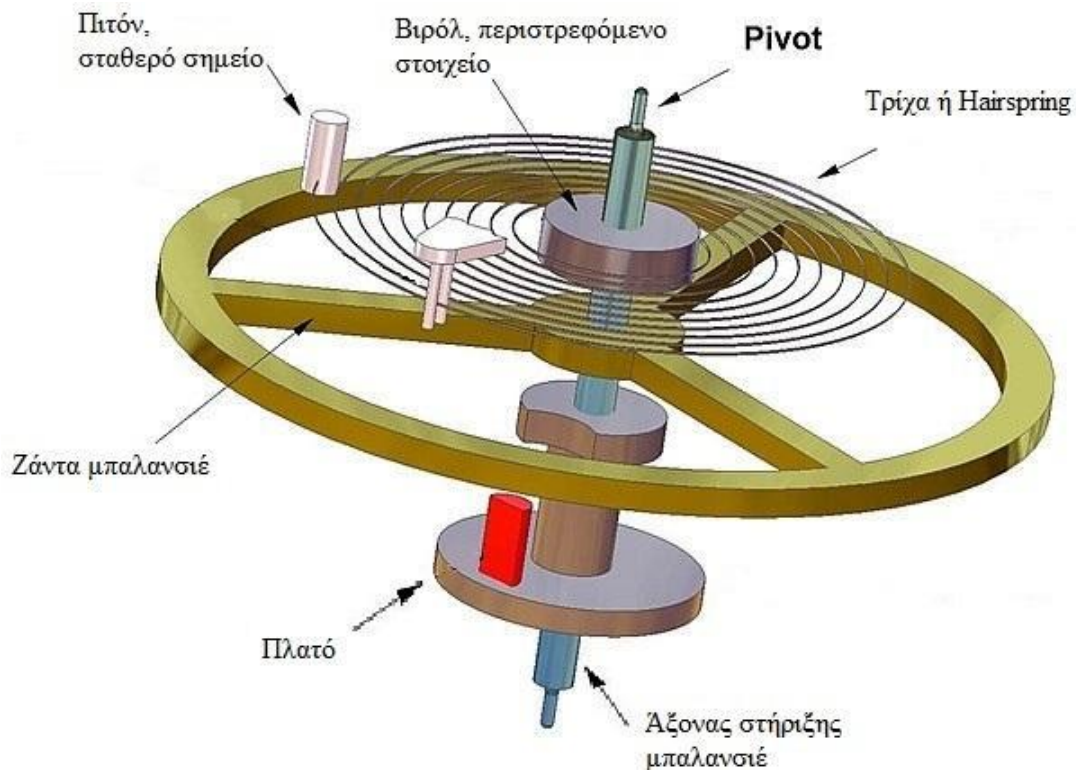
Πιο συγκεκριμένα, το τελευταίο εξάρτημα το οποίο μπορεί να επηρεαστεί από τους εξωτερικούς παράγοντες και το περιβάλλον που λειτουργεί ένα ρολόι στο μπαλάνς, είναι η τρίχα, δηλαδή το έλασμα που τείνει συνεχώς να το επαναφέρει στο νεκρό σημείο. Ας υπενθυμίσουμε ότι το έλασμα αυτό είναι γνωστό με τον αγγλικό όρο Hairspring και η μορφή του ακολουθεί το σπείρωμα του Αρχιμήδη.



Εικόνα 21 - Hairspring ή τρίχα (το εξάρτημα μπλε χρώματος)

4.0 Τρίχα / Hairspring

Πιο συγκεκριμένα, στα μηχανικά ρολόγια η μονάδα ρύθμισης της ταλάντωσης αποτελείται από μια μεγάλη ζάντα που ονομάζεται ζάντα του μπαλανσιέ και η οποία είναι στερεώνεται σε έναν άξονα στήριξης. Υπάρχει επίσης η τρίχα (Hairspring) της οποίας η μέσα άκρη είναι στερεωμένη στον ίδιο άξονα με τη βοήθεια του Βιρόλ (περιστρεφόμενο στοιχείο), ενώ το άλλο άκρο της είναι στερεωμένο στη γέφυρα του μπαλάνς με τη βοήθεια του Πιτόν (σταθερό σημείο). Σε αντίθεση με τα εκκρεμή ρολόγια των οποίων η ταλάντωση είναι γνωστή και έχει μελετηθεί από πολλούς, το μπαλανσιέ μπορεί να λειτουργεί εκτελώντας ταλαντώσεις γύρο από το σημείο ηρεμίας ή Νεκρό Σημείο της τρίχας, σε οποιαδήποτε θέση και αν έχουμε το ρολόι μας, οριζόντια, κάθετη ή ενδιάμεση. [6]



Εικόνα 22 - Ονοματολογία εξαρτημάτων μπαλανσιέ.

Το μπαλάνς ταλαντώνεται, διότι αν περιστραφεί από τη θέση ηρεμίας του, η τρίχα είτε θα συσπειρωθεί, είτε θα αποσυσπειρωθεί, με αποτέλεσμα αν αφηθεί ελεύθερο ξανά, εκείνη θα προσπαθήσει να επιστρέψει στη θέση στην οποία βρίσκεται το νεκρό της σημείο. Από τη στιγμή όμως που έχει αποκτήσει κάποια ταχύτητα (κινητική ενέργεια) κατευθυνόμενο προς τη θέση ηρεμίας, θα την προσπεράσει και θα αρχίσει να δημιουργείται μια αντίθετη δύναμη η οποία και τελικά θα το ακινητοποιήσει μετά από

κάποιες μοίρες περιστροφής. Η τρίχα και πάλι θα έχει παραμορφωθεί και θα προσπαθήσει να έλθει ξανά στη θέση ηρεμίας της, μα φυσικά δεν θα τα καταφέρει. Η ταλάντωση αυτή είναι μια εξαναγκασμένη ταλάντωση, η οποία διατηρείται σταθερή λόγω της κρουστικής δύναμης που δίνει η άγκυρα στο μπαλάνς μέσω του πλατό, κάθε φορά που το δεύτερο περνά από το Νεκρό Σημείο της τρίχας.

Η προαναφερθείσα ταλάντωση είναι μια ταλάντωση που μπορεί να επηρεαστεί από αρκετούς παράγοντες.

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΕΙΡΕΑΖΟΥΝ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ BALANCE ΕΙΝΑΙ:

1. Μεταβολή του νοητού άξονα περιστροφής.
2. Αλλαγή της θερμοκρασίας.
3. Μαγνητικά πεδία.

Η αντιστάθμιση των παραπάνω προβλημάτων μπορεί να πραγματοποιηθεί κατά ένα μέρος με τη χρήση των κεραμικών υλικών.

4.1 Τρίχα Nivarox / Nivarox Hairspring

Στο παρελθόν, οι ωρολογοποιοί πειραματίστηκαν με αρκετά υλικά περιεχομένων του χάλυβα, κραμάτων χρυσού, αλλά ακόμη και γυαλί για να κατασκευάσουν hairsprings. Ωστόσο, τα υλικά αυτά ήταν πολύ ευάλωτα στη διάβρωση, τη φθορά αλλά και στην αλλαγή της θερμοκρασίας. Τα πιο καινούργια hairsprings είναι κατασκευασμένα από ένα πασίγνωστο υλικό στον κλάδο, το Nivarox, το οποίο είναι ελαστικό και σχεδόν ανεπηρέαστο από τη θερμοκρασία (Το Nivarox είναι ένα ακρωνύμιο των λέξεων Nicht Variabel Oxydfest που σημαίνουν ΜΗ-MΕΤΑΒΛΗΤΟ ΜΗ-ΟΞΕΙΔΟΤΙΚΟ). Συγκεκριμένα είναι ένα κράμα μετάλλων και έχει της εξής ιδιότητες: [6, pp. 153-154]

Πίνακας 6 - Πίνακας ελασμάτων Nivarox και τα χαρακτηριστικά αυτών.

| Τύπος ελάσματος | Ζάντα μπαλάνς | Ποιότητα | Συντελεστής θερμοτητας | Σφάλμα σε δευτερόλεπτα | Χρώμα | Φυσικές Ιδιότητες |
|--------------------|---------------|------------|------------------------|------------------------|--------------|---|
| NIVAROX I | Glucydur | εξαιρετική | +/- 0,6 | 0-3 | μπλε ή λευκό | Αντιμαγνητικό Ανοξειδωτο Ελαστικό Ισοχρονικό |
| NIVAROX II | Glucydur | πολύ καλή | +/- 1,5 | 0-5 | μπλε ή λευκό | |
| NIVAROX III | Νικέλιο | καλή | +/- 3,5 | 0-8 | λευκό | |

Λόγω της εξαιρετικά προστατευμένης σύνθεσης του κράματός αυτού (συνδυασμός σιδήρου, νικελίου, κοβαλτίου, χρωμίου, τιτανίου, βηρυλλίου, μεταξύ άλλων συνδετικών υλικών), καθώς και της εξειδικευμένης διαδικασίας τάνυσης, σκλήρυνσης και περιτύλιξης του, η παραγωγή hairspring είναι εξαιρετικά μονοπωλιακή υπόθεση και δεν υπάρχουν πολλά στοιχεία.

Η Nivarox-FAR, μια εταιρεία του Ομίλου Swatch που παράγει hairspring, πιστεύεται ότι προμηθεύει hairspring σχεδόν στο 80% της ελβετικής βιομηχανίας ρολογιών. Ωστόσο, όμιλοι πολυτελείας όπως ο όμιλος Richemont που κατέχει εμπορικά σήματα όπως η Jaeger-LeCoultre & IWC καθώς και μεγάλες ανεξάρτητες εταιρείες όπως η Rolex και η Patek Philippe είναι επίσης σε θέση να κατασκευάζουν τα δικά τους hairspring. Τα τελευταία χρόνια μάλιστα, για να διαταράξουν το status quo, ανεξάρτητοι κατασκευαστές όπως η Master Dynamic με έδρα το Χονγκ Κονγκ και η Firehouse Horology με έδρα τη Νέα Υόρκη άρχισαν επίσης να φτιάχνουν και να προμηθεύουν τα δικά τους hairspring. [10]

Με την εξέλιξη της τεχνολογίας στα υλικά, οι εταιρίες κατασκευής hairspring, έχουν εφευρέσει και παρουσιάσει νέα συνθετικά υλικά για την παραγωγή τους. Μέσα σε αυτά τα νεοσύστατα υλικά είναι ξανά το πυρίτιο το οποίο πρωτοχρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή τρίχας το 2001 από την Ulysse Nardin, καθώς σαν υλικό είναι ανθεκτικό, ελαφρύ, αντιμαγνητικό και σταθερό στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας.

4.2 Τρίχα πυριτίου / Silicon hairspring

Το πυρίτιο (επίσης γνωστό ως silicium), έκανε την εμφάνισή του την τελευταία δεκαετία και κερδίζει συνεχώς έδαφος. Το υλικό αυτό έχει εξαιρετική ελαστικότητα σε περιπτώσεις κρούσης και είναι ανεπηρέαστο από τα μαγνητικά πεδία. Επίσης, ως ένα ελαφρύ και ελαστικά παραμορφώσιμο υλικό και επιπροσθέτως πιο σκληρό από τον χάλυβα, αποτέλεσε μια ευκαιρία για τον κλάδο της ωρολογοποιίας. Ως υλικό βελτιώνει την σταθερότητα των ταλαντώσεων του μπαλανσιέ, την επίδοση, την ακρίβεια, και την αντίσταση στο μαγνητισμό και τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Επίσης μπορεί να κρατήσει την μορφή του σταθερή για πάντα και δεν απαιτεί λίπανση.

4.3 Εταιρίες που χρησιμοποιούν το πυρίτιο

a) Omega Si14 Balance Spring

Το ελατήριο του μπαλανσιέ παραδοσιακά κατασκευαζόταν από ένα συνδυασμό υλικών και τώρα, με της εξέλιξη της βιομηχανίας και την αφομοίωση των ηλεκτρονικών υπολογιστών, η Omega κατασκεύασε ένα ελατήριο από Si14 το οποίο είναι τρεις φορές λεπτότερο από μια ανθρώπινη τρίχα.. [10]



Εικόνα 23 - Το ελατήριο της Omega Si14.

b) Rolex Syloxi & Parachrom

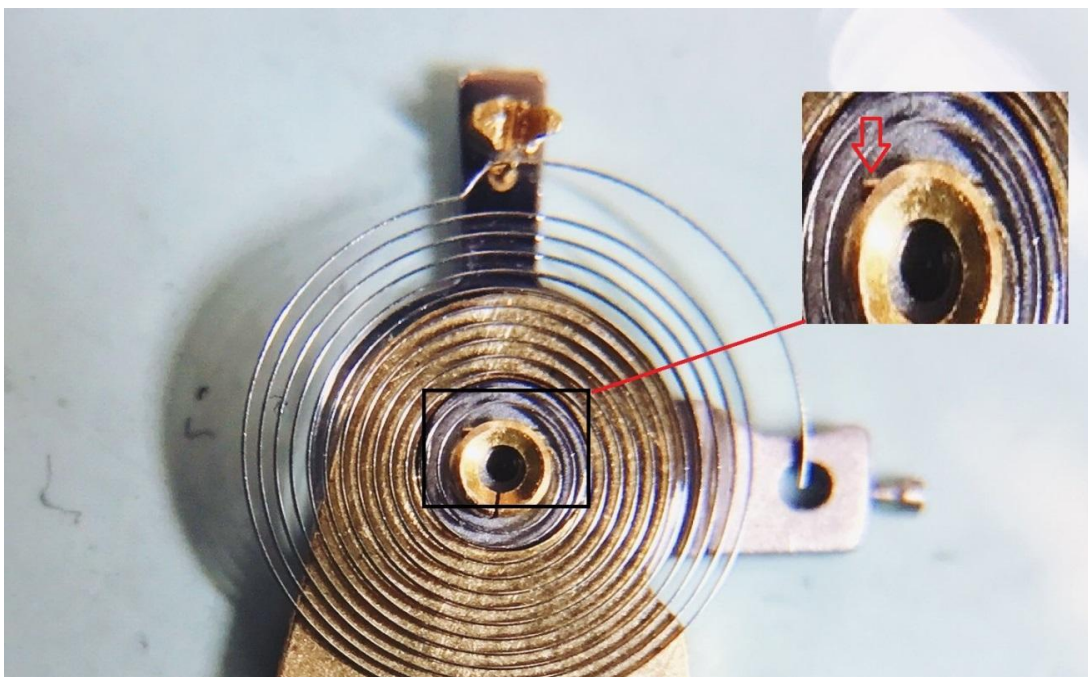
Η Rolex άργησε να αφομοιώσει το συγκεκριμένο υλικό αλλά κατάφερε μέσα από μια στρατηγική αντιμετώπιση του θέματος να κατοχυρώσει τα νέα Syloxi balance springs. Ακόμη, το Parachrom Bleu όπως το αποκαλούν, είναι το κατοχυρωμένο αντιμαγνητικό

και άθραυστο ελατήριο μπαλανσιέ που κατασκευάζεται από Νιόβιο και Ζιρκόνιο και άλλα κράματα.



Εικόνα 24 - Το ελατήριο Parachrom αριστερά και το ελατήριο Syloxi δεξιά.

Η ειδοποιός διαφορά δεν είναι μόνο το υλικό που χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή των δυο αυτών διαφορετικών ελατηρίων αλλά ο τρόπος που το ελατήριο από Syloxi συγκρατεί το μπαλανσιέ αλλά και ο τρόπος που αυτό συγκρατείτε στη γέφυρα του μπαλανσιέ. Εκτός από τη βελτιωμένη γεωμετρία του ίδιου του ελατηρίου, το νέο ελατήριο μπαλανσιέ Syloxi με βάση το πυρίτιο, έχει ένα πιο εύκαμπτο στερέωμα στο κέντρο για την συγκράτηση του με τον άξονα του μπαλανσιέ το οποίο δεν απαιτεί κάποιο έκκεντρο στοιχείο (σφήνα ή καβίλια) για τη στερέωσή του.

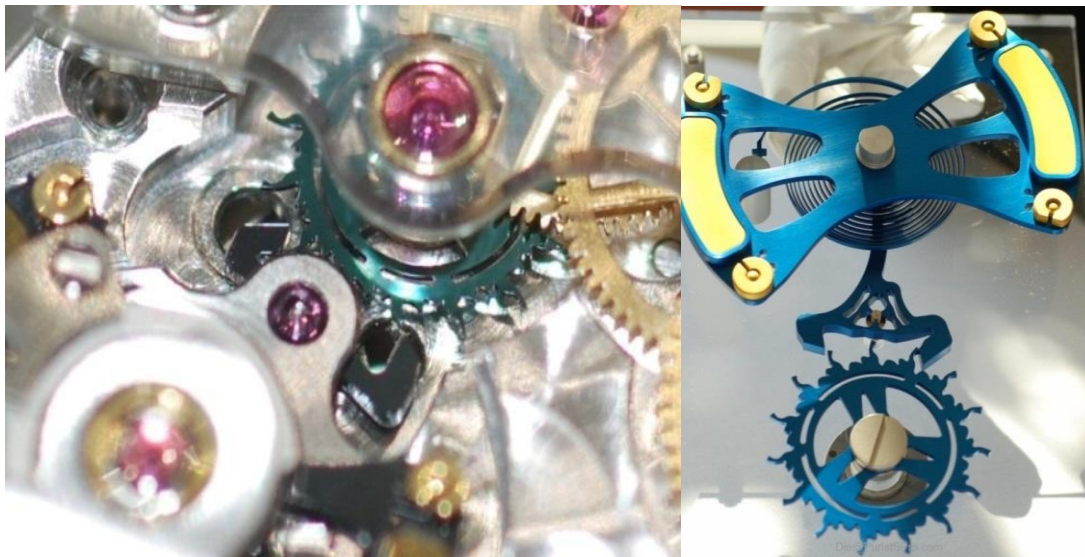


Εικόνα 25 - Καβίλια συγκράτησης του ελατηρίου μπαλανσιέ στο δαχτυλίδι (Βιρόλ) που σταθεροποιείται στον άξονα.

Επίσης η κατασκευή του αυτή έχει κάνει το ελατήριο απόλυτα συμμετρικό ως προς τον άξονα του μπαλανσιέ και οι ταλαντώσεις (συσπείρωση-αποσυσπείρωση) του είναι απόλυτα κεντραρισμένες. Όσο λιγότερες διαταραχές υπάρχουν στο ελατήριο του μπαλανσιέ τόσο περισσότερη κινητική ενέργεια αποθηκεύεται σε κάθε ταλάντωση και συνεπώς τόσο πιο αποδοτική είναι η λειτουργία του ταλαντωτή. [10]

c) Patek Philippe Silinvar

Η Patek Philippe εισήγαγε το πυρίτιο στην κατασκευή ελατηρίων μπαλανσιέ το 2006. Σε συνεργασία με τη Rolex και τον Όμιλο Swatch (Omega, Breguet) κατάφεραν να τελειοποιήσουν τα ελατήρια πυριτίου. Τα αποτελέσματα είναι το Silinvar® και το οξειδωμένο (oxidized) Silinvar® που δημιούργησαν τα εξαρτήματα με βάση το πυρίτιο όπως τη διαφυγή Pulsomax, το μπαλανσιέ GyromaxSi και το ελατήριο μπαλανσιέ με την ονομασία Spiromax. Τα ρολόγια που φέρουν αυτά τα υλικά ονομάστηκαν από το τρίπτυχη εταιριών Oscillomax. Κάθε φορά που αναφέρεται σε ένα ρολόι Patek Philippe ο όρος αυτός, γνωστοποιείται ότι οι μηχανισμοί αυτοί είναι πλήρως εφοδιασμένοι με τα πιο πρόσφατα και τα καλύτερα εξαρτήματα πυριτίου. [10]



Εικόνα 26 - Ο τροχός διαφυγής της Patek Philippe από Silinvar.

d) Ulysse Nardin Flying Silicon Anchor Escapement

Η Ulysse Nardin ήταν η πρώτη εταιρία που χρησιμοποίησε το πυρίτιο στους μηχανισμούς της. Η έκδοση του 2001, το Ulysse Nardin Freak ήταν το πρώτο ρολόι που έφερε κεραμικό υλικό στον τροχό διαφυγής [10]



Εικόνα 28 - Το κεραμικό σύστημα διαφυγής της Ulysse Nardin.

5.0 Κεραμική θήκη & στεφάνη

Τα κεραμικά υλικά βελτίωσαν τους μηχανισμούς έναντι των τριβών, των μαγνητικών δυνάμεων και των θερμοκρασιακών εναλλαγών. Ένας μηχανισμός ο οποίος μπορεί να συνδυάσει όλα τα παραπάνω πλεονεκτήματα, είναι δυνατό να συνθέσει ένα εξαιρετικής ποιότητας όργανο ακριβείας όταν τοποθετείται μέσα σε μια κεραμική θήκη.

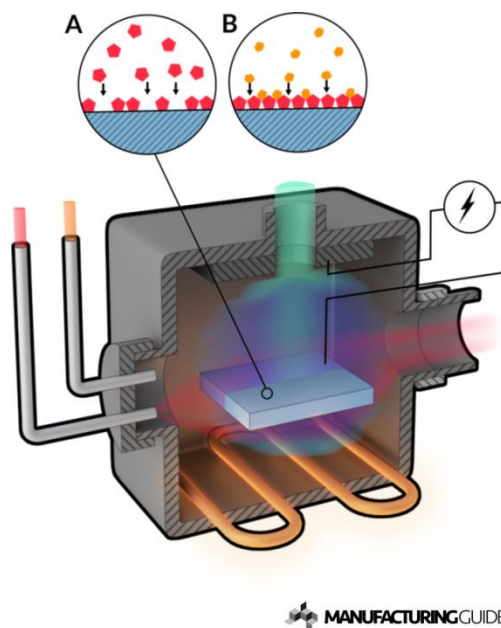
Ωστόσο, πριν πραγματοποιηθεί η ανάλυση των κεραμικών θηκών είναι ωφέλιμο να γίνει μια διευκρίνηση. Υπάρχουν κεραμικές θήκες οι οποίες είναι εξολοκλήρου κατασκευασμένες από κεραμικό υλικό αλλά και αυτές που φέρουν απλώς μια επικάλυψη κεραμικού στρώματος.

5.1 Κεραμική επίστρωση θήκης (COATING)

Η κεραμική επίστρωση είναι μια τεχνική που κατά κύριο λόγο αλλάζει την εμφάνιση και το χρώμα του ρολογιού. Καθώς η αλλαγή του χρώματος του χάλυβα είναι μια εξαιρετικά δύσκολη διαδικασία, η κεραμική επίστρωση αποτελεί μια καινοτόμα λύση ώστε να αλλάξει ολοκληρωτικά η εμφάνιση ενός ρολογιού. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν είναι όσο απλή ακούγεται. Απαιτεί ειδικές μεθόδους προσκόλλησης του κεραμικού ώστε να διασφαλιστεί ένα φινίρισμα υψηλής ποιότητας που θα είναι αρκετά ανθεκτικό και να αντέξει τη δοκιμασία του χρόνου, ειδικά των γρατζουνιών και των χτυπημάτων που θα δεχθεί ένα ρολόι κατά τη διάρκεια της ζωής του.

5.2 Τύποι επιστρώσεων: PACVD, CVD, PVD, DLC

PACVD: Η διαδικασία Plasma-Assisted Chemical Vapour Deposition, χρησιμοποιείται για μη μεταλλικές επιστρώσεις (κυρίως) άνθρακα. Κατά τη διαδικασία αυτή το τεμάχιο προς επίστρωση τοποθετείται σε ένα θερμαινόμενο θάλαμο και στη συνέχεια δημιουργείται κενό αέρος εντός του θαλάμου. Στο θάλαμο εισέρχονται δύο αέρια, αυτό που περιέχει το συστατικό επικάλυψης και αυτό που θα βοηθήσει στην αντίδραση του πρώτου με την επιφάνεια προς επίστρωση. Με τη χρήση του πλάσματος πραγματοποιείται η πρώτη επίστρωση του τεμαχίου. Το μείγμα αερίων στη συνέχεια εξέρχεται από το θάλαμο μέσω της αντλίας αέρος και ένα δεύτερο μείγμα αντιδρά με την προηγούμενη επίστρωση και εναποτίθεται σε αυτή. Οι επιστρώσεις επαναλαμβάνονται μέχρι να επιτευχθεί το επιθυμητό πάχος επίστρωσης. [11]



Εικόνα 29 - Επεξήγηση θαλάμου PACVD.

CVD: Η διαδικασία Chemical Vapour Deposition σε σύγκριση με την προαναφερθείσα είναι η ίδια χωρίς βέβαια την εκμετάλλευση του πλάσματος. Η εναπόθεση των χημικών ατμών (CVD) είναι ελεγχόμενη ατμοσφαιρικά διεργασία (πραγματοποιείται τυπικά σε κενό αέρος) και διεξάγεται σε υψηλές θερμοκρασίες περίπου 1051 °C εντός του θαλάμου. Κατά τη διάρκεια της κατεργασίας σχηματίζονται επικαλύψεις διαφόρων συστατικών που βρίσκονται σε αέρια μορφή ως αποτέλεσμα της αντίδρασης τους με τη θερμαινόμενη επιφάνεια του τεμαχίου προς επίστρωση.

PVD: Η διαδικασία Physical Vapor Deposition, είναι μια διαδικασία επίστρωσης που εφαρμόζεται σε ένα υλικό σώμα μέσω μιας διαδικασίας εξάτμισης. Αυτή η διαδικασία ουσιαστικά ενεργεί σε μοριακό επίπεδο και προσκολλά τον ατμό της εξάτμισης στο υλικό του ρολογιού. Η επίστρωση εδώ είναι συνήθως εξαιρετικά λεπτή, με μέγιστο πάχος το 1 mm, αλλά σε αντίθεση με άλλες μεθόδους όπως η σκόνη ή η ηλεκτρολυτική επίστρωση, η επίστρωση coating έχει πολύ υψηλότερο επίπεδο αντοχής χάρη στη διαδικασία χημικής συγκόλλησης. [12]

Η DLC (Diamond Like Carbon), δεν είναι στην πραγματικότητα διαφορετική διαδικασία από αυτή της PVD ή της PACVD, χρησιμοποιεί απλώς διαφορετικές ενώσεις. Ενώ το τυπικό PVD χρησιμοποιεί ενώσεις όπως το νιτρικό τιτάνιο, το DLC, όπως υποδηλώνει το όνομα, χρησιμοποιεί αμμοβολή άνθρακα ως υλικό επικάλυψης. Εφαρμόζεται και αυτό χρησιμοποιώντας μια διαδικασία εξάτμισης και ταχείας ψύξης

όπως το PVD, αλλά καθώς χρησιμοποιεί άνθρακα δίνει στην τελική επιφάνεια ακόμη μεγαλύτερη στιβαρότητα.

Και με τις δύο μεθόδους μπορεί να εφαρμοστεί μια σειρά διαφορετικών χρωμάτων, αλλά στη συντριπτική πλειοψηφία των επιστρώσεων, με την πιο δημοφιλή αυτή του μαύρου γραφίτη. Μια σύγκριση που θα καταλάβουν οι περισσότεροι λάτρεις των ρολογιών είναι η εξής: το PVD είναι σαν κρύσταλλο hardlex, ενώ το DLC είναι σαν ένα κρύσταλλο ζαφειρίου. Και τα δύο έχουν τα ίδια χαρακτηριστικά, χωρίς βέβαια να ξεχνάμε ότι το DLC προσφέρει μεγαλύτερο, πιο στιβαρό και καλύτερο επίπεδο φινιρίσματος, ανθεκτικό στις γρατσουνιές. [13]

Πολλοί από τους πιο γνωστούς κατασκευαστές ρολογιών δημιουργούν τώρα οι ίδιοι μια σειρά ρολογιών με «μαύρη» επίστρωση. Μερικά από αυτά είναι:

Tudor Black Bay Dark



Εικόνα 30 - Tudor BLACK DAY DARK.

Η σειρά Tudor's Black Bay κυκλοφορεί εδώ και λίγο καιρό, προσφέροντας μεγάλο ανταγωνισμό στην πολυσύχναστη αγορά καταδυτικών ρολογιών. Αυτό το Dark μοντέλο είναι ειδικά επικαλυμμένο με PVD, βοηθώντας το να ξεχωρίζει από την υπόλοιπη σειρά. Ανεξάρτητα από την επίστρωση, εξακολουθεί να προσφέρει αντοχή στο νερό έως τα 200 μέτρα.

TAG Heuer Aquaracer Caliber 5



Εικόνα 31 - Tag Heuerer AQUARACER CALIBER 5.

Αυτό το κομμάτι χρησιμοποιεί επίστρωση PVD με εφέ «αμμοβολής» δίνοντας στο ρολόι ένα φινίρισμα ντεγκραντέ, ενώ συνεχίζει να ενσωματώνει τις υψηλές προδιαγραφές της εταιρίας δίνοντας στον ιδιοκτήτη 300 μέτρα αντοχή στο νερό.

Longines Mens Conquest Μαύρο PVD



Εικόνα 32 - Longines MENS CONQUEST BLACK.

Μια από τις πιο ανταγωνιστικές σειρές της Longines είναι η V.H.P. Με αυτό το μοντέλο, δώθηκε στη σειρά μια πλήρη ανανέωση με μια εξ ολοκλήρου ματ μαύρη επίστρωση PVD .

5.3 Ιστορική αναφορά κεραμικών ρολογιών

Τα κεραμικά ρολόγια αφανίστηκαν πριν από περίπου 60 χρόνια και οι λόγοι αρχικά περιορίστηκαν στην κατασκευή ρολογιών με ένα πιο συλλεκτικό χαρακτήρα.

Υπήρχε μια εποχή που τα κεραμικά στην ωρολογοποιία ήταν μια τάση που πηγαινοερχόταν, με ελάχιστους κατασκευαστές να παρουσιάζουν και ένα κεραμικό ρολόι σε κάθε συλλογή. Η Rado υπήρξε ένας από τους πρωτοπόρους στη χρήση κεραμικών υλικών στην ωρολογοποιία. Ωστόσο, τα τελευταία χρόνια, το κεραμικό έχει γίνει λιγότερο τάση και περισσότερο εναλλακτικό υλικό για την κατασκευή της κάσας των ρολογιών, για τα μπρασελέ αλλά και για άλλα εξαρτήματα.

Η πρόοδος της τεχνολογίας και η ικανότητα εκτέλεσης παραγωγής κεραμικών σε ποικίλες αποχρώσεις, το καθιστούν ένα υλικό επιλογής για πολλούς κατασκευαστές ρολογιών σήμερα, όταν οι μεταλλικοί τόνοι δεν είναι πάντα η κύρια επιλογή ως προς την εμφάνιση ενός ρολογιού. Ακόμη και με τις επεξεργασίες PVD και DLC σε μέταλλο ως βάση, το κεραμικό προτιμάται συχνά λόγω όχι μόνο της έντασης του χρώματός του, αλλά και της αντοχής του στις γρατσουνιές, η οποία είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή των περισσότερων μετάλλων.

Δεδομένου ότι αρχικά χρησιμοποιήθηκε κυρίως σε αγγεία και πιατικά, ο όρος «κεραμικό» προέρχεται από την ελληνική λέξη *keramos*, που σημαίνει «ψημένα αγγεία» και χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1850. Με τα χρόνια, η ανάπτυξη του υλικού οδήγησε στο ότι η κεραμική στην ωρολογοποιία είναι κυρίως «υλικό υψηλής τεχνολογίας, γενικά κατασκευασμένο από αλουμίνιο και οξειδία ζirkονίου (πολυκρυστάλλους)», όπως ορίζεται από το *Fondation de la Haute Horlogerie*.

Στη διαδικασία κατασκευής, μια μάζα του υλικού μεγαλύτερη σε μέγεθος από αυτό που θα παραχθεί, αλλά περίπου στο ίδιο σχήμα με το επιδιωκόμενο αντικείμενο, συντήκεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που σκληραίνει και συσφίγγει το υλικό. Στη συνέχεια ακολουθούν διαφορετικά στάδια, όπου το υλικό διαμορφώνεται χρησιμοποιώντας εργαλεία διαμαντιού για να ληφθεί η επιθυμητή λοξότμηση, όψη και οι λοιπές λεπτομέρειες.

Με χρονολογική σειρά παρουσιάστηκαν τα εξής μοντέλα ρολογιών:

1962 - Rado Diastar



Εικόνα 33 - Rado DIASTAR.

Το πρώτο ρολόι ανθεκτικό στις γρατσουνιές.

1982 - Omega Seamaster Cermet.



Εικόνα 34 - Omega SEAMASTER CERMET.

Το 1973 η Omega ξεκίνησε την έρευνα των κεραμικών υλικών και 8 χρόνια μετά παρουσίασε το Seamaster Cermet, κατασκευασμένο από καρβίδιο του βολφραμίου και οξείδιο του αργιλίου.

1986 - IWC DaVinci Ref.3755



Εικόνα 35 - IWC DAVINCI Ref.3755.

Το 1986 λανσάρεται το πρώτο κεραμικό ρολόι της IWC και για πρώτη φορά υπάρχει η δυνατότητα επιλογής δύο χρωμάτων, λευκού και μαύρου.

1990 – Rado Ceramica



Εικόνα 36 - Rado CERAMICA.

Η Rado παρουσιάζει το δεύτερο της ρολόι από κεραμικό υλικό. Ήταν το πρώτο ρολόι με κεραμική κάσα και μπρασελέ

2000 - Chanel J12



Εικόνα 37 - Chanel J12.

Το 2000 η Chanel κατασκεύασε ένα ρολόι σε δυο χρώματα και απέδειξε ότι τα κεραμικά ρολόγια μπορούν να είναι ελκυστικά και στο χώρο της μόδας.

2011 – Rado True Thinline

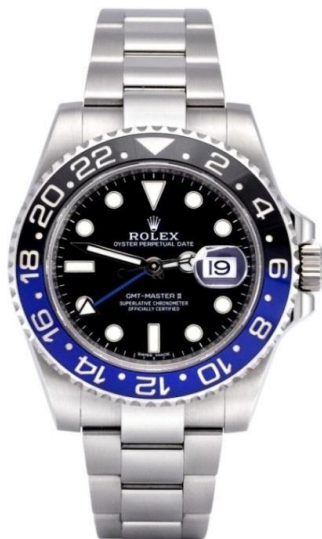


Εικόνα 38 - Rado True Thinline.

Το 2011 η Rado παρουσίασε ένα ακόμη κεραμικό ρολόι του οποίου το πάχος είναι στα 5 χιλιοστά.

2013 – Rolex GMT-Master II ref.1157610 BLRN / Omega Speedmaster Dark Side of the Moon.

Το 2013 η Rolex παρουσίασε το πρώτο της ρολόι με κεραμική στεφάνη, πέραν των κεραμικών εξαρτημάτων που φέρει ο μηχανισμός. Μάλιστα η στεφάνη αποτελείται από δύο διαφορετικά χρώματα ενώ ταυτοχρόνως είναι ενιαία κεραμική.



Εικόνα 39 - Rolex GMT-Master II.



Εικόνα 40 - Omega SPEEDMASTER DARK SIDE OF THE MOON.

Στον αντίποδα η Omega παρουσίασε ένα ρολόι πλήρως κεραμικό, η στεφάνη, η κάσα όσο και τα μπουτόν και η κορόνα είναι από το ίδιο κεραμικό υλικό.

2019- Longines HydroConquest



Εικόνα 41 - Longines HYDROCONQUEST.

Η Longine HydroConquest παρουσίασε το 2019 ένα αριστούργημα κατασκευασμένο από ατσάλι και κεραμικά υλικά. Ιδιαίτερη η στεφάνη του όπου παρατηρείτε την λάμψη του κεραμικού υλικού κατασκευής της

2020- Zenith Defy El Primero



Εικόνα 42 - Zenith DEFY EL PRIMERO.

5.4 Η χρήση της στεφάνης

Από τη δεκαετία του 1930 περίπου, η στεφάνη έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της βιομηχανίας των ρολογιών. Αρχικά, οι στεφάνες ήταν απλές κατασκευές οι οποίες ως σκοπό είχαν την καλαισθησία και την πρακτικότητα σε ένα ρολόι.

Η στεφάνη του ρολογιού είναι ο δακτύλιος που περιβάλλει το κρύσταλλο και συμβάλει στην προστασία του όσο και στην στερέωση του σε αρκετές περιπτώσεις. Αποτελεί ένα από τα πολλά μέρη της θήκης ενός ρολογιού.

Οι στεφάνες συνήθως είναι μεταλλικές αλλά στις μέρες μας κατασκευάζονται και από καινοτόμα υλικά όπως τα κεραμικά. Υπάρχουν 12 διαφορετικοί τύποι στεφάνης ρολογιών, καθένας από τους οποίους έχει έναν μοναδικό σκοπό.

5.5 Τύποι στεφάνης και η χρησιμότητά τους

Οι περιστρεφόμενες στεφάνες έχουν κερδίσει σημαντικό έδαφος τα τελευταία χρόνια στην ωρολογοποιία. Στην πραγματικότητα, τα περισσότερα ρολόγια το 2021 διαθέτουν περιστρεφόμενη στεφάνη.

Σύμφωνα με τον κανόνα αγοράς και ζήτησης, τέτοιου είδους στεφάνες βλέπουμε κυρίως σε ρολόγια δυτών λόγω των χρήσιμων λειτουργιών τους κατά την κατάδυση, σε χρονόμετρα αλλά και σε αρκετούς άλλου τύπου ρολογιών που θα αναλυθούν στη συνέχεια.

Ορισμένες περιστρεφόμενες στεφάνες είναι μονής κατεύθυνσης, που σημαίνει ότι περιστρέφονται μόνο προς τη μια πλευρά. Κάποιες άλλες είναι αμφίδρομες, περιστρέφονται τόσο δεξιόστροφα όσο και αριστερόστροφα.

5.5.1 Απλή στεφάνη

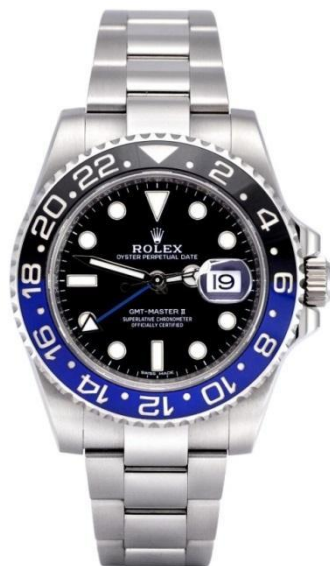
Είναι ο πιο απλός τύπος στεφάνης με τις λιγότερες αναγραφόμενες ενδείξεις έως και καθόλου. Συνήθως οι στεφάνες αυτές διακοσμούνται με πολύτιμους λίθους ή ανάγλυφα σχέδια ή χρησιμοποιούνται απλά και μόνο για την στερέωση του κρυστάλλου.



Εικόνα 43 - Μια απλή, διακοσμητική στεφάνη από ταρταρούγα.

5.5.2 Στεφάνη GMT (Greenwich Mean Time) / Ώρα Γκρίνουιτς.

Ο όρος GMT (Greenwich Mean Time) έχει εγκαταλειφθεί από την επιστημονική κοινότητα, αλλά η ετικέτα εξακολουθεί να παραμένει στον παραδοσιακό κόσμο των ρολογιών. Η στεφάνη σε ένα ρολόι GMT χωρίζεται σε 24 ίσες αυξήσεις οι οποίες αποτελούν το δακτύλιο ένδειξης για τον 24ωρο δείκτη GMT του ρολογιού. Έτσι το ρολόι διαθέτει ένδειξη ώρας για δύο διαφορετικές ζώνες ωρών. Εάν ένας δεύτερος 24ωρος δακτύλιος αναγραφής ωρών περιλαμβάνεται στο καντράν, δημιουργείται μια τρίτη ζώνη ώρας. Η στεφάνη συχνά παρατηρείτε σε δύο χρώματα, διαχωρίζοντας έτσι την ημέρα και τη νύχτα. Για να χρησιμοποιηθεί η στεφάνη σε ένα GMT περιστρέφουμε τη στεφάνη έτσι ώστε το πάνω κεντρικό σημείο του καντράν (σημείο 12) να μας δείχνει τη ζώνη ώρας. Για παράδειγμα αν θέλουμε να δούμε την ώρα της Νέας Υόρκης (Ανατολική χειμερινή ώρα Βόρειας Αμερικής GMT-5) αρκεί να περιστρέψουμε τη στεφάνη ανθρωπολογικά κατά πέντε διαστήματα, δηλαδή πέντε ώρες. Στη συνέχεια διαβάζοντας από τη στεφάνη την ώρα που υποδεικνύει ο δείκτης GMT γνωρίζουμε την ώρα της Νέας Υόρκης και προσθέτοντας και τα λεπτά της τοπικής ώρας, μιας και αυτά δεν αλλάζουν από ζώνη σε ζώνη έχουμε την πλήρη ένδειξη του χρόνου. [14]



Εικόνα 44 - Rolex GMT-MASTER II με στεφάνη δυο χρωμάτων.

5.5.3 Δεκαδική στεφάνη.

Η δεκαδική στεφάνη, γνωστή επίσης ως δεκατόμετρο ή μικρών δευτερολέπτων, είναι αναγνωρίσιμη από την κλίμακα των 100 διαστημάτων. Το πλεονέκτημα μιας δεκαδικής στεφάνης είναι ότι μας επιτρέπει να μετατρέψετε γρήγορα μια μέτρηση χρόνου σε δεκαδικό αριθμό ή ποσοστό. Ακόμη και αν η λειτουργία αυτή χρησιμεύει σε λίγους, το δεκατόμετρο είναι αρκετά ωφέλιμο για επιστημονικούς ή βιομηχανικούς υπολογισμούς. Ορισμένα ρολόγια διαθέτουν επίσης λειτουργία χρονογράφου, η οποία σε συνδυασμό με το δεκαδικό πλαίσιο βοηθά σε μια πιο ακριβή ανάγνωση. [15]

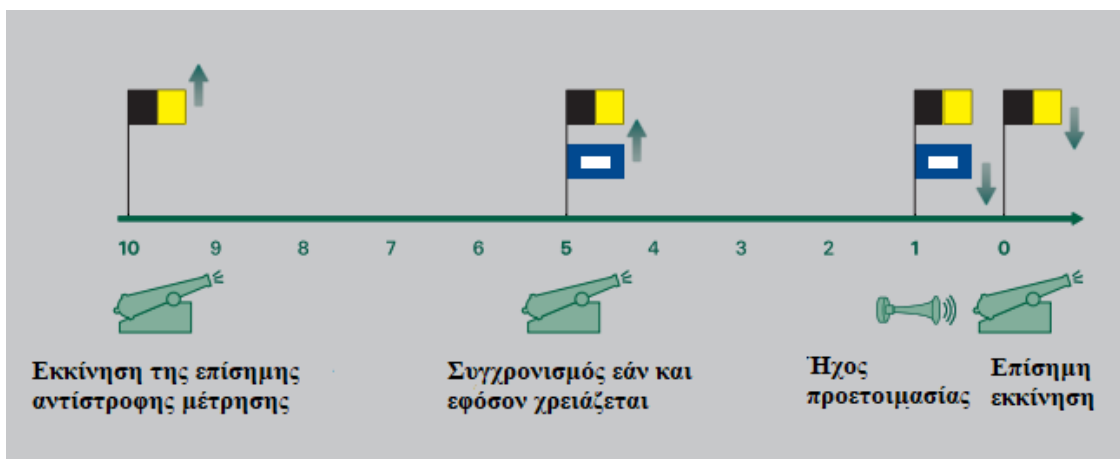


Εικόνα 45 - Breitling TOP TIME με δεκαδική στεφάνη.

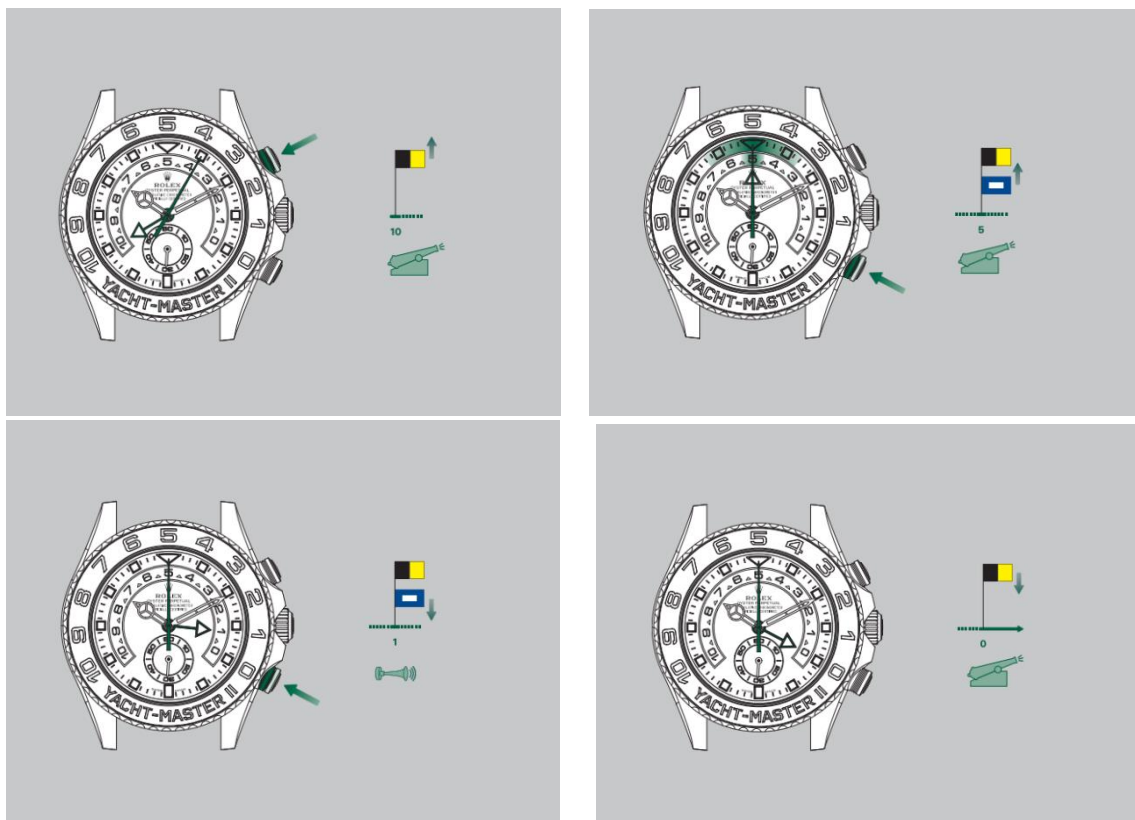
5.5.4 Regatta ή Yacht-Timer (στεφάνη λεμβοδρομίας).

Με τον όρο ρεγκάτα αναφερόμαστε σε μια σειρά αγώνων σκαφών, κυρίως ιστιοπλοΐας ή κωπηλασίας, αλλά ακόμη και με μηχανοκίνητα σκάφη. Ο όρος ρεγκάτα προέρχεται από το βενετσιάνικο όρο regata (διαμάχη για κυριαρχία) ή regatare (ανταγωνίζομαι). Σε αντίθεση με οποιονδήποτε άλλο διαγωνισμό σε μια ρεγκάτα, δίνονται ηχητικά και οπτικά σήματα πριν από την πραγματική έναρξη και όχι μόνο αυτού της εκκίνησης.

Στα πρώτα χρόνια τα σήματα ηχούσαν σε μια περίοδο 5 λεπτών, αργότερα 10 ή 15, αλλά υπήρχαν και αγώνες όπου η περίοδος αυτή ήταν 3 ή 6 λεπτά. Αυτή η αντίστροφη μέτρηση δίνει τη δυνατότητα στα αγωνιζόμενα γιοτ να ελίσσουν το σκάφος όσο το δυνατόν καλύτερα ώστε να φτάσουν την κατάλληλη στιγμή στη γραμμή εκκίνησης και μάλιστα με τη μέγιστη ταχύτητα. Έτσι ο κυβερνήτης του σκάφους έχει τον χρόνο εκκίνησης οπτικοποιημένο, πράγμα που του δίνει την δυνατότητα να κάνει τους κατάλληλους ελιγμούς για να καταφέρει την καλύτερη εκκίνηση. [16], [17]



Εικόνα 46 - Επεξήγηση εκκίνησης αγώνων ιστιοπλοΐας.



Εικόνα 47 - Αναπαράσταση της χρήσης των μπουτών σύμφωνα με τον αγώνα.

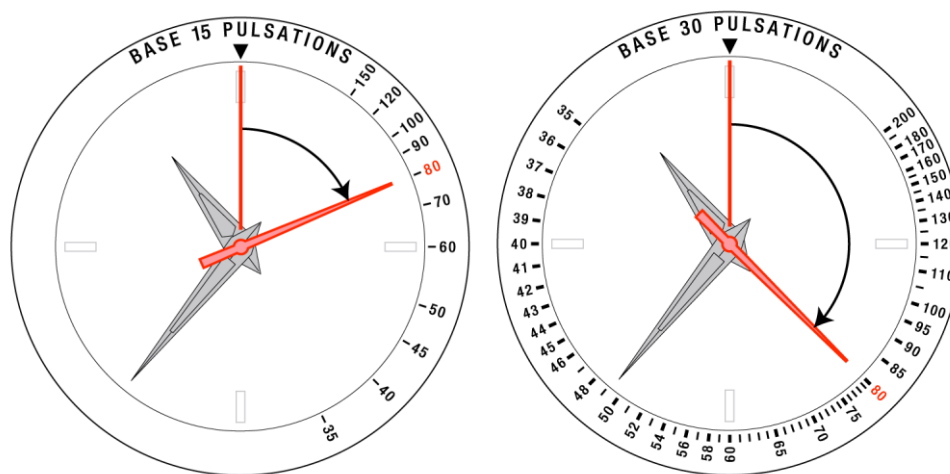
Έτσι ο κυβερνήτης του σκάφους έχει τον χρόνο εκκίνησης οπτικοποιημένο, πράγμα που του δίνει την δυνατότητα να κάνει τους κατάλληλους ελιγμούς για να καταφέρει την καλύτερη εκκίνηση. [16], [17]



Εικόνα 48 - Rolex YACHT-MASTER II.

5.5.5 Παλμομετρική στεφάνη.

Τα εξειδικευμένα «ιατρικά ρολόγια» διαθέτουν παλμόμετρο στην περιφέρεια του καντράν ή στη στεφάνη. Αυτό είναι ένα ειδικά βαθμονομημένο ταχύμετρο που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του καρδιακού παλμού. Κατά την χρήση του εκινούμαι το χρονόμετρο του χρονογράφου και μετράμε τους παλμούς μέχρι να αριθμήσουμε τον αριθμό δευτερολέπτων με βάση τον οποίο είναι βαθμονομημένο το παλμόμετρο — συνήθως 15 και μερικές φορές 30 δευτερόλεπτα. Τη στιγμή εκείνη σταματάμε το χρονόμετρο και διαβάζουμε τον καρδιακό ρυθμό σε παλμούς ανά λεπτό. Μια σχετική κλίμακα, που βρίσκεται συχνά στο ίδιο ρολόι, είναι το ασθμόμετρο, που χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό του αναπνευστικού ρυθμού ενός ασθενούς. Η ένδειξη διαβάζεται με τον ίδιο τρόπο και τυπικά βαθμονομείται σε πέντε αναπνοές.



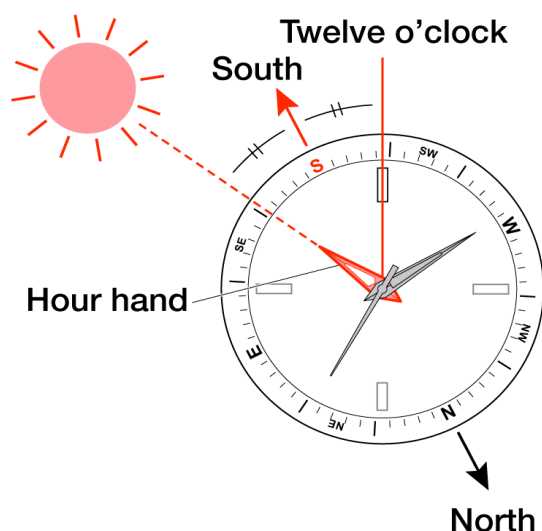
Εικόνα 49 - Επεξήγηση λειτουργίας στεφάνης μέτρησης παλμών.



Εικόνα 50 - Longines ASTHMOMETER PULSOMETER CHRONOGRAPH.

5.5.6 Στεφάνη πυξίδα.

Στις μέρες μας υπάρχουν ρολόγια τα οποία μπορούν να προσδιορίσουν την κατεύθυνση. Τα ρολόγια με πυξίδα σχεδιάστηκαν για την βοήθεια των πεζοπόρων. Η κατά προσέγγιση κατεύθυνση μπορεί να προσδιοριστεί συγκρίνοντας τη θέση του ωροδείκτη με τον ήλιο. Φυσικά, οφείλουμε να λάβουμε υπόψη ότι αυτοί οι προσδιορισμοί είναι κατά προσέγγιση, καθώς υπάρχει κάποια διαφορά σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και σε διαφορετικές εποχές. Για τη χρήση της πυξίδας, αρκεί να τοποθετηθεί το ρολόι οριζόντια και να ευθυγραμμιστεί ο ωροδείκτης του ρολογιού σύμφωνα με την κατεύθυνση του ήλιου. Το μέσων ακριβώς μεταξύ της ευθείας που δημιουργείτε από τον ωροδείκτη έως τον ήλιο και της θέσης 12:00 στο καντράν, δείχνει περίπου νότια. Συνεπώς το επόμενο βήμα είναι να περιστρέψουμε τη στεφάνη ώστε το S (South), να βρίσκεται στο σημείο αυτό. Στη συνέχεια μπορούν να προσδιοριστούν κατά προσέγγιση όλες οι υπόλοιπες κατευθύνσεις της πυξίδας.



Εικόνα 51 - Επεξήγηση λειτουργίας στεφάνης με πυξίδα.



Εικόνα 52 - Nautica NST TIDE TEMP COMPASS.

5.5.7 Στεφάνη με τηλέμετρο.

Το τηλέμετρο υποδεικνύει την απόσταση από το σημείο που βρίσκεται ο χειριστής του έως ένα αντικείμενο/συμβάν που εκπέμπει φως και ήχο. Για παράδειγμα, μπορεί να υποδείξει την απόσταση από το μέρος όπου χτύπησε ένας κεραυνός, μετρώντας το χρόνο που πέρασε από τη στιγμή που εμφανίστηκε η λάμψη του κεραυνού μέχρι να ακουστεί ο ήχος του.

Η αστραπή καθώς ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός, φτάνει αμέσως στον παρατηρητή, σε αντίθεση με τον ήχο ο οποίος ταξιδεύει με ταχύτητα 0,33 χιλιόμετρα ανά δευτερόλεπτο. Η απόσταση από την πηγή του φωτός και του ήχου μπορεί να υπολογιστεί με βάση αυτή τη διαφορά.

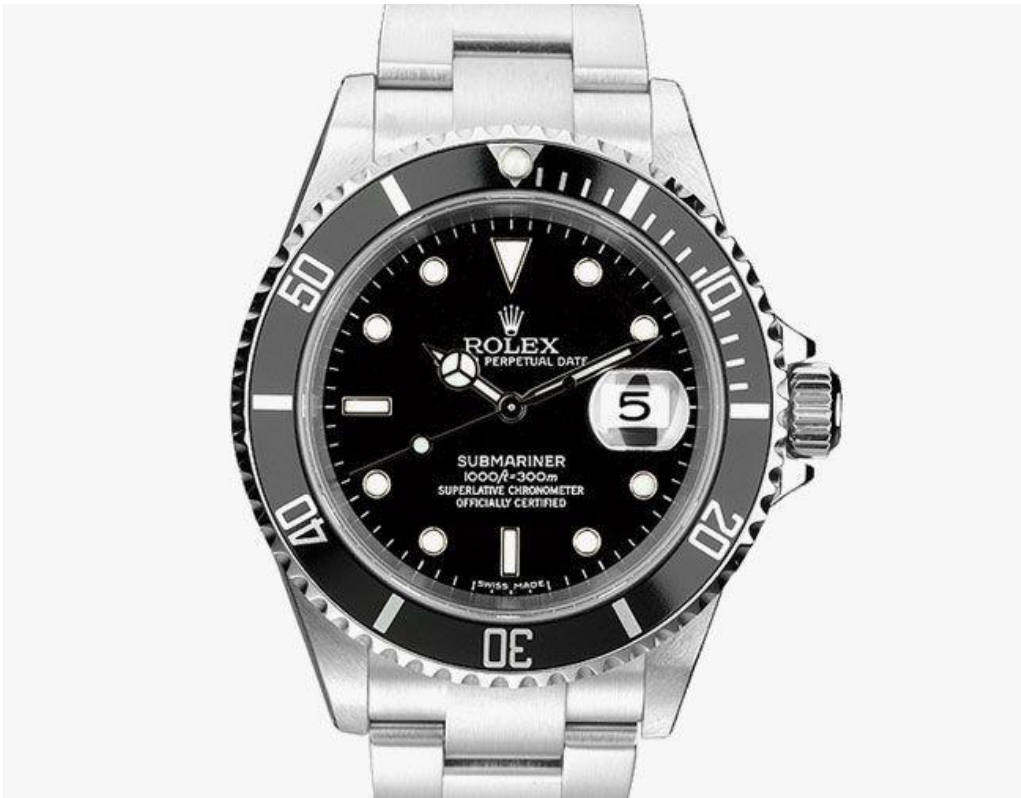
Αξίζει να σημειωθεί ότι η στεφάνη του τηλεμέτρου είναι διαβαθμισμένη σε κλίμακα όπου ο ήχος ταξιδεύει με ταχύτητα 1 χιλιόμετρον σε 3 δευτερόλεπτα και να ληφθεί υπόψη ότι το δευτερόλεπτο του χρονομέτρου κινείται σε βήμα 1/5 του δευτερολέπτου. Αυτά τα δύο σχόλια διασαφηνίζουν απολύτως την προσεγγιστική ένδειξη της μετρούμενης απόστασης. Τέλος, το τηλέμετρο μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο όταν ο μετρούμενος χρόνος είναι μικρότερος από 60 δευτερόλεπτα.



Εικόνα 53 - Longines HERITAGE/TELEMETRE CHRONOGRAPH.

5.5.8 Αύξουσα στεφάνη με κλίμακα 0-60.

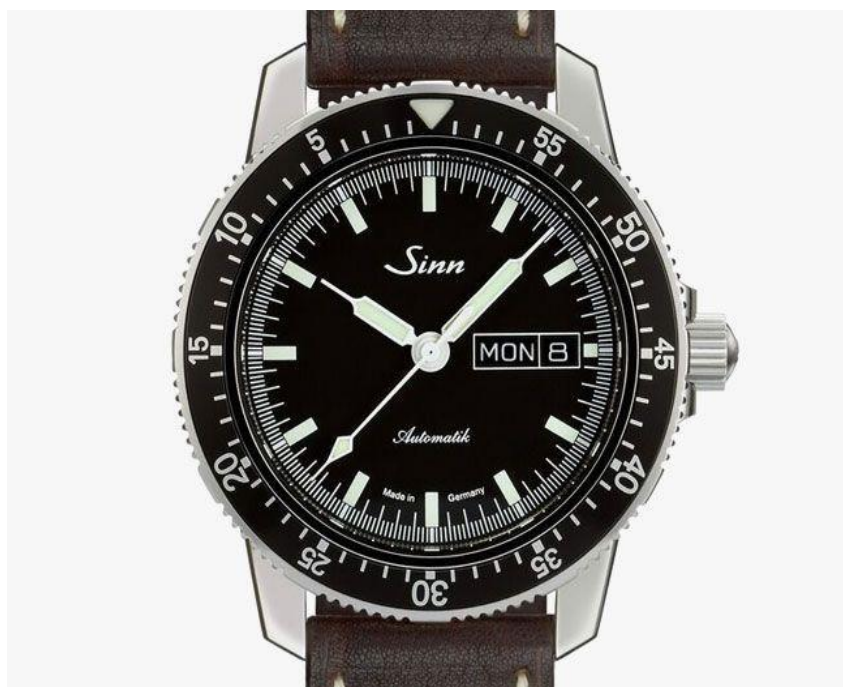
Ίσως ο πιο συχνά εμφανιζόμενος τύπος στεφάνης είναι αυτός των ρολογιών κατάδυσης. Οι στεφάνες αυτές φέρουν αναγραφές από το μηδέν έως το 60, υποδεικνύοντας τα λεπτά της ώρας και χρησιμοποιούνται για να παρακολουθούν τον χρόνο που δαπανάται κάτω από το νερό, μια κρίσιμη παράμετρος μαζί με το βάθος και τον υπόλοιπο οξυγόνου. Τα πρώτα 15 (μερικές φορές 20) λεπτά σημειώνονται με βήμα του ενός λεπτού ενώ το υπόλοιπο της κλίμακας σημειώνεται συνήθως με βήμα των πέντε λεπτών. Η ακριβέστερη ανάλυση για τα πρώτα 15 λεπτά στην κλίμακα επιτρέπει στους δύτες να προγραμματίζουν τις στάσεις αποσυμπίεσης με σχετική ακρίβεια κατά την ανάβασή τους στο τέλος μιας κατάδυσης. Για να χρησιμοποιήσουμε μια στεφάνη κατάδυσης, ρυθμίζουμε την ένδειξη 0 της στεφάνης απέναντι από τον λεπτοδείκτη. Όσο τα λεπτά τρέχουν, μπορούμε να διαβάσουμε τον χρόνο που έχει παρέλθει στη στεφάνη χωρίς να χρειάζεται να κάνουμε κανένα υπολογισμό.



Εικόνα 54 - Rolex SUBMARINER.

5.5.9 Φθίνουσα στεφάνη με κλίμακα 60-0.

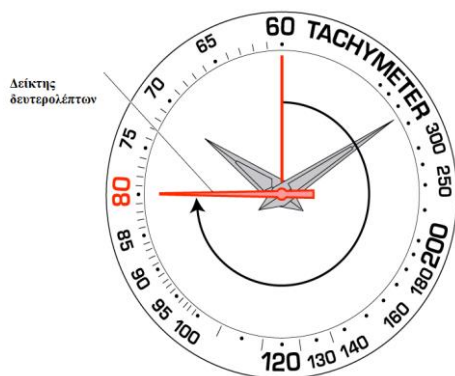
Σχεδόν το αντίθετο από μια αύξουσα κλίμακα μέτρησης, χρησιμοποιείται μια κλίμακα φθίνουσας μέτρησης για να ορίσουμε τον χρόνο που απομένει πριν ή κατά τη διάρκεια ενός συμβάντος. Για τη χρήση της, περιστρέφουμε τη στεφάνη έτσι ώστε ο χρόνος που απομένει σε λεπτά να βρίσκεται απέναντι από τον λεπτοδείκτη. Όταν ο λεπτοδείκτης φτάσει στο μηδέν της στεφάνης, γνωρίζουμε ότι το γεγονός έλαβε τέλος.



Εικόνα 55 - Sinn EZM 3F.

5.5.10 Στεφάνη με ταχύμετρο.

Το ταχύμετρο, είναι μια συσκευή για τη μέτρηση της ταχύτητας. Λειτουργεί σε συνδυασμό με τον χρονογράφο και είναι μια λογαριθμική κλίμακα εγχάρακτη στη στεφάνη ή τυπωμένη στο καντράν του ρολογιού που δείχνει τον αριθμό των δευτερολέπτων σε μία ώρα (3600 λεπτά). Αυτό που κάνει το ταχύμετρο είναι να υπολογίζει την ταχύτητα ενός σώματος εν κινήσει, μετρώντας τον χρόνο που χρειάζεται για να διασχίσει μια συγκεκριμένη, γνωστή απόσταση. Ουσιαστικά, μετατρέπει τον χρόνο που έχει παρέλθει σε μέση ταχύτητα. Όσο για την ερώτηση «ταχύμετρο ή χρονογράφος», όλα τα ταχύμετρα είναι μέρος ενός χρονογράφου, αλλά δεν έχουν όλοι οι χρονογράφοι ταχύμετρο. Ωστόσο, ένα ταχύμετρο μπορεί επίσης να υπολογίσει τις μέσες μονάδες παραγωγής ανά ώρα σε μια γραμμή παραγωγής, τις σέντρες ανά ώρα κατά τη διάρκεια ενός αγώνα μπίτζμπολ ή τον μέσο ρυθμό οποιουδήποτε άλλου επαναλαμβανόμενου γεγονότος.



Εικόνα 56 - Επεξήγηση της χρήσης ενός ταχυμέτρου.

Για τη χρήση του ταχυμέτρου εκκινούμε το χρονογράφο μόλις περάσουμε μία μονάδα (δείκτης χιλιομέτρου στην εθνική οδό, γραφικό στοιχείο, κλπ) και τον σταματάμε μόλις επέλθει η επόμενη μονάδα. Στη συνέχεια διαβάζουμε τις μονάδες που υποδεικνύει ο δείκτης δευτερολέπτων στην κλίμακα και έχουμε το μέσο αριθμό αυτών σε μία ώρα.

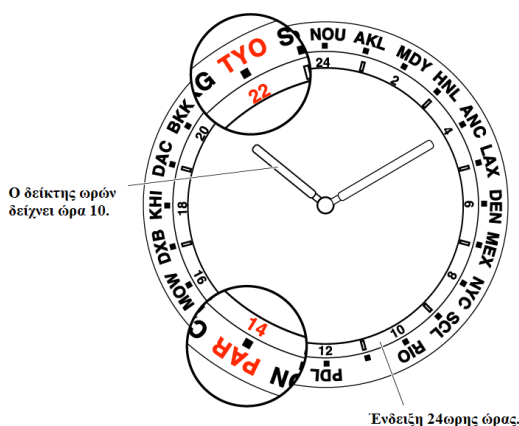


Εικόνα 57 - Omega SPEEDMASTER MOONWATCH PROFESSIONAL.

5.5.11 Παγκόσμια ώρα.

Στην περιστρεφόμενη στεφάνη ενός ρολογιού παγκόσμιας ώρας, αναγράφονται τα ονόματα των μεγάλων πόλεων σε όλο τον κόσμο κατά σειρά διαφοράς ώρας. Έτσι χρησιμοποιώντας την περιστρεφόμενη στεφάνη, μπορεί να προσδιοριστεί κατά προσέγγιση η ώρα όλων των μεγάλων πόλεων που αναγράφονται.

Για παράδειγμα: Αν θέλουμε να υπολογίσουμε την τοπική ώρα του Παρισιού ενώ βρισκόμαστε στο Τόκιο, τότε καθώς η ώρα του ρολογιού είναι ρυθμισμένη σύμφωνα με την τοπική ώρα του Τόκιο:



- A. Διαβάζουμε και μετατρέπουμε την τρέχουσα ώρα από 12ωρη σε μορφή 24 ωρών. (10 μ.μ. → 22 η ώρα)
- B. Προσαρμόζουμε το όνομα της πόλης (Tokyo=TYO) της στεφάνης στο σημείο 22 η ώρα της 24ωρης κλίμακας.
- Γ. Τώρα μπορούμε να προσδιορίσουμε ότι η ώρα του Παρισιού (= PAR) είναι 14 η ώρα (2:00 μ.μ.) διαβάζοντας την 24ωρη κλίμακα που αντιστοιχεί στη θέση του ονόματος της πόλης που εμφανίζεται πάνω στην περιστρεφόμενη στεφάνη.

Η διαφορά ώρας μεταξύ των μεγάλων πόλεων είναι μόνο σε ώρες, τα λεπτά παραμένουν ίδια. Μπορούμε να υπολογίσουμε την ώρα των άλλων πόλεων με τον ίδιο τρόπο, ωστόσο πρέπει να λάβουμε υπόψη τη θερινή ώρα, καθώς αυτή δεν μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τη στεφάνη ή το δακτύλιο του καντράν.

5.5.12 Στεφάνη κώδικα επικοινωνίας αέρος-εδάφους.

Μία αρκετά σπάνια στεφάνη είναι αυτή που υποδεικνύει στον χειριστή του ρολογιού σήματα επικοινωνίας μεταξύ αέριων μέσων και της γης. Αποτελεί τρόπο επικοινωνίας σε περίπτωση εκτάκτου ανάγκης μεταξύ ανθρώπων και αεροσκάφων.

Διεθνής κώδικας επικοινωνίας Γής-Αέρος:

| | | | |
|-------------------------------|---|-----------------------|------------------------------------|
| I REQUIRE DOCTOR | II REQUIRE MEDICAL SUPPLIES | LL ALL WELL | F REQUIRE FOOD AND WATER |
| X UNABLE TO PROCEED | K INDICATE DIRECTION TO PROCEED | Y YES | N NO |

Εικόνα 58 – Επεξήγηση συμβόλων κώδικα αέρος-εδάφους.



Εικόνα 59 - CITIZEN SATELLITE WAVE GPS*1 PROMASTER.

5.5.13 Στεφάνη Λογαριθμικού κανόνα / Slide Rule bezel.

Η πιο πολύπλοκη στεφάνη οπτικά είναι και η τελευταία που θα αναλυθεί στην παρούσα εργασία. Η στεφάνη με λογαριθμική κλίμακα βρίσκεται πιο συχνά στα ρολόγια των αεροπόρων. Αποτελείται από δύο λογαριθμικές κλίμακες — μία σταθερή και μία σε έναν περιστρεφόμενο εξωτερικό δακτύλιο, τη στεφάνη. Με τη στεφάνη αυτή εκτελούνται οι πράξεις του πολλαπλασιασμού και της διαίρεσης περιστρέφοντας τον εξωτερικό δακτύλιο. Ο τρόπος αυτός συγκαταλέγεται στα μαθηματικά της παλιάς σχολής, καθώς μόνο οι μηχανικοί της εποχής του Ψυχρού Πολέμου θα το νοσταλγούσαν αν το έβλεπαν.

Για μια απλή κατανόησή της στεφάνης αυτής, ας υποθέσουμε ότι θέλουμε να πολλαπλασιάσετε το 8 με το 14. Τοποθετούμε το 14 της λευκής εξωτερική

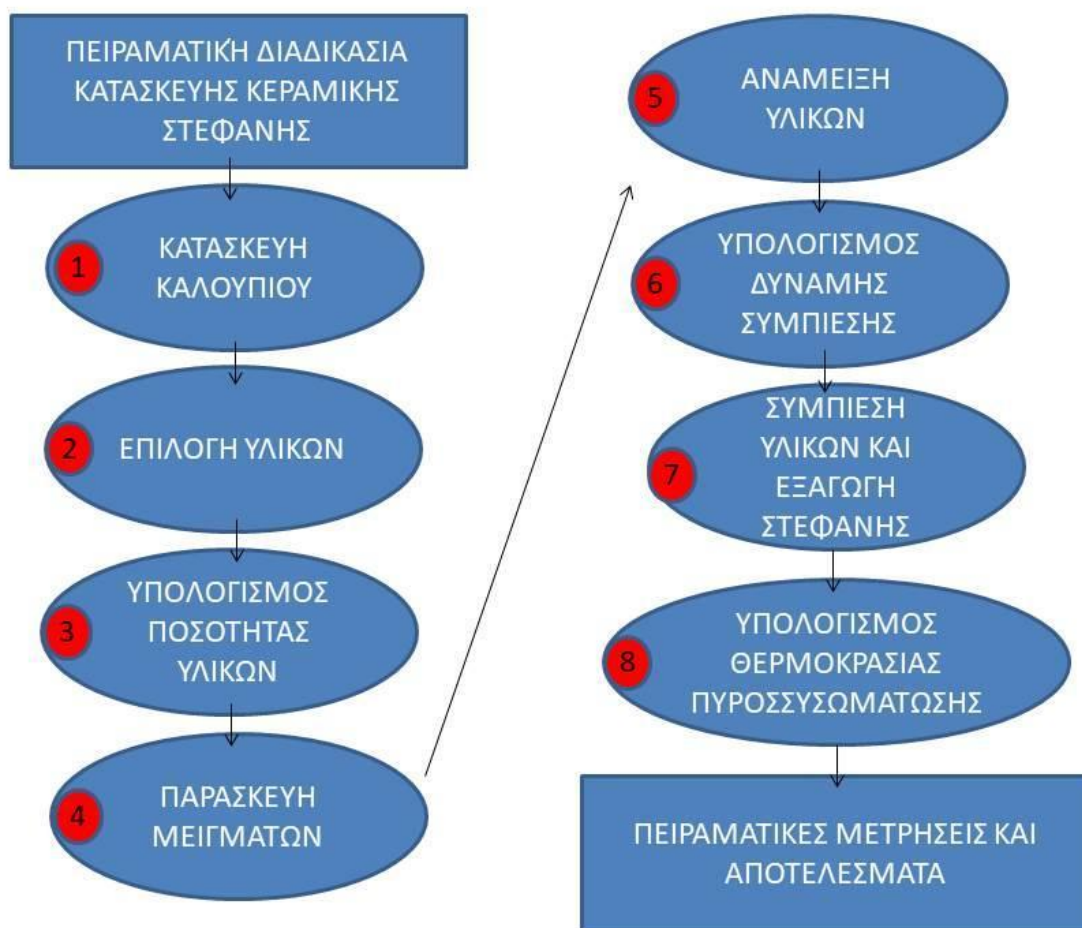
περιστρεφόμενης κλίμακα της στεφάνης απέναντι από το 10 (το 10 είναι ο δείκτης μονάδας στη λογαριθμική κλίμακα και χρησιμοποιείται ως συντελεστής μετατροπής, $\log_{10}=1$), το οποίο βρίσκεται περίπου στην ώρα 2:30 και είναι χρωματισμένο κόκκινο στην εικόνα που ακολουθεί. Απέναντι από το 8 στην αμέσως εσωτερική κλίμακα, διαβάζουμε την απάντηση 11.2 της εξωτερικής λευκής κλίμακας. Η τελική απάντηση είναι το 112 καθώς έχουμε φέρει μια πλήρη περιστροφή της εξωτερικής στεφάνης και συνεπώς τώρα τα αναγραφόμενα νούμερα από το 12 και μετά πολλαπλασιάζονται με 10.

Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε ένα ρολόι που διαθέτει στεφάνη με λογαριθμικό κανόνα για να εκτελέσουμε κάθε είδους υπολογισμούς πλοήγησης: ταχύτητα αέρα, ρυθμός/χρόνος ανάβασης ή καθόδου, χρόνος πτήσης, απόσταση και κατανάλωση καυσίμου, καθώς και μετατροπές μονάδων απόστασης. Δυστυχώς, αυτά είναι αρκετά περίπλοκα για να τα εξετάσουμε εδώ. Φυσικά μπορεί κάποιος να ανατρέξει στο φυλλάδιο οδηγιών ενός τέτοιου ρολογιού όπως το απεικονιζόμενο στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 60 - Breitling NAVITIMER 1 AUTOMATIC 38.

6.0 Πειραματικό μέρος



Εικόνα 61 - Διάγραμμα διαδικασιών πειράματος.

6.1 Κατασκευή καλουπιού

Υπάρχουν αρκετοί τρόποι κατασκευής μιας στεφάνης. Η διαδικασία κατασκευής ενός καλουπιού αποτελεί μια επιστήμη η οποία είναι αρκετά πολύπλοκη. Ωστόσο, υπάρχουν κάποιοι βασικοί άξονες που μας κατευθύνουν.

1. Η απλότητα της κατασκευής και της χρήσης
2. Το χαμηλό κόστος κατασκευής
3. Η αποτελεσματικότητα
4. Η συντήρηση
5. Η αντοχή

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά είναι αυτά που θα καθορίσουν την τελική διαμόρφωση της κατασκευής λαμβάνοντας υπόψη βέβαια ότι στην περίπτωση της παρούσας έρευνας το καλούπι δεν θα χρησιμοποιηθεί για μια γραμμή παραγωγής αλλά για την παραγωγή μιας ντουζίνας δοκιμών.

Οι περισσότερες εταιρείες χρησιμοποιούν μήτρες στις οποίες εισέρχεται το υλικό και στη συνέχεια συμπιέζεται. Η διαμόρφωση που καλουπιού ή της μήτρας είναι τέτοια ώστε το δοκίμιο που παράγεται μετά τη συμπίεση να έχει τέτοια μορφή, ώστε μια ρομποτική μηχανή να είναι σε θέση να το μετακινήσει στη πυρίμαχη βάση που θα εισέλθει στον κλίβανο ψησίματος, με λεπτές και ακριβείς κινήσεις. Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι κάθε διαμόρφωση στη στεφάνη όπως αριθμοί και γράμματα ή σύμβολα γίνονται ακριβώς πριν την έψηση, καθώς τότε το υλικό βρίσκεται σε κατάσταση τέτοια ώστε να είναι δυνατή η αφαίρεση μεγάλης ποσότητας υλικού, πέρα του φινιρίσματος που πραγματοποιείτε μετά την έψηση.

Στη συνέχεια θα παρασταθούν κάποιες εικόνες κατασκευής στεφάνων και θηκών ρολογιών από τα εργοστάσια μεγάλων εταιριών:



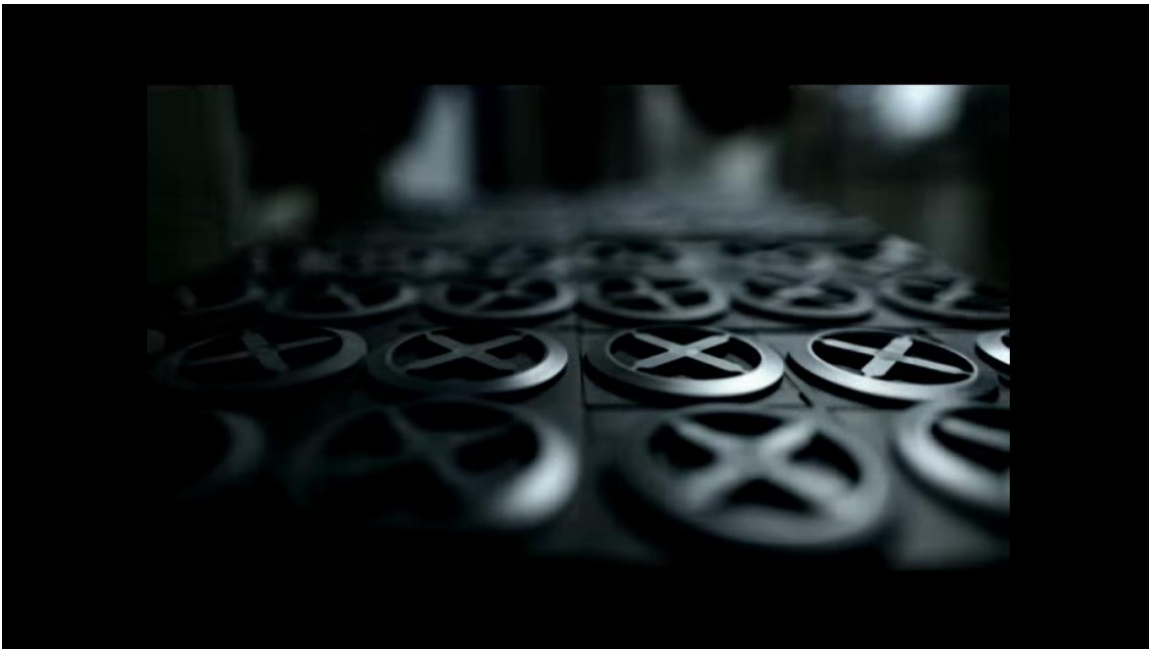
Εικόνα 62 - Κεραμική στεφάνη αμέσως μετά την συμπίεση των υλικών.



Εικόνα 63 - Κεραμική στεφάνη κατά την εξαγωγή της από τη μήτρα. Παρατηρείται ο άξονας από τον οποίο ο ρομποτικός βραχίονας θα μεταχειριστεί τη στεφάνη.



Εικόνα 64 - Σε περίπτωση που η στεφάνη φέρει αριθμούς ή σύμβολα, η επεξεργασία της γίνεται πριν την είσοδό της στον κλίβανο.



Εικόνα 65 - Στεφάνες πριν την είσοδο τους στον κλίβανο.

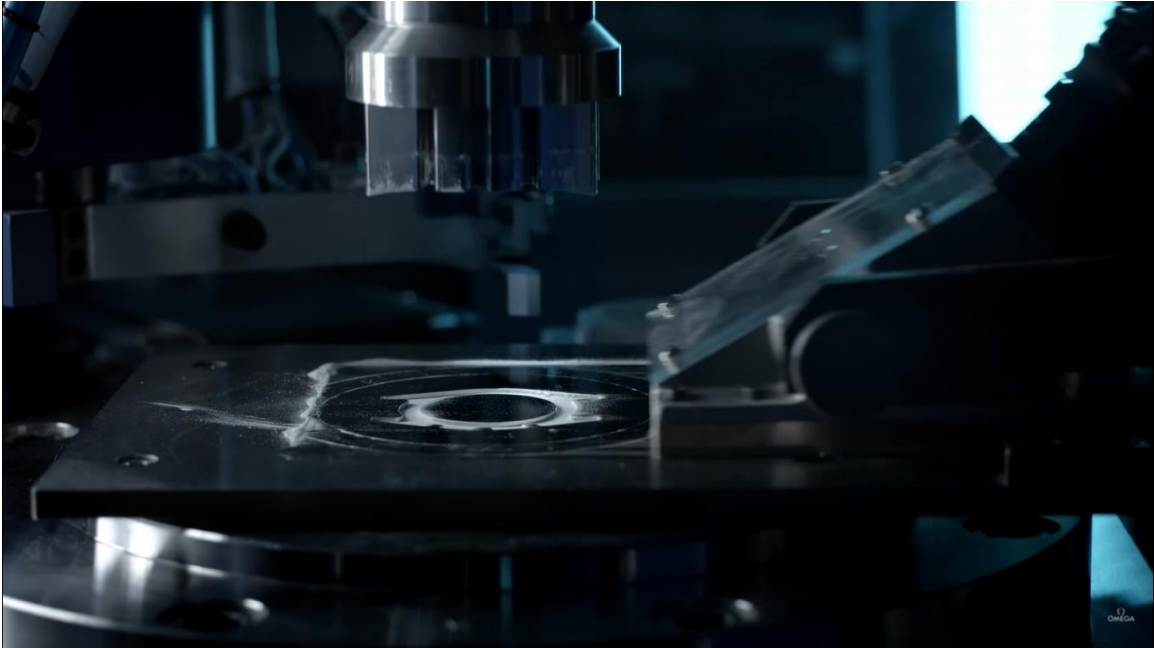


Εικόνα 66 - Έψηση στεφάνων.

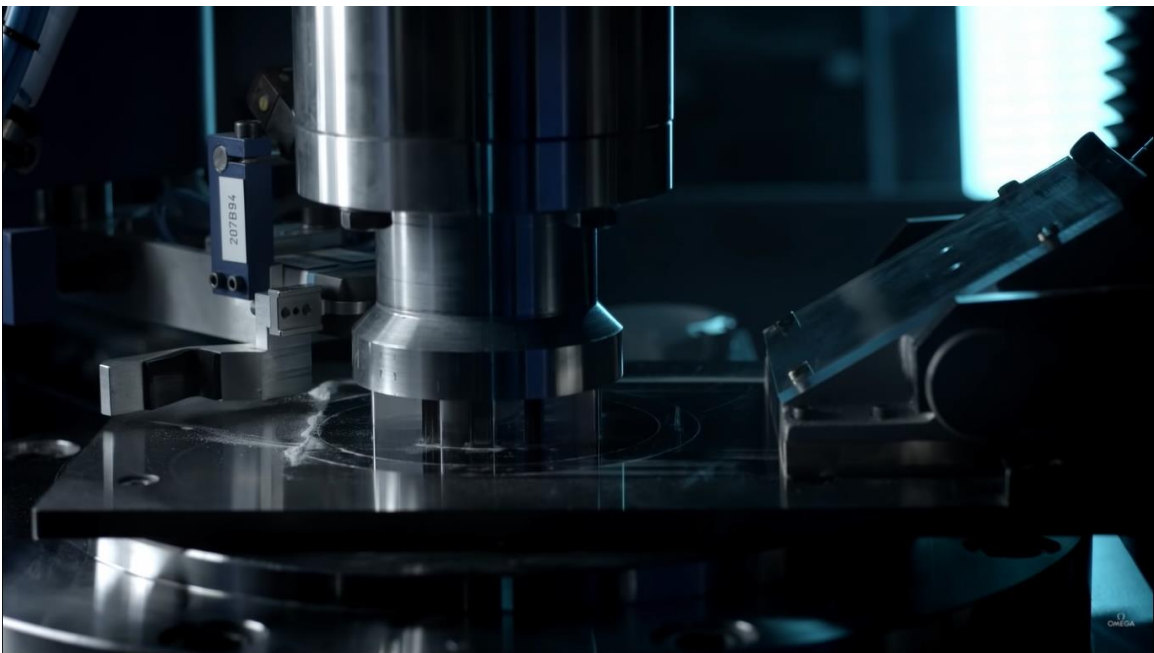
Ακολουθούν κάποιες εικόνες παραγωγής κεραμικής θήκης ρολογιού με μήτρα.



Εικόνα 67 - Καθαρισμός μήτρας κατασκευής κεραμικής θήκης.



Εικόνα 68 - Πλήρωση υλικού κατασκευής κεραμικής θήκης ρολογιού.



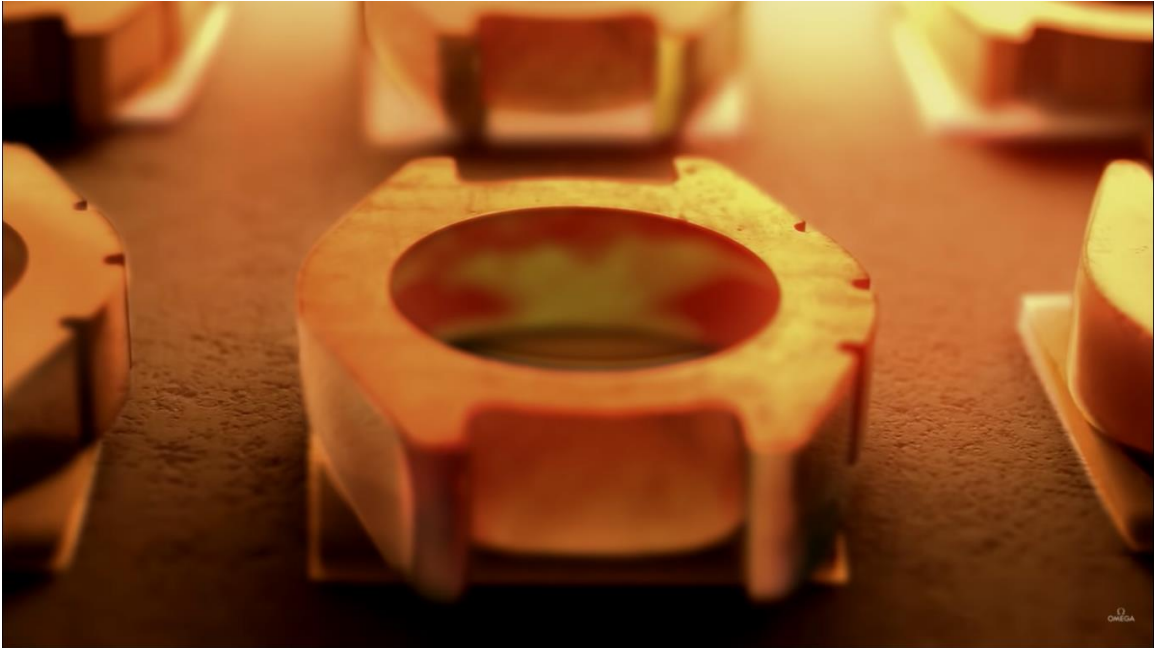
Εικόνα 69 - Συμπύση κεραμικού υλικού με έμβολο.



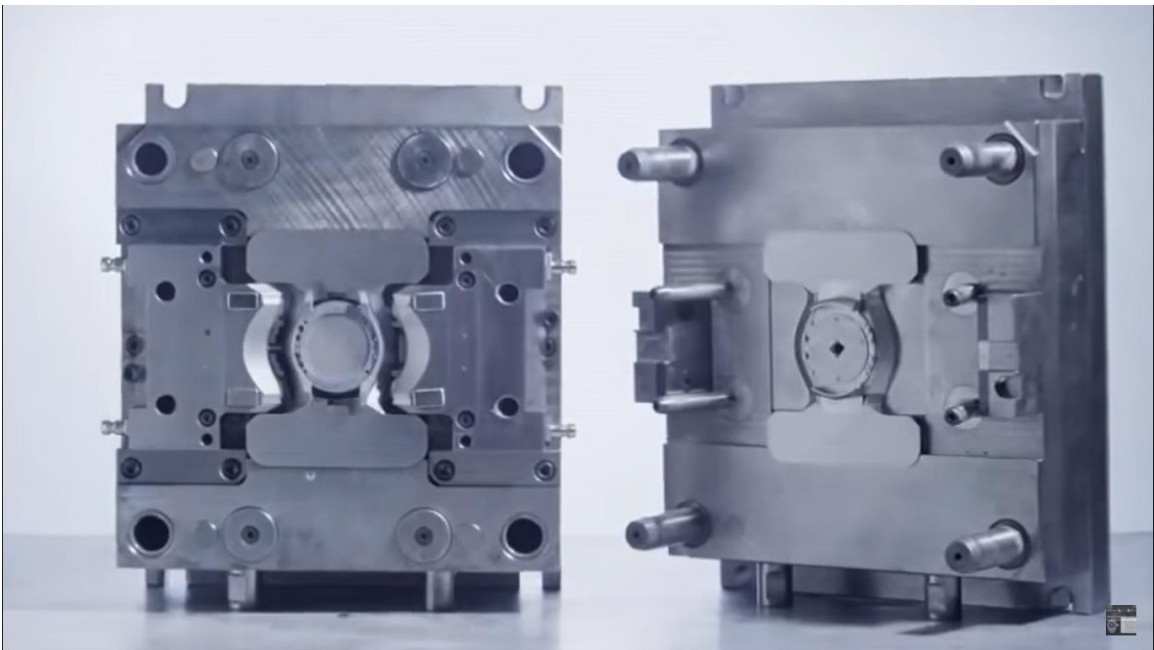
Εικόνα 70 - Εξαγωγή κεραμικής θήκης.



Εικόνα 71 - Προετοιμασία κεραμικής θήκης για έψηση.



Εικόνα 72 - Έψηση κεραμικής θήκης.



Εικόνα 73 - Μήτρες κατασκευής κεραμικής θήκης ρολογιού.

Για την κατασκευή του καλουπιού χρησιμοποιήθηκε μια ράβδος στρέψεως από βελτιωμένο σίδηρο.



Εικόνα 74 - Ράβδος στρέψεως Old Man Emu.

Η αρχική διάμετρος της ράβδου ήταν 40χιλ. και χρησιμοποιήθηκε ένα τμήμα της ύψους περίπου 10 εκ.. Η διαμόρφωση του καλουπιού έγινε σε εργαλειομηχανή τórνευσης και παράχθηκε το τελικό καλούπι το οποίο αποτελείτε από τρία μέρη:

- Τη βάση. Η βάση αποτελεί το βασικό τεμάχιο του καλουπιού το οποίο θα διαμορφώσει και τις τελικές διαστάσεις της στεφάνης. Είναι μάλιστα και αυτό το οποίο θα καθοδηγήσει σωστά το έμβολο κατά τη συμπίεση. Μια ιδιαιτερότητά της είναι το ράδιο που δημιουργήθηκε κατά την κατασκευή της στο σημείο που ξεκινά ο εσωτερικός κύλινδρος, έτσι ώστε να είναι πιο εύκολη η εξαγωγή της και να αποφευχθεί κάποια θραύση σε αυτή την ακμή.



Εικόνα 75 - Η βάση του καλουπιού.

- Το έμβολο. Το έμβολο τοποθετείτε πάνω στη βάση. Καθοδηγείτε από το υψηλότερο, εσωτερικό, κυλινδρικό τμήμα της βάσης και έχει ίδια εξωτερική διάμετρο με αυτή. Στην οριζόντια επιφάνεια επαφής τους θα βρεθεί η παραγόμενη στεφάνη μετά τη συμπίεση του κεραμικού υλικού. Μάλιστα το κάτω μέρος του εμβόλου είναι πλήρως επίπεδο καθώς θα διαμορφώσει το προφίλ της στεφάνης την οποία στη συνέχεια θα επεξεργαστούμε. Συνεπώς όσο καλύτερη θα είναι η επιφάνεια του εμβόλου τόσο λιγότερο υλικό θα αφαιρεθεί κατά το φινίρισμα.



Εικόνα 76- Η βάση με το έμβολο.

- Ο κύλινδρος συγκράτησης. Ο κύλινδρος αυτός βοηθάει ώστε το μείγμα κεραμικών υλικών που θα συμπιεστεί να μην διαρρέυσει ακτινικά. Η εσωτερική του διάμετρος εφαρμόζει στην εξωτερική διάμετρο των δυο παραπάνω τμημάτων, της βάσης και του εμβόλου. Για την κατανόηση της λειτουργίας του αρκεί να παρατηρηθούν οι δύο ακόλουθες εικόνες.



Εικόνα 77 - Τα τρία τμήματα του καλούπιού, αποσυναρμολογημένα.



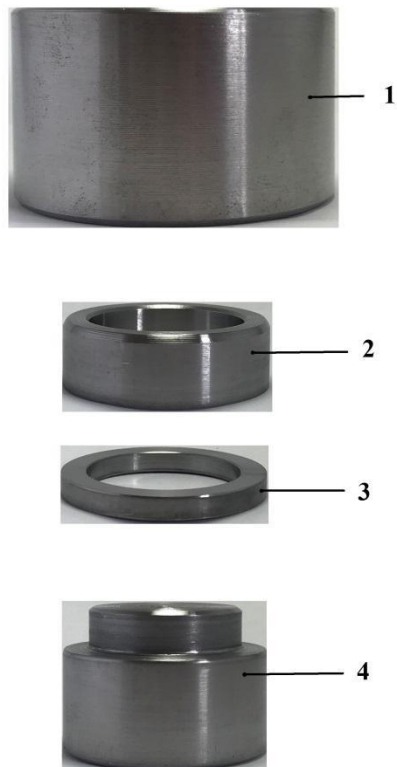
Εικόνα 73 - Το συναρμολογημένο καλούπι.

6.1.1 Διορθώσεις κατασκευής καλουπιού:

Μετά την κατασκευή και χρήση του καλουπιού εμφανίστηκαν κάποιες δυσλειτουργίες οι οποίες αποτελούν και τον κατευθυντήριο οδηγό για οποιονδήποτε ασχοληθεί με μια αντίστοιχη διαδικασία.

Η εξόλκευση του δοκιμίου ήταν αρκετά δύσκολη και σχεδόν αδύνατη χωρίς τη θραύση του, καθώς το υλικό ήταν αδύνατο να ολισθήσει πάνω στον εσωτερικό κύλινδρο της βάσης. Κρίθηκε συνεπώς αναγκαία η βελτίωση της διάταξης.

- Η πρώτη αλλαγή ήταν η διαίρεση του εμβόλου σε δύο μέρη. Με την αλλαγή αυτή το υλικό τοποθετήθηκε ανάμεσα στους δύο δακτυλίους (2&3) και η εξόλκευση του δοκιμίου ήταν πιο εύκολη και σταθερή καθώς ο κάτω δακτύλιος (3) ωθούσε ομοιόμορφα το δοκίμιο προς τα επάνω, ασκώντας ομοιόμορφη δύναμη και έγινε δυνατή η εξόλκευση του δοκιμίου χωρίς θραύση. Το νέο καλούπι είχε την ακόλουθη μορφή:



Εικόνα 78 - Η διάταξη του βελτιωμένου καλουπιού.

- Η δεύτερη βελτίωση ήταν η χρήση ενός εξολκέα, ο οποίος εφελκύνει το κάτω δακτύλιο του διαιρεμένου εμβόλου. Συγκεκριμένα, για την ομαλή εξόλκευση του δακτυλίου 3, ο οποίος στο πάνω μέρος του θα έφερε το συμπιεσμένο δοκίμιο, χρησιμοποιήθηκε ένας εξολκέας εμπορίου με πάχος αγκίστρων 2 χιλιοστά.



Εικόνα 79 - Εξολκέας FORCE 65910.

Για να αποφευχθούν οι δύο παραπάνω βελτιώσεις θα μπορούσε να κατασκευαστεί το καλούπι εξαρχής με μια διαφοροποίηση στη βάση. Η βάση θα αποτελούταν από δύο μέρη. Το πρώτο θα ήταν ένας δακτύλιος ίδιος με το έμβολο και το δεύτερο θα ήταν ένας εσωτερικός κύλινδρος καθοδήγησης – οδηγός (συναρμολογημένα αυτά τα δύο τμήματα θα ήταν ακριβώς όπως είναι η χρησιμοποιηθείσα βάση). Στην περίπτωση μας όμως το κόστος ήταν αδύνατο να καλυφθεί και ο χρόνος περιορισμένος και ολοκληρώσαμε τη διαδικασία με τον τρόπο που αναφέρθηκε.

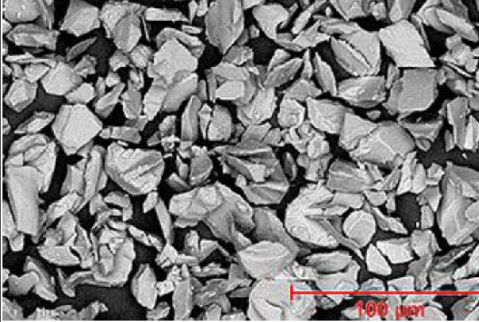
6.2 Επιλογή των υλικών για την κατασκευή της στεφάνης

Υλικά:

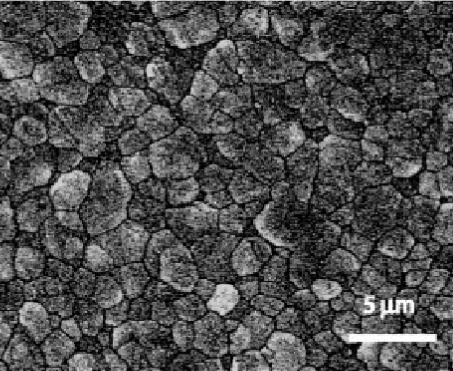
Για την κατασκευή της στεφάνης βασιστήκαμε στις ελάχιστες πληροφορίες που υπάρχουν στο διαδίκτυο. Η εξέλιξη των κεραμικών υλικών στον κλάδο της ωρολογοποιίας όπως έχει προαναφερθεί είναι κάτι πρόσφατο και κάθε εταιρία κρατάει ακόμη κρυφές τις πατέντες ως προς τα υλικά που χρησιμοποιεί. Είναι διαδεδομένο πως τα υλικά που χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο στις μέρες μας είναι η Ζιρκονία και η Αλουμίνα, με μία σχετική ακρίβεια ποσοστών 80%-20% αντίστοιχα. Τα υλικά αυτά είναι αρκετά πιο σύνθετα βέβαια καθώς στη σύστασή τους υπάρχουν και άλλα υλικά, γνωστά ως πρόσθετα και συνδέτες, τα οποία συμβάλουν στην καλύτερη ομογενοποίηση των υλικών και στη βελτίωση των ιδιοτήτων του τελικού μείγματος.

Για την παρασκευή του μείγματος χρησιμοποιήσαμε τα υλικά της METCO με κωδικούς 101 & 204. Ειδικότερα:

Πίνακας 7 - Πίνακας ιδιοτήτων υλικού METCO 101NS.

| | |
|---|---|
| <p>Οι σκόνες αλουμίνας (3% τατανίας) έχουν σχεδιαστεί για να αυξάνουν τη σκληρότητα, την ανθεκτικότητα στην τριβή και τη διάβρωση των υλικών όπως οξειδίων του αλουμινίου με την προσθήκη μιας μικρής ποσότητας (2 έως 4%) τατανίας. Επαυγχάνεται πυκνή, λεία επιφάνεια και χρησιμοποιείται για εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στη φθορά και σκληρότητα. Η Metco 101NS έχει καλή αντοχή σε τριβή, φθορά από ολίσθηση, τριβή και οξείδωση έως περίπου 1100 C (2040 F). Οι ιδιότητες της είναι μεγαλύτερης σκληρότητας από αυτές που παράγονται από σκόνες αλουμίνας υψηλής καθαρότητας (λευκές). Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε πολλά περιβάλλοντα, συμπεριλαμβανομένων των περισσότερων οξέων και αλκαλίων.</p> |  |
| <p>Ιδιότητες</p> | <p>Ηλεκτρική μόνωση, προστασία από φθορές λόγω τριβής, προστασία από οξείδωση, προστασία από τη διάβρωση στερεών σωματιδίων</p> |
| <p>Περιβάλλον χρήσης</p> | <p>Διαβρωτικά υγρά, διαβρωτικά αέρια, επαφή με πλαστικό, καουτσούκ, πολυμερή</p> |
| <p>Θερμοκρασία τήξεως</p> | <p>2040 Βαθμούς κελσίου</p> |
| <p>Χημική σύσταση</p> | <p>Al₂O₃, 2.5TiO₂, 2SiO₂, 1Fe₂O₃</p> |
| <p>Ονομαστική διάσταση σωματιδίων</p> | <p>-45 +11 microns</p> |
| <p>Μορφολογία</p> | <p>κοκκόδης με γωνίες</p> |
| <p>Μεγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος χρήσης</p> | <p>1100°C</p> |
| <p>Δυνατή σκληρότητα</p> | <p>86 - 94 HR15N</p> |
| <p>Κατάσταση προϊόντος</p> | <p>Σκόνη</p> |
| <p>Βάση συστατικών</p> | <p>Αλουμίνα</p> |
| <p>Ομάδα προϊόντος</p> | <p>Κεραμικά οξείδια</p> |

Πίνακας 8 - Πίνακας ιδιοτήτων υλικού METCO 204NS.

| | |
|---|--|
| <p>Το Metco 204NS είναι μια σφαιρική, ελεύθερης ροής, μερικώς σταθεροποιημένη, περιεκτικότητας 7-8% ύττριας-ζιρκονίας σκόνη. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας παραγωγής, το ζιρκόνιο και η ύττρια αντιδρούν για να σχηματίσουν ένα στερεό κεραμικό διάλυμα με κυβική και τετραγωνική δομή με ελάχιστες ποσότητες της μονοκλινικής φάσης. Προσφέρει επίσης θερμική μόνωση για υψηλές θερμοκρασίες, ανθεκτικότητα στις θερμικές & κυκλικές τάσεις και καταπονήσεις. Το συστατικό σταθεροποίησης, η ύττρια, τείνει να παραμένει εντονότερα σε στερεή μορφή στις υψηλές θερμοκρασίες και δεν μεταναστεύει από αυτή τη δομή για να σχηματίσει την καταστροφική μονοκλινική φάση.</p> |  |
| <p>Ιδιότητες</p> | <p>Εξαιρετική ρευστότητα, Χημική ομοιογένεια, Δομική σταθερότητα (δεν απαιτείται σταθεροποίηση φλόγας όπως απαιτείται με το Metco 202NS), Υψηλή καθαρότητα, Ομοιόμορφη τήξη σωματιδίων</p> |
| <p>Περιβάλλον χρήσης</p> | <p>Διαβρωτικά υγρά, διαβρωτικά αέρια, υψηλή θερμοκρασία</p> |
| <p>Θερμοκρασία τήξεως</p> | <p>2480°C</p> |
| <p>Χημική σύσταση</p> | <p>92% οξείδιο της ζιρκονίας 8% οξείδιο της Υττρίας</p> |
| <p>Ονομαστική διάσταση σωματιδίων</p> | <p>-140 mesh +10 microns -106 +10 microns</p> |
| <p>Μορφολογία</p> | <p>Σφαιρική</p> |
| <p>Μεγιστη θερμοκρασία περιβάλλοντος χρήσης</p> | <p>1010°C</p> |
| <p>Δυνατή σκληρότητα</p> | <p>-</p> |
| <p>Κατάσταση προϊόντος</p> | <p>Σκόνη</p> |
| <p>Βάση συστατικών</p> | <p>Ζιρκονία</p> |
| <p>Ομάδα προϊόντος</p> | <p>Κεραμικά οξείδια</p> |



Εικόνα 80 - Τα υλικά του πειράματος στη συσκευασία τους.



Εικόνα 81 - Η αλουμίνα αριστερά και η ζirkονία δεξιά σε μεγέθυνση.

6.1.1 Διορθώσεις στην κοκκομετρία των υλικών:

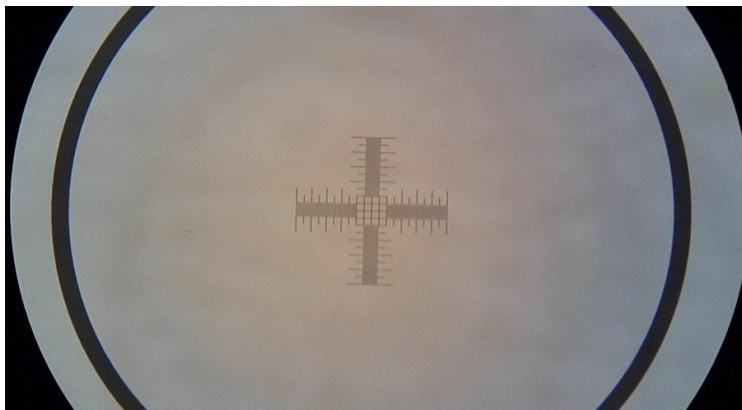
Η παρατήρηση αυτή προέκυψε μετά την εκτέλεση του πειράματος και η αντίστοιχη παραπομπή καθοδηγεί τον αναγνώστη στο παρόν υποκεφάλαιο.

Το μέγεθος των κόκκων επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες και συμβάλει αρκετά στο τελικό προϊόν που παράγεται. Για το λόγο αυτό και καθώς η επιβεβαίωση του μεγέθους των κόκκων δεν ήταν δυνατή καθώς το εργαστήριο δεν διαθέτει κόσκινα κλίμακας mesh, ακολουθήσαμε την εξής διαδικασία.

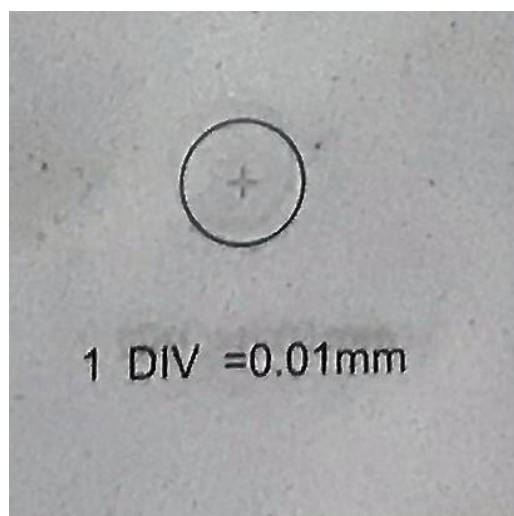
Τα δύο βασικά εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν ήταν το μικροσκόπιο της Leica (DM) και ένα γυάλινο calibration slide το οποίο έφερε την ακόλουθη βαθμονόμηση:



Εικόνα 82 - Calibration slide.



Εικόνα 83 - Λεπτομέρεια της βαθμονόμησης που χρησιμοποιήθηκε.



Εικόνα 84 - Υπόδειξη της κλίμακας.

Στη συνέχεια ακολούθησε η τοποθέτηση μια μικρής ποσότητας Ζιρκονίας & Αλουμίνας στο Calibration slide. Τα στιγμιότυπα που πάρθηκαν μέσω του μικροσκοπίου επεξεργάστηκαν μέσω του προγράμματος Autocad και μετά τον προσδιορισμό της κλίμακας στο slide, μετρήθηκαν οι δυο μεγαλύτεροι κόκκοι που παρατηρήθηκαν σε κάθε δείγμα:



Εικόνα 85 - Μέτρηση των κόκκων μέσω προγράμματος AUTOCAD.

Σύμφωνα με την παραπάνω παρατήρηση και τη βοήθεια του γραφήματος μετατροπής των χλιοστών σε mesh:

Πίνακας 9 - Πίνακας μετατροπής χλιοστών σε mesh.



YAAX International Inc.
3111 Tieton Dr., Suite 300
Yakima, WA 98902 USA
Tel: 509-249-5555
Fax: 509-469-2133
Email: info@yaax.com

MESH / INCH / MICRON / MILLIMETER - CONVERSION CHART (U.S. STANDARD)

| U.S. MESH | INCHES | MICRONS | MILLIMETERS |
|-----------|--------|---------|-------------|
| 3 | 0.2650 | 6730 | 6.730 |
| 4 | 0.1870 | 4760 | 4.760 |
| 5 | 0.1570 | 4000 | 4.000 |
| 6 | 0.1320 | 3360 | 3.360 |
| 7 | 0.1110 | 2830 | 2.830 |
| 8 | 0.0937 | 2380 | 2.380 |
| 10 | 0.0787 | 2000 | 2.000 |
| 12 | 0.0661 | 1680 | 1.680 |
| 14 | 0.0555 | 1410 | 1.410 |
| 16 | 0.0469 | 1190 | 1.190 |
| 18 | 0.0394 | 1000 | 1.000 |
| 20 | 0.0331 | 841 | 0.841 |
| 25 | 0.0280 | 707 | 0.707 |
| 30 | 0.0232 | 595 | 0.595 |
| 35 | 0.0197 | 500 | 0.500 |
| 40 | 0.0165 | 400 | 0.400 |
| 45 | 0.0138 | 354 | 0.354 |
| 50 | 0.0117 | 297 | 0.297 |
| 60 | 0.0098 | 250 | 0.250 |
| 70 | 0.0083 | 210 | 0.210 |
| 80 | 0.0070 | 177 | 0.177 |
| 100 | 0.0059 | 149 | 0.149 |
| 120 | 0.0049 | 125 | 0.125 |
| 140 | 0.0041 | 105 | 0.105 |
| 170 | 0.0035 | 88 | 0.088 |
| 200 | 0.0029 | 74 | 0.074 |
| 230 | 0.0024 | 63 | 0.063 |
| 270 | 0.0021 | 53 | 0.053 |
| 325 | 0.0017 | 44 | 0.044 |
| 400 | 0.0015 | 37 | 0.037 |



Υπολογίζεται ότι η Αλουμίνα μετριέται περίπου στα 200mesh και η Ζιρκονία στα 325mesh.

6.3 Υπολογισμός ποσότητας κεραμικού υλικού.

Βασικό στοιχείο που έπρεπε να υπολογιστεί ήταν η ποσότητα του συνολικού μείγματος κεραμικής σκόνης που έπρεπε να συμπιεστεί για την κατασκευή της στεφάνης. Για τον υπολογισμό της ποσότητας αυτής δεν υπήρχαν δεδομένα όπως η πυκνότητα του κάθε υλικού παρά μόνο η δύναμη συμπίεσης τους. Υπό αυτές τις συνθήκες ο υπολογισμός έγινε προσεγγιστικά:

- Αρχικά δημιουργήθηκε μια μάζα υλικού βάρους 5 γραμμαρίων.



Εικόνα 86 - Μέτρηση 5 γραμμαρίων ζirkονίας σε ζυγό ακριβείας.

- Έπειτα τοποθετήθηκε το υλικό εντός του καλουπιού.



Εικόνα 87 - Πλήρωση καλουπιού με ΖΤΑ. Το έμβολο θα είναι αυτό που θα συμπιέσει το υλικό στη συνέχεια.

- Στη συνέχεια τοποθετήθηκε το έμβολο και συμπιέστηκε με μια δύναμη 5 κιλών ώστε να ισοκατανεμηθεί το υλικό στην περιοχή όπου θα δημιουργηθεί η στεφάνη. Αφαιρέθηκε ο δακτύλιος συγκράτησης και μετρήθηκε το ύψος του υποτιθέμενου παραγόμενου δοκιμίου.



Εικόνα 88 - Μέτρηση ύψους για 5 γραμμάρια υλικού.

Στο σημείο αυτό πρέπει να ορίσουμε δύο τιμές.

- Η πρώτη είναι το ύψος του δοκιμίου που θα παραχθεί μετά τη συμπίεση.
- Η δεύτερη αφορά το ποσοστό συστολής του δοκιμίου μετά την έψηση.

Καθώς μετρήθηκε το ύψος των 2,87 χιλιοστών για 5,0 γραμμάρια αρχικού μείγματος, και υποθέτοντας εμπειρικά ότι κατά τη συμπίεση θα μειωθεί το ύψος κατά 2 χιλ. και μετά την έψηση κατά 25%, η ποσότητα των 5 γραμμαρίων είναι λίγη αν θέλουμε να κατασκευάσουμε μία στεφάνη περίπου 2 χιλιοστών. Αυτό δηλαδή που θα απέμενε θα ήταν μια στεφάνη των 0,65 χιλιοστών όπου δεν θα είχαμε αρκετό υλικό για την μετέπειτα επεξεργασία του. Φυσικά υπάρχει η δυνατότητα αφαίρεσης υλικού μετά τη συμπίεση σε περίπτωση που το τεμάχιο είναι υπερμεγέθες αλλά όχι το αντίθετο. Ως εκ τούτου, αυξήσαμε την αρχική ποσότητα κατά 50% και τελικά το παραγόμενο μείγμα για το συγκεκριμένο πείραμα θα έχει μάζα 7.5 γραμμάρια.

6.4 Δημιουργία του κεραμικού μείγματος

Από τα παραπάνω υλικά που ήταν διαθέσιμα με τη βοήθεια μιας ζυγαριάς ακριβείας (0,001γρ.) παράχθηκαν τρία μείγματα ζirkονίας και αλουμίνιας.

Τα τρία μείγματα συνολικής μάζας 7.5 γραμμαρίων το καθένα, θα αποτελούνται από διαφορετικές συστάσεις, όπως αυτές υποδεικνύονται παρακάτω.

Μείγμα Α: 10% Αλουμίνια 90% Ζirkονία

- $7,5\text{γρ.} \cdot 90\% = 6,75\text{γρ.}$ Ζirkονία και $7,5\text{γρ.} \cdot 10\% = 0,75\text{γρ.}$ Αλουμίνια

Μείγμα Β: 20% Αλουμίνια 80% Ζirkονία

- $7,5\text{γρ.} \cdot 80\% = 6,00\text{γρ.}$ Ζirkονία και $7,5\text{γρ.} \cdot 20\% = 1,50\text{γρ.}$ Αλουμίνια

Μείγμα Γ: 30% Αλουμίνια 70% Ζirkονία

- $7,5\text{γρ.} \cdot 70\% = 5,25\text{γρ.}$ Ζirkονία και $7,5\text{γρ.} \cdot 30\% = 2,25\text{γρ.}$ Αλουμίνια

Μετά την μέτρηση του, κάθε υλικό τοποθετήθηκε σε ξεχωριστό δοχείο όπου και αποθηκεύθηκε μέχρι την στιγμή ανάμειξής τους σε χώρο χαμηλής υγρασίας.



Εικόνα 89 - Τα δοχεία αποθήκευσης των πρώτων υλών.

6.4.1 Διορθώσεις στην δημιουργία του κεραμικού μείγματος:

Τα υλικά που επιλέχθηκαν ήταν τα επιθυμητά, ωστόσο μετά την εκτέλεση του πειράματος, ανεξάρτητα με την δύναμη συμπίεσης δεν ήταν δυνατή η κατασκευή συμπαγούς δοκιμίου. Για το λόγο αυτό πραγματοποιήθηκε αναζήτηση σε αρκετά πειράματα κεραμικών υλικών και τελικά, σε συνεργασία με τα εργαστήρια πολυμερών υλικών της σχολής Χημικών Μηχανικών χρησιμοποιήθηκε PVA, ως συνδέτης των υλικών. Η πολυβινυλική αλκοόλη είναι ένας απαραίτητος συνδέτης για την κατασκευή συμπαγούς κεραμικού δοκιμίου και μπορεί να αφαιρεθεί μετά την συμπίεση με έψηση στους 600°C για μια ώρα ώστε να μην επηρεάσει τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης που θα ακολουθηθεί στη συνέχεια. Τα χαρακτηριστικά του υλικού αυτού ορίζονται στο παρακάτω έντυπο:

Πίνακας 10 - Πίνακας ιδιοτήτων PVA.



Specification

Polyvinyl Alcohol 72000 BioChemica

A2255

| | |
|------------------------------|---|
| Physical Description: | Solid |
| Product Code: | A2255 |
| Product Name: | Polyvinyl Alcohol 72000 BioChemica |
| Specifications: | Degree of hydrolysis: 85 - 89 % Loss on drying: max. 5 % |
| WGK: | 1 |
| Storage: | RT |
| M: | approx. 72000 g/mol |
| CAS: | 9002-89-5 |
| EINECS: | 215-774-7 |
| CS: | 39053000 |

Το συγκεκριμένο υλικό χρησιμοποιήθηκε σε ποσότητα 5% του βάρους του ολικού μείγματος, δηλαδή:

Ποσότητα $p_{VA}=7,5*0,05=0,375$ γρ.

Προστέθηκαν επίσης 5ml απιονισμένου νερού και 10 σφαιρίδια ανά δοχείο ανάδευσης, διαμέτρου 4χιλ., για την καλύτερη ανάδευση των υλικών.

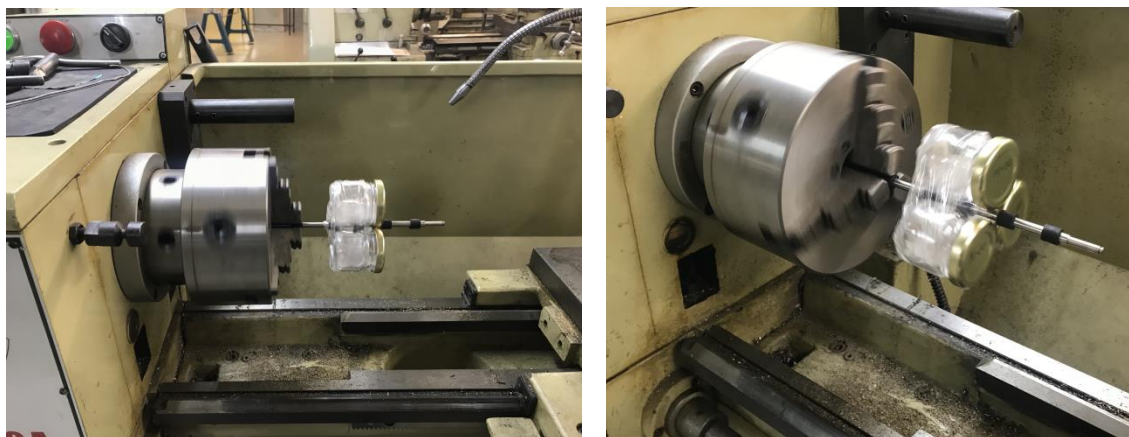
6.5 Ανάμειξη υλικών και προετοιμασία για συμπίεση

Η ανάμειξη των μειγμάτων έγινε μέσα σε αεροστεγή δοχεία με σταθερή ταχύτητα 70 στροφές/λεπτό για 48 ώρες σε εργαλειομηχανή τórνευσης. Τοποθετήθηκαν 10 σφαιρίδια 4 χιλιοστών σε κάθε δοχείο και για την ομοιόμορφη ανάμειξη των τριών διαφορετικών μειγμάτων κατασκευάστηκε μια διάταξη συγκράτησης αποτελούμενη από έναν άξονα στον οποίο δέθηκαν τα τρία αεροστεγή γυάλινα δοχεία.



Εικόνα 90 - Η συσκευή ανάμειξης.

Κάθε δοχείο έφερε σήμανση της σύστασης των υλικών που περιείχε και τοποθετήθηκε για ανάδευση στην εργαλειομηχανή τórνευσης.



Εικόνα 91 - Η ανάδευση των μειγμάτων στην εργαλειομηχανή.

Μετά το πέρας της ανάδευσης και καθώς στα υλικά είχε προστεθεί αποιονισμένο νερό, ήταν απαραίτητη η αφύγρανσή τους. Τα γυάλινα δοχεία που περιείχαν τα υλικά τοποθετήθηκαν σε μια εμαγιέ εστία, στους 60°C μέχρις ότου επανέλθουν και πάλι στην αρχική τους στερεή μορφή. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο ότι κατά τη θέρμανση, η πολυβινυλική αλκοόλη δημιουργεί μια κολλώδη επικάλυψη στην επιφάνεια του δοχείου και πρέπει να αφαιρεθεί.



Εικόνα 92 - Αφαίρεση του PVA κατά τη θέρμανση-αφύγρανση του μείγματος.

Η απαραίτητη και ωφέλιμη ποσότητα έχει προσκολληθεί στους κόκκους των υλικών κατά την ανάδευση. Σε περίπτωση που η επικάλυψη PVA δεν αφαιρεθεί πριν την εξάτμιση του νερού, προσκολλάται στην επιφάνεια του μείγματος και υπάρχει απώλεια υλικού κατά την αφαίρεσή της. Η διαδικασία αφύγρανσης διήρκησε περίπου 150 λεπτά, αλλά ο χρόνος εξαρτάται από την ποσότητα του νερού που έχει προστεθεί και τις συνθήκες περιβάλλοντος που λαμβάνει χώρα η εξάτμιση του.

Τα βασικά χαρακτηριστικά της εστίας θερμάνσεως είναι τα εξής:

- ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΗΣ:OEM
- ΚΩΔΙΚΟΣ:PS-111993



Εικόνα 93 - Εμαγιέ εστία θερμάνσεως.

6.5.1 Διορθώσεις στην ανάμειξη των υλικών:

Τα μείγματα που δημιουργήθηκαν τοποθετήθηκαν σε γυάλινα βάζα. Μετά το πέρας της ανάμειξης και καθώς όπως αναφέρθηκε είχαν τοποθετηθεί μεταλλικά σφαιρίδια για την καλύτερη ανάμειξη των υλικών, τα τοιχώματα των δοχείων έφεραν αλλοίωση από την κύλιση των σφαιριδίων σε αυτά. Συνεπώς, γίνεται αντιληπτό πως στο τελικό μείγμα υπάρχουν κόκκοι γυαλιού οι οποίοι ίσως αλλοιώσουν το τελικό αποτέλεσμα. Για το λόγο αυτό συνίσταται η χρήση πλαστικών δοχείων για την φάση της ανάμειξης και γυάλινων για την αφύγρανση του μείγματος.

Επίσης, καθώς χρησιμοποιήθηκε το PVA, το μείγμα μετά την αφύγρανσή του έπρεπε να κοσκινιστεί. Για την διαδικασία αυτή επιλέχθηκε ένα κόσκινο διαμέτρου 0,8 χιλιοστών.



Εικόνα 94 - Κοσκινιστήρι με διάμετρο οπών 0,8 χιλ.

Οφείλουμε να αναφέρουμε ότι καθώς η επιφανειακή ενέργεια ανά μονάδα όγκου, είναι αντιστρόφως ανάλογη της διαμέτρου των σωματιδίων, όσο πιο ‘ψιλό’ κοσκινιστήρι χρησιμοποιήσουμε τόσο πιο εύκολα θα πραγματοποιηθεί η πυροσυσσωμάτωση του υλικού. Για το λόγο αυτό θα ήταν πολύ χρήσιμο να χρησιμοποιηθούν εργαστηριακά κοσκινιστήρια διαφόρων μεγεθών της κλίμακας mesh. Ένα παράδειγμα είναι τα παρακάτω:



Εικόνα 95 - Κοσκινιστήρια διαμέτρου οπών 5χιλ, 0.6 χιλ και 2 χιλ.

6.6 Υπολογισμός της δύναμης συμπίεσης

Σύμφωνα με τα χαρακτηριστικά της NANOE [18] για την κατασκευή κεραμικών με πυροσυσσώματωση η δύναμη συμπίεσης για μείγματα κονιοποιημένης Ζιρκονίας και Αλουμίνιας πρέπει να κυμαίνεται μεταξύ 200-250MPa. Η δύναμη που θα χρησιμοποιηθεί επηρεάζει αναλόγως τα χαρακτηριστικά του προϊόντος.

Διαστάσεις καλουπιού:

-Εξωτερική διάμετρος στεφάνης $D=4$ εκατοστά.

-Εσωτερική διάμετρος στεφάνης $d=3$ εκατοστά.

-Εμβαδόν στεφάνης: $E_{\text{κυκλικού δακτυλίου}} = \pi \cdot R^2 - \pi \cdot r^2 = 3.14 \cdot 2^2 - 3.14 \cdot 1.5^2 = 5.495 \text{ εκ.}^2$

-Δύναμη συμπίεσης = 200MPa έως 250MPa.

(1Pa (Πασκάλ) ισούται με 1.0E-6 MPa ή 0.00010197162129779 τόνους/τετραγωνικό μέτρο.)

Για 200MPa η δύναμη υπολογίζεται ως 2,0394 (ΤΟΝΟΙ/εκ.²).

Για 250MPa η δύναμη υπολογίζεται ως 2,5492 (ΤΟΝΟΙ/εκ.²).

Δύναμη συμπίεσης για 200MPa = 2.039*5.5=11,2145 Τόνοι.

Δύναμη συμπίεσης για 250MPa = 2.549*5.5=14.0195 Τόνοι

Από τα παραπάνω δεδομένα, για τη συμπίεση της κεραμικής σκόνης θα χρησιμοποιήσουμε την τιμή των 11 Τόνων. Ο λόγος επιλογής της τιμής αυτής στηρίζεται επίσης και στην έρευνα των Ricardo Caruso, Nadia Mamana και Edgardo Benavidez, [19] όπου και αναφέρεται πως η μέγιστη σχετική πυκνότητα που μπορεί να επιτευχθεί είναι 66% της τελικής. Ωστόσο η διάμετρος των κόκκων επηρεάζει αρκετά το τελικό αποτέλεσμα.

6.7 Πλήρωση καλουπιού, συμπίεση και προετοιμασία για έψηση.

Για την πλήρωση του καλουπιού χρησιμοποιήθηκε ένα μικρό χωνί για την αποφυγή απώλειας υλικού. Μετά την τοποθέτηση του μείγματος στο καλούπι, ακολουθήθηκε παλινδρομική κίνησή του ώστε να πετύχουμε την καλύτερη ισοκατανομή του μείγματος σε αυτό. Το αποτέλεσμα οπτικά ήταν ικανοποιητικό αλλά όχι απόλυτα ορθό, πράγμα που αναλύεται και στα τελικά συμπεράσματα.

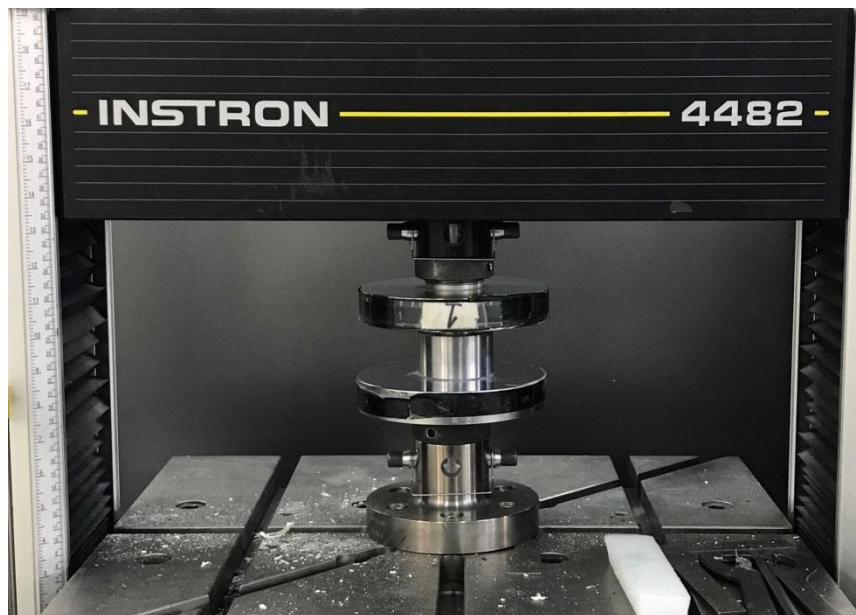


Εικόνα 96 - Το καλούπι μετά την πλήρωση με το κεραμικό μείγμα.

Στη συνέχεια το καλούπι τοποθετήθηκε στην πρέσα INSTRON 4482 και συμπίεστηκε με φορτίο:

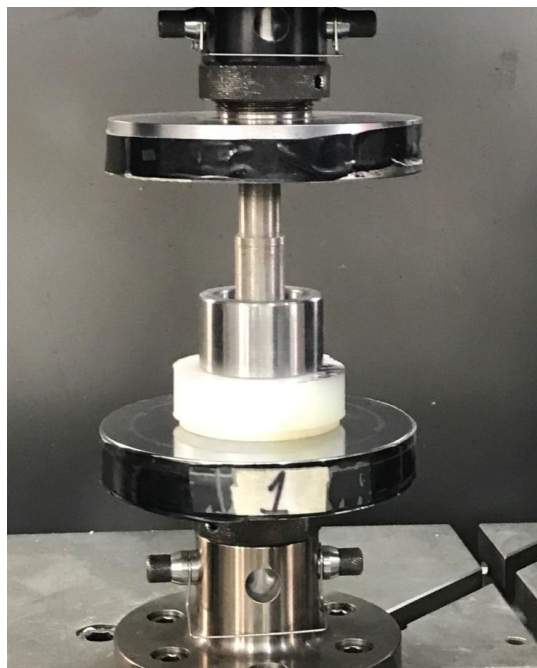
F=9.37 τόνους.

Η δύναμη των 9.37 τόνων, αποκλίνει από την ελάχιστη δύναμη συμπίεσης κατά $DF=11.2145-9.37=1.8445$ τόνους. Συνεπώς η πυκνότητα που επρόκειτο να επιτευχθεί θα είναι μικρότερη αυτής του 66% της τελικής.



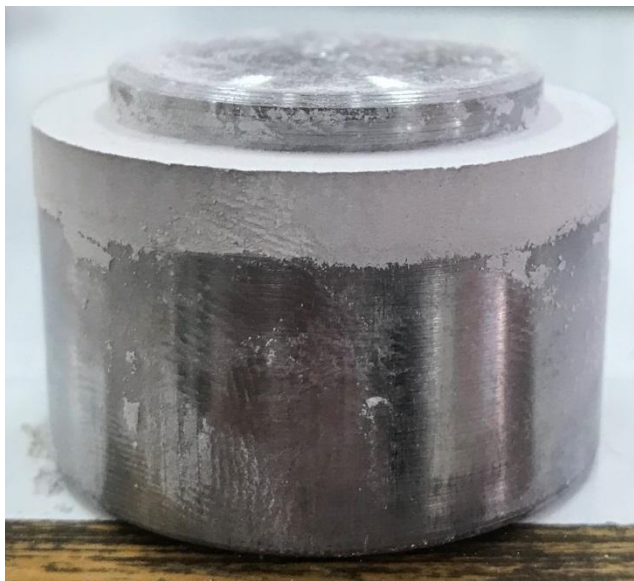
Εικόνα 97 - Συμπίεση του καλούπιού σε πρέσα INSTRON.

Μετά τη συμπίεση το καλούπι τοποθετήθηκε ανάποδα πάνω σε μία κυλινδρική πλαστική βάση και με ένα κυλινδρικό άξονα αλουμινίου, αποσυναρμολογήθηκε.



Εικόνα 98 - Διάταξη αποσυμπίεσης καλούπιού.

Το συμπιεσμένο μείγμα υλικών που παράχθηκε φαίνεται στις εικόνες που ακολουθούν:



Εικόνα 99 - Η συμπιεσμένη στεφάνη μετά την αφαίρεση του εμβόλου και του κυλίνδρου συγκράτησης.

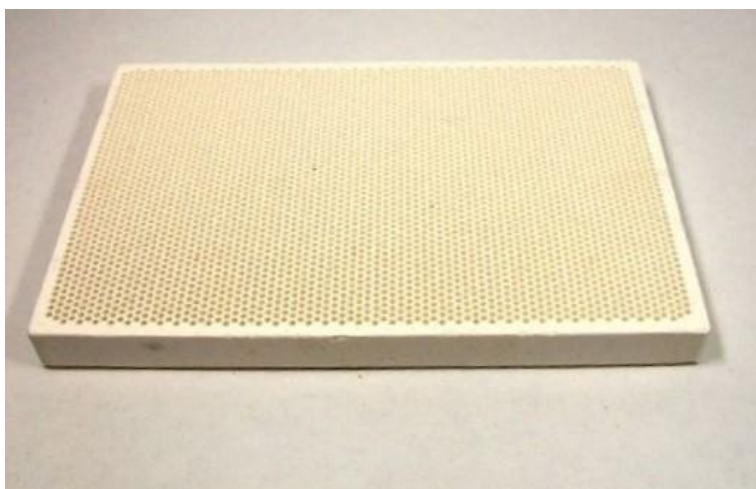


Εικόνα 100 - Οι τρεις στεφάνες διαφορετικών συστάσεων που παράχθηκαν μετά τη συμπίεση.

6.7.1 Διορθώσεις στην προετοιμασία για έψηση.

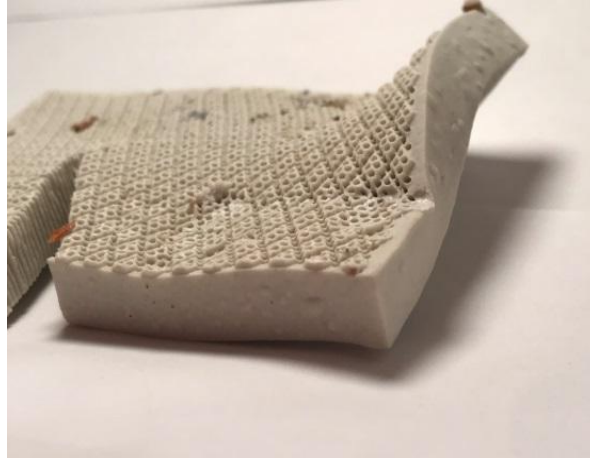
Το μοναδικό πρόβλημα που αντιμετωπίστηκε στο σημείο αυτό ήταν πως η επιφάνεια τοποθέτησης των κεραμικών υλικών θα πρέπει να είναι πυρίμαχη. Στην Εικόνα 100, παρατηρείτε η τοποθέτηση των κεραμικών στεφάνων πάνω σε μία χαλύβδινη πλάκα για το πρώτο στάδιο της έψησης με απώτερο σκοπό την αφαίρεση την πολυβινιλικής αλκοόλης που είχε προστεθεί. Μετά την θέρμανση ωστόσο, οι στεφάνες έπρεπε να μεταφερθούν σε μία πυρίμαχη πλάκα και καθώς στους 600°C δεν λαμβάνει χώρα η διαδικασία της πυροσυσσωμάτωσης, οι στεφάνες καταστράφηκαν κατά τη μετακίνησή τους από την μεταλλική πλάκα στην πυρίμαχη.

Το πείραμα επαναλήφθηκε ξανά και μετά την συμπίεση τους οι στεφάνες τοποθετήθηκαν σε διάτρητη πυρίμαχη πλάκα.

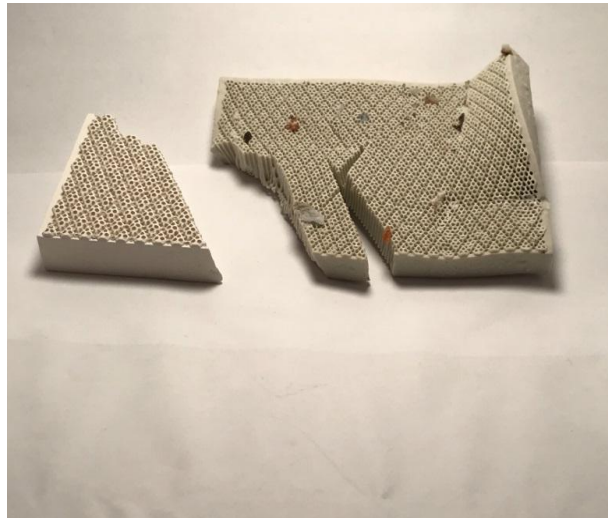


Εικόνα 101 - Πυρίμαχη πλάκα με οπές.

Η παραπάνω πυρίμαχη πλάκα και πάλι δεν αποτέλεσε τη λύση του προβλήματος καθώς ενδείκνυται για θέρμανση οριακά έως τους 1200°C. Συνεπώς ενώ το στάδιο της θέρμανσης για την αποβολή της αλκοόλης εκτελέστηκε με επιτυχία, υπήρξε παραμόρφωση της πλάκας κατά την έψηση η οποία παρατηρείται στην παρακάτω φωτογραφία:



Εικόνα 102 -- Η κατάσταση της παραμορφωμένης πυρίμαχης πλάκας.



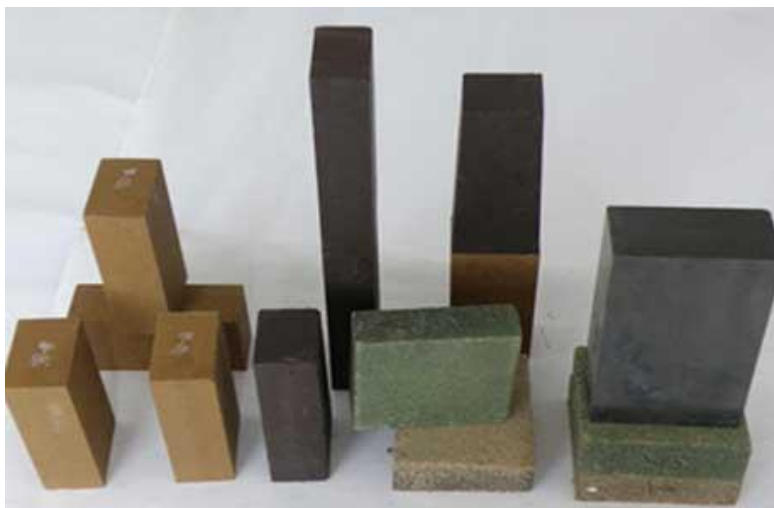
Εικόνα 103 - Η πυρίμαχη πλάκα, αριστερά ένα κομμάτι που αφαιρέθηκε πριν την έψηση.

Μετά από έρευνα που πραγματοποιήθηκε αγοράστηκε ένα πυρίμαχο τούβλο, περιεκτικότητας 65% σε αλουμίνα και εκτελέστηκε το πείραμα.



Εικόνα 104 - Το πυρότουβλο αλουμίνας, αριστερά πριν την έψηση και δεξιά μετά αυτή.

Σε περίπτωση που χρειασθεί κάποιο υλικό ακόμη μεγαλύτερης αντοχής στη θερμοκρασία, προτείνεται η χρήση πυρότουβλου μαγνησίας, το οποίο αντέχει σε θερμοκρασίες έως και 1750°C.



Εικόνα 105 - Οικονομικά πυρότουβλα μαγνησίας. Χαρακτηριστικό της μεγάλης περιεκτικότητας αποτελεί το σκούρο χρώμα.

6.8 Υπολογισμός της θερμοκρασίας έψησης

Λόγω του μοναδικού συνδυασμού μηχανικών, θερμικών, βιολογικών και ηλεκτροχημικών ιδιοτήτων τους, τα κεραμικά με βάση τη ζirkονία χρησιμοποιούνται σε αρκετές εφαρμογές όπως: υλικά οδοντοτεχνίας, θερμομονωτικές επιστρώσεις, κυψέλες καυσίμου, αισθητήρες οξυγόνου και κοπτικά εργαλεία. Η καθαρή ζirkονία παρατηρείται σε τρεις διαφορετικές φάσεις, κάθε μια από τις οποίες είναι εφικτή και σταθερή σε συγκεκριμένη θερμοκρασία:

- Μονοκλινική ($T < 1170 \text{ }^\circ\text{C}$),
- Τετραγωνική ($1170 < T < 2370 \text{ }^\circ\text{C}$)
- Κυβική ($T > 2370 \text{ }^\circ\text{C}$)

Η τετραγωνική φάση χρησιμοποιείται κυρίως σε δομικά εξαρτήματα αφού διαθέτει υψηλή μηχανική αντοχή και εξαιρετική αντοχή στη θραύση ($\sim 10 \text{ MPa/m}^2$). Από την άλλη πλευρά, η κυβική ZrO_2 έχει εξαιρετική ιοντική αγωγιμότητα και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται σε ηλεκτροχημικές συσκευές και εφαρμογές. Αξίζει να σημειωθεί πως τα κυβικά και τετραγωνικά πολύμορφα σταθεροποιούνται με ντόπινγκ δισθενών και τρισθενών οξειδίων όπως Y_2O_3 , Sc_2O_3 , Yb_2O_3 , CaO και MgO . [20]

Ειδικότερα, τα κεραμικά Ζirkονίας με σταθεροποιημένη Ύττρια (YSZ=Yttria Stabilized Zirconia) παρουσιάζουν υψηλές τιμές αντοχής στη θραύση, μηχανική αντίσταση και ιοντική αγωγιμότητα. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων, τα υλικά YSZ χρησιμοποιούνται σε διαφορετικές βιομηχανικές εφαρμογές, όπως εργαλεία κοπής, οδηγούς βαλβίδων, λειαντικά εργαλεία, κυψέλες καυσίμου στερεού οξειδίου (SOFC), αισθητήρες οξυγόνου κλπ. Τα ναοκρυσταλλικά κεραμικά παρουσιάζουν μεγάλη ελεύθερη επιφάνεια έχοντας έτσι υψηλή ωθούσα δύναμη για πυροσυσσωμάτωση. Σύμφωνα με αυτόν τον κανόνα, η ενέργεια ενεργοποίησης της πυροσυσσωμάτωσης μπορεί να μειωθεί και αναλόγως να μειωθεί και η θερμοκρασία έψησης. Ωστόσο, τα ναοκρυσταλλικά σωματίδια προάγουν την ανάπτυξη των κόκκων το οποίο είναι ένας ανεπιθύμητος μηχανισμός επειδή υποβαθμίζουν τις ιδιότητες των προϊόντων YSZ.

Συνήθως, η ανάπτυξη των κόκκων γίνεται στο τελευταίο στάδιο της πυροσυσσωμάτωσης. Επομένως, για τον έλεγχο της διαδικασίας πύκνωσης με αποφυγή της ανάπτυξης των κόκκων, είναι απαραίτητο να κατανοήσουμε τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης αυτού του οξειδίου. Οι Su και Johnson έχουν αναπτύξει την κύρια καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης (MSC) για την πρόβλεψη της συμπεριφοράς συμπύκνωσης του Ζirkονίου, ώστε να αποφευχθούν αναποτελεσματικά πειράματα. Τα δεδομένα της καμπύλης αυτής μάλιστα ισχύουν ανεξάρτητα από το προφίλ θέρμανσης. Η θεωρία MSC προέρχεται από το μοντέλο πυροσυσσωμάτωσης συνδυασμένου σταδίου που συσχετίζει τον γραμμικό ρυθμό συρρίκνωσης του συμπαγούς δοκιμίου (dL/dt), ανά πάσα στιγμή, με τους συντελεστές διάχυσης ορίου κόκκου (D_b) και όγκου (D_v), την

επιφάνεια ενέργειας (γ) και ορισμένες μικροδομικές παραμέτρους όπως ο ατομικός όγκος (Ω), το μέσο μέγεθος κόκκου (G) και οι παράμετροι κλιμάκωσης για τον όγκο (Γ_v) και τη διάχυση ορίων κόκκων (Γ_b):

$$-\frac{dL}{L dT} = \frac{\gamma\Omega}{kT} \left(\frac{\Gamma_v D v}{G^3} + \frac{\Gamma_b \delta D b}{G^4} \right) \quad (1)$$

Για ισοτροπική συρρίκνωση:

$$-\frac{dL}{L dT} = \frac{d\rho}{3\rho dt} \quad (2)$$

όπου ρ είναι η χύδην πυκνότητα.

Υποθέτοντας ότι μόνο ένας μηχανισμός διάχυσης είναι κυρίαρχος κατά τη διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης, είτε η διάχυση όγκου είτε η διάχυση στα όρια των κόκκων, η εξ. (1) μπορεί να γραφτεί ως εξής:

$$\frac{d\rho}{3\rho dt} = \frac{\gamma\Omega\Gamma(\rho)D_0}{kT[G(\rho)]^n} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) \quad (3)$$

όπου D_0 είναι ο συντελεστής διάχυσης του κυρίαρχου μηχανισμού διάχυσης, Q είναι η φαινομενική ενέργεια ενεργοποίησης, R είναι η σταθερά του αερίου και το n είναι μια σταθερά που εξαρτάται από τον μηχανισμό διάχυσης.

Με βάση προηγούμενες μελέτες, στην Εξ. (3) υποτέθηκε ότι οι μικροδομικές συναρτήσεις (G και Γ) εξαρτώνται μόνο από την πυκνότητα. Ολοκληρώνοντας της Εξ. (3) έχουμε:

$$\int_{\rho_0}^{\rho} \frac{[G(\rho)]^n d\rho}{3\rho\Gamma(\rho)} = \int_0^t \frac{\gamma\Omega D_0}{kT} \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right) dt \quad (4)$$

Το δεξί μέλος αυτής της εξίσωσης, εξαρτάται από το Q και το ρυθμό θέρμανσης (προφίλ χρόνου-θερμοκρασίας):

$$\Theta(t, T(t)) = \int_0^t \frac{1}{T} \exp \exp \left(-\frac{Q}{RT} \right) dt \quad (5)$$

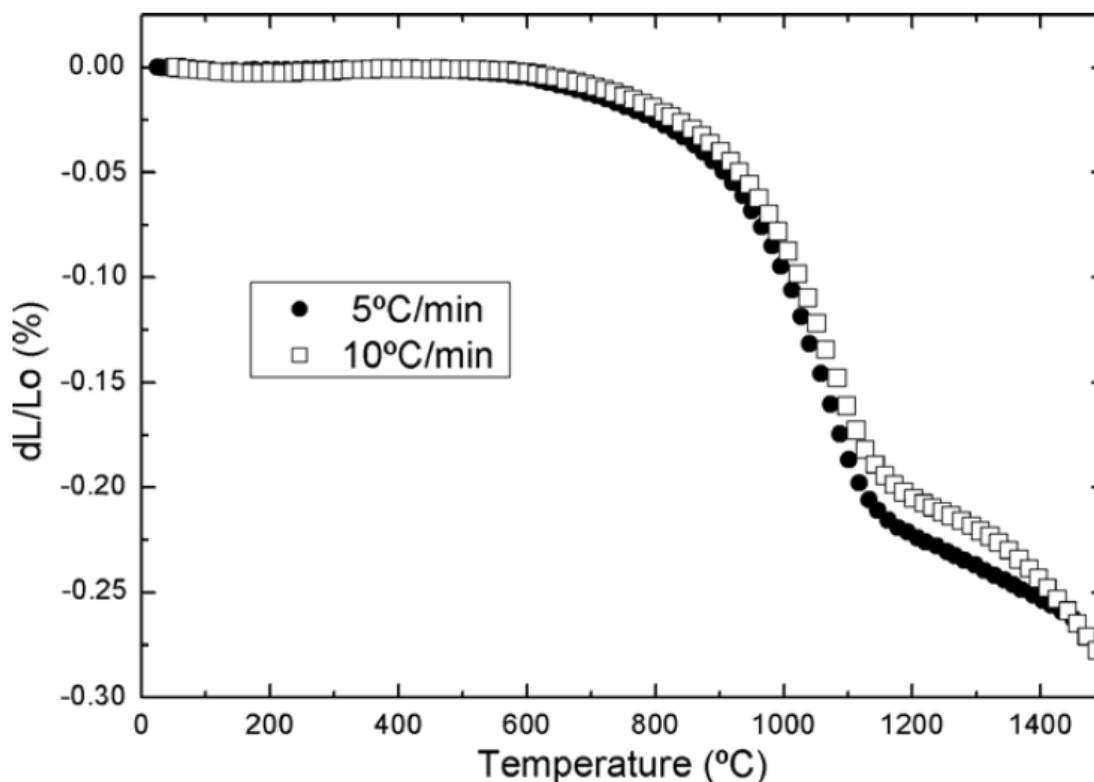
με το αριστερό μέλος της Εξ. (4) να εξαρτάται από τη μικροδομή και τις ιδιότητες των υλικών.

$$\Phi(\rho) = \frac{k}{\gamma\Omega D_0} \int_{\rho_0}^{\rho} \frac{[G(\rho)]^n d\rho}{3\rho\Gamma(\rho)} \quad (6)$$

Η σχέση μεταξύ της πυκνότητας και της συνάρτησης $\ll \Theta \gg$ ορίζεται ως η κύρια καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης (MSC). Σημειώνεται ότι υπάρχει μια μοναδικό MSC για κάθε συγκεκριμένη σκόνη και διαδικασία πυροσυσσωμάτωσης και μάλιστα είναι δυνατό να κατασκευαστεί μια MSC για μια δεδομένη σκόνη χρησιμοποιώντας την τελική (ή θεωρητική) πυκνότητα και τη συρρίκνωση που προκύπτει από τη διαλατομετρία. Σε προηγούμενες εργασίες, η MSC έχει εφαρμοστεί σε μελέτες πυροσυσσωμάτωσης διαφορετικών κεραμικών οξειδίων, όπως: ThO_2 , ZnO , Al_2O_3 , BaTiO_3 και TiO_2 .

Σύμφωνα με την εργασία από όπου και θα λάβουμε τα στοιχεία της MSC, η γραμμική συρρίκνωση των $\text{ZrO}_2 - 3 \text{ mol}\% \text{ Y}_2\text{O}_3$ παρακολούθηθηκε από ένα διαλατόμετρο. Αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή της κύριας καμπύλης πυροσυσσωμάτωσης σε διαφορετικούς ρυθμούς θέρμανσης έως τους 1100°C που αντιστοιχούν σε έναν μοναδικό μηχανισμό πυροσυσσωμάτωσης που ισχύει για σκόνες YSZ με περίπου 0,7 σχετική πυκνότητα.

Ειδικότερα, σύμφωνα με την έρευνα των Ricardo Caruso, Nadia Mamana και Edgardo Benavidez [19], με σκοπό να γνωρίσουμε τη ροή των υλικών κατά τη πυροσυσσωμάτωση των κεραμικών με βάση τη ZrO_2 , μελετήθηκε και δημιουργήθηκε η κύρια καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης (Master sintering curve) για ZrO_2 που περιέχει 3 mol% Y_2O_3 . Στο πείραμα που πραγματοποιήθηκε, οι σκόνες ζirkονίας (3 mol% Y_2O_3) που παρασκευάστηκαν, συμπίεστηκαν μονοαξονικά στα 200 MPa. Η πυκνότητα του δοκιμίου που λήφθηκε μετά από την συμπίεση, ήταν 36% της θεωρητικής πυκνότητας. Οι καμπύλες συρρίκνωσης-θερμοκρασίας σχηματίστηκαν σύμφωνα με τις μετρήσεις του διαλατόμετρου για τους διαφορετικούς σταθερούς ρυθμούς θέρμανσης: $5^\circ\text{C}/\text{λεπτό}$ και $10^\circ\text{C}/\text{λεπτό}$ έως ότου η θερμοκρασία έφτασε τους 1500°C . Επίσης, οι ίδιες μετρήσεις χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα για να κατασκευαστεί η κύρια καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης (MSC) με ενέργεια πυροσυσσωμάτωσης $Q= 500 \text{ kJ/mol}$ μεταξύ των 600°C και 1100°C . Τα αποτελέσματα αυτής της μελέτης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την πρόβλεψη του επιπέδου συρρίκνωσης/πύκνωσης των κονιαμάτων ZrO_2 , και με αυτόν τον τρόπο να καθοδηγηθεί μια θερμική επεξεργασία ώστε να κατασκευαστεί ένα κεραμικό με προκαθορισμένη πυκνότητα.

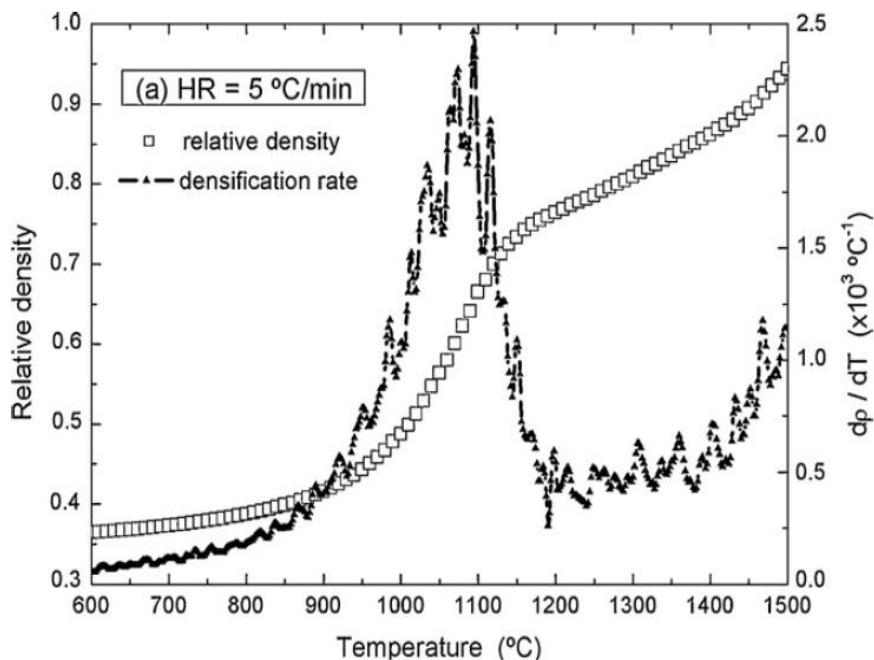


Εικόνα 106 - Διαλατομετρικό διάγραμμα (μεταβολή διαστάσεων του δοκιμίου) της YSZ για ρυθμούς θέρμανσης 5°C/λεπτό & 10°C/λεπτό.

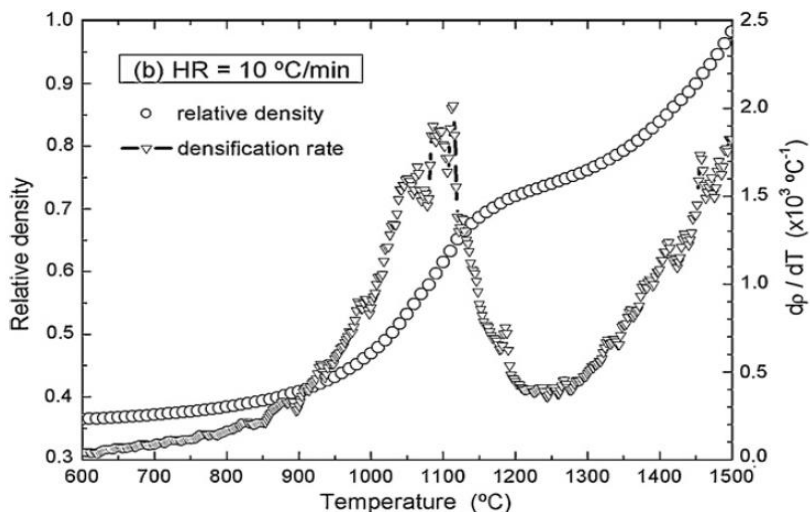
Όπως γίνεται αντιληπτό από το παραπάνω διάγραμμα Συρρίκνωσης-Θερμοκρασίας που δημιουργήθηκε με τα δεδομένα του διαλατόμετρου, η πύκνωση του υλικού ξεκινάει περίπου από τους 550°C και μετά, οποιονδήποτε ρυθμό θέρμανσης και αν ακολουθήσουμε. Το μέγιστο ποσοστό συρρίκνωσης ανέρχεται στο 28% του αρχικού μεγέθους L_0 και πραγματοποιείται στους 1500°C. Στη θερμοκρασία των 1500°C, παρατηρείται και η μέγιστη πυκνότητα του υλικού, 0.95 για ρυθμό θέρμανσης 5°C/λεπτό και 0.98 για θέρμανση 10°C/λεπτό αντίστοιχα.

Στο σημείο αυτό πρέπει να συμφωνήσουμε στο ότι όσο μεγαλύτερη είναι η πυκνότητα του κεραμικού μετά τη συμπίεση, τόσο μικρότερο ρυθμό συρρίκνωσης θα έχουμε κατά την πυροσυσσωμάτωση, γεγονός που θα επιφέρει καλύτερο τελικό αποτέλεσμα. Παρατηρώντας και πάλι το διάγραμμα Συρρίκνωσης-Θερμοκρασίας, το μεγαλύτερο ποσοστό συρρίκνωσης, από 0% έως 22% πραγματοποιείται από τους 600°C έως τους 1100°C. Ειδικότερα, στο πείραμα με ρυθμό θέρμανσης 5°C/λεπτό παρατηρείται ταχύτερη συρρίκνωση λόγω της μεγαλύτερης χρονικά έκθεσης του δοκιμίου στη θερμοκρασία (5ώρες για ρυθμό 5 και 2.5ώρες για ρυθμό 10°C/λεπτό αντίστοιχα).

Ωστόσο από τους 1100°C έως τους 1350°C η πυκνωση είναι σχεδόν ίδια, ενώ από το σημείο αυτό και έως τους 1500°C παρατηρείται ταχύτερη για ρυθμό 10°C/λεπτό.



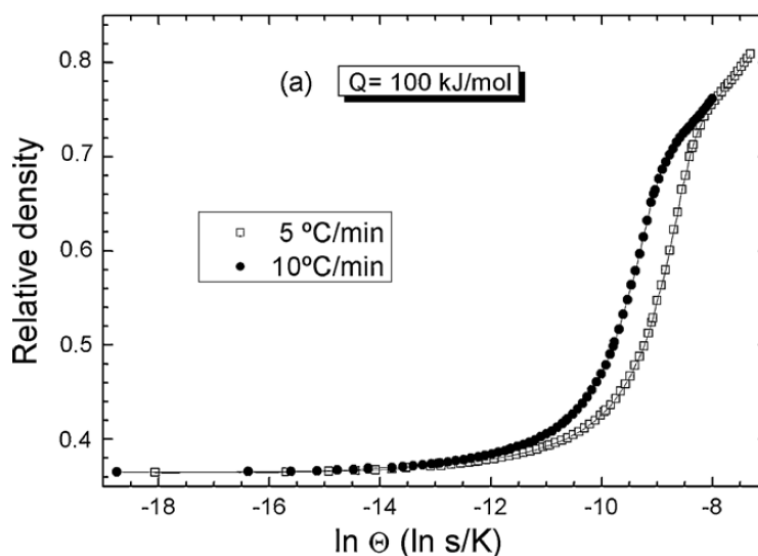
Εικόνα 107 - Διάγραμμα επίδρασης του ρυθμού θέρμανσης(5°C/λεπτό) στην σχετική πυκνότητα και στο ρυθμό συρρίκνωσης του δοκιμίου, κατά τη θέρμανση.



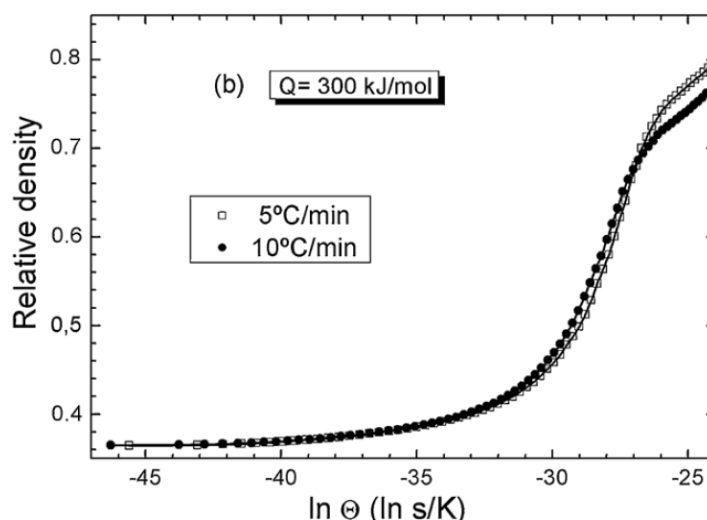
Εικόνα 108 - Διάγραμμα επίδρασης του ρυθμού θέρμανσης (10°C/λεπτό) στην σχετική πυκνότητα και στο ρυθμό συρρίκνωσης του δοκιμίου, κατά τη θέρμανση.

Μια λεπτομερέστερη παρατήρηση των παραπάνω συμπερασμάτων γίνεται εφικτή από το διάγραμμα Πυκνότητας-Θερμοκρασίας, όπου η συρρίκνωση είναι ταχύτερη στην αύξηση της θερμοκρασίας από τους 1096°C στους 1114°C για το ρυθμό 10°C/λεπτό. Και με τους δύο ρυθμούς θέρμανσης βέβαια η πυκνότητα κατά το παραπάνω στιγμιότυπο είναι σχεδόν ίδια, στο 66% της θεωρητικής.

Χρησιμοποιώντας τα πειραματικά δεδομένα και τη συνάρτηση Θ , επιλέχθηκαν τιμές ενέργειας ενεργοποίησης μεταξύ 100 και 600 kJ/mol για την κατασκευή των καμπυλών ($\rho - \ln\Theta$).

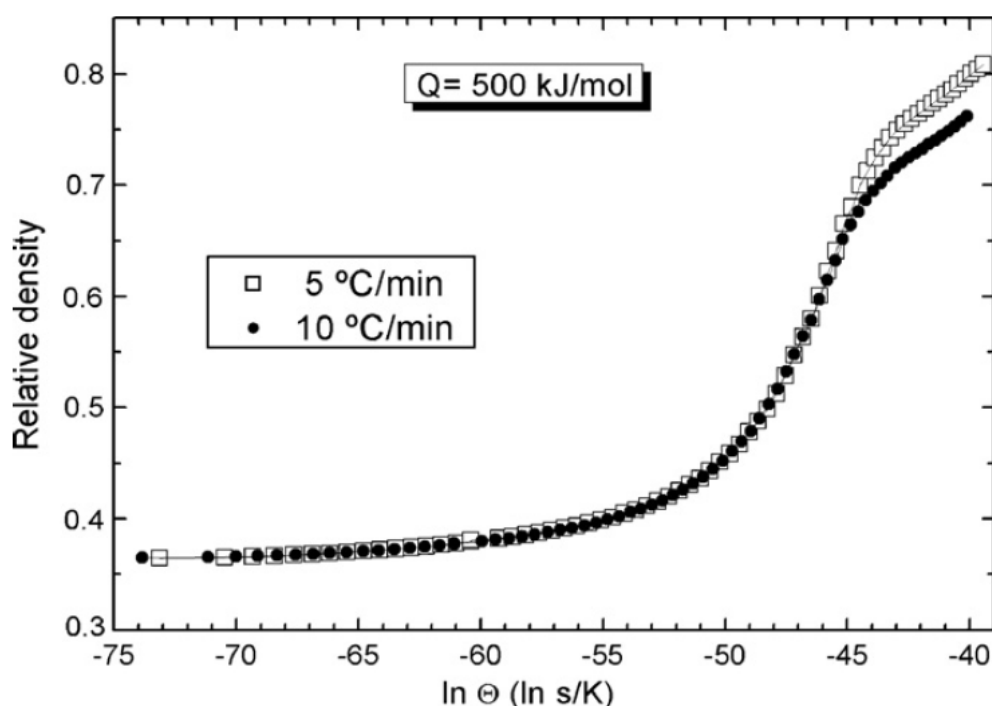


Εικόνα 109 - Διάγραμμα Σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για Q=100kJ/mol.



Εικόνα 110 - Διάγραμμα Σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για Q=300kJ/mol.

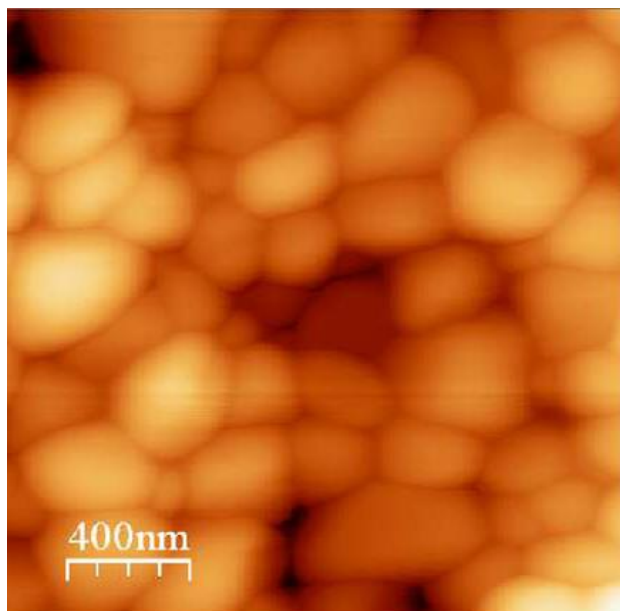
Όταν δοθεί η σωστή τιμή της Q τότε οι δύο καμπύλες θα συγκλίνουν σε μία μόνο καμπύλη και συνεπώς θα έχουμε πετύχει τη σωστή ενέργεια ενεργοποίησης. Εάν οι καμπύλες δεν συγκλίνουν, επιλέγεται μια νέα τιμή του Q και η διαδικασία επαναλαμβάνεται. Στις εικόνες 109 & 110 παρατηρούνται οι καμπύλες MSC που προκύπτουν για 100 και 300 kJ/mol, αντίστοιχα. Η καλύτερη σύγκλιση εμφανίζεται για ενέργεια περίπου $Q=500$ kJ/mol (με εύρος: $r = 0,36-0,70$). Από τη γνώση της ενέργειας ενεργοποίησης της πυροσυσσωμάτωσης για το YSZ μεταξύ 600 και 1100 °C, κατασκευάστηκε η Κύρια Καμπύλη Πυροσυσσωμάτωσης (MasterSinteringCurve) η οποία φαίνεται στο διάγραμμα του ακολουθεί:



Εικόνα 111 -- Διάγραμμα σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για $Q=500$ kJ/mol. Οι καμπύλες ταυτίζονται και συνεπώς αυτή είναι η Κύρια Καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης.

Από αυτά τα δεδομένα προτείνεται ότι η κινητική των μορίων της πυροσυσσωμάτωσης διεξάγεται από έναν μηχανισμό συμπύκνωσης μέχρι όπου η σχετική πυκνότητα γίνει περίπου 0,70. Σε υψηλότερο επίπεδο πυκνότητας πιθανότατα αναπτύσσεται η τραχύτητα της μικροδομής. Αυτή η τιμή της ενέργειας Q , συμφωνεί με τους Mazaheri et al. [21] ο οποίος υπολόγισε μια ενέργεια ενεργοποίησης πυροσυσσωμάτωσης 485 kJ/mol για κόνιαμα $ZrO_2-3 \text{ mol\% } Y_2O_3$.

Επιπλέον, ο Aglietti και οι συνεργάτες του [22] ανέφεραν πως η ενέργεια ενεργοποίησης της πυροσυσσωμάτωσης είναι 170 kJ/mol σε σκόνες ζirkονίας με 8 mol% Y₂O₃, χρησιμοποιώντας ένα μοντέλο πυροσυσσωμάτωσης που βασίζεται σε μηχανισμό διάχυσης όγκου, αλλά εφαρμόζεται στο αρχικό στάδιο της πυροσυσσωμάτωσης. Το επόμενο σχήμα δείχνει τη μικροδομή του συμπαγούς YSZ μετά από πυροσυσσωμάτωση με ρυθμό 10°C/min έως τους 1500°C.



Εικόνα 112 - Η μικροδομή του συμπαγούς YSZ μετά από πυροσυσσωμάτωση στους 1500°C.

Η παραπάνω μικροδομή παρουσιάζει ομοιόμορφη κατανομή των σωματιδίων YSZ και πυκνή δομή. Το μέσο μέγεθος κόκκου είναι περίπου 300 nm, υποδηλώνοντας ότι έχει χαμηλό επίπεδο ανάπτυξης κόκκων ακόμη και στους 1500 °C. Αυτή η συμπεριφορά έχει επίσης αναφερθεί από τους Li και Gao [23] οι οποίοι υποστήριξαν ότι το ιόν Y (ύττρια) εμποδίζει τον μηχανισμό ανάπτυξης των κόκκων στα όρια των κόκκων.

Σύμφωνα με αυτή την αργή ανάπτυξη των κόκκων, είναι πιθανό ότι η διάχυση όγκου θα μπορούσε να είναι ο κύριος μηχανισμός πυροσυσσωμάτωσης που ενεργεί στην περιοχή 600 έως 1100 °C.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, η έψηση θα πραγματοποιηθεί στους 1500°C για μία ώρα και ο ρυθμός θέρμανσης θα είναι 5°C/Λεπτό. Πριν από την πυροσυσσωμάτωση θα πραγματοποιηθεί θέρμανση στους 600°C για μία ώρα για την αφαίρεση της υγρασίας και του PVA.

7.0 Πειραματικές συνθήκες / μετρήσεις & αποτελέσματα

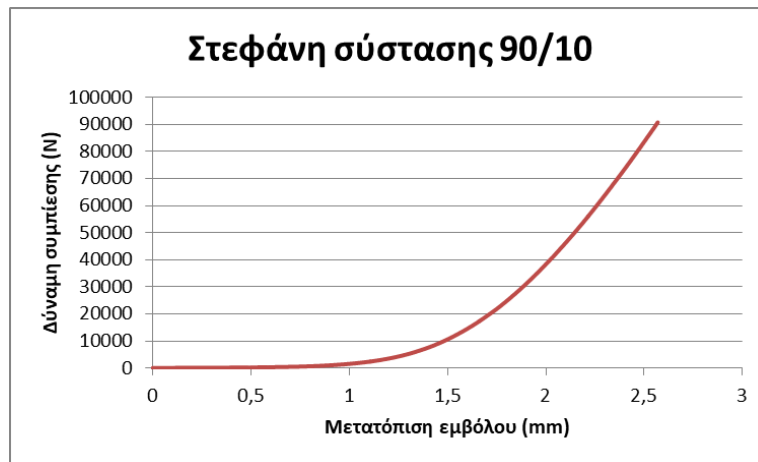
7.1 Συνθήκες συμπίεσης

Οι συνθήκες συμπίεσης υπό τις οποίες εκτελέστηκε το πείραμα είναι οι εξής:

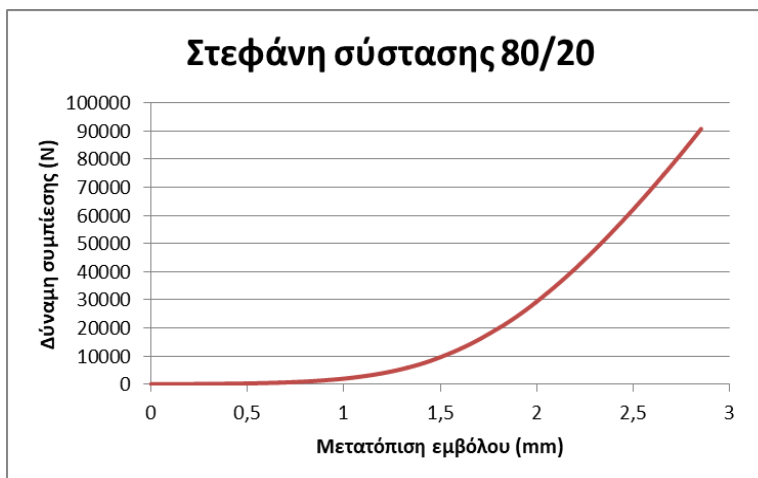
- Θερμοκρασία περιβάλλοντος 18°C.
- Υγρασία περιβάλλοντος 50%.
- Ταχύτητα συμπίεσης 1χιλ./λεπτό

Υπό αυτές τις συνθήκες προέκυψαν τα εξής τρία διαγράμματα:

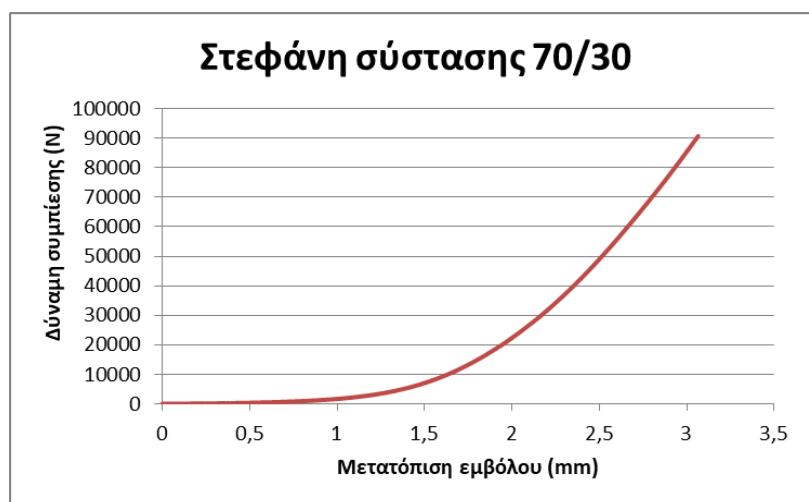
1. Συμπίεση μείγματος περιεκτικότητας 90/10.



2. Συμπίεση μείγματος περιεκτικότητας 80/20.



3. Συμπίεση μείγματος περιεκτικότητας 70/30.



Από τα παραπάνω διαγράμματα διαπιστώνεται ότι η υπόθεση για την συμπίεση του υλικού στην παράγραφο 6.3 είναι ορθή και πως η αύξηση της αλουμίνας στο μείγμα επιφέρει μεγαλύτερη διαδρομή του εμβόλου, συνεπώς μεγαλύτερη σχετική πυκνότητα του δοκιμίου.

7.2 Μέτρηση διαστάσεων στεφάνης πριν και μετά την έψηση , μεταβολή όγκου DV & μεταβολή πυκνότητας Dρ.

Στη βιομηχανία της ωρολογοποιίας υπάρχει ένας ισχυρισμός πως οι κεραμικές στεφάνες συρρικνώνονται κατά 25% κατά την έψηση, πράγμα που η έρευνά μας απορρίπτει.

Στεφάνη συστάσεως 90/10

Εσωτερική διάμετρος πριν 29,91χιλ.

METABOLH EΣΩT. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εσωτερική διάμετρος μετά 29,57χιλ

Dδ= - 0,34χιλ.

Εξωτερική διάμετρος πριν 40,19χιλ.

METABOLH EΞΩT. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εξωτερική διάμετρος μετά 39,91χιλ.

Dδ= - 0,28χιλ.

Ύψος πριν : 3,1χιλ.

METABOLH ΥΨΟΥΣ:

Ύψος μετά : 2,94χιλ.

Dυ= - 0,17χιλ.

Ποσοστιαία μεταβολή όγκου:

Όγκος πριν την έψηση: $V\pi = \pi \cdot (D_{\epsilon\zeta\omega\tau} - d_{\epsilon\sigma\omega\tau})^2 \cdot \Upsilon\psi\omicron\varsigma_{\pi\rho\iota\nu} \Rightarrow V\pi = 1032,52 \text{ χιλ}^3$

Όγκος μετά την έψηση: $V\mu = \pi \cdot (D_{\epsilon\zeta\omega\tau} - d_{\epsilon\sigma\omega\tau})^2 \cdot \Upsilon\psi\omicron\varsigma_{\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} \Rightarrow V\mu = 987,50 \text{ χιλ}^3$

$DV\% = [(V\pi / V\mu) - 1] \cdot 100 = - 4,36\%$

Πυκνότητα:

Σχετική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{7,5}{V\pi} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 7,26 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V} \Rightarrow \rho = \frac{6,5}{V\mu} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 6,58 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα = 0,91*Σχετική πυκνότητα

Στεφάνη συστάσεως 80/20

Εσωτερική διάμετρος πριν 29,91χιλ.

METABΟΛΗ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εσωτερική διάμετρος μετά 29,61χιλ

Dδ= - 0,30χιλ.

Εξωτερική διάμετρος πριν 40,19χιλ.

METABΟΛΗ ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εξωτερική διάμετρος μετά 39,95χιλ.

Dδ= - 0,24χιλ.

Υψος πριν : 2,91χιλ.

METABΟΛΗ ΥΨΟΥΣ:

Υψος μετά : 2,81χιλ.

Dυ= - 0,11χιλ.

Ποσοστιαία μεταβολή όγκου:

Όγκος πριν την έψηση: $V_{\pi} = \pi \cdot (D_{\text{εξωτ.}} - d_{\text{εσωτ.}})^2 \cdot \text{Υψος}_{\text{πριν}} \Rightarrow V_{\pi} = 969,1 \text{ χιλ}^3$

Όγκος μετά την έψηση: $V_{\mu} = \pi \cdot (D_{\text{εξωτ.}} - d_{\text{εσωτ.}})^2 \cdot \text{Υψος}_{\text{μετά}} \Rightarrow V_{\mu} = 943,84 \text{ χιλ}^3$

$DV\% = [(V_{\pi} / V_{\mu}) - 1] \cdot 100 = - 2,61\%$

Πυκνότητα:

Σχετική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V_{\pi}} \Rightarrow \rho = \frac{7,5}{V_{\pi}} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 7,74 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V_{\mu}} \Rightarrow \rho = \frac{6,5}{V_{\mu}} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 6,89 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα = 0,89*Σχετική πυκνότητα

Στεφάνη συστάσεως 70/30

Εσωτερική διάμετρος πριν 29,91χιλ.

METABΟΛΗ ΕΣΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εσωτερική διάμετρος μετά 29,65χιλ

Dδ= - 0,26χιλ.

Εξωτερική διάμετρος πριν 40,19χιλ.

METABΟΛΗ ΕΞΩΤ. ΔΙΑΜΕΤΡΟΥ

Εξωτερική διάμετρος μετά 39,98χιλ.

Dδ= - 0,21χιλ.

Υψος πριν : 2,85χιλ.

METABΟΛΗ ΥΨΟΥΣ:

Υψος μετά : 2,78χιλ.

Dυ= - 0,07χιλ.

Ποσοστιαία μεταβολή όγκου:

Όγκος πριν την έψηση: $V_{\pi} = \pi \cdot (D_{\xi\omega\tau} - d_{\epsilon\sigma\omega\tau})^2 \cdot Y_{\psi\omicron\varsigma\pi\rho\iota\nu} \Rightarrow V_{\pi} = 946,39 \text{ χιλ}^3$

Όγκος μετά την έψηση: $V_{\mu} = \pi \cdot (D_{\xi\omega\tau} - d_{\epsilon\sigma\omega\tau})^2 \cdot Y_{\psi\omicron\varsigma\mu\epsilon\tau\acute{\alpha}} \Rightarrow V_{\mu} = 931,96 \text{ χιλ}^3$

$DV\% = [(V_{\pi} / V_{\mu}) - 1] \cdot 100 = - 1,53\%$

Πυκνότητα:

Σχετική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V_{\pi}} \Rightarrow \rho = \frac{7,5}{V_{\pi}} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 7,92 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα: $\rho = \frac{m}{V_{\mu}} \Rightarrow \rho = \frac{6,5}{V_{\mu}} \cdot 10^{-3} \Rightarrow \rho = 6,97 \text{ γρ./εκ}^3$

Θεωρητική πυκνότητα = 0,88*Σχετική πυκνότητα

7.3 Επιφανειακή λείανση κεραμικής στεφάνης & φωτογράφιση δοκιμίων

Για την επεξεργασία της επιφάνειας της κεραμικής στεφάνης χρησιμοποιήθηκε η τεχνική lapping. Σύμφωνα με την παραπάνω διαδικασία σε ένα περιστρεφόμενο δίσκο τοποθετείτε κατάλληλη λειαντική σκόνη ή πάστα, διαλυμένη είτε με νερό, είτε με λάδι και στη συνέχεια ολισθαίνουμε την επιφάνεια που θέλουμε να επεξεργαστούμε πάνω στον δίσκο αυτό.

Για το συγκεκριμένο πείραμα χρησιμοποιήθηκαν 12 λειαντικές πάστες διαμαντόσκονης, 40 έως 0,5 μικρόν της εταιρίας THK. Σύμφωνα με τις οδηγίες της εταιρίας, οι πάστες αραιώθηκαν με λάδι (SAE 10) πριν τη χρήση τους.



Εικόνα 113 - Οι πάστες διαμαντιού που χρησιμοποιήθηκαν για το γυάλισμα της κεραμικής στεφάνης, 40.0, 28.0, 20.0, 14.0, 10.0 & 7.0 micron.



Εικόνα 114 - Οι πάστες διαμαντιού που χρησιμοποιήθηκαν για το γυάλισμα της κεραμικής στεφάνης, 5.0, 3.5, 2.5, 1.5, 1.0 & 0.5, micron.

ΤΟ ΜΗΧΑΝΗΜΑ ΛΕΙΑΝΣΗΣ

Οι παραπάνω λειαντικές πάστες τοποθετήθηκαν στη μεταλλική περιστρεφόμενη πλάκα του μηχανήματος και χρησιμοποιήθηκε ταχύτητα 500 στροφών το λεπτό.



Εικόνα 115 - Μηχανή λείανσης Struers LaboPol-5.

Η διαδικασία της λείανσης ως φυσικό επακόλουθο, επέφερε την αφαίρεση υλικού, και για την ελεγχόμενη εκτέλεση του πειράματος πραγματοποιούνταν μετρήσεις του πάχους των στεφανών, με τελικό αποτέλεσμα την αφαίρεση υλικού ύψους 0,94χιλ..

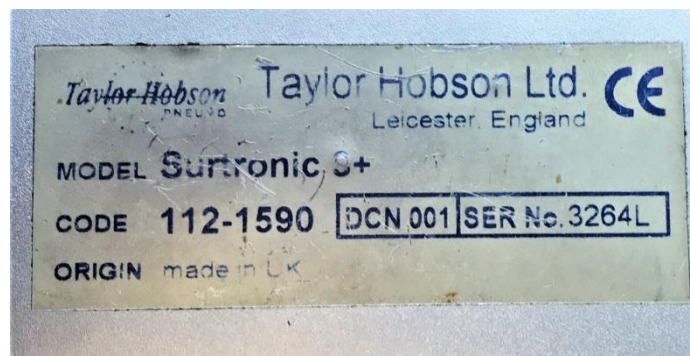
7.4 Έλεγχος τραχύτητας & σκληρότητας κατά Brinell-Vickers

Για τη μέτρηση της τραχύτητας χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο μετρητικό όργανο:



Εικόνα 116 - Μετρητικό όργανο τραχύτητας σε μm.

Κατά τη χρήση του μετρητικού αυτού οργάνου, το δοκίμιο προς μέτρηση τοποθετείται και σταθεροποιείται σε μια επίπεδη επιφάνεια (κατά προτίμηση μεταλλική). Στη συνέχεια, αφού βεβαιωθούμε πως ο βραχίονας του αισθητήρα (μεταλλικό άκρο στα αριστερά της εικόνας 116), βρίσκεται παράλληλα με το δοκίμιο, ξεκινάμε τη μέτρηση και ο αισθητήρας ολισθαίνει πάνω στο δοκίμιο.



Εικόνα 117 - Λεπτομέρεια χαρακτηριστικών μετρητικού οργάνου τραχύτητας.

Ακολουθεί ο πίνακας των μετρήσεων τραχύτητας:

Πίνακας 9 - Πίνακας μετρήσεων τραχύτητας.

| ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (μm) | | | | | |
|----------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------|
| Σύσταση δείγματος | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O. |
| 70/30 | 3,4 | 4,4 | 4 | 4,4 | 4,05 |
| 80/20 | 3,4 | 4 | 2,8 | 3,2 | 3,35 |
| 90/10 | 2,6 | 3 | 3,4 | 3,6 | 3,15 |

Από τα παραπάνω δεδομένα συμπεραίνουμε ότι οι στεφάνη με σύσταση 90/10 (90% Ζirkονία και 10% Αλουμίνα κατά βάρος) φέρει την καλύτερη επιφάνεια, ενώ όσο η αλουμίνα αυξάνετε η τραχύτητα αυξάνει.

Το γεγονός αυτό οφείλεται στα εξής:

- Όσο αυξάνουμε την ποσότητα αλουμίνας, αυξάνεται η θεωρητική πυκνότητα του δοκιμίου. Μάλιστα η αύξηση της θεωρητικής πυκνότητας πάνω από 0,70 αυξάνει την τραχύτητα της μικροδομής. Συνεπώς η επίτευξη μεγάλης πυκνότητας δεν συνδέεται με την κατασκευή ενός άριστου κεραμικού. Στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτός ο λόγος που οι εταιρίες κατασκευής κεραμικών πρώτων υλών προτείνουν ένα εύρος συμπίεσης 200-250 MPa.
- Επίσης, η διαφορά στην διάμετρο των κόκκων επηρέασε αρκετά το τελικό αποτέλεσμα καθώς η πρόσμιξη των υλικών και συγκεκριμένα η αύξηση της Αλουμίνας, έδρασε αρνητικά την επιφάνεια του τελικού δοκιμίου καθώς οι διαφορετική διάμετρος, διαφορετικών υλικών δεν βοηθάει στην ένωση των υλικών κατά την έψηση. Αξίζει να υπενθυμίσουμε πως όσο μικρότεροι είναι οι κόκκοι, τόσο αποδοτικότερη γίνεται η λειτουργία του μηχανισμού της πυροσυσσωμάτωσης και πως η τελική ποσότητα του κάθε υλικού θα πρέπει να επεξεργαστεί. Η επεξεργασία αυτή αφορά την επιλογή του 33% της συνολικής ποσότητας και τη μείωση της διαμέτρου των κόκκων της στο μισό.

(Για την ανάγνωση του υποκεφαλαίου μπορείτε να μεταφερθείτε στο υποκεφάλαιο 6.1.1)

Για τη μέτρηση της σκληρότητας χρησιμοποιήθηκε το ακόλουθο μετρητικό όργανο:



Εικόνα 118 – Η συσκευή μέτρησης σκληρότητας.

Κατά τη χρήση του μετρητικού οργάνου σκληρότητας, τοποθετούμε το δοκίμιο προς μέτρηση στη μεταλλική βάση που παρατίθεται στην εικόνα 120 και το στερεοποιούμε. Σκοπός είναι το δοκίμιο να είναι επίπεδα τοποθετημένο ώστε να μην υπάρξει ελαστική παραμόρφωση κατά την κρούση. Στη συνέχεια, αφού σπλίσουμε τη μετρητική ράβδο, το οποίο περιέχει σφαιρίδιο, πραγματοποιείται μέτρηση της σκληρότητας.



Εικόνα 119 - Λεπτομέρεια χαρακτηριστικών μετρητικού οργάνου σκληρότητας



Εικόνα 120 - Βάση τοποθέτησης δοκιμίων/στεφάνων για την μέτρηση της σκληρότητας τους.

Ακολουθεί ο πίνακας των μετρήσεων σκληρότητας στις δύο κλίμακες:

Πίνακας 11 - Πίνακας μετρήσεων κατά BRINELL.

| ΚΑΤΑ BRINELL | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| <u>Σύσταση δείγματος</u> | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O. |
| 70/30 | 170 | 119 | 208 | 140 | 159,25 |
| 80/20 | 166 | 218 | 132 | 204 | 180 |
| 90/10 | 382 | 304 | 325 | 233 | 311 |

Πίνακας 12 - Πίνακας μετρήσεων κατά VICKERS.

| ΚΑΤΑ VICKERS | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------|
| <u>Σύσταση δείγματος</u> | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O. |
| 70/30 | 162 | 114 | 198 | 133 | 151,75 |
| 80/20 | 157 | 206 | 126 | 194 | 170,75 |
| 90/10 | 363 | 209 | 309 | 220 | 275,25 |

7.5 Φωτογράφιση και περιγραφή δοκιμίων μετά την έψηση.

Μετά τη λείανση των δοκιμίων πραγματοποιήθηκε η φωτογράφισή τους με τη βοήθεια του στερεοσκοπίου.



Εικόνα 121 - Τομή δοκιμίου σε μεγέθυνση 5X.

Στην Εικόνα 121 παρατηρείται η τομή ενός δοκιμίου. Αρχικά θα αναγνωρίσουμε τις μαύρες σκιάσεις, οι οποίες όπως προκύπτει από την παρατήρηση των υλικών της παραγράφου 6.1.1, αποτελούν την Τιτανία η οποία υπήρχε στην αρχική σύσταση της Αλουμίνιας σε ποσότητα 3%. Στη συνέχεια, παρά τη μικρή μεγέθυνση, μπορούμε να διακρίνουμε την διαφοροποίηση του άνω και του κάτω επιπέδου της επιφάνειας. Διακρίνεται καθαρά πως στο αριστερό τμήμα της δομής (το οποίο αντιστοιχεί στην κάτω πλευρά του δοκιμίου σύμφωνα με τον τρόπο που έγινε η συμπίεση) υπάρχει ανάπτυξη του φαινομένου της πυροσυσσωμάτωσης σε εξαιρετικά ικανοποιητικό βαθμό και μάλιστα με μεγάλη πυκνότητα της δομής και απουσία κενών..

Το γεγονός ότι δεν υπήρξε πλήρης ανάπτυξη του φαινομένου οφείλεται:

- στο χαμηλό φορτίο συμπίεσης και την κακή κατανομή του υλικού.
- στο μέγεθος των κόκκων.

Το μέγεθος των κόκκων είναι υπεύθυνο για την ομοιόμορφη ροή του υλικού στο καλούπι κατά τη συμπίεση, όπως επίσης και στην πλήρωση των πλεγματικών κενών, ενώ

το χαμηλό φορτίο συμπίεσης για την μικρή πυκνότητα του δοκιμίου πριν την έψηση, γνωστή ως σχετική πυκνότητα.

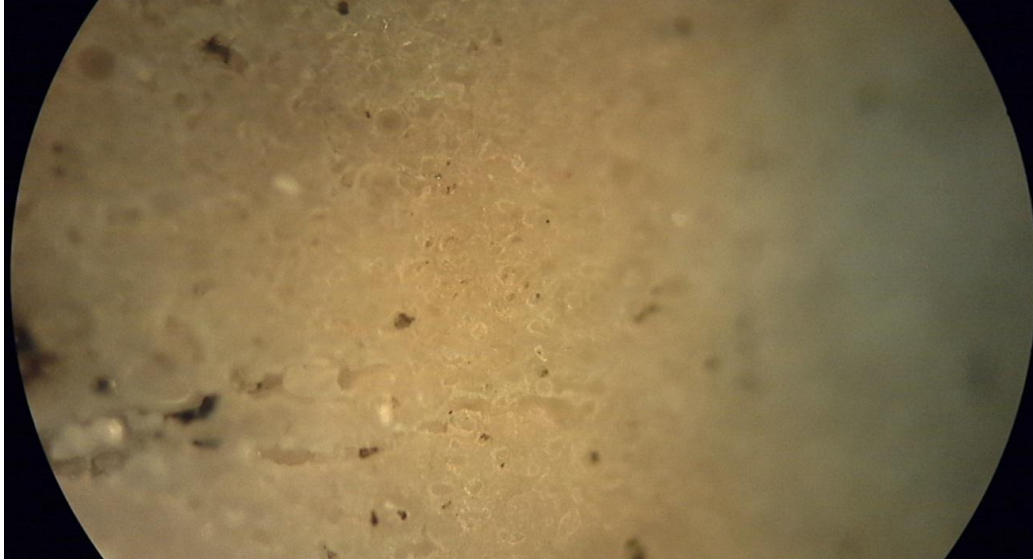
Στο πείραμα που εκτελέσαμε, καθώς πραγματοποιούνταν η συμπίεση και σύμφωνα με τον τρόπο που έγινε η κατανομή του μείγματος, το υλικό συσσωρεύτηκε στο εξωτερικό τμήμα του καλουπιού, όπου και παρατηρείται η πλήρης ανάπτυξη του φαινομένου.



Εικόνα 122 - Τομή δοκιμίου σε μεγέθυνση 20X.

Στην Εικόνα 122 παρατηρούμε το παραπάνω φαινόμενο σε μεγαλύτερη μεγέθυνση. Σύμφωνα με αυτό το διαχωρισμό, θα παρουσιαστούν λεπτομερέστερα στιγμιότυπα της άνω και της κάτω πλευράς.

❖ Παρατήρηση και μεγέθυνση της κάτω πλευράς:



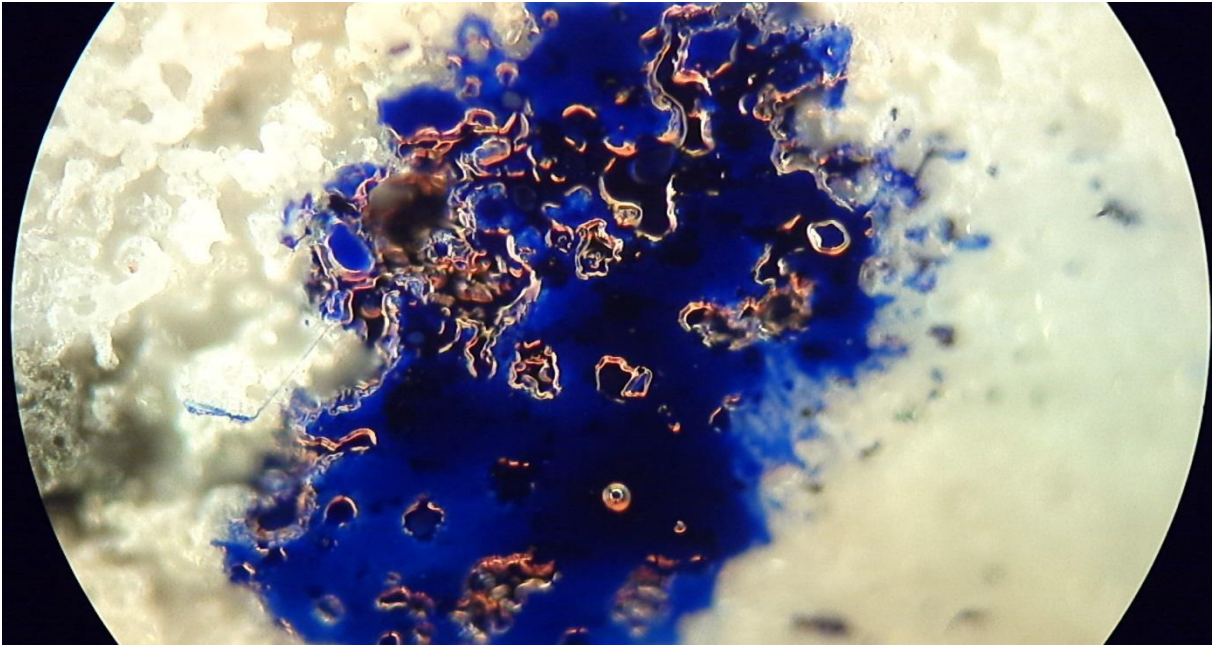
Εικόνα 123 - Επιφάνεια της κάτω πλευράς του δοκιμίου σε μεγέθυνση 20X.

Στην Εικόνα 123 παρατηρείται η επιφάνεια του δοκιμίου της κάτω πλευράς. Μπορεί να διακριθεί η δημιουργία λαιμών μεταξύ των κόκκων αλλά και η αραιή ύπαρξη πλεγματικών κενών. Για την καλύτερη παρατήρηση της επιφάνειας χρησιμοποιήθηκε μπλε χρώμα.



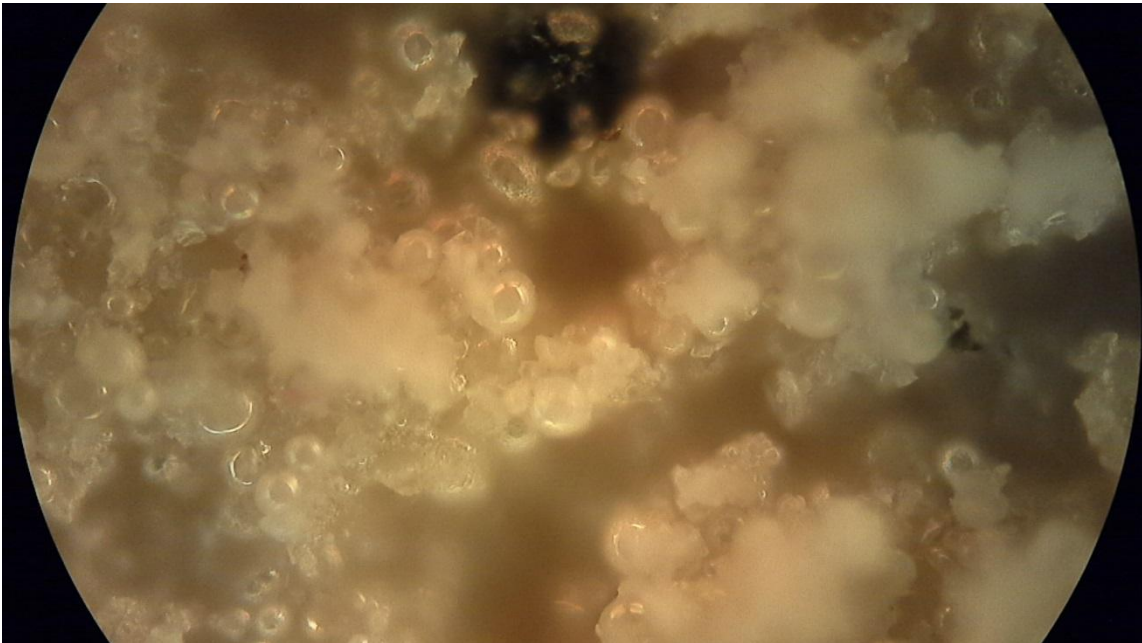
Εικόνα 124 - Επιφάνεια δοκιμίου με προσθήκη μπλε χρώματος.

Στο σημείο αυτό ας αναφέρουμε πως με γυμνό μάτι, η επιφάνεια, έχει την όψη πορσελάνης.



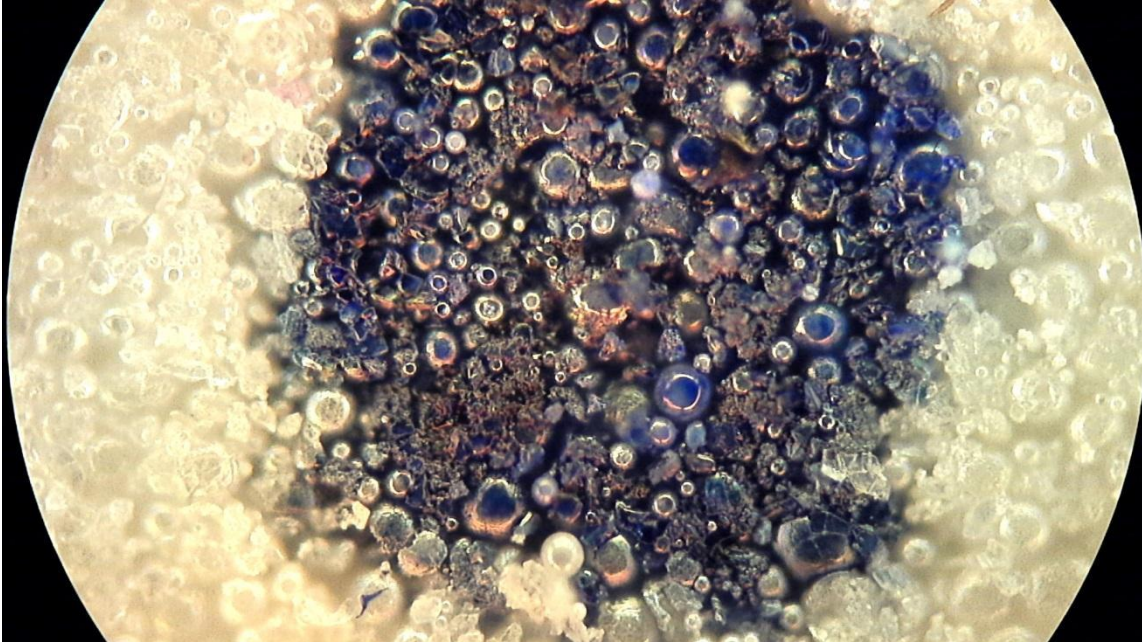
Εικόνα 125 - Η επιφάνεια του δοκιμίου σε μεγέθυνση 50X.

❖ Παρατήρηση και μεγέθυνση της άνω πλευράς:



Εικόνα 126 - Λεπτομέρεια της άνω πλευράς σε μεγέθυνση 20X.

Στην Εικόνα 126 παρατηρείτε η κακή επιφάνεια που έχει δημιουργηθεί στην άνω επιφάνεια του δοκιμίου. Ειδικότερα, πέρα από τα πλεγματικά κενά που έχουν δημιουργηθεί μπορούμε να διακρίνουμε και κόκκους οι οποίοι σύμφωνα με την παράγραφο 6.1.1, έχουν σταματήσει την ανάπτυξη των λαμών σε πολύ πρώιμο στάδιο. Η προσθήκη μπλε χρώματος βοηθάει αρκετά στην παρατήρηση αυτή.



Εικόνα 127 - Λεπτομέρεια της άνω πλευράς σε μεγέθυνση 20X με προσθήκη μπλε χρώματος.

Η Εικόνα 127 αποτελεί ένα σημαντικό στιγμιότυπο καθώς απεικονίζει και την ύπαρξη κρυσταλλικής μορφής στο κέντρο της δομής. Τα νανοκρυσταλλικά σωματίδια προάγουν την ανάπτυξη των κόκκων, το οποίο αποτελεί έναν ανεπιθύμητο μηχανισμό.

8.0 Συμπεράσματα, παρατηρήσεις και προτάσεις προς μελλοντική διερεύνηση.

Στην παραπάνω εργασία έγινε μια προσπάθεια προσέγγισης ενός ανεξερευνητου κλάδου μηχανικής για τα ελληνικά δεδομένα. Μέσα από τα πρώτα κεφάλαια έγινε εφικτή η κατανόηση της βασικής λειτουργίας του μηχανικού ρολογιού και μία επίσημη ονοματολογία των εξαρτημάτων που το αποτελούν. Επίσης γνωστοποιήθηκαν αρκετές πληροφορίες σχετικά με τις στεφάνες των ρολογιών και τη χρήση τους, οι οποίες θα βοηθήσουν πολλούς από εσάς στην εκτίμηση αυτών των πολυμηχανιμάτων.

Βασικότερο βέβαια από τα παραπάνω αποτελεί η βιβλιογραφία και η πειραματική γνώση που το εργαστήριο απέκτησε πάνω στη πυροσυσσωμάτωση κεραμικών κονιαμάτων, όσο επίσης και η ανάγκη για περαιτέρω μελέτη στο κομμάτι αυτό. Ειδικότερα στην παρούσα εργασία έγινε μια ικανοποιητική προσέγγιση της πυροσυσσωμάτωσης κεραμικής στεφάνης. Τα εμπόδια ήταν αρκετά αλλά και οι καινοτομίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι πολλά υποσχόμενες. Ως προς το συγκεκριμένο πείραμα:

Συμπεράσματα :

1° : Η αύξηση της αλουμίνας στο μείγμα επιφέρει μεγαλύτερη διαδρομή του εμβόλου, συνεπώς μεγαλύτερη σχετική πυκνότητα του δοκιμίου. Συγκεκριμένα, για κάθε υλικό, κατά την παρασκευή του μείγματος απαιτείται επεξεργασία του 33% κατά βάρος του συνολικού βάρους του υλικού, σύμφωνα με την οποία το μέγεθος των κόκκων του πρέπει να μειωθεί στο μισό της αρχικής διαμέτρου.

2° : Όσο αυξάνουμε την ποσότητα αλουμίνας, αυξάνεται η θεωρητική πυκνότητα του δοκιμίου. Μάλιστα η αύξηση της θεωρητικής πυκνότητας πάνω από 0,70 αυξάνει την τραχύτητα της μικροδομής. Συνεπώς η επίτευξη μεγάλης πυκνότητας δεν συνδέεται με την κατασκευή ενός άριστου κεραμικού. Στο σημείο αυτό μπορεί να γίνει αντιληπτός ο λόγος που οι εταιρίες κατασκευής κεραμικών πρώτων υλών προτείνουν ένα εύρος συμπίεσης 200-250 MPa.

Για παράδειγμα:

Κατά τη συμπίεση παράγεται ένα δοκίμιο με σχετική πυκνότητα A. Το δοκίμιο αυτό δεν περιέχει αλουμίνα. Μετά την έψηση, η πυκνότητα του δοκιμίου υπολογίζεται στο 0,3A.

Ένα δεύτερο δοκίμιο που παράγεται με την προσθήκη 30% Αλουμίνας και έχει μετά τη συμπίεση σχετική πυκνότητα A, μετά την έψηση, η θεωρητική του πυκνότητα θα πρέπει

να μην πέσει περισσότερο από το 0,7 της θεωρητικής, ώστε να μην υπάρξει αύξηση της τραχύτητάς του.

I: Συμπίεση → Σχετική Πυκν. (Al 0%) = A → Έψηση → Θεωρητική Πυκν. = 0,3A

II: Συμπίεση → Σχετική Πυκν. (Al 30%) = A → Έψηση → Θεωρητική Πυκν. = 0,7(0,3A)=0,21A

Θεωρητική Πυκν. > 0,21 οκ

Θεωρητική Πυκν <0,21 Αύξηση της σκληρότητας + Αύξηση της τραχύτητας

3° : Η κατανομή του υλικού στο καλούπι αποτελεί ένα πολύ σημαντικό παράγοντα για την επιτυχή πυροσυσσώματωση. Οποιαδήποτε ανομοιομορφία στην κατανομή επιφέρει διαφορετική δύναμη συμπίεσης (μεγαλύτερη στα σημεία περισσότερο συσσωρευμένου υλικού και αντίστροφα) αλλά επηρεάζει αντίστοιχα και τη σχετική πυκνότητα.

4° : Η δύναμη συμπίεσης αποτελεί σημαντικό παράγοντα στην επίτευξη της επιθυμητής σχετικής πυκνότητας. Σύμφωνα με το συμπέρασμα 2, μπορούμε να ρυθμίσουμε την δύναμη συμπίεσης, τηρώντας τον κανόνα του να μην μειώσουμε την πυκνότητα παραπάνω από το 0,21 της σχετικής της τιμής.

5° : Η μεταβολή του όγκου σε καμία περίπτωση δεν έφτασε το 20%, όπως αναφέρεται στα στοιχεία που έχουμε από τη βιομηχανία της ωρολογιοποιίας. Το γεγονός αυτό είναι λογικό και κατανοητό, καθώς η μεταβολή περιορίζεται στην ένωση των κόκκων, τη δημιουργία λαιμών και στην αποβολή του αέρα από τη συμπιεσμένη δομή προς πυροσυσσώματωση. Οι πληροφορίες που υπάρχουν στο διαδίκτυο έχουν διαστρεβλωθεί και η πραγματική τιμή της μεταβολής ορίζεται στο 0,10 έως 0,30% του αρχικού όγκου. Το ποσοστό 20% μπορεί να ισχυρισθεί κανείς πως αντιστοιχεί στην μεταβολή του μήκους κάποιας επιφάνειας.

Παρατηρήσεις:

- [1] Η επιλογή των υλικών ήταν αμφιλεγόμενη καθώς η εργοστασιακή τους χρήση προορίζεται για την εργαλειομηχανή laser-πλάσματος, όπου και χρησιμοποιείται για επικαλύψεις διάφορων εξαρτημάτων. Τα στοιχεία ωστόσο που γνωστοποιήθηκαν για αυτές, τις καθιστούν ικανές και για την συμβατική πυροσυσσωμάτωση με την μόνη προϋπόθεση να είναι η μείωση της διαμέτρου των κόκκων και τον υπολογισμό της πυκνότητάς τους όπως επεξηγήθηκε και στην παράγραφο 6.5.1. Συγκεκριμένα, κατά την παρασκευή του μείγματος απαιτείται επεξεργασία του 33% κατά βάρος του συνολικού βάρους του υλικού, σύμφωνα με την οποία το μέγεθος των κόκκων του πρέπει να μειωθεί στο μισό της αρχικής διαμέτρου.
- [2] Η επεξεργασία των υλικών και οι οδηγίες ως προς την παρασκευή ενός κεραμικού μείγματος αποτελούν ένα σαφή οδηγό για την εκτέλεση παρόμοιων πειραμάτων. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στις διορθώσεις ώστε να αποφευχθούν παρόμοια σφάλματα.
- [3] Η πρέσα που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα πειραματική διαδικασία, όπως αναφέρθηκε και στην αντίστοιχη παράγραφο, δεν πληρούσε τις απαιτήσεις του πειράματος. Χρησιμοποιήθηκε ωστόσο για δυο λόγους. Ο πρώτος είναι ότι διέθετε ακριβές όργανο μέτρησης της δύναμης συμπίεσης, της ταχύτητας του εμβόλου αλλά και της μετατόπισής του. Το γεγονός αυτό μας έδωσε τη δυνατότητα να παρατηρήσουμε την ομοιομορφία της συμπίεσης και της ροής των υλικών. Βοήθησε επίσης σημαντικά στην αποφυγή της βλάβης του καλουπιού, πράγμα που δεν ήταν δυνατό να πραγματοποιηθεί στη μεγάλη πρέσα που διαθέτει το εργαστήριο της κατεργασίας υλικών του ΕΜΠ.
- [4] Το καλούπι που χρησιμοποιήσαμε έφερε εις πέρας την αποστολή του και έχουν αναφερθεί όλες οι βελτιώσεις για την κατασκευή ενός πλήρως λειτουργικού, το οποίο θα μπορέσει να χρησιμοποιηθεί σε παρόμοια διαδικασία.
- [5] Ο κλίβανος που διαθέτει το εργαστήριο δεν αποτελεί την πιο αποδοτική επιλογή για την εκτέλεση και την εξέλιξη των συγκεκριμένων πειραμάτων καθώς η πυροσυσσωμάτωση των κεραμικών υλικών επιτυγχάνεται βέλτιστα και ταχύτερα σε υψηλές θερμοκρασίες, έως και 2500 °C. Επίσης η βελτιστοποίηση της διαδικασίας μπορεί να γίνει και με την ύπαρξη κλιβάνου με κενό αέρος ή και με κλίβανο ειδικού, αδρανούς αερίου.
- [6] Η μεταβολή του όγκου σε καμία περίπτωση δεν έφτασε το 20%, όπως αναφέρεται στα στοιχεία που έχουμε από τη βιομηχανία της ωρολογοποιίας. Το γεγονός αυτό

είναι λογικό και κατανοητό, καθώς η μεταβολή περιορίζεται στην ένωση των κόκκων, τη δημιουργία λαιμών και στην αποβολή του αέρα από τη συμπιεσμένη δομή προς πυροσυσσωμάτωση. Οι πληροφορίες που υπάρχουν στο διαδίκτυο έχουν διαστρεβλωθεί και η πραγματική τιμή της μεταβολής ορίζεται στο 0,10 έως 0,30% του αρχικού όγκου. Το ποσοστό 20% μπορεί να ισχυρισθεί κανείς πως αντιστοιχεί στην μεταβολή του μήκους κάποιας επιφάνειας.

- [7] Η στεφάνη με σύσταση 90% Ζιρκονία και 10% Αλουμίνα, πυροσυσσωματομένη στους 1500°C για μια ώρα, αποτέλεσε το δοκίμιο με την καλύτερη επιφάνεια και τη μέγιστη σκληρότητα. Τα στοιχεία παραθέτονται στον πίνακα που ακολουθεί.
- [8] Η επιφανειακή λείανση των δοκιμίων μπορεί να πραγματοποιηθεί στις δομές του εργαστηρίου με τις ήδη υπάρχουσες εργαλειομηχανές.
- [9] Αυτό που δεν πραγματοποιήθηκε με ακρίβεια είναι η μέτρηση της πυκνότητας των δειγμάτων μετά την συμπίεση. Ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιήθηκε με μια απόκλιση καθώς κατά την πλήρωση του καλουπιού υπήρχε διαρροή υλικού μεταξύ της βάσης και του κυλίνδρου στήριξης, πράγμα που άλλαξε το βάρος του δοκιμίου κατά ένα ποσοστό. Το σφάλμα αυτό ορίστηκε στο 1 γρ. σύμφωνα με τη μέτρηση του υλικού που διέρρευσε από το καλούπι και έμεινε στη βάση της πρέσας. Ωστόσο υλικό υπήρχε σφηνωμένο και στην επιφάνεια ανάμεσα στη βάση και στον κύλινδρο στήριξης. Λαμβάνοντας υπόψη αυτή την απόκλιση η Θεωρητική πυκνότητα ισούται με το 91% της Σχετικής πυκνότητας.
- [10] Τέλος, αξίζει να σημειωθεί το γεγονός ότι το πείραμα επαναλήφθηκε 12 φορές, ξεκινώντας κάθε φορά από την παρασκευή των υλικών, και έφτασε έως το τελευταίο σημαντικό στάδιο, την έψηση, μόνο τις δυο τελευταίες. Η εστίαση στην εύρεση του τρόπου υλοποίησης του πειράματος τέθηκε ο σημαντικότερος στόχος και παρά τις διαδοχικές αποτυχίες, πραγματοποιήθηκε. Επιπροσθέτως, αυτές οι επαναλήψεις αποτέλεσαν και την πηγή των διορθώσεων, δίνοντάς μας την ευκαιρία να συντάξουμε αυτό το εγχειρίδιο κατασκευής κεραμικών υλικών προς αποφυγή παρόμοιων σφαλμάτων των επιστημόνων που θα επαναλάβουν ορθά ή και θα εξελίξουν την έρευνα αυτή.

Στη συνέχεια παραθέτονται οι συγκεντρωτικοί πίνακες των μετρήσεων και δύο στιγμιότυπα, αυτό της καλύτερης και αυτό της χειρότερης επιφάνειας που καταγράφηκε:

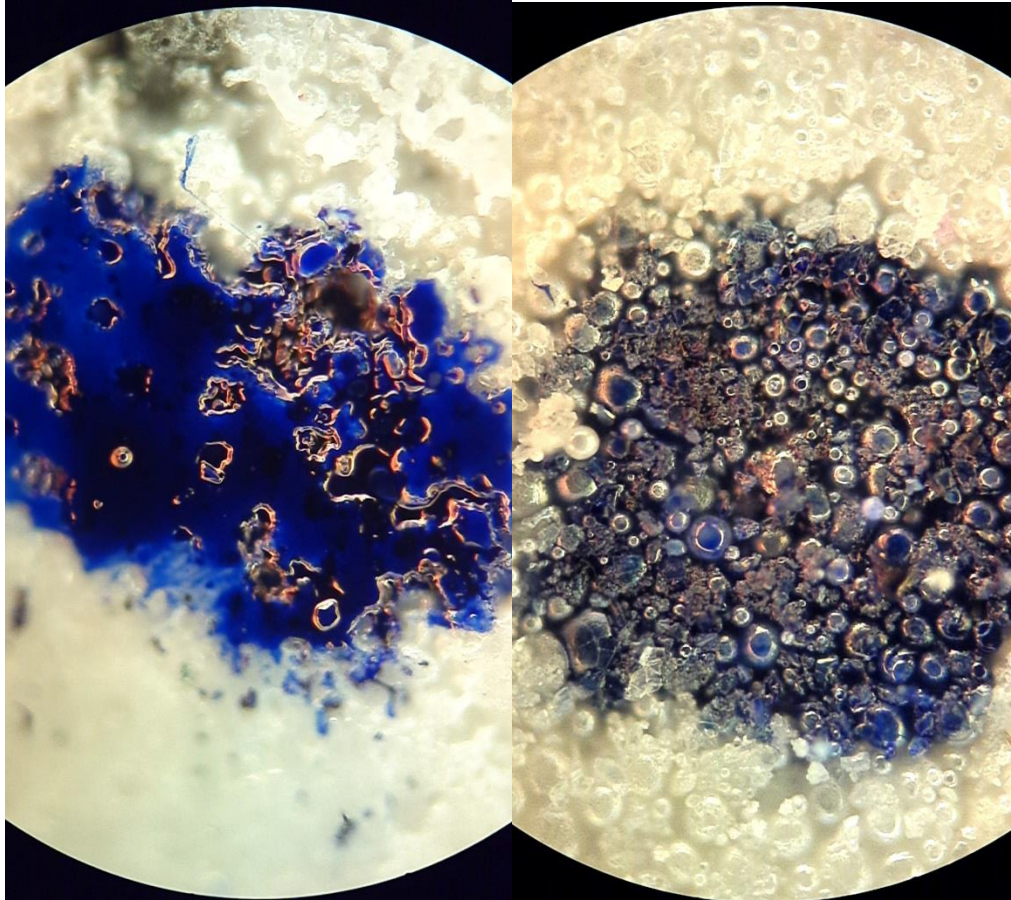
Πίνακας 13 - Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων.

| ΚΑΤΑ BRINELL | | | | | |
|------------------------------|------------|------------|------------|------------|---------------|
| <u>Σύσταση δείγματος</u> | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O. |
| 70/30 | 170 | 119 | 208 | 140 | 159,25 |
| 80/20 | 166 | 218 | 132 | 204 | 180 |
| 90/10 | 382 | 304 | 325 | 233 | 311 |
| ΚΑΤΑ VICKERS | | | | | |
| <u>Σύσταση δείγματος</u> | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O |
| 70/30 | 162 | 114 | 198 | 133 | 151,75 |
| 80/20 | 157 | 206 | 126 | 194 | 170,75 |
| 90/10 | 363 | 209 | 309 | 220 | 275,25 |
| ΤΡΑΧΥΤΗΤΑ (μm) | | | | | |
| <u>Σύσταση δείγματος</u> | Μέτρηση 1 | Μέτρηση 2 | Μέτρηση 3 | Μέτρηση 4 | M.O. |
| 70/30 | 3,4 | 4,4 | 4 | 4,4 | 4,05 |
| 80/20 | 3,4 | 4 | 2,8 | 3,2 | 3,35 |
| 90/10 | 2,6 | 3 | 3,4 | 3,6 | 3,15 |

Πίνακας 14 - Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβολής διαστάσεων, όγκου και πυκνότητας.

| <i>Σύσταση στεφάνης:</i> | 90/10 | 80/20 | 70/30 |
|--|--------------|--------------|--------------|
| <i>Εσωτερική διάμετρος πριν (χιλ.)</i> | 29,91 | 29,91 | 29,91 |
| <i>Εσωτερική διάμετρος μετά (χιλ.)</i> | 29,57 | 29,61 | 29,65 |
| <i>Μεταβολή εσωτερικής διαμέτρου:</i> | | | |
| <i>Dδ=</i> | -0,34 | -0,3 | -0,26 |
| <i>Εξωτερική διάμετρος πριν (χιλ.)</i> | 40,19 | 40,19 | 40,19 |
| <i>Εξωτερική διάμετρος μετά (χιλ.)</i> | 39,91 | 39,95 | 39,98 |
| <i>Μεταβολή εξωτερικής διαμέτρου:</i> | | | |
| <i>Dδ=</i> | -0,28 | -0,24 | -0,21 |
| <i>Ύψος πριν (χιλ.)</i> | 3,11 | 2,919 | 2,8506 |
| <i>Ύψος μετά (χιλ.)</i> | 2,94 | 2,81 | 2,78 |
| <i>Μεταβολή ύψους:</i> | | | |
| <i>Dυ=</i> | -0,17 | -0,11 | -0,07 |
| <i>Όγκος πριν την έψηση (χιλ.)³</i> | 1032,52 | 969,10 | 946,39 |
| <i>Όγκος μετά την έψηση (χιλ.)³</i> | 987,50 | 943,84 | 931,96 |
| <i>Ποσοστιαία μεταβολή όγκου:</i> | | | |
| <i>DV% =</i> | -4,36% | -2,61% | -1,53% |
| <i>Πυκνότητα:</i> | | | |
| <i>Σχετική πυκνότητα (γρ/εκ³)</i> | 7,26 | 7,74 | 7,92 |
| <i>Θεωρητική πυκνότητα (γρ/εκ³)</i> | 6,58 | 6,89 | 6,97 |
| <i>Θεωρητική πυκνότητα / Σχετική πυκνότητα</i> | 0,91 | 0,89 | 0,88 |

Οι δυο παραπάνω συγκεντρωτικοί πίνακες, επιβεβαιώνουν πως η στεφάνη με σύσταση 90/10 αποτελεί το πιο αξιόλογο δοκίμιο που κατασκευάστηκε.



Εικόνα 128 - Σύγκριση των δυο πιο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων.

Στα δυο παραπάνω στιγμιότυπα παρατηρούμε την βέλτιστη και την χειρότερη δομή που παρατηρήθηκαν στα δύο δοκίμια. Όπως έγινε αντιληπτό από την ανάλυση των δειγμάτων στο αντίστοιχο κεφάλαιο, η βέλτιστη δομή παρατηρήθηκε στην εξωτερική διάμετρο του δοκιμίου. Το γεγονός αυτό οφείλεται στην ακτινική ροή του υλικού κατά τη συμπίεση αλλά και στην ανομοιόμορφη κατανομή του υλικού κατά την πλήρωση του καλουπιού. Στο αριστερό στιγμιότυπο παρατηρούμε τη δημιουργία λαιμών και την έλλειψη μεγάλων πλεγματικών κενών, ενώ στο επόμενο, το αντίθετο. Επίσης στο δεξιό στιγμιότυπο παρατηρείται και ανακρυστάλλωση των κόκκων.

**Στη συνέχεια παραθέτονται δύο υλοποιήσιμες
προτάσεις για την περαιτέρω διερεύνηση του κλάδου:**

Σύμφωνα με την παρούσα έρευνα κάθε υλικό ή πρόσμιξη αυτών, έχει τη δική του καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης (MSC). Για την δημιουργία μιας τέτοιας καμπύλης απαιτείται η μέτρηση των ιδιοτήτων μιας συγκεκριμένης πρόσμιξης υλικών η οποία θα υποστεί έψηση σε διαφορετικές θερμοκρασίες. Η δημιουργία της καμπύλης πυροσυσσωμάτωσης για το υλικό σύστασης 80% Αλουμίνας και 20% Ζιρκονίας αποτελεί το πρόδρομο της κατασκευής κεραμικών κοπτικών εργαλείων και επεξηγείται στην επόμενη πρόταση.

Η μέθοδος που ακολουθήθηκε στην εργασία αυτή, είναι σχεδόν ίδια με τη μέθοδο που παράγονται και τα κεραμικά κοπτικά εργαλεία για τις εργαλειομηχανές τόννευσης κλπ. Βέβαια η σύσταση σε αυτά ορίζεται αντίστροφα, καθώς το 80% καταλαμβάνει η Αλουμίνα και το 20% η Ζιρκονία. Μια έρευνα πάνω σε αυτό το κομμάτι θα είχε ως αποτέλεσμα την κατασκευή κοπτικών εργαλείων που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις απαιτητικές έρευνες του ιδρύματος και να επιφέρουν ακόμη και κέρδος.

9.0 Κατάλογος Πινάκων

| | |
|--|-----|
| Πίνακας 1 –Τα κεραμικά υλικά και οι χρήσιμες ιδιότητές τους | 20 |
| Πίνακας 2 - Τα κεραμικά υλικά και οι εφαρμογές τους..... | 21 |
| Πίνακας 3 - Παραδείγματα εφαρμογών κεραμικών υλικών με βάση τις ιδιότητές τους, ΜΕΡΟΣ Α' | 22 |
| Πίνακας 4 - Παραδείγματα εφαρμογών κεραμικών υλικών με βάση τις ιδιότητές τους, ΜΕΡΟΣ Β' | 23 |
| Πίνακας 5 - Μέγεθος κόκκων, σχετική πυκνότητα, σκληρότητα, ευθραυστότητα και θερμική αγωγιμότητα των πυροσυσσωματωμένων διάφανων κεραμικών ρουμπινιών σε θερμοκρασία δωματίου..... | 33 |
| Πίνακας 6 - Πίνακας ελασμάτων Νίναροχ και τα χαρακτηριστικά αυτών..... | 40 |
| Πίνακας 7 - Πίνακας ιδιοτήτων υλικού METCO 101NS..... | 83 |
| Πίνακας 8 - Πίνακας ιδιοτήτων υλικού METCO 204NS..... | 84 |
| Πίνακας 9 - Πίνακας μετατροπής χιλιοστών σε mesh. | 88 |
| Πίνακας 10 - Πίνακας ιδιοτήτων ΡVΑ..... | 93 |
| Πίνακας 11 - Πίνακας μετρήσεων κατά BRINELL. | 123 |
| Πίνακας 12 - Πίνακας μετρήσεων κατά VICKERS. | 123 |
| Πίνακας 13 - Συγκεντρωτικός πίνακας αποτελεσμάτων..... | 133 |
| Πίνακας 14 - Συγκεντρωτικός πίνακας μεταβολής διαστάσεων, όγκου και πυκνότητας..... | 134 |

10.0 Κατάλογος Εικόνων

| | |
|--|----|
| Εικόνα 1 - Πυρομετρικός κώνος της Segar..... | 10 |
| Εικόνα 2 – Pyroceram..... | 19 |
| Εικόνα 3 - Zerodur..... | 19 |
| Εικόνα 4 - Τα βασικά εξαρτήματα ενός μηχανικού ρολογιού. | 24 |
| Εικόνα 5 - Το σύστημα αλλαγής ώρας ενός ρολογιού..... | 25 |
| Εικόνα 6 - Θήκη ελατηρίου, με το ελατήριο, χωρίς το καπάκι σε πλήρης αποφόρτιση αριστερά και πλήρη φόρτιση δεξιά. | 25 |
| Εικόνα 7 - Κινήσεις της θήκης ελατηρίου. | 26 |
| Εικόνα 8 - Κινήσεις των τροχών του μηχανισμού..... | 26 |
| Εικόνα 9 - Τα εξαρτήματα του συστήματος διαφυγής..... | 27 |
| Εικόνα 10 - Οι κινήσεις της άγκυρας με τους στύλους περιορισμού να φαίνονται στο μέσο της διάταξης. | 28 |
| Εικόνα 11 - Κινήσεις του συστήματος διαφυγής..... | 28 |
| Εικόνα 12 - Η πλατίνα στο κατώτερο τμήμα του ρολογιού και τα υπόλοιπα εξαρτήματα. | 29 |
| Εικόνα 13 - Οι γέφυρες συγκράτησης των εξαρτημάτων..... | 30 |
| Εικόνα 14 - Οι γέφυρες του μηχανισμού..... | 30 |
| Εικόνα 15 - Η γεωμετρία του τροχού δευτερολέπτων και λεπτομέρεια από τη στήριξή του στην πλατίνα..... | 31 |
| Εικόνα 16 - Τα ρουμπίνια ενός μηχανισμού..... | 31 |
| Εικόνα 17 - Ένα αρκετά φθαρμένο πιβό από την τριβή κατά τη στήριξη και την έλλειψη λίπανσης..... | 32 |
| Εικόνα 18 - Η οπτική διαφάνεια της αλουμίνιας με πρόσμειξη οξειδίου του χρωμίου στις διάφορες συγκεντρώσεις CrO ₃ πυροσυσσωματωμένα στους 1350 βαθμούς Κελσίου για 5 λεπτά.α)0,05%(1,47mm),β)0,1%(1,44mm),γ)0,2%(1,37mm),δ)0,3%(1,46mm),ε)0,5%(1,35mm),στ)1,0%(1.36mm)..... | 33 |
| Εικόνα 19 - Κινήσεις της άγκυρας, ολίσθηση των ρουμπινιών στα δόντια του τροχού διαφυγής. | 34 |
| Εικόνα 20 - Πλάκα πυριτίου όπου έχουν τυπωθεί τροχοί διαφυγής με την τεχνική Drie..... | 35 |
| Εικόνα 21 - Hairspring ή τρίχα (το εξάρτημα μπλε χρώματος)..... | 37 |
| Εικόνα 22 - Ονοματολογία εξαρτημάτων μπαλανσιέ..... | 38 |
| Εικόνα 23 - Το ελατήριο της Omega Si14..... | 41 |
| Εικόνα 24 - Το ελατήριο Parachrom αριστερά και το ελατήριο Sylorix δεξιά. | 42 |
| Εικόνα 25 - Καβίλια συγκράτησης του ελατηρίου μπαλανσιέ στο δαχτυλίδι (Βιρόλ) που σταθεροποιείται στον άξονα. | 42 |
| Εικόνα 26 - Ο τροχός διαφυγής της Patek Philippe από Silinvar. | 43 |
| Εικόνα 27 – Πρότυπο τροχού διαφυγής Silinvar..... | 43 |
| Εικόνα 28 - Το κεραμικό σύστημα διαφυγής της Ulysse Nardin. | 44 |
| Εικόνα 29 - Επεξήγηση θαλάμου PACVD..... | 46 |
| Εικόνα 30 - Tudor BLACK DAY DARK. | 47 |

| | |
|--|----|
| Εικόνα 31 - Tag Heuerer AQUARACER CALIBER 5 | 48 |
| Εικόνα 32 - Longines MENS CONQUEST BLACK. | 49 |
| Εικόνα 33 - Rado DIASTAR..... | 51 |
| Εικόνα 34 - Omega SEAMASTER CERMET. | 51 |
| Εικόνα 35 - Iwc DAVINCI Ref.3755. | 52 |
| Εικόνα 36 - Rado CERAMICA. | 52 |
| Εικόνα 37 - Chanel J12..... | 53 |
| Εικόνα 38 - Rado True Thinline. | 53 |
| Εικόνα 39 - Rolex GMT-Master II. | 54 |
| Εικόνα 40 - Omega SPEEDMASTER DARK SIDE OF THE MOON..... | 54 |
| Εικόνα 41 - Longines HYDROCONQUEST..... | 55 |
| Εικόνα 42 - Zenith DEFY EL PRIMERO..... | 55 |
| Εικόνα 43 - Μια απλή, διακοσμητική στεφάνη από ταρταρούγα..... | 57 |
| Εικόνα 44 - Rolex GMT-MASTER II με στεφάνη δυο χρωμάτων. | 58 |
| Εικόνα 45 - Breitling TOP TIME με δεκαδική στεφάνη. | 58 |
| Εικόνα 46 - Επεξήγηση εκκίνησης αγώνων ιστιοπλοΐας..... | 59 |
| Εικόνα 47 - Αναπαράσταση της χρήσης των μπουτών σύμφωνα με τον αγώνα. | 60 |
| Εικόνα 48 - Rolex YACHT-MASTER II..... | 60 |
| Εικόνα 49 - Επεξήγηση λειτουργίας στεφάνης μέτρησης παλμών..... | 61 |
| Εικόνα 50 - Longines ASTHMOMETER PULSOMETER CHRONOGRAPH. | 61 |
| Εικόνα 51 - Επεξήγηση λειτουργίας στεφάνης με πυξίδα. | 62 |
| Εικόνα 52 - Nautica NST TIDE TEMP COMPASS..... | 62 |
| Εικόνα 53 - Longines HERITAGE/TELEMETRE CHRONOGRAPH..... | 63 |
| Εικόνα 54 - Rolex SUBMARINER..... | 64 |
| Εικόνα 55 - Sinn EZM 3F..... | 65 |
| Εικόνα 56 - Επεξήγηση της χρήσης ενός ταχυμέτρου..... | 66 |
| Εικόνα 57 - Omega SPEEDMASTER MOONWATCH PROFESSIONAL..... | 66 |
| Εικόνα 58 – Επεξήγηση συμβόλων κώδικα αέρος-εδάφους. | 68 |
| Εικόνα 59 - CITIZEN SATELLITE WAVE GPS*1 PROMASTER..... | 68 |
| Εικόνα 60 - Breitling NAVITIMER 1 AUTOMATIC 38..... | 69 |
| Εικόνα 61 - Διάγραμμα διαδικασιών πειράματος. | 70 |
| Εικόνα 62 - Κεραμική στεφάνη αμέσως μετά την συμπίεση των υλικών. | 72 |
| Εικόνα 63 - Κεραμική στεφάνη κατά την εξαγωγή της από τη μήτρα. Παρατηρείται ο άξονας από τον οποίο ο ρομποτικός βραχίονας θα μεταχειριστεί τη στεφάνη. | 72 |
| Εικόνα 64 - Σε περίπτωση που η στεφάνη φέρει αριθμούς ή σύμβολα, η επεξεργασία της γίνεται πριν την είσοδό της στον κλίβανο. | 73 |
| Εικόνα 65 - Στεφάνες πριν την είσοδο τους στον κλίβανο. | 73 |
| Εικόνα 66 - Έψηση στεφάνων. | 74 |
| Εικόνα 67 - Καθαρισμός μήτρας κατασκευής κεραμικής θήκης. | 74 |
| Εικόνα 68 - Πλήρωση υλικού κατασκευής κεραμικής θήκης ρολογιού. | 75 |
| Εικόνα 69 - Συμπίεση κεραμικού υλικού με έμβολο. | 75 |
| Εικόνα 70 - Εξαγωγή κεραμικής θήκης. | 76 |

| | |
|--|-----|
| Εικόνα 71 - Προετοιμασία κεραμικής θήκης για έψηση. | 76 |
| Εικόνα 72 - Έψηση κεραμικής θήκης. | 77 |
| Εικόνα 73 - Μήτρες κατασκευής κεραμικής θήκης ρολογιού. | 77 |
| Εικόνα 74 - Ράβδος στρέψεως Old Man Emu. | 78 |
| Εικόνα 75 - Η βάση του καλουπιού..... | 78 |
| Εικόνα 76- Η βάση με το έμβολο. | 79 |
| Εικόνα 77 - Τα τρία τμήματα του καλουπιού, αποσυναρμολογημένα. | 80 |
| Εικόνα 78 - Η διάταξη του βελτιωμένου καλουπιού. | 81 |
| Εικόνα 79 - Εξολκέας FORCE 65910. | 82 |
| Εικόνα 80 - Τα υλικά του πειράματος στη συσκευασία τους. | 85 |
| Εικόνα 81 - Η αλουμίνα αριστερά και η ζirkονία δεξιά σε μεγέθυνση..... | 85 |
| Εικόνα 82 - Calibration slide..... | 86 |
| Εικόνα 83 - Λεπτομέρεια της βαθμονόμησης που χρησιμοποιήθηκε..... | 86 |
| Εικόνα 84 - Υπόδειξη της κλίμακας. | 87 |
| Εικόνα 85 - Μέτρηση των κόκκων μέσω προγράμματος AUTOCAD. | 87 |
| Εικόνα 86 - Μέτρηση 5 γραμμαρίων ζirkονίας σε ζυγό ακριβείας. | 89 |
| Εικόνα 87 - Πλήρωση καλουπιού με ΖΤΑ. Το έμβολο θα είναι αυτό που θα συμπιέσει το υλικό στη συνέχεια. | 90 |
| Εικόνα 88 - Μέτρηση ύψους για 5 γραμμάρια υλικού. | 91 |
| Εικόνα 89 - Τα δοχεία αποθήκευσης των πρώτων υλών..... | 92 |
| Εικόνα 90 - Η συσκευή ανάμειξης..... | 95 |
| Εικόνα 91 - Η ανάδευση των μειγμάτων στην εργαλειομηχανή. | 95 |
| Εικόνα 92 - Αφαίρεση του PVA κατά τη θέρμανση-αφύγρανση του μείγματος..... | 96 |
| Εικόνα 93 - Εμαγιέ εστία θερμάνσεως..... | 96 |
| Εικόνα 94 - Κοσκινιστήρι με διάμετρο οπών 0,8 χιλ..... | 97 |
| Εικόνα 95 - Κοσκινιστήρια διαμέτρου οπών 5χιλ, 0.6 χιλ και 2 χιλ. | 97 |
| Εικόνα 96 - Το καλούπι μετά την πλήρωση με το κεραμικό μείγμα. | 99 |
| Εικόνα 97 - Συμπίεση του καλουπιού σε πρέσα INSTRON. | 100 |
| Εικόνα 98 - Διάταξη αποσυμπίεσης καλουπιού. | 100 |
| Εικόνα 99 - Η συμπιεσμένη στεφάνη μετά την αφαίρεση του εμβόλου και του κυλίνδρου συγκράτησης. | 101 |
| Εικόνα 100 - Οι τρεις στεφάνες διαφορετικών συστάσεων που παράχθηκαν μετά τη συμπίεση. | 101 |
| Εικόνα 101 - Πυρίμαχη πλάκα με οπές..... | 102 |
| Εικόνα 102 -- Η κατάσταση της παραμορφωμένης πυρίμαχης πλάκας..... | 103 |
| Εικόνα 103 - Η πυρίμαχη πλάκα, αριστερά ένα κομμάτι που αφαιρέθηκε πριν την έψηση. | 103 |
| Εικόνα 104 - Το πυρότουβλο αλουμίνας, αριστερά πριν την έψηση και δεξιά μετά αυτή. | 104 |
| Εικόνα 105 - Οικονομικά πυρότουβλα μαγνησίας. Χαρακτηριστικό της μεγάλης περιεκτικότητας αποτελεί το σκούρο χρώμα..... | 104 |
| Εικόνα 106 - Διαλατομετρικό διάγραμμα (μεταβολή διαστάσεων του δοκιμίου) της YSZ για ρυθμούς θέρμανσης 5°C/λεπτό & 10°C/λεπτό..... | 108 |

| | |
|---|-----|
| Εικόνα 107 - Διάγραμμα επίδρασης του ρυθμού θέρμανσης(5°C/λεπτό) στην σχετική πυκνότητα και στο ρυθμό συρρίκνωσης του δοκιμίου, κατά τη θέρμανση..... | 109 |
| Εικόνα 108 - Διάγραμμα επίδρασης του ρυθμού θέρμανσης (10°C/λεπτό) στην σχετική πυκνότητα και στο ρυθμό συρρίκνωσης του δοκιμίου, κατά τη θέρμανση..... | 109 |
| Εικόνα 109 - Διάγραμμα Σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για Q=100kJ/mol. | 110 |
| Εικόνα 110 - Διάγραμμα Σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για Q=300kJ/mol. | 110 |
| Εικόνα 111 -- Διάγραμμα σχετικής πυκνότητας - Θερμοκρασίας για Q=500kJ/mol. Οι καμπύλες ταυτίζονται και συνεπώς αυτή είναι η Κύρια Καμπύλη πυροσυσσωμάτωσης. | 111 |
| Εικόνα 112 - Η μικροδομή του συμπαγούς YSZ μετά από πυροσυσσωμάτωση στους 1500°C. | 112 |
| Εικόνα 113 - Οι πάστες διαμαντιού που χρησιμοποιήθηκαν για το γυάλισμα της κεραμικής στεφάνης, 40.0, 28.0, 20.0, 14.0, 10.0 & 7.0 micron. | 118 |
| Εικόνα 114 - Οι πάστες διαμαντιού που χρησιμοποιήθηκαν για το γυάλισμα της κεραμικής στεφάνης, 5.0, 3.5, 2.5, 1.5, 1.0 & 0.5, micron. | 118 |
| Εικόνα 115 - Μηχανή λείανσης Stuers LaboPol-5..... | 119 |
| Εικόνα 116 - Μετρητικό όργανο τραχύτητας σε μm..... | 120 |
| Εικόνα 117 - Λεπτομέρεια χαρακτηριστικών μετρητικού οργάνου τραχύτητας..... | 120 |
| Εικόνα 118 – Η συσκευή μέτρησης σκληρότητας..... | 122 |
| Εικόνα 119 - Λεπτομέρεια χαρακτηριστικών μετρητικού οργάνου σκληρότητας | 122 |
| Εικόνα 120 - Βάση τοποθέτησης δοκιμίων/στεφάνων για την μέτρηση της σκληρότητας τους. | 123 |
| Εικόνα 121 - Τομή δοκιμίου σε μεγέθυνση 5X. | 124 |
| Εικόνα 122 - Τομή δοκιμίου σε μεγέθυνση 20X. | 125 |
| Εικόνα 123 - Επιφάνεια της κάτω πλευράς του δοκιμίου σε μεγέθυνση 20X..... | 126 |
| Εικόνα 124 - Επιφάνεια δοκιμίου με προσθήκη μπλε χρώματος..... | 126 |
| Εικόνα 125 - Η επιφάνεια του δοκιμίου σε μεγέθυνση 50X..... | 127 |
| Εικόνα 126 - Λεπτομέρεια της άνω πλευράς σε μεγέθυνση 20X. | 127 |
| Εικόνα 127 - Λεπτομέρεια της άνω πλευράς σε μεγέθυνση 20X με προσθήκη μπλε χρώματος. | 128 |
| Εικόνα 128 - Σύγκριση των δυο πιο αντιπροσωπευτικών δειγμάτων. | 135 |

11.0 Κατάλογος Αναφορών

- [1] WIKIPEDIA, «Κεραμικό υλικό,» σε *ΚΕΡΑΜΙΚΑ ΥΛΙΚΑ (CERAMICS)*, Αθήνα, 2015.
- [2] J. S. REED, *Principles of ceramics processing*, USA: A Wiley-Interscience publication, 1988.
- [3] Δ. Ι. ΠΑΝΤΕΛΗΣ, *ΜΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ 2Η ΕΚΔΟΣΗ*, ΑΘΗΝΑ: ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, 2008.
- [4] B. Cicek, «SCRIBD,» 22 SEPT 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.scribd.com/document/282347138/Advanced-Ceramics>.
- [5] E. S.A., *DICTIONNAIRE TECHNOLOGIQUE DES PARTIES DE LA MONTRE*, NEUCHATEL (SUISSE): EBAUCHES S.A., 1953.
- [6] G. M. D. J. U. P. CHARLES-ANDRE REYMONDIN, σε *THE THEORY OF HOROLOGY*, VALLEE DE JOUX, SWITZERLAND, GREME, 2003, pp. 133,138,154.
- [7] Δ. Μ. Τ. Σ. Ω. ΑΘΗΝΩΝ, «ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ,» σε *ΑΡΙΘΜΟΙ ΚΑΙ ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΕΞΑΡΤΗΜΑΤΩΝ*, ΑΘΗΝΑ, 1971.
- [8] Z. Z. Cao Wang, «SCRIBD,» September 2010. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540810002011>.
- [9] P. Maillard, «THE SILICON REVOLUTION,» *Europa Star*, AUGUST 2008.
- [10] X. Markl, «A Guide To The Hairspring, A Crucial Part Of The Movement (Technology, Manufacturing Process, Future Developments),» *Monochrome Watches*, June 2017.
- [11] Manufacturing Guide Sweden AB, «MANUFACTURINGGUIDE,» 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.manufacturingguide.com/en/plasma-assisted-chemical-vapor-deposition-pacvd>.
- [12] VaporTech, «VaporTech,» January 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://vaportech.com/what-is-pvd-coating-an-intro-to-physical-vapor-deposition-other-thin-film-deposition-technologies/>.
- [13] Watch & Bullion, «Watch & Bullion,» June 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://watchandbullion.com/watch-coating-pvd-vs-dlc/>.
- [14] E. ESTLOW, «GEAR PATROL,» April 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.gearpatrol.com/watches/a87788/how-to-read-a-watch-bezel/>.

- [15] D. Em, «Next level gents,» October 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://nextlevelgents.com/watch-bezel/>.
- [16] M. Reichardt, «Regatta Yachttimers,» June 2020. [Ηλεκτρονικό]. Available: <http://www.regatta-yachttimers.com/>.
- [17] ROLEX, «YACHT MASTER II MANUAL,» ROLEX, 01 January 2021. [Ηλεκτρονικό]. Available: https://content.rolex.com/dam/media/user-guides/yacht-master/yacht-master-ii/rolex_yacht-master-ii_en.pdf.
- [18] NANO E, «NANO E,» Feb 2022. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://nanoe.com/en/>.
- [19] N. M. E. B. Ricardo Caruso, «Densification kinetics of ZrO₂-based ceramics using a master sintering curve,» σε *Journal of Alloys and Compounds*, 2010, pp. 570-573.
- [20] O. T. G. A. Serkan Saridag, «scribd,» 29 Dec 2015. [Ηλεκτρονικό]. Available: <https://www.scribd.com/document/294245821/Basic-properties-and-types-of-zirconia-An-overview>. [Πρόσβαση 2 2022].
- [21] A. M. F.-F. MehdiMazaheri, «Master sintering curves of a nanoscale 3Y-TZP powder compacts,» σε *Ceramics International*, 2009, pp. 547-554.
- [22] L. E. G. Suárez, «Sintering kinetics of 8Y-cubic zirconia: Cation diffusion coefficient,» σε *Materials Chemistry and Physics*, τόμ. 110, 2008, pp. 370-375.
- [23] WLiL Gao, «Rapid sintering of nanocrystalline ZrO₂(3Y) by spark plasma sintering,» *Journal of the European Ceramic Society*, τόμ. 20, αρ. 14-15, pp. 2441-2445, 2000.