



**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΟΤΗΚΤΩΝ ΠΟΡΣΕΛΑΝΩΝ ΤΙΤΑΝΙΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤ. ΜΟΥΣΤΑΚΑΤΟΣ**

**Επιβλέπουσα: Τσετσέκου Αθηνά**  
**Αναπλ. Καθηγήτρια**

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2012**





**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**

**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΜΕΤΑΛΛΕΙΩΝ - ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΩΝ**

**ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ**

**ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΣΤΟΙΧΕΙΑΚΗΣ ΣΥΝΘΕΣΗΣ ΚΑΙ ΤΗΣ  
ΜΙΚΡΟΔΟΜΗΣ ΧΑΜΗΛΟΤΗΚΤΩΝ ΠΟΡΣΕΛΑΝΩΝ ΤΙΤΑΝΙΟΥ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΓΕΩΡΓΙΟΣ ΣΤ. ΜΟΥΣΤΑΚΑΤΟΣ**

**Επιβλέπουσα: Τσετσέκου Αθηνά  
Αναπλ. Καθηγήτρια**

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή στις

26/07/2012

**Τσετσέκου Αθηνά, Αναπλ. Καθηγήτρια**

..... (Υπογραφή)

**Χαλικιά Ηλιάνα, Καθηγήτρια**

..... (Υπογραφή)

**Παναγόπουλος Χρήστος, Καθηγητής**

..... (Υπογραφή)

**ΑΘΗΝΑ, ΙΟΥΛΙΟΣ 2012**



*“Αφιερώνεται στη μνήμη της μητέρας μου”*



## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το Ti και μερικά από τα κράματά του (Ti6Al4V, Ni-Ti κ.α.) εμφανίζουν σήμερα μια πληθώρα εφαρμογών τόσο στο ευρύτερο πεδίο των βιοϋλικών όσο και στην οδοντιατρική όπου έχει γίνει το υλικό εκλογής για τα ενδοστικά οδοντιατρικά εμφυτεύματα. Παρά το γεγονός ότι οι υπερεμφυτευματικές κατασκευές μπορούν να κατασκευαστούν και από διάφορα άλλα οδοντιατρικά κράματα όπως κράματα Ni-Cr, Co-Cr, Pd-Ag, Au-Pt κ.α. βρίσκει πάντα έδαφος η ιδέα, η υπερκατασκευή να είναι από το ίδιο υλικό για να αποφεύγεται ο κίνδυνος των γαλβανικών φαινομένων.

Παρά το γεγονός ότι η τεχνολογία για την κατασκευή προσθετικών αποκαταστάσεων από Ti έχει κάνει σημαντικές προόδους τα τελευταία χρόνια, υπάρχει μέχρι σήμερα ελάχιστη γνώση για τις ιδιότητες των κεραμικών μαζών που χρησιμοποιούνται για την αισθητική κάλυψη του Ti όπως και για την μηχανική αντοχή αυτής της σύνδεσης. Προσπαθώντας να πραγματευτεί ένα θέμα σύγχρονου προβληματισμού η παρούσα εργασία έχει σαν σκοπό να μελετήσει τη χημική σύνθεση και τη δομή κάποιων σύγχρονων υλικών που χρησιμοποιούνται για την αισθητική κάλυψη του Ti μελετώντας τόσο την μηχανική αντοχή σύμφωνα με τα διεθνή πρότυπα όσο και την μεταλλοκεραμική διεπιφάνεια.

Ωστόσο η ολοκλήρωση αυτή της εργασίας θα ήταν μάλλον αδύνατη χωρίς τη σημαντική συνεισφορά μερικών ανθρώπων στους οποίους θα ήθελα να εκφράσω τις ειλικρινείς μου ευχαριστίες. Πρώτα από όλους στην Επίκουρο Καθηγήτρια κα. Α. Τσετσέκου που ανέλαβε την επίβλεψη αυτής της εργασίας παρά το γεγονός ότι δεν με γνώριζε προσωπικά από την προπτυχιακή μου εκπαίδευση. Στον Καθηγητή κο Χ. Παναγόπουλο και την Καθηγήτρια κα. Η. Χαλικιά για την αμέριστη συμπαράσταση τους σε όλη την διάρκεια της φοίτησής μου στο ΕΜΠ. Στον Καθηγητή κο Γ. Ηλιάδη και ιδιαιτέρως στον Επίκουρο Καθηγητή κο Σ. Ζηνέλη γιατί και μου έδωσαν την δυνατότητα να διεκπεραιώσω μέρος του πειραματικού μου πρωτοκόλλου στο εργαστήριο Βιοϋλικών της Οδοντιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών αλλά και για την συνεισφορά τους στην ορθή αξιολόγηση των αποτελεσμάτων. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένειά μου για την συμπαράσταση και την κατανόηση που μου έδειξαν όλο αυτό τον καιρό που οι υποχρεώσεις για την ολοκλήρωση αυτής της εργασίας με κράτησαν μακριά τους.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν σε πρώτη φάση η μελέτη της χημικής σύνθεσης δύο σύγχρονων πορσελανών Ti και σε δεύτερη φάση ο χαρακτηρισμός της μεταλλοκεραμικής διεπιφάνειας αλλά η μηχανική αντοχή της σύνδεσης των δύο πορσελανών με το Ti σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 9693:1999. Τα υλικά που μελετήθηκαν ήταν η πορσελάνη Initial Ti (GC Corporation, Tokyo, Japan) και η Triceram (Espident-Dentaurum, Ispringen, Germany). Η μορφολογική και η στοιχειακή σύνθεση του συγκολλητικού παράγοντα, της αδιαφάνειας και της οδοντίνης από το κάθε υλικό μελετήθηκαν με SEM/EDX και XRD. Στην συνέχεια κατασκευάστηκαν 20 χυτά δοκίμια (25\*3\*0,5mm) από cpTi και τα δοκίμια χωρίστηκαν σε δύο ομάδες και η κάθε μία καλύφθηκε με διαφορετική πορσελάνη σύμφωνα με τις οδηγίες των κατασκευαστών. Στη συνέχεια οκτώ δοκίμια από την κάθε ομάδα υποβλήθηκαν σε δοκιμή κάμψης τριών σημείων ενώ δύο από αυτά μετά από κατάλληλη προετοιμασία μελετήθηκαν με SEM/EDX.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης έδειξαν ότι οι συγκολλητικοί παράγοντες των δύο πορσελανών ανήκουν σε διαφορετικό σύστημα οξειδίων ενώ αντίθετα μικρές διαφορές έδειξαν η αδιαφάνεια και η οδοντίνη. Η μηχανική δοκιμασία έδειξε ότι μόνο μία από τις δύο πορσελάνες ικανοποιεί τις απαιτήσεις του ISO δηλαδή ξεπερνάει τα 25MPa ενώ η διεπιφανειακή ανάλυση έδειξε την αμοιβαία διάχυση του Ti και των στοιχείων της πορσελάνης στην διεπιφάνεια χωρίς όμως κάποιο από τα στοιχεία που μελετήθηκαν να δείχνει μια τοπική αύξηση ή μείωση της συγκέντρωσής του στη διεπιφάνεια. Οι σημαντικές διαφορές στην ιδιότητες των συγκολλητικών παραγόντων μάλλον σχετίζονται με την διαφορά στην μηχανική αντοχή που αναπτύσσουν οι δύο πορσελάνες με το μεταλλικό υπόστρωμα του χυτού Ti.



## **ABSTRACT**

The purpose of this study was initially to study the chemical composition of two modern low fusing porcelains used for Ti veneering and secondly the interfacial characterization and the bond strength of two porcelain with Ti according to the international standard ISO: 9693:1999. The materials studied were Initial Ti (GC Corporation, Tokyo, Japan) and Triceram (Espident-Dentaurum, Ispringen, Germany). The morphology and elemental composition of the bonding agent, opaque and dentin of each material were studied by SEM/EDX and XRD. Then 20 cast metallic strips (25\*3\*0,5mm) of cpTi and were prepared and divided into two groups and each one was covered with different porcelain according to their manufacturers instructions. Then eight samples from each group underwent three-point bending test while two of them after appropriate metallographic preparation were studied by SEM/EDX.

The elemental and microstructural analysis showed that the bonding agent of two porcelains comprises of completely different constituents while small differences were detected for the opacity and dentin between the two materials tested. The mechanical test showed that only one of two porcelains meets the requirements of ISO that exceed 25MPa while interfacial analysis showed the mutual diffusion of Ti and porcelain elements at the interface without any of the probed elements showing a local increase or decrease in concentration at the interface. Significant differences in the bond strength should be attributed to the differences in the bonding agents found for the materials tested.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΡΟΛΟΓΟΣ</b> .....	1
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΚΗ</b> .....	2
<b>ABSTRACT</b> .....	3
<b>ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ</b> .....	4
<b>I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	6
1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ.....	6
1.1 Κατασκευή κέρινου προτύπου μεταλλικού σκελετού για μεταλλοκεραμική γέφυρα.....	6
1.1.1) Τεχνική κατασκευής κέρινου προτύπου.....	6
1.1.2) Σχεδιασμός του κέρινου προτύπου.....	9
1.2 Τοποθέτηση αγωγών χύτευσης και επένδυση με πυρόχωμα.....	11
1.2.1) Τοποθέτηση ελασσόνων αγωγών.....	12
1.2.2) Σχεδιασμός δεξαμενής μετάλλου.....	12
1.2.3) Τοποθέτηση μειζόνων αγωγών.....	13
1.2.4) Απόσπαση του κέρινου ομοιώματος από το εκμαγείο εργασίας και επένδυση με πυρόχωμα.....	14
1.3 Χύτευση μεταλλικού σκελετού.....	16
1.3.1) Αποκήρωση.....	19
1.3.2) Χύτευση.....	20
1.3.3) Εφαρμογή στο εκμαγείο εργασίας.....	21
1.3.4) Δοκιμή στο Frasaco.....	22
1.4 Προετοιμασία του μεταλλικού σκελετού, όπτηση αδιαφανούς πορσελάνης και δημιουργία του μεταλλοκεραμικού δεσμού.....	23
1.4.1) Μηχανική προετοιμασία του μεταλλικού σκελετού.....	24
1.4.2) Οξείδωση του μεταλλικού σκελετού.....	26
1.4.3) Όπτηση της αδιαφανούς πορσελάνης (opaque).....	28
1.5 Δόμηση και όπτηση κεραμικών μαζών.....	30
1.5.1) Δόμηση εσωτερικών τροποποιητών χρώματος.....	31
1.5.2) Δόμηση σώματος και διαφάνειας.....	33
1.5.3) Όπτηση και ωρίμανση των κεραμικών μαζών.....	35
1.6 Δοκιμή «μπισκότου» στο Frasaco.....	39
1.6.1) Η ρύθμιση των σημείων επαφής.....	39
1.6.2) Η ρύθμιση της ουλικής επαφής των γεφυρωμάτων.....	40
1.6.3) Η έδραση της αποκατάστασης.....	40
1.6.4) Η ρύθμιση της σύγκλεισης.....	41
1.6.5) Η αισθητική διαμόρφωση.....	42
1.7 Επιφανειακή χρώση και τελική εφυάλωση.....	42
1.7.1) Εφαρμογή επιφανειακής χρώσης.....	43
1.7.2) Τελική εφυάλωση.....	45
2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΟΤΗΚΤΩΝ ΠΟΡΣΕΛΑΝΩΝ Ti.....	47
2.1 Ιστορική εξέλιξη των πορσελανών Ti.....	47
3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΥΤΕΥΣΗΣ Ti ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΥΤΩΝ.....	50

3.1 Περιγραφή του εξοπλισμού χύτευσης του Ti.....	51
3.2 Πυροχώματα μαγνησίας.....	54
3.3 Μόλυνση κατά την χύτευση του Ti.....	57
3.4 Ανάπτυξη πορώδους κατά την χύτευση του Ti.....	59
3.4.1 Η διαπερατότητα του πυροχώματος σε διάφορα αέρια.....	59
3.4.2 Η διαφορά της πίεσης του αδρανούς αερίου μεταξύ του χώρου τήξης και του χώρου χύτευσης.....	60
3.4.3 Η ύπαρξη του αδρανούς αερίου μέσα στο θάλαμο χύτευσης.....	60
3.4.4 Μέθοδος χύτευσης.....	61
3.4.5 Ο τύπος του αδρανούς αερίου που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της αδρανούς ατμόσφαιρας.....	61
3.4.6 Ο αριθμός των αγωγών χύτευσης.....	62
3.5 Ακρίβεια των ορίων των χυτών Ti (Castability).....	62
3.5.1 Τύπος πυροχώματος.....	63
3.5.2 Αριθμός αγωγών χύτευσης.....	63
3.5.3 Μέθοδος χύτευσης.....	63
4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ.....	64
<b>II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....</b>	<b>70</b>
1. ΣΚΟΠΟΣ.....	70
1.1 Υλικά και μέθοδος.....	70
1.2 Μορφολογική και στοιχειακή ανάλυση των υλικών με SEM/EDX.....	70
1.3 Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X (XRD).....	71
1.4 Προετοιμασία των δοκιμίων για την μελέτη της διεπιφάνειας και την κάμψη τριών σημείων.....	73
1.5 Μελέτη της διεπιφάνειας με SEM/EDX.....	74
1.6 Κάμψη τριών σημείων σύμφωνα με το ISO 9693:1999.....	74
2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	75
2.1 Μορφολογική και στοιχειακή ανάλυση των υλικών με SEM/EDX.....	75
2.2 Μελέτη της διεπιφάνειας με SEM/EDX.....	83
2.3 Κάμψη τριών σημείων σύμφωνα με το ISO 9693:1999.....	85
3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	86
4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	90

## **I. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ**

### **1. ΜΕΘΟΔΟΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΕΩΝ**

#### **1.1 Κατασκευή κέρινου προτύπου μεταλλικού σκελετού για μεταλλοκεραμική γέφυρα**

Ο μεταλλικός σκελετός αποτελεί ένα πολύ σημαντικό μέρος της ακίνητης μεταλλοκεραμικής προσθετικής εργασίας. Από την αρτιότητα της κατασκευής του εξαρτάται η σωστή εφαρμογή των συγκροτημάτων στα στηρίγματα, η επαρκής υποστήριξη και πρόσφυση της πορσελάνης και η αντοχή της κατασκευής. Προκειμένου να επιτευχθούν οι στόχοι αυτοί, θα πρέπει καταρχήν να διαμορφωθεί σε κερί, το οποίο κατά τη χύτευση θα δώσει τη θέση του στο μεταλλικό κράμα. Η κατασκευή του κέρινου προτύπου του μεταλλικού σκελετού θα πρέπει να περιλαμβάνει λεπτομερή και προσεκτικό σχεδιασμό.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της κατασκευής κέρινου προτύπου μεταλλικού σκελετού για μεταλλοκεραμική γέφυρα οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

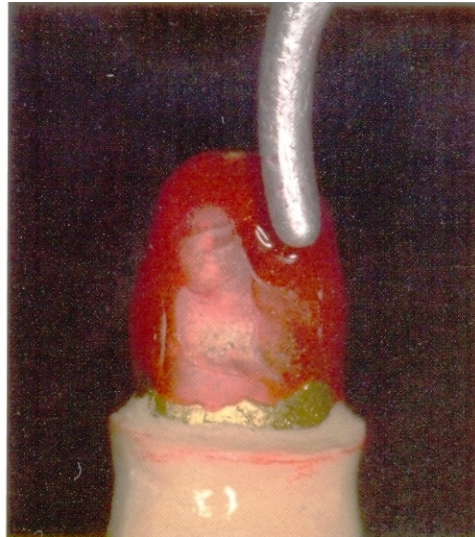
- A) Τεχνική κατασκευής κέρινου προτύπου**
- B) Σχεδιασμός του κέρινου προτύπου**

##### **1.1.1) Τεχνική κατασκευής κέρινου προτύπου**

Η βάση του κέρινου προτύπου στεφάνης κατασκευάζεται σε άμεση σχέση και επαφή με το κολόβωμα. Το κολόβωμα επαλείφεται με τη βοήθεια ενός λεπτού πινέλου με διαχωριστικό υγρό, ώστε να μην κολλήσει το κερί στη γύψο. Ενσταλάζεται λιωμένο κερί με την βοήθεια εργαλείου θερμαινόμενου πάνω από λυχνία (εικ. 1, 2).



Εικόνα 1



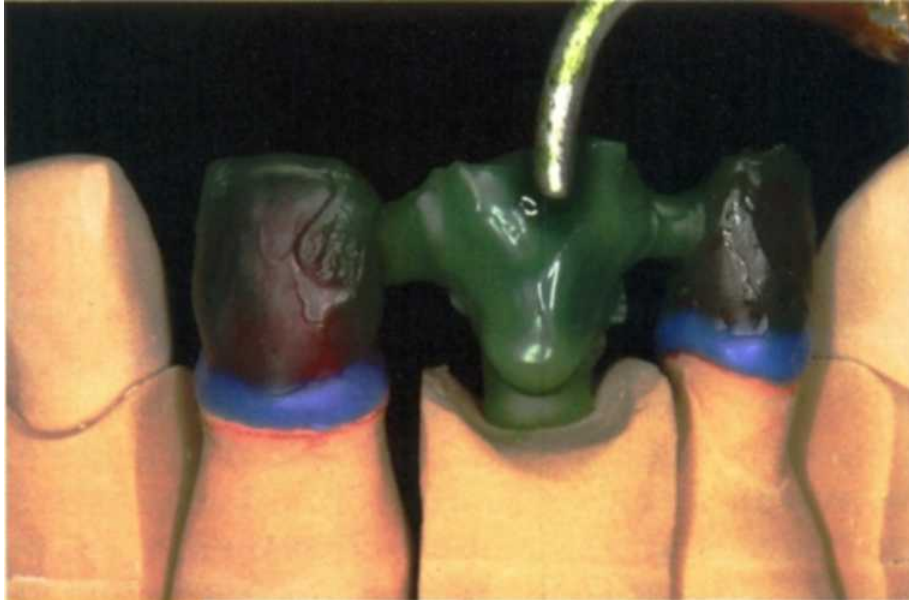
Εικόνα 2

Αρχικά χρησιμοποιείται μαλακό κερί, συνήθως κόκκινου χρώματος, το οποίο τοποθετείται σε στρώμα ελάχιστου δυνατού πάχους. Το κερί αυτό προλαμβάνει τη στρέβλωση του κέρινου προτύπου, διότι κατά την τήξη του δεν ενσωματώνει εσωτερικές τάσεις συστολής και για τον λόγο αυτό θα μπορούσε να θεωρηθεί ως στερούμενο «δομικής μνήμης». Επίσης, εάν η επιφάνεια του κολοβώματος εμφανίζει ανεπαίστετες υποσκαφές, κατά την απόσπαση το κερί αυτό, επειδή είναι πολύ μαλακό, εύκολα παραμορφώνεται, χωρίς να δημιουργήσει στρέβλωση σε ολόκληρο το κέρινο πρότυπο. Ωστόσο, δεν φθάνει μέχρι το τελικό όριο της παρασκευής, αλλά παραμένει σε απόσταση 1-2mm από αυτό, προκειμένου το τελικό αυχενικό όριο να διαμορφωθεί αποκλειστικά από σκληρό κερί (εικ. 3).



Εικόνα 3

Στην επόμενη φάση επικαλύπτεται ολόκληρο το κολόβωμα με σκληρό κερί, διαφορετικού χρώματος, που μ' αυτό δίνεται στη συνέχεια και η τελική μορφή στο κέρινο ομοίωμα. Σε αρκετά σημεία ο μεταλλικός σκελετός χρειάζεται να έχει το ελάχιστο δυνατό πάχος. Όταν το δεύτερο στρώμα κεριού λεπτύνεται και γίνεται διαφανές, διαφαίνεται ελαφρά το κόκκινο χρώμα του πρώτου στρώματος κεριού. Το συνολικό πάχος κεριού τότε αντιστοιχεί σε 0,3mm περίπου και περαιτέρω λέπτυνση δεν ενδείκνυται (εικ. 4).



Εικόνα 4

Τα αυχενικά όρια του κέρινου προτύπου κατασκευάζονται, ώστε να εξασφαλιστεί άριστη εφαρμογή, αντοχή στη στρέβλωση και ευκολία στην πλήρη χύτευσή τους. Για την ικανοποίηση αυτών των λόγων γειτονικά με το όριο το κερί παχύνεται δημιουργώντας σιρίτι. Στόχος είναι η ενίσχυση των λεπτών αυχενικών ορίων. Ένα απλό ανάλογο αυτής της λειτουργίας αποτελεί το ενισχυμένο στόμιο στα πλαστικά ποτηράκια. Επίσης έτσι διευκολύνεται η ροή του μετάλλου στην περιοχή αυτή κατά τη χύτευση. Τέλος, η ενίσχυση αυτή επιτρέπει τη λεπτομερή και ακριβή απόξεση των ορίων με εργαλείο αποξέσεως κηρού, που κινείται στον χώρο της περιφερειακής κοίλανσης κάτω από την τελική γραμμή του αποσπώμενου γύψινου ομοιώματος του παρασκευασμένου δοντιού. Αποξέοντας τις περίσσειες υποκάτω της τελικής γραμμής, αρχίζει να διαφαίνεται η κόκκινη γραμμή της, οπότε και οι χειρισμοί γίνονται απαλότεροι και κατά το δυνατόν ακριβέστεροι, έως ότου αφαιρεθεί πλήρως όλη η περίσσεια αυτή.

### 1.1.2) Σχεδιασμός του κέρινου προτύπου

Εξαιρετικής σημασίας για την επιτυχία της αποκατάστασης είναι ο προσεκτικός σχεδιασμός του κέρινου προτύπου που ουσιαστικά προκαθορίζει τον σχεδιασμό του μεταλλικού σκελετού και επομένως της όλης εργασίας.

Προστομαικά το πάχος ελαχιστοποιείται και το εύρος του αυχενικού σιριτιού περιορίζεται κατά το δυνατό, προκειμένου να επιτρέψει την κάλυψη με κεραμικό υλικό ικανού πάχους, του μεγαλύτερου μέρους της επιφάνειας αυτής (εικ. 5).



Εικόνα 5

Γλωσσικά το σιρίτι αυξάνεται σε ύψος, δημιουργώντας λωρίδα που καταλήγει σε αποστρογγυλεμένο βάθρο, απαραίτητο για την καλύτερη προσαρμογή της πορσελάνης πάνω στο μέταλλο. Το βάθρο αυτό αντιπροσωπεύει το όριο μεταξύ πορσελάνης και μετάλλου, που δεν θα καλυφθεί με κεραμικό υλικό. Επειδή η επαφή μετάλλου και πορσελάνης επιφανειακά θα πρέπει να είναι σαφής, το βάθρο απολήγει πάντα σε ορθή γωνία (εικ. 6).



Εικόνα 6

Το εύρος της γλωσσικής ενισχυτικής λωρίδας αυξάνει από το μέσον προς τις όμορες επιφάνειες και η ακμή του βάρου δημιουργεί κυματοειδή καμπύλη. Η ενίσχυση αυτή αποβλέπει στην αύξηση της αντοχής του σκελετού, χωρίς να αποβαίνει σε βάρος της αισθητικής. Σε μονές στεφάνες ενισχύεται έτσι η υποστήριξη της πορσελάνης στις όμορες περιοχές της μασητικής επιφάνειας. Στα γεφυρώματα, επειδή η κυματοειδής ενίσχυση επιφανειακά δεν θα καλυφθεί από πορσελάνη, ενεργεί ως διαχωριστική ζώνη αποκοπής των εσωτερικών τάσεων που δημιουργούνται με τη συρρίκνωση της πορσελάνης κατά την όπτηση. Επίσης η ενίσχυση αυτή βοηθάει τη γέφυρα να συμπεριφέρεται μηχανικά ως ενιαία δοκός, ιδιότητα εξαιρετικής σημασίας, ιδιαίτερα όταν για την κατασκευή του σκελετού χρησιμοποιηθούν μαλακά, πολύτιμα κράματα Au-Pt.

Οι σύνδεσμοι με γειτονικό συγκρότημα ή γεφύρωμα στην όμορη επιφάνεια θα πρέπει να αποτελούν τη συνέχεια και κατάληξη της γλωσσικής κυματοειδούς ενίσχυσης. Η χυτή αυτή σύνδεση θα πρέπει να εξασφαλίζει την απαιτούμενη αντοχή, να αφήνει χώρο ακροριζικά για το μεσοδόντιο διάστημα, να διευκολύνει τη στοματική υγιεινή και να αφήνει χώρο προστομιακά για τον σε βάθος διαχωρισμό της πορσελάνης των γειτονικών δοντιών για την ικανοποίηση της αισθητικής.

Η αντοχή του συνδέσμου υπακούει στον νόμο των δοκών και εξασφαλίζεται κυρίως από την κατακόρυφη διάσταση της διατομής του που θα πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την οριζόντια διάσταση. Το ακροριζικότερο σημείο του θα πρέπει να αφίσταται της κορυφής της ουλικής θηλής και να έχει αποστρογγυλεμένο σχήμα, που θα διευκολύνει τη στίλβωση του μετάλλου και τη στοματική υγιεινή. Σε διατομή επιδιώκεται το σχήμα τριγώνου με την κορυφή στραμμένη ουλικά, με αποστρογγυλεμένες γωνίες και πλευρές. Η τοποθέτηση της σύνδεσης στο γλωσσικό τριτημόριο της όμορης επαφής ευνοεί την αισθητική, επιτρέποντας μελλοντικά το διαχωρισμό των τεχνητών δοντιών και τη φέρνει σε άμεση συνέχεια με τη γλωσσική κυματοειδή ενίσχυση εξασφαλίζοντας τη μηχανική συμπεριφορά της ενιαίας δοκού.

Το κέρινο πρότυπο θα πρέπει να ακολουθεί τη μορφολογία της τελικής εργασίας σε σταθερή απόσταση. Έτσι το μελλοντικό μεταλλικό υπόστρωμα θα υποστηρίξει σωστά το κεραμικό υλικό σε σταθερό πάχος. Είναι πολύ σημαντικό να υπάρχει άμεση συσχέτιση της κατασκευής του κέρινου προπλάσματος με το επιθυμητό τελικό αποτέλεσμα.

Κοπτικά ιδιαίτερη προσοχή απαιτούν οι κοπτικές γωνίες των τομέων. Επίσης, όταν κατασκευάζονται γεφυρώματα στην πρόσθια περιοχή, η θέση τους μέσα στον χώρο θα πρέπει να έχει επιβεβαιωθεί λειτουργικά και αισθητικά με τις μεταβατικές



αποκαταστάσεις. Προκειμένου να υπάρχει συσχετισμός αυτού του αποτελέσματος με το εκμαγείο εργασίας, κατασκευάζεται προοτομιακό (και σε ορισμένες περιπτώσεις γλωσσικό) κλειδί-οδηγός στοκώδους σιλικόνης από το εκμαγείο των μεταβατικών αποκαταστάσεων. Ο οδηγός αυτός κατευθύνει τον προσανατολισμό του κέρινου προτύπου, ώστε ο μελλοντικός μεταλλικός σκελετός να υποστηρίζει επαρκώς την κεραμική επικάλυψη και την πλήρη κυρτότητα του οδοντικού τόξου.

Μασητικά αν πρόκειται για μία μόνο στεφάνη ή γέφυρα στην περιοχή των πίσω δοντιών, η απλή ανάρτηση στον αρθρωτήρα και συσχετισμός του κέρινου προτύπου, τόσο με τα γειτονικά δόντια όσο και με τον απέναντι φραγμό, στις περισσότερες των περιπτώσεων επαρκεί. Η διαμόρφωση της μασητικής επιφάνειας θα πρέπει να υποστηρίζει τη σχέση βοθρίου προς φύμα με τα απέναντι δόντια.

## **1.2 Τοποθέτηση αγωγών χύτευσης και επένδυση με πυρόχωμα**

Μετά τη διαμόρφωση του κέρινου προτύπου ακολουθεί η τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης. Το σύστημα κέρινου προτύπου-αγωγών στη συνέχεια επενδύεται με πυρόχωμα, έτσι ώστε μετά την εξάχνωση του με θερμική αποκύρωση δημιουργείται στο εσωτερικό του πυροχώματος κενός χώρος (καλούπι). Ο τρόπος τοποθέτησης των αγωγών επί του κέρινου προτύπου αποβλέπει στη δημιουργία χοανοειδούς δικτύου, που θα εξασφαλίσει την απρόσκοπτη ροή του τηγμένου κράματος μετάλλου και την πλήρη χύτευση του μεταλλικού υποστρώματος της αποκατάστασης.

Κατά τη σύνθεση του δικτύου αυτού θα πρέπει να λαμβάνεται υπ' όψιν, ότι οι λεπτότερες περιοχές του χυτού στερεοποιούνται πιο γρήγορα και επομένως το κράμα ψύχεται και συστέλλεται ανομοιογενώς. Οι ταχύτερα ψυχόμενες περιοχές συστέλλονται και τείνουν να τραβήξουν το κράμα από περιοχές μεγάλου όγκου που ψύχονται βραδύτερα. Έτσι το σύστημα των αγωγών περιλαμβάνει τους ελάσσονες και μείζονες αγωγούς που μεταξύ τους παρεμβάλλεται η δεξαμενή μετάλλου.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της τοποθέτησης των αγωγών χύτευσης και επένδυσης του κέρινου προτύπου με πυρόχωμα, οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

**A) Τοποθέτηση ελασσόνων αγωγών**

**B) Σχεδιασμός δεξαμενής μετάλλου**

**Γ) Τοποθέτηση μειζόνων αγωγών**

## **Δ) Απόσπαση του κέρινου ομοιώματος από το εκμαγείο εργασίας και επένδυση με πυρόχωμα**

### **1.2.1) Τοποθέτηση ελασσόνων αγωγών**

Οι ελάσσονες αγωγοί τοποθετούνται επί του κέρινου προτύπου. Επιλέγονται αγωγοί μικροί σε μήκος που δεν υπερβαίνει τα 5mm, με διάμετρο ανάλογη με το πάχος του σκελετού, ώστε να μη στερεοποιηθούν νωρίτερα τραβώντας κατά τη συστολή τους ρευστό μέταλλο από την αποκατάσταση. Αυτό θα είχε ως αποτέλεσμα την πλημμελή χύτευση ή τη δημιουργία πόρων.

Η τοποθέτηση τους προτιμάται να γίνεται στα συγκροτήματα και όχι στους συνδέσμους (εικ. 7). Στην πιθανότητα δημιουργίας πορότητος στο σημείο συνδέσεως των αγωγών με την αποκατάσταση είναι ασφαλέστερο να αποκλείεται η περιοχή των συνδέσμων.



Εικόνα 7

Τα σημεία σύνδεσης των αγωγών με το κέρινο πρότυπο ενισχύονται με συγκολλητικό κερί κατά τρόπο ώστε να εξουδετερώνονται οι οξείες γωνίες και να δημιουργείται χοάνη. Έτσι διευκολύνεται η ροή του μετάλλου και αποφεύγεται η απόσπαση κάποιας γωνίας του πυροχώματος η οποία, παρασυρόμενη σε κάποιο άλλο σημείο του αποκηρωμένου θαλάμου, θα δημιουργούσε ατελές χυτό.

### **1.2.2) Σχεδιασμός δεξαμενής μετάλλου**

Σπουδαίο ρόλο στη συνεχή παροχή τηγμένου κράματος προς το χυτό παίζουν οι δεξαμενές μετάλλου. Κατά την ψύξη και συστολή της αποκατάστασης οι δεξαμενές αυτές διατηρώντας για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα το κράμα σε τήξη τροφοδοτούν το

συστελλόμενο χυτό συνεχώς με ρευστό μέταλλο. Συνήθως, σε μικρές αποκαταστάσεις, όπως μονές στεφάνες, οι δεξαμενές είναι σφαιρικού σχήματος και τοποθετούνται πάνω στον αγωγό χύτευσης, κοντά στο σημείο σύνδεσης του με το χυτό, αφορίζοντας την ελάσσονα από τη μείζονα μοίρα του.

Σε μεγάλες αποκαταστάσεις προτιμάται η σύνδεση του κέρινου προτύπου με οριζόντια πλαστική δοκό μέσω πολλαπλών μικρότερου μεγέθους ελασσόνων αγωγών. Η οριζόντια αυτή δοκός παίζει το ρόλο δεξαμενής συνεχούς παροχής τηγμένου μετάλλου, σε μικρή απόσταση από όλα τα μέρη της αποκατάστασης. Επίσης εξασφαλίζει μηχανική



Εικόνα 8

σταθερότητα και αντίσταση σε πιθανή στρέβλωση του κέρινου προτύπου μετά την απόσπαση του από το εκμαγείο εργασίας (εικ. 8).

### **1.2.3) Τοποθέτηση μειζόνων αγωγών**

Η δεξαμενή μετάλλου συνδέεται στη συνέχεια με ένα ή περισσότερους μείζονες αγωγούς που εστιάζονται κεντρικά σε ένα σημείο (εικ. 9).



Εικόνα 9

Από αυτό το σημείο θα αρχίσει η είσοδος του κράματος στο εσωτερικό του πυροχώματος. Η κλίση των αγωγών αυτών ως προς τη φορά ροής του μετάλλου δεν πρέπει να είναι μεγάλη, προκειμένου να διευκολυνθεί η άμεση πλήρωση της δεξαμενής κατά τη χύτευση. Το μήκος επομένως των αγωγών αυξάνεται όσο η έκταση της αποκατάστασης διευρύνεται.

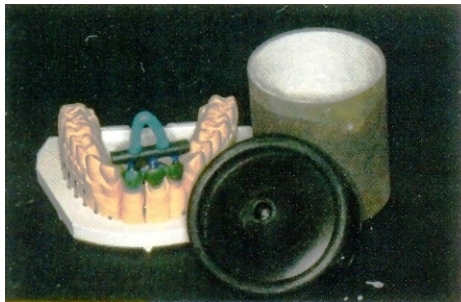
Έτσι ολοκληρώνεται το σύστημα αγωγών που συνδέει το κέρινο πρότυπο με το σημείο εισόδου. Μετά την εξάχωση του θα δημιουργήσει χαονοειδές δίκτυο επικοινωνίας στο εσωτερικό του πυροχώματος μεταξύ του καλουπιού της αποκατάστασης και του στομίου εισόδου, εξασφαλίζοντας την απρόσκοπτη ροή του τηγμένου κράματος μετάλλου και την πλήρη χύτευση του μεταλλικού υποστρώματος της αποκατάστασης.

#### **1.2.4) Απόσπαση του κέρινου ομοιώματος από το εκμαγείο εργασίας και επένδυση με πυρόχωμα**

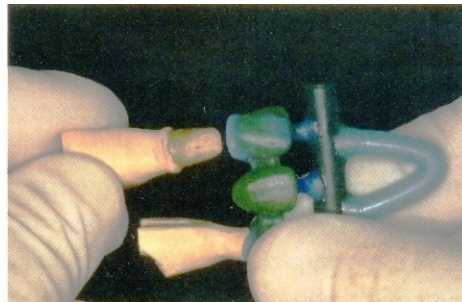
Η απόσπαση του κέρινου προτύπου χρειάζεται προσοχή στους χειρισμούς για την αποφυγή της στρέβλωσής του ή ακόμη και της θραύσης του. Ιδιαίτερη όμως προσοχή απαιτείται κατά την απόσπαση γεφυρών από το εκμαγείο, οπότε η εργασία, ολοκληρωμένη πλέον, είναι ενωμένη σε ένα κομμάτι. Συστήματα κινητών κολοβωμάτων που παρέχουν μεγάλη συγκράτηση με την βάση του εκμαγείου, δυσκολεύουν την ταυτόχρονη απόσπαση περισσότερων του ενός κολοβωμάτων και αυξάνουν την πιθανότητα στρέβλωσης μιας μεγάλης αποκατάστασης. Αντίθετα, τα συστήματα που προωθούν και απελευθερώνουν ταυτόχρονα όλα τα κολοβώματα διευκολύνουν και απλουστεύουν τη διαδικασία, ενώ ταυτόχρονα ελαχιστοποιούν τον κίνδυνο στρέβλωσης του κέρινου προτύπου.

Μετά την αποδέσμευση των κολοβωμάτων από τη βάση του εκμαγείου, αφαιρούνται ένα-ένα από το κέρινο πρότυπο. Το σημείο συμβολής των μειζόνων αξόνων συγκολλείται στην κορυφή ελαστικού ή σκληρού (ξύλινου ή πλαστικού) κώνου κατάλληλου μεγέθους ανάλογου με την έκταση της αποκατάστασης.

Ο κώνος αυτός θα αποτελέσει τη βάση του κυλινδρικού χώρου μέσα στον οποίο θα χυθεί το πυρόχωμα και θα δημιουργήσει την κεντρική χοάνη εισόδου του κράματος μέσα στο καλούπι (εικ. 10, 11).



Εικόνα 10



Εικόνα 11

Η βελτίωση της διαβροχής του κέρινου ομοιώματος από το πυρόχωμα επιτυγχάνεται με ψεκασμό ειδικού υγρού, που ελαττώνει τις επιφανειακές τάσεις. Στη συνέχεια στεγνώνεται με αέρα. Επιλέγεται δακτύλιος κατάλληλου μεγέθους, ώστε το ομοίωμα να απέχει από την κορυφή και τα τοιχώματα του περίπου 6mm (εικ. 12). Το πάχος αυτό, ενώ εξασφαλίζει την απαραίτητη αντοχή του πυροχώματος, επιτρέπει συγχρόνως και τη διαφυγή των αερίων εξάχνωσης κατά την αποκύρωση.



Εικόνα 12



Εικόνα 13



Εικόνα 14

Το εσωτερικό του δακτυλίου επενδύεται με φύλλο ενδοτικού και παράτονου υλικού. Έτσι δίνεται η δυνατότητα στο πυροχώμα να διασταλεί κατά την προθέρμανση πριν τη χύτευση, αντιρροπίζοντας έτσι τη συστολή του κράματος κατά τη στερεοποίησή του. Το φύλλο διαβρέχεται, ώστε να μην απορροφήσει υγρό από το φύραμα του πυροχώματος (εικ. 13, 14).

Η ανάμειξη του πυροχώματος αφορά στο υγρό και τη σκόνη του, στις ακριβείς αναλογίες που προτείνει ο κατασκευαστής. Η ανάμειξη καλό είναι να γίνεται με τη βοήθεια αναδευτήρα αρνητικής πίεσης που απελευθερώνει τις φυσαλίδες αέρα, ενώ το κέρινο ομοίωμα επενδύεται κάτω από συνεχή δόνηση αποφεύγοντας τον εγκλωβισμό τους.

Είναι σημαντικό να τηρούνται οι οδηγίες του κατασκευαστή όσον αφορά την αναλογία υγρού/σκόνης του πυροχώματος. Λιγότερο ή περισσότερο υγρό απ' αυτό που προτείνεται μπορεί να προκαλέσει ανώμαλη επιφάνεια στο χυτό. Επίσης από αυτή την αναλογία επηρεάζεται ως ένα βαθμό η υγροσκοπική και θερμική διαστολή του πυροχώματος.

### 1.3 Χύτευση μεταλλικού σκελετού

Η χύτευση μεταλλικών κραμάτων υπηρέτησε εξ αρχής με επιτυχία την Ακίνητη Προσθετική. Εφαρμόστηκε επίσης με επιτυχία και για την κατασκευή των υποστρωμάτων της μεταλλοκεραμικής αποκατάστασης από τη δεκαετία του '60 και έως σήμερα. Γίνεται κατανοητό ότι, ενώ η τεχνολογία εξελίσσεται, η κλασική αυτή μέθοδος θα παραμείνει για πολλά χρόνια ακόμα ως μέθοδος εκλογής για τον μεγαλύτερο όγκο των μεταλλοκεραμικών κατασκευών.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της χύτευσης του μεταλλικού σκελετού, οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

**A) Αποκήρωση**

**B) Χύτευση**

**Γ) Εφαρμογή στο εκμαγείο εργασίας**

**Δ) Δοκιμή στο Frasaco**

### **Επιλογή κράματος για την μεταλλοκεραμική αποκατάσταση και εναλλακτικές λύσεις**

Το μεταλλικό κράμα από το οποίο θα προκύψει το υπόστρωμα της μεταλλοκεραμικής αποκατάστασης οφείλει να διαθέτει συγκεκριμένες βιολογικές, φυσικές και χημικές ιδιότητες. Οι προδιαγραφές επιλογής του καθορίζονται από το πολυσύνθετο σύνολο των απαραίτητων επιμέρους ιδιοτήτων του. Ορισμένες από αυτές παρατίθενται ως εξής:

Από άποψη **βιολογικών** ιδιοτήτων το κράμα

- δεν πρέπει να οξειδώνεται αλλά οφείλει να παραμένει μακροπρόθεσμα χημικά αδρανές κάτω από τις φυσιολογικές συνθήκες του στοματικού περιβάλλοντος. Για τον λόγο αυτό για την κυρίως μάζα του κράματος έχουν προταθεί κατά καιρούς βιολογικά αδρανή μέταλλα και οι επιλεκτικοί μη οξειδωμένοι συνδυασμοί τους Au-Pt, Pd-Ag, Cr-Co, Cr-Ni, Ti. Εξ αυτών το Ti ενώ εμφανίζεται κατ' αρχήν επιρρεπές σε οξείδωση, μόλις δημιουργήσει επιφανειακά λεπτή προστατευτική στοιβάδα οξειδίων, παραμένει μακροπρόθεσμα εξαιρετικά αδρανές και θεωρείται το κατ' εξοχήν βιοσυμβατό μέταλλο.
- οφείλει να μην ευνοεί την ανάπτυξη αλλεργικών αντιδράσεων. Το Ni κυρίως έχει ενοχοποιηθεί ως αλλεργιογόνο και γι' αυτό έχει καταργηθεί. Αλλεργικές αντιδράσεις έχουν επίσης σε μικρότερο βαθμό αναφερθεί στα κράματα Au και Cr.

Από άποψη **φυσικών** ιδιοτήτων το κράμα

- πρέπει να είναι σκληρό και άκαμπτο, ώστε ακόμη και σε λεπτά πάχη να μην ενδίδει σε πλαστικές και ελαστικές παραμορφώσεις. Το άκαμπτο κεραμικό υλικό που υπερκαλύπτει το μεταλλικό υπόστρωμα, αδυνατώντας να παρακολουθήσει τις παραμορφώσεις αυτές, σπάει. Τα κράματα Cr-Co, Cr-Ni και Ti, υπερτερώντας ως προς την ιδιότητα αυτή, επιτρέπουν κατασκευή μεταλλικών υποστρωμάτων αυχενικού πάχους >0,2mm και λεπτότερες κατασκευές στην περιοχή των συνδέσμων. Αντίθετα, τα κράματα των Au-Pt και Pd-Ag απαιτούν αυχενικό πάχος >0,3mm και ιδιαίτερη ενίσχυση στις περιοχές των συνδέσμων.

- πρέπει να διαθέτει σημείο τήξεως που να είναι αρκετά ψηλότερο από εκείνο της όπτησης και ωρίμανσης του κεραμικού υλικού. Σε αντίθετη περίπτωση, η παραμόρφωση μεγάλων αποκαταστάσεων μετά την όπτηση της πορσελάνης είναι ένα σύνηθες φαινόμενο (sagging). Και εδώ φαίνεται πως υπερτερούν τα Cr-Co και Cr-Ni με ψηλότερο σημείο τήξεως των Au-Pt, Pd-Ag και Ti. Οι πορσελάνες χαμηλού σημείου όπτησης και ωρίμανσης εξουδετερώνουν κάπως το πρόβλημα αυτό.
- κατά τη χύτευσή του σε τετηγμένη μορφή οφείλει να είναι εξαιρετικά λεπτόρρευστο, ώστε να εισρέει και να αποδίδει με ακρίβεια όλες τις λεπτομέρειες του καλουπιού που δημιουργεί μέσα στο πυρόχωμα το κέρινο πρότυπο μετά την εξάχνωσή του και ιδιαίτερα των αυχενικών ορίων. Για τον σκοπό αυτό στα κράματα προστίθενται άλλα μέταλλα με τη μορφή ιχνοστοιχείων όπως τα Ga, Zn, In και Be. Το τελευταίο, λόγω ενοχοποίησής του για τη δυσμενή επίδραση στο αναπνευστικό σύστημα με τη μορφή της βηρυλλίωσης κατά την κατεργασία των υποστρωμάτων στα οδοντοτεχνικά εργαστήρια, έχει καταργηθεί.
- πρέπει να διαθέτει πορεία θερμικής διαστολής κατά την όπτηση της πορσελάνης και αντίστοιχα συστολής κατά την ψύξη, που να συμβαδίζει με εκείνη του κεραμικού υλικού. Προκειμένου να συμπλησιάσουν οι συντελεστές θερμικής διαστολής, προστίθενται στο κράμα και άλλα μέταλλα με τη μορφή ιχνοστοιχείων.

Από άποψη **χημικών** ιδιοτήτων το κράμα

- ενώ ως αναφέρθηκε δεν πρέπει να οξειδώνεται στο στοματικό περιβάλλον, οφείλει κάτω από συγκεκριμένες θερμοκρασιακές συνθήκες να παρέχει ένα λεπτό και ελεγχόμενο επιφανειακό στρώμα οξειδίων, χρήσιμο στην ανάπτυξη του μεταλλοκεραμικού δεσμού. Για τον σκοπό αυτό προστίθεται ομάδα άλλων ιχνοστοιχείων, διαφορετικών για κάθε ομάδα κραμάτων. Στα κράματα Au-Pt προστίθεται Sn, In, στα κράματα Pd-Ag προστίθεται In, Ga, Cu, στα κράματα Cr-Ni, Cr-Co προστίθεται Be, Hf, Y.

Όταν το κράμα τήκεται, η εσωτερική κρυσταλλική δομή του μετατρέπεται σε άμορφη. Είναι ευνόητο ότι κατά την ανάκτηση της κρυσταλλικής δομής του κατά την πήξη, η πρότερη εσωτερική κατανομή των μετάλλων που το απαρτίζουν αλλοιώνεται κάπως. Η αλλοίωση αυτή είναι ιδιαίτερα καταστροφική από πλευράς ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος, αναφορικά με τα μέταλλα που συνυπάρχουν με τη μορφή των ιχνοστοιχείων, τα οποία άλλοτε σε άλλο βαθμό ή «χάνονται» ή «καίγονται». Τόσο η υπερβολική αύξηση



της θερμοκρασίας πέραν του σημείου τήξεως, όσο και οι πολλαπλές επαναχυτεύσεις του ίδιου κράματος χωρίς την προσάρτηση ικανής ποσότητας νέου, οδηγούν με βεβαιότητα στην άλλοτε σε άλλο βαθμό ακύρωση των σημαντικών ιδιοτήτων που εξασφαλίζει η παρουσία των ιχνοστοιχείων.

Το πολυσύνθετο της εσωτερικής δομής του προϊόντος της χύτευσης των μεταλλικών κραμάτων, καθώς και η πολυπλοκότητα της εργαστηριακής διαδικασίας της, που δεν είναι άμοιρη προβλημάτων, επιβάλλουν την αναζήτηση νέων μεθόδων και υλικών που τείνουν να την αντικαταστήσουν. Ήδη η ψηφιακή τεχνολογία με τη μέθοδο του ηλεκτρονικού σχεδιασμού και ηλεκτρονικής κατασκευής **CAD-CAM (Computer Assisted Design - Computer Assisted Manufacturing)** έχει δυναμικά εισχωρήσει, προσφέροντας δύο πολύ σημαντικά πλεονεκτήματα:

- Επιτυγχάνεται άριστη εφαρμογή. Το εκμαγείο εργασίας ψηφιοποιείται με ηλεκτρονική σάρωση (scanning). Επ' αυτού ακολουθεί ή ο ψηφιακός σχεδιασμός της υπερκατασκευής ή η ηλεκτρονική σάρωση του κέρινου προτύπου της. Και στις δύο περιπτώσεις αποφεύγεται η διαδικασία απόσπασης και χύτευσής του, αποκλείοντας έτσι όλα τα πιθανά λάθη εφαρμογής που η διαδικασία αυτή εγκυμονεί.
- Χρησιμοποιείται αδρανές, βιοσυμβατό, βιομηχανικά κατεργασμένο υλικό, Ti, Zr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ή κράμα Cr-Co, που μετά την ολοκλήρωση της κατασκευής του σκελετού παραμένει αναλλοίωτο, αφού αυτούσια η πρώτη ύλη ψηφιακά εκτροχίζεται.

### 1.3.1) Αποκήρωση

Η αποκήρωση του δακτυλίου που περιέχει το επενδεδυμένο κέρινο ομοίωμα του μεταλλικού σκελετού γίνεται σε ειδικό κλίβανο, αφού περάσουν τουλάχιστον 45-60' από τη στιγμή της επένδυσης. Λιγότερος χρόνος συνεπάγεται ανεπαρκή στερεοποίηση του πυροχώματος και μπορεί να οδηγήσει σε χυτό με ανώμαλη επιφάνεια. Αν, αντίθετα, η επένδυση έγινε πολλές ώρες πριν, το θερμαινόμενο πυρόχωμα που έχει χάσει την υγρασία και την ελαστικότητα του, κατά τη θερμική διαστολή του κινδυνεύει να σπάσει. Σε αυτή την περίπτωση πριν μπει ο δακτύλιος στον φούρνο για αποκήρωση, θα πρέπει να τοποθετηθεί σε δοχείο με νερό για μερικά λεπτά.

Κατά την αποκήρωση, η θερμοκρασία πρέπει να ανεβαίνει αργά και σταδιακά. Φθάνοντας στη θερμοκρασία εξάχνωσης του κεριού παραμένει σταθερή για αρκετή ώρα, ανάλογα με το μέγεθος της αποκατάστασης. Απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας

μπορεί να προκαλέσουν ρωγμές στο πυρόχωμα, οι οποίες θα οδηγήσουν σε ελαττωματικό χυτό (πτερύγια και παραμορφώσεις).

Η προθέρμανση του δακτυλίου πριν τη χύτευση σε ανώτερη θερμοκρασία της αποκήρωσης μειώνει τη διαφορά της από εκείνη που θα έχει το τηγμένου κράμα διευκολύνοντας τη χύτευσή του. Την άνοδο της θερμοκρασίας ακολουθεί η παραμονή του δακτυλίου σε αυτή για 2 ώρες τουλάχιστον, ώστε να εξαλειφθούν κατά το δυνατόν τα υπολείμματα του άνθρακα που σχηματίστηκαν κατά την αποκήρωση. Επίσης δίνεται ο απαραίτητος χρόνος προκειμένου να λάβει χώρα η απαραίτητη θερμική διαστολή του πυροχώματος που πρόκειται να αντισταθμίσει τη συστολή του χυτού κατά την ψύξη του κράματος.

### 1.3.2) Χύτευση

Η τήξη του κράματος γίνεται σε κεραμικό σκαφίδιο φυγοκεντρικής συσκευής με το φλόγιστρο παροχής  $O_2$ , σε συνδυασμό κάποιου κατάλληλου αερίου (προπάνιο, ασετιλίνη, αέρα). Η φλόγα που σχηματίζεται, αποτελείται από τρεις κώνους που διακρίνονται καθαρά ο ένας από τον άλλο. Η τήξη του μετάλλου γίνεται σηματοδοτώντάς το με την κορυφή του μεσαίου κώνου.

Αρχικά θερμαίνεται το σκαφίδιο και στη συνέχεια τοποθετείται το μεταλλικό κράμα το οποίο και τήκεται. Με γρήγορες κινήσεις, για να μην κατέβει η θερμοκρασία, μεταφέρεται ο δακτύλιος από τον φούρνο στην ειδική υποδοχή της φυγοκεντρικής συσκευής. Απελευθερώνεται ο ακινητοποιημένος βραχίονας που περιστρέφεται με ταχύτητα και το μέταλλο ωθείται φυγοκεντρικά μέσω της χοάνης του κώνου και των αγωγών στο εσωτερικό του δακτυλίου. Με τον τερματισμό της περιστροφής, η επιτυχής χύτευση διαπιστώνεται από την εμφάνιση του ερυθρού δίσκου πυρωμένου κράματος που αποφράσσει μερικώς τη χοάνη του πυροχώματος (εικ. 15).



Εικόνα 15

Αυτόματες ηλεκτρονικές συσκευές τήξης και χύτευσης του μετάλλου με επαγωγή, παρέχουν απόλυτο έλεγχο της θερμοκρασίας τήξεως και μεγάλη ευκολία στους χειρισμούς.

### 1.3.3) Εφαρμογή στο εκμαγείο εργασίας

Η απόσπαση του χυτού από το πυρόχωμα γίνεται, αφού προηγηθεί η αργή ψύξη του δακτυλίου. Το πυρόχωμα θραύεται και απομακρύνεται και το χυτό καθαρίζεται από τα υπολείμματά του με αμμοβολή (εικ. 16, 17, 18).



Εικόνα 16



Εικόνα 17



Εικόνα 18

Με μικρή φρέζα καρβιδίου λειαίνονται οι μικρές φυσαλίδες που τυχόν σχηματίστηκαν κατά την επένδυση στο εσωτερικό των στεφάνων και ιδιαίτερα στις γωνίες.

Η δοκιμή και εφαρμογή των στεφάνων γίνεται επί αντιγράφων των ομοιωμάτων των παρασκευασμένων δοντιών, που στερούνται επάλειψης με βερνίκι δημιουργίας χώρου. Τα ομοιώματα αυτά προκύπτουν από αντίγραφο εκμαγείου του τελικού αποτυπώματος. Έτσι αποφεύγεται ο «τραυματισμός» των αυθεντικών ομοιωμάτων. Η προεξοχή που ενδεχομένως αναχαιτίζει την πλήρη έδραση της στεφάνης, διαπιστώνεται με τη βοήθεια επάλειψης του αντιγράφου του ομοιώματος με ειδική χρωστική που σημαδεύει σημειακά το εμπόδιο. Η εξουδετέρωσή του γίνεται με μικρή φρέζα καρβιδίου και η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου επέλθει η πλήρης έδραση της κάθε στεφάνης ξεχωριστά. Τότε μόνο κόβονται οι αγωγοί χύτευσης, εξομαλύνεται η περιοχή της τομής τους και λειαίνεται καθολικά η κατασκευή (εικ. 19, 20).



Εικόνα 19



Εικόνα 20

#### 1.3.4) Δοκιμή στο Frasaco

Η δοκιμή του σκελετού στο Frasaco αναλογεί με την εξαιρετικής σημασίας συνεδρία του κλινικού ελέγχου στον ασθενή.

Η εφαρμογή των συγκροτημάτων στα παρασκευασμένα δόντια γίνεται με αντίστοιχο τρόπο με τη δοκιμή στα αντίγραφα των ομοιωμάτων των παρασκευασμένων δοντιών του εκμαγείου εργασίας. Η διάγνωση παρεμβολών που εμποδίζουν την πλήρη έδραση πραγματοποιείται εδώ με επάλειψη του εσωτερικού των στεφάνων με λεπτόρρευστη σιλικόνη αποτύπωσης, πριν την τοποθέτησή τους στα παρασκευασμένα δόντια. Εάν μετά την πήξη της η σιλικόνη εμφανίζεται αδιαφανής λόγω αυξημένου πάχους, η εφαρμογή είναι κακή. Η τοπική και περιγραμμένη λέπτυνση και διάτρηση της υποδηλώνει μεταλλική προσεκβολή. Η περιοχή αυτή σημειώνεται με κόκκινο μολύβι και τροχίζεται προσεκτικά με φρέζα καρβιδίου μετά την απόσπαση της σιλικόνης.

Η εφαρμογή της γέφυρας ως σύνολου επιβεβαιώνεται από τη σταθερότητα που εμφανίζει στις πιέσεις που ασκούνται μεμονωμένα στα επιμέρους συγκροτήματα. Εάν πιέζοντας το άπω στήριγμα ανασηκώνεται ελαφρώς το εγγύς και, αντίθετα, εάν πιέζοντας το εγγύς ανασηκώνεται το άπω, πιστοποιείται κακή εφαρμογή (rocking). Η κακή εφαρμογή των γεφυρών είναι δυνατόν να οφείλεται σε στρέβλωση του κέρινου προτύπου πριν τη χύτευση. Στην περίπτωση αυτή θα πρέπει ο μεταλλικός σκελετός να κοπεί και να γίνει επανασυγκόλληση.

Η εφαρμογή των αυχενικών ορίων συνεπάγεται τη σύμπτωσή τους με το τελικό όριο της παρασκευής (ακμή διέδρης γωνίας που δημιουργείται μεταξύ των επιφανειών παρασκευασμένης και άθικτης οδοντικής ουσίας). Με τη βοήθεια του ανιχνευτήρα ανιχνεύεται καταρχήν το όριο της παρασκευής με το συγκρότημα ελαφρώς ανασηκωμένο. Κατόπιν, αφού επέλθει η πλήρης έδραση του συγκροτήματος, επιβεβαιώνεται η πλήρης ή μη κάλυψη της επιφάνειας της παρασκευασμένης οδοντικής ουσίας από τη στεφάνη. Θα

πρέπει ο ανιχνευτήρας απρόσκοπτα να μεταβαίνει από την οδοντική ουσία στην επιφάνεια του μετάλλου, πιστοποιώντας έτσι την καλή εφαρμογή.

Ο έλεγχος της σύγκλεισης αφορά αποκλειστικά την πιστοποίηση της ύπαρξης επαρκούς χώρου για την πορσελάνη καθώς και την κατάλληλη υποστήριξή της. Για τα πρόσθια δόντια αξιολογείται κυρίως ο χώρος γλωσσικά και η υποστήριξη της μελλοντικής κεραμικής επικάλυψης κοπτικά. Για τα οπίσθια δόντια θα πρέπει να επιβεβαιωθεί αντίστοιχα η ύπαρξη χώρου μασητικά, καθώς και η επαρκής υποστήριξη των λειτουργικών φυμάτων. Στη φάση αυτή διορθώσεις είναι δυνατόν να γίνουν μόνο αφαιρετικά για τη δημιουργία του απαραίτητου χώρου. Εξάλλου, εάν υπάρχουν σημεία όπου οι συγκλεισιακές επαφές θα γίνουν με το μέταλλο, θα πρέπει σε αυτήν τη φάση να γίνει η εξισορρόπηση της σύγκλεισης.

#### **1.4 Προετοιμασία του μεταλλικού σκελετού, όπτηση αδιαφανούς πορσελάνης και δημιουργία του μεταλλοκεραμικού δεσμού**

Η μεταλλοκεραμική αποκατάσταση είναι ένα ετερογενές σύμπλεγμα που συντίθεται από υλικά με εντελώς διαφορετικές φυσικές και χημικές ιδιότητες μεταξύ τους. Το γεγονός ότι επί μισό αιώνα το σύμπλεγμα αυτό έχει καθιερωθεί ως το κατ' εξοχήν του υλικό εκλογής στην Ακίνητη Προσθετική οφείλεται στη δημιουργία του μεταλλοκεραμικού δεσμού. Η σύζευξη των υλικών που επιτυγχάνεται χάρη σ' αυτόν επιτρέπει την αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων εφαρμογής και αντοχής των μεταλλικών κραμάτων με την αισθητική υπεροχή και σταθερότητα στο στοματικό περιβάλλον της πορσελάνης. Αποτυχία στη δημιουργία δεσμού μεταξύ μεταλλικού υποστρώματος και κεραμικής επικάλυψης συνεπάγεται αποκόλλησή της και επομένως αποτυχία της εργασίας.

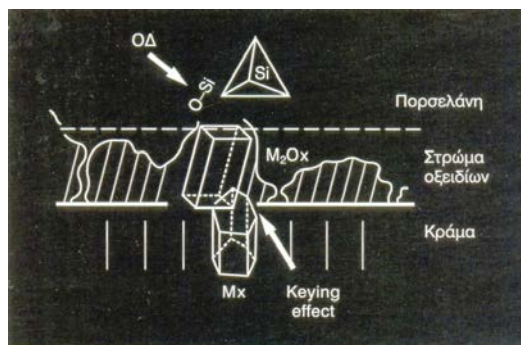
Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της προετοιμασίας του μεταλλικού σκελετού, όπτησης αδιαφανούς πορσελάνης και δημιουργία του μεταλλοκεραμικού δεσμού, οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

- A) Μηχανική προετοιμασία του μεταλλικού σκελετού**
- B) Οξείδωση του μεταλλικού σκελετού**
- Γ) Όπτηση της αδιαφανούς πορσελάνης**

## Ο Μεταλλοκεραμικός Δεσμός

Στη διεπιφάνεια του μεταλλοκεραμικού δεσμού συμμετέχουν η μεταλλική επιφάνεια του κράματος και η επικάλυψη της με αδιαφανή πορσελάνη. Η διαδικασία προετοιμασίας της επιφάνειας του κράματος και η στη συνέχεια κεραμική διαβροχή, επικάλυψη και όπτησή της αποβλέπει στη εξασφάλιση των απαραίτητων συνθηκών που θα φέρουν τα δύο υλικά σε φυσική και χημική συνάφεια, ικανή να δημιουργήσει ισχυρό δεσμό μεταξύ τους.

Κατά την όπτηση το  $\text{Si}_2\text{O}_3$  της πορσελάνης τήκεται και συνιστά κατά κύριο λόγο την υαλώδη φάση του τελικού κεραμικού προϊόντος, που έρχεται σε επαφή διαβροχής με τη μεταλλική επιφάνεια. Ο μεταλλοκεραμικός δεσμός εξασφαλίζεται κυρίως από πρωτογενείς ομοιοπολικούς δεσμούς  $\text{O}_2$ , μεταξύ του  $\text{Si}_2\text{O}_3$  της κεραμικής μάζας και της στοιβάδας οξειδίων, που δημιουργούνται στην επιφάνεια του κράματος. Η στοιβάδα αυτή γεννάται κατά την όπτηση από την οξείδωση ιχνοστοιχείων που εμπεριέχονται στο κράμα για τον σκοπό αυτό. Περιορισμένη σε πάχος, διαπλέκεται με τη μη οξειδωμένη κυρίως μάζα του κράματος, που αυτή κατά κάποιον τρόπο την κλειδώνει και την καθιλώνει στην επιφάνεια της (keying effect) (εικ. 21).



Εικόνα 21

ΟΔ= Ομοιοπολικός Δεσμός

$\text{M}_2\text{O}_x$ = Μεταλλικό Οξείδιο ιχνοστοιχείου

$\text{M}_x$ = Μεταλλικό ιχνοστοιχείο

### 1.4.1) Μηχανική προετοιμασία του μεταλλικού σκελετού

Η εξομάλυνση των επιφανειών του μεταλλικού υποστρώματος επιτελείται καταρχήν με φρέζες καρβιδίου. Εξαλείφονται οι αδρές ανωμαλίες και αποστρογγυλεύονται όλες οι οξείες γωνίες της επιφάνειας του που αποτελούν επίκεντρο συσσώρευσης αυξημένων τάσεων στην εσωτερική δομή της οδοντικής πορσελάνης.



Εικόνα 22

Η ομαλοποίηση επίσης αποβλέπει στη διάνοιξη εσοχών και σχισμοϊδών χώρων που θα διευκόλυναν τον εγκλωβισμό φυσαλίδων αέρα και θα απέτρεπαν τη μέγιστη δυνατή διαβροχή του μετάλλου από το κεραμικό υλικό (εικ. 22).

Η λέπτυνση του μεταλλικού υποστρώματος αφορά κυρίως τις περιοχές που στο κέρινο πρότυπο είχαν ενισχυθεί, προκειμένου να ευνοηθεί η άρτια χύτευσή του. Με στρογγυλή φρέζα καρβιδίου λεπταίνεται το αυχενικό σιρίτι προστομιακά και το πάχος του αυχενικού τριτημορίου έως 0,5mm στα κράματα Au-Pt, 0,3mm στα κράματα Pd-Ag και έως 0,2 στα κράματα Cr-Co.

Οι περιοχές που δεν θα καλυφθούν από πορσελάνη οφείλουν να δημιουργούν ορθή γωνία επιφανειακά, ώστε να δημιουργείται χώρος για το κεραμικό υλικό, επιτρέποντας έτσι την κατά μέτωπο γραμμική συνάντησή τους (όχι σβήσιμο του κεραμικού υλικού που αποκαλύπτει σταδιακά την αδιαφανή πορσελάνη και τη μεταλλική επιφάνεια). Με την ίδια στρογγυλή φρέζα αποσαφηνίζεται η ακμή της ορθής γωνίας εξωτερικά στην περιοχή της γλωσσικής γιρλάντας και αποστρογγυλεύεται ο πυθμένας της επιφάνειας υποδοχής και υποστήριξης του κεραμικού υλικού.

Η αδροποίηση των επιφανειών που θα δεχθούν κεραμική επικάλυψη γίνεται με πυριτιούχο τροχόλιθο (υλικό που είναι χημικά συμβατό με το κεραμικό υλικό). Η τραχύτητα της επιφάνειας βελτιώνει την πρόσφυση του κεραμικού υλικού και αυξάνει τη συνολική επιφάνεια επαφής μεταξύ των δύο υλικών. Η κίνηση του τροχόλιθου με οριζόντια φορά καταλείπει επιφάνεια με οριζόντιες αυλακώσεις που αναστέλλει κάπως την ελεύθερη ροή της υδαρούς αδιαφανούς πορσελάνης προς τα όρια, που λόγω βαρύτητας είναι κατακόρυφη.

Ο καθαρισμός του μεταλλικού σκελετού γίνεται σε οργανικό διάλυμα που έχει τη δυνατότητα να διαλύει τα οργανικά υπολείμματα (ισοπροπυλική αλκοόλη) σε δοχείο συσκευής υπερήχων (Ultrasonic). Με τον τρόπο αυτό, απομακρύνονται από την επιφάνεια του όλα τα ξένα σώματα που προσκολλήθηκαν κατά το τρόχισμα και οποιεσδήποτε ουσίες εμποδίζουν την καλή διαβροχή του μετάλλου από την πορσελάνη. Η χρήση συσκευής ατμού υπό πίεση επίσης ενδείκνυται για τον καθαρισμό.

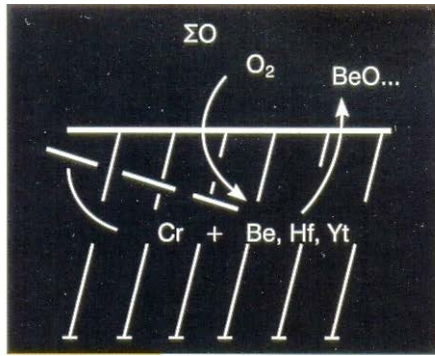
#### **1.4.2) Οξείδωση του μεταλλικού σκελετού**

Η απαερίωση (degassing) αναφέρεται στην πρώτη και μάλλον προαιρετική θερμική κατεργασία του μεταλλικού σκελετού με σκοπό την απομάκρυνση επιφανειακών ακαθαρσιών σε θερμοκρασία όπτησης της πορσελάνης (980°) υπό αρνητική πίεση. Επίσης είναι όρος που συχνά χρησιμοποιείται για την προκαταρκτική οξείδωση των ιχνοστοιχείων με σκοπό τη δημιουργία της στοιβάδας που θα συμμετάσχει στον μεταλλοκεραμικό δεσμό. Στα κράματα που αποτελούνται κατά κύριο λόγο από μέταλλα μη οξειδωμένα, όπως Au-Pt, Pd-Ag, η στοιβάδα των οξειδίων πραγματοποιείται από την οξείδωση ιχνοστοιχείων που εμπεριέχονται στο κράμα κατά την πρώτη όπτηση της αδιαφανούς πορσελάνης, χωρίς να είναι απαραίτητη η απαερίωση.

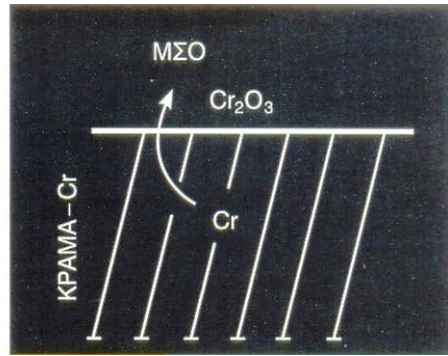
Η προκαταρκτική οξείδωση του κράματος αποτελεί ξεχωριστό και απολύτως απαραίτητο εργαστηριακό στάδιο, όταν τον μεταλλικό σκελετό συνιστούν ορισμένα κράματα Cr. Η ενδεδειγμένη διαδικασία όπως αυτή υποδεικνύεται για κάθε συγκεκριμένο κράμα από τον κατασκευαστή είναι απαραίτητο να ακολουθείται επακριβώς. Δεδομένου ότι το μέταλλο αυτό έχει μεγάλη τάση προς οξείδωση, υπάρχει ο κίνδυνος υπέρμετρης οξείδωσης του κράματος και δημιουργίας υπερμεγέθους στοιβάδας οξειδίων. Αν αυτό συμβεί, θα υπάρξει απώλεια δεσμού μέσα στη μάζα αυτής της στοιβάδας.

Για την ελεγχόμενη διαδικασία της οξείδωσης των κραμάτων Cr προστίθενται κατάλληλα ιχνοστοιχεία, που έχουν την τάση πρώτα να δεσμεύουν το O<sub>2</sub>, δημιουργώντας λεπτή χρυσίζουσα στοιβάδα οξειδίων για τον μεταλλοκεραμικό δεσμό. Αυτή η στοιβάδα καθλώνεται στην επιφάνεια της μη οξειδωμένης κύριας μάζας του κράματος με το μηχανισμό που ήδη περιγράφηκε (keying effect). Επίσης δρα προστατευτικά εμποδίζοντας την καταστροφική για τον δεσμό οξείδωση του Cr. Εάν όμως υπάρξει υπερβολική χρονική παράταση ή αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διαδικασία, η ανεξέλεγκτη οξείδωση του Cr δεν αποφεύγεται, οπότε η χροιά γίνεται ερυθρά (εικ. 23, 24, 25, 26, 27).





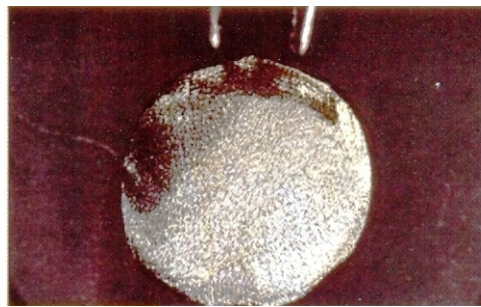
Εικόνα 23



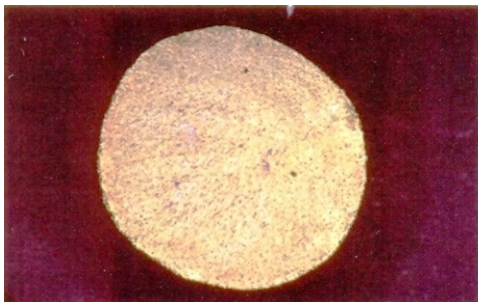
Εικόνα 24

(Γονίδης, Ηλιάδης 1986)

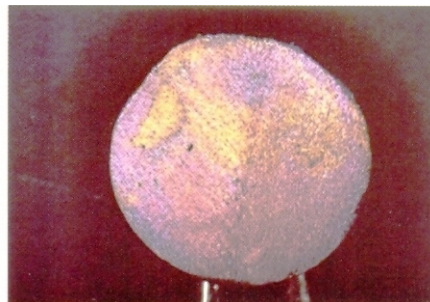
ΣΟ = Συγκολλητικό οξείδιο ιχνοστοιχείου, ΜΣΟ = Μη συγκολλητικό οξείδιο χρωμίου



Εικόνα 25



Εικόνα 26



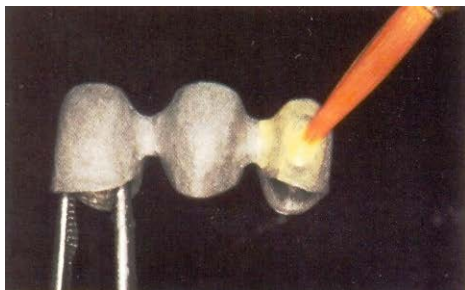
Εικόνα 27

Προκειμένου η στοιβάδα που θα συμμετάσχει στον μεταλλοκεραμικό δεσμό να παραμείνει ελεγχόμενα σταθερή κατά τις όπτησεις που θα ακολουθήσουν, σε ορισμένα από τα κράματα αυτά τα ιχνοστοιχεία που θα τη δημιουργήσουν επιλέγονται έτσι ώστε να οξειδώνονται σε θερμοκρασία ανώτερη από εκείνη της όπτησης της πορσελάνης (1050°), αφού μάλιστα και το σημείο τήξεως του κράματος είναι ψηλότερο και με ασφάλεια το επιτρέπει. Σε άλλα κράματα Cr η ελεγχόμενη στοιβάδα των οξειδίων του μεταλλοκεραμικού δεσμού επιτυγχάνεται χωρίς τη μεσολάβηση του ξεχωριστού αυτού σταδίου της οξειδωσης.

### 1.4.3) Όπτηση της αδιαφανούς πορσελάνης (opaque)



Εικόνα 28



Εικόνα 29

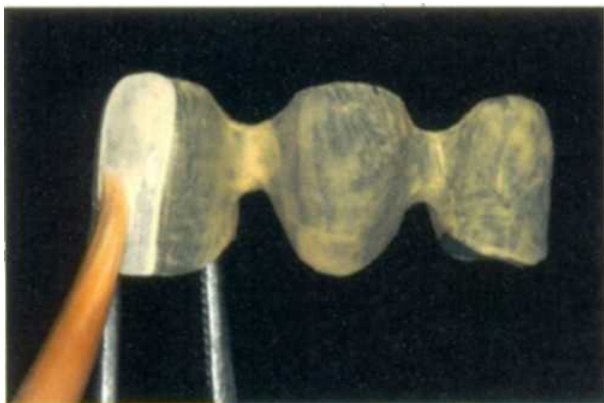


Εικόνα 30

Η πρώτη υδαρής στρώση αδιαφανούς πορσελάνης τοποθετείται με σκοπό την άριστη διαβροχή του μεταλλικού σκελετού και τη δημιουργία του μεταλλοκεραμικού δεσμού (εικ. 28, 29, 30).

Κατά την τοποθέτηση του διαβρέχεται ελαφρώς η επιφάνεια του υποστρώματος, ώστε να ελαττωθεί η επιφανειακή του τάση, βελτιώνοντας έτσι τη διαβροχή του. Χρειάζεται προσοχή, ώστε να μη ρέει η αδιαφανής πορσελάνη στα αυχενικά όρια του μεταλλικού σκελετού, δημιουργώντας ανεπιθύμητα μεγάλα πάχη στην περιοχή αυτή. Βοήθεια σ' αυτό προσφέρεται από τις δημιουργημένες οριζόντιες αυλακώσεις που αποτρέπουν την ανεξέλεγκτη ροή της μάζας της πορσελάνης προς τα όρια. Μετά από την προσθήκη κάθε στρώματος αδιαφανούς πορσελάνης ακολουθεί και ξεχωριστή όπτηση υπό αρνητική πίεση. Η θερμοκρασία όπτησης της πορσελάνης αυτής είναι ελαφρώς ψηλότερη από εκείνη του σώματος (περίπου 980°C).

Το δεύτερο στρώμα της αδιαφανούς πορσελάνης είναι λιγότερο ρευστό από το πρώτο και τοποθετείται έτσι, ώστε να καλύψει σε μεγάλο βαθμό το γκρι χρώμα του μεταλλικού σκελετού (εικ. 31, 32).



Εικόνα 31



Εικόνα 32

Το πάχος της αδιαφανούς πορσελάνης στη φάση αυτή δεν πρέπει να ξεπερνάει τα 0,2mm, όταν πλήρης αδιαφάνεια επιτυγχάνεται από πάχη  $>0,8\text{mm}$ . Επομένως απόλυτη κάλυψη του σκούρου χρώματος του μετάλλου δεν είναι εφικτή. Μετά την όπτηση ο σκελετός προσλαμβάνει χαρακτηριστική εξωτερική λεία και συγχρόνως πορώδη υποκίτρινη εμφάνιση, που θυμίζει το κέλυφος του αβγού.

Το τρίτο στρώμα αδιαφανούς πορσελάνης είναι προαιρετικό. Αφορά την εξουδετέρωση της λείας επιφάνειας της αδιαφανούς πορσελάνης επί της οποίας η προσπίπτουσα ακτινοβολία υφίσταται κατοπτρική αντανάκλαση, ξένη εντελώς προς την εσωτερική οπτική δομή του φυσικού δοντιού. Μετά τη διαβροχή του σκελετού με το λεπτόρρευστο τρίτο στρώμα ραντίζεται η επιφάνεια με κόκκους αυχενικής πορσελάνης που προσκολλώνται σε αυτό.

Με ελαφρό φύσημα απομακρύνεται η περίσσεια των κόκκων που δεν έχει προσκολληθεί. Μετά την όπτηση, η ανώμαλη επιφάνεια που προκύπτει, μετατρέπει την αντανάκλαση της προσπίπτουσας στην αδιαφανή πορσελάνη ακτινοβολίας σε διαχεόμενη, που είναι οπτικά λιγότερο δυσμενής. Απαραίτητη προϋπόθεση για την εφαρμογή του τρίτου αυτού στρώματος είναι η ύπαρξη ικανού χώρου και αντίστοιχα πάχους της κεραμικής επικάλυψης.

## 1.5 Δόμηση και όπτηση κεραμικών μαζών

Η δόμηση και η όπτηση της πορσελάνης αποτελεί το κατ' εξοχήν καλλιτεχνικό και δημιουργικό στάδιο κατά την εργαστηριακή κατασκευή της μεταλλοκεραμικής εργασίας. Στόχος της είναι η τρισδιάστατη επικάλυψη του μεταλλικού υποστρώματος, αποδίδοντας στην αποκατάσταση την τελική της μορφή. Αποβλέπει στην εξασφάλιση της απαραίτητης λειτουργικότητας και αισθητικής, μιμούμενη κατά το δυνατόν συνεπέστερα τις μορφολογικές και οπτικές ιδιότητες των φυσικών δοντιών. Ειδικότερα όμως προσβλέπει στην εναρμόνιση των τεχνητών δοντιών στον οδοντικό φραγμό του συγκεκριμένου ασθενή. Αναζητά και προσπαθεί να ενσωματώσει τα συγκεκριμένα και ιδιαίτερα μορφολογικά και οπτικά χαρακτηριστικά των δοντιών του, όπως αυτά υπαγορεύονται από τα γειτονικά υπόλοιπα ακέραια δόντια του, αλλά και από το σύνολο της σύνθεσης του χαμόγελου και της φυσιολογίας του προσώπου του.

Μορφολογικά τα γειτονικά δόντια στο εκμαγείο εργασίας υπαγορεύουν έμμεσα και κατ' αναλογία στοιχεία μεγέθους και μορφής. Αντίστοιχα, άμεσα στοιχεία οδοντικής μορφολογίας για τα προς αποκατάσταση δόντια μπορούν να αναζητηθούν εφόσον βρίσκονται αρχειοθετημένα στο εκμαγείο μελέτης της πρότερης κατάστασης. Το εκμαγείο μεταβατικών αποκαταστάσεων δοκιμασμένων και προσαρμοσμένων στο στόμα του ασθενή, τέλος, θα καθοδηγήσει με αντικειμενισμό την τρισδιάστατη διαμόρφωση των οδοντικών όγκων και της κυρτότητας του τόξου. Οι μεταβατικές αποκαταστάσεις αποτελούν το τελικό δοκίμιο, απλή αντιγραφή του οποίου είναι η τελική αποκατάσταση.

Οπτικά την ημιδιαφάνεια των φυσικών δοντιών μιμείται με επιτυχία η πορσελάνη. Η πρισματική δομή του υδροξυαπατίτη των οδοντικών ουσιών επιτρέπει τη διάδοση της φωτεινής ακτινοβολίας, τη διαχέει και δημιουργεί ημιδιαφάνεια. Το κεραμικό υλικό μετά την όπτηση αποκτά ετερογενή δομή, αφού αναπτύσσει υαλώδη μήτρα με κύριο συστατικό το  $Si_2O_3$ , που εμπεριέχει κρυσταλλικά στοιχεία κυρίως  $Al_2O_3$ . Ο οπτικός συνδυασμός των δύο υλικών γεννά ημιδιαφάνεια που προσομοιάζει με την «πρισματική» οπτική συμπεριφορά των φυσικών οδοντικών ουσιών.

Στα φυσικά δόντια η αδαμαντίνη είναι πλέον διαφανής υπερκαλύπτοντας τη λιγότερο διαφανή οδοντίνη εσωτερικά. Αντίστοιχα, διατίθεται κεραμικό υλικό «αδαμαντινικής» πορσελάνης (incisal, enamel porcelain) και «οδοντινικής» πορσελάνης (body, dentin porcelain). Τα υλικά αυτά, άλλως καλούμενα «διαφάνεια και σώμα», δομούμενα κατάλληλα αποδίδουν με συνέπεια την οπτική δομή του φυσικού δοντιού. Η παρουσία

όμως του μεταλλικού υποστρώματος και η αναγκαστική απόκρυψή του με το στρώμα της αδιαφανούς πορσελάνης δημιουργούν στο βάθος του κεραμικού υλικού ένα οπτικό στοιχείο εντελώς ξένο με την οπτική δομή του φυσικού δοντιού, που παραμένει σε όλο του το βάθος ημιδιαφανές. Τη μείωση της δυσμενούς επίδρασης της αδιαφανούς πορσελάνης στο τελικό οπτικό αποτέλεσμα καλείται να επιτύχει η δόμηση του σώματος και της διαφάνειας.

Με σκοπό την επίτευξη της οπτικής συνάφειας με τα φυσικά υγιή γειτονικά δόντια του ασθενή, ο οδοντίατρος έχει προμηθεύσει τον οδοντοτεχνίτη με την καταγραμμένη επιλογή του χρώματος. Η αξιολόγηση και η επιλογή του πραγματοποιείται είτε οπτικά με απλή οπτική αξιολόγηση με τα φυσικά δείγματα του χρωματικού οδηγού VITA 3D Master ή ψηφιακά με τη βοήθεια φασματοφωτομετρικού ή χρωματομετρικού εξοπλισμού.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της δόμησης και όπτησης των κεραμικών μαζών οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

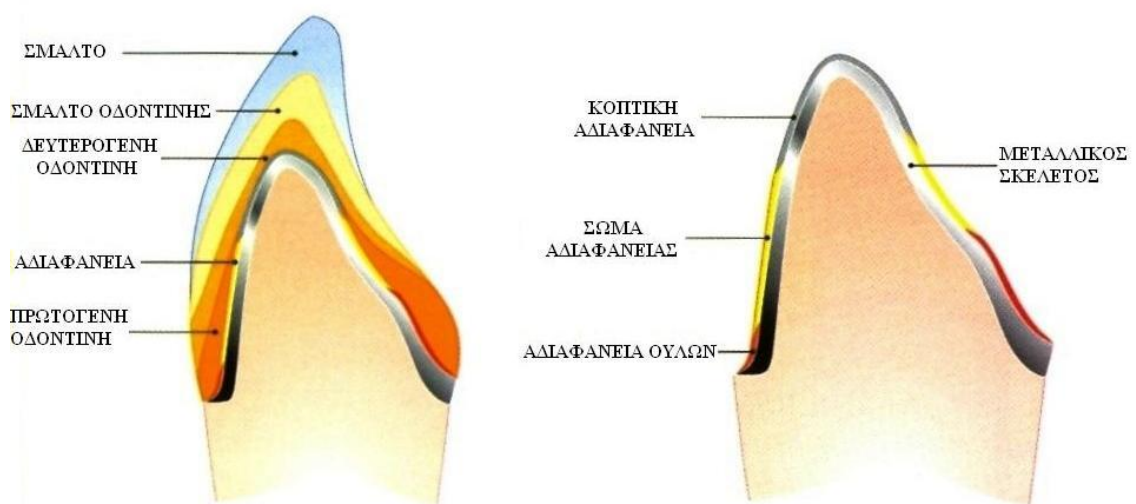
**A) Δόμηση εσωτερικών τροποποιητών χρώματος**

**B) Δόμηση σώματος και διαφάνειας**

**Γ) Όπτηση και ωρίμανση των κεραμικών μαζών**

### **1.5.1) Δόμηση εσωτερικών τροποποιητών χρώματος**

Η εσωτερική οπτική δομή του φυσικού δοντιού κυριαρχείται από την οδοντίνη που εκτός από μειωμένη διαφάνεια εμφανίζει και αυξημένη χρωματική ένταση με κίτρινη-πορτοκαλί χροιά. Η προσέγγιση των εσωτερικών αυτών χαρακτηριστικών καλείται συγχρόνως να αντιμετωπίσει και τη δυσμενή αντανακλαστικότητα της αδιαφανούς πορσελάνης. Η μείωση της αντανακλαστικότητας επιτυγχάνεται με την ποσοτική μείωση της ακτινοβολίας που φθάνει τελικώς στην επιφάνεια αυτή, «φρενάροντάς» την στα προηγούμενα στρώματα με την αυξημένη απορρόφηση ή διάχυσή της. Οι τροποποιήσεις αυτές πραγματοποιούνται με τη βοήθεια χρωματικών τροποποιητών σώματος (modifiers). Υπάρχουν οι αδιαφανείς τροποποιητές σώματος και οι απλοί τροποποιητές σώματος (εικ. 33).



Εικόνα 33

John McLean, σχεδιασμός και ευγενής παραχώρηση από Dee McLean

Οι αδιαφανείς τροποποιητές σώματος (opaque dentin) είναι πορσελάνη σώματος με αυξημένη πυκνότητα χρωματικών κόκκων που μειώνουν έντονα τη διαφάνειά της και αυξάνουν τη χρωματική της ένταση. Με αυτούς τους τροποποιητές αλλοιώνεται εκλεκτικά το χρώμα του βάθους του κεραμικού υλικού και υπερκαλύπτεται το λευκό χρώμα της αδιαφανούς πορσελάνης.

Οι τροποποιητές σώματος (body modifiers) είναι πορσελάνη σώματος με επίσης αυξημένη πυκνότητα χρωματικών κόκκων κάποιας χροιάς. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι η αυξημένη χρωματική ένταση διατηρώντας όμως την ημιδιαφάνεια τους. Η αυξημένη απορρόφηση και διάχυση που προκαλείται γίνεται σε όλο το πάχος του τροποποιητού και όχι σε ένα και μόνο αντανακλαστικό επίπεδο, όπως συμβαίνει με τους αδιαφανείς τροποποιητές

Οι χρωματικοί τροποποιητές, συνήθως χρώματος πορτοκαλί, τοποθετούνται μεταξύ αδιαφανούς πορσελάνης και σώματος και σε σημεία μειωμένου πάχους, όπως τα μεσοδόντια διαστήματα, το αυχενικό τριτημόριο, οι μαθητικές αύλακες, όπου δηλαδή ή θα υπήρχε πρόβλημα έντονης αντανακλαστικότητας από την αδιαφανή πορσελάνη ή χρειάζεται να δημιουργηθεί η αίσθηση βάθους. Έτσι μειώνεται η κατοπτρική αντανάκλαση της αδιαφανούς πορσελάνης, εφόσον ελαττώνεται η προσπίπτουσα σ' αυτήν φωτεινή ακτινοβολία. Μετά την τοποθέτησή τους ακολουθεί όπτηση. Είναι όμως δυνατόν επίσης να ενσωματωθούν και κατά τη δόμηση της μάζας του σώματος ή της διαφάνειας,

προκειμένου να δημιουργήσουν εσωτερικές χρωματικές ιδιαιτερότητες και εναλλαγές (εικ. 34).



Εικόνα 34

### **1.5.2) Δόμηση σώματος και διαφάνειας**

Το φύραμα της κεραμικής μάζας πριν την όπτησή του αποτελεί συνδυασμό ανόργανων ορυκτών πρώτων υλών, κονιορτοποιημένων και κατάλληλα επεξεργασμένων. Η σκόνη του βιομηχανικού τελικού προϊόντος προσφέρεται από τον κατασκευαστή σε συσκευασία που αναφέρεται στο βαθμό διαφάνειας και χρωματικής έντασης που τη χαρακτηρίζει (σώμα, διαφάνεια, τροποποιητές) καθώς και στη βαθμίδα του χρωματικού οδηγού στην οποία θα οδηγήσουν την αποκατάσταση μετά την ολοκλήρωσή της από πλευράς χρώματος. Ο οδοντοτεχνίτης ως άλλος «αγγειοπλάστης» θα ανακατέψει το «χώμα» με το «νερό» για να κάνει «πηλό». Τον «πηλό» θα τον πλάσει, θα τον «στεγνώσει», για να στερεοποιηθεί, και τέλος θα τον «ψησει», για να παραλάβει το τελικό κεραμικό κατασκεύασμα.

Η δόμηση του σώματος της πορσελάνης (body, dentin porcelain) μορφοποιείται μιμούμενη την εσωτερική ανατομία της οδοντίνης που χαρακτηρίζεται από την παρουσία των αυξητικών λοβών (εικ. 35, 36, 37).



Εικόνα 35



Εικόνα 36



Εικόνα 37

Για να έχει η κεραμική μάζα την απαραίτητη πλαστικότητα για λεπτομερή ανάπτυξη ανατομικών ιδιομορφιών, απαιτείται έντονη παρουσία του υγρού στοιχείου (νερού) και χρήση του πινέλου.

Η δόμηση της διαφάνειας (incisal, enamel porcelain), που οπτικά αναπαριστά την αδαμαντίνη, δίνει την τελική μορφολογία στο δόντι. Χρειάζεται να ληφθεί μέριμνα, ώστε όλη η μύλη να καλυφθεί από στρώμα διαφάνειας ποικίλου πάχους, ώστε να συμπεριφέρεται οπτικά κατά το δυνατόν όμοια με το φυσικό δόντι (wraparound effect). Οι διαστάσεις που δίνονται στο τεχνητό δόντι κατά τη δόμηση, είναι ελαφρώς μεγαλύτερες των επιθυμητών, για να αντισταθμιστεί η συρρίκνωση που συντελείται κατά την όπτηση (εικ. 38, 39).





Εικόνα 38



Εικόνα 39

Η συμπύκνωση της κεραμικής μάζας γίνεται μετά την απόδοση της ζητούμενης ανατομικότητας. Αποβλέπει στην κατά το δυνατόν αφαίρεση του υγρού στοιχείου, ώστε να συμπλησιάσουν οι κεραμικοί κόκκοι. Έτσι η πορσελάνη μετά την όπτηση γίνεται πλέον συμπαγής, μειώνεται η κατ' όγκο συρρίκνωση και παραμόρφωσή της, ενώ παράλληλα αποφεύγεται η δημιουργία φυσαλίδων αέρα μέσα στη μάζα της. Η συμπύκνωση επιτυγχάνεται είτε με δόνηση με τη βοήθεια αυλακωτού εργαλείου που σύρεται πάνω στη λαβίδα συγκράτησης της αποκατάστασης, είτε με κτύπημα του εκμαγείου εργασίας πάνω στον πάγκο εργασίας. Για το σκοπό αυτό έχουν προταθεί επίσης ειδικές συσκευές που διαθέτουν σπάθη δονούμενη με μηχανισμό υπερήχων. Η δόνηση οφείλει να είναι κατά το δυνατό ελεγχόμενη, διακριτική και συγκρατημένη, για να μη χαθεί η ανατομικότητα. Το νερό που αναδύεται, αμέσως αφαιρείται με απορροφητικό χαρτί.

Συνεχής και σταδιακή εναλλακτική αφαίρεση και προσθήκη υγρασίας κατά τη διάρκεια της δόμησης οδηγεί σε ανομοιογενή συμπύκνωση, με αποτέλεσμα κατά την όπτηση οι λιγότερο συμπυκνωμένες περιοχές να συρρικνώνονται περισσότερο και να δημιουργούνται ρωγμές. Για τον καλύτερο λοιπόν έλεγχο της υγρασίας και επομένως της συμπύκνωσης, η δόνηση θα πρέπει να γίνεται κυρίως στο τέλος, αφού πρώτα ολοκληρωθεί η δόμηση του κεραμικού υλικού τόσο του σώματος όσο και της διαφάνειας.

### **1.5.3) Όπτηση και ωρίμανση των κεραμικών μαζών**

Κατά την όπτηση μέρος των κρυσταλλικών ουσιών από τις οποίες αποτελείται η κεραμική μάζα τήκεται και δημιουργείται άμορφη υαλική φάση (που σχηματίζεται κυρίως από τα  $\text{SiO}_2$ ), μέσα στην οποία εμπεριέχονται ακόμη κρυσταλλικά στοιχεία (που κυρίως αποτελούν οι κόκκοι  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Η σταδιακή μετατροπή κατά την όπτηση της αμιγώς

κρυσταλλικής μορφής σε ετερογενή, ονομάζεται ωρίμανση της πορσελάνης και συντελείται χάρη στην πυροπλαστική ιδιότητα του  $\text{SiO}_2$ . Η όπτηση γίνεται πάντα υπό αρνητική πίεση και έτσι επιτυγχάνεται και η μείωση του μεγέθους και του αριθμού των παρεμβαλλόμενων χώρων αέρος, που έμμεσα επηρεάζεται και από το μέγεθος των κόκκων του κεραμικού υλικού, καθώς και από τον τρόπο συμπύκνωσης (εικ. 40).



Εικόνα 40

Ο βαθμός ωρίμανσης της πορσελάνης εξαρτάται από τον χρόνο και τη θερμοκρασία όπτησης (θερμικός κύκλος όπτησης), καθώς και από τον αριθμό των οπτήσεων, που στο σύνολό τους αποτελούν το θερμικό ιστορικό της προσθετικής εργασίας. Η θερμοκρασία όπτησης είναι περίπου  $950^\circ \text{C}$  για την πρώτη όπτηση, ενώ για τις επόμενες μειώνεται κλιμακωτά. Η θερμοκρασία αυτή διαφέρει για κάθε σκεύασμα. Εμπειρικά ο βαθμός ωρίμανσης περιγράφεται σαν στάδιο χαμηλού, μέτριου ή ψηλού μπισκότου (low, medium, high biscuit).

Ανεπαρκής ωρίμανση προέρχεται από τον ανεπαρκή χρόνο και θερμοκρασία όπτησης, δηλαδή τον χαμηλό κύκλο όπτησης. Η προσθετική εργασία σε μια τέτοια περίπτωση παίρνει εμφάνιση αδιαφανή, με αυξημένο τόνο (εμφάνιση κιμωλίας). Η εμφάνιση αυτή οφείλεται στο ότι δεν έχει υαλοποιηθεί επαρκώς το κεραμικό υλικό και εμπεριέχει πολλούς και ευμεγέθεις χώρους αέρα. Εάν κατά την πρώτη όπτηση δεν επιτευχθεί επαρκής ωρίμανση, η οπτική ατέλεια δεν είναι δυνατό να αναταχθεί πλήρως σε επόμενες οπτήσεις.

Υπερβολική ωρίμανση προκαλείται από ψηλό κύκλο όπτησης, δηλαδή από υπέρμετρο χρόνο και θερμοκρασία όπτησης, καθώς και αυξημένο αριθμό οπτήσεων. Αποτέλεσμα είναι η «υαλική» εμφάνιση του κεραμικού υλικού. Προκειμένου να αποφεύγονται οι

ανεπιθύμητες αυτές παρεκκλίσεις ωρίμανσης, η διαδικασία όπτησης πρέπει να γίνεται υπό συνθήκες ελεγχόμενες και αυτοματοποιημένες.

Μετά την πρώτη όπτηση ακολουθούν καταρχήν οι απαραίτητες αφαιρετικές διορθώσεις με τη βοήθεια τροχόλιθων  $Al_2O_3$  και διαμαντένιου λεπτού δίσκου που αφορούν:

- στη διάνοιξη και διεύρυνση ρωγμών που τυχόν σχηματίστηκαν μεταξύ των γειτονικών δοντιών, και
- στη διάνοιξη τυχόν φυσαλίδων λόγω πλημμελούς συμπύκνωσης.

Στη συνέχεια γίνεται η προσαρμογή της αποκατάστασης στο αναρτημένο στον αρθρωτήρα εκμαγείο εργασίας που αφορά στη ρύθμιση:

- των σημείων επαφής με τα γειτονικά δόντια (εικ. 41, 42),
- της ουλικής επαφής των γεφυρωμάτων (εικ. 43),
- της σύγκλεισης με τους ανταγωνιστές (εικ. 43, 44),
- της αισθητικής διαμόρφωσης (εικ. 45).

Ακολουθεί εκλεκτική προσθήκη κεραμικού υλικού, όπου αυτή κρίνεται απαραίτητη, και γίνεται εκ νέου όπτηση. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, αν χρειαστεί, και τρίτη φορά, προκειμένου να ολοκληρωθεί η μορφολογική διαμόρφωση, οπότε θα πρέπει να ακολουθήσει η δοκιμή «μπισκότου» (εικ. 45).



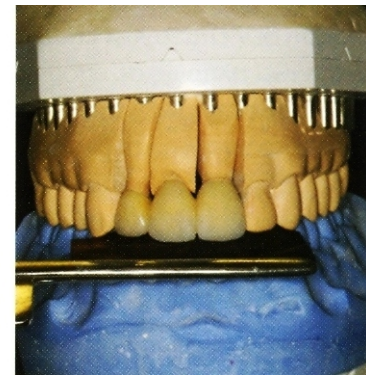
Εικόνα 41



Εικόνα 42



Εικόνα 43



Εικόνα 44



Εικόνα 45

## **1.6 Δοκιμή «μπισκότου» στο Frasaco**

Η δοκιμή του «μπισκότου» στο Frasaco αναλογεί με την εξαιρετικής σημασίας συνεδρία του δοκιμαστικού ελέγχου της αποκατάστασης στον ασθενή. Η δοκιμή αυτή γίνεται, όταν η προσθετική εργασία έχει φθάσει σε επαρκή ωρίμανση και μορφολογική διαμόρφωση, χωρίς όμως να έχει γίνει η τελική εφυάλωση του κεραμικού υλικού. Η εξωτερική της υφή είναι ομαλή και παρουσιάζει επιφανειακή αδρότητα και θαμπή εμφάνιση που θυμίζει εκείνη του ψημένου μπισκότου.

Το εσωτερικό των στεφάνων πρέπει να είναι καθαρό και εντελώς απαλλαγμένο από κεραμικό υλικό. Ο καθαρισμός αυτός καλό είναι να έχει γίνει με τη βοήθεια αμμοβολής  $Al_2O_3$  μεγέθους κόκκου 25 $\mu$ m.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της δοκιμής «μπισκότου», οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

**A) Η ρύθμιση των σημείων επαφής**

**B) Η ρύθμιση της ουλικής επαφής των γεφυρωμάτων**

**Γ) Η έδραση της αποκατάστασης**

**Δ) Η ρύθμιση της σύγκλεισης**

**E) Η αισθητική διαμόρφωση**

### **1.6.1) Η ρύθμιση των σημείων επαφής**

Η ρύθμιση των σημείων επαφής με τα γειτονικά δόντια γίνεται με τη βοήθεια χαρτιού άρθρωσης, που τοποθετείται μεταξύ των όμορων επιφανειών (εικ. 46). Εάν διαπιστωθεί ότι οι επαφές στα σημεία αυτά εμποδίζουν την πλήρη έδραση της προσθετικής εργασίας στα στηρίγματα, ή ότι ασκούν υπερπίεση στα γειτονικά δόντια, γίνεται η κατάλληλη διόρθωση αφαιρετικά με τη βοήθεια περιστροφικών εργαλείων (διαμαντιού ή τροχόλιθου). Οι επαφές τελικά θα πρέπει να υποστούν την κατάλληλη προσαρμογή, ώστε να επιτρέπουν τη δίοδο του οδοντικού νήματος με την άσκηση ελαφρός πίεσης.



Εικόνα 46

Εάν το οδοντικό νήμα διέρχεται με μεγάλη άνεση, πράγμα που σημαίνει ότι θα έχουμε ενσφήνωση τροφών, θα πρέπει να γίνει ενίσχυση των επαφών με προσθήκη κεραμικού υλικού σε μία εκ νέου όπτηση.

### **1.6.2) Η ρύθμιση της ουλικής επαφής των γεφυρωμάτων**

Η ρύθμιση της ουλικής επαφής των γεφυρωμάτων γίνεται με τη βοήθεια πάλι χαρτιού άρθρωσης, που τοποθετείται μεταξύ γεφυρωμάτων και νωδής ακρολοφίας, ή ενδεικτικής πάστας πίεςεως (P.I.P.). Εντοπίζονται έτσι οι επαφές και αφαιρετικά ρυθμίζονται, ώστε να επιτρέπουν την πλήρη έδραση της αποκατάστασης στα κολοβώματα, χωρίς να ασκείται υπερπίεση στη νωδή ακρολοφία. Η ρύθμιση αποβλέπει στη διατήρηση του σημείου επαφής προστομακά, αποφεύγοντας συστηματικά τη δημιουργία κοιλότητας στην περιοχή, που θα ευνοεί την κατακράτηση της μικροβιακής πλάκας μακροπρόθεσμα. Εάν τα γεφυρώματα αφίστανται προστομακά από την ακρολοφία, θα χρειαστεί να γίνει προσθήκη κεραμικού υλικού και εκ νέου όπτηση.

### **1.6.3) Η έδραση της αποκατάστασης**

Η έδραση της αποκατάστασης στα παρασκευασμένα δόντια έχει ήδη εξασφαλιστεί από τη φάση της δοκιμής του μεταλλικού σκελετού. Μετά την όπτηση όμως υπάρχει κίνδυνος να έχει επέλθει κάποια στρέβλωση του μεταλλικού σκελετού και αλλοίωση της εφαρμογής του. Οι τάσεις που δημιουργούνται κατά την όπτηση και συρρίκνωση του κεραμικού

υλικού τείνουν να παρασύρουν σε στρέβλωση τον μεταλλικό σκελετό. Ο κίνδυνος αυτός είναι μεγαλύτερος σε εκτεταμένες αποκαταστάσεις και ιδιαίτερα όταν η θερμοκρασία τήξης του κράματος πλησιάζει τη θερμοκρασία όπτησης της πορσελάνης (κράματα Au-Pt).

Η παραμόρφωση της προσθετικής εργασίας διαπιστώνεται, όταν πιέζοντας τη στεφάνη ενός ακραίου στηρίγματος ανασηκώνεται ελαφρά η στεφάνη στο άλλο άκρο (rocking). Στην περίπτωση αυτή θα χρειαστεί να γίνει κοπή της προσθετικής εργασίας και επανασυγκόλλησή της. Η διαδικασία αυτή όμως θα πρέπει να γίνει αφού πρώτα ολοκληρωθεί η τελική εφυάλωση της αποκατάστασης.

#### 1.6.4) Η ρύθμιση της σύγκλεισης

Η ρύθμιση της σύγκλεισης γίνεται επίσης με τη βοήθεια χαρτιού άρθρωσης. Καταρχήν σημειώνονται οι πρόωρες επαφές που εμποδίζουν την πλήρη οδοντική συναρμογή και αφαιρετικά με τη βοήθεια περιστρεφόμενου εργαλείου (διαμαντιού ελλειπτικού σχήματος football) γίνεται ο εκλεκτικός τροχισμός τους.

Εφ' όσον η προσθετική αποκατάσταση αφορά τα πρόσθια δόντια, ο εκλεκτικός τροχισμός κατά τις έκκεντρες κινήσεις αποβλέπει στη διαμόρφωση τομικού οδηγού που θα είναι αποτέλεσμα της συνεργασίας όλων των προσθίων δοντιών (εικ. 47, 48).



Εικόνα 47



Εικόνα 48

### **1.6.5) Η αισθητική διαμόρφωση**

Η αισθητική διαμόρφωση των τεχνητών δοντιών γίνεται με μέτρο τη μορφολογία των φυσικών δοντιών. Ιδιαίτερα τα γειτονικά στην προσθετική αποκατάσταση φυσικά δόντια, θα πρέπει να καθορίζουν το μέγεθος και την ιδιαιτερότητα στη μορφή. Ένα κοινό χαρακτηριστικό όλων των φυσικών δοντιών είναι το γεγονός ότι από την τρισδιάστατη ανατομία τους απουσιάζουν τελείως τα επίπεδα και οι ακμές. Αντίθετα, προσεκτική μελέτη της εξωτερικής τους μορφολογίας αποκαλύπτει ένα συνονθύλευμα από εναλλασσόμενες καμπυλότητες (κυρτότητες και κοιλότητες) που στο σύνολο τους δίνουν στην ανατομική μύλη των φυσικών δοντιών σχήμα απιοειδές. Τέτοια μορφολογία, ενσωματωμένη στην προσθετική εργασία, δίνει στα τεχνητά δόντια φυσικότητα και κατ' επέκταση ομορφιά.

Προκειμένου να «διαβαστεί» η μορφολογία τόσο των φυσικών όσο και των τεχνητών δοντιών, χρειάζεται να αποκαλυφθεί η ανατομικότητά τους. Αυτό επιτυγχάνεται, όταν, κρατώντας τη μύτη ενός μολυβιού εφαπτόμενη και κάθετη στον επιμήκη άξονα της μύλης, διαγράφεται η μέγιστη περίμετρος αξονικά εγγύς και άπω. Η απουσία απιοειδούς μορφολογίας στις περιοχές αυτές υποδηλώνει αφύσικα τεχνητά δόντια, που θυμίζουν πλακίδια πορσελάνης, ξένα προς τον φυσικό οδοντικό φραγμό. Με τη βοήθεια ελλειψοειδούς διαμαντιού (με σχήμα μπάλας football) και διαμαντένιου λεπτού δίσκου, διαμορφώνεται στο μέσο περίπου τριτημόριο αμυδρά περιφερική κοιλότητα και έτσι αποκαθίσταται η ζητούμενη απιοειδής καμπυλότητα, που συγχρόνως βοηθάει και στον διαχωρισμό και στην εξατομίκευση των δοντιών.

Αφού πραγματοποιηθούν όλες οι αφαιρετικές τροποποιήσεις της προσθετικής εργασίας που αναφέρθηκαν, αξιολογείται κατά πόσον απαιτείται κάποια εκλεκτική προσθήκη κεραμικού υλικού και εκ νέου όπτηση πριν την ολοκλήρωσή της.

### **1.7 Επιφανειακή χρώση και τελική εφυάλωση**

Προκειμένου να ολοκληρωθεί η μεταλλοκεραμική αποκατάσταση, είναι ανάγκη να της αποδοθεί η επιθυμητή στιλπνότητα και λάμψη, ανάλογη με εκείνη των φυσικών δοντιών. Για το σκοπό αυτό θα πρέπει να ακολουθήσει μια ακόμη όπτηση, που θα εξασφαλίσει την ολοκλήρωση της ωρίμανσης του κεραμικού υλικού και την επιφανειακή εφυάλωση (glaze).

Η όπτηση της τελικής εφυάλωσης συνδυάζεται και με την προσθήκη επιφανειακής χρώσης. Οι χρωστικές που χρησιμοποιούνται γι' αυτόν τον σκοπό, αποτελούνται από



μεταλλικά οξείδια που συνιστούν αδιαφανείς χρωματικούς κόκκους. Η προσθήκη αυξημένης ποσότητας επιφανειακής χρώσης δημιουργεί στην επιφάνεια ένα αδιαφανές έγχρωμο στρώμα, με αποτέλεσμα τη μείωση του βάθους της διαφάνειας. Έτσι, η χρησιμότητα της περιορίζεται κυρίως στην εφαρμογή μικρών χρωματικών τροποποιήσεων και την προσθήκη ορισμένων τοπικών ιδιαιτεροτήτων και χαρακτηριστικών.

Για την πληρέστερη και ολοκληρωμένη προσέγγιση της διαδικασίας της επιφανειακής χρώσης και τελικής εφυάλωσης οι οδηγίες που δίνονται κατατάσσονται ως εξής:

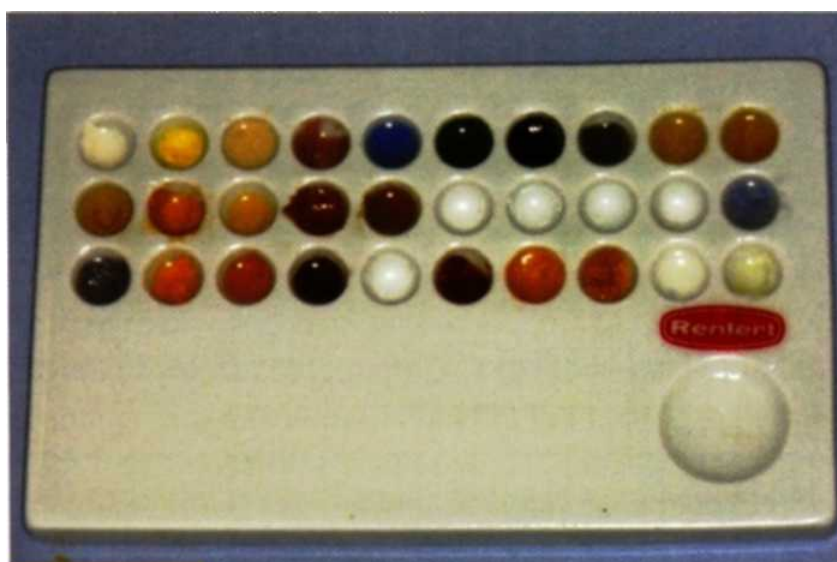
**A) Εφαρμογή επιφανειακής χρώσης**

**B) Τελική εφυάλωση**

### **1.7.1) Εφαρμογή επιφανειακής χρώσης**

Η επιφανειακή λείανση της επιφάνειας της πορσελάνης πρέπει να προηγηθεί της εφαρμογής της επιφανειακής χρώσης και της τελικής εφυάλωσης. Η εξουδετέρωση της επιφανειακής αδρότητας με ελαστικούς δίσκους θα βοηθήσει την πλήρη κάλυψη των επιφανειακών κρυσταλλικών στοιχείων του κεραμικού υλικού από μία ενιαία λεία υαλική επιφάνεια εξωτερικά.

Για την επιλογή και εφαρμογή των κατάλληλων χρωστικών προετοιμάζεται χρωματική «παλέτα» σε ειδικό σκεύος με πολλαπλά κοίλα διαμερίσματα, που περιλαμβάνει όλο το φάσμα των διατιθέμενων χρωστικών (εικ. 49).



Εικόνα 49

Οι σκόνες των μεταλλικών οξειδίων είναι αναμειγμένες με παχύρρευστο οργανικό υγρό. Το χαμηλό ιξώδες του υγρού, αποτρέπει την ανεξέλεγκτη ροή της επιφανειακής χρήσης. Κατά την όπτηση το οργανικό υγρό καίγεται, ενώ τα οξείδια εγκλωβίζονται στην υαλώδη επιφάνεια της πορσελάνης.

Η ελαφρά τροποποίηση του χρώματος της αποκατάστασης είναι δυνατή, αλλά με ορισμένους περιορισμούς:

- Η προσθήκη χρωστικών θα πρέπει να είναι περιορισμένη, ώστε να διατηρηθεί το βάθος της διαφάνειας.
- Οι τροποποιήσεις είναι δυνατές μόνο προς μία κατεύθυνση, δηλαδή μείωση του τόνου (σκουρότερο), αύξηση στην ένταση (πυκνότερο χρωματικά).
- Το χρωματικό αποτέλεσμα που επιτυγχάνεται με τη βοήθεια επιφανειακής χρώσης δεν είναι ανθεκτικό στο χρόνο, δεδομένου ότι υπόκειται σε φθορά μακροπρόθεσμα.

Οι τοπικές τροποποιήσεις που επιτυγχάνονται με την επιφανειακή χρώση σε συνδυασμό με την εσωτερική χρωματική τροποποίηση αποβλέπουν στη διάσπαση της μονοχρωματικότητας του κεραμικού υλικού. Οι τροποποιήσεις που είναι δυνατόν να πραγματοποιηθούν επιφανειακά είναι:

- Αύξηση της χρωματικής έντασης στο αυχενικό τριτημόριο της μύλης καθώς και στην περιοχή της ρίζας (πορτοκαλί και καφέ) (εικ. 50, 51).



Εικόνα 50



Εικόνα 51

- Δημιουργία ψευδαίσθησης αλλαγής της μορφολογίας στις όμορες περιοχές του αυχένα (καφέ).
- Διαχωρισμός και εξατομίκευση της μύλης μεταξύ γειτονικών δοντιών στις όμορες περιοχές μεταξύ τους (καφέ).

- Μείωση του τόνου και εξουδετέρωση του χρώματος κοπτικά για τη δημιουργία ψευδαίσθησης διαφάνειας (γαλάζιο, μωβ).
- Τοπικές κατοπτρικές αντανakλάσεις αδαμαντίνης κοπτικά, όμορα και στις κορυφές των φυμάτων (λευκό).
- Δημιουργία ψευδορωγμών και θραυσμάτων αδαμαντίνης προστομακά (λευκό, γκρι, κίτρινο) (εικ. 52).



Εικόνα 52

- Δημιουργία περιοχών υπασβεστίωσης (λευκό).
- Χρωματικές τροποποιήσεις κοπτικού χείλους όπως αποτριβές (κίτρινο, καφέ, ώχρα) μικρορωγμές (άσπρο, καφέ).

Δεδομένου ότι οι τροποποιήσεις αυτές θα πρέπει να φέρουν την οπτική ποιότητα της προσθετικής εργασίας όσο πιο κοντά γίνεται στα φυσικά δόντια του ασθενή, καλό είναι να πραγματοποιούνται παρουσία του ασθενή κατά τη συνεδρία της δοκιμής, εφόσον υπάρχει αυτή η δυνατότητα. Σε αντίθετη περίπτωση, θα πρέπει να δίνονται λεπτομερείς γραπτές οδηγίες που θα βοηθήσουν τον οδοντοτεχνίτη στην επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος.

### 1.7.2) Τελική εφύαλωση

Η τελική όπτηση γίνεται στη θερμοκρασία της πρώτης όπτησης, χωρίς όμως τη χρησιμοποίηση αρνητικής πίεσης.

Ο λόγος είναι ότι η οποιαδήποτε αλλοίωση των διαστάσεων ή της μορφολογίας λόγω συρρίκνωσης είναι πλέον ανεπιθύμητη. Επίσης, οι μικροί χώροι αέρος που παραμένουν μέσα στο σώμα του κεραμικού υλικού δεν πρέπει στη φάση αυτή να ενοποιηθούν σε σχηματισμό φυσαλίδων και να εμφανισθούν στην επιφάνεια.

Η εφύαλωση είναι ο όρος που περιγράφει τη δημιουργία μίας ενιαίας, λείας, υαλικής εξωτερικής επιφάνειας, που αποβλέπει στη πλήρη κάλυψη των επιφανειακών κρυσταλλικών στοιχείων του κεραμικού υλικού. Κατά την τελευταία αυτή όπτηση η τετηγμένη υαλική φάση του  $\text{Si}_2\text{O}_3$ , με τη βοήθεια της μειωμένης επιφανειακής τάσης που δημιουργείται, επιτυγχάνει την πλήρη εξωτερική διαβροχή του κεραμικού υλικού. Συγχρόνως ενσωματώνονται στην υαλική αυτή επιφάνεια οι κόκκοι των μεταλλικών οξειδίων της επιφανειακής χρώσης.

Η στίλβωση του μεταλλικού σιριτίου πραγματοποιείται μετά το πέρας και της τελευταίας όπτησης με την βοήθεια ειδικών ελαστικών δίσκων (εικ. 53, 54, 55).



Εικόνα 53



Εικόνα 54



Εικόνα 55

## **2. ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΧΑΜΗΛΟΤΗΚΤΩΝ ΠΟΡΣΕΛΑΝΩΝ Ti**

Τις δύο τελευταίες δεκαετίες το Ti έχει εισαχθεί στην προσθετική οδοντιατρική ως μια εναλλακτική λύση των πολύτιμων και βασικών κραμάτων στην κατασκευή μεταλλοκεραμικών αποκαταστάσεων. Στις μέρες μας αν και το Ti έχει καθολικά επικρατήσει στην βιομηχανική κατασκευή ενδοοστικών εμφυτευμάτων η χρήση του στην προσθετική οδοντιατρική δεν έχει βρει την ίδια επιτυχία. Η αποδοχή του Ti από τον οδοντιατρικό κόσμο παρουσιάζει μια εξαιρετικά παράδοξη και περίπλοκη εικόνα. Στην Ευρώπη και ιδιαίτερα στην Γερμανία και τη Σουηδία χρησιμοποιείται εκτεταμένα ενώ αντίθετα η χρήση του στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής είναι από εξαιρετικά περιορισμένη έως ανύπαρκτη. Τέλος στην Ιαπωνία που αποτέλεσε και τον πυρήνα ανάπτυξης των οδοντιατρικών εφαρμογών Ti η χρήση του περιορίζεται αποκλειστικά στην χύτευση σκελετών κινητής προσθετικής γεγονός το οποίο επιβάλλεται από το ασφαλιστικό σύστημα της χώρας.

Εδώ θα πρέπει να αναφερθεί ότι παρά το γεγονός ότι το Ti σαν υλικό εμφανίζει μια σειρά από πλεονεκτικές ιδιότητες για την χρήση του σε βιολογικές εφαρμογές (άριστη βιοσυμβατότητα, εξαιρετική αντοχή στην διάβρωση, καλές μηχανικές ιδιότητες κ.α.) η επεξεργασία του (τήξη, χύτευση, συγκόλληση) απαιτεί ιδιαίτερο εξοπλισμό και νέες τεχνικές κάτι που κάνει τη χρήση του τεχνικά περιπλοκότερη από τα συμβατικά υλικά.

### **2.1 Ιστορική εξέλιξη των πορσελανών Ti**

Θεμελιώδης αρχή της μεταλλοκεραμικής είναι ο συντελεστής θερμικής διαστολής (ΣΘΔ) του μεταλλικού υποστρώματος να είναι λίγο μεγαλύτερος από τον ΣΘΔ της πορσελάνης. Η διαφορά αυτή θεωρείται ευνοϊκή για δύο λόγους.

α) Αναπτύσσει συμπιεστικές τάσεις στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού συνεισφέροντας έτσι στην αντοχή του μεταλλοκεραμικού δεσμού και

β) Δυσκολεύει την ανάπτυξη ρωγμών που μπορεί να έχουν το εστιακό τους σημείο στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού αφού η αντοχή των οδοντιατρικών πορσελανών είναι περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη σε συμπίεση από ότι σε εφελκυσμό. Ωστόσο η διαφορά αυτή δεν θα πρέπει να υπερβαίνει το 0,5 αν και πολλές φορές ακόμα και η τιμή 1 θεωρείται ως αποδεκτή.

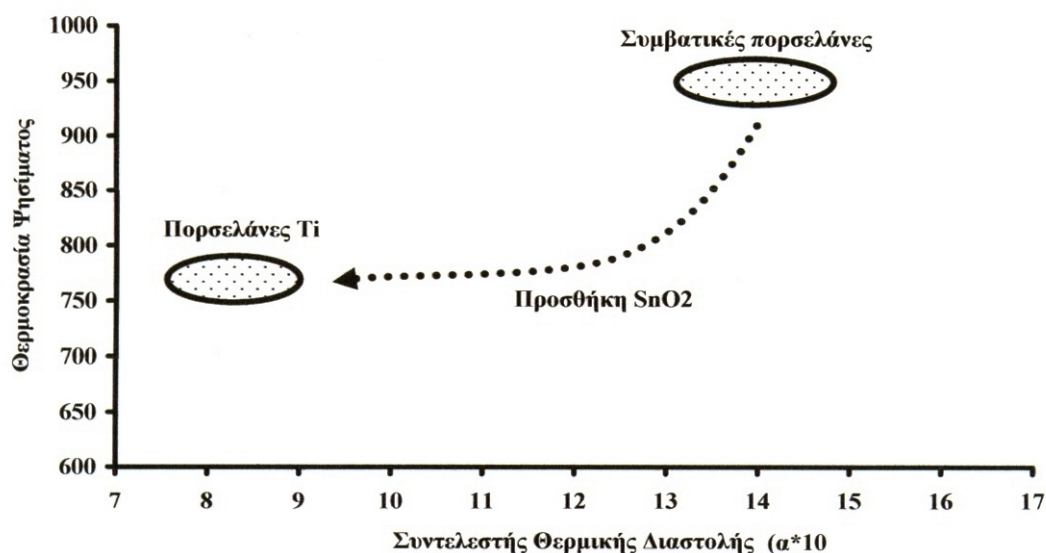
Παρ' όλα αυτά μέχρι σήμερα δεν υπάρχει κανένα διεθνή πρότυπο που να καθορίζει την μέγιστη επιτρεπτή διαφορά ανάμεσα στους ΣΘΔ. Αντίθετα όμως με αυτό που συμβαίνει με τις συμβατικές πορσελάνες που είναι συμβατές με τα περισσότερα πολύτιμα

και βασικά κράματα μεταλλοκεραμικής η χρήση τους είναι αδύνατη με το Ti για δύο σημαντικούς λόγους. Ο πρώτος λόγος είναι η τεράστια διαφορά στους ΣΘΔ ενώ ο δεύτερος λόγος ότι με τη θέρμανση του Ti σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 800 °C αυξάνει σημαντικά το πάχος της ζώνης των οξειδίων με αποτέλεσμα την δραματική μείωση της αντοχής του μεταλλοκεραμικού δεσμού και την αποκόλληση της πορσελάνης.

Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα αναπτύχθηκαν ειδικές πορσελάνες για την κάλυψη του Ti με ΣΘΔ μικρότερο του  $9 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (25-500°C) και θερμοκρασίες ψησίματος στην θερμοκρασιακή περιοχή των 800°C. Για να επιτευχθεί αυτό οι κατασκευαστές πρόσθεσαν στην χημική σύνθεση των πορσελανών σημαντικό ποσοστό SnO<sub>2</sub>. Στον Πίνακα 1 παρουσιάζεται συγκριτικά η χημική σύνθεση μια συμβατικής πορσελάνης και μιας πορσελάνης Ti ενώ στην Εικόνα 56 εμφανίζονται σχηματικά οι σχετικές θέσεις των συμβατικών πορσελανών και των πορσελανών Ti σε ένα διάγραμμα με τον οριζόντιο άξονα να αναπαριστά τον ΣΘΔ και τον κάθετο άξονα την θερμοκρασία ψησίματος.

Οξείδια	Συμβατική Πορσελάνη Αστρίου	Πορσελάνη Ti
SiO <sub>2</sub>	44-65	52.37
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	9-18	12.67
K <sub>2</sub> O	6-14	6.06
Na <sub>2</sub> O	4-9	8.27
BaO	0-4	0.21
CaO	0-3.5	2.20
Li <sub>2</sub> O		0.70
SnO <sub>2</sub>		14.46
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		2.46
F		0.42
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ,CeO <sub>2</sub> ,TiO <sub>2</sub> ,SnO <sub>2</sub>	0-1	

**Πίνακας 1.** Συγκριτική παρουσίαση της χημικής σύνθεσης της αδιαφάνειας μιας συμβατικής πορσελάνης αστρίου και μιας πορσελάνης Ti με μεγάλη διαφορά στην συγκέντρωση του SnO<sub>2</sub>.



**Εικόνα 56.** Συγκριτική παρουσίαση των θερμοκρασιών όπτησης και των συντελεστών θερμικής διαστολής των συμβατικών και των χαμηλόηκτων πορσελανών Ti.

Η πρώτη πορσελάνη που εμφανίζεται σε ερευνητική εργασία στην παγκόσμια βιβλιογραφία είχε αναπτυχθεί από την εταιρεία Procera. Ωστόσο η μειωμένη αντοχή της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης καθώς και ο αποχρωματισμός που συνέβαινε περίπου μετά από δύο χρόνια κλινικής λειτουργίας αποτέλεσαν την αιτία για την απόσυρση του προϊόντος από την αγορά. Από την άλλη μεριά οι κατασκευαστές γρήγορα κατάλαβαν ότι η μείωση της θερμοκρασίας ψησίματος δεν ήταν από μόνη της αρκετή για να αναστέλλει αποτελεσματικά την αύξηση του στρώματος των οξειδίων στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού και γι' αυτό το λόγο αναπτύχθηκαν οι συγκολλητικοί παράγοντες οι οποίοι ψήνονται πάνω στην επιφάνεια του Ti με σκοπό να ελαττώσουν την έκταση της οξειδωσης του μεταλλικού υποστρώματος αυξάνοντας έτσι την αντοχή της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης.

Σε πρόσφατες μελέτες που έγιναν σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 9693:1999, βρέθηκε ότι η χρήση συγκολλητικού παράγοντα σχεδόν τριπλασίασε την μεταλλοκεραμική συγκράτηση της πορσελάνης στο Ti. Επίσης για τον ίδιο σκοπό αλλά και για να βελτιωθεί η αισθητική απόδοση έχουν αναπτυχθεί συγκολλητικοί παράγοντες με βάση το Au. Ωστόσο μέχρι σήμερα δεν έχει αποδειχθεί ότι η χρήση αυτών των παραγόντων πράγματι αυξάνει την μεταλλοκεραμική αντοχή των πορσελανών με το Ti ενώ παραμένει ακόμα το ερώτημα για το κατά πόσο η πολύ μεγάλη διαφορά στους ΣΘΔ

Au [ $16,4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (25-500°C)], χυτού Ti [ $9,7 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$  (25-500°C)] και πορσελάνης δεν επηρεάζει αρνητικά την μηχανική αντοχή της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης. Επίσης το υψηλό τους κόστος είναι ένας ακόμα λόγος για την περιορισμένη χρήση των συγκολλητικών παραγόντων Au.

### **3. ΜΕΘΟΔΟΙ ΧΥΤΕΥΣΗΣ Ti ΚΑΙ Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥΣ ΣΤΗΝ ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΤΩΝ ΧΥΤΩΝ**

Τα κράματα του χρυσού και των πολύτιμων μετάλλων αποτελούσαν για αρκετές δεκαετίες τα μοναδικά οδοντιατρικά κράματα για την κατασκευή χυτών προσθετικών εργασιών. Η ραγδαία όμως αύξηση του κόστους τους οδήγησε στη μερική αντικατάσταση τους από τα κράματα των βασικών μετάλλων Ni και Cr, τα οποία όμως έχουν κατηγορηθεί για αλλεργιογόνο συμπεριφορά.

Στον αντίποδα όλων αυτών, το Ti αποτελεί μια εξαιρετική εναλλακτική λύση για την κατασκευή προσθετικών εργασιών λόγω της άριστης βιολογικής του συμπεριφοράς, των καλών μηχανικών του ιδιοτήτων και της εξαιρετικής του αντοχής στη διάβρωση. Επίσης, το Ti εμφανίζει χαμηλό ειδικό βάρος  $4,5 \text{ gr/cm}^3$ , ιδιότητα που επιτρέπει την κατασκευή ελαφρών μεταλλικών κατασκευών. Επιπλέον, η σχετική ακτινοδιαπερατότητα του Ti επιτρέπει τον ακτινογραφικό έλεγχο, για λάθη χύτευσης σε λεπτά τοιχώματα χυτών προσθετικών εργασιών, με πάχος περίπου μέχρι  $1,6 \text{ mm}$  αλλά και τη δυνατότητα ανίχνευσης τερηδονικών βλαβών κάτω από λεπτά όρια ή πτερύγια γεφυρών τύπου "Maryland". Παράλληλα, η χαμηλή θερμική του αγωγιμότητα (συντελεστής θερμικής αγωγιμότητας  $Ti=21,4 \text{ W/mK}$ , κραμάτων  $Au=120\sim 300 \text{ W/mK}$ ) προστατεύει τον πολφό από θερμικούς ερεθισμούς, ενώ η αφθονία του υλικού στη φύση σε συνδυασμό με το χαμηλό κόστος της πρώτης ύλης (για τον τύπο II εμπορικής καθαρότητας) αποτελούν πρόσθετα πλεονεκτήματα του υλικού αυτού.

Ωστόσο, οι σημαντικές διαφορές στις μεταλλουργικές φυσικές και χημικές ιδιότητες του Ti, σε σχέση με τα μέχρι σήμερα γνωστά οδοντιατρικά κράματα χύτευσης, εισήγαγαν μια σειρά περιορισμών στην επεξεργασία του για την κατασκευή χυτών μεταλλικών σκελετών. Το Ti οξειδώνεται ταχύτατα λόγω της υψηλής χημικής του συγγένειας με το  $O_2$ , αλλά το παραγόμενο οξείδιο του δεν μπορεί να προφυλάξει το τηγμένο μέταλλο από την επιπλέον οξείδωση, σε



αντίθεση με ότι συμβαίνει με όλα τα μέχρι σήμερα χρησιμοποιούμενα οδοντιατρικά κράματα, για τα οποία η τήξη τους μπορεί να γίνει σε ατμοσφαιρικές συνθήκες. Για το λόγο αυτό, η τήξη και η συγκόλληση του Ti πρέπει να γίνεται υπό προστατευτική ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου ή στρώμα συλλιπάσματος. Επίσης, η υψηλή αντιδραστικότητα του Ti σε μεγάλες θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με την υψηλή χημική του συγγένεια με το Si και με το υψηλό σημείο τήξης του (1668°C), εισάγουν πολλά προβλήματα στην διαδικασία τήξης και χύτευσης του Ti με τον συμβατικό εξοπλισμό της φυγοκεντρικής χύτευσης σε συνδυασμό με τα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας (που έχουν σαν βάση το SiO<sub>2</sub>). Για όλους τους παραπάνω λόγους, οι σύγχρονες συσκευές χύτευσης του Ti, καθώς και τα πυροχώματα, σχεδιάστηκαν έτσι ώστε να μειώνουν ή να παρακάμπτουν τα παραπάνω προβλήματα και να παράγουν αποδεκτά χυτά.

Είναι γνωστό ότι η παραγωγή ενός αποδεκτού χυτού απαιτεί τη σωστή ρύθμιση όλων των παραμέτρων (θερμοκρασία χύτευσης κράματος, τοποθέτηση αγωγών απαέρωσης κ.ά.) που επηρεάζουν την ποιότητα του τελικού προϊόντος (πορώδες, ακρίβεια των ορίων κ.ά.). Η εφαρμογή όμως μιας καινούργιας τεχνολογίας (συσκευές και πυροχώματα) για την χύτευση του Ti εισάγει μια σειρά παραμέτρων (π.χ. πίεση αδρανούς αερίου κατά την χύτευση) που η γνώση της επίδρασης τους είναι αναγκαία για την παρασκευή αποδεκτών χυτών.

### **3.1 Περιγραφή του εξοπλισμού χύτευσης του Ti**

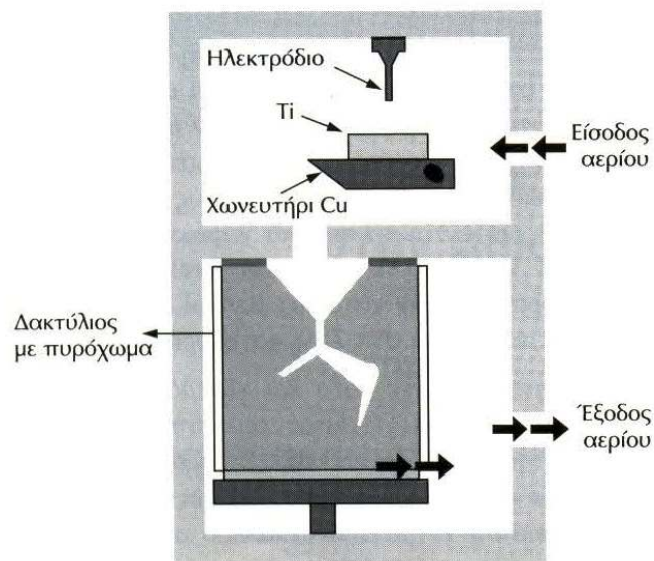
Κατά την εισαγωγή του Ti στην προσθετική οδοντιατρική πριν από δύο περίπου δεκαετίες, έγιναν προσπάθειες χύτευσης με τον ήδη υπάρχοντα εξοπλισμό της φυγοκεντρικής χύτευσης. Όμως, το υψηλό σημείο τήξης του Ti (1668°C) απαιτούσε καλούπια τήξης που θα άντεχαν σ' αυτή τη θερμοκρασία, ενώ ταυτόχρονα θα ήταν χημικά αδρανή ως προς το Ti, υλικό που είναι γνωστό για την υψηλή αντιδραστικότητά του ιδιαίτερα σε υψηλές θερμοκρασίες. Επίσης, η υψηλή χημική του συγγένεια με το O<sub>2</sub> και το N<sub>2</sub> απαιτεί την ύπαρξη αδρανούς προστατευτικής ατμόσφαιρας κατά την τήξη του για την αναστολή της μόλυνσης από τον ατμοσφαιρικό αέρα. Έτσι οι σύγχρονες συσκευές χύτευσης τήκουν το Ti με την ανάπτυξη ηλεκτρικού τόξου ή με επαγωγικά ρεύματα, κάτω από προστατευτική ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου. Στον Πίνακα 2 φαίνονται τα τεχνικά χαρακτηριστικά των συσκευών χύτευσης Ti, τις οποίες διαθέτουν σήμερα στην

αγορά διάφοροι κατασκευαστικοί οίκοι και οι οποίες ταξινομούνται στις εξής κατηγορίες:

- Τήξη με ηλεκτρικό τόξο και χύτευση υπό πίεση αερίου. Οι συσκευές αυτού του τύπου τήκουν το Ti με την ανάπτυξη ηλεκτρικού τόξου και την παρουσία αδρανούς αερίου (συνήθως Ar) και στην συνέχεια το τήγμα του μετάλλου οδηγείται στον πυροχωμάτινο δακτύλιο με την επιτάχυνση της βαρύτητας και την πίεση του υπερκείμενου αερίου.
- Τήξη με ηλεκτρικό τόξο και φυγοκεντρική χύτευση στον οριζόντιο ή κατακόρυφο άξονα. Η τήξη γίνεται με τον ίδιο τρόπο αλλά το τήγμα του μετάλλου οδηγείται μέσα στο πυροχωμάτινο δακτύλιο με την επιτάχυνση της φυγόκεντρου.
- Επαγωγική τήξη με υψίσυχνα ρεύματα και χύτευση υπό πίεση αερίου. Η τήξη γίνεται μέσω επαγωγικής θέρμανσης υψίσυχνων ρευμάτων, ενώ το τήγμα χυτεύεται υπό πίεση αδρανούς αερίου.

Ονομασία συσκευής	Κατασκευαστής	Μέθοδος τήξης	Μέθοδος χύτευσης
Titaniumer VF	Ohara Co, Japan	Ηλεκτρικό τόξο	Φυγοκεντρική
Ticast super R	Selec Co, Japan	Ηλεκτρικό τόξο	Φυγοκεντρική
Arvitron PC-305	Asahi Roentgen Ind. Co, Japan	Επαγωγική	Πίεση αερίου
Automatic HC-III	CC & Co, Japan	Ηλεκτρικό τόξο	Πίεση αερίου
Castmatic	Iwatani & Co, Japan	Ηλεκτρικό τόξο	Πίεση αερίου
Cyclarc	J. Morita Co, Japan	Ηλεκτρικό τόξο	Πίεση αερίου
Ty-Cast 3000	Jeneric/Pentron Inc. USA	Ηλεκτρικό τόξο	Φυγοκεντρική
	Dentaurum Co, Germany	Ηλεκτρικό τόξο	Φυγοκεντρική
Titec 201 F	Orotig, Italy	Ηλεκτρικό τόξο	Πίεση αερίου

**Πίνακας 2.** Σύγχρονες συσκευές χύτευσης Ti για οδοντιατρικές εφαρμογές.



**Εικόνα 57.** Σχηματική αναπαράσταση συσκευής χύτευσης Ti του τύπου κενού-πίεσης αδρανούς αερίου. Η τήξη γίνεται με την ανάπτυξη ηλεκτρικού τόξου και παρουσία αδρανούς αερίου και το τήγμα χυτεύεται εξαιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας (ελεύθερη πτώση) και της πίεσης του υπερκείμενου αερίου. (Σύμφωνα με το εγχειρίδιο χρήσης της Cyclarc II).

Στην Εικόνα 57 παρουσιάζεται μια αντιπροσωπευτική συσκευή χύτευσης Ti δύο θαλάμων (Cyclarc II, J. Morita Co, Kyoto, Japan). Ο άνω θάλαμος (θάλαμος τήξης) χρησιμοποιείται για την τήξη του Ti με την ανάπτυξη ηλεκτρικού τόξου παρουσία αδρανούς αερίου (συνήθως Ar). Στον κάτω θάλαμο (θάλαμο χύτευσης) τοποθετείται ο πυροχωμάτινος δακτύλιος και το τήγμα του μετάλλου οδηγείται μέσα στο πυρόχωμα εξαιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας (ελεύθερη πτώση) και της πίεσης του υπερκείμενου αερίου. Η συνολική διαδικασία της χύτευσης του Ti ακολουθεί τα παρακάτω βήματα:

1. Οι δύο θάλαμοι τίθενται υπό κενό.
2. Το αδρανές αέριο κατακλύζει τους δύο θαλάμους ενώ η πίεση του καθορίζεται από τον χρήστη της συσκευής και παραμένει σταθερή καθ' όλη τη διάρκεια της διαδικασίας.
3. Το ηλεκτρικό τόξο ανοίγει και το Ti τήκεται σε προεπιλεγμένους χρόνους (30, 40, 50, 60s) ανάλογα με το βάρος του μεταλλικού κυλίνδρου που έχει τοποθετηθεί στο χάλκινο χωνευτήρι.
4. Το χάλκινο χωνευτήρι στρέφεται στον κατακόρυφο άξονα (γέρνει προς τα κάτω) και το υγρό Ti οδηγείται μέσα στο πυρόχωμα λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας και της πίεσης του υπερκείμενου αερίου.

5. Η παροχή του αδρανούς αερίου διακόπτεται και ο πυροχωμάτινος δακτύλιος ψύχεται αρχικά μέσα στη συσκευή χύτευσης και στη συνέχεια στον ατμοσφαιρικό αέρα.

Εναλλακτικά με τον τύπο του χωνευτηρίου, το οποίο στρέφεται προς τα κάτω για να δώσει ώθηση στο λειωμένο μέταλλο (tilt type), χρησιμοποιείται από άλλους κατασκευαστές ο τύπος του χωνευτηρίου διχοτόμησης ο οποίος ανοίγει στην μέση (split type) και το τήγμα του μετάλλου περνάει από τον θάλαμο τήξης στον θάλαμο χύτευσης. Ο τύπος χωνευτηρίου διχοτόμησης (split type) είναι κατάλληλος για τη χύτευση μικρών ποσοτήτων μετάλλου (<20 gr), ενώ για μεγαλύτερες ποσότητες είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται ο τύπος του χωνευτηρίου στρέψης (tilt type).

Τέλος, οι συσκευές χύτευσης κενού-πίεσης αερίου φαίνεται να υπερέχουν στη χύτευση του Ti βασικά εξαιτίας της ομαλής ροής του τήγματος κατά τη χύτευση, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή που εμφανίζεται στις φυγοκεντρικές συσκευές χύτευσης. Επιπλέον, σε σχέση με τα φυγοκεντρικά συστήματα οι συσκευές κενού-πίεσης αερίου εμφανίζουν ευκολία στο χειρισμό εξ αιτίας του μικρού αριθμού και της απλότητας των μηχανικών τους εξαρτημάτων.

### 3.2 Πυροχώματα μαγνησίας

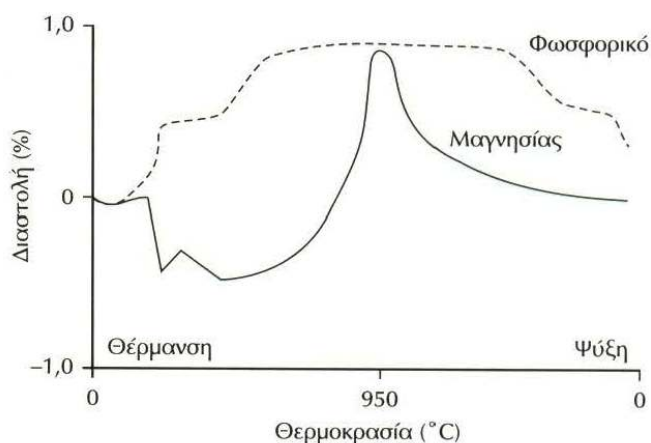
Η υψηλή χημική συγγένεια του Ti με το O<sub>2</sub> και το Si καθιστά προβληματική τη χύτευση του στα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας εξαιτίας της επιφανειακής μόλυνσης των χυτών. Με σκοπό την παρασκευή πυροχωμάτων κατάλληλων για την χύτευση του Ti, κάποιες εταιρίες παρήγαγαν πυροχώματα στα οποία ένα μέρος του SiO<sub>2</sub> αντικαταστάθηκε από Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Τα πυροχώματα αυτού του τύπου ονομάζονται φωσφορικά πυροχώματα αλουμίνας-πυριτίας (phosphate bonded Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-SiO<sub>2</sub> investment), αλλά τελικά η ποιότητα των χυτών Ti ελάχιστα διαφοροποιήθηκε σε σχέση με τα πυροχώματα πυριτίας. Έτσι, αποκλειστικά για τη χύτευση του Ti σχεδιάστηκαν τα πυροχώματα μαγνησίας, τα οποία αποτελούνται βασικά από οξείδια MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και ZrO<sub>2</sub>, ενώ η περιεκτικότητα τους σε SiO<sub>2</sub> παραμένει σε χαμηλά επίπεδα (<2% κ.β.). Στον Πίνακα 3, παρουσιάζονται οι κατά βάρος περιεκτικότητες ενός φωσφορικού πυροχώματος πυριτίας, δύο φωσφορικών πυροχωμάτων αλουμίνας-πυριτίας και ενός πυροχώματος μαγνησίας. Η υψηλή περιεκτικότητα του SiO<sub>2</sub> στο φωσφορικό πυροχώμα πυριτίας, έχει αντικατασταθεί

στο πυρόχωμα μαγνησίας από MgO και Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Επίσης, τα πυροχώματα μαγνησίας χαρακτηρίζονται ως χονδρόκοκκα αφού το μέγεθος των κόκκων της MgO κυμαίνεται σε υψηλότερα όρια, συγκρινόμενο με το μέγεθος των κόκκων του SiO<sub>2</sub> στα κλασικά πυροχώματα.

	Bellavest T <sup>1</sup>	Rematitan plus <sup>2</sup>	Titanium vest <sup>2</sup>	Titavest CB <sup>3</sup>
Χημική σύνθεση (% κ.β.)				
SiO <sub>2</sub>	79	66	69	2
P <sub>x</sub> O <sub>y</sub>	11	8	5	
ZrN, ZrO <sub>2</sub>				12
MgO	9	9	5	57
CaO				1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,4	16	20	26
Na <sub>2</sub> O <sub>x</sub>	0,4	0,6	0,2	2
Εύρος μεγέθους των κόκκων του μεγαλύτερου σε περιεκτικότητα οξειδίου (μm)				
	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	MgO
	50-170	70-275	50-140	50-280
Πίεση αερίου στον θάλαμο χύτευσης (torr)				
	1	85	85	150

<sup>1</sup>Φωσφορικό πυρόχωμα πυριτίας, <sup>2</sup>Φωσφορικό πυρόχωμα αλουμίνας-πυριτίας, <sup>3</sup>Πυρόχωμα μαγνησίας

**Πίνακας 3.** Η χημική σύνθεση, η κατανομή κόκκων του μεγαλύτερου σε περιεκτικότητα οξειδίου, καθώς και η πίεση στον θάλαμο τήξης για αντιπροσωπευτικά πυροχώματα. (Από Syverud and Hero 1995).



**Εικόνα 58.** Συγκριτική ποσοστιαία μεταβολή όγκου για ένα φωσφορικό πυρόχωμα πυριτίας και για ένα πυρόχωμα μαγνησίας κατά το θερμικό κύκλο θέρμανσης και ψύξης. Η ασύμμετρη συμπεριφορά του μαγνησιακού πυροχώματος πιθανότατα οφείλεται στην απουσία αντιστρεπτών αντιδράσεων. (Από Mori et al, 1994 Takahashi et al, 1990).

Οι μεγάλες διαφορές τόσο στην χημική σύνθεση όσο και στο μέγεθος των κόκκων, αποτελούν τη βασική αιτία για τις διαφορές που παρατηρούνται ανάμεσα στους δύο αυτούς τύπους πυροχωμάτων. Έτσι, τα πυροχώματα μαγνησίας παρουσιάζουν μηδενική διαστολή πήξης, ενώ τα φωσφορικού τύπου από 0,7~1,6% αλλά και χαμηλότερες μηχανικές ιδιότητες. Σημαντικές διαφορές έχουν επίσης παρατηρηθεί στη θερμική διαστολή κατά τον θερμικό κύκλο αποκήρωσης και προθέρμανσης του πυροχώματος. Σε αντίθεση με τα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας, τα οποία παρουσιάζουν μια απότομη αύξηση στον ρυθμό διαστολής στους 20 °C και στους 600 °C εξαιτίας των αλλοτροπικών μεταβολών του χριστοβαλίτη και του χαλαζία, τα πυροχώματα μαγνησίας αρχίζουν να διαστέλονται σε θερμοκρασίες μεγαλύτερες των 700 °C με μέγιστη διαστολή (0,63%) στους 950 °C (Εικόνα 58). Η απότομη αυτή διαστολή έχει αποδοθεί στην αντίδραση της MgO με την Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> και τη δημιουργία της φάσης του σπινελίου (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>). Τέλος, τα πυροχώματα μαγνησίας εξαιτίας της χονδρόκοκκης δομής τους, εμφανίζουν πολύ μεγαλύτερη διαπερατότητα στα αέρια, ιδιότητα που όπως θα εξηγηθεί στη συνέχεια, παίζει σημαντικό ρόλο στο πορώδες και στην ακρίβεια των ορίων των χυτών Ti.

### 3.3 Μόλυνση κατά την χύτευση του Ti

Η μεγάλη αντιδραστικότητα του Ti σε υψηλές θερμοκρασίες, καθώς και η χημική του συγγένεια με το Si και το O<sub>2</sub>, καθιστούν προβληματική τη χύτευση του στα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας, εξαιτίας της δημιουργίας μιας επιφανειακής ζώνης μόλυνσης των χυτών Ti από τα διάφορα στοιχεία των πυροχωμάτων όπως: Si, O, P, Al κ.ά. Η χύτευση του Ti σε μονοκρυστάλλους διαφόρων οξειδίων (SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, ZrO<sub>2</sub>, CaO και MgO) έδειξε ότι το SiO<sub>2</sub> παρουσιάζει τη μεγαλύτερη αντιδραστικότητα με το Ti σχηματίζοντας μία ζώνη πάχους 250μm με υψηλή συγκέντρωση Si, ακολουθούμενο από την Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> η οποία σχημάτισε μια αντίστοιχη ζώνη μόλυνσης από Al βάθους 100μm, ενώ τα υπόλοιπα οξείδια ZrO<sub>2</sub>, CaO και MgO παρουσίασαν ελάχιστη αντιδραστικότητα με το τήγμα του Ti. Στην Εικόνα 59, εμφανίζεται η προβολή δευτερογενούς εκπομπής ηλεκτρονίων (SEI) της επιφανειακής ζώνης μόλυνσης που δημιουργείται κατά τη χύτευση του Ti σε πυροχώματα φωσφορικού τύπου.



**Εικόνα 59.** Εγκάρσια διατομή δοκιμίου Ti χυτευμένου σε πυροχώμα φωσφορικού τύπου. Φαίνεται η χαρακτηριστική δομή της επιφανειακά μολυσμένης ζώνης (Περιοχή A: SEI ένδειξη κλίμακας 100μm). (Από Ζηνέλης και συν, 1998).

Επιπλέον, το εύρος της επιφανειακής ζώνης μόλυνσης αποδείχθηκε ότι αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του πυροχώματος κατά την χύτευση, καθώς και με τον όγκο του χυτού. Υπολογίστηκε ότι το εύρος της επιφανειακής μόλυνσης αυξήθηκε από 100 σε 150μm κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του μούφλου από 450 σε 950°C. Αναφέρεται ότι η μείωση της θερμοκρασίας του

μούφλου: (α) Μειώνει την αντιδραστικότητα του πυροχώματος και (β) Αυξάνει το ρυθμό απαγωγής της θερμότητας από το τήγμα του μετάλλου επιταχύνοντας τη στερεοποίηση, μειώνοντας ταυτόχρονα το διαθέσιμο χρόνο για τη διάχυση των στοιχείων του πυροχώματος στην υγρή κατάσταση. Τέλος, το βάθος της ζώνης μόλυνσης έχει βρεθεί ότι αυξάνει με τη μείωση του λόγου χριστοβαλίτη/χαλαζία.

Πρόσφατες μελέτες αποκάλυψαν ότι τα στοιχεία του πυροχώματος (O, Si, P, Al κ.ά.) βρίσκονται ανομοιογενώς κατανεμημένα μέσα στην επιφανειακή ζώνη μόλυνσης. Έτσι, κατά την χύτευση του Ti σε φωσφορικά πυροχώματα αλουμίνας-πυριτίας σχηματίζονται δύο διακριτές περιοχές. Η εξωτερική περιοχή του χυτού (στη διεπιφάνεια με το πυρόχωμα) παρουσιάζει υψηλή συγκέντρωση O και Al με ίχνη Si και C, ενώ η εσωτερική περιοχή αποτελείται από υψηλές συγκεντρώσεις O, Si, P, C και ίχνη Al. Οι διακριτές αυτές περιοχές δεν εμφανίζονται όταν η χύτευση γίνεται σε φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας. Σε αυτή την περίπτωση η ζώνη μόλυνσης αποτελείται από ένα κράμα άλφα ( $76.7\text{Ti}-22.4\text{O}-0.9\text{Si}$ ) και βήτα ( $88.5\text{Ti}-6.7\text{Fe}-2.4\text{Si}-1.4\text{O}-1.0\text{Cr}$ ) φάσης αλλά και φάσεις του Ti με το Si και τον P (όπως  $\text{Ti}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{Ti}_3\text{Si}$ ,  $\text{Ti}_3\text{P}$ ) με ενδομεταλλικό ή χημικό χαρακτήρα.

Η ανάπτυξη της επιφανειακής ζώνης μόλυνσης είναι ανεπιθύμητη για τους παρακάτω λόγους: (α) Αυξάνει την τραχύτητα της επιφάνειας των χυτών μειώνοντας την ακρίβεια εφαρμογής της μεταλλικής αποκατάστασης και (β) Μειώνει την επιμήκυνση και την αντοχή στην κόπωση επιταχύνοντας τον χρόνο αστοχίας των χυτών μεταλλικών κατασκευών.

Για την αναστολή της μόλυνσης από τα στοιχεία των συμβατικών πυροχωμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η κάλυψη του κέρινου προτύπου με οξειδία που παρουσιάζουν χημική αδράνεια ως προς το Ti ακόμα και σε υψηλές θερμοκρασίες (π.χ.  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Y}_2\text{O}_3$  κ.ά.). Πράγματι η κάλυψη του κέρινου προτύπου με σκόνη  $\text{ZrO}_2$  ανέστειλε τη μόλυνση του Ti, ενώ δοκίμια χωρίς επικάλυψη παρουσίασαν μία ζώνη μόλυνσης έκτασης περίπου  $150\mu\text{m}$  από την εξωτερική επιφάνεια των χυτών. Παρά την αναστολή της μόλυνσης, οι επικαλύψεις αυτές έχουν κατηγορηθεί ότι αυξάνουν την ευαισθησία των χυτών στην ανάπτυξη πορώδους, ενώ ταυτόχρονα μειώνουν την ακρίβεια των ορίων τους.

Τέλος, η χρήση των πυροχωμάτων μαγνησίας περιορίζει σε μεγάλο βαθμό τη μόλυνση των χυτών Ti από τα στοιχεία του πυροχώματος. Έτσι, η χύτευση σε πυροχώματα μαγνησίας παρήγαγε χυτά στα οποία η έκταση της επιφανειακής



ζώνης μόλυνσης ήταν περίπου έξι φορές μικρότερη από αυτήν που δημιουργήθηκε κατά τη χύτευση σε φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας, ενώ η σκληρότητα της είναι κατά πολύ μικρότερη όταν χρησιμοποιούνται πυροχώματα μαγνησίας (~300 VHN) σε σύγκριση με τα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας (~450 VHN).

### **3.4 Ανάπτυξη πορώδους κατά την χύτευση του Ti**

Ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα κατά τη χύτευση των μετάλλων στην οδοντιατρική είναι η ανάπτυξη πορώδους. Το Ti δεν αποτέλεσε εξαίρεση παρά τον εξελιγμένο εξοπλισμό που χρησιμοποιείται για την χύτευσή του. Το πορώδες καθώς και η μερική πλήρωση του χώρου αποκήρωσης από το τήγμα του μετάλλου, αποτελούν σημαντικά προβλήματα στην κατασκευή χυτών μεταλλικών σκελετών. Στη συνέχεια παρουσιάζονται μερικοί από τους παράγοντες που επηρεάζουν την ανάπτυξη του πορώδους κατά τη χύτευση.

#### **3.4.1 Η διαπερατότητα του πυροχώματος σε διάφορα αέρια**

Τόσο στη φυγοκεντρική χύτευση όσο και στη χύτευση υπό πίεση αδρανούς αερίου, το αδρανές αέριο που υπάρχει μέσα στο χώρο αποκήρωσης τη στιγμή της χύτευσης, διαφεύγει μέσα από τους πόρους του πυροχώματος υπό την πίεση του υπερκείμενου υγρού μετάλλου. Έτσι ο ρυθμός αποκένωσης του χώρου τήξης από τα αέρια, είναι άμεσα συνδεδεμένος με την διαπερατότητα του πυροχώματος. Για το λόγο αυτό, τα πυροχώματα μαγνησίας που χρησιμοποιούνται στη χύτευση Ti, έχουν πιο χονδρούς κόκκους από τα συμβατικά πυροχώματα, με αποτέλεσμα να εμφανίζουν μεγαλύτερο πορώδες στη μάζα τους πράγμα που διευκολύνει τη διαφυγή των αερίων. Η σχετική διαπερατότητα των πυροχωμάτων αυτών σε σχέση με την πίεση που υπάρχει μέσα στον θάλαμο τήξης, δίνεται στον Πίνακα 3. Τα πυροχώματα με μεγαλύτερη διαπερατότητα, εμφανίζουν μεγαλύτερη πίεση, αφού οι αέριες μάζες διαφεύγουν μέσα από το πυρόχωμα στο θάλαμο τήξης αυξάνοντας την πίεση του αερίου. Έτσι εκτός από τον περιορισμό της μόλυνσης των χυτών Ti από τα στοιχεία των συμβατικών πυροχωμάτων (Si, P, O, Al κ.ά.) τα πυροχώματα μαγνησίας εξαιτίας της μεγαλύτερης διαπερατότητας τους, εμφανίζουν λιγότερη τάση για ανάπτυξη πόρων στη μάζα των χυτών.

### **3.4.2 Η διαφορά της πίεσης του αδρανούς αερίου μεταξύ του χώρου τήξης και του χώρου χύτευσης**

Αρκετές συσκευές χύτευσης κενού/πίεσης αερίου χρησιμοποιούν ένα μεταλλικό φύλλο (Al ή Cu) μικρού πάχους, για να διαχωρίσουν τον χώρο τήξης από τον χώρο χύτευσης. Έτσι ο χώρος χύτευσης έχει πολύ μικρότερη πίεση αερίου πράγμα που διευκολύνει την κατασκευή ενός αποδεκτού χυτού. Κατά την πορεία του υγρού μετάλλου προς το χώρο χύτευσης, η μεταλλική μεμβράνη λιώνει από τη θερμοκρασία και ανοίγει, ενώ το υπερκείμενο αέριο πιέζει το τήγμα κατά την ροή του μέσα στον πυροχωμάτινο δακτύλιο. Όμως, η αυξημένη διαφορά της πίεσης ανάμεσα στο χώρο τήξης και στο χώρο χύτευσης προκαλεί την τυρβώδη ροή του μετάλλου, πράγμα που ευνοεί την ενσωμάτωση των αερίων με αποτέλεσμα την αύξηση του πορώδους των χυτών.

### **3.4.3 Η ύπαρξη του αδρανούς αερίου μέσα στο θάλαμο χύτευσης**

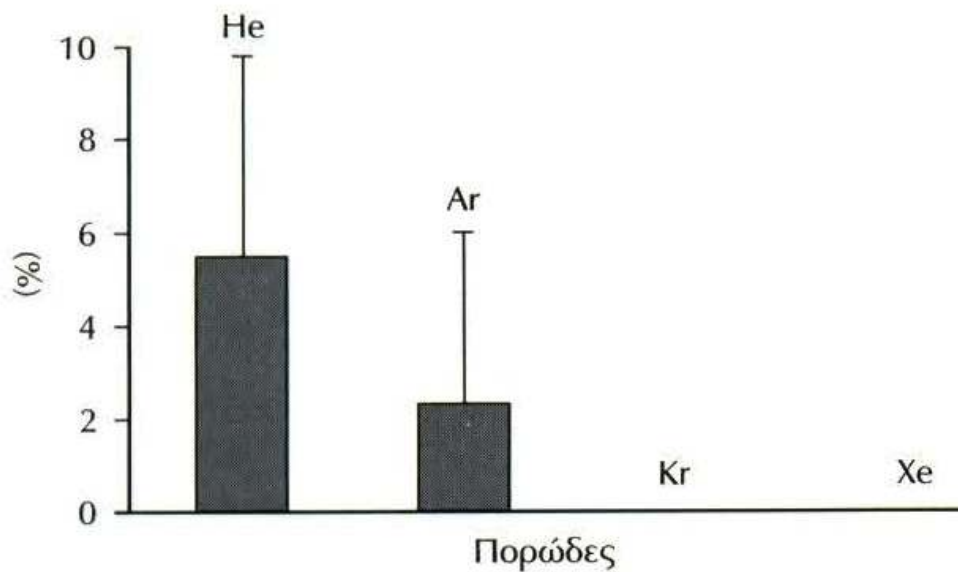
Το αδρανές αέριο ακολουθεί το τήγμα μέσα στο χώρο αποκήρωσης και η δυσκολία του να διαφύγει μέσα από αυτό, στον ελάχιστο χρόνο που γίνεται η στερεοποίηση του μετάλλου αυξάνει την πιθανότητα εγκλωβισμού του στην μάζα του χυτού. Τα μόρια του αερίου με σαφώς μεγαλύτερη μέση ταχύτητα από την ταχύτητα που αναπτύσσει το μέταλλο, βασικά εξαιτίας της επιτάχυνσης της βαρύτητας διεισδύουν πρώτα στο χώρο χύτευσης. Το γεγονός αυτό ευνοείται από τη διαφορά της πίεσης που υπάρχει μεταξύ του χώρου τήξης και χύτευσης γιατί αυξάνεται η ταχύτητα των αερίων κατά τη διάχυσή τους από περιοχές υψηλότερων σε περιοχές χαμηλότερων πιέσεων. Σε συσκευές όμως που αυτή η διαχωριστική μεταλλική μεμβράνη δεν υπάρχει (όπως στο σύστημα Cyclarc) η πίεση του αερίου τείνει να είναι ίση σε όλους τους χώρους της συσκευής καθ' όλη τη διάρκεια της χύτευσης. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, η μείωση της πίεσης από 1atm που προτείνει η εταιρία σε 0,5atm, δρα ευνοϊκά στη μείωση του πορώδους γιατί μειώνεται ο όγκος του αερίου που υπάρχει μέσα στον χώρο αποκήρωσης κατά την στιγμή της χύτευσης.

### **3.4.4 Μέθοδος χύτευσης**

Γενικά αναφέρεται ότι ο τύπος του πορώδους των χυτών Ti διαφέρει μεταξύ της φυγοκεντρικής χύτευσης και της χύτευσης υπό πίεση αδρανούς αερίου. Έτσι η χύτευση υπό πίεση παράγει χυτά με λίγους αλλά μεγάλους πόρους σε αντίθεση με την φυγοκεντρική χύτευση που παράγει χυτά με πολλούς και μικρότερους πόρους. Η διαφορά αυτή αποδίδεται στην ομαλή ροή (laminar flow) κατά τη χύτευση υπό πίεση, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή (turbulence flow) του τηγμένου μετάλλου κατά τη φυγοκεντρική χύτευση.

### **3.4.5 Ο τύπος του αδρανούς αερίου που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της αδρανούς ατμόσφαιρας**

Εξαιτίας της μεγάλης αντιδραστικότητας του Ti με το O<sub>2</sub>, τόσο η χύτευση όσο και η συγκόλλησή του απαιτεί την ύπαρξη αδρανούς ατμόσφαιρας. Οι συσκευές χύτευσης για την οδοντιατρική χρήση του Ti είναι εφοδιασμένες με φιάλες Ar υψηλής καθαρότητας (>99,999%), ενώ εναλλακτικά χρησιμοποιείται και το αδρανές αέριο He. Ο τύπος του αερίου που χρησιμοποιείται αποδείχθηκε ότι έχει πολύ σημαντική επίδραση στο πορώδες των χυτών Ti. Στην Εικόνα 60, παρουσιάζεται το εκατοστιαίο ποσοστό του πορώδους των χυτών Ti σε συνάρτηση με την χρήση διαφόρων αδρανών αερίων. Η εξήγηση του φαινομένου αποδόθηκε στο γεγονός ότι με βάση την κινητική θεωρία των αερίων στην ίδια θερμοκρασία τα ελαφρύτερα αέρια έχουν μεγαλύτερες μέσες ταχύτητες σε σχέση με τα βαρύτερα, πράγμα που σημαίνει ότι τα άτομά τους συγκρούονται περισσότερες φορές με την επιφάνεια του μετάλλου στην μονάδα του χρόνου διευκολύνοντας την ενσωμάτωση του αερίου στη μάζα του τήγματος, με τελικό αποτέλεσμα την ανάπτυξη πόρων. Εκτός όμως από το πορώδες, η χρήση διαφορετικών αδρανών αερίων έχει βρεθεί ότι επηρεάζει και τις μηχανικές ιδιότητες των χυτών Ti.



**Εικόνα 60.** Εικόνα του εκατοστιαίου ποσοστού του πορώδους των χυτών Ti σε συνάρτηση με τον τύπο του αδρανούς αερίου που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της αδρανούς ατμόσφαιρας κατά την διαδικασία της τήξης και χύτευσης σε συσκευή χύτευσης κενού-πίεσης αερίου. (Από Zinelis, 1998).

### 3.4.6 Ο αριθμός των αγωγών χύτευσης

Η αύξηση του αριθμού των αγωγών χύτευσης βρέθηκε ότι μειώνει την ανάπτυξη του πορώδους. Η μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο τήγμα του μετάλλου ( $>1700^{\circ}\text{C}$ ) και του πυροχώματος ( $<800^{\circ}\text{C}$ ), αυξάνει το ρυθμό απόψυξης του μετάλλου επιταχύνοντας τη στερεοποίηση του και μειώνοντας το διαθέσιμο χρόνο για τη διαφυγή των αερίων. Έτσι, η χρήση αυξημένου αριθμού αγωγών χύτευσης αυξάνει την παροχή υγρού μετάλλου στη μονάδα του χρόνου προς το στερεοποιημένο μέταλλο, ενώ ταυτόχρονα αποτελεί μια θερμική δεξαμενή, η οποία αυξάνει τη θερμοκρασία της περιοχής μειώνοντας την πιθανότητα της πρώιμης στερεοποίησης.

### 3.5 Ακρίβεια των ορίων των χυτών Ti (Castability)

Η ακριβής αναπαραγωγή των διαστάσεων του κέρινου προτύπου από το χυτό μεταλλικό αντικείμενο, αποτελεί αναγκαία προϋπόθεση για την καλή εφαρμογή της αποκατάστασης στη στοματική κοιλότητα και τη μετέπειτα κλινική της συμπεριφορά. Για το λόγο αυτό, οι παράγοντες που επηρεάζουν την ακρίβεια των ορίων των χυτών αποτελούν αντικείμενο μελέτης πολλών ερευνητικών εργασιών.

Ειδικά για τη χύτευση του Ti μερικοί από τους παράγοντες που έχει βρεθεί ότι επηρεάζουν την ακρίβεια των ορίων των χυτών είναι οι εξής:

### **3.5.1 Τύπος πυροχώματος**

Η ακρίβεια των ορίων των χυτών Ti δεν διαφέρει ανάμεσα σε φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας. Αντίθετα, με τη χρήση πυροχωμάτων μαγνησίας παράγονται χυτά με μεγαλύτερη ακρίβεια από τα φωσφορικά πυροχώματα αλουμίνας-πυριτίας, ενώ τα φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας δίνουν ακόμα υποδιέστερα αποτελέσματα. Αναλυτικότερα, τα καλύτερα αποτελέσματα που προκύπτουν από την χρήση των πυροχωμάτων μαγνησίας αποδίδονται σε δύο λόγους: (α) Τα πυροχώματα μαγνησίας έχουν πολύ λιγότερη αντιδραστικότητα με το τηγμένο Ti μειώνοντας τις επιφανειακές αντιδράσεις, οι οποίες είναι η κύρια αιτία για την αυξημένη επιφανειακή τραχύτητα των χυτών που χυτεύονται σε φωσφορικά πυροχώματα πυριτίας και (β) Η μεγαλύτερη διαπερατότητα των μαγνησιακών πυροχωμάτων στα αέρια, διευκολύνει την εκκένωση του χώρου χύτευσης από το αδρανές αέριο τη στιγμή της χύτευσης, με αποτέλεσμα να μειώνει την πίεση του αερίου στις περιοχές οι οποίες γεμίζουν τελευταίες με το τήγμα του μετάλλου.

### **3.5.2 Αριθμός αγωγών χύτευσης**

Η αύξηση του αριθμού των αγωγών χύτευσης δρα ευνοϊκά στην ακρίβεια των ορίων των χυτών Ti. Μάλιστα τα όρια των χυτών ακριβώς κάτω από τους αγωγούς χύτευσης δε βρέθηκαν να διαφέρουν από τα παρακείμενά τους.

### **3.5.3 Μέθοδος χύτευσης**

Όπως αναφέρθηκε στην παρουσίαση των συσκευών χύτευσης, το Ti μπορεί να χυτευθεί με τη μέθοδο της φυγοκεντρικής χύτευσης ή της χύτευσης υπό πίεση. Σε μια πρόσφατη μελέτη, αναφέρεται ότι η χύτευση υπό πίεση παράγει χυτά με καλύτερη ακρίβεια ορίων σε σχέση με τη φυγοκεντρική μέθοδο χύτευσης, με την οποία μάλιστα παρήχθησαν και ατελή χυτά. Γενικά, η χύτευση του Ti φαίνεται να ευνοείται από τη χύτευση υπό πίεση αδρανούς αερίου βασικά εξαιτίας της ομαλής ροής, σε αντίθεση με την τυρβώδη ροή του τηγμένου μετάλλου κατά τη φυγοκεντρική χύτευση.

## 4. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΙΣΧΥΟΣ ΤΗΣ ΜΕΤΑΛΛΟΚΕΡΑΜΙΚΗΣ ΣΥΝΔΕΣΗΣ

Οι μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις χρησιμοποιούνται σήμερα στην προσθετική οδοντιατρική εξαιτίας μιας σειράς σημαντικών πλεονεκτημάτων μέσα στα οποία συγκαταλέγονται:

1. Τα εξαιρετικά αισθητικά αποτελέσματα λόγω της κεραμικής επικάλυψης (McLean 1979).
2. Η υψηλή πιστότητα εφαρμογής που τους προσδίδει το μεταλλικό υπόστρωμα (Ryge 1963, McLean 1979).
3. Από κατασκευαστική άποψη το μεταλλικό υπόστρωμα αυξάνει το χρόνο αστοχίας της πορσελάνης γιατί μειώνει τις επιφανειακές ατέλειες της πορσελάνης στα όρια της διεπιφάνειας μετάλλου-πορσελάνης αλλά και γιατί αποτρέπει την ανάπτυξη εφελκυστικών τάσεων στην μάζα του κεραμικού (McLean 1983).

Όμως παρά την ευρύτατη εφαρμογή τους οι μεταλλοκεραμικές αποκαταστάσεις παρουσιάζουν τα εξής μειονεκτήματα :

1. Της περιστασιακής και αναπάντεχης θραύσης της κεραμικής επικάλυψης.
2. Της πιθανής παραμόρφωσης του μετάλλου κατά τον θερμικό κύκλο όπτησης της πορσελάνης με αποτέλεσμα την ανακατασκευή της αποκατάστασης (Mumford 1965).

Για την μείωση των παραπάνω προβλημάτων και την αύξηση του χρόνου της κλινικής λειτουργίας της μεταλλοκεραμικής αποκατάστασης θα πρέπει το μεταλλικό υπόστρωμα να είναι συμβατό με την κεραμική επικάλυψη. Έτσι τα κράματα της μεταλλοκεραμικής εκτός από τις φυσικές και βιολογικές απαιτήσεις που υπάρχουν στα υπόλοιπα οδοντιατρικά κράματα (Moffa 1983) θα πρέπει να είναι θερμικά, μηχανικά και χημικά συμβατά με την πορσελάνη (Anusavice et al., 1982, Moffa 1983, Anusavice et a., 1985, Craig 1985). Οι παραπάνω παράγοντες συνδέονται με ακόλουθες απαιτήσεις :

**1. Θερμική συμβατότητα:** Η διαφορά στους συντελεστές θερμικής διαστολής (ΣΘΔ) (Thermal Expansion Coefficient-TEC) ανάμεσα στο μέταλλο και στο κεραμικό δημιουργεί σημαντικές τάσεις στη διεπιφάνεια και για το λόγο αυτό οι ΣΘΔ των δύο υλικών θα πρέπει να έχουν παραπλήσιες τιμές ώστε να μειώνεται το μέγεθος αυτών των τάσεων στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού.

**2. Μηχανική συμβατότητα:** Το μεταλλικό υπόστρωμα δεν θα πρέπει να υπόκειται σε μεταβολές των ιδιοτήτων του (αλλαγές δομής ή φάσεων που μπορούν να μειώσουν τις μηχανικές, διαβρωτικές ή άλλες σημαντικές ιδιότητες του μεταλλικού υποστρώματος),

απαραίτητες για τη σωστή λειτουργία της μεταλλοκεραμικής αποκατάστασης κατά την όπτηση της πορσελάνης σε θερμοκρασίες περίπου στους 1000°C. Επίσης θα πρέπει να αντέχει στις ερπυστικές τάσεις που μπορεί να εμφανιστούν κατά την παραμονή του για μεγάλο χρονικό διάστημα στις υψηλές θερμοκρασίες όπτησης της πορσελάνης διατηρώντας την ακεραιότητα της γεωμετρίας που έχει μετά την χύτευση.

**3. Χημική συμβατότητα:** Όπως θα εξηγηθεί και στην συνέχεια η σύνδεση του μετάλλου με την πορσελάνη οφείλεται στον τύπο των οξειδίων που αναπτύσσονται στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού. Έτσι τα κράματα μεταλλοκεραμικής θα πρέπει να περιέχουν στοιχεία που τα οξείδια τους θα μπορούν να συνδεθούν με την πορσελάνη δημιουργώντας ισχυρές δυνάμεις συγκράτησης στην διεπιφάνεια.

Από όλα όσα αναφέρθηκαν παραπάνω είναι προφανές ότι η ισχυρή σύνδεση του μεταλλικού υποστρώματος με την κεραμική επικάλυψη είναι απαραίτητη για την κλινική επιτυχία της αποκατάστασης. Παρά το γεγονός ότι ο μηχανισμός της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης είναι αντικείμενο μελέτης μιας πληθώρας ερευνητικών εργασιών δεν υπάρχουν μέχρι σήμερα αποδείξεις για την φύση του δεσμού. Αντίθετα υπάρχουν τέσσερις σύγχρονες θεωρίες οι οποίες βασίζουν την ερμηνεία τους στους εξής μηχανισμούς :

**1. Χημικούς δεσμούς (Lacy 1977, McLean 1979, Murakami και Shulman 1987):** Σύμφωνα με αυτή την θεωρία αναπτύσσονται χημικοί δεσμοί μεταξύ της πορσελάνης και των οξειδίων του μετάλλου. Παρά το γεγονός ότι αυτή η θεωρία τυγχάνει ευρύτατης αποδοχής δεν υπάρχει συμφωνία για το πως αυτή επιτυγχάνεται. Έτσι προτείνονται δύο μηχανισμοί για την ερμηνεία της ανάπτυξης αυτών των δεσμών σε ατομικό ή μοριακό επίπεδο.

α) Η μεταλλική επιφάνεια του κράματος παράγει κατά την οξείδωση σε υψηλές θερμοκρασίες οξείδια των κραματικών στοιχείων που περιέχει, τα οποία όμως δεν βρίσκονται στην πιο οξειδωμένη τους μορφή με αποτέλεσμα το οξυγόνο τους να έχει μια ελεύθερη ρίζα η οποία συνδέεται με κάποιο από τα οξείδια της πορσελάνης διατηρώντας έτσι την χημική σύνδεση σε όλο το μήκος της διεπιφάνειας από το μέταλλο μέχρι το κεραμικό.

β) Τα οξείδια του μετάλλου που σε αυτή την περίπτωση είναι στην πιο οξειδωμένη μορφή τους διαλύονται μέσα στην πορσελάνη με τον μηχανισμό της διάχυσης στην στερεά κατάσταση και έτσι το κεραμικό έρχεται σε ατομική επαφή με το μέταλλο με αποτέλεσμα την αυξημένη διαβροχή της μεταλλικής επιφάνειας αλλά και την κατευθείαν χημική σύνδεση του κεραμικού με το μέταλλο, αφού τα δύο υλικά εμφανίζονται σαν να μοιράζονται ηλεκτρόνια (McLean 1979, Yamamoto 1985). Από χημική σκοπιά τόσο οι

ιοντικοί όσο και οι ομοιοπολικοί δεσμοί πιστεύεται ότι αναπτύσσονται με την προϋπόθεση ότι στην επιφάνεια του μετάλλου υπάρχει ένα μονομοριακό στρώμα του οξειδίου του.

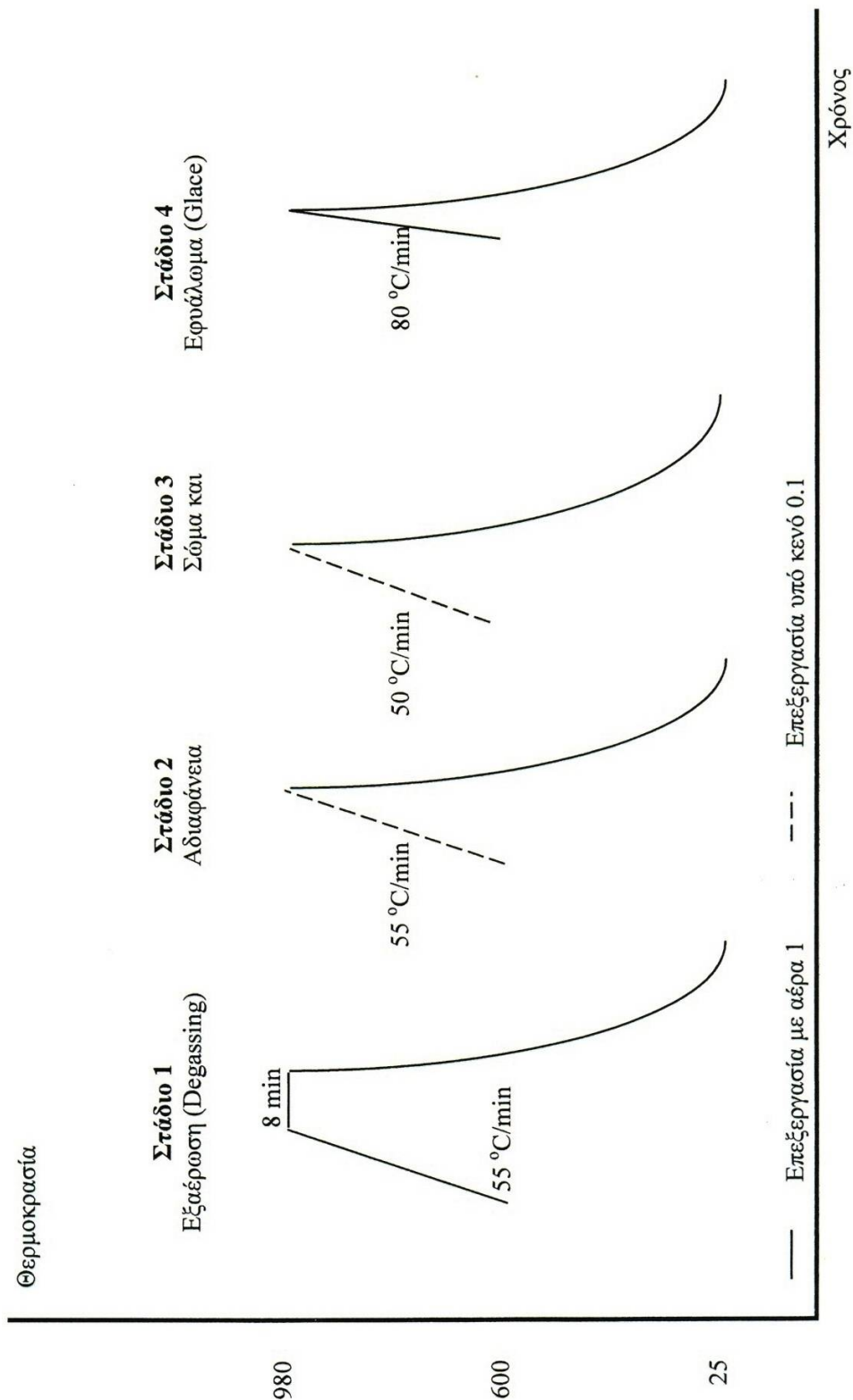
**2. Δεσμούς Van der Waals (Lacy 1977):** Η θεωρία αυτή προτείνει την ανάπτυξη δεσμών Van der Waals στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού. Οι δυνάμεις αυτές εξαρτώνται από την διαβροχή του μεταλλικού υποστρώματος από το κεραμικό. Για παράδειγμα εξαιρετικά αδρές μεταλλικές επιφάνειες ή επιφάνειες μολυσμένες από διάφορες επικαθίσεις μειώνουν την διαβροχή του μετάλλου από την πορσελάνη μειώνοντας ταυτόχρονα τις δυνάμεις Van der Waals. Αντίθετα η αυξημένη διαβροχή που μπορεί να επιτευχθεί σε καθαρές μεταλλικές επιφάνειες με μικρή αδρότητα (αδρότητα που παράγεται από την αμμοβολή με κόκκους  $Al_2O_3$  διαμέτρου  $50\mu m$ ) έχει βρεθεί ότι αυξάνει την μεταλλοκεραμική σύνδεση αυξάνοντας τους δεσμούς Van der Waals. Εν τούτοις ακόμα και κάτω από τις πιο ιδανικές συνθήκες η συνεισφορά των δεσμών Van der Waals στην μεταλλοκεραμική σύνδεση παραμένει περιορισμένη.

**3. Δυνάμεις μηχανικής συγκράτησης:** Η επιφανειακή αδρότητα των μεταλλικών επιφανειών αυξάνει την μηχανική συγκράτηση στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού. Εν τούτοις η συνεισφορά της μηχανικής συγκράτησης παραμένει σχετικά μικρή δεδομένου ότι δεν απαιτείται μια αδρή επιφάνεια για την συγκόλληση της πορσελάνης στο μεταλλικό υπόστρωμα. Αντίθετα οι πορσελάνες έχει βρεθεί ότι μπορεί να συγκρατηθούν και σε εξαιρετικά λείες μεταλλικές επιφάνειες (Lacy 1977) αν και κάποια επιφανειακή αδρότητα έχει βρεθεί ότι αυξάνει τις δυνάμεις συνοχής (Yamamoto 1985).

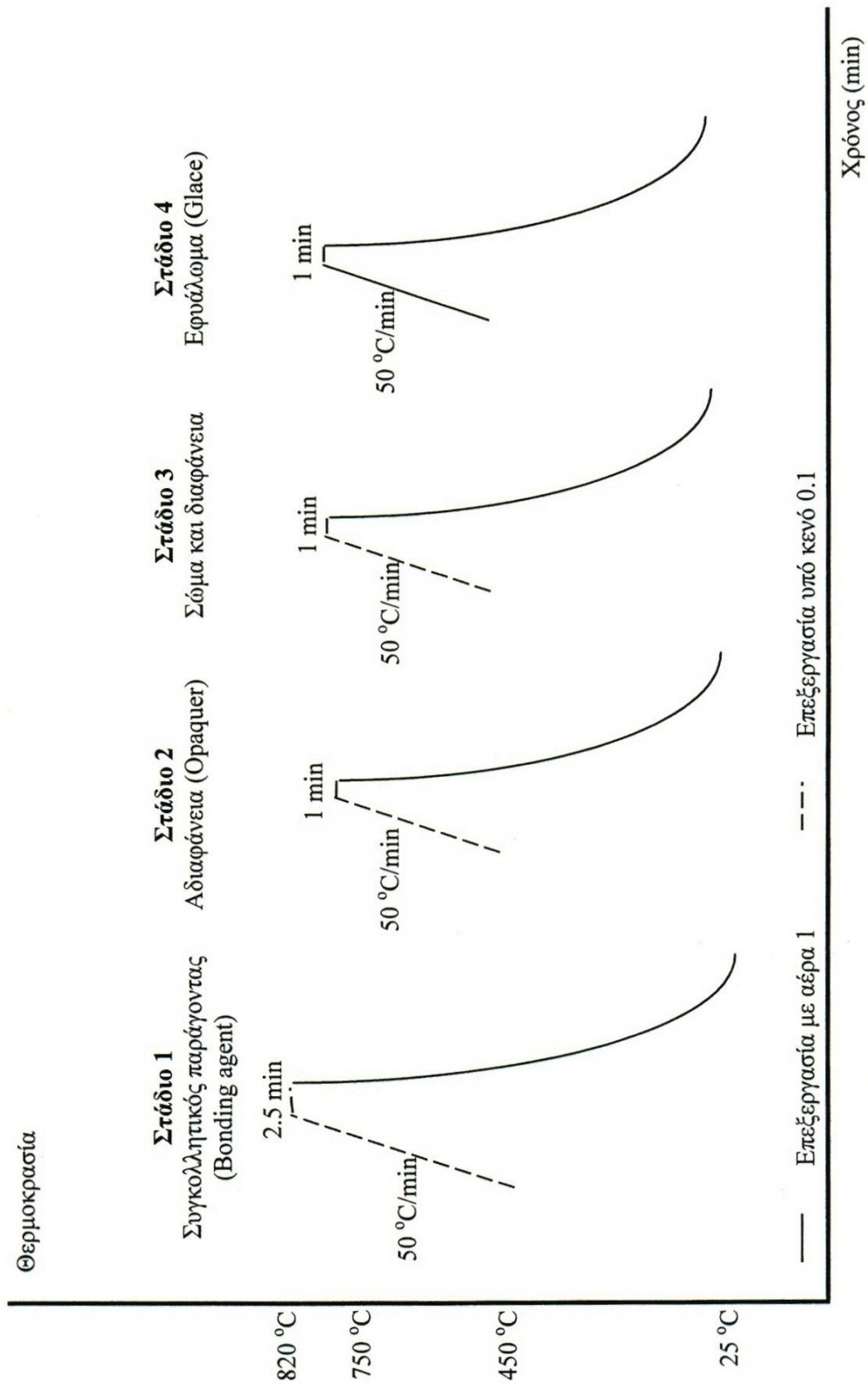
**4. Ανάπτυξη θλιπτικών δυνάμεων στην μάζα του κεραμικού λόγω της διαφοράς στους συντελεστές θερμικής διαστολής (McClean 1979):** Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του μετάλλου επιλέγεται έτσι ώστε να είναι λίγο μεγαλύτερος από αυτόν της πορσελάνης. Έτσι κατά την ψύξη της μεταλλοκεραμικής κατασκευής η διαφορά στο ρυθμό συστολής εισάγει εφελκυστικές τάσεις στο μέταλλο και θλιπτικές στην πορσελάνη (Naylor 1992) αυξάνοντας όχι μόνο τις δυνάμεις συγκράτησης στη διεπιφάνεια αλλά προστατεύοντας παράλληλα την πορσελάνη από την γρήγορη ανάπτυξη των ρωγμών που συμβαίνει κάτω από τα εφελκυστικά φορτία.

Μέχρι σήμερα είναι γενικά αποδεκτό ότι ο μηχανισμός της χημικής σύνδεσης είναι αυτός που είναι απαραίτητος για να υπάρχει μεταλλοκεραμική συγκράτηση ενώ οι άλλοι τρεις μηχανισμοί λειτουργούν επικουρικά στην ανάπτυξη μιας πιο ισχυρής σύνδεσης. Όμως τόσο από πειραματική όσο και από κλινική σκοπιά έχει βρεθεί ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην ισχύ καθώς και στον τρόπο που επιτυγχάνεται η μεταλλοκεραμική σύνδεση ανάμεσα στους διάφορους τύπους οδοντιατρικών κραμάτων.





**Εικόνα 61.** Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα χρόνου θερμοκρασίας για το ψήσιμο οδοντιατρικής πορσελάνης σε κράμα Au τύπου I. Τα στάδια 2 και 3 μπορούν να επαναληφθούν 1 ή 2 φορές, παράμετρος που αποτελεί επιλογή του οδοντοτεχνίτη.



**Εικόνα 62.** Αντιπροσωπευτικό διάγραμμα χρόνου θερμοκρασίας για το ψήσιμο οδοντιατρικής πορσελάνης σε σκελετό Ti. Τα στάδια 2 και 3 μπορούν να επαναληφθούν 1 ή 2 φορές, παράμετρος που αποτελεί επιλογή του οδοντοτεχνίτη.

Η οδοντιατρική πορσελάνη ψήνεται πάνω στην επιφάνεια των μεταλλικών σκελετών τόσο των χρυσοκραμάτων όσο και των βασικών κραμάτων με το θερμοκρασιακό κύκλο έψησης που παρουσιάζεται στην Εικόνα 61 για τα συμβατικά κράματα και στην Εικόνα 62 για το Τιτάνιο.

Ειδικά για το Τιτάνιο η υψηλή χημική του συγγένεια με το Οξυγόνο, είναι υπεύθυνη για την υπέρμετρη αύξηση του πάχους του στρώματος των οξειδίων του μετάλλου στην διεπιφάνεια με το κεραμικό όταν αυτό υποβάλλεται στον θερμοκρασιακό κύκλο έψησης των συμβατικών πορσελανών με αποτέλεσμα την τελική αποκόλληση του κεραμικού. Με σκοπό να συγκρατηθεί το πάχος των οξειδίων κάτω από ένα αποδεκτό όριο η επεξεργασία του Τιτανίου γίνεται σε θερμοκρασίες μικρότερες των 800°C σε αντίθεση με τους 980°C των συμβατικών κραμάτων ενώ το πρώτο στάδιο της οξείδωσης της μεταλλικής επιφάνειας που εφαρμόζεται στα πολύτιμα και βασικά κράματα της μεταλλοκεραμικής έχει καταργηθεί στην προπαρασκευή των μεταλλικών σκελετών από Τιτάνιο (Εικόνα 62). Παρά όμως τις όποιες αλλαγές και προσαρμογές η σύνδεση του Τιτανίου με τις κεραμικές μάζες παραμένει ασθενέστερη από τα συμβατικά κράματα (Gilbert et al. 1994, Pang et al. 1995). Παρά το γεγονός ότι μερικά στοιχεία (όπως Γάλλιο, Κασσίτερο, Ίνδιο κ.α.) δρουν ευνοϊκά στην ανάπτυξη ισχυρής μεταλλοκεραμικής σύνδεσης τουλάχιστον από ότι είναι γνωστό μέχρι σήμερα με τα πολύτιμα και βασικά κράματα δεν υπάρχουν ακόμα μελέτες στην βιβλιογραφία στις οποίες να μελετάται η επίδραση αυτών των μεταλλικών στοιχείων στην ισχύ της μεταλλοκεραμικής συγκράτησης για τα κράματα του Τιτανίου.

## II. ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

### 1. ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της παρούσας εργασίας ήταν η μελέτη της στοιχειακής σύνθεσης και της μικροδομής χαμηλότηκτων πορσελανών Ti καθώς η αντοχή της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης σύμφωνα με το διεθνές πρότυπο ISO 9693:1999.

#### 1.1 Υλικά και μέθοδος

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν δύο σύγχρονες πορσελάνες που χρησιμοποιούνται για την αισθητική κάλυψη των σκελετών Ti. Τα υλικά διατίθενται στο εμπόριο σε ειδικά διαμορφωμένη κασετίνα στην οποία υπάρχουν οι διάφορες αποχρώσεις των φυσικών δοντιών για όλα τα επιμέρους στρώματα (αδιαφάνεια, οδοντίνη κ.α.) καθώς και διάφορες χρωστικές για δημιουργία επιμέρους χρωματικών αποδόσεων (έντονη σχεδίαση αυχενικών περιοχών κ.α). Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται οι εμπορικές ονομασίες, ο κατασκευαστής και ο αριθμός παρτίδας για τα υλικά που μελετήθηκαν.

**Πίνακας 4.** Εμπορική ονομασία, κατασκευάστρια εταιρεία και ΣΘΔ του συγκολλητικού παράγοντα για τα υλικά που μελετήθηκαν.

Εμπορική Ονομασία	Εταιρεία	Σ.Θ.Δ
Initial Ti	GC Corporation, Tokyo, Japan	Δ/Δ*
Triceram	Espident-Dentaurum, Ispringen, Germany.	9,4~9,5**

\* Δεν δίνεται από τους κατασκευαστές.

\*\* Δεν δίνεται το θερμοκρασιακό διάστημα μέτρησης.

#### 1.2 Μορφολογική και στοιχειακή ανάλυση των υλικών με SEM/EDX

Μικρή ποσότητα σκόνης από τον συγκολλητικό παράγοντα, την αδιαφάνεια και την οδοντίνη χρώματος A3 τοποθετήθηκαν πάνω σε βάσεις αλουμινίου οι οποίες είχαν καλυφθεί με αγώγιμη συγκολλητική ταινία διπλής όψεως και καλύφθηκαν με ένα λεπτό στρώμα αγώγιμου άνθρακα χρησιμοποιώντας την συσκευή SCD 004 (Sputter-Coater, Bal-

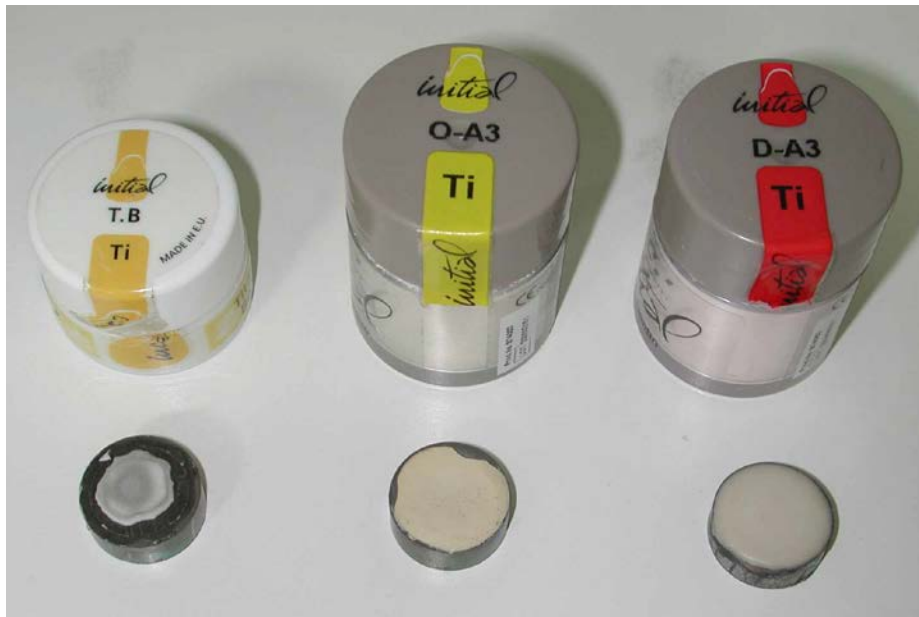
Tec, Vaduz, Liechtenstein). Στην συνέχεια τα δοκίμια μελετήθηκαν σε Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (HMΣ) και ελήφθησαν εικόνες δευτερογενούς (SE) και οπισθοσκεδαζόμενης δέσμης ηλεκτρονίων (BE) σε ονομαστική μεγέθυνση 2000X χρησιμοποιώντας τάση επιτάχυνσης 25KV, ρεύμα δέσμης 105μΑ. Στην συνέχεια ελήφθησαν φάσματα διασποράς ενέργειας ακτίνων X χρησιμοποιώντας ανιχνευτή Si(Li) (Sapphire, EDAX, Mawhaw, NJ, USA) με υπέρλεπτο παράθυρο Be. Τα φάσματα ελήφθησαν από τις ίδιες περιοχές με παράθυρο συλλογής δεδομένων 64\*64μm, χρόνο συλλογής δεδομένων 500sec και αναλύθηκαν ποσοτικά χωρίς την χρήση προτύπων χρησιμοποιώντας την τεχνική διόρθωσης ZAF.

### 1.3 Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X (XRD)

Για την μελέτη της δομής με XRD, της αντοχής του δεσμού της μεταλλοκεραμικής σύνδεσης και της διεπιφανειακής ανάλυσης κατασκευάστηκαν δοκίμια με μεταλλικό υπόστρωμα cpTi και τις πορσελάνες που μελετήθηκαν στην παρούσα εργασία. Για την προετοιμασία των δοκιμίων για την ανάλυση με XRD χρησιμοποιήθηκαν κύλινδροι εμπορικά καθαρού Τιτανίου βαθμού II (cpTi grade II) οι οποίοι καλύφθηκαν με ένα στρώμα συγκολλητικού παράγοντα, ένα στρώμα αδιαφάνειας και ένα στρώμα οδοντίνης σύμφωνα με τον κύκλο ψησίματος που δίνει ο κάθε κατασκευαστής. Στις Εικόνες 63 και 64 παρουσιάζονται τα δοκίμια για την Initial Ti και την Triceram αντίστοιχα. Επίσης στον Πίνακα 5 δίνονται διάφορες ιδιότητες του cpTi που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη όπως δίνεται από τον αντίστοιχο κατασκευαστή.

Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες	Τιμή
Πυκνότητα (g/cm <sup>3</sup> )	4,5
Σκληρότητα (VHN)	230
Μέτρο Ελαστικότητας (GPa)	120
Όριο διαρροής (0.2%) (MPa)	251
Επιμήκυνση (%)	12,8
Θερμοκρασία τήξης (°C)	1688
Θερμοκρασία χύτευσης (°C)	~2000
Συντελεστής θερμικής διαστολής (25-500°C)	9,7*10 <sup>-6</sup>

**Πίνακας 5.** Φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του τύπου II εμπορικά καθαρού Τιτανίου (cpTi) σύμφωνα με τον κατασκευαστή (Morita, Kyoto, Japan).



**Εικόνα 63.** Συσκευασία με τις σκόνες της πορσελάνης και δοκίμια που προετοιμάστηκαν για την ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X για την πορσελάνη Initial Ti.



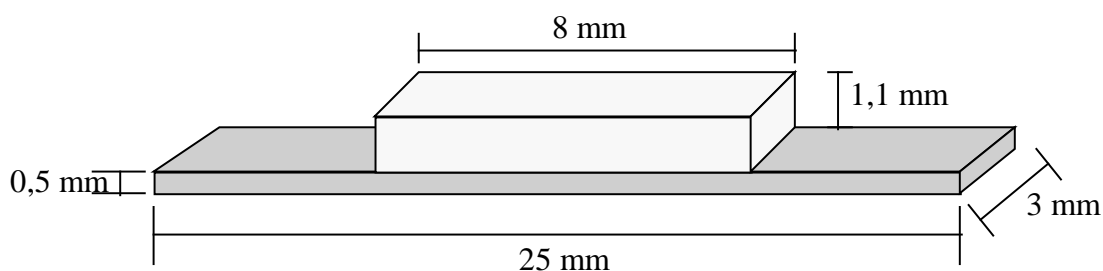
**Εικόνα 64.** Συσκευασία με τις σκόνες της πορσελάνης και δοκίμια που προετοιμάστηκαν για την ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X για την πορσελάνη Triceram.

Στην συνέχεια τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε ειδικό δειγματοφορέα και ελήφθησαν φάσματα XRD (D 5000, Siemens, The Netherlands) στην θερμοκρασία περιβάλλοντος χρησιμοποιώντας πηγή Cu, με εύρος σάρωσης 2θ από 10~ 100° με βήμα σάρωσης 0,05°

και χρόνο συλλογής δεδομένων 2sec για κάθε βήμα. Η αναγνώριση των κορυφών έγινε με το λογισμικό Crystallographica Search-Match Version 3 (Cryosystems, Oxford, UK).

#### 1.4 Προετοιμασία των δοκιμίων για την μελέτη της διεπιφάνειας και την κάμψη τριών σημείων

20 παραλληλεπίπεδα κέρινα προπλάσματα διαστάσεων 26x3,1x0,7mm επενδύθηκαν με πυρόχωμα μαγνησίας (Titavest CB, Morita, Kyoto, Japan) χυτεύθηκαν με cpTi (grade II) (Morita, Kyoto, Japan) σε συσκευή χύτευσης ηλεκτρικού τόξου / δύο θαλάμων κενού – πίεσης αδρανούς αερίου Ar (Cyclarc, Morita, Kyoto, Japan). Στην συνέχεια τα δοκίμια κάθε ομάδας λειάνθηκαν με χαρτιά SiC από 220~2000grit και στιλβώθηκαν με αδαμανταλοιφή 3,1,0.5,και 0.1 $\mu\text{m}$  (DP Paste, Struers, Copenhagen, Denmark) σε μεταλλογραφική συσκευή λείανσης / στιλβώσης (Ecomet II, Buehler, Evanston, ILL, USA). Τα δοκίμια όλων των ομάδων λειάνθηκαν και στιλβώθηκαν μέχρι τις τελικές διαστάσεις των 25x0,3x0,55mm αφαιρώντας σχεδόν 150 $\mu\text{m}$  από την επιφάνεια που λειάνθηκε. Στην συνέχεια 8 δοκίμια από την κάθε ομάδα αμμοβολήθηκαν με κόκκους αλουμίνας 150 $\mu\text{m}$  και στην συνέχεια και τα δέκα δοκίμια της κάθε ομάδας καλύφθηκαν με ένα στρώμα συγκολλητικού παράγοντα, 2 στρώματα αδιαφάνειας και 2 στρώματα οδοντίνης από την κάθε πορσελάνη διατηρώντας τις διαστάσεις που προτείνονται από το ISO 9693:1999 όπως παρουσιάζεται στην Εικόνα 65.



**Εικόνα 65.** Σχηματική αναπαράσταση της γεωμετρίας των δοκιμίων όπως απαιτείται από την προδιαγραφή ISO 9693:1999.

## 1.5 Μελέτη της διεπιφάνειας με SEM/EDX

Τα δύο δοκίμια από την κάθε ομάδα που δεν αμμοβολήθηκαν πριν την κάλυψη με πορσελάνη εγκιβωτίστηκαν σε ρητίνη κατά τον διαμήκη άξονά τους και αφού λειάνθηκαν με χαρτιά SiC από 220~2000grit στιλβώθηκαν με αδαμανταλοιφή 3, 1, και 0.25μm (DP-Paste M, Struers, Copenhagen, Denmark). Τα δοκίμια καλύφθηκαν με αγωγίμο άνθρακα και η διεπιφάνεια μελετήθηκε σε ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) (Quanta 200, FEI, Hillsboro, Oregon, USA) σε συνθήκες υψηλού κενού, τάση επιτάχυνσης 30KV, ρεύμα δέσμης 110μΑ ενώ η απεικόνιση της διεπιφάνειας έγινε με προβολές οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων αντίθεσης ατομικού αριθμού (BEI). Οι επιφανειακές και γραμμικές κατανομές των στοιχείων στην διεπιφάνεια μετάλλου-κεραμικού μελετήθηκαν με φασματοσκοπία διασποράς ενέργειας ακτίνων X χρησιμοποιώντας ανιχνευτή Si(Li) (CDT, EDAX, Mahwah, NJ, USA) με υπέρλεπτο παράθυρο Be και το λογισμικό Gemini (ver 3.5 EDAX, Mahwah, NJ, USA). Για την σχεδίαση των γραμμικών κατανομών τα αποτελέσματα εξομαλύνθηκαν εφαρμόζοντας την μαθηματική συνάρτηση Bisquare.

## 1.6 Κάμψη τριών σημείων σύμφωνα με το ISO 9693:1999

Στην συνέχεια τα δοκίμια τοποθετήθηκαν σε διάταξη κάμψης τριών σημείων και φορτίστηκαν μέχρι τη θραύση. Το φορτίο θραύσης καταγράφηκε για κάθε δοκίμιο και η τάση θραύσης υπολογίστηκε σύμφωνα με τον μαθηματικό τύπο που δίνεται από την διεθνή προδιαγραφή ISO 9693:1999

$$\tau_{xy}=k F$$

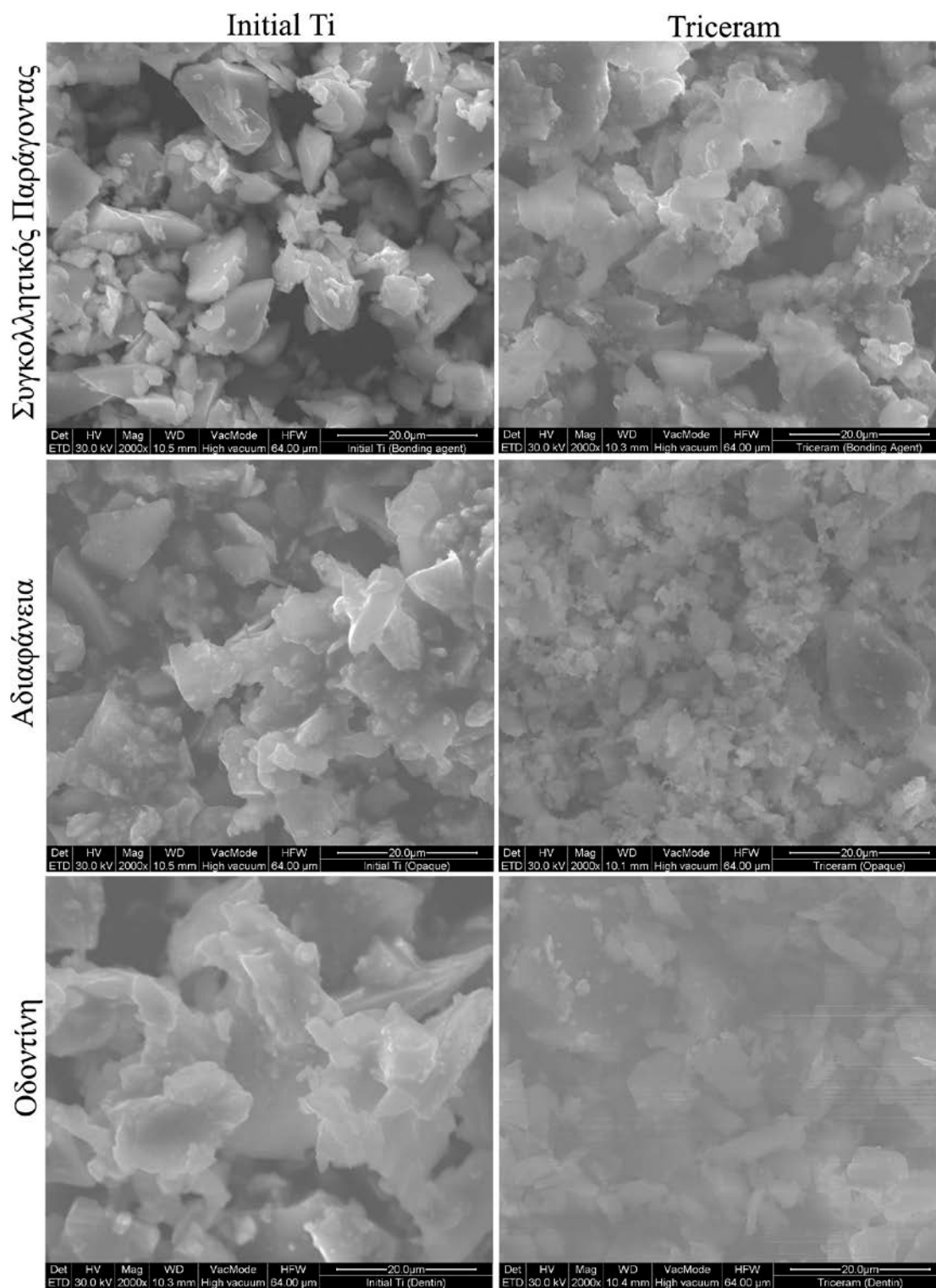
όπου k μια σταθερά που υπολογίζεται με βάση το μέτρο ελαστικότητας του μετάλλου και το πάχος του δοκιμίου και F η δύναμη αποκόλλησης της πορσελάνης. Τα αποτελέσματα μελετήθηκαν στατιστικά με τη δοκιμή t σε επίπεδο στατιστική σημαντικότητας ( $\alpha=0,05$ ).



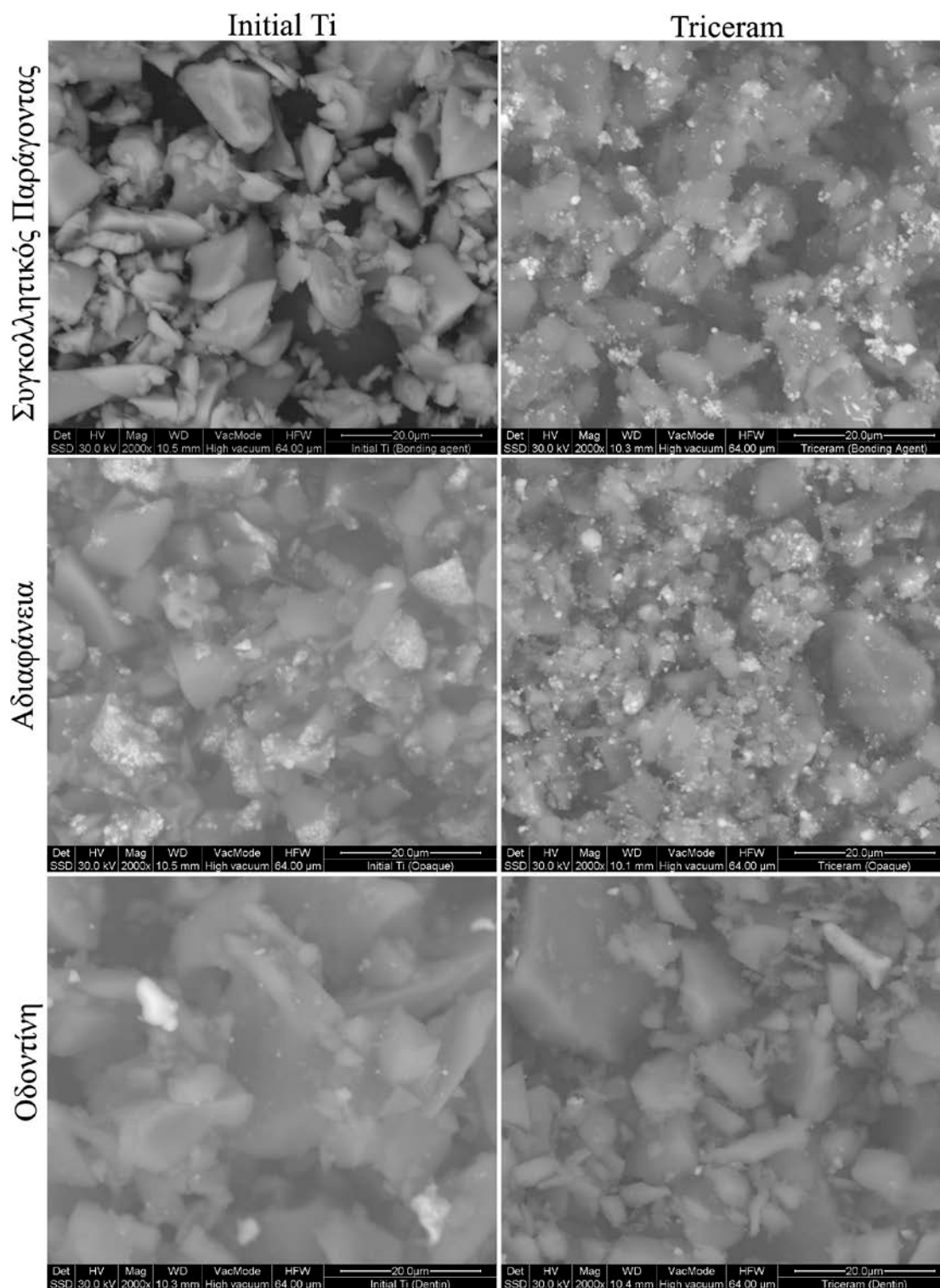
## 2. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

### 2.1 Μορφολογική και στοιχειακή ανάλυση των υλικών με SEM/EDX

Στις Εικόνες 66 και 67 παρουσιάζονται οι εικόνες SEI και BEI από τις επιφάνειες όλων των υλικών που μελετήθηκαν. Κοινό εύρημα για όλα τα υλικά είναι ότι οι κόκκοι χαρακτηρίζονται από ακανόνιστο σχήμα καθώς και την συνύπαρξη μεγάλων και μικρών κόκκων. Η αδιαφάνεια της Triceram εμφανίζεται ως το πιο λεπτόκοκκο υλικό ενώ πιο αδρόκοκκη εμφανίζεται η οδοντίνη της Initial Ti. Οι προβολές αντίθεσης ατομικού αριθμού αποδεικνύουν την ύπαρξη δύο φάσεων στον συγκολλητικό παράγοντα και στην αδιαφάνεια της Triceram και στην αδιαφάνεια και την οδοντίνη της Initial Ti. Οι Εικόνες 68 και 69 παρουσιάζουν χαρακτηριστικά φάσματα EDX από τις επιφάνειες των υλικών που μελετήθηκαν ενώ τα ποσοτικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον Πίνακα 6. Τα δύο υλικά έδειξαν μεγάλες διαφορές στην χημική σύνθεση των συγκολλητικών παραγόντων ενώ οι διαφορές στην αδιαφάνεια και στην οδοντίνη παραμένουν σε περιορισμένο επίπεδο αφού και τα δύο υλικά αποτελούνται βασικά από Si και O.

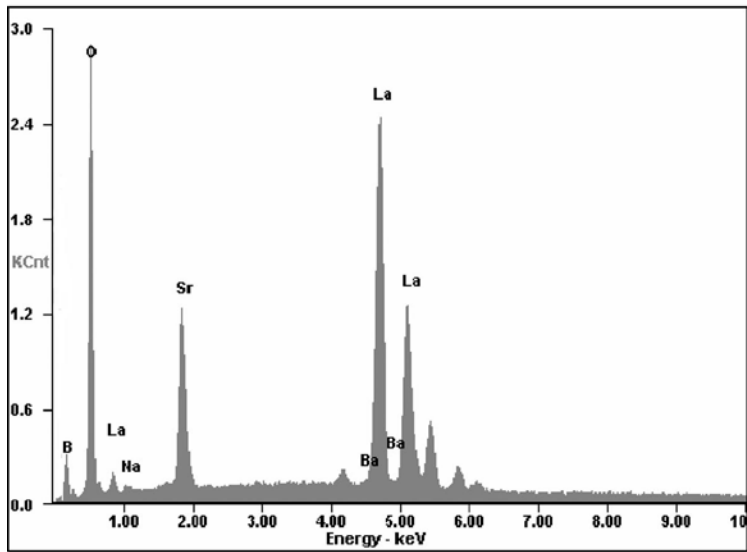


**Εικόνα 66.** Προβολή δευτερογενών ηλεκτρονίων από τις επιφάνειες των κόκκων όλων των υλικών που μελετήθηκαν σε μεγέθυνση 2000X.

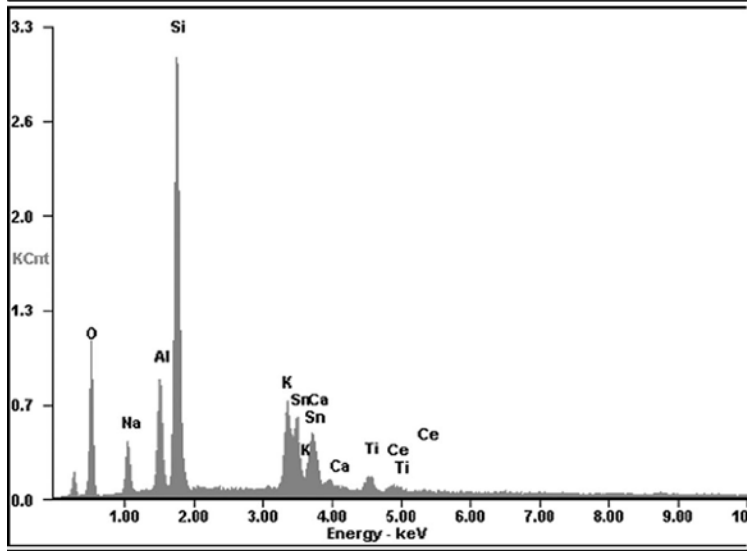


Εικόνα 67. Προβολή οπισθοσκεδαζόμενων ηλεκτρονίων από τις επιφάνειες των κόκκων όλων των υλικών που μελετήθηκαν σε μεγέθυνση 2000X.

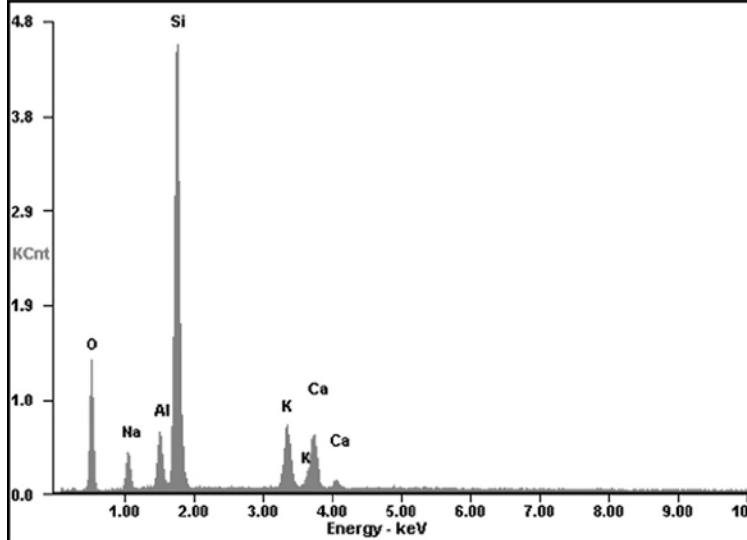
### Initial Ti



Συγκολλητικός παράγοντας



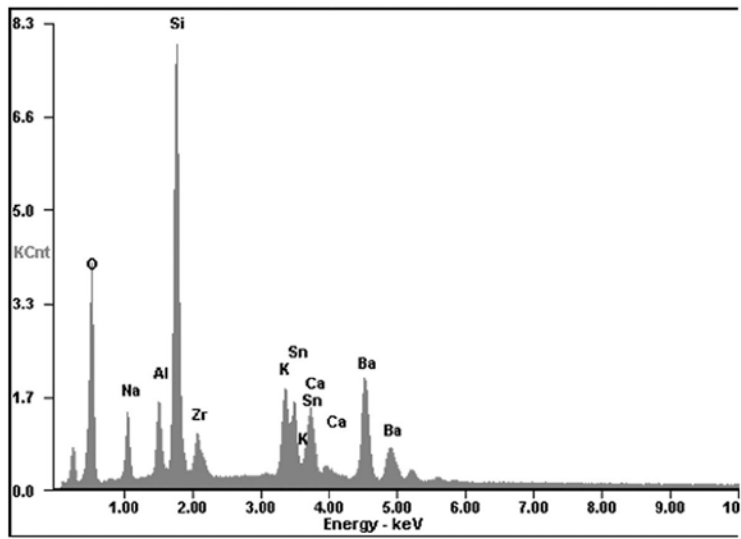
Αδιαφάνεια



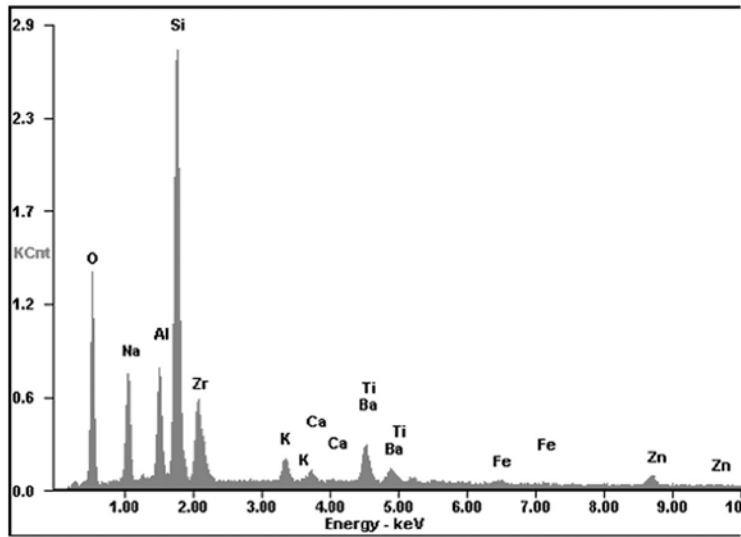
Οδοντίνη

Εικόνα 68. Φάσματα EDX από την ανάλυση του συγκολλητικού παράγοντα, της αδιαφάνειας και της οδοντίνης της πορσελάνης Initial Ti.

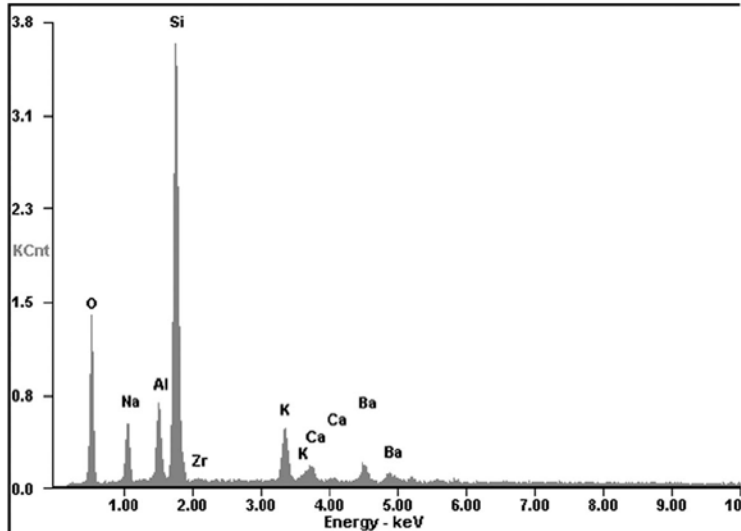
# Triceram



Συγκολλητικός παράγοντας



Αδιαφάνεια

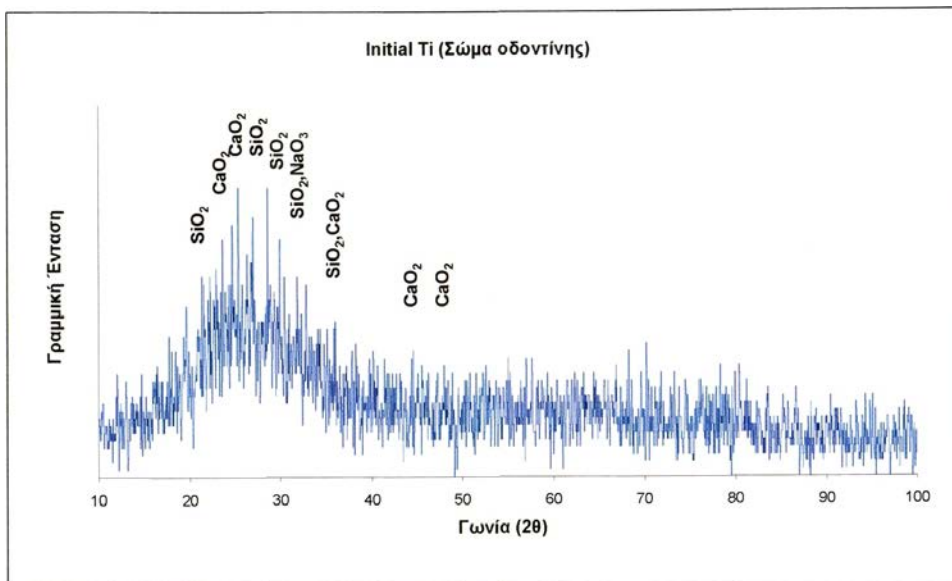
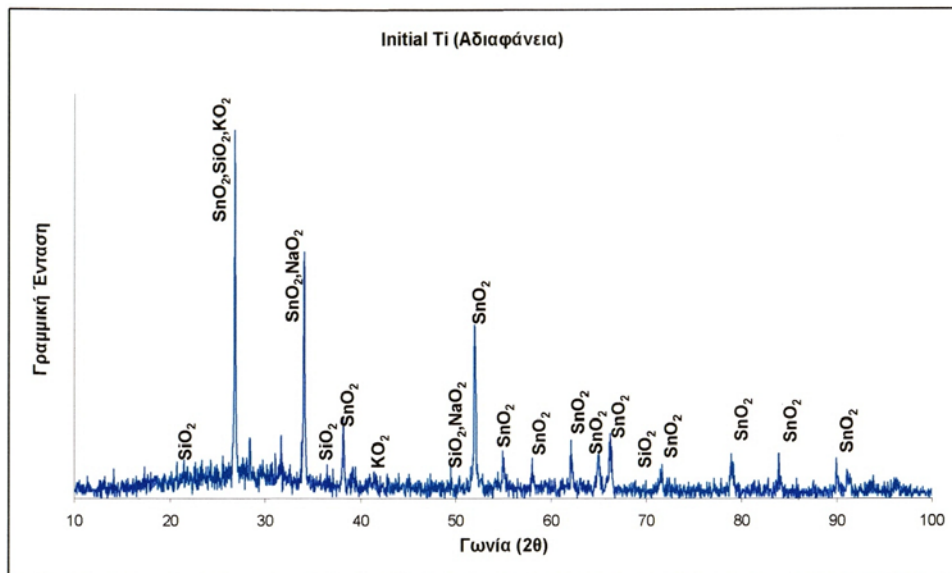
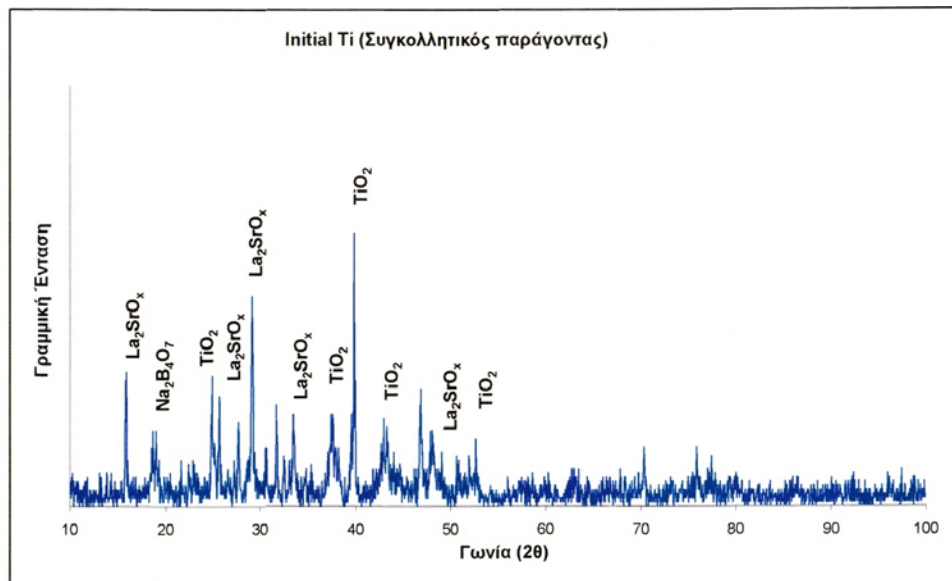


Οδοντίνη

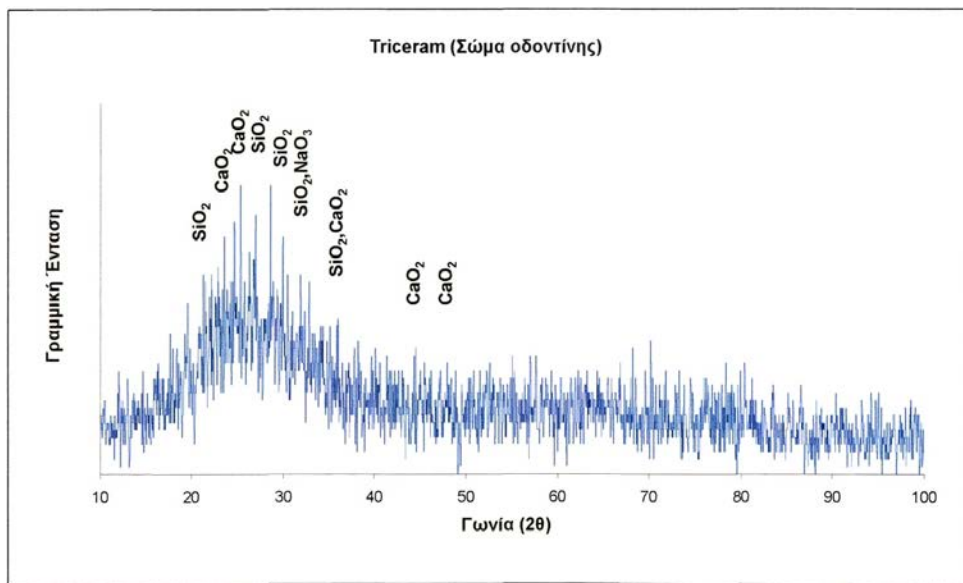
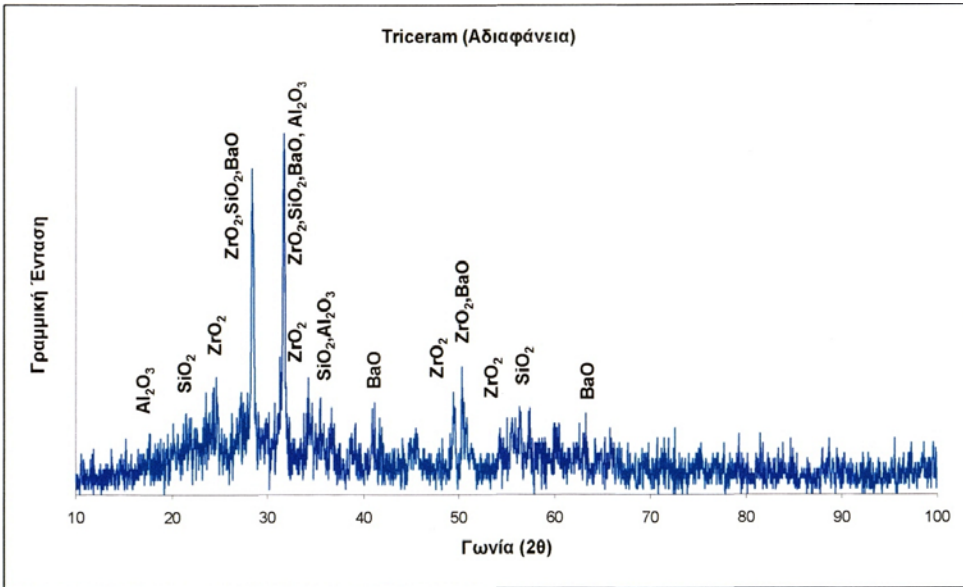
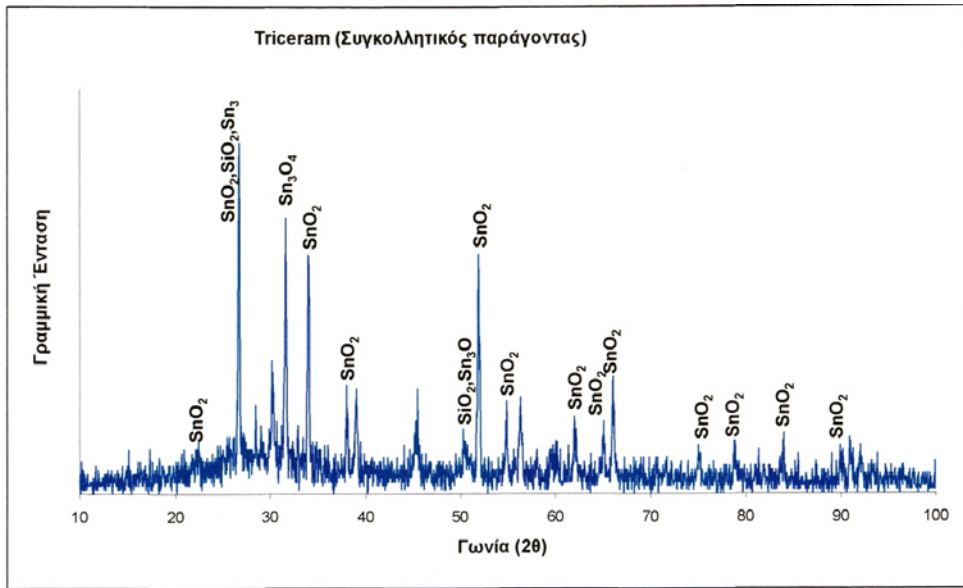
Εικόνα 69. Φάσματα EDX από την ανάλυση του συγκολλητικού παράγοντα, της αδιαφάνειας και της οδοντίνης της πορσελάνης Triceram.

Στοιχεία	Συγκολλητικός Παράγοντας		Αδιαφάνεια		Οδοντίνη	
	Initial Ti	Triceram	Initial Ti	Triceram	Initial Ti	Triceram
<b>B</b>	31,13					
<b>O</b>	35,73	41,00	40,42	39,60	46,81	43,85
<b>Na</b>	0,14	5,43	5,29	8,88	5,05	7,10
<b>Mg</b>				0,36		
<b>Al</b>		3,33	6,55	5,97	4,27	5,65
<b>Si</b>		18,17	24,88	22,08	32,12	31,09
<b>Zr</b>		4,12		11,22		0,60
<b>K</b>		3,85	5,23	1,38	6,16	4,48
<b>Sn</b>		9,22	12,27			
<b>Ca</b>		1,74	1,98	0,60	5,59	1,42
<b>Ba</b>	0,40	9,19		5,69		5,81
<b>Ti</b>		3,94	1,60	1,06		
<b>La</b>	21,55					
<b>Ce</b>			1,80			
<b>Sr</b>	11,06					
<b>Fe</b>			0,58			
<b>Zn</b>			2,58			

**Πίνακας 6.** Ποσοτικά αποτελέσματα των υλικών που μελετήθηκαν μετά από την ανάλυση με EDX.



**Εικόνα 70.** Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X (XRD) της πορσελάνης Initial Ti.



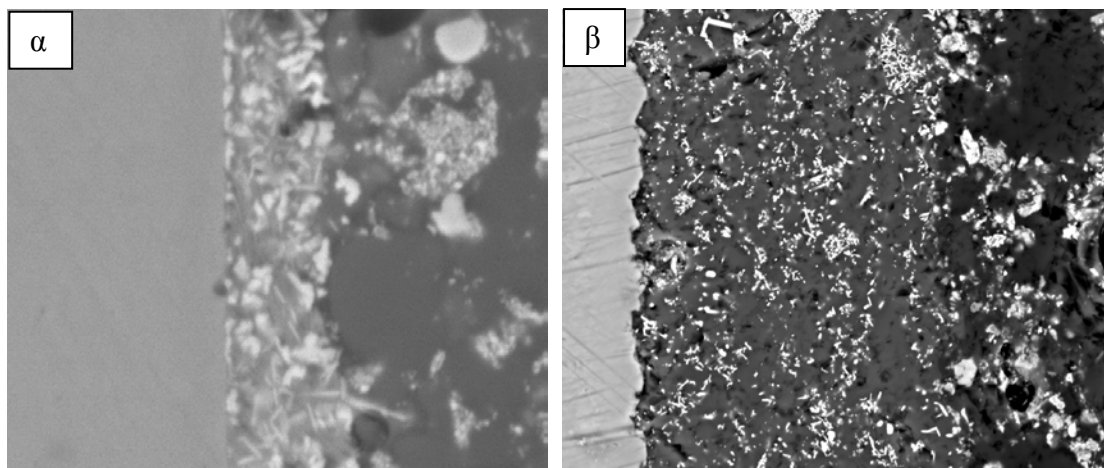
**Εικόνα 71.** Ανάλυση με περίθλαση ακτίνων X (XRD) της πορσελάνης Triceram.



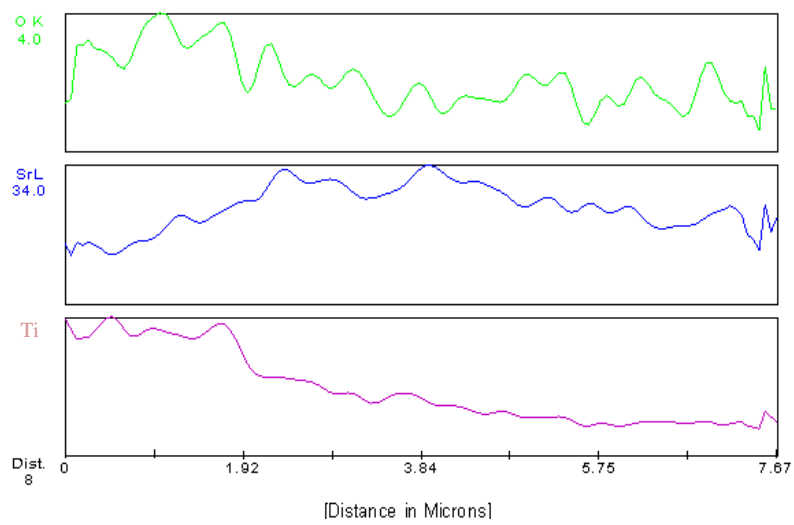
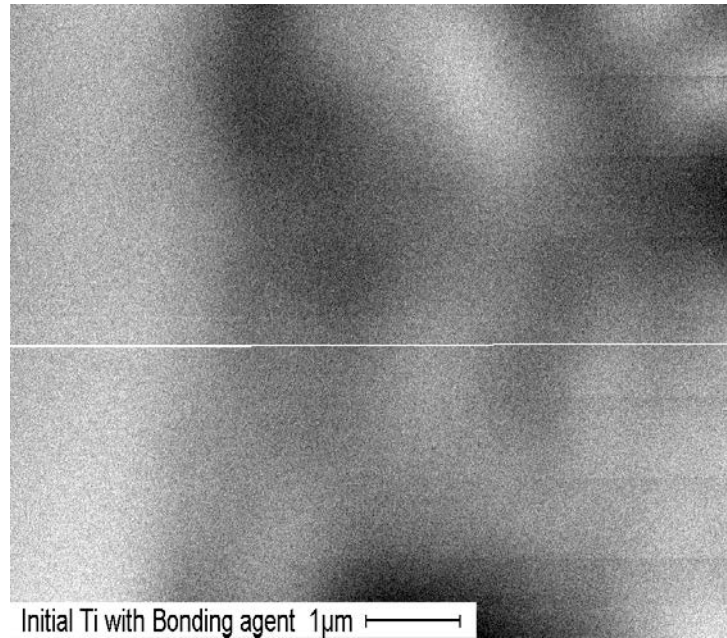
## 2.2 Μελέτη της διεπιφάνειας με SEM/EDX

Στην Εικόνα 72 παρουσιάζονται οι προβολές αντίθεσης ατομικού αριθμού από τις διεπιφάνειες του Ti με τις πορσελάνες που μελετήθηκαν. Και οι δύο συγκολλητικοί παράγοντες παρουσιάζουν την ύπαρξη δύο φάσεων με μία μήτρα χαμηλότερου μέσου ατομικού αριθμού και μία φάση σε διασπορά μεγαλύτερου.

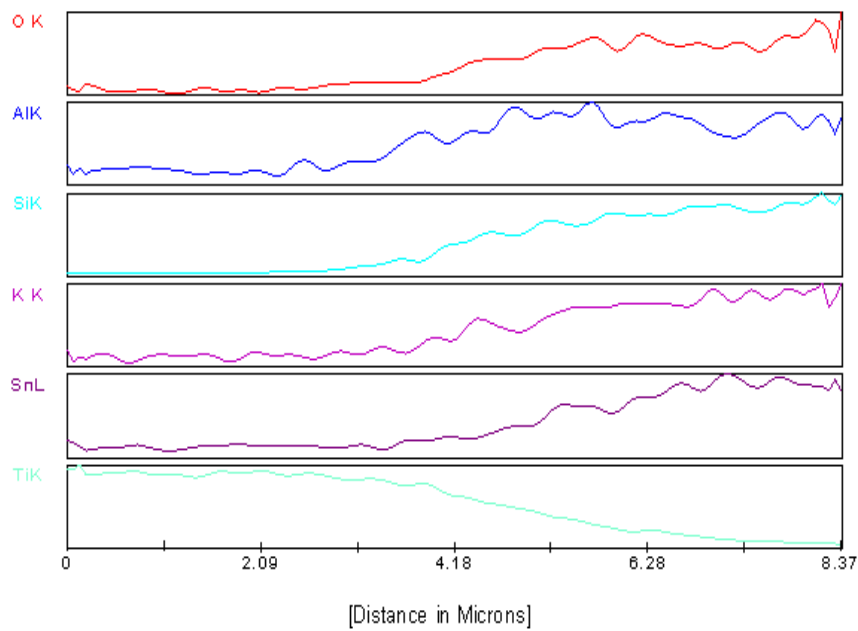
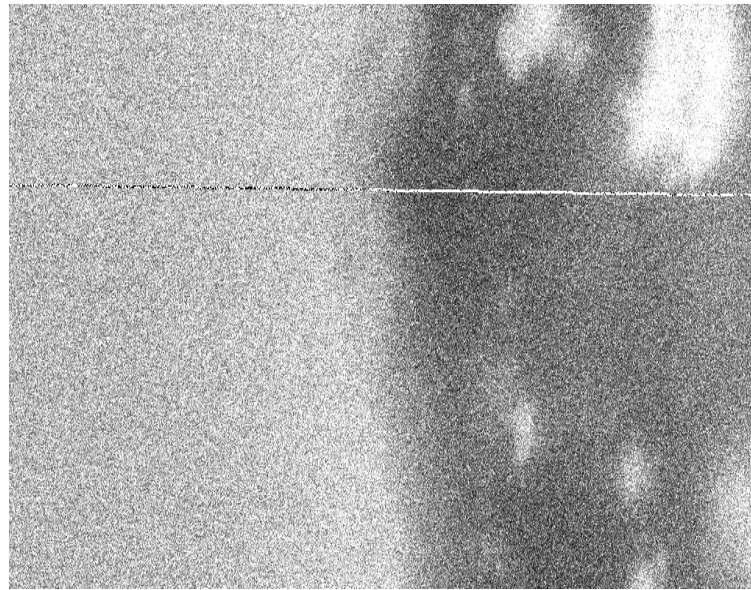
Στις Εικόνες 73 και 74 παρουσιάζονται οι γραμμικές κατανομές των στοιχείων που μελετήθηκαν και για τις δύο πορσελάνες καθώς και για το Ti. Οι εικόνες BE είναι σε ονομαστική μεγέθυνση 30000X και το μήκος της γραμμής σάρωσης είναι  $a=7,67\mu\text{m}$ .



**Εικόνα 72.** Εικόνες BE από την διεπιφάνεια του Ti με τις πορσελάνες που μελετήθηκαν σε μεγέθυνση 1000X (α) Initial Ti και (β) Triceram.



**Εικόνα 73.** Εικόνα BE και γραμμικές κατανομές των στοιχείων O, Sr και Ti σε μεγέθυνση 30000X για την πορσελάνη Initial Ti.



**Εικόνα 74.** Εικόνα BE και γραμμικές κατανομές των στοιχείων O, Al, Si, K, Sn και Ti σε μεγέθυνση 30000X για την πορσελάνη Triceram.

### 2.3 Κάμψη τριών σημείων σύμφωνα με το ISO 9693:1999

Στον Πίνακα 7 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την κάμψη τριών σημείων για τις δύο πορσελάνες που μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης έδειξαν

ότι η πορσελάνη Initial Ti έχει στατιστικά μεγαλύτερη αντοχή από την Triceram η οποία μάλιστα υπολείπει της απαίτησης των 25MPa που είναι το όριο του ISO.

Μετρήσεις	Initial Ti	Triceram
Δοκίμιο 1	37	15
Δοκίμιο 2	26	21
Δοκίμιο 3	30	24
Δοκίμιο 4	31	23
Δοκίμιο 5	29	14
Δοκίμιο 6	31	23
Δοκίμιο 7	33	24
Δοκίμιο 8	26	15
Μέση τιμή ± Τυπική απόκλιση	30±4 <sup>a</sup>	20±4 <sup>b</sup>

**Πίνακας 7.** Αποτελέσματα από την κάμψη τριών σημείων σύμφωνα με το ISO 9693:1999.

### 3. ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Όλα τα υλικά που μελετήθηκαν διατίθενται εμπορικά σε μορφή σκόνης αν και κάποιιο κατασκευαστές διαθέτουν τα υλικά τους και σε μορφή πάστας για να διευκολύνουν τον χειρισμό των υλικών κατά την διαδικασία της επίστρωσης της πορσελάνης.

Το ακανόνιστο σχήμα των τεμαχίων των υλικών πρέπει μάλλον να αποδοθεί στην τεχνική κατάτμησης που χρησιμοποιείται για την προετοιμασία αυτών των υλικών. Επίσης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι γενικά οι κατασκευαστές προτιμούν να αναμειγνύουν μεγάλα με μικρά τεμαχίδια ώστε τα δεύτερα να μπορούν να συμπληρώνουν τους κενούς χώρους που δημιουργούνται κατά την διάρκεια της πυροσυσσωμάτωσης. Σε αντίθεση με τον συγκολλητικό παράγοντα της Initial Ti που δεν εμφανίζεται αντίθεση ατομικού αριθμού στην περίπτωση του συγκολλητικού παράγοντα της Triceram φαίνεται ότι οι μεγάλοι κόκκοι αποτελούνται από ένα υλικό χαμηλότερου μέσου ατομικού αριθμού σε

αντίθεση με τους μικρούς κόκκους που εμφανίζουν μεγαλύτερο μέσο ατομικό αριθμό. Το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει και για την αδιαφάνεια και των δύο υλικών καθώς και την οδοντίνη της Initial Ti. Η χημική σύνθεση του συγκολλητικού παράγοντα της Triceram ανήκει στην κατηγορία των συγκολλητικών παραγόντων που βασίζονται στο σύστημα του SiO<sub>2</sub> (Chakmakchi et al. 2009, doi:10.1016/j.jpor.2009.03.003) ενώ αντίθετα ο συγκολλητικός παράγοντας της Initial Ti δεν περιέχει καθόλου Si και βασίζεται στο σύστημα των οξειδίων του B-La-Sr.

Σε αντίθεση με την κλασική αδροποίηση των μεταλλικών σκελετών με κόκκους Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> πριν την κάλυψη με πορσελάνη τα δοκίμια της παρούσας μελέτης στιλβώθηκαν μεταλλογραφικά παράγοντας μία εξαιρετικά λεία επιφάνεια πάνω στην οποία η πορσελάνη τοποθετήθηκε κατ' ευθείαν χωρίς να προηγηθεί αμμοβολή.

Η μέθοδος αυτή επιλέχθηκε για δύο λόγους.

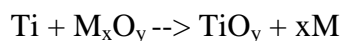
α) Διευκολύνει την οπτική παρατήρηση της διεπιφάνειας μετάλλου-κεραμικού καθώς και των επιφανειακών και γραμμικών κατανομών αφού η διεπιφάνεια ορίζεται από μια πολύ πιο ευθεία γραμμή.

β) Η Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> που παραμένει στην επιφάνεια του κράματος αποκλείει τον χαρακτηρισμό της κατανομής τόσο του Al όσο και του O σημαντικών στοιχείων τόσο της πορσελάνης όσο και των οξειδίων του κράματος. Ο περιορισμός αυτός προκύπτει από το γεγονός ότι οι επιφανειακές και γραμμικές κατανομές του Al και του O δείχνουν το συνολικό αποτέλεσμα τόσο της συνεισφοράς των στοιχείων του κράματος και της πορσελάνης όσο και του Al και του O που έχουν παραμείνει στην διεπιφάνεια από την αμμοβολή του κράματος (Al Jabbari et al.; Papadopoulos et al. 1999).

Ένα από τα προβλήματα κατά την χύτευση του Τιτανίου είναι η δημιουργία μιας επιφανειακής σκληρής ζώνης εξαιτίας της αντίδρασης του τηγμένου μετάλλου με το πυρόχωμα. Το εύρος της ζώνης αυτής κυμαίνεται από 100 έως 300μm όταν η χύτευση γίνεται σε φωσφορικά πυροχώματα (Papadopoulos et al. 2009) ενώ περιορίζεται σημαντικά στα πυροχώματα μαγνησίας (Wang et al. 1996). Για το λόγο αυτό κρίθηκε σκόπιμο να αφαιρεθεί με την λείανση η εξωτερική επιφάνεια των χυτών ώστε να μην επηρεάσουν τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Παρόμοια διαδικασία ακολουθείται και στην καθημερινή οδοντοτεχνική πρακτική στην περίπτωση των χυτών σκελετών από Ti.

Οι προβολές αντίθεσης ατομικού αριθμού από την διεπιφάνεια έδειξαν ότι και τα δύο υλικά παράγουν μία συνεχή διεπιφάνεια με το υποκείμενο Ti. Ωστόσο στην περίπτωση της

Triceram εμφανίζεται μια περιορισμένη συνεχής ζώνη χαμηλού ατομικού αριθμού ανάμεσα στον συγκολλητικό παράγοντα και το Ti που μπορεί να υποδηλώνει μια μεγαλύτερης έκτασης ζώνης οξειδίων του Ti σε σχέση με την περίπτωση της Initial Ti. Η γραμμική ανάλυση έδωσε επίσης σημαντικές πληροφορίες για την αμοιβαία διάχυση των στοιχείων στην διεπιφάνεια μετάλλου-πορσελάνης. Και στις δύο περιπτώσεις η μείωση της συγκέντρωσης του Ti αρχίζει 1 με 2μm πριν την διεπιφάνεια όπως εμφανίζεται στις προβολές BE ενώ τα στοιχεία της πορσελάνης όπως το Si, Al, Sr, Sn κ.α. δείχνουν την αντίθετη συμπεριφορά, ευρήματα που συμφωνούν με αυτά που υπάρχουν στην διεθνή βιβλιογραφία (Suansuwan et al. 2003; Zinelis et al.). Μία ερμηνεία του μηχανισμού που συμβαίνει θα μπορούσε να είναι ότι το Ti ανάγει το SiO<sub>2</sub> στην διεπιφάνεια σχηματίζοντας Ti<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ή TiO και ελευθερώνει άτομα Si τα οποία αντιδρούν με το Ti σχηματίζοντας ενώσεις του τύπου Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub> (Shevchencho et al. 2001). Με βάση τα παραπάνω μπορεί να υποθεθεί ότι το Ti ανάγει και άλλα οξείδια που υπάρχουν στον συγκολλητικό παράγοντα με μικρότερη χημική συγγένεια με το O συγκρινόμενη με αυτή του Ti με βάση τη γενική μεταλλοθερμική αντίδραση.



Με το M να δείχνει οποιοδήποτε μεταλλικό στοιχείο με μικρότερη χημική συγγένεια με το O σε σύγκριση με αυτή του Ti.

Η μεταλλοκεραμική αντοχή είναι στενά συνδεδεμένη με την κλινική μακροβιότητα των προσθετικών αποκαταστάσεων και γι' αυτό διάφορες μηχανικές δοκιμασίες έχουν αναπτυχθεί κατά καιρούς για την μελέτη της. Μέχρι σήμερα εκτιμάται ότι έχουν παρουσιαστεί περισσότερες από 20 δοκιμές μαζί με τις παραλλαγές τους οι οποίες βασίζονται στην εφαρμογή διατμητικών, στρεπτικών ή καμπτικών φορτίσεων (Hammad et al. 1996). Η πληθώρα αυτών των δοκιμών έκανε δύσκολη την σύγκριση ανάμεσα στα αποτελέσματα των διαφόρων μελετών, ακόμη σημαντικότερο όμως είναι ότι όλες οι δοκιμασίες παρουσίαζαν αναλυτικούς περιορισμούς και πολλές φορές έδιναν παραπλανητικά αποτελέσματα (White et al. 1996). Τα τελευταία χρόνια με την τελευταία αναθεώρηση του ISO 9693 το 1999 (1999) η δοκιμή της κάμψης τριών σημείων σε συνδυασμό με τον τρόπο υπολογισμού της τάσης αποκόλλησης που συνυπολογίζει το γεγονός ότι πρόκειται για μια κατασκευή δύο διαφορετικών υλικών και όχι μια ενιαίας πλάκας έχει βρει μεγάλη αποδοχή από την ερευνητική κοινότητα γιατί επιτρέπει την

σύγκριση της αντοχής ακόμα και ανάμεσα σε διαφορετικά μεταλλοκεραμικά συστήματα αφού ο υπολογισμός γίνεται σε μονάδες τάσεις και όχι δύναμης ή τύπου θραύσης όπως εκτεταμένα είχε χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν (Cai et al. 2001; Lee et al. 2004; Sadeq et al. 2003). Τα αποτελέσματα της παρούσας εργασίας έδειξαν ότι μόνο μία από τις δύο πορσελάνες πληρούν τα όρια του ISO 9693 και συμφωνούν με τα αποτελέσματα των Ozcan et al (Ozcan et al. 2005) που υπολόγιζαν την αντοχή της Triceram με το cpTi στα  $23\pm 3\text{MPa}$ .

Τα τελευταία χρόνια γίνεται μία έντονη ερευνητική προσπάθεια να επιλυθούν διάφορα προβλήματα και περιορισμοί που εμφανίζει η χρήση του Ti στην οδοντιατρική προσθετική ιδιαίτερα τώρα που η χρήση του Ti στην κατασκευή των ενδοοστικών εμφυτευμάτων αποτελεί την μοναδική διαθέσιμη αξιόπιστη λύση στην παρούσα χρονική στιγμή. Η χρήση του Ti για την κατασκευή της υπερεμφυτευματικής κατασκευής μπορεί να εξαλείψει την πιθανότητα γαλβανικών φαινομένων μεταξύ των εμφυτευμάτων και της προσθετικής αποκατάστασης αυξάνοντας την κλινική μακροβιότητα αυτών των σύνθετων κατασκευών.

#### **4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ**

- Οι σύγχρονοι συγκολλητικοί παράγοντες των πορσελανών Ti παρουσιάζουν μεγάλες διαφορές στην χημική τους σύνθεση.
- Η διεπιφανειακή ανάλυση έδειξε την αμοιβαία διάχυση του Ti και των στοιχείων της πορσελάνης στην διεπιφάνεια μετάλλου-πορσελάνης χωρίς όμως κάποιο να παρουσιάζει κάποιο τοπικό μέγιστο.
- Μόνο ένα από τα δύο υλικά ικανοποιεί την διεθνή προδιαγραφή σε ότι αφορά την αντοχή του δεσμού με την πορσελάνη.

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- (1999) ISO 9693 Metal-ceramic dental restorative systems. Geneva. International Organization for Standardization.
- Al Jabbari Y. S., Zinelis S., Eliades G. Effect of sandblasting conditions on alumina retention in representative dental alloys. *Dent Mater J*, Vol.31, No.2, pp. 249-55, ISSN 1881-1361 (Electronic)  
0287-4547 (Linking)
- Cai Z., Bunce N., Nunn M. E., Okabe T. (2001). Porcelain adherence to dental cast CPtitanium: effects of surface modifications. *Biomaterials*, Vol.22, No.9, pp. 979-86, ISSN 0142-9612 (Print)
- Chakmakchi M., Eliades G., Zinelis S. (2009, doi:10.1016/j.jpor.2009.03.003). Bonding agents of low fusing cpTi porcelains: Elemental and morphological characterization. *Journal of Prosthodontic Research*, pp. ISSN
- Hammad I. A., Talic Y. F. (1996). Designs of bond strength tests for metal-ceramic complexes: review of the literature. *J Prosthet Dent*, Vol.75, No.6, pp. 602-8, ISSN 0022-3913 (Print)
- Lee K. M., Cai Z., Griggs J. A., Guiatas L., Lee D. J., Okabe T. (2004). SEM/EDS evaluation of porcelain adherence to gold-coated cast titanium. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, Vol.68, No.2, pp. 165-73, ISSN 1552-4973 (Print)
- Ozcan I., Uysal H. (2005). Effects of silicon coating on bond strength of two different titanium ceramic to titanium. *Dent Mater*, Vol.21, No.8, pp. 773-9, ISSN 0109-5641 (Print)
- Papadopoulos T. D., Spyropoulos K. D. (2009). The effect of a ceramic coating on the cpTi-porcelain bond strength. *Dental Materials*, Vol.25, No.2, pp. 247-253, ISSN 0109-5641
- Papadopoulos T., Tsetsekou A., Eliades G. (1999). Effect of aluminium oxide sandblasting on cast commercially pure titanium surfaces. *Eur J Prosthodont Restor Dent*, Vol.7, No.1, pp. 15-21, ISSN 0965-7452 (Print)
- Sadeq A., Cai Z., Woody R. D., Miller A. W. (2003). Effects of interfacial variables on ceramic adherence to cast and machined commercially pure titanium. *J Prosthet Dent*, Vol.90, No.1, pp. 10-7, ISSN 0022-3913 (Print)
- Shevchencho N., Itin V., Tukhfatullin A. (2001). Reaction of stomatological porcelain with Titanium and Titanium nickelide during sintering. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol.40, No.5-6, pp. 42-49, ISSN
- Suansuwan N., Swain M. V. (2003). Adhesion of porcelain to titanium and a titanium alloy. *J Dent*, Vol.31, No.7, pp. 509-18, ISSN 0300-5712 (Print)
- Wang R. R., Fenton A. (1996). Titanium for prosthodontic applications: a review of the literature. *Quintessence Int*, Vol.27, No.6, pp. 401-8, ISSN 0033-6572 (Print)
- White S. N., Ho L., Caputo A. A., Goo E. (1996). Strength of porcelain fused to titanium beams. *J Prosthet Dent*, Vol.75, No.6, pp. 640-8, ISSN 0022-3913 (Print)
- Zinelis S., Barmpagadaki X., Vergos V., Chakmakchi M., Eliades G. Bond strength and interfacial characterization of eight low fusing porcelains to cpTi. *Dent Mater*, Vol.26, No.3, pp. 264-73, ISSN 1879-0097 (Electronic)  
0109-5641 (Linking)