



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

ΣΧΟΛΗ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΥΓΕΙΑΣ ΚΑΙ ΠΡΟΝΟΙΑΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΪΑΤΡΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ: ΟΔΟΝΤΙΚΗΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ: Μηχανικές Ιδιότητες Οδοντιατρικών Κραμάτων.

Η σημασία τους για τον οδοντικό τεχνολόγο.

Φοιτήτρια: Κλωνή Αικατερίνη (ΑΜ:18678208)

Επιβλέπων: Βέργος Βασίλειος

Αθήνα, 2023



UNIVERSITY OF WEST ATTICA

FACULTY OF HEALTH AND CARE SCIENCES

DEPARTMENT OF BIOMEDICAL SCIENCES

SCIENCES DIVISION: DENTAL TECHNOLOGY

DISSERTATION: Mechanical Properties of Dental Materials

Their Importance in Dental Technology Procedures

STUDENT: Kloni Aikaterini (AM:18678208)

SUPERVISOR: Vergos Vasilios

Athens, 2023

Βέργος Βασίλειος Επιβλέπων Καθηγητής

Θεοχαρόπουλος Αντώνιος Μέλος Τριμελούς επιτροπής

Σεμπέπου Ιωάννα Μέλος Τριμελούς επιτροπής

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	4
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ	6
ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ	11
1. Μέταλλα	11
1.1 Γενικά μέταλλα.....	11
1.2 Διαλυτότητα μετάλλων.....	13
2. Οδοντιατρικά κράματα	15
2.1 Γενικά οδοντιατρικά κράματα.....	15
2.2 Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων κραμάτων.....	15
2.3 Θερμικές κατεργασίες κραμάτων.....	17
3. Μηχανικές ιδιότητες	23
3.1 Γενικά.....	23
3.2 Διάγραμμα τάσης – παραμόρφωσης.....	23
3.3 Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων.....	26
4. Μηχανικές ιδιότητες οδοντιατρικών κραμάτων	30
5. Υλικά χρήσης κατά την κατασκευή αποκαταστάσεων από κράμα	37
5.1 Γύψοι.....	37
5.2 Κεριά.....	38
5.3 Πυροχώματα.....	39

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ.....	43
--------------------------	-----------

6. Στάδια εργαστηριακής διαδικασίας κατασκευής χυτών αποκαταστάσεων και επίδραση του οδοντικού τεχνολόγου.....	43
6.1 Κατασκευή εκμαγείου εργασίας.....	43
6.2 Διαμόρφωση κέρινου ομοιώματος αποκατάστασης.....	44
6.3 Τοποθέτηση αγωγών χύτευσης.....	45
6.4 Επένδυση με πυρόχωμα.....	50
6.5 Αποκήρωση, προθέρμανση.....	52
6.5.1 Αποκήρωση.....	52
6.5.2 Προθέρμανση.....	53
6.6 Τήξη κράματος και χύτευση.....	54
6.6.1 Τήξη κράματος.....	54
6.6.2 Επανάτηση κράματος.....	58
6.6.3 Χύτευση κράματος.....	59
6.6.3.1 Μέθοδοι χύτευσης και συσκευές.....	59
6.6.3.2 Χύτευση τιτανίου.....	62
6.7 Απόψυξη χυτού.....	63
6.8 Επεξεργασία χυτού.....	65
7. Σημεία προσοχής σε κατασκευή κάθε είδους χυτής αποκατάστασης.....	67
7.1 Είδη προσθετικών εργασιών.....	67
7.2 Ακίνητες προσθέσεις με μεταλλικό σκελετό.....	68
7.2.1 Ένθετα/ Επένθετα.....	68
7.2.2 Στεφάνες.....	69
7.2.3 Γέφυρες.....	70
7.3 Κινητές προσθέσεις με μεταλλικό σκελετό/ Μερικές οδοντοστοιχίες.....	74
7.3.1 Γενικά περί μερικών οδοντοστοιχιών.....	74
7.3.2 Τμήματα μερικής οδοντοστοιχίας.....	74
7.3.3 Κράματα εκλογής για μεταλλικό σκελετό μερικής οδοντοστοιχίας.....	78
7.3.4 Στάδια κατασκευής μεταλλικού σκελετού Μ.Ο. και μηχανική αντοχή.....	80
7.4 Σύνδεσμοι ακριβείας.....	84

8. Τεχνολογία CAD/CAM στην σύγχρονη οδοντοτεχνική.....	89
8.1 Σύγχρονη τεχνολογία CAD/CAM και σύγκριση με τεχνική χύτευσης.....	89
8.2 Κατασκευή προσθέσεων με την χρήση της τεχνολογίας CAD/CAM.....	90
ΣΥΖΗΤΗΣΗ.....	93
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	99
ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	100
SUMMARY.....	101
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	102

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αποκατάσταση στοιχείων του Στοματογναθικού Συστήματος που λείπουν κατά την διάρκεια της ζωής του ατόμου απασχόλησε και απασχολεί τον κλάδο της οδοντιατρικής και της οδοντικής προσθετικής. Στον κλάδο αυτό εισήχθησαν τα κράματα μετάλλων για την κατασκευή προσθετικών αποκαταστάσεων.

Πλήρης και σαφής ορισμός των μετάλλων δεν υπάρχει. Τα μέταλλα ορίζονται με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες που διαθέτουν σε στέρεη κατάσταση, οι οποίες οφείλονται στο μεταλλικό δεσμό και στην κρυσταλλική δομή που διαθέτουν.

Επειδή τα περισσότερα μέταλλα δεν διαθέτουν ικανοποιητικές ιδιότητες (φυσικές, μηχανικές, χημικές), χρησιμοποιήθηκαν τα κράματα, τα οποία είναι σώματα με μεταλλικές ιδιότητες, αποτελούμενα από δύο ή περισσότερα στοιχεία, εκ των οποίων το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο. Με την διαδικασία της κραματοποίησης επιτυγχάνεται η μεταβολή των ιδιοτήτων των καθαρών μετάλλων σχηματίζοντας ένα νέο υλικό, με νέες φυσικοχημικομηχανικές ιδιότητες, οι οποίες είναι καλύτερες από αυτές των μητρικών μετάλλων. Οι ιδιότητες αυτές, οι οποίες εξαρτώνται από τη σύνθεση του κράματος, δεν είναι ο μέσος όρος των ιδιοτήτων των μετάλλων που το αποτελούν, αλλά εντελώς διαφορετικές.

Για την επιλογή ενός κράματος, που προορίζεται για μια συγκεκριμένη χρήση, πρέπει να ληφθούν υπόψη τρεις εξίσου σημαντικοί παράγοντες: οι ιδιότητες χρήσης, οι ιδιότητες μορφοποίησης και το κόστος των πρώτων υλών και της κατεργασίας. Επιπλέον, όσον αφορά τις ιδιότητες χρήσης, οι παράγοντες που παίζουν σπουδαίο ρόλο είναι οι εξής: η χημική σύνθεση, η φυσικομηχανικές ιδιότητες και η μικρογραφική δομή.

Συγκεκριμένα με τον όρο μηχανικές ιδιότητες εννοούμε τις ιδιότητες εκείνες που περιγράφουν την κατάσταση ενός υλικού κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων, έχοντας ως αποτέλεσμα την ανάπτυξη εσωτερικών δυνάμεων στα υλικά που ονομάζονται τάσεις. Οι τάσεις αυτές προκαλούν μια αντίστοιχη παραμόρφωση του σώματος, η οποία οφείλεται στη διαταραχή των μεσοατομικών ή μεσομοριακών αποστάσεων των ατόμων ή μορίων από τα οποία συνίσταται το υλικό.

Σκοπός της εργασίας είναι να εξεταστούν οι μηχανικές ιδιότητες των οδοντιατρικών κραμάτων που χρησιμοποιούνται σε διάφορες προσθετικές αποκαταστάσεις. Θα γίνει αναφορά στους

τρόπους με τους οποίους ο οδοντικός τεχνολόγος μπορεί να επηρεάσει την επιτυχία της υπό μελέτη κατασκευής ανάλογα με το υλικό, την τεχνική αλλά και τον σχεδιασμό που ακολουθεί. Η σωστή εφαρμογή των βασικών αρχών από τον οδοντικό τεχνολόγο έχει σαν αποτέλεσμα την σωστή δόμηση, σύσταση και επομένως τις επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΑΝΑΔΡΟΜΗ

Η ανάγκη αποκατάστασης των χαμένων δοντιών απασχόλησε από πολύ νωρίς τον άνθρωπο, οδηγώντας τον στην αναζήτηση κατάλληλων υλικών αποκατάστασης.

Τα πρώτα χρόνια οι Ετρούσκοι περιβάλλαν τα δόντια στηρίγματα με ταινίες από σφυρήλατο χρυσό, οι οποίες συγκρατούσαν μηχανικά τις οδοντικές προσθέσεις, αποσκοπώντας έτσι στην αποκατάσταση της αισθητικής, της μάσησης και της ομιλίας ως τον 19ο αιώνα. Σε τάφο της Ερέτριας βρέθηκε γέφυρα από 7 δόντια που συνδέονταν μεταξύ τους με χρυσό. Η κατασκευή της χρονολογείται γύρω στα 1.500 π.Χ. Επίσης στο Λούβρο υπάρχει έκθεμα που δείχνει την αντικατάσταση δύο τομέων της άνω γνάθου, με τις μύλες δύο φυσικών τομέων. Αντιστοίχως είχε γίνει συγκράτηση με σύρμα από χρυσό.

Στην πορεία οι Ρωμαίοι κατασκεύασαν οδοντικές προσθέσεις από σφυρήλατο χρυσό αφήνοντας ένα δείγμα των επιτευγμάτων τους. Η αποκατάσταση των απολεσθέντων δοντιών ήταν ένα ζήτημα που απασχόλησε τον άνθρωπο τον 19ο αιώνα, με χαρακτηριστικό παράδειγμα τον Γ. Ουάσιγκτον. Ο Ουάσιγκτον βρισκόταν συνεχώς κάτω από τη δυσμενή επίδραση της πρωτόγονης οδοντοστοιχίας του, η οποία κατασκευάστηκε από τον John Greenwood, τον πλέον γνωστό οδοντογιατρό της εποχής του.

Στο διάστημα που μεσολάβησε από το τέλος του 18ου αιώνα (κατασκευή της χρυσής στεφάνης του Claude Mouton) ως σήμερα, υπήρξε μεγάλη πρόοδος στα υλικά των οδοντικών αποκαταστάσεων, με κυρίαρχα υλικά τα μέταλλα. Μέχρι και το 19ο αιώνα χρησιμοποιούνταν εκτενώς ο χρυσός και κράματα χρυσού με άργυρο και χαλκό. Ο χρυσός ως ευγενές μέταλλο το οποίο δε διαβρώνεται, κατείχε εξέχουσα θέση στην ζωή του ανθρώπου και η αξία του επηρέασε άμεσα και τον κλάδο της οδοντικής προσθετικής. Οι πρώτες προσθετικές εργασίες κατευθυνόμενες από τον κλάδο της χρυσοχορίας κατασκευάστηκαν με συγκόλληση σφυρήλατων φύλλων μετάλλου.

Το 1907, ο Αμερικανός Taggart εισήγαγε στην οδοντοτεχνική τη χύτευση των μετάλλων και στην αρχή του 21ου αιώνα ένα μέρος του χρυσού των οδοντιατρικών κραμάτων αντικαταστάθηκε από πλατίνα (2 - 10%), έχοντας πλεονεκτήματα ως προς το κόστος, την διατήρηση του χρώματος εντός της στοματικής κοιλότητας και ως προς τις μηχανικές ιδιότητες. Ακολούθησε περί το 1925 η ανακάλυψη της δυνατότητας σκλήρυνσης αυτών των κραμάτων με θερμικές κατεργασίες και κατά τη διάρκεια του πρώτου παγκόσμιου πόλεμου αλλά και στα χρόνια του πληθωρισμού

χρησιμοποιήθηκαν υποκατάστατα του χρυσού, που είχαν σαν βάση τον ορείχαλκο (χαλκός - ψευδάργυρος). Το 1919, ο Haurtmayer εισήγαγε στην οδοντοτεχνική τον ανοξειδωτο χάλυβα και λίγο μετά το 1930, εμφανίστηκαν στην αγορά τα κράματα Co-Cr, τα οποία ανέτρεψαν την πορεία του κοινού χάλυβα.

Από έρευνες διαπιστώθηκε ότι με την προσθήκη παλλαδίου και άλλων μετάλλων της οικογένειας της πλατίνας, μπορούσαν να δημιουργηθούν κράματα με ποικιλία σκληρότητας. Όμως με την έναρξη του δεύτερου παγκόσμιου πόλεμου, δεν ήταν εφικτή και η τοποθέτηση του παλλάδιου στα κράματα και έτσι το μοναδικό πολύτιμο μέταλλο, που λόγω κόστους μπορούσε να χρησιμοποιηθεί, ήταν ο άργυρος (κράματα αργύρου - παλλαδίου). Μετά το πέρας του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου επικράτησαν τα κράματα χρυσού - πλατίνας, τα οποία μαζί με τη σύγχρονη τεχνολογία, οδήγησαν σε περαιτέρω εξέλιξη την οδοντική προσθετική.¹

Την τρέχουσα περίοδο επικρατεί η κραματοποίηση για την επίτευξη ενός βέλτιστου αποτελέσματος μιας προσθετικής αποκατάστασης. Εκτός από το χρυσό, τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται στα οδοντιατρικά κράματα για χυτές αποκαταστάσεις είναι ο άργυρος (Ag), το νικέλιο (Ni), ο χαλκός (Cu), η πλατίνα (Pt), το παλλάδιο (Pd), το ιρίδιο (Ir), το ρουθίνιο (Ru), ο ψευδάργυρος (Zn), ο κασσίτερος (Sn) και το ίνδιο (In).

Οι προσθήκες αυτών στα κράματα μας οδηγούν σήμερα στα εξής συμπεράσματα:

A) Ο χαλκός, ο άργυρος, το παλλάδιο και η πλατίνα δρουν γενικά ως σκληρυντικά στοιχεία σε κράματα μεγάλης περιεκτικότητας σε χρυσό.

B) Ο σίδηρος και ο κασσίτερος, σε πολύ μικρές ποσότητες, συμβάλλουν στη σκλήρυνση των κραμάτων μεταλλοκεραμικής.

Γ) Το ίνδιο, ο σίδηρος και ο κασσίτερος ενισχύουν το δεσμό της πορσελάνης με το κράμα (σχηματισμός οξειδίων σταθερά προσκολλημένων στο μέταλλο).

Δ) Ο χαλκός (Cu), ο ψευδάργυρος (Zn), το κάδμιο (Cd), το ίνδιο (In), και το νικέλιο (Ni) είναι στοιχεία που προκαλούν ελάττωση της θερμοκρασίας τήξης του κράματος.

Γενικά, επειδή οι ιδιότητες των λεπτόκοκκων κραμάτων είναι καλύτερες από τις ιδιότητες των αδρόκοκκων, επιδιώκεται κατά την κραματοποίηση η χρησιμοποίηση στοιχείων που ελαττώνουν το μέγεθος των κόκκων. Τα στοιχεία αυτά αυξάνουν, επίσης, την αντοχή των κραμάτων στον εφελκυσμό, αλλά και την εκατοστιαία μήκυνση.

Σταθμός στην ιστορία της οδοντιατρικής/ οδοντοτεχνικής αποτέλεσαν οι προδιαγραφές της Αμερικανικής Οδοντιατρικής Ομοσπονδίας ADA, οι οποίες αποτελούν την πλέον κατανοητή κατάταξη των σύγχρονων οδοντιατρικών κραμάτων για χυτές αποκαταστάσεις. Το 1965 τα κράματα χρυσού βάση της σκληρότητας τους κατηγοριοποιήθηκαν ως εξής:

- Τύπου I: μαλακά (50-90 Vickers) και κατάλληλα μόνο για μικρά ένθετα (I και IV)
- Τύπου II: μέσης σκληρότητας (90-120 Vickers) και κατάλληλα για ένθετα II ομάδας, στεφάνες μερικής επικάλυψης και ολικές στεφάνες
- Τύπου III: σκληρά (120-160 Vickers) και κατάλληλα για ένθετα VI ομάδας, στεφάνες και μικρής έκτασης γέφυρες
- Τύπου IV: πολύ σκληρά (160-250 Vickers) και κατάλληλα για μεγάλες γέφυρες, σκελετούς μερικών οδοντοστοιχιών, τηλεσκοπικές στεφάνες.

Το 1978, σε νέα κατάταξη με βάση την περιεκτικότητα σε χρυσό, υπήρξαν οι κατηγορίες που ακολουθούν στον Πίνακα I.

Κράματα	Περιεκτικότητα %
1. Χρυσοκράματα	
1.1. Κράματα μεγάλης περιεκτικότητας σε χρυσό	
	1.1.1. Κράματα για μεταλλοακρυλικά
	Au + μέταλλα της Pt > 75%
	Au το λιγότερο 70%
	1.1.2. Κράματα για μεταλλοκεραμική
	Au + μέταλλα της Pt > 95%
	Au το λιγότερο 75%
1.2. Κράματα με μειωμένη περιεκτικότητα σε χρυσό	
	1.2.1. Κράματα για μεταλλοακρυλικά
	Au + μέταλλα της Pt > 60%
	Au το λιγότερο 50%
	1.2.2. Κράματα για μεταλλοκεραμική
	Au + μέταλλα της Pt > 75%
	Au το λιγότερο 45%

2. Κράματα παλλαδίου Pd > 50%

2.1. Κράματα παλλαδίου - χρυσού

2.2. Κράματα παλλαδίου - αργύρου

3. Κράματα αργύρου Ag > 50%

3.1. Κράματα αργύρου - παλλαδίου

4. Κράματα μη ευγενών μετάλλων

4.1. Κράματα Co - Cr

4.2. Κράματα Ni - Cr

4.3. Κράματα Fe - Cr

5. Τιτάνιο Ti > 99%, Fe, O, N, C, H

Πίνακας I: Κατάταξη οδοντιατρικών κραμάτων για χυτές αποκαταστάσεις (A.D.A. 1978).¹

Τέλος, το 1984 η A.D.A. διαμορφώνει την πιο σύγχρονη κατάταξη με βάση την περιεκτικότητα σε ευγενή μέταλλα:

A) Πολύτιμα ή ευγενή (ποσοστό ευγενών μετάλλων άνω του 60% και ποσοστό χρυσού άνω του 40%)

B) Ημιπολύτιμα (μικρότερο ποσοστό ευγενών μετάλλων αλλά μεγαλύτερο του 25%): Περιέχουν εκτός από ευγενή στοιχεία και βασικά μέταλλα προκειμένου να αποκτήσουν τις επιθυμητές για την οδοντιατρική ιδιότητες. Επίσης, είναι σκληρότερα από τα κράματα χρυσού, έχουν μικρό ειδικό βάρος και υψηλότερη θερμοκρασία τήξης. Η χρήση τους είναι περιορισμένη σήμερα καθώς η εργαστηριακή τους επεξεργασία απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή και έχουν μειωμένη αντοχή στην διάβρωση

Γ) Βασικά (ευγενή μέταλλα σε ποσοστό μικρότερο του 25%): Συγκεκριμένα είναι τα κράματα νικελίου - χρωμίου και τα κοβαλτίου - χρωμίου.

Ιδιαίτερη αναφορά πρέπει να γίνει επίσης και στην προσπάθεια επίτευξης μεταλλοκεραμικών εργασιών κατά το παρελθόν. Ο τρόπος όπτησης κεραμικών μαζών πάνω σε υποδομές από πλατίνα ή πλατίνα και ιρίδιο, ήταν ήδη γνωστός από το 1884. Ωστόσο, μόλις το 1956 περιγράφηκε από τους Silver, Klein και Howard μια εύχρηστη μέθοδος μεταλλοκεραμικής τεχνικής και έκτοτε διακρίνεται μια συνεχής προσπάθεια με πολλές αποτυχίες. Τα δύο υλικά, το μέταλλο και η κεραμική μάζα έχουν διαφορετικές φυσικές ιδιότητες, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται συχνά

στην κεραμική μάζα ρωγμές, που έκαναν την πορσελάνη να ξεκολλάει από το μέταλλο. Τα δυο αυτά υλικά πρέπει να επιλεγθούν και με βάση τον συντελεστή θερμικής διαστολής. Η συμβατότητα αυτού του συντελεστή κρίνεται απαραίτητη για την απουσία ρωγμών στην κεραμική μάζα. Μετά από την αρχή που έγινε στις ΗΠΑ το 1958 με το σύστημα της Ceramco και στη Γερμανία το 1962 με την τεχνική της VITA, έχει επιτευχθεί σήμερα ο επιτυχής συνδυασμός των δυο αυτών υλικών πάντα με γνώμονα τις οδηγίες του κατασκευαστή.¹

ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Μέταλλα

1.1 Γενικά μέταλλα

Τα μέταλλα ορίζονται με βάση κάποιες χαρακτηριστικές ιδιότητες που διαθέτουν σε στερεή κατάσταση, οι οποίες οφείλονται στο μεταλλικό δεσμό και στην κρυσταλλική τους δομή. Τα μεταλλικά σώματα αναγνωρίζονται εύκολα, συνήθως χάρη σε ορισμένα χαρακτηριστικά, όπως η μεταλλική λάμψη, η μεγάλη αντοχή, η σκληρότητα και η πλαστικότητα. Οι ιδιότητες αυτές είναι τα πιο κοινά γνωρίσματα της μεταλλικής ύλης και ονομάζονται μεταλλικές ιδιότητες. Αυτές οφείλονται κυρίως στην ηλεκτρονική δομή των ατόμων και στο είδος του δεσμού που υπάρχει στα μέταλλα, ενώ ο μεταλλικός χαρακτήρας οφείλεται στον αριθμό των ηλεκτρονίων σθένους κάθε στοιχείου. Συγκεκριμένα, οι ιδιότητες των μετάλλων είναι οι εξής:

- A) Σε στερεή κατάσταση διαθέτουν μεταλλική λάμψη
- B) Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος βρίσκονται σε στερεή κατάσταση (εξαιρέση αποτελεί ο υδράργυρος)
- Γ) Έχουν μεγάλο ειδικό βάρος
- Δ) Είναι καλοί αγωγοί της θερμότητας και του ηλεκτρισμού
- Ε) Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία, η ηλεκτρική αγωγιμότητά τους ελαττώνεται
- ΣΤ) Με τα οξέα σχηματίζουν άλατα και με το H_2O υδροξείδιο ή οξείδια
- Ζ) Έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή και πλαστικότητα. Έτσι, στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος χρειάζεται μεγάλη μηχανική ενέργεια για να σπάσουν και ορισμένα, πριν από την θραύση τους, επιμηκύνονται, δηλαδή εμφανίζουν πλαστικότητα
- Η) Στη στερεή κατάσταση είναι πραγματικά στερεά, δηλαδή εμφανίζουν χαρακτηριστική κρυσταλλική δομή
- Θ) Έχουν μεγάλη πυκνότητα, που οφείλεται στην πυκνή κρυσταλλική τους δομή

Ι) Ορισμένα μέταλλα, που ονομάζονται φερρομαγνητικά, με κύριο εκπρόσωπο το σίδηρο, έχουν μαγνητικές ιδιότητες

Κ) Έχουν την ικανότητα να σχηματίζουν κράματα, δηλαδή μίγματα με άλλα στοιχεία, ορισμένα από τα οποία μπορεί να είναι αμέταλλα ή επαμφοτερίζοντα, έχουν όμως μεταλλικό χαρακτήρα.^{1,2,3}

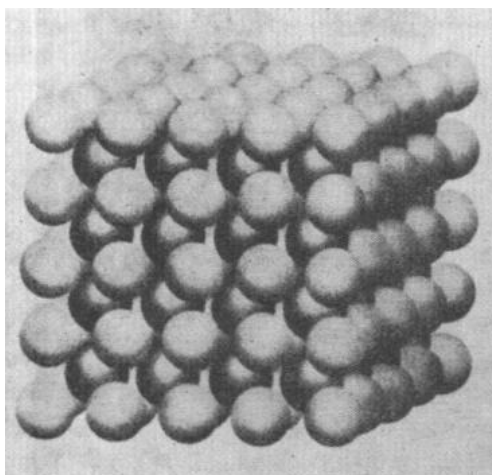
Τα μέταλλα κατατάσσονται επίσης σε τρεις ομάδες με βάση την χημική τους συμπεριφορά:

Α) Ευγενή Μέταλλα: Παρουσιάζουν χημική αδράνεια στην φύση (χρυσός, πλατίνα, παλλάδιο και με επιφύλαξη ο άργυρος)

Β) Αυτοπαθητικοποιούμενα Μέταλλα: Αδρανοποιούνται με δικό τους παθητικό στρώμα (χρωμιο, τιτάνιο, νιόβιο, ταντάλιο)

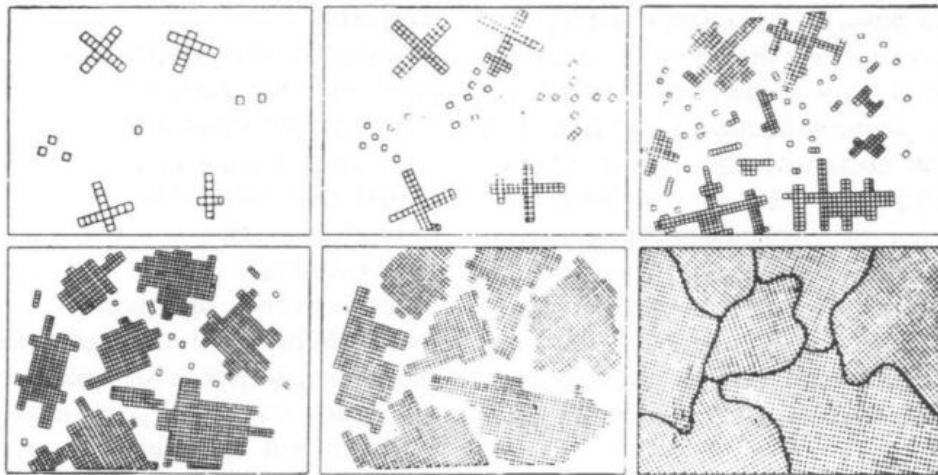
Γ) Μη Ευγενή Μέταλλα: Αδρανοποιούνται με τα αυτοπαθητικοποιούμενα δημιουργώντας παθητικό στρώμα (σίδηρος, κοβάλτιο, νικέλιο).

Ο μεταλλικός δεσμός είναι ένας χημικός δεσμός, που εξασφαλίζει τη συνοχή ανάμεσα στα άτομα, τις στοιχειώδεις δομικές μονάδες του μετάλλου. Τα άτομα των μετάλλων μπορούν να χάνουν ένα μέρος ή όλα τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας (ηλεκτρόνια σθένους) και να μετατρέπονται έτσι σε θετικά ιόντα. Το στερεό μέταλλο θεωρείται σαν ένα σύνολο θετικών ιόντων (κατιόντων), που περιβάλλεται από τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, τα οποία είναι αρνητικά φορτισμένα. Οι ισχυρές απωστικές δυνάμεις, που ασκούνται ανάμεσα στα θετικά ιόντα του μετάλλου, τα αναγκάζουν να παρατάσσονται σε κανονικές αποστάσεις και κατά περιοδικό τρόπο, μέσα στο χαλαρό ηλεκτρονικό νέφος. Έτσι, σχηματίζεται ένας κρύσταλλος, που χαρακτηρίζεται από την περιοδική επανάληψη ατόμων και προς τις τρεις διαστάσεις του χώρου. Η διάταξη αυτή των ατόμων είναι για κάθε μέταλλο χαρακτηριστική και ονομάζεται κρυσταλλική δομή (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Κρυσταλλική δομή μετάλλου.¹

Η πήξη του μετάλλου αποτελεί χαρακτηριστική διαδικασία προς μελέτη, κατά την οποία παρατηρούνται τρεις περιοχές. Μια υγρή, η οποία είναι πάνω από το σημείο τήξης του μετάλλου, μια στην οποία συνυπάρχουν η υγρή και η στερεή φάση και αντιστοιχεί στο σημείο τήξης και μια στερεή που είναι κάτω από το σημείο τήξης. Μετά την ολοκλήρωση της πήξης το μέταλλο θα αποτελείται από κρυστάλλους (κόκκους) της ίδιας κρυσταλλικής δομής, με διαφορετικό όμως σχήμα και προσανατολισμό. Η διαδικασία της στερεοποίησης γίνεται σε δύο στάδια, όπου το πρώτο είναι η δημιουργία φύτρων και το δεύτερο η ανάπτυξη κρυστάλλων - κόκκων. Το στερεό που προκύπτει είναι πολυκρυσταλλικό, με τόσους κόκκους, όσα και τα φύτρα που δημιουργήθηκαν μέσα στο τήγμα, κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης. Οι επιφάνειες ασυμφωνίας, που χωρίζουν τους κόκκους, λέγονται όρια των κόκκων. Τα όρια των κόκκων έχουν πολλές φορές μεγαλύτερη αξία και σπουδαιότητα και από αυτή την ίδια τη φύση του μετάλλου, γιατί η άμορφη ή άτακτη διάταξη των ατόμων στα όρια των κόκκων, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της ενέργειας στην εξωτερική επιφάνεια των κρυστάλλων, σε σχέση με αυτή του υπόλοιπου κρυστάλλου (Εικόνα 2).^{1,2,3,4,5,6}



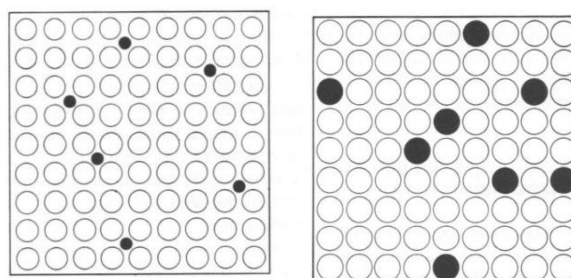
Εικόνα 2: Κρυστάλλωση των μετάλλων.¹

1.2 Διαλυτότητα μετάλλων

Δύο μέταλλα μπορούν να είναι τελείως αναμίξιμα, μερικώς αναμίξιμα ή μη αναμίξιμα σε υγρή ή σε στερεή κατάσταση. Σε αρκετά υψηλή θερμοκρασία τα περισσότερα διμερή κράματα παρουσιάζουν πλήρη διαλυτότητα και ως προς τα δύο στοιχεία, δηλαδή αναμιγνύονται σε οποιαδήποτε αναλογία και λέμε ότι είναι τελείως αναμίξιμα σε υγρή κατάσταση. Σε στερεή

κατάσταση και σε περίπτωση τέλει αναμιξιμότητας, τα άτομα των δύο μετάλλων αναμιγνύονται υπό οποιαδήποτε αναλογία, προκειμένου να δώσουν έναν ομοιογενή κρυσταλλίτη - κόκκο. Αν τα δύο μέταλλα μοιάζουν πολύ από χημική άποψη (μονοσθενή στοιχεία), από άποψη ατόμων (περίπου το ίδιο μέγεθος ατόμου) και από κρυσταλλογραφική δομή (κρυσταλλώνονται στον τύπο της εδροκεντρωμένης κυβικής δομής), τότε θα διαμορφωθεί ένα πολυκρυσταλλικό στερεό, αποτελούμενο από κόκκους της ίδιας δομής (εδροκεντρωμένης κυβικής) και της ίδιας χημικής σύστασης. Όμως, όταν τα δύο μέταλλα διαφέρουν σημαντικά ως προς το μέγεθος των ατόμων, το σθένος ή τη δομή, είναι προφανές ότι δεν μπορούν να σχηματίσουν ένα ενιαίο στερεό διάλυμα. Σε αυτή την περίπτωση κατά τη στερεοποίηση, παίρνουμε ένα πολυκρυσταλλικό στερεό, που αποτελείται από κρυστάλλους δύο ειδών. Το κάθε είδος κρυστάλλου αποτελεί ένα διαφορετικό στερεό διάλυμα. Τέλος, να αναφερθεί πως η περίπτωση μερικής αναμιξιμότητας στη στερεή κατάσταση είναι η πιο συνηθισμένη.

Στα περισσότερα κράματα, το ένα μέταλλο ενσωματώνεται μέσα στον κρύσταλλο του άλλου μετάλλου του κράματος, δίνοντας έτσι ένα στερεό διάλυμα. Διακρίνονται δύο τύποι στερεών διαλυμάτων: τα στερεά διαλύματα παρεμβολής, που σχηματίζονται κυρίως σε διμερή κράματα μετάλλου - αμετάλλου (τα άτομα του αμετάλλου παρεμβάλλονται στα κενά του πλέγματος, που απομένουν ανάμεσα στα ογκωδέστερα άτομα του μετάλλου) και τα στερεά διαλύματα αντικατάστασης που σχηματίζονται, όταν τα άτομα των δύο στοιχείων είναι παραπλήσια σε μέγεθος και, συγκεκριμένα, όταν η ατομική τους ακτίνα δε διαφέρει περισσότερο από 14% (Εικόνα 3).^{1,2,3,4,5,6}



α

β

Εικόνα 3: α) Στερεό διάλυμα παρεμβολής, β) Στερεό διάλυμα αντικατάστασης.¹

2. Οδοντιατρικά κράματα

2.1 Γενικά κράματα

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες των μετάλλων είναι η ικανότητα να αναμειγνύονται μεταξύ τους αλλά και με άλλα στοιχεία και να δίνουν νέες ενώσεις με νέες ιδιότητες. Αυτή η διαδικασία ονομάζεται κραματοποίηση και οι νέες ενώσεις, κράματα. Επειδή λοιπόν τα περισσότερα μέταλλα δεν διαθέτουν ικανοποιητικές ιδιότητες (φυσικές, μηχανικές, χημικές), χρησιμοποιήθηκαν τα κράματα, τα οποία είναι σώματα με μεταλλικές ιδιότητες, αποτελούμενα από δύο ή περισσότερα στοιχεία, εκ των οποίων το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο. Ανάλογα με τον αριθμό των χημικών στοιχείων που το απαρτίζουν, ένα κράμα λέγεται διμερές, τριμερές ... πολυμερές. Η κραματοποίηση για την κατασκευή οδοντικών προσθετικών αποκαταστάσεων αφορά συγκεκριμένα μέταλλα που έχουν τις ιδιότητες των μετάλλων όπως αυτές αναλύθηκαν στην προηγούμενη ενότητα.^{1,5}

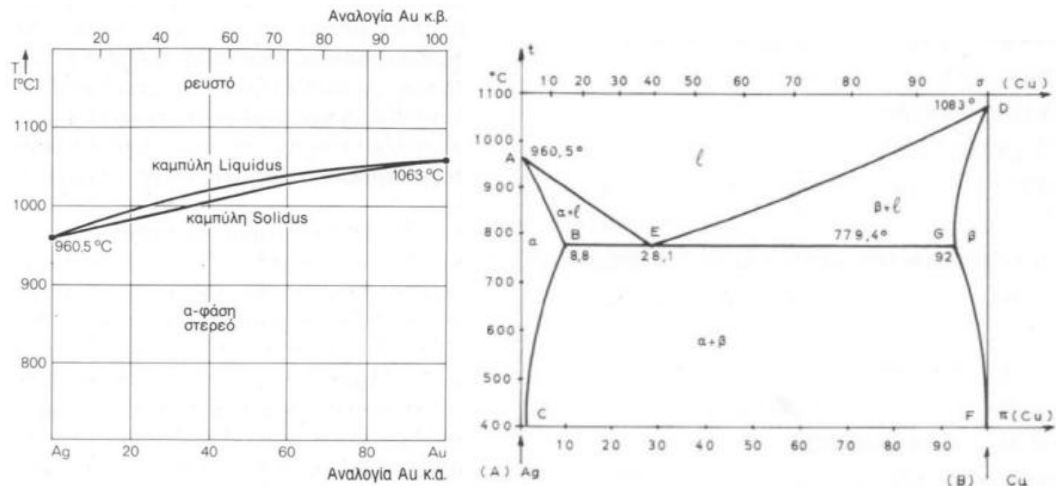
2.2 Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων κραμάτων

Χαρακτηριστικό γνώρισμα των διαλυμάτων αποτελεί η ομοιογένεια και η μεταβλητή τους σύσταση. Τα κράματα στην υγρή ή τη στερεή κατάσταση, μπορεί να θεωρηθούν διαλύματα ή αλλιώς συστήματα ομοιογενή ή ετερογενή. Φάση ονομάζεται κάθε περιοχή ενός κράματος, η οποία εμφανίζει φυσική ομοιογένεια, δηλαδή αποτελείται από ένα είδος κρυστάλλων και έχει την ίδια σύσταση, την ίδια δομή και τις ίδιες φυσικές ιδιότητες. Η γνώση των φάσεων ενός κράματος και η κατανομή τους περιγράφονται, εάν καταγράψουμε τις μεταβολές της συγκέντρωσης του κράματος σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία. Το διάγραμμα που προκύπτει, ονομάζεται διάγραμμα ισορροπίας φάσεων του συγκεκριμένου κράματος και μέσω αυτού γίνεται αντιληπτή η μετατόπιση (μεταβολή) της σύστασης μεταξύ των κρυσταλλιτών και της ρευστής μάζας του κράματος. Αντίθετα, το φαινόμενο της χημικής ανομοιογένειας των κρυστάλλων ενός κράματος ονομάζεται μικροδιαφορισμός, ένα φαινόμενο που μειώνει τις καλές μηχανικές ιδιότητες του κράματος καθώς και την αντοχή του στη διάβρωση.

Σημαντικό είναι να αναφερθεί πως η διαδικασία της κρυστάλλωσης ενός κράματος γίνεται μέσα σε μια περιοχή θερμοκρασίας, η οποία ονομάζεται θερμοκρασιακό διάστημα πήξης ή τήξης και το οποίο μπορεί να είναι αρκετά ευρύ (π.χ. το θερμοκρασιακό διάστημα πήξης των κραμάτων Au-Pt

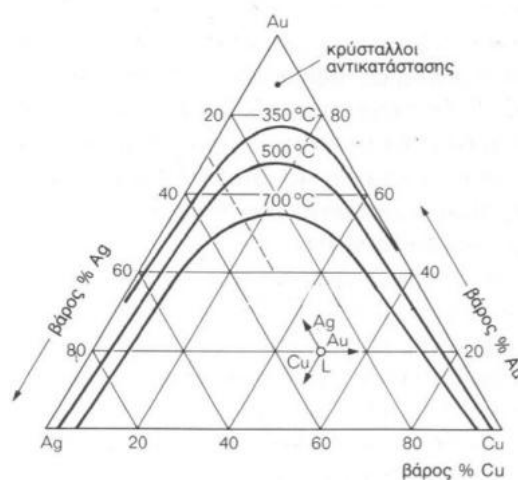
εκτείνεται μέχρι 300°C). Αντίθετα, η κρυστάλλωση ενός καθαρού μετάλλου γίνεται σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία, το σημείο τήξης του μετάλλου.

Υπάρχουν κράματα, στα οποία παρατηρείται πλήρη αναμιξιμότητα όπως το διμερές κράμα Ag-Au (Εικόνα 4α). Άλλη κατηγορία κραμάτων δεν σχηματίζει στερεά διαλύματα, αλλά αποτελεί μίγματα φάσεων των στοιχείων από τα οποία αποτελείται. Το αξιοσημείωτο σε αυτά τα κράματα είναι ότι για ορισμένη εκατοστιαία αναλογία των συστατικών τους, υπάρχει θερμοκρασία πήξης, η οποία εκφράζεται από ένα σημείο, όπως στα καθαρά μέταλλα. Το σημείο αυτό ονομάζεται ευτηκτικό και εκφράζει την ευτηκτική σύνθεση του κράματος. Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελούν τα κράματα Ag-Cu (Εικόνα 4β). Ακόμα υπάρχουν και τριμερή κράματα π.χ Ag-Cu-Au, στα οποία το διάγραμμα ισορροπίας τους παριστάνεται με τη μορφή ισόπλευρου τριγώνου, όπου στην κάθε κορυφή του αντιστοιχεί ένα από τα στοιχεία του κράματος (Εικόνα 4γ).^{1,3,5,6,21}



α

β



γ

Εικόνα 4: Διάγραμμα ισορροπίας κράματος

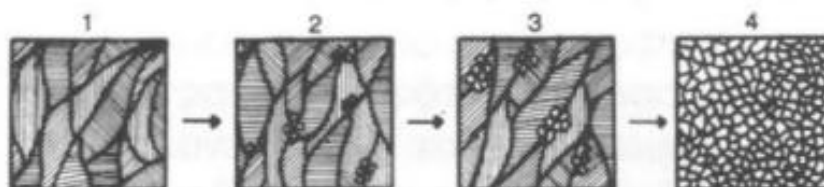
α) Διμερούς κράματος πλήρης αναμιξιμότητας Ag-Au, β) Εύτηκτου κράματος Ag-Cu,

γ) Τριμερούς κράματος Ag-Cu-Au.¹

2.3 Θερμικές κατεργασίες κραμάτων

Πρέπει να σημειωθεί πως τα μέταλλα και ιδιαίτερα τα κράματα έχουν την ιδιότητα να μεταβάλλουν τη δομή τους ακόμη και σε στερεή κατάσταση, εάν υποστούν διάφορες θερμικές κατεργασίες. Οι θερμικές αυτές κατεργασίες έχουν σκοπό τη δημιουργία λεπτόκοκκων μετάλλων ή κραμάτων και την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, που εγκλωβίζονται μέσα στη μάζα τους κατά

την διάρκεια της επεξεργασίας τους. Η δημιουργία λεπτόκοκκης δομής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ανθεκτικότητας, επειδή η διακίνηση των διαφόρων διαταραχών παρεμποδίζεται από τα όρια των κόκκων και επομένως όσο μικρότερους κόκκους έχει ένα μέταλλο, τόσο μεγαλύτερη επιφάνεια αντίστασης θα συναντούν οι διαταραχές κατά τη μετακίνησή τους. Οι σημαντικότερες θερμικές κατεργασίες είναι: η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση, η ανόπτηση για αποκατάσταση, η ανόπτηση για ομοιογενοποίηση και η σκλήρυνση εκ κατακρημνίσεως δια γηράνσεως (Εικόνα 5).



Εικόνα 5: Σχηματική αναπαράσταση της ανακρυστάλλωσης. Το μέταλλο μετά την θερμική κατεργασία παρουσιάζει λεπτόκοκκη δομή.¹

Κάθε κράμα το οποίο έχει υποβληθεί σε μια ψυχρή κατεργασία, παρουσιάζει μόνιμες εσωτερικές τάσεις και έχει χάσει ένα μέρος της ελαστικότητας αλλά και της ελατότητας του. Τα κράματα μπορούν να επανέλθουν στην αρχική τους κατάσταση με θερμική κατεργασία γνωστή και ως «ανακρυστάλλωση ή ανόπτηση». Να αναφερθεί πως οι θερμικές κατεργασίες δεν επηρεάζουν το μέτρο ελαστικότητας του κράματος αλλά την σκληρότητα, το όριο διαρροής και την εκατοστιαία μήκυνση του.

Η διαδικασία ξεκινά με την υποβολή του κράματος σε μια ορισμένη θερμοκρασία, η οποία καλείται θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ή ανόπτησης του κράματος και επιτυγχάνει τη δημιουργία υπερλεπτόκοκκης δομής και εξάλειψης των εσωτερικών τάσεων. Αν το κράμα υποβληθεί σε θερμοκρασία υψηλότερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης ή ανόπτησης ή αν θερμανθεί στην θερμοκρασία θερμικής κατεργασίας του για μακρύτερο χρονικό διάστημα, τότε τα άτομα του θα έρθουν σε στενότερη επαφή μεταξύ τους και θα σχηματίσουν μεγαλύτερους κόκκους (χονδροκόκκη δομή) προκαλώντας μια σημαντική μεταβολή των μηχανικών ιδιοτήτων του κράματος.^{1,5}

Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση των παραμορφώσεων είναι συγκεκριμένα οι εξής:

- **Ανόπτηση για ανακρυστάλλωση:**

Σε αυτή την μέθοδο οι εσωτερικές τάσεις και οι διαταραχές στην κρυσταλλικότητα εξαφανίζονται με την αύξηση της θερμοκρασίας με την ιδιαιτερότητα ότι δεν υπάρχει μια γραμμικότητα στην διαδικασία αλλά φάσεις που διαχωρίζονται από θερμοκρασιακά διαστήματα.

Στα κράματα που υποβάλλονται σε αυτή την μέθοδο αν αυξηθεί η θερμοκρασία μέχρι κάποιο σημείο δεν υπάρχει μεταβολή στη σκληρότητα τους ενώ σε θερμοκρασιακό διάστημα μετά από την θερμοκρασία μη μεταβολής τους, παρατηρείται μια συνεχής μείωση της σκληρότητας (μεμονωμένη μετανάστευση-διάχυση ατόμων σε σταθερότερες θέσεις, βελτίωση κρυσταλλικότητας μικρής κλίμακας). Σε συγκεκριμένη θερμοκρασία με περιορισμένο θερμοκρασιακό εύρος ακολουθεί μια απότομη πτώση της σκληρότητας. Αυτή η θερμοκρασία καλείται θερμοκρασία ανόπτησης για ανακρυστάλλωση και σε αυτή την φάση σχηματίζονται νέοι κρύσταλλοι χωρίς ατέλειες και εσωτερικές τάσεις. Με περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας εξακολουθεί να μειώνεται η σκληρότητα αλλά σε μικρότερο βαθμό, δηλαδή εμφανίζεται μια δευτερογενής ανακρυστάλλωση που οδηγεί σε ευρεία αλλαγή της κρυσταλλικής δομής (χονδρόκοκη).

Μετά τη θέρμανση σε θερμοκρασία ανόπτησης για ανακρυστάλλωση το παραμορφωμένο κράμα διατηρεί μεν το σχήμα του αλλά παρουσιάζει τελείως διαφορετική κρυσταλλική δομή που μοιάζει με αυτή πριν την παραμόρφωση με ομαλούς κόκκους. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι τόσο χαμηλότερη όσο περισσότερη ενέργεια έχει αποθηκευτεί στα όρια των κόκκων, άρα και όσο πιο έντονη ήταν η παραμόρφωση που έχει δημιουργηθεί. Όσο πιο έντονη παραμόρφωση έχει δημιουργηθεί τόσο πιο λεπτόκοκο κράμα δημιουργείται με τη συγκεκριμένη θερμική κατεργασία. Όμως αυτό δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε σώματα με πολύπλοκα σχήματα όπως μια μερική οδοντοστοιχία. Στην περίπτωση της μερικής η επιλογή είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και η απότομη ψύξη και αν δημιουργηθεί χονδρόκοκη δομή, είναι μη αντιστρέψιμη.^{5,6}

- **Ανόπτηση για αποκατάσταση:**

Στην μέθοδο αυτή το κράμα υποβάλλεται σε θέρμανση σε θερμοκρασία μικρότερη από αυτή της ανακρυστάλλωσης. Τα άτομα αλλάζουν θέσεις κοντά στα όρια των κρυστάλλων και καταλαμβάνουν θέσεις χαμηλότερης ενέργειας, με αποτέλεσμα την εξομάλυνση των εσωτερικών τάσεων. Και σε αυτή την περίπτωση αν το κράμα παραμείνει για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα

στην θερμοκρασία αυτής της διαδικασίας, οι κόκκοι του θα μεγαλώσουν και το κράμα θα είναι περισσότερο πλαστικό και λιγότερο σκληρό. Για να αποφευχθεί αυτό, είναι προτιμότερο να αφήσουμε το κράμα σε μικρότερη θερμοκρασία από αυτή της αποκατάστασης για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα.

Η διαφορά αυτής της μεθόδου από την ανόπτηση για ανακρυστάλλωση είναι ως προς τον χρόνο που χρειάζεται για την ολοκλήρωσή τους. Η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση αποτελεί πιο γρήγορη μέθοδο από την ανόπτηση για αποκατάσταση.^{5,6}

- **Ανόπτηση για ομογενοποίηση:**

Η παρουσία συγκεκριμένων στοιχείων σε ένα κράμα μπορεί να συντελέσει στην δημιουργία πολλαπλών πυρήνων κρυστάλλωσης, γνωστοί και ως συγκεντρικές δομές. Για την αποκατάσταση της κανονικής και λεπτόκοκκης υφής του κράματος αυτού χρησιμοποιείται η διαδικασία της ομογενοποίησης του χυτού, η οποία αποσκοπεί στην δημιουργία χημικής ομοιογένειας μέσω της διάχυσης των ατόμων των διάφορων στοιχείων που απαρτίζουν το κράμα.

Μετά τη χύτευση μιας κατασκευής δεν μπορεί συνήθως να ελεγχθεί ο χρόνος ψύξης, με αποτέλεσμα οι κόκκοι των κραμάτων, οι οποίοι αρχικά κατακρημνίζονται όταν η θερμοκρασία κατέβει κάτω από την καμπύλη Liquidus, να έχουν διαφορετική σύσταση από τους κόκκους που υπάρχουν στο τήγμα. Όταν σε αυτό το σημείο το κράμα ψυχθεί απότομα (βούτηγμα σε νερό), δημιουργείται ένα λεπτόκοκκο κράμα, το οποίο όμως εμφανίζει έντονη χημική ανομοιογένεια (μικροδιαφορισμό), επειδή τα άτομα δεν είχαν τον απαραίτητο χρόνο να καταλάβουν τις θέσεις ισορροπίας. Ο μικροδιαφορισμός εξαλείφεται με θέρμανση του κράματος, για ορισμένο χρονικό διάστημα, σε θερμοκρασία κατώτερη από τη θερμοκρασία τήξης.

Η θερμοκρασία της ομογενοποίησης και ο συνολικός χρόνος της διαδικασίας είναι προκαθορισμένα από τον κατασκευαστή του κράματος και βέβαια η θερμοκρασία ομογενοποίησης είναι χαμηλότερη από το θερμοκρασιακό διάστημα τήξης του κράματος. Σε περίπτωση υψηλότερης θερμοκρασίας, προκαλείται επανάτηξη του κράματος και αλλοίωση της ήδη υπάρχουσας κρυσταλλικής δομής με άμεσες αρνητικές επιπτώσεις στην μηχανική συμπεριφορά του κράματος.^{5,6}

- **Σκλήρυνση:**

Τα κράματα κατασκευάζονται ώστε να πληρούν ορισμένες προϋποθέσεις, οι οποίες καθορίζονται από τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης. Όμως, για να επιτευχθεί η καλύτερη αντοχή και σκληρότητα του κράματος κάτω από την επίδραση των μεγάλων φορτίων, πραγματοποιείται η θερμική κατεργασία της σκλήρυνσης κυρίως σε οδοντιατρικά κράματα ευγενών μετάλλων. Οι δυο μέθοδοι σκλήρυνσης είναι οι εξής:

- Η σκλήρυνση εκ κατακρημνίσεως δια γηράνσεως:

Η σκλήρυνση εκ κατακρημνίσεως εφαρμόζεται σε κράματα, στα οποία με την ελάττωση της θερμοκρασίας παρατηρείται ελάττωση του βαθμού διαλυτότητας του ενός στοιχείου στο άλλο, όπως για παράδειγμα στο κράμα Al-Cu, όπου η διαλυτότητα του χαλκού στο αργίλιο ελαττώνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας.

Η αυξημένη σκληρότητα οφείλεται στο ότι κατά την παραμονή του κράματος σε ορισμένη θερμοκρασία ανόπτησης, η φάση-β που εμφανίζει κατακρημνίζεται με την μορφή υπομικροσκοπικών κρυσταλλινών μέσα στη φάση-α. Σε περίπτωση που ο χρόνος θέρμανσης είναι μεγάλος (υπεργήρανση), το αποτέλεσμα είναι μια κατάσταση ισορροπίας με μεγάλους κρυσταλλίτες της β-φάσης, με τα αντίθετα αποτελέσματα. Η βαθύτερη αιτία της σκλήρυνσης του κράματος, δεν είναι μόνο η κατακρήμνιση της β-φάσης, αλλά το γεγονός ότι οι υπομικροσκοπικοί κρυσταλλίτες της παρουσιάζουν τεράστια διασπορά, εμποδίζοντας έτσι τη διακίνηση των διαταραχών της α-φάσης. Σε περίπτωση όμως που οι κρυσταλλίτες της β-φάσης είναι μεγάλοι, δεν παρατηρείται σκλήρυνση, γιατί μεταξύ τους εμφανίζονται μεγάλα κενά. Εκτός από την αυξημένη σκληρότητα, η οποία παρατηρείται ως αποτέλεσμα της κατεργασίας αυτής, προκύπτει, προφανώς και ελάττωση της πλαστικότητας.^{5,6}

- Ο μετασχηματισμός τάξης - αταξίας:

Στα στερεά διαλύματα αντικατάστασης τα άτομα του ενός μετάλλου αντικαθιστούν τα άτομα του άλλου, ακολουθώντας τον νόμο των πιθανοτήτων και τους νόμους της στατικής μηχανικής. Τα στερεά διαλύματα αντικατάστασης έχουν επομένως αδιάτακτη μορφή. Όμως, σε ορισμένα στερεά διαλύματα και σε χαμηλές θερμοκρασίες, τα άτομα του διαλυμένου στοιχείου δεν καταλαμβάνουν θέσεις τυχαίες, αλλά με ορισμένη περιοδικότητα σε σχέση με τις θέσεις των ατόμων του διαλύτη, μετατρέπονται με άλλα λόγια σε διαταγμένα. Έτσι, δημιουργείται υπερπλέγμα μέσα στο πλέγμα

των ατόμων του διαλύτη. Όλα τα υπερπλέγματα έχουν κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα ότι τα άτομα του ενός στοιχείου περιβάλλονται συμμετρικά από άτομα του άλλου στοιχείου. Τα διαταγμένα στερεά διαλύματα παρατηρούνται αρκετά σπάνια και σχηματίζονται μόνο όταν η σύσταση του κράματος είναι τέτοια, ώστε η ατομική αναλογία των στοιχείων να είναι 1:1, 1:2, 1:3, κλπ., για να επιτρέψει την περιοδική επανάληψη των δύο ειδών ατόμων στην κρυσταλλική δομή του κράματος.

Τα κράματα με υπερπλέγμα εμφανίζουν σημαντικές μεταβολές στις φυσικοχημικές τους ιδιότητες όπως αντοχή στη διάβρωση, μεταβολή της θερμικής και ηλεκτρικής τους αντίστασης, αύξηση της σκληρότητας κ.λπ. Ένα τυπικό κράμα με υπερπλέγμα αποτελεί το Au - Cu. Στο διάγραμμα του κράματος αυτού φαίνεται ότι ένα κράμα με 80% χρυσό δίνει στους 704°C αδιάτακτο στερεό διάλυμα. Αν αυτό ψυχθεί απότομα σε νερό, τότε θα διατηρηθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος η κατάσταση που αντιστοιχεί στη θερμοκρασία των 704°C. Αν εν συνεχεία το κράμα θερμανθεί (ανόπτηση) στους 316°C για αρκετό χρονικό διάστημα, ώστε να δημιουργηθεί μέσα στο αδιάτακτο στερεό διάλυμα διαταγμένη μορφή, τότε το κράμα θα σκληρυνθεί, αποκτώντας σκληρότητα μεγαλύτερη από εκείνη που είχε στους 704°C.^{1,5,6}

3. Μηχανικές ιδιότητες

3.1 Γενικά

Οι μηχανικές ιδιότητες αφορούν τις ιδιότητες αυτές, οι οποίες περιγράφουν την κατάσταση του υλικού κάτω από την επίδραση εξωτερικών δυνάμεων, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη εσωτερικών δυνάμεων στα υλικά που ονομάζονται τάσεις. Οι τάσεις αυτές προκαλούν μια αντίστοιχη παραμόρφωση του σώματος, η οποία οφείλεται στη διαταραχή των μεσοατομικών ή μεσομοριακών αποστάσεων των ατόμων ή μορίων, από τα οποία συνίσταται το υλικό. Οι μηχανικές ιδιότητες ενός υλικού εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, συμπεριλαμβανομένου του βαθμού καθαρότητας, της δομής, της θερμοκρασίας, του σχήματος και της επίδρασης χημικών και φυσικών παραγόντων στην καταπόνηση και είναι οι εξής:

- Αντοχή (εφελκυσμός, θλίψη, διάτμηση, κάμψη, στρέψη)
- Δυσθραυστότητα
- Ιδιότητες μορφοποίησης (ολκιμότητα/ψαθυρότητα, ελαστικότητα, εργασιμότητα, δυνατότητα συγκόλλησης)
- Σκληρότητα
- Κόπωση
- Ερπυσμός, Χαλάρωση, Επανάταξη

Όσον αφορά τι τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων, αυτές καθορίζονται συγκεκριμένα από δοκίμια, σύμφωνα με καθιερωμένες προδιαγραφές (ΟΙΝ = Γερμανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης, ISO = Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης, FDI = Διεθνής Οδοντιατρική Ομοσπονδία, ADA = Αμερικάνικη Οδοντιατρική Ομοσπονδία).^{1,5}

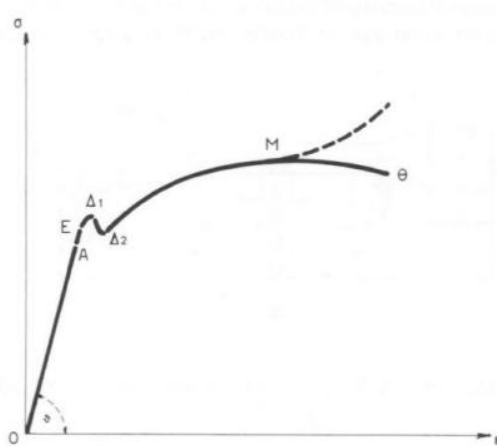
3.2 Διάγραμμα Τάσης Παραμόρφωσης

Για την καλύτερη κατανόηση των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών της οδοντικής προσθετικής δημιουργήθηκαν τα διαγράμματα τάσης-παραμόρφωσης, τα οποία αποτελούν μια ανάλυση της συμπεριφοράς του υλικού κατά τον εφελκυσμό του. Η δοκιμή στον εφελκυσμό αποτελεί τη σημαντικότερη δοκιμή για τη μέτρηση των μηχανικών ιδιοτήτων των μετάλλων, διότι αφορά δοκιμασία που προσεγγίζει τις πραγματικές συνθήκες εντός της στοματικής κοιλότητας.

Στα διαγράμματα του εφελκυσμού (Διάγραμμα Ι) ανεξάρτητα από τις γεωμετρικές διαστάσεις των δοκιμίων, οι άξονες είναι ως εξής:

A) Ο άξονας των τεταγμένων είναι η ονομαστική τάση (nominal stress), δηλαδή ο λόγος της δύναμης προς το εμβαδόν της αρχικής διατομής του δοκιμίου, ώστε να εκφραστεί η μάζα και όχι το σημειακό αντικείμενο.

B) Ο άξονας των τετμημένων είναι η ανηγμένη παραμόρφωση (nominal strain), δηλαδή ο λόγος της επιμήκυνσης Δl του δοκιμίου προς το αρχικό του μήκος, ώστε να εκφραστεί ο χρόνος.



Διάγραμμα Ι: Διάγραμμα τάσης-παραμόρφωσης.¹

Το Διάγραμμα Ι περιγράφει την καμπύλη της τάσης - παραμόρφωσης του μεταλλικού δοκιμίου, στο οποίο ασκούνται δυνάμεις εφελκυσμού μέχρις ότου σπάσει. Αναλυτικά:

OA) Από την αρχή της εφαρμογής της δύναμης, σημείο O, μέχρι το σημείο A, υπάρχει γραμμική μεταβολή. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο A ονομάζεται όριο αναλογίας και στην περιοχή OA ισχύει ο νόμος του Hooke (για μικρές τιμές των εξωτερικών φορτίων, οι αναπτυσσόμενες τάσεις είναι ανάλογες με τις παραμορφώσεις που αυτές προκαλούν $\sigma = E \cdot \epsilon$ όπου $\sigma = \eta$ τάση, $\epsilon = \eta$ παραμόρφωση που προκλήθηκε από την τάση σ και $E =$ συντελεστής που ονομάζεται μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young)

AE) Η περιοχή AE χαρακτηρίζεται ως περιοχή μη γραμμικής ελαστικής συμπεριφοράς, όπου δεν ισχύει πλέον ο νόμος του Hooke. Η τάση που αντιστοιχεί στο σημείο E, ονομάζεται όριο

ελαστικότητας του υλικού και είναι η μεγαλύτερη τάση που μπορεί να δεχτεί ένα υλικό, χωρίς να υποστεί μόνιμη παραμόρφωση.

Σε αυτό το σημείο πρέπει να αναφερθεί πως δεν υπάρχει συσχέτιση μεταξύ ορίου ελαστικότητας και μέτρου ελαστικότητας. Το μέτρο ελαστικότητας ή μέτρο του Young (E), εκφράζει την αντίσταση των διαφόρων υλικών μέσα στην ελαστική περιοχή και εξαρτάται από τη σύνθεση και τη δομή του υλικού όχι από κατεργασίες. Όταν έχουμε υψηλό μέτρο ελαστικότητας, έχουμε και μεγάλη αντίσταση του υλικού προς την ελαστική παραμόρφωση (δυσκαμψία). Η ελαστική συμπεριφορά αποτελεί βασική ιδιότητα των υλικών και για την ιδιότητα αυτή υπεύθυνες είναι οι μεσοατομικές ή μεσομοριακές δυνάμεις του υλικού. Από την άλλη, το όριο ελαστικότητας είναι η τάση, πέρα από την οποία το υλικό παύει να εμφανίζει μόνον ελαστική παραμόρφωση και αρχίζει να εμφανίζει και μόνιμη, πλαστική παραμόρφωση. Δηλαδή, όσο μεγαλύτερες είναι οι δυνάμεις έλξης, τόσο υψηλότερη είναι η τιμή του μέτρου ελαστικότητας και όσο ασθενέστερες οι δυνάμεις έλξης, τόσο χαμηλότερη η τιμή του μέτρου ελαστικότητας. Το μέτρο του Young λαμβάνεται υπ' όψη κατά την επιλογή του κράματος, ανάλογα με το σκοπό, για τον οποίο αυτό προορίζεται. Για παράδειγμα, σε περιπτώσεις μερικών οδοντοστοιχιών, που πρέπει να αφαιρούνται και να επανατοποθετούνται συχνά, αν θέλουμε να αποφύγουμε βλάβη των δοντιών και του περιοδοντίου, πρέπει να χρησιμοποιούμε άγκιστρα με σχετικά χαμηλό μέτρο του Young, ώστε για σχετικά μικρή τάση, να έχουμε ικανοποιητική ελαστική παραμόρφωση, η οποία θα επιτρέπει στα άγκιστρα να περνούν από τη μέγιστη περίμετρο των δοντιών στήριξης, χωρίς να τα επιβαρύνουν. Έτσι, σε παθήσεις του περιοδοντίου και σε δόντια με έντονα ανατομική μύλη, τα πιο κατάλληλα κράματα για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών, είναι τα κράματα χρυσοπλατίνας, τα οποία διαθέτουν μέτρο ελαστικότητας μικρότερο από τα κράματα κοβαλτίου - χρωμίου, από τα οποία κατασκευάζονται συνήθως οι μερικές οδοντοστοιχίες.

ΕΔ1 - Δ1Δ2) Η περιοχή αυτή εκφράζει το φαινόμενο της διαρροής που εμφανίζουν ορισμένα υλικά, δηλαδή παρατηρείται αύξηση της παραμόρφωσης χωρίς αντίστοιχη σημαντική αύξηση της τάσης. Επίσης σε αρκετά υλικά παρατηρούνται δυο όρια διαρροής (άνω και κάτω), τα οποία οφείλονται σε ανομοιογενείς διατμητικές παραμορφώσεις στο εσωτερικό του σώματος.

Δ2Μ) Η περιοχή αυτή ονομάζεται περιοχή κράτυνσης και παρατηρείται μια μικρή σχετικά αύξηση της τάσης, με αντίστοιχη μεγάλη αύξηση της παραμόρφωσης έως την μέγιστη ονομαστική τάση που αντιστοιχεί στο σημείο Μ (μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό)

ΜΘ) Η τιμή του φορτίου ελαττώνεται από το σημείο Μ μέχρι του σημείου Θ, όπου επέρχεται η θραύση του δοκιμίου.

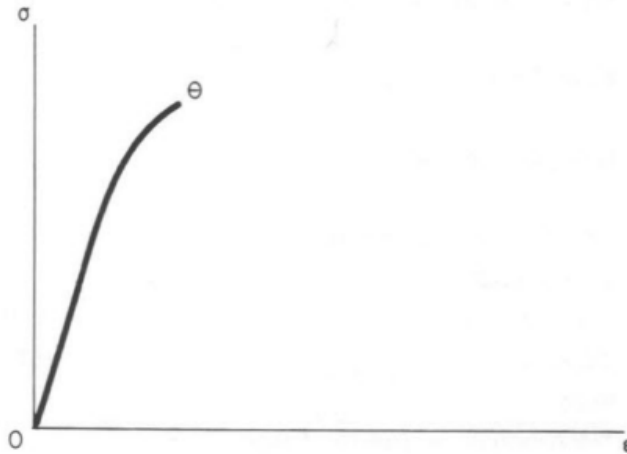
Σύμφωνα με όλα τα παραπάνω, γίνεται αντιληπτό πως τα σημεία του διαγράμματος εφελκυσμού χαρακτηρίζουν τη μηχανική κατάσταση του δοκιμίου σε κάθε χρονική στιγμή και έτσι το συνολικό διάγραμμα μας δείχνει τη σχέση που συνδέει την τάση με την παραμόρφωση σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Με αυτό τον τρόπο σε εργαστηριακό και κλινικό επίπεδο διευκολύνεται η επιλογή των κατάλληλων υλικών, προβλέπεται η συμπεριφορά τους εντός της στοματικής κοιλότητας και σε τυχόν προβλήματα, δίνεται η αντίστοιχη ερμηνεία για την αποφυγή τους σε επόμενη προσθετική αποκατάσταση.^{1,5,7}

3.3 Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων

Ύστερα από την κατανόηση του διαγράμματος τάσης - παραμόρφωσης, οι μηχανικές ιδιότητες μπορούν να εξεταστούν εκτενώς. Συγκεκριμένα:

- **Ολκιμότητα και Ψαθυρότητα:**

Αποτελούν δυο αντίθετες έννοιες μεταξύ τους. Η ολκιμότητα εκφράζει την ικανότητα του υλικού να διαρρέει και να παρουσιάζει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις κατά τη θραύση του και Η ψαθυρότητα αποτελεί την ικανότητα του υλικού να μην παρουσιάζει μεγάλες πλαστικές παραμορφώσεις κατά τη θραύση. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την εκδήλωση της ολκιμης ή της ψαθυρης συμπεριφοράς είναι η ταχύτητα επιβολής της τάσης ή της παραμόρφωσης και η θερμοκρασία. Να σημειωθεί πως το διάγραμμα εφελκυσμού των ψαθυρών υλικών δεν παρουσιάζει σημείο διαρροής, ούτε περιοχή κράτυνσης (Εικόνα 6).



Εικόνα 6: Διάγραμμα εφελυσμού ψαθυρού υλικού.¹

- **Αντοχή σε Εφελκυσμό, Θλίψη, Διάτμηση, Κάμψη και Στρέψη:**

Η αντοχή κάθε υλικού σε αυτές τις καταπονήσεις μελετάται σε δοκίμια με την βοήθεια των διαγραμμάτων τάσης-παραμόρφωσης. Είναι αξιοσημείωτο πως αν συγκρίνουμε τη μέγιστη αντοχή σε εφελκυσμό, με την αντίστοιχη μέγιστη αντοχή σε θλίψη των ψαθυρών υλικών, θα δούμε ότι αυτή είναι μεγαλύτερη κατά τη θλίψη και ένα μέτρο σύγκρισης τους είναι ο λόγος τους (τάξης 0,2 έως 0,4). Επειδή τα όλκιμα υλικά σπάνια οδηγούνται σε θραύση κατά τη δοκιμή της θλίψης, ένα μέτρο σύγκρισης της αντοχής τους σε εφελκυσμό, με την αντοχή τους σε θλίψη, είναι ο λόγος των τάσεων διαρροής στις δύο αντίστοιχες καταπονήσεις, με τα δύο όρια διαρροής να είναι σχεδόν ίσα μεταξύ τους.

- **Δυσθραυστότητα:**

Είναι η αντίσταση του υλικού στην διάδοση μιας ρωγμής. Η ύπαρξη μιας ρωγμής δεν είναι από μόνη της αρκετή να οδηγήσει το υλικό σε θραύση. Εφόσον το υλικό υπό τάση είναι δύσθραυστο, μια μικρή ρωγμή δεν αλλάζει την συμπεριφορά του. Αντίθετα, σε υλικό χαμηλής δυσθραυστότητας μια ρωγμή που φορτίζεται θα διαδοθεί απότομα και το υλικό θα υποστεί θραύση για τάσεις πολύ χαμηλότερες του ορίου διαρροής του. Αντιστοίχως, μελετάται με την διαμόρφωση διαγραμμάτων.

- **Σκληρότητα:**

Είναι η επιφανειακή αντίσταση που προβάλλει το υλικό, στη διείδυση ενός άλλου σκληρότερου σώματος μέσα σ' αυτό και εξαρτάται από τις ιδιότητες του υλικού του δοκιμίου, τη μορφή και το

υλικό που διεισδύει. Οι δοκιμές σκληρότητας είναι οι στατικές (μέθοδοι Vickers, Brinell, Rockwell και Knoop) και οι δυναμικές (μέθοδος Shore). Επιπλέον υπάρχει και η μέθοδος Mohs, που βασίζεται στη χάραξη του μαλακότερου υλικού από το σκληρότερο. Στην καθημερινή οδοντιατρική πράξη κατά την επιλογή των επανορθωτικών υλικών για προσθετικές αποκαταστάσεις, θα πρέπει να γνωρίζουμε τη σκληρότητά τους, για να αποφύγουμε αποτριβή της αδαμαντίνης ή άλλης αποκατάστασης, όταν αυτά έρχονται σε επαφή μεταξύ τους κατά τη μάσηση. Επομένως, η ιδιότητα αυτή διευκολύνει την σύγκριση των υλικών αποκατατάστασης στην τρέχουσα κλινική πράξη.

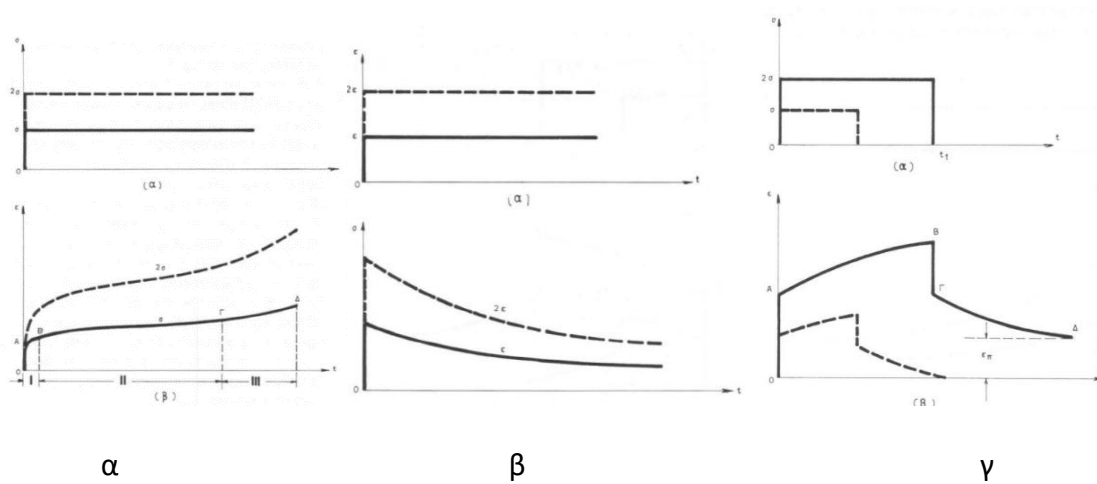
- **Κόπωση:**

Η εναλλασσόμενη περιοδικά τάση, η οποία για καθορισμένη τιμή τάσης και καθορισμένους κύκλους εναλλαγών δεν προκαλεί θραύση, αποτελεί την αντοχή στην κόπωση ενός υλικού. Η τιμή της αντοχής κόπωσης, που παίρνουμε σε αυτή την ορισμένη μέση τιμή τάσεων, μέχρι την οποία δεν εμφανίζεται καμιά μείωση της αντοχής του υλικού, για κάθε αύξηση των εναλλαγών της φόρτισης, ονομάζεται όριο κόπωσης και βρίσκεται κάτω από το όριο ελαστικότητας του υλικού. Η θραύση από κόπωση ξεκινά από μικροσκοπικές ρωγμές που σχηματίζονται ή που ήδη υπάρχουν στην επιφάνεια και διαδίδονται μέσα στους κρυστάλλους ή και γύρω από τα όριά τους (συγκέντρωση τάσεων).

- **Ερπυσμός, Χαλάρωση, Επανάταξη:**

Ερπυσμός είναι η μεταβολή της παραμόρφωσης ενός σώματος σε συνάρτηση με τον χρόνο, όταν πάνω σε αυτό εφαρμόζεται σταθερή τάση υπό σταθερή θερμοκρασία (Εικόνα 7). Ο ερπυσμός γίνεται πιο έντονος, όταν το σταθερό φορτίο που επιβάλλουμε είναι μεγαλύτερο ή όταν η σταθερή θερμοκρασία, στην οποία πραγματοποιείται το πείραμα του ερπυσμού είναι μεγαλύτερη. Στο πείραμα της χαλάρωσης, προκαλούμε ακαριαία παραμόρφωση στο δοκίμιο, την οποία διατηρούμε σταθερή σε όλη τη διάρκεια του πειράματος. Σε αυτή την δοκιμή, η τάση συνεχώς μικραίνει με το χρόνο, ενώ ταυτόχρονα μικραίνει και ο ρυθμός ελάττωσης της τάσης. Ο ρυθμός μεταβολής της τάσης είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και του χρόνου. Και τέλος, η επανάταξη συμβαίνει κατά την ακαριαία αποφόρτιση ενός δοκιμίου, που προηγουμένως βρισκόταν σε κατάσταση ερπυσμού ή χαλάρωσης. Στην περίπτωση ενός δοκιμίου που βρίσκεται κάτω από την επίδραση σταθερής τάσης και κάποια χρονική στιγμή αφαιρείται η τάση, εκείνο που θα παρατηρήσουμε στο αντίστοιχο διάγραμμα παραμόρφωσης - χρόνου είναι μια κατ' αρχήν

απότομη μείωση της παραμόρφωσης, που όμως δε μηδενίζεται και στη συνέχεια μια βαθμιαία ελάττωσή της με συνεχώς μειούμενο ρυθμό.^{1,7,8,9}



Εικόνα 7: Καμπύλη α) ερπυσμού, β) χαλάρωσης, γ) επανάταξης.¹

4. Μηχανικές ιδιότητες οδοντιατρικών κραμάτων

Τα οδοντιατρικά κράματα αναλόγως την σύνθεση αλλά και την περιεκτικότητά τους σε μέταλλα διαθέτουν και διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες στην τελική οδοντική αποκατάσταση. Οι προδιαγραφές ADA (Αμερικάνικη Οδοντιατρική Ομοσπονδία), ISO (Διεθνής Οργανισμός Τυποποίησης), DIN (Γερμανικό Ινστιτούτο Τυποποίησης), FDI (Διεθνής Οδοντιατρική Ομοσπονδία), καθορίστηκαν προκειμένου να προσδιορίσουν αυτές τις χαρακτηριστικές ιδιότητες κάθε κράματος, ώστε να χρησιμοποιηθεί το κατάλληλο κράμα για τα διάφορα είδη προσθετικών εργασιών. Γενικά οι μηχανικές ιδιότητες, όπως η αντοχή στον εφελκυσμό καθώς και η μήκυνση, βελτιώνονται σημαντικά (έως 30%) με τη λεπτόκοκκη δομή των κραμάτων. Αντίθετα, άλλες ιδιότητες, όπως η σκληρότητα ή το όριο διαρροής, ελάχιστα επηρεάζονται από το μέγεθος των κόκκων. Στην συνέχεια θα γίνει αναφορά των μηχανικών ιδιοτήτων των υλικών με βάση την επικρατούσα κατάταξη των κραμάτων:

A) Κράματα μεγάλης περιεκτικότητας σε χρυσό:

Σύμφωνα με την προδιαγραφή Νο5 της Αμερικάνικης Οδοντιατρικής Ομοσπονδίας (A.D.A.), τα κράματα αυτής της κατηγορίας κατατάσσονται σε τέσσερις τύπους. Η κατάταξη γίνεται σύμφωνα με την σκληρότητα τους, η οποία επηρεάζεται από την περιεκτικότητα σε διάφορα μέταλλα (Πίνακας II). Οι τέσσερις τύποι είναι οι εξής:

- ❖ Τύπος I: μαλακά κράματα (50 - 90 Vickers)
- ❖ Τύπος II: κράματα μέσης σκληρότητας (90 - 120 Vickers)
- ❖ Τύπος III: σκληρά κράματα (120 - 160 Vickers)
- ❖ Τύπος IV: πολύ σκληρά κράματα (150 - 250 Vickers)

Τύπος Κράματος	Χρυσός	Άργυρος	Χαλκός	Παλλάδιο	Πλατίνα	Ψευδάργυρος
I	80,2-95,8	2,4-12,0	1,6-6,2	0,0-3,6	0,0-1,0	0,0-1,2
II	73,0-83,0	6,9-14,6	5,8-10,5	0,0-5,6	0,0-4,2	0,0-1,4
III	71,0-79,8	5,2-13,4	7,1-12,6	0,0-6,5	0,0-7,5	0,0-2,0
IV	62,4-71,9	8,0-17,4	8,6-15,4	0,0-10,1	0,2-8,2	0,0-2,7

Πίνακας II: Διακυμάνσεις σε σύσταση και σε μηχανικές ιδιότητες χρυσοκραμάτων τύπου I - IV.¹

Από την περιεκτικότητα των κραμάτων αυτών στα επιμέρους μέταλλα συμπεραίνονται τα εξής:

- Υπάρχει προοδευτική ελάττωση της περιεκτικότητας σε χρυσό και αντίστοιχη αύξηση του χαλκού από τα κράματα τύπου I στα τύπου IV.
- Στα κράματα τύπου IV παρατηρείται αύξηση της περιεκτικότητας σε ψευδάργυρο.
- Στα τύπου I σπάνια προστίθεται πλατίνα ενώ και στους 4 τύπους προστίθενται πάντα μια μικρή ποσότητα παλλαδίου. Γενικά, στα κίτρινα κράματα χρυσού σύμφωνα με τις προδιαγραφές της ADA No 5, υπάρχουν ποσότητες πλατίνας και παλλαδίου κάτω από 5 ή 6% κ.β.
- Η περιεκτικότητα των κραμάτων σε ευγενή μέταλλα κυμαίνεται από 75% έως 80% περίπου κ.β. Τα κράματα με τέτοια περιεκτικότητα σε ευγενή μέταλλα δεν αλλάζουν χρώμα στο στοματικό περιβάλλον, αρκεί να έχουν χυτευθεί στην κατάλληλη θερμοκρασία.

Ως προς τις μηχανικές ιδιότητες των τύπων αυτών των κραμάτων χρυσού, η αντοχή στον εφελκυσμό και η εκατοστιαία μήκυνση, βελτιώνονται σημαντικά (έως 30%) με τη λεπτόκοκκη δομή των κραμάτων, ενώ άλλες ιδιότητες, όπως η σκληρότητα ή το όριο διαρροής, ελάχιστα επηρεάζονται από το μέγεθος των κόκκων (Πίνακας III). Οι μηχανικές ιδιότητες που βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς του κράματος είναι το όριο διαρροής, η αντοχή στον εφελκυσμό, η εκατοστιαία μήκυνση και η σκληρότητα (Πίνακας III). Αυτές οι τέσσερις ιδιότητες είναι κατάλληλες να προσδιορίσουν τις διαφορές μεταξύ των διαφόρων κραμάτων για χυτές αποκαταστάσεις αλλά και τις διαφορές που παρουσιάζει το ίδιο κράμα, μετά από διαφορετικές κατεργασίες. Αυτό οφείλεται στην σύσταση των τεσσάρων τύπων κραμάτων και συγκεκριμένα στην αναλογία χρυσού/χαλκού, η οποία μόνο στους τύπους III και IV είναι κατάλληλη για τη δημιουργία της διατεταγμένης δομής, που είναι απαραίτητη για τη σκλήρυνση των κραμάτων χρυσού.

Τύπος	VHN		Αντοχή σε εφελκυσμό			
			min	Μήκυνση		
	Απότομη ψύξη		Μετά σκλήρυνση	Μετά σκλήρυνση	Απότομη ψύξη	Μετά σκλήρυνση
	Min	Max	Min		min (%)	min (%)
I	50	90	-	-	18	-
II	90	120	-	-	12	-
III	120	150	-	-	12	-
IV	150	-	220	623	10	

Πίνακας III: Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων χρυσού για χυτές αποκαταστάσεις.¹

Από τον παραπάνω πίνακα συμπεραίνονται τα εξής:

- Παράλληλα με την αύξηση της σκληρότητας από τον τύπο I προς τον τύπο IV, αυξάνει και το όριο διαρροής και η αντοχή στον εφελκυσμό, ωστόσο η μύκνση ελαττώνεται.
- Η σκληρότητα άνω του 120 VHN αλλάζει τις ιδιότητες του κράματος ύστερα από θερμική κατεργασία ενώ στα κράματα με σκληρότητα κάτω του 120 VHN δεν υπάρχει σημαντική σκλήρυνση. Αυτό οφείλεται στην σύσταση των 4 τύπων κραμάτων και, ειδικότερα σε αυτά με την αναλογία χρυσού/χαλκού (τύποι III και IV) στα οποία η σύσταση είναι κατάλληλη για τη δημιουργία της διατεταγμένης δομής που είναι απαραίτητη για τη σκλήρυνση των κραμάτων χρυσού.^{1,5,9,10}

B) Κράματα με μειωμένη περιεκτικότητα σε χρυσό:

Τα κράματα αυτής της κατηγορίας περιέχουν χρυσό περίπου στο 50%, παλλάδιο σε ποσοστό 10-15%, συγγενή μέταλλα της οικογένειας της πλατίνας σε μικρότερο ποσοστό από το παλλάδιο και άργυρο, χαλκό και άλλα μη ευγενή μέταλλα. Συγκεκριμένα, το παλλάδιο εξασφαλίζει αντίσταση απέναντι στη διάβρωση από τα στοματικά υγρά, σταθερότητα χρώματος και η μεγάλη περιεκτικότητα του αυξάνει τη θερμοκρασία τήξης του κράματος κάνοντας το χρώμα του να πλησιάζει εκείνο του αργύρου. Η προσθήκη χαλκού και άλλων στοιχείων κάνει πιο ανθεκτικά τα

κράματα αυτά στη σκλήρυνση με κατακρήμνιση και η προσθήκη, σε μικρό ποσοστό, κασσίτερου, ψευδάργυρου και ινδίου χαμηλώνει το θερμοκρασιακό διάστημα τήξης τους. Τα κράματα αυτής της κατηγορίας κατατάσσονται στα πολύ σκληρά κράματα (VHN 180 μέχρι 300) και χρησιμοποιούνται για στεφάνες, γέφυρες, δοκούς και φρεζαριστές εργασίες. Τέλος, λειαινούνται και στιλβώνονται καλά, διότι έχουν μεγάλη εκατοστιαία μήκυνση τόσο σε μαλακή κατάσταση (μετά από θερμική κατεργασία), όσο και σε σκληρυμένη.^{1,5,9,11}

Γ) Κράματα αργύρου - παλλαδίου:

Τα οδοντιατρικά κράματα της κατηγορίας αυτής περιέχουν σαν βασικά στοιχεία άργυρο, περίπου 65%, παλλάδιο 20-25% και πιο σπάνια χρυσό από 1 έως 10% και μη ευγενή μέταλλα όπως χαλκός, ψευδάργυρος και δευτερευόντως κασσίτερος, κοβάλτιο και νικέλιο. Μερικά από τα κράματα αργύρου - παλλαδίου περιέχουν επίσης πλατίνα σε μικρή ποσότητα (έως 5%), ώστε να είναι πιο λεπτόκοκκα, σκληρότερα, ανθεκτικότερα και ελαστικότερα. Το παλλάδιο είναι το στοιχείο που για άλλη μια φορά παρέχει στο κράμα ανθεκτικότητα στη διάβρωση. Ο χρυσός κάνει το κράμα πιο ευκατέργαστο και επιτρέπει ταυτόχρονα την προσθήκη μη πολύτιμων μετάλλων σε μεγαλύτερη αναλογία απ' ό,τι στα σκέτα κράματα αργύρου - παλλαδίου. Τέλος, τα μη ευγενή μέταλλα προστίθενται για να βελτιώνουν τις μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων. Έτσι, χαμηλώνουν τη θερμοκρασία τήξης τους, τα κάνουν πιο λεπτόρρευστα και κυρίως τους προσδίδουν σκληρότητα μετά από τις θερμικές κατεργασίες.

Συγκεκριμένα, οι μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αργύρου - παλλαδίου είναι οι ακόλουθες. Έχουν:

- Θερμοκρασιακό διάστημα τήξης 940 - 1240°C, θερμοκρασιακό διάστημα τήξης των κολλήσεων 740 - 950°C
- Σκληρότητα Brinell 50 -150 και για τα σκληρυμένα έως 260.
- Όριο διαρροής 90 - 480 MN/m² και για τα σκληρυμένα έως 900 MN/m²
- Εκατοστιαία μήκυνση 42-24%, σκληρυμένα έως 6%.

Επιπλέον, ως προς τις μηχανικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα κράματα χρυσού, έχουν υψηλότερη θερμοκρασία τήξης, είναι γενικά σκληρότερα και έχουν μικρό ποσοστό εκατοστιαίας μήκυνση.

Τέλος, από τις μέχρι τώρα έρευνες σχετικά με τη συμπεριφορά τους στο στόμα, τα κράματα αργύρου - παλλαδίου τοποθετούνται, από πλευράς αντοχής στη διάβρωση, στην τελευταία θέση απ' όλα τα είδη κραμάτων. Ακόμα η εργαστηριακή επεξεργασία των κραμάτων αυτών, απαιτεί μεγαλύτερη προσοχή, απ' ότι εκείνη των κραμάτων μεγάλης περιεκτικότητας ή μειωμένης περιεκτικότητας σε χρυσό. Έτσι, η χρησιμοποίηση κραμάτων Ag – Pd έχει περιοριστεί στην τρέχουσα εργαστηριακή πράξη.^{1,5}

Δ) Κράματα παλλαδίου - αργύρου:

Τα κράματα αυτά περιέχουν παλλάδιο πάνω από 50%, χρυσό ή άργυρο και άλλα μέταλλα όπως χαλκό, σίδηρο, ιρίδιο, ρήνιο, κασσίτερο και ψευδάργυρο, σε αναλογία που δεν υπερβαίνει το 8-10%. Ως προς τις μηχανικές ιδιότητες, τα κράματα Pd χωρίς Ag δεν εμφανίζουν το μειονέκτημα του χρωματισμού της πορσελάνης (κιτρινοπράσινο χρώμα), εμφανίζουν όμως θερμοκρασιακό διάστημα τήξης υψηλότερο απ' όλα τα κράματα ευγενών μετάλλων και δεσμεύουν εύκολα άνθρακα (το λειώσιμο γίνεται σε χοάνες από γραφίτη) αυξάνοντας έτσι την ψαθυρότητα του κράματος και τον κίνδυνο δημιουργίας φυσαλίδων μέσα στην κεραμική μάζα των μεταλλοκεραμικών εργασιών.^{1,9}

Ε) Κράματα μη ευγενών μετάλλων:

Τα κράματα αυτά χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μεταλλοακρυλικών και μεταλλοκεραμικών εργασιών καθώς και για μερικές οδοντοστοιχίες. Αναλόγως με την εργασία επιλέγεται και το αντίστοιχο κράμα αυτής της κατηγορίας:

❖ Κράματα μη ευγενών μετάλλων για μεταλλοακρυλικές εργασίες:

Αυτά περιέχουν νικέλιο σε ποσοστό 68- 81%, και χρώμιο σε ποσοστό 13 - 27%. Αξίζει να σημειωθεί πως περιέχουν περισσότερο νικέλιο παρά κοβάλτιο, σε αντίθεση με τα κράματα των μερικών οδοντοστοιχιών γιατί το νικέλιο έχει θερμικό συντελεστή πλησιέστερο προς εκείνον των κραμάτων χρυσού και δίνει κράματα μαλακότερα από τα κράματα κοβαλτίου. Όσον αφορά τις μηχανικές ιδιότητες συγκριτικά με τα σκληρά κράματα χρυσού-πλατίνας, έχουν διπλάσια περίπου τιμή

μέτρου ελαστικότητας και ορίου διαρροής, μεγαλύτερο όριο θραύσης στον εφελκυσμό, μεγαλύτερη σκληρότητα και μικρότερη ολκιμότητα.

❖ Κράματα μη ευγενών μετάλλων για μεταλλοκεραμικές εργασίες:

Αυτά περιέχουν μεγάλη ποσότητα νικελίου (περίπου 70% κατά βάρος), χρώμιο (15-20% κατά βάρος), μολυβδαίνιο, μαγγάνιο, αλουμίνιο, πυρίτιο και άλλα στοιχεία. Ακολουθεί πίνακας όπου αναγράφονται αναλυτικά οι μηχανικές ιδιότητες των κραμάτων αυτής της κατηγορίας.

Μηχανικές Ιδιότητες	Τιμές
Σκληρότητα (Vickers)	270-380
Όριο διαρροής (0,2%)	440-790 N/mm ²
Αντοχή στον εφελκυσμό	710-885 N/mm ²
Μέτρο ελαστικότητας	186.900-215.000 N/mm ²
Συντελεστής θερμικής διαστολής	14,3-14,5*10 ⁻⁶ /C

Πίνακας IV: Μηχανικές ιδιότητες κραμάτων μη ευγενών μετάλλων για μεταλλοκεραμική.¹

❖ Κράματα μη ευγενών μετάλλων για μερικές οδοντοστοιχίες:

Αυτά έχουν ως κύρια στοιχεία το κοβάλτιο (Co), το χρώμιο (Cr) και το νικέλιο (Ni), τα οποία αθροιζόμενα φτάνουν το 90% κ.β., ενώ το υπόλοιπο ποσοστό συμπληρώνουν διάφορα στοιχεία όπως Fe, Mo, Be, C. κ.λπ. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της A.D.A No 14, τα κράματα αυτά πρέπει να έχουν χρώμιο πάνω από 85% και νικέλιο ή κοβάλτιο. Σε περίπτωση που τα τρία αυτά στοιχεία αθροιζόμενα είναι κάτω από 85%, το κράμα θα πρέπει οπωσδήποτε να περιέχει τουλάχιστον χρώμιο 20%. Η προσθήκη χρωμίου σε ποσοστό πάνω από 30% δυσκολεύει την χύτευση του κράματος και παράλληλα το κάνει ψαθυρό, λόγω της δημιουργίας ψαθυρή φάσης. Το κοβάλτιο αυξάνει το μέτρο ελαστικότητας, την αντοχή σε εφελκυσμό και τη σκληρότητα περισσότερο από το νικέλιο, το οποίο πολλές φορές αντικαθιστά.^{1,10}

ΣΤ) Τιτάνιο:

Το μέταλλο αυτό χρησιμοποιείται είτε μόνο του σε οδοντικές αποκαταστάσεις είτε ως κράμα παραμένοντας σε υψηλά ποσοστά (99%). Εκτός από τα μεγάλα πλεονεκτήματα του όπως το μικρό ειδικό βάρος, η ακτινοδιαπερατότητα, η ιδιαίτερα μικρή θερμική αγωγιμότητα του, διαθέτει και

ιδιαίτερα καλές μηχανικές ιδιότητες. Η μεγάλη αντοχή του στη διάβρωση, ακόμα και σε έντονα διαβρωτικό περιβάλλον και η συνακόλουθη εξαιρετική βιοσυμβατότητα του αλλά και η σχετικά υψηλή αντοχή, η οποία αυξάνεται ακόμα περισσότερο στα κράματα τιτανίου, είναι χαρακτηριστικές για αυτό το μέταλλο.^{1,5,10,11}

5. Υλικά χρήσης κατά την κατασκευή αποκαταστάσεων από κράμα κέραμα

Στην κατασκευή προσθετικών αποκαταστάσεων από κράμα με την κλασική μέθοδο της χύτευσης συμμετέχουν διάφορα υλικά στα διαφορετικά εργαστηριακά στάδια. Η κλασική μέθοδος της χύτευσης ξεκινά με το κέρωμα του ομοιώματος της υπό κατασκευή πρόσθεσης πάνω στο εκμαγείο εργασίας, που έχει κατασκευαστεί από γύψο με την βοήθεια του αποτυπώματος που έχει δοθεί από τον αρμόδιο οδοντίατρο. Στην συνέχεια, η εργασία τοποθετείται σε δακτύλιο όπου επενδύεται με πυρόχωμα, ώστε να διαμορφωθεί ένα καλούπι και ακολουθεί η εξάχνωση των κέρινων στοιχείων με την κατάλληλη διαδικασία (τεχνική "lost wax"). Ύστερα από την πλήρη αποκήρωση, ο δακτύλιος προθερμαίνεται για να υποδεχθεί το λιωμένο κράμα και το τήγμα εισχωρεί εντός του πυροχωμάτινου δακτυλίου. Επομένως για την κλασική αυτή τεχνική της χύτευσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται εκτός από το κράμα εκλογής είναι η γύψος για την κατασκευή των εκμαγείων εργασίας, τα κεριά για την κατασκευή του ομοιώματος της πρόσθεσης και τα πυροχώματα για την κατασκευή, στο οποίο θα εισχωρήσει το λιωμένο κράμα.^{1,5,10,11}

5.1 Γύψος

Η διαδικασία κατασκευής προσθετικών αποκαταστάσεων από κράμα ξεκινά με την διαμόρφωση ενός εκμαγείου εργασίας, πάνω στο οποίο θα κατασκευαστεί η πρόσθεση. Τα υλικά των εκμαγείων είναι οι οδοντιατρικές γύψοι, οι οποίες είναι η κοινή γύψος, η σκληρή και η υπέρσκληρη. Η σταθερότητα του όγκου των γύψινων εκμαγείων αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες απαιτήσεις για την κατασκευή οδοντιατρικών εργασιών ακριβείας. Το υλικό δεν πρέπει να εμφανίζει ούτε διαστολή, ούτε συστολή κατά την επεξεργασία, την κρυστάλλωση και τη σκλήρυνση του. Επίσης, απαιτείται πολύ καλή ρευστότητα στην πλαστική φάση, ικανοποιητικός χρόνος πήξης και ακρίβεια στην απόδοση των λεπτομερειών. Ακόμα, το υλικό πρέπει να μην υφίσταται δυσμενείς επιδράσεις από την επαφή με τα αποτυπωτικά υλικά και να δίνει λεία και χωρίς πόρους επιφάνεια μετά από την πήξη του. Η σκληρότητα και η αντοχή της γύψου στην κάμψη πρέπει να εμφανίζονται ικανοποιητικές κατά τις διάφορες οδοντιατρικές εργασίες. Όλες αυτές οι απαιτήσεις αποσκοπούν στην κατασκευή ενός εκμαγείου που θα έχει την απαραίτητη

αντοχή, ώστε να κατασκευαστεί μια καλών μηχανικών προδιαγραφών εργασία, εφόσον αποτελεί την θετική αναπαράσταση του στόματος του ασθενούς, όπου θα τοποθετηθεί η εργασία και θα υποστεί τις καταπονήσεις του στοματικού περιβάλλοντος.^{1,5}

5.2 Κεριά

Τα κεριά χρησιμοποιούνται για την διαμόρφωση του ομοιώματος της αποκατάστασης. Οι βασικές ιδιότητες των κεριών είναι ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αρτιότητα της τελικής αποκατάστασης. Το θερμοκρασιακό διάστημα τήξης, η ρευστότητα, η θερμική διαστολή, η πλαστικότητα/ελαστικότητα, η διαβροχή και η στρέβλωση είναι σημεία που πρέπει να ληφθούν σοβαρά από τον οδοντικό τεχνολόγο. Συγκεκριμένα:

➤ **Θερμοκρασιακό διάστημα τήξης:**

Το κεριό ως στερεό διαστέλλεται όταν θερμαίνεται και συστέλλεται όταν ψύχεται. Σε σύγκριση με άλλα οδοντιατρικά υλικά, τα κεριά έχουν την εντονότερη θερμική αντίδραση και ο συντελεστής θερμικής διαστολής τους είναι αισθητά υψηλότερος, με αποτέλεσμα οι αλλαγές θερμοκρασίας στα κέρινα πρότυπα να επηρεάζουν σημαντικά την ακρίβεια της κατασκευής. Οι διάφοροι τύποι οδοντιατρικών κεριών εμφανίζουν, τόσο στη στερεή όσο και στην υγρή κατάσταση, διαφορετικό βαθμό διαστολής, η οποία αυξάνεται όσο η θερμοκρασία πλησιάζει στο σημείο τήξης κάθε κεριού. Ακόμα, ο βαθμός της θερμικής διαστολής ενός κεριού επηρεάζεται και από τις συνθήκες της εργαστηριακής κατεργασίας, που έχει υποστεί.

➤ **Ρευστότητα:**

Η έννοια της ρευστότητας συνδέεται με το κεριό σε ρευστή κατάσταση και είναι ταυτόσημη με τη γλοιότητα, εκφράζοντας τη δύναμη της εσωτερικής τριβής των μορίων του κατά την μεταξύ τους κίνηση. Η ρευστότητα ή η πλαστικότητα των κεριών εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την δύναμη και το χρόνο που αυτή ασκείται καθώς και από το είδος του κεριού.

➤ **Διαβροχή:**

Η διαβροχή είναι η ικανότητα εξάπλωσης ενός υγρού στην επιφάνεια ενός στερεού σώματος και οφείλεται στην έλξη των μορίων του υγρού από τα μόρια του στερεού. Όταν οι δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων της επιφάνειας του στερεού και των μορίων μιας σταγόνας υγρού είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνοχής των μορίων του υγρού, υπάρχει διαβροχή της

επιφάνειας. Σε εφαρμογή στην οδοντοτεχνική κατά την επένδυση με πυρόχωμα το κερύ των εργασιών δεν διαβρέχεται εύκολα, γιατί η επιφάνεια του κεριού δε διαβρέχεται εύκολα από υδατικά διαλύματα. Έτσι, προκαλούνται ατέλειες στην επιφάνεια του χυτού, οι οποίες εκδηλώνονται ως προεξοχές και με το χυτό να έχει κοκκώδη και όχι λεία επιφάνεια. Για να καταπολεμηθεί αυτό το φαινόμενο, πρέπει η επιφάνεια των ομοιωμάτων του κεριού να επαλειφθεί με κάποια ουσία, η οποία θα αυξήσει την επιφανειακή ενέργεια του κεριού. Οι ουσίες, οι οποίες χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την επιφανειακή ενέργεια του κεριού, είναι σαπωνούχα κυρίως διαλύματα και κάνουν την επιφάνεια αυτή υδρόφιλη, με αποτέλεσμα την καλύτερη επαφή του πυροχώματος με το κέρινο ομοίωμα.

➤ **Στρέβλωση:**

Η στρέβλωση των κέρινων πρότυπων, η οποία συμβαίνει κατά την πήξη του κεριού και μετά από αυτή, οφείλεται στην έκλυση των εσωτερικών τάσεων, οι οποίες συσσωρεύονται μέσα στη μάζα του κεριού κατά την κατεργασία των πρότυπων. Οι τάσεις αυτές, οι οποίες απελευθερώνονται κατά το χρόνο πήξης του κεριού ή και μετά την πήξη του εκδηλώνονται με ανομοιόμορφη αλλαγή των διαστάσεων. Υπάρχουν μέτρα τα οποία πρέπει να λαμβάνονται υπόψη από τον οδοντικό τεχνολόγο για την εξομάλυνση αυτού του φαινομένου. Το κέρινο ομοίωμα πρέπει να θερμαίνεται με ομοιόμορφο τρόπο, να αποφεύγεται η παρατεταμένη θέρμανση, οι βίαιοι χειρισμοί και οι πιέσεις, η προσθήκη λιωμένου κεριού στο ήδη πηγμένο κέρι. Η διαμόρφωση να γίνεται σε σύντομο χρονικό διάστημα και διατηρώντας χαμηλές και σταθερές θερμοκρασίες. Η επένδυση με πυρόχωμα πρέπει να γίνεται αμέσως μετά την διαμόρφωση και αν καθυστερεί, να φυλάσσεται εντός ψυγείου με χρήση του αφού επανέλθει σε θερμοκρασία δωματίου.^{1,5}

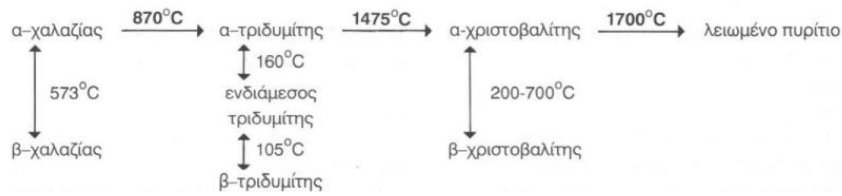
5.3 Πυροχώματα

Για την κατασκευή κάθε προσθετικής αποκατάστασης με μεταλλικό σκελετό πραγματοποιείται αρχικά κέρωμα την κατασκευής στο εκμαγείο εργασίας και ύστερα χύτευση του κέρινου ομοιώματος με το αντίστοιχο κράμα εκλογής. Το κέρινο ομοίωμα των μεταλλικών κατασκευών τοποθετείται εντός δακτυλίου και επενδύεται με πυρόχωμα, με το οποίο δημιουργείται ένα καλούπι εντός του οποίου θα εισχωρήσει το λιωμένο κράμα σχηματίζοντας τη μεταλλική πρόσθεση κατά την χύτευση. Κατά την διαδικασία της επένδυσης χρησιμοποιούνται τα

πυροχώματα, για τα οποία ο οδοντικός τεχνολόγος πρέπει να διαθέτει τις απαραίτητες γνώσεις, ώστε να εξασφαλίσει την σωστή χύτευση της εργασίας. Τα πυροχώματα πρέπει να διαθέτουν ορισμένες βασικές ιδιότητες: να αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να αποσυντίθενται, να αντέχουν στη δύναμη πρόσκρουσης του λιωμένου κράματος κατά την χύτευση, να είναι οικονομικά και εύκολα διαχειρίσιμα, στην επένδυση να έχουν απόλυτη πρόσφυση αναπαράγοντας λεπτομέρειες, να είναι πορώδη για να διαφεύγουν τα αέρια από την μάζα κατά τη χύτευση και να υφίστανται ικανοποιητική διαστολή, ώστε να αντισταθμίζεται το σύνολο της συστολής του κέρινου ομοιώματος και του κράματος.

Τα είδη των πυροχωμάτων που αφορούν την οδοντοτεχνική είναι τα πυροχώματα γύψου ή απλά, τα φωσφορικού τύπου, τα πυριτικού τύπου και τα μαγνησίας-ζirkονίας. Αυτά αποτελούνται από πυρίμαχο υλικό, συνδετικό υλικό και διάφορες χημικές ουσίες για τον έλεγχο και την τροποποίηση διάφορων φυσικών ιδιοτήτων. Το πυρίμαχο υλικό είναι συνήθως διοξείδιο του πυριτίου με τη μορφή του χαλαζία, του χριστοβολίτη, του τριδυμίτη ή και ενός μίγματος αυτών των ουσιών. Κάθε κατηγορία χρησιμοποιείται ανάλογα με το είδος της προσθετικής αποκατάστασης:

- **Πυροχώματα γύψου:** Έχουν ως πυρίμαχο υλικό τον χαλαζία και τον χριστοβαλίτη και ως συνδετικό υλικό την γύψο. Είναι κατάλληλα για χύτευση κραμάτων χαμηλού σημείου τήξης (<650 C) όπως τα κράματα χρυσού και χρησιμοποιούνται για κατασκευή χυτών μικρού μεγέθους όπως ένθετα, επένθετα και στεφάνες
- **Πυροχώματα φωσφορικού τύπου:** Έχουν ως πυρίμαχο υλικό τις ενώσεις του πυριτίου και ως συνδετικό υλικό φωσφορικές ενώσεις. Είναι κατάλληλα για χύτευση κραμάτων υψηλού σημείου τήξης (περίπου 1200 C) και χρησιμοποιούνται κυρίως για χύτευση κραμάτων μεταλλοκεραμικής.
- **Πυροχώματα πυριτικού τύπου:** Έχουν ως πυρίμαχο υλικό ενώσεις πυριτίου και ως συνδετικό υλικό πυριτικές ενώσεις. Είναι κατάλληλα για χύτευση κραμάτων πολύ υψηλού σημείου τήξης όπως τα χρωμιοκοβαλτιούχα και χρησιμοποιούνται για την κατασκευή μερικών οδοντοστοιχιών.
- **Πυροχώματα μαγνησίας-ζirkονίας:** Είναι κατάλληλα για την χύτευση κραμάτων πολύ υψηλού σημείου τήξης (>1200 C) και χρησιμοποιούνται για την χύτευση του τιτανίου και των κραμάτων του.



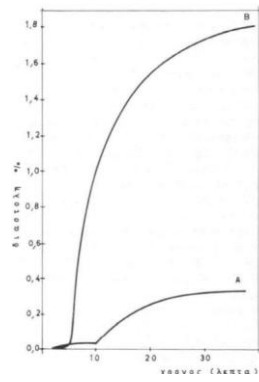
Εικόνα 8: Αλλοτροπικές μορφές χαλαζία, χριστοβαλίτη, τριδυμίτη.¹

Στην διαδικασία κατασκευής χυτής εργασίας, τα υλικά δέχονται συστολές, οι οποίες πρέπει να αντισταθμίζονται σύμφωνα με την παρακάτω εξίσωση:

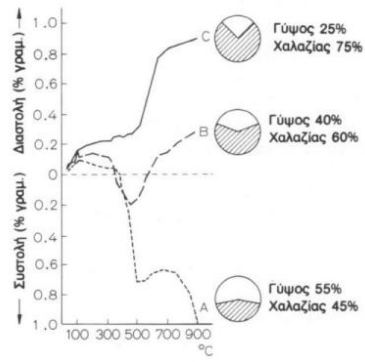
Συστολή κράματος (1,25-2%) + Συστολή κεριού (0,4%) → Διαστολή πυροχώματος

Η διαστολή του πυροχώματος είναι το σύνολο της διαστολής πήξης, της υγροσκοπικής διαστολής και της θερμικής διαστολής (Εικόνα 9):

- **Διαστολής πήξης:** Είναι ανάλογη ως προς το χρόνο μίξης και ανάλογη προς τη σχέση νερού-σκόνης (όσο περισσότερο νερό, τόσο μικρότερη διαστολή πήξης και αντίστροφα). Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της A.D.A. η τιμή της δεν θα πρέπει να ξεπερνάει το 0,5%.
- **Υγροσκοπική διαστολή:** Είναι φυσικό φαινόμενο και επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες όπως την σύνθεση του πυροχώματος, τον χρόνο μίξης, την αναλογία νερού-σκόνης στο αρχικό μίγμα, την ποσότητα του νερού που προστίθεται κατά την έναρξη της πήξης και την θερμοκρασία υγρού-νερού. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της A.D.A., η τιμή της δεν πρέπει να είναι κάτω από 1.2%, ούτε μεγαλύτερη από 2.2%.
- **Θερμική διαστολή:** Επηρεάζεται από την ποσότητα του πυριτίου (ανάλογη με την εκατοστιαία αναλογία του διοξειδίου του πυριτίου) και την μορφή του πυριτίου (τέσσερις μορφές του διοξειδίου του πυριτίου που είναι ο χαλαζίας, ο χριστοβαλίτης, ο τριδυμίτης και ο λιωμένος χαλαζίας που μεταπίπτουν από α- σε β- μορφή και αντίστροφα) και από τα χημικά πρόσθετα επιτυγχάνεται με θέρμανση του πυροχώματος. Η διαστολή αυτή, ανάλογα με τον τύπο του πυροχώματος, κυμαίνεται από 0.5% μέχρι 2% σε θερμοκρασία όχι πάνω από 700°C.^{1,5}



α



β

Εικόνα 9: Καμπύλες διαστολής πυροχώματος α) Διαστολή πήξης και Υγροσκοπική διαστολή, β) Θερμική διαστολή σε σχέση με περιεκτικότητα σε χαλαζία.¹

ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

6. Στάδια εργαστηριακής διαδικασίας κατασκευής χυτών αποκαταστάσεων και επίδραση του οδοντικού τεχνολόγου

Κάθε προσθετική αποκατάσταση από κράμα διαδέχεται μια σειρά από κλινικά και εργαστηριακά στάδια για να κατασκευαστεί μια καλών προδιαγραφών εργασία. Η μηχανική αντοχή εξαρτάται από πολυάριθμους παράγοντες όπως από τον βαθμό καθαρότητας, τη δομή, τη θερμοκρασία, το σχήμα και την επίδραση χημικών και φυσικών παραγόντων στην καταπόνηση. Αυτά έχουν άμεση σχέση με κάποια στάδια στην διαδικασία κατασκευής που έχουν ακολουθηθεί από τον οδοντικό τεχνολόγο.^{10,11}

6.1 Κατασκευή εκμαγείου εργασίας

Το εκμαγείο εργασίας είναι το εκμαγείο το οποίο προέρχεται από το τελικό αποτύπωμα. Τα υλικά των εκμαγείων είναι οδοντιατρικές γύψοι, τα πυροχώματα, οι εποξικές ρητίνες, το αμάγαλμα και διάφορα μέταλλα (Cu, Ag για επιμετάλλωση εκμαγείων). Αυτά οφείλουν να πληρούν κάποιες κριτήρια για την επιτυχή κατασκευή του εκμαγείου εργασίας. Πρέπει να έχουν όσο το δυνατό μικρότερη μεταβολή διαστάσεων και συμβατότητα με τα αποτυπωτικά υλικά εκλογής, να αποδίδουν λείες, σκληρές, συμπαγείς και ανθεκτικές επιφάνειες, να μπορούν να χειριστούν εύκολα, να μην απαιτούν ιδιαίτερο εξοπλισμό με σχετικά χαμηλό κόστος και να είναι ακίνδυνα κατά την χρήση τους. Από τα υλικά που αναφέρθηκαν για την κατασκευή των εκμαγείων χρησιμοποιούνται κυρίως διάφορα είδη οδοντιατρικής γύψου όπως η κοινή ή γύψος των Παρισίων, η σκληρή ή τύπου moldano και η υπέρσκληρη ή τύπου velmix με διαφορετικές αναλογίες μίξης.

Ως προς τις προδιαγραφές για την διαμόρφωση ενός σωστού εκμαγείου που θα βοηθήσει στην επιτυχή εργασία: α) το αρχικό εκμαγείο πρέπει να περιλαμβάνει όλες εκείνες τις ανατομικές περιοχές όπου θα εδρασθεί η πρόσθεση, β) η επιφάνεια του εκμαγείου να είναι ομαλή, χωρίς ατέλειες και χωρίς πόρους, γ) η βάση του εκμαγείου να είναι παράλληλη με την ακρολοφία που

αναπαριστά και να έχει πάχος τουλάχιστον 1 cm στο λεπτότερο σημείο, δ) τα πλάγια τοιχώματα να είναι κάθετα, ε) το πάχος των ορίων της περιφέρειας του να είναι περίπου 3-4 mm, στ) το εκμαγείο της άνω γνάθου να επεκτείνεται 2 mm πέρα από τα όρια των ακιστρογοναθικών εντομών, η) το εκμαγείο της κάτω γνάθου να επεκτείνεται 4-5 mm πέρα από τα οπισθογόμφια προσκεφάλαια. Ένα τελικό εκμαγείο χωρίς τις απαιτούμενες προδιαγραφές, δεν διευκολύνει τα επόμενα εργαστηριακά στάδια και οδηγεί σε λάθη που διαδέχονται το ένα το άλλο μέχρι την τελική αποκατάσταση.^{10,11}

Ιδιαίτερα στην περίπτωση της ακίνητης προσθετικής, το εκμαγείο εργασίας διαμορφώνεται με κινητά κολοβώματα. Τα κινητά κολοβώματα για να είναι λειτουργικά, θα πρέπει να επανατοποθετούνται στις ακριβείς αρχικές τους θέσεις με παράλληλη φορά ένθεσης, να μένουν σταθερά ακόμα και σε εκτροπή του εκμαγείου και να μην εμποδίζουν την ανάρτηση του εκμαγείου στον αρθρωτήρα.

Η σωστή κατασκευή ενός εκμαγείου εργασίας αποτελεί σημαντικό παράγοντα για όλη την περαιτέρω διαδικασία. Κάθε στάδιο που ακολουθεί αφορά την εφαρμογή της εργασίας σε αυτό και στο τέλος στο στόμα του ασθενούς.^{10,11}

6.2 Διαμόρφωση κέρινου ομοιώματος αποκατάστασης

Κάθε αποκατάσταση που θα διαμορφωθεί μεταλλικό υπόστρωμα κερώνεται με διαφορετικές τεχνικές ανάλογα με το είδος της πρόσθεσης (κινητή ή ακίνητη). Οι τεχνικές κερώματος διαφέρουν ανάλογα με το κάθε είδος αποκατάστασης και επηρεάζουν άμεσα το τελικό αποτέλεσμα, γιατί με την σωστή τεχνική θα διαμορφωθεί και το κατάλληλο κέρινο πρότυπο. Με άλλα λόγια, σωστή κέρινη διαμόρφωση με κατάλληλους αγωγούς ανθίστανται κατά την διαδικασία της χύτευσης δίνοντας έτσι ένα άρτιο χυτό. Συνοπτικά, αναφέρονται ως τεχνικές κερώματος, η τεχνική της ενστάλαξης, της εμβάπτισης, της πλαστικής καλύπτρας, τους φύλλου κεριού και η αφαιρετική τεχνική.

Οι βασικές ιδιότητες των κεριών είναι άλλος ένας σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει την αρτιότητα της τελικής αποκατάστασης. Το θερμοκρασιακό διάστημα τήξης, η ρευστότητα, η θερμική διαστολή, η πλαστικότητα/ελαστικότητα, η διαβροχή και η στρέβλωση είναι σημεία που πρέπει να ληφθούν σοβαρά από τον οδοντικό τεχνολόγο.

Στο κέρωμα των ομοιωμάτων χρησιμοποιούνται κεριά ενθέτων και κεριά χύτευσης και πιο σπάνια ψυχρά πολυμεριζόμενη ρητίνη. Το κεριό ενθέτων χρησιμοποιείται για ένθετα, στεφάνες και ενδιάμεσα γεφυρών και ταξινομείται ανάλογα με τη θερμοκρασία που μαλακώνει και τη ρευστότητά του σε σκληρό, μέτριο και μαλακό (τύπος A,B,C προδιαγραφή A.D.A No4). Η αρτιότητα ενός ενθέτου ή μιας στεφάνης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα του κέρινου πρότυπου, γεγονός το οποίο συνδέεται απόλυτα με τις φυσικές ιδιότητες του κεριού που θα χρησιμοποιηθεί. Το κεριό χυτών χρησιμοποιείται για την κατασκευή κέρινων πρότυπων χυτών εργασιών και μοιάζει ως προς τη σύνθεση με το κεριό ενθέτων. Ωστόσο, διαφέρει τόσο ως προς τη θερμοκρασία μαλακύνσεως, ροής και τήξης, όσο και ως προς την ελαστικότητα. Όπως και τα κεριά ενθέτων, εξαχνώνεται πλήρως στη θερμοκρασία των 482°C. Η ψυχρά πολυμεριζόμενη ρητίνη χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου χρειάζεται ακόμα μεγαλύτερη ακρίβεια και σταθερότητα διαστάσεων του ομοιώματος.^{12,13}

6.3 Τοποθέτηση αγωγών χύτευσης

Αγωγός χύτευσης είναι ένας κυλινδρικός συνήθως αγωγός, ο οποίος χρησιμεύει στην δημιουργία διόδου μεταξύ κέρινου ομοιώματος της προσθετικής εργασίας που βρίσκεται εγκλωβισμένο μέσα στο πυρόχωμα και του εξωτερικού περιβάλλοντος.

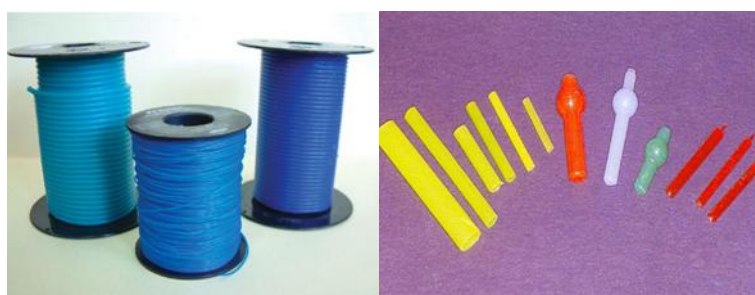
Οι αγωγοί χύτευσης χρησιμεύουν για την απομάκρυνση του λιωμένου κεριού από το εσωτερικό του πυροχώματος κατά το στάδιο της αποκήρωσης, για την εισροή του λιωμένου κράματος μέσα στο πυροχωμάτινο πρότυπο κατά την χύτευση, για την αποβολή της θερμότητας από το εσωτερικό του πυροχωμάτινου προτύπου κατά την απόψυξη και λειτουργούν και ως αποθήκη λιωμένου μετάλλου, από την οποία τροφοδοτείται το χυτό για αντιστάθμιση της συστολής κατά την στερεοποίηση του. Η τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης αποσκοπεί στην ομαλή ροή του λιωμένου κράματος προς το εσωτερικό του πυροχωμάτινου δακτυλίου, ώστε να διαμορφωθεί ένα ολοκληρωμένο χυτό χωρίς ατέλειες.^{10,11}

Η σωστή διαμόρφωση και τοποθέτηση τους εξασφαλίζει ένα χυτό χωρίς ατέλειες και πορώδες, βασική προϋπόθεση για καλές φυσικομηχανικές ιδιότητες της τελικής αποκατάστασης. Και αυτό γιατί οι αγωγοί χύτευσης αποτελούν το μέσο μεταξύ εξωτερικού περιβάλλοντος και προπλάσματος. Μέσω αυτών των δομών θα επιτευχθεί η σωστή εξάχνωση των στοιχείων του

προπλάσματος, η ομαλή ροή του τήγματος και η αντίστοιχη ψύξη του και άρα μια άρτια κρυσταλλική δομή του χυτού. Έτσι λαμβάνονται υπόψη τα εξής σημεία:

- **Το υλικό του αγωγού:**

Οι αγωγοί μπορεί να είναι κέρινοι, πλαστικοί ή μεταλλικοί (Εικόνα 10). Οι καταλληλότεροι είναι αυτοί που είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό δηλαδή κέρι που κατασκευάστηκε το κέρινο ομοίωμα, για την ομοιόμορφη εξάχνωση των υλικών και την αποφυγή ύπαρξης υπολειμμάτων που θα ενσωματωθούν στο χυτό και θα αλλοιώσουν τις ιδιότητες και την κρυσταλλικότητα του κράματος. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται μεταλλικοί αγωγοί, οι οποίοι καλύπτονται σε όλο το μήκος τους με λεπτό στρώμα κεριού, ώστε να διευκολυνθεί η απομάκρυνση τους πριν την αποκήρωση. Οι μεταλλικοί αγωγοί χύτευσης αποφεύγονται, γιατί ενδέχεται να συμπαρασύρουν πυρόχωμα κατά την απομάκρυνση τους και έτσι να ενσωματωθεί το πυρόχωμα στο χυτό, δημιουργώντας ελαττωματικό χυτό. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή του υλικού του αγωγού επηρεάζει την μηχανική αντοχή της τελικής αποκατάστασης, γιατί κάθε πρόσμιξη του κράματος με θραύσματα πυροχώματος ή υπολείματα του υλικού του ομοιώματος μπορεί να κριθεί επιζήμια για την άρτια δομή της τελικής αποκατάστασης.¹¹



α

β

Εικόνα 10: Αγωγοί χύτευσης

α) Κέρινοι σε μορφή κορδονιού, β) Πλαστικοί διαφόρων μεγεθών με ή χωρίς δεξαμενή.¹¹

- **Το σχήμα του αγωγού:**

Είναι κυλινδρικοί με στρόγγυλη διατομή και επιφάνεια λεία και ομαλή ή ευθείς χωρίς απότομες γωνίες και κάμψεις για να διευκολύνεται η ροή του λιωμένου κράματος. Απότομες γωνίες και ανώμαλες επιφάνειες στο σχήμα τους ενέχουν τον κίνδυνο ατελειών τόσο κατά την δίοδο του λιωμένου κράματος που δεν θα είναι ομαλή, όσο και κατά την ομοιόμορφη ψύξη. Το λιωμένο

κράμα πρέπει να φτάσει έως και τα λεπτότερα σημεία του προπλάσματος ώστε να διαμορφωθεί ένα σωστό χυτό με καλές ιδιότητες. Στην περίπτωση ατελών χυτών λόγω ανώμαλου σχήματος του αγωγού, η κατασκευή δεν κατασκευάζεται με τις σωστές προδιαγραφές και διατρέχει τον κίνδυνο θραύσης.¹¹

- **Το μέγεθος του αγωγού:**

Το μέγεθος του αγωγού επηρεάζει την δημιουργία πόρων στα χυτά και την δημιουργία ατελών χυτών εφόσον αποτελεί το μέσο, με το οποίο επιτυγχάνεται η εισροή του λιωμένου μετάλλου στο εσωτερικό του πυροχωμάτινου προτύπου. Το μήκος δεν πρέπει να ξεπερνά τα 15mm και η διάμετρος εξαρτάται από το μέγεθος του χυτού, δηλαδή πρέπει να είναι ίση ή μεγαλύτερη από το παχύτερο μέρος του κέρινου ομοιώματος για την συνεχή τροφοδότηση του και την ομοιόμορφη στερεοποίηση από τα παχύτερα προς τα λεπτότερα σημεία του χυτού (Εικόνα 11). Σε περίπτωση μικρότερης διαμέτρου αγωγών, το κράμα συστέλλεται και υπάρχει μη ομαλή ψύξη και έτσι ατελές ή πορώδες χυτό. Το πορώδες χυτό καθιστά το κράμα περισσότερο ψαθυρό και έτσι αλλοιώνονται οι καλές επιθυμητές μηχανικές ιδιότητες του κράματος εκλογής.

Επίσης, το μέγεθος του αγωγού καθορίζεται και από την θερμοκρασία χύτευσης του κράματος εκλογής. Ενδεικτικά, για χυτά χρυσού είναι 2-2,5mm, για χυτά από βασικά κράματα είναι 3mm, για χυτά από κράματα μεταλλοκεραμικής είναι 3,5-4mm και για χυτά από τιτάνιο είναι μεγαλύτερο από 4mm. Δηλαδή, όσο αυξάνει η θερμοκρασία τήξης του κράματος, τόσο αυξάνει και η διάμετρος του αγωγού. Η παράμετρος αυτή πρέπει να λαμβάνεται υπόψη από τον οδοντικό τεχνολόγο, ώστε να αποφευχθεί η δημιουργία πορώδους λόγω λάθους διαμέτρου αγωγού.¹¹



Εικόνα 11: Κέρινοι αγωγοί χύτευσης διαφόρων διατομών.¹¹

- **Ο αριθμός των αγωγών:**

Η παραλαβή ενός ολοκληρωμένου χυτού, όπου το κράμα έχει εισχωρήσει έως και τα λεπτότερα σημεία της κατασκευής σχετίζεται άμεσα και με τον αριθμό των αγωγών. Ο αριθμός των αγωγών

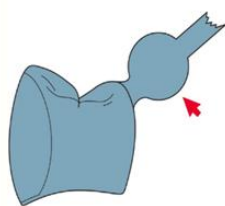
εξαρτάται από το μέγεθος του κέρινου ομοιώματος. Για μικρά χυτά ακίνητης προσθετικής, ένας αγωγός είναι αρκετός. Για μεγαλύτερες ακίνητες προσθέσεις και για κινητές αποκαταστάσεις χρησιμοποιείται και ο βοηθητικός αγωγός, ο οποίος είναι συνήθως μικρότερης διαμέτρου και διευκολύνει την δίοδο του λιωμένου κράματος προς όλες τις επιφάνειες του χυτού (Εικόνα 12). Σε περίπτωση όπου δεν ληφθεί υπόψη η αναγκαιότητα βοηθητικού αγωγού, δεν θα διαμορφωθεί χυτό με τις επιθυμητές λεπτομέρειες και έτσι η αντοχή σε καταπονήσεις και άρα οι καλή μηχανική αντοχή μειώνεται.¹¹



Εικόνα 12: Βοηθητικός αγωγός χύτευσης.¹¹

- **Ύπαρξη ή μη δεξαμενής στον αγωγό (σφαιρικού τύπου ή σχήματος δοκού):**

Η δεξαμενή του αγωγού αποτελεί το μέσο τροφοδότησης του προπλάσματος με λιωμένο κράμα. Σχηματίζεται από κερι στον κύριο αγωγό χύτευσης σε απόσταση 2-3mm από το κέρινο ομοίωμα και έχει διάμετρο τουλάχιστον διπλάσια από τον αγωγό και σίγουρα μεγαλύτερη από το παχύτερο τμήμα του κέρινου ομοιώματος, ώστε να τροφοδοτεί διαρκώς ολόκληρη την μάζα του χυτού με τήγμα, αντισταθμίζοντας την συστολή του (Εικόνα 13). Κάθε ειδικός οφείλει να ακολουθεί την σωστή διαμόρφωση της δεξαμενής, γιατί αυτή συντελεί στη σωστή χύτευση, δημιουργώντας χυτά με καλή μηχανική συμπεριφορά. Και αυτό γιατί σε περίπτωση μιας λάθος διαμορφωμένης δεξαμενής αγωγού, η εισροή του λιωμένου κράματος δεν θα είναι ομαλή με ενδεχόμενο κίνδυνο να μην αναπαραχθούν οι απαραίτητες λεπτομέρειες του χυτού. Έτσι, ένα ατελές χυτό προσδίδει μειωμένη αντοχή στην τελική αποκατάσταση που θα τοποθετηθεί στο στόμα του ασθενούς.



α

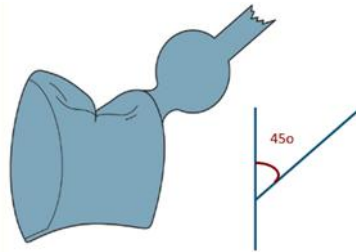


β

Εικόνα 13: Δεξαμενή α) Σφαιρικού τύπου, β) Σχήματος δοκού.¹¹

- **Το σημείο σύνδεσης του αγωγού με το κέρινο ομοίωμα:**

Αυτό θα πρέπει να μην προκαλεί αλλοίωση του σχήματος του κέρινου ομοιώματος, ούτε απότομες αλλαγές στην διεύθυνση ροής του κράματος, να τοποθετείται στο πιο ογκώδες σημείο του ομοιώματος και με κλίση 45ο ως προς την επιφάνεια του κεριού. Ως προς το πάχος, αυτό πρέπει να είναι ίσο ή λίγο μικρότερο από την διάμετρο του αγωγού (Εικόνα 14).



Εικόνα 14: Σωστή διαμόρφωση του σημείου σύνδεσης του αγωγού με το κέρινο ομοίωμα ως προς α) την κλίση, β) το πάχος.¹¹

Σε αντίθετη περίπτωση, που οι αγωγοί δεν τοποθετηθούν με κλίση ή κάθετα ή με πάχος μεγαλύτερο από την διάμετρο του αγωγού, τότε συμβαίνει το φαινόμενο της “καυτής κηλίδας” (πρόσκρουση κράματος σε απέναντι επιφάνεια και επιστροφή προς τα πίσω) και υπάρχει και ανομοιόμορφη ψύξη (Εικόνα 15). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δημιουργία πορώδους στο τελικό χυτό και έτσι αυξάνεται η ψαθυρότητα του υλικού, υπονομεύοντας την μηχανική ανθεκτικότητα τους κράματος.¹¹



Εικόνα 15: Σχηματική απεικόνιση του φαινομένου “καυτής κηλίδας”.¹¹

- **Ύπαρξη αγωγού απαέρωσης ή αεραγωγού:**

Είναι ένας ειδικός, πολύ λεπτός αγωγός, που το ένα άκρο του σταθεροποιείται στη βάση του δακτυλίου και το άλλο φέρεται στο εσωτερικό του κέρινου ομοιώματος χωρίς να συγκολλάται πουθενά. Αυτός διευκολύνει την διαφυγή των αερίων που συγκεντρώνονται στο εσωτερικό του

πυροχωμάτινου προτύπου μετά την αποκήρωση και πριν την είσοδο του λιωμένου κράματος και χρησιμοποιείται απαραίτητως σε λεπτόκοκκα πυροχώματα και σε κέρινα ομοιώματα μεγάλου όγκου και έκτασης. Εάν δεν χρησιμοποιηθεί ο αγωγός απαέρωσης υπάρχει ο κίνδυνος εγκλωβισμού των αερίων αυτών και έτσι ο σχηματισμός πορώδους χυτού, επηρεάζοντας αρνητικά με αυτό τον τρόπο την μηχανική συμπεριφορά του κράματος.^{10,11,12,13}



Εικόνα 16: Αγωγός απαέρωσης.¹¹

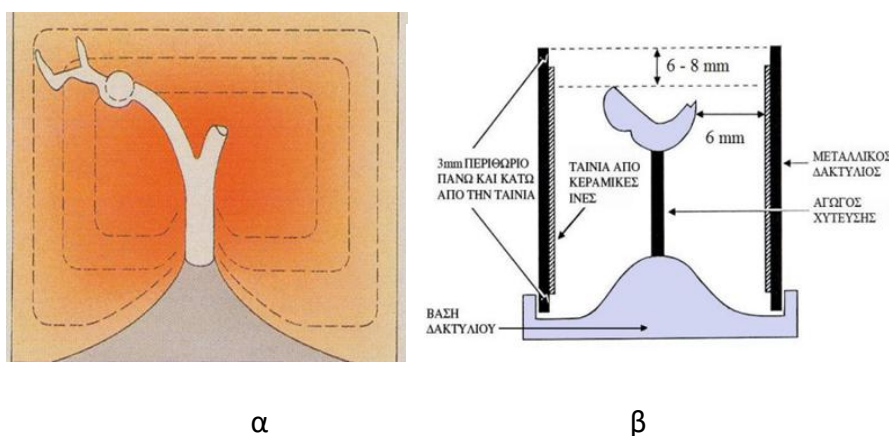
6.4 Επένδυση με πυρόχωμα

Για την επιτυχή και πλήρη επένδυση του κέρινου ομοιώματος με το πυρόχωμα, η ανάμιξη του πυροχώματος θα πρέπει να γίνεται με συσκευή ανάμιξης σε κενό και θα πρέπει αυτό να επαλειφθεί ή να ψεκάσει σε όλη του την επιφάνεια με μια ουσία, η οποία μειώνει την επιφανειακή τάση του κεριού και έτσι ελαττώνεται ο κίνδυνος δημιουργίας φυσαλίδων αέρα επάνω σε αυτό.

Η αποφυγή πορώδους χυτού, που αυξάνει την ψαθυρότητα του κράματος, συνδέεται άμεσα με την αντιστάθμιση της συστολής του κράματος και της συστολής του κεριού. Για αυτό τον λόγο, πρέπει να εξασφαλιστεί ικανοποιητική διαστολή του πυροχώματος, δηλαδή ικανοποιητική υγροσκοπική διαστολή και θερμική διαστολή. Η διαστολή πήξης εξαρτάται από το πυρόχωμα εκλογής και δεν επηρεάζεται σε αυτή την φάση από τον οδοντικό τεχνολόγο. Έτσι σε αυτό το στάδιο, ο δακτύλιος επενδύεται εσωτερικά με ταινία από κεραμικές ίνες που λειτουργεί σαν ενδοτικό στρώμα και επιτρέπει την ελεύθερη διαστολή του πυροχώματος. Μάλιστα, η ταινία διαβρέχεται ώστε να μην αποροφηθεί υγρασία από το πυρόχωμα και να βοηθηθεί η υγροσκοπική διαστολή.^{1,5,10}

Ο προσανατολισμός των αγωγών και η χωροταξική θέση του κέρινου ομοιώματος εντός του δακτυλίου πυράκτωσης παίζει σπουδαίο ρόλο στην διαμόρφωση σωστών χυτών (Εικόνα17). Μια κατασκευή από κράμα καλών μηχανικών προδιαγραφών δεν πρέπει να έχει επιφανειακά πορώδη, ούτε ατέλειες στην δομή της. Η επένδυση με τις προϋποθέσεις που ακολουθούν εξασφαλίζει την αναπαραγωγή των λεπτομερειών του προπλάσματος και στην πορεία του τελικού χυτού, ώστε να κατασκευαστεί χυτό με όλες τις επιθυμητές ιδιότητες που διαθέτει το κράμα. Έτσι, το κέρινο ομοίωμα πρέπει:

- Να βρίσκεται εκτός του θερμικού κέντρου του δακτυλίου, για να τροφοδοτείται με ρευστό κράμα από τις δεξαμενές, οι οποίες πρέπει να βρίσκονται εντός του θερμικού κέντρου.
- Να τοποθετείται με κλίση προς τα τοιχώματα του δακτυλίου, για γρηγορότερη και ομοιόμορφη ψύξη κατά την χύτευση.
- Να απέχει από τα πλάγια τοιχώματα του δακτυλίου περίπου 6mm και 6-8mm από το πάνω όριο του δακτυλίου. Σε περίπτωση μικρότερων αποστάσεων από τα τοιχώματα, υπάρχει ο κίνδυνος θραύσης τους και επομένως επιμόλυνσης του χυτού και σε περίπτωση μεγαλύτερων αποστάσεων, ενδέχεται να υπάρξει πρόωρη στερεοποίηση και επομένως πορώδες χυτό.
- Να τοποθετείται στη κορυφή της βάσης του δακτυλίου διατηρώντας κωνικό σχήμα για διευκόλυνση ροής του κράματος.



Εικόνα 17: Σωστή τοποθέτηση κέρινου ομοιώματος εντός του δακτυλίου

α) Κέρινο ομοίωμα εκτός του θερμικού κέντρου και δεξαμενές εντός, β) Αποστάσεις από τοιχώματα δακτυλίου.¹¹

Ύστερα από την πλήρωση του δακτυλίου με πυρόχωμα πρέπει να διασφαλιστεί η επαρκής διαστολή του πυροχώματος. Η αντιστάθμιση των συστολών κατά την διαδικασία κατασκευής μια χυτής αποκατάστασης είναι απαραίτητη ως προς την μηχανική αντοχή της εργασίας. Στην περίπτωση που δεν υπάρχει επαρκής αντιστάθμιση, δημιουργούνται θραύσεις στο πυρόχωμα και τα υπολείμματα συμπαρασύρονται στην περαιτέρω διαδικασία της χύτευσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την επιμόλυνση του κράματος, την διατάραξη την ομοιόμορφης κρυσταλλικής δομής του και έτσι την κακή μηχανική συμπεριφορά του. Έτσι, ο δακτύλιος είτε αφήνεται σε ηρεμία για μία ώρα ώστε να κρυσταλλωθεί και να αντισταθμιστούν οι συστολές (θερμική διαστολή και διαστολή πήξης) είτε τοποθετείται σε υδατόλουτρο 37οC (υγροσκοπική διαστολή και διαστολή πήξης).

Τέλος, μετά την κρυστάλλωση αφαιρείται το καπάκι από τον δακτύλιο και γίνεται απόξεση της επιφάνειας (Εικόνα 18). Αυτό εξασφαλίζει για άλλη μια φορά την διαφυγή των αερίων και την αποφυγή πορώδους χυτού που ενέχει κινδύνους για ένα άρτιας μηχανικής αντοχής χυτό.^{12,13}

6.5 Αποκήρωση, προθέρμανση

6.5.1 Αποκήρωση

Η αποκήρωση αποσκοπεί στην πλήρη απομάκρυνση του κεριού και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν για την διαμόρφωση του ομοιώματος και των αγωγών χύτευσης. Αφού αφαιρεθεί η βάση του πυροχώματος, ο δακτύλιος τοποθετείται με την χοάνη προς τα κάτω (διευκόλυνση διαφυγής του κεριού) στο κέντρο του φούρνου αποκήρωσης. Το πρόγραμμα αποκήρωσης επιλέγεται σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, το μέγεθος του δακτυλίου και το πυρόχωμα που έχει χρησιμοποιηθεί:

- Η θερμοκρασία αποκήρωσης εξαρτάται από τον τύπο του πυροχώματος και είναι συνήθως χαμηλότερη από 500 C. Η άνοδος της θερμοκρασίας γίνεται σταδιακά για ομαλή θέρμανση του πυροχώματος και αποφυγή θραύσης του με αποτέλεσμα την επιμόλυνση του κράματος στην συνέχεια.
- Ο χρόνος αποκήρωσης είναι συνήθως μικρότερος της μιας ώρας και αυξάνεται όταν το κέρινο ομοίωμα είναι ογκώδες ή όταν έχει χρησιμοποιηθεί πλαστικό ή άλλο υλικό για την κατασκευή του ομοιώματος.

Αν στο στάδιο της αποκήρωσης δεν υπάρξει πλήρης εξάχνωση των στοιχείων διαμόρφωσης του ομοιώματος είτε λόγω χαμηλών θερμοκρασιών, είτε λόγω μη επαρκούς διάρκειας της αποκήρωσης, απομένουν υπολείμματα εντός του δακτυλίου. Αυτά ενσωματώνονται στο πυρόχωμα και στις υψηλές θερμοκρασίες της χύτευσης καίγονται και παρεμποδίζουν την διαμόρφωση ενός χυτού με την βέλτιστη κρυσταλλική δομή και συνεπώς μηχανική αντοχή. Και αυτό γιατί αντιδρούν με το οξυγόνο, σχηματίζοντας μονοξείδιο του άνθρακα, το οποίο εμποδίζει την οξείδωση του κράματος στο εσωτερικό του πυροχωμάτινου δακτυλίου, και γιατί τα αέρια αυτά μπορεί να απορροφηθούν από το τηγμένο κράμα, δημιουργώντας πορώδες χυτό. Ειδικά για τα κράματα τιτανίου που παρουσιάζουν αυξημένη τάση αντίδρασης με το οξυγόνο αλλά και με άλλα στοιχεία σε υψηλές θερμοκρασίες, ο κίνδυνος είναι μεγαλύτερος στην περίπτωση ατελούς εξάχνωσης του πυροχωμάτινου δακτυλίου. Ακόμα, τα κράματα χρυσού που υπόκεινται σε θερμική κατεργασία για ανάκτηση της κρυσταλλικότητάς τους, διατρέχουν και αυτά αυξημένο κίνδυνο ως προς την μηχανική τους αντοχή σε ενδεχόμενη πρόσμιξη κεριών και άλλων στοιχείων από λάθος αποκήρωση.^{1,10,11,12,13}

6.5.2 Προθέρμανση

Η αποκήρωση και η προθέρμανση είναι στάδια που πρέπει να πραγματοποιούνται το ένα συνέχεια του άλλου μέσα σε ειδικούς κλιβάνους, οι οποίοι ελέγχουν με διάφορα όργανα την θερμοκρασία, τον ρυθμό ανόδου και την χρονική διάρκεια της διαδικασίας. Για την επιτυχή προθέρμανση του δακτυλίου πρέπει να ελέγχονται όλες οι παράμετροι με τα ενδεδειγμένα όργανα σύμφωνα πάντα και με τις οδηγίες του κατασκευαστή.

Η προθέρμανση, που ακολουθεί αυξάνοντας την θερμοκρασία, διευκολύνει την ροή του τηγμένου κράματος στο καλούπι χωρίς τον κίνδυνο της πρόωρης στερεοποίησης, επιτυγχάνει την επιθυμητή διαστολή του πυροχώματος για την εξουδετέρωση της συστολής του κράματος κατά την ψύξη και τέλος βοηθά στην απόδοση επιφανειακών λεπτομερειών του κέρινου ομοιώματος. Το στάδιο αυτό διαρκεί περίπου 90 λεπτά ανάλογα με το μέγεθος του δακτυλίου, τον αριθμό των χυτών, την σύνθεση του πυροχώματος και το είδος του κράματος (Εικόνα 18).

Προβλήματα προκύπτουν στην προθέρμανση στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όταν δεν εξαχνωθούν πλήρως τα υπολείμματα των κεριών και στο στάδιο αυτό, υπάρχει η πιθανότητα επιμόλυνσης του χυτού. Οι διάφορες προσμίξεις αλλοιώνουν την ομοιογένεια του κράματος, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά την αντοχή στις διάφορες καταπονήσεις και αυξάνει την ψαθυρή συμπεριφορά του κράματος.
- Αν ο δακτύλιος δεν προθερμανθεί κατάλληλα, ούτε άρτιο από κρυσταλλικής δομής πλευράς χυτό θα δημιουργηθεί, ούτε πλήρη επιφανειακή αποτύπωση της τελικής εργασίας. Κάθε ατελές χυτό, χωρίς τις προδιαγραφές με τις οποίες σχεδιάστηκε, διατρέχει κίνδυνο θραύσης εντός του στοματικού περιβάλλοντος.
- Σημαντικός παράγοντας αποτελεί η αναγκαιότητα συμβατότητας του κράματος εκλογής και του πυροχώματος επένδυσης. Και αυτό γιατί κάθε υλικό διαθέτει διαφορετικό συντελεστή θερμικής διαστολής. Η συμβατότητα των συντελεστών θερμικής διαστολής εξασφαλίζει την απουσία ρωγμών του πυροχώματος που υφίστανται εάν δεν έχει ληφθεί υπόψη από τον αρμόδιο οδοντικό τεχνολόγο. Κάθε ρωγή του πυροχώματος συνδέεται άμεσα με την κατασκευή ενός ατελούς χυτού χωρίς την επιθυμητή αντοχή. Για να υφίστανται πυροχωμάτινος δακτύλιος στις υψηλές θερμοκρασίες προθέρμανσης και χύτευσης, πρέπει το πυρόχωμα να επιλεγεί με βάση το θερμοκρασιακό διάστημα τήξης του χρησιμοποιούμενου κράματος. Σε αντίθετη περίπτωση, μπορεί να αποδομηθεί ο πυροχωμάτινος δακτύλιος ή να διαμορφωθούν χυτά με ελαττώματα.^{1,12,13}

6.6 Τήξη κράματος και χύτευση

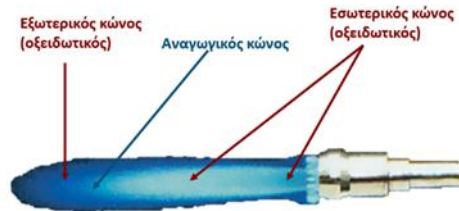
6.6.1 Τήξη κράματος

Η τήξη του κράματος πραγματοποιείται με τους εξής πιθανούς τρόπους:

- **Με φλόγιστρο:**

Η τήξη με φλόγιστρο είναι η συνηθέστερη αλλά πρέπει να ληφθούν υπόψη αρκετοί παράγοντες για την επιτυχή τήξη του κράματος με αυτή την μέθοδο:

- Τα αέρια που χρησιμοποιούνται είναι είτε οξυγόνο-προπάνιο, είτε οξυγόνο-ασετυλίνη, είτε αέρας-προπάνιο με διάφορες αναλογίες ανάλογα με το είδος του κράματος και την απαιτούμενη θερμοκρασία, ώστε να μην υπάρξει υπερθέρμανση του κράματος και αλλοίωση των ιδιοτήτων του. Κάθε κράμα αποδίδει τις επιθυμητές και καθορισμένες από τον κατασκευαστή ιδιότητες εφόσον δεχθεί και τους αντίστοιχους χειρισμούς από τον ειδικό χρήστη. Η θερμοκρασία και τα όρια των θερμοκρασιών, στα οποία μπορεί να υποβάλλεται ένα κράμα είναι αυστηρά καθορισμένα για κάθε είδος, ώστε να υπάρξει η κατάλληλη κρυσταλλική δομή και άρα η επιθυμητή συμπεριφορά του. Στην περίπτωση όπου το κράμα υποβληθεί σε υψηλότερες για τα δεδομένα του θερμοκρασίες, οι κρύσταλλοι λαμβάνουν άλλη διάταξη στον χώρο και ενδέχεται να απορροφήσουν ή να χάσουν στοιχεία τους. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα ένα κράμα με διαφορετικές ιδιότητες, οι οποίες διαφέρουν από αυτές για τις οποίες έχει επιλεγεί. Αυτή η αλλοίωση οδηγεί σε αποκατάσταση από κράμα, το οποίο δεν θα παρέχει ικανοποιητική αντοχή εντός του στοματικού περιβάλλοντος.¹¹
- Η φλόγα εμφανίζει τρεις ζώνες, δυο οξειδωτικές (εσωτερικός και εξωτερικός κώνος φλόγας) και μια αναγωγική (μεταξύ εξωτερικού και εσωτερικού κώνου). Στον εσωτερικό κώνο δεν πραγματοποιείται πλήρης ανάφλεξη του μίγματος των αερίων και στον εξωτερικό κώνο το μίγμα των αερίων έρχεται σε επαφή και αναφλέγεται με το οξυγόνο. Επίσης, και στις δυο περιπτώσεις οξειδωτικής φλόγας δεν αναπτύσσεται η επιθυμητή θερμοκρασία τήξης. Το κράμα πρέπει να έρχεται σε επαφή με τον αναγωγικό κώνο της φλόγας για την σωστή τήξη του, γιατί η φλόγα αυτή έχει την μέγιστη ισχύ και η καύση του αερίου είναι πλήρης, παρουσιάζοντας όψη λαμπερή και όχι θαμπή (Εικόνα 18). Σε περίπτωση επαφής του με οξειδωτική φλόγα για κάποιο χρόνο, το λιωμένο μέταλλο οξειδώνεται και προστίθενται άνθρακας στο κράμα από το αέριο χύτευσης με το οποίο έρχεται σε επαφή. Έτσι, το κράμα ύστερα από τήξη με λάθος ζώνη φλόγας, εμφανίζει διαφορετική περιεκτικότητα σε ιχνοστοιχεία όπως ο άνθρακας. Διαφορετικές περιεκτικότητες μετάλλων σε ένα κράμα οδηγούν σε υλικά με διαφορετικές ιδιότητες και στην περίπτωση που η σύνθεση αλλάζει μετά από κάποια επεξεργασία, το αρχικό κράμα χάνει τις καλές μηχανικές ιδιότητες για τις οποίες και επιλέχθηκε. Το κράμα θα εμφανίζει μεγαλύτερη ψαθυρότητα και θα είναι λιγότερο ανθεκτικό σε καταπονήσεις.¹¹



Εικόνα 18: Τρεις ζώνες φλόγας.¹¹

- Η απόσταση της φλόγας (φλογίστρου) από την χοάνη χύτευσης πρέπει να κυμαίνεται από 2,5 –10 cm και θα πρέπει η φλόγα να κατευθύνεται προς τα τοιχώματα της χοάνης για τον καλύτερο έλεγχο της τήξης αλλά και για την διαφυγή των αερίων.
- Αναλόγως την σύνθεση της φλόγας, αυτή διακρίνεται σε ενανθρακωμένη, ουδέτερη και οξειδωτική με καταλληλότερη την ουδέτερη. Για κάθε σύνθεση τα χυτά παρουσιάζουν διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες, μεταλλογραφική δομή και εξωτερική επιφάνεια. Οπότε ακόμα και με την σωστή ζώνη φλόγας, οφείλει να υπάρχει και η επιθυμητή σύνθεση για την αποφυγή ελαττωματικού χυτού.
- Η τήξη πραγματοποιείται σε κεραμικές χοάνες, οι οποίες πρέπει να έχουν προθερμανθεί κατάλληλα και να είναι καθαρές, ώστε ούτε να αποσυντίθενται με την απότομη αύξηση της θερμοκρασίας ούτε να επιμολύνουν το κράμα. Ακόμα, για κράματα με υψηλό σημείο τήξης, δεν χρησιμοποιούνται χοάνες γραφίτη, διότι ο περιεχόμενος άνθρακας απορροφάται κατά την χύτευση από το κράμα, αλλοιώνοντας το χυτό (Εικόνα 19).



Εικόνα 19: α) Κεραμικές χοάνες, β) Χοάνες γραφίτη.¹¹

- Για την αποφυγή οξείδωσης του τηγμένου κράματος, μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρτύματα, δηλαδή ειδικοί αντιοξειδωτικοί παράγοντες που προφυλάσσουν από τον σχηματισμό οξειδίων και απομακρύνουν οξείδια που ήδη εδράζουν στο μέταλλο. Η

επιλογή των αρτυμάτων εξαρτάται από το κράμα χρήσης. Για τα κράματα χρυσού επιλέγεται ο βόρακας και το βορικό οξύ ενώ για βασικά κράματα το φθοριούχο κάλιο επιτυγχάνει την αποφυγή των οξειδίων.^{11,13}

Η χρήση φλόγας δεν παρέχει τα βέλτιστα αποτελέσματα, γιατί δεν ελέγχεται η θερμοκρασία τήξης του κράματος και προστίθεται άνθρακας στο κράμα από το αέριο της χύτευσης με το οποίο αυτό έρχεται σε επαφή. Η πιθανή υπερβολική αύξηση της θερμοκρασίας μπορεί να εξαχνώσει κάποια συστατικά του κράματος και το κράμα γίνεται εξαιρετικά ψαθυρό, με αποτέλεσμα της αλλοίωση της σύνθεσης του. Έτσι, στην περίπτωση τήξης με φλόγιστρο, η μέθοδος αυτή απαιτεί εμπειρία και ιδιαίτερους χειρισμούς από τον οδοντοτεχνίτη που την χρησιμοποιεί.

- **Με ηλεκτρικές αντιστάσεις:**

Τα τελευταία χρόνια χρησιμοποιείται αρκετά ο ηλεκτρονικός τρόπος τήξης, ώστε να αποφεύγεται η υπερθέρμανση του κράματος και η εξάτμιση των κρίσιμων στοιχείων από την μάζα του, αποτελώντας μια ασφαλέστερη μέθοδο και πάντα ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή. Η αλλοίωση της σύνθεσης του κράματος από την υπερθέρμανση μπορεί να εξαχνώσει κάποια συστατικά του κράματος και το κράμα να γίνει εξαιρετικά ψαθυρό. Αυτοί οι κίνδυνοι που συνδέονται άμεσα με την τήξη με φλόγιστρο, αποφεύγονται με την χρήση ηλεκτρικών αντιστάσεων. Συγκεκριμένα η μέθοδος αυτή είναι κατάλληλη στην περίπτωση που χρησιμοποιείται κράμα με χαμηλό θερμοκρασιακό διάστημα τήξης, όπως τα κράματα ευγενών μετάλλων.

- **Με υψίσυχνα ρεύματα (επαγωγικά):**

Η λειτουργία των συσκευών βασίζεται σε ένα υψίσυχνο εναλλασσόμενο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο, του οποίου η ένταση αρχίζει από μερικές εκατοντάδες χιλιάδες Hertz και φτάνει μέχρι την περιοχή των Mega Hertz. Από την ταλάντωση των δομικών στοιχείων του κράματος και τη θερμική τους κίνηση, προκαλείται ταχύτατα η άνοδος της εσωτερικής θερμοκρασίας του κράματος. Στις συσκευές με υψίσυχνα ρεύματα χρειάζεται προσεκτική επιλογή της τοποθέτησης του μετάλλου (κύβοι) έτσι ώστε να βρίσκεται όλο το μέταλλο μέσα στο ηλεκτρομαγνητικό πεδίο και υπάρχει ο κίνδυνος της υπερθέρμανσης.

- **Με βολταϊκό τόξο:**

Η τήξη επιτυγχάνεται με την ανάπτυξη ηλεκτρικού τόξου παρουσία αδρανούς αερίου και η χύτευση γίνεται λόγω της επιτάχυνσης της βαρύτητας και την πίεση του αερίου. Χρησιμοποιείται κυρίως για τη τήξη του τιτανίου, το οποίο χαρακτηρίζεται από εξαιρετικά υψηλό σημείο τήξης.

Γενικά, η μέθοδος τήξης εξαρτάται από το κράμα εκλογής. Η τήξη των κραμάτων χρυσού μπορεί να γίνει με φλόγα προπανίου-αέρα υπό πίεση δεδομένου ότι, τα κράματα αυτά δεν έχουν εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες τήξης (850 - 1150oC). Τα χρωμιοκοβαλτιούχα κράματα τήκονται σε σχετικά υψηλές θερμοκρασίες (1250o-1500o C) και η τήξη μπορεί να γίνει είτε με φλόγα, είτε με ηλεκτρικές συσκευές ενώ όπως αναφέρθηκε το τιτάνιο τήκεται κυρίως με βολταϊκό τόξο.^{11,12,13,14}

6.6.2 Επανάτηση κράματος

Η επανάτηση, δηλαδή η επαναχρησιμοποίηση των κραμάτων που έχουν χυτευθεί από προηγούμενες εργασίες και απέμειναν στην χοάνη χύτευσης, είτε χρησιμοποιήθηκαν ως αγωγοί, εξυπηρετεί για οικονομικούς λόγους τον οδοντικό τεχνολόγο. Ωστόσο, με τις επαναλαμβανόμενες τήξεις χάνονται στοιχεία του κράματος ή προσλαμβάνονται άλλα. Το αποτέλεσμα είναι να αλλάζουν οι ιδιότητες του κράματος:

- Με την εξάχνωση των βασικών στοιχείων του κράματος παρατηρούνται σημαντικές αλλαγές ως προς τις μηχανικές ιδιότητες όπως μείωση της αντοχής στον εφελκυσμό, μείωση του ορίου διαρροής και μείωση της εκατοστιαίας επιμήκυνσής.
- Με την εξάχνωση ιχνοστοιχείων, μεταβάλλεται η επιθυμητή λεπτόκοκκη δομή του κράματος που κρίνεται ιδανική για ένα χυτό καλής μηχανικής αντοχής. Τα κράματα που εμφανίζουν τις βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες, δηλαδή καλή αντοχή στον εφελκυσμό, το επιθυμητό όριο διαρροής και την κατάλληλη σκληρότητα, έχουν λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή. Τα αδρόκοκκα κράματα εμφανίζουν αλλοιωμένες αυτές τις ιδιότητες.
- Στο κράμα που επανατήκεται παρατηρείται αυξημένη περιεκτικότητα σε άνθρακα που αυξάνει επιπλέον την σκληρότητα και μειωμένη περιεκτικότητα σε πυρίτιο και μαγγάνιο με αποτέλεσμα την μείωση της ρευστότητας του κράματος.

Επομένως για την σωστή χρήση επαναχυτευμένου κράματος πρέπει να ακολουθούνται τα εξής:

- Να γίνεται εκ νέου χρήση τους σε αναλογία μικρότερη από 50%, ώστε να προκύπτουν χυτά χωρίς εσωτερικές αλλοιώσεις και άρα με αλλοιωμένες μηχανικές ιδιότητες.
- Να γίνεται καλή προετοιμασία του επαναχρησιμοποιούμενου χυτού με αμμοβολή και καθαρισμό. Για τα κράματα χρυσού η αμμοβολή γίνεται με μικρότερη άσκηση πίεσης και μικρότερο μέγεθος κόκκων και καθαρισμός με υδατικό διάλυμα θειικού οξέος 50%v/v. Αντιστοίχως, για τα κράματα βασικών μετάλλων η αμμοβολή γίνεται με μεγαλύτερη άσκηση πίεσης και μεγαλύτερο μέγεθος κόκκων και καθαρισμός σε συσκευές ηλεκτρόλυσης.
- Η επανάτηξη είναι προτιμότερο να γίνει με ηλεκτρονικό τρόπο τήξης και όχι με φλόγιστρο, ώστε η διαδικασία να είναι ελεγχόμενη και να περιοριστεί η πιθανότητα υπερθέρμανσης που θα αλλοιώσει επιπρόσθετα τις μηχανικές ιδιότητες.

Γενικά, τα κράματα που χρησιμοποιούνται για τις οδοντικές αποκαταστάσεις μπορούν να επανατακούν εφόσον ληφθούν υπόψη οι οδηγίες του κατασκευαστή και εφόσον ληφθούν υπόψη όλες οι παράμετροι για σωστή επανάτηξη. Στην σημερινή εργαστηριακή διαδικασία γίνεται επανάτηξη βασικών κραμάτων όπως χρωμιοκοβαλτιούχα που χρησιμοποιούνται σε μερικές οδοντοστοιχίες καθώς και κραμάτων χρυσού. Με την απαραίτητη γνώση και τους κατάλληλους χειρισμούς του ειδικού οδοντικού τεχνολόγου, η επανάτηξη αποτελεί μια οικονομική λύση, η οποία μπορεί να δώσει καλής μηχανικής αντοχής χυτά.^{13,15}

6.6.3 Χύτευση κράματος

6.6.3.1 Μέθοδοι χύτευσης και συσκευές

Η χύτευση είναι η διαδικασία κατασκευής της μεταλλικής προσθετικής αποκατάστασης με την εισροή του λιωμένου κράματος στο πυροχωμάτινο πρότυπο, του οποίου το σχήμα λαμβάνει το κράμα μετά την ψύξη του.

Σε αυτό το στάδιο επιλέγεται και η ποσότητα του κράματος, η οποία εξαρτάται τόσο από το κέρινο ομοίωμα της αποκατάστασης όσο και από το ειδικό βάρος του κράματος χρήσης. Σημειώνεται ότι συνήθως τοποθετείται μεγαλύτερη ποσότητα κράματος, για να επαρκέσει το μέταλλο για το χυτό και γιατί όσο περισσότερη είναι η ποσότητα του μετάλλου τόσο μεγαλύτερη

και η φυγόκεντρη δύναμη που το ωθεί στην μήτρα. Με τον τρόπο αυτό είναι εξασφαλισμένο ότι το λιωμένο κράμα θα φθάσει και στα πιο λεπτά σημεία του χυτού χωρίς την δημιουργία ατελούς χυτού.¹¹

Για την επιτυχή χύτευση ο οδοντικός τεχνολόγος οφείλει να χρησιμοποιήσει κάθε συσκευή σύμφωνα με τις οδηγίες τους κατασκευαστή και να συνδυάσει την κατάλληλη μέθοδο χύτευσης με το επιλεγμένο κράμα και τις ιδιότητες του. Η χύτευση του κράματος μπορεί να γίνει από διάφορες συσκευές χύτευσης, οι οποίες χωρίζονται σε:

- **Φυγόκεντρες (μηχανικές ή ηλεκτρικές):**

Οι συσκευές αυτές συνδυάζονται με την τήξη του κράματος χρήσης με την τεχνική του φλόγιστρου ή με την μέθοδο με επαγωγικό ρεύμα και στην συνέχεια ακολουθεί η χύτευση.

Κάθε μηχανική φυγόκεντρη συσκευή αποτελείται από μία βάση, πάνω στην οποία περιστρέφεται ένας κατακόρυφος άξονας με την βοήθεια ενός ελατηρίου. Με τον κατακόρυφο αυτό άξονα, είναι συνδεδεμένος ένας οριζόντιος άξονας, που στο ένα άκρο του υπάρχει μια υποδοχή για την συγκράτηση του δακτυλίου χύτευσης και μια χοάνη για την τήξη του κράματος, ενώ στο άλλο άκρο του υπάρχει αντίβαρο για την ισορρόπηση της συσκευής. Για να σπλισθεί η συσκευή περιστρέφεται ο οριζόντιος βραχίονας δυο έως τρεις φορές με αντίστροφη φορά και έτσι συσπειρώνεται το ελατήριο δεσμεύοντας την ελαστική ενέργεια συσπείρωσης. Με την απελευθέρωση του βραχίονα κατά την χύτευση, απελευθερώνεται και η ελαστική ενέργεια του ελατηρίου, η οποία μετατρέπεται σε κινητική ενέργεια περιστροφής θέτοντας τον οριζόντιο βραχίονα σε περιστροφή (Εικόνα 20α).

Η ηλεκτρική φυγόκεντρη συσκευή λειτουργεί με την ίδια αρχή λειτουργίας με αυτή της μηχανικής, με την διαφορά ότι στην ηλεκτρική η περιστροφή του οριζόντιου βραχίονα πραγματοποιείται με την βοήθεια ηλεκτροκινητήρα. Ο αριθμός των στροφών είναι μια παράμετρος που προκαθορίζεται πριν την χύτευση και όταν το κράμα έχει τηχθεί κατάλληλα, ασφαρίζεται ο οριζόντιος βραχίονας και ξεκινά να λειτουργεί και ο ηλεκτροκινητήρας (Εικόνα 20β).



α

β

Εικόνα 20: Συσκευές χύτευσης α) Φυγόκεντρος μηχανική, β) Ηλεκτρονική.¹¹

- **Κενού/ ατμοσφαιρικού αέρα:**

Η ανάγκη για μείωση των ελαττωματικών χυτών και για την ευκολότερη διαχείριση των εργασιών από πλευράς του οδοντικού τεχνολόγου, οδήγησε στην εξέλιξη των μεθόδων χύτευσης και έτσι διαμορφώθηκαν και οι συσκευές κενού/ ατμοσφαιρικού αέρα. Αυτές προκαλούν την τήξη του κράματος με την ηλεκτρική θέρμανση του σκαφιδίου και σε κενό αέρα και η χύτευση (προώθηση) στον πυροχωμάτινο δακτύλιο γίνεται με πίεση ατμοσφαιρικού αέρα (Εικόνα 21).



Εικόνα 21: Συσκευή χύτευσης κενού.¹¹

- **Κενού παρουσία αδρανούς αερίου:**

Η τήξη με αυτές τις συσκευές γίνεται σε κλειστό θάλαμο (1 έως 3 λεπτά) με την χρήση γεννήτριας επαγωγικού ρεύματος με ισχυρή απόδοση θερμικής ενέργειας. Κατά την τήξη στον θάλαμο υπάρχει κενό αέρος μέσω αντλίας κενού, ώστε να αποφεύγεται ο σχηματισμός οξειδίων στο χυτό. Στην συνέχεια ακολουθεί η αντιστροφή της χοάνης χύτευσης και το κράμα εισέρχεται στο πυροχωμάτινο πρότυπο με παράλληλη άσκηση πίεσης αδρανούς αερίου (συνήθως Argon)

Γενικά, οι συσκευές αυτές είναι επαγωγικές χύτευσης που παρέχουν αξιόπιστα αποτελέσματα χύτευσης για κάθε τύπο οδοντοτεχνικού κράματος. Έχουν μικρό μέγεθος και πραγματοποιούν μια ήπια διαδικασία επαγωγικής θερμότητας μέχρι 1600 C για προθέρμανση και τήξη, γεγονός που εξασφαλίζει οικονομία στο ρεύμα και στον εξοπλισμό, εφόσον δεν είναι απαραίτητη η χρήση κλιβάνου προθέρμανσης.

Το μεγάλο πλεονέκτημα τους είναι ότι τα χυτά που παράγονται με αυτές τις συσκευές παρουσιάζουν μεγάλη ακρίβεια στο περίγραμμα και πυκνή ομοιογενή δομή χωρίς πόρους. Επομένως, τα χυτά αυτά εμφανίζουν λόγω της κρυσταλλικότητάς τους και καλή μηχανική συμπεριφορά.^{10,11,12,13}

6.6.3.2 Χύτευση τιτανίου

Η χύτευση του τιτανίου και των κραμάτων του εμφανίζει ιδιαιτερότητες λόγω του υψηλού σημείου τήξεως αλλά και της αντίδρασης που παρουσιάζει με το οξυγόνο και με άλλα στοιχεία σε υψηλές θερμοκρασίες.

Το τιτάνιο έχει σημείο τήξης τους 1688°C και για τον λόγο αυτόν κατασκευάστηκαν νέες συσκευές χύτευσης και ειδικά πυροχώματα, τα οποία θα πρέπει να μην αποσυντίθενται στην υψηλή αυτή θερμοκρασία και να αντισταθμίζουν την υψηλή συστολή του μετάλλου μέχρι τη στερεοποίησή του. Στην επιφάνεια του τιτανίου δημιουργείται μια ζώνη, που αποτελείται από οξειδία και ενώσεις του τιτανίου και εκτείνεται σε βάθος 100-200μm από την επιφάνεια του χυτού. Η ζώνη αυτή έχει πολύ μεγάλη σκληρότητα και ευθραυστότητα σε συνδυασμό με ελάχιστη ολκιμότητα και με αυτό τον τρόπο επηρεάζει τις μηχανικές ιδιότητες ολόκληρου του χυτού. Στην εργαστηριακή διαδικασία η χύτευση του τιτανίου στρέφεται στη δημιουργία όσο το δυνατόν μικρότερης ζώνης με τη χρήση ειδικών πυροχωμάτων, η σύνθεση των οποίων δεν πρέπει να επιτρέπει την ένωση των στοιχείων τους με το τιτάνιο. Η χύτευση πραγματοποιείται σε ατμόσφαιρα αδρανούς αερίου και ο τύπος του αερίου που χρησιμοποιείται έχει πολύ μεγάλη επίδραση τόσο στις μηχανικές ιδιότητες του τιτανίου, όσο και στην ακρίβεια εφαρμογής και στο πορώδες των χυτών. Και αυτό γιατί κάθε πρόσμιξη του τιτανίου με κάποιο στοιχείο μπορεί να αποδώσει μη επιθυμητές ιδιότητες στο τελικό χυτό, αλλοιώνοντας την κρυσταλλική δομή του κράματος. Επίσης κάθε επαφή του τιτανίου με το οξυγόνο μπορεί να καταστεί επιζήμια για την μηχανική αντοχή του, εφόσον οξειδώνεται με την παρουσία του. Γι' αυτό το λόγο σήμερα στις

συσκευές χύτευσης του τιτανίου χρησιμοποιούνται αποκλειστικά το αργό (Ar) ή ήλιο (He). Συμπερασματικά, οι συσκευές χύτευσης του τιτανίου επιδρούν σημαντικά στις μηχανικές ιδιότητες και επομένως στην ακρίβεια εφαρμογής και στην δημιουργία πορώδους χυτού. Δυο συστήματα ανταποκρίνονται στις προϋποθέσεις που τίθενται για την χύτευση του τιτανίου και αυτά είναι το Titaniumer (Ohara) και το Castmatic (Iwatani). Και τα δύο χρησιμοποιούν την μέθοδο με ηλεκτρικό/βολταϊκό τόξο για την τήξη του τιτανίου και για την χύτευση, το Titaniumer χρησιμοποιεί την φυγόκεντρο και η Castmatic ρεύμα αδρανούς αερίου υπό πίεση για την χύτευση (Εικόνα 22).^{10,11,12}



Εικόνα 22: Συσκευή χύτευσης τιτανίου.¹¹

6.7 Απόψυξη χυτού

Η ταχύτητα ψύξης αποτελεί ένα σημαντικό παράγοντα για την παραλαβή ενός χυτού ανθεκτικού, ικανού να ανταπεξέλθει στις απαιτήσεις του προορισμού του. Με την σωστή απόψυξη του χυτευμένου κράματος βελτιώνονται ορισμένες μηχανικές ιδιότητες με αποτέλεσμα την αυξημένη αντοχή του χυτού. Η απόψυξη, δηλαδή ο καθορισμός των τελικών θέσεων που θα λάβουν οι κρύσταλλοι στην μικροκρυσταλλική εσωτερική δομή της αποκατάστασης είναι παράγοντας που εξαρτάται άμεσα από τον οδοντικό τεχνολόγο, ο οποίος πρέπει να ακολουθήσει την ενδεδειγμένη απόψυξη ανάλογα με τις οδηγίες του κατασκευαστή κάθε κράματος. Από την άλλη, τόσο ο αριθμός των σχηματιζόμενων κόκκων κατά μονάδα επιφάνειας, όσο και το μέγεθος τους, έχουν άμεση σχέση με τις μηχανικές ιδιότητες του κράματος και εξαρτώνται από τον αριθμό των σχηματιζόμενων αρχικών πυρήνων κρυστάλλωσης. Γενικά, η μικροκρυσταλλική (λεπτόκοκκη) δομή προσδίδει στο κράμα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες ενώ η μεγαλοκρυσταλλική (αδρόκοκκη) δομή χειρότερες. Και αυτό γιατί καλύτερη μηχανική αντοχή σημαίνει καλύτερη αντίσταση των υλικών στις καταπονήσεις. Κάθε καταπόνηση εμφανίζεται ως ρωγμή στην μικροδομή των υλικών

και στην περίπτωση της συγκεκριμένης εργασίας των κραμάτων και η διάδοση της ρωγμής προχωρά όταν αυτή δεν συναντά εμπόδια στην πορεία της. Η λεπτόκοκκη δομή προσδίδει τα επιθυμητά εμπόδια που χρειάζονται για να σταματήσει η διάδοση της ρωγμής. Αντιθέτως, εάν οι γειτονικοί κόκκοι εμφανίζονται χονδρόκοκκοι επιτρέπουν την είσοδο της ρωγμής και η θραύση επέρχεται σύντομα. Άρα, ένα τέτοιο κράμα εμφανίζει μειωμένη μηχανική αντοχή σε σχέση με ένα με υπελεπτόκοκκη δομή. Επομένως, η απόψυξη αποτελεί σημαντικό παράγοντα για την καλή μηχανική συμπεριφορά του κράματος.^{1,4}

Υπάρχουν δυο τρόποι απόψυξης των κραμάτων αμέσως μετά τη χύτευση, όταν η θερμοκρασία του κράματος φθάσει τους 600°C και όταν η περίσσεια του λιωμένου υλικού στην υποδοχή του πυροχωμάτινου κυλίνδρου χάσει το διάπυρο φωτεινό της χρώμα. Είτε το χυτό υποβάλλεται σε ταχεία απόψυξη (quenching, σβήσιμο) είτε ο κύλινδρος αφήνεται να κρυώσει στον αέρα, για ένα μικρό χρονικό διάστημα (περίπου 8 με 12 λεπτά της ώρας ή και περισσότερο αναλόγως με τον όγκο του) και στη συνέχεια βυθίζεται σε δοχείο που περιέχει κρύο νερό. Ο κύλινδρος δεν πρέπει να τοποθετείται κατευθείαν στο νερό, αλλά πρέπει να αφήνεται στον αέρα να κρυώσει για δύο βασικούς λόγους:

- Αν τοποθετηθεί στο νερό, ενώ το κράμα του είναι ακόμη πολύ ζεστό τότε, η απότομη και ανώμαλη αυτή ψύξη του χυτού, μπορεί να το στρεβλώσει.
- Η παραμονή του χυτού (δακτυλίου), για μια μικρή χρονική περίοδο στον αέρα (περιβάλλον), πριν βυθιστεί στο νερό, δίνει μια ομοιόμορφη σκλήρυνση του κράματος.

Εκεί όπου απαιτείται το μέγιστο της αντοχής σε εφελκυσμό πρέπει να χρησιμοποιείται ο αργός τρόπος απόψυξης. Η γρήγορη απόψυξη του εγκλείστρου οδηγεί σε μία μείωση των τιμών της αντοχής σε εφελκυσμό ενώ προκαλεί μία αξιόλογη αύξηση της επιμήκυνσης. Η μέθοδος απόψυξης που επιτρέπει την άριστη ισορροπία των ιδιοτήτων του εφελκυσμού και της επιμήκυνσης είναι η αργή απόψυξη για 15' λεπτά της ώρας στον αέρα και μετά εμβάπτιση στο νερό.^{10,11}

Γενικά, η διαδικασία απόψυξης διαφέρει ανάλογα με το κράμα χρήσης αλλά και αναλόγως τον κατασκευαστή. Τα κράματα χρυσού ακολουθούν μια από τις παραπάνω μεθόδους ενώ ο τρόπος απόψυξης των κραμάτων χρωμίου-κοβαλτίου μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ της απότομης απόψυξης (άμεση εμβάπτιση σε νερό) και της αργής απόψυξης σε έναν φούρνο. Εκεί όπου απαιτείται το μέγιστο της αντοχής σε εφελκυσμό πρέπει να χρησιμοποιείται ο αργός τρόπος απόψυξης. Η γρήγορη απόψυξη οδηγεί σε μείωση των τιμών της αντοχής στον εφελκυσμό ενώ

προκαλεί μία αξιόλογη αύξηση της επιμήκυνσης. Η μέθοδος απόψυξης που επιτρέπει την άριστη ισορροπία των ιδιοτήτων του εφελκυσμού και της επιμήκυνσης είναι η αργή απόψυξη για 15 λεπτά της ώρας στον αέρα και μετά εμβάπτιση στο νερό. Ειδικά για τα κράματα χρωμίου-κοβαλτίου η απόψυξη όσο και η θερμική κατεργασία έχουν άμεση επίδραση στην μεταλλογραφική δομή του κράματος, δηλαδή στο μέγεθος των κόκκων και στην κατανομή των καρβιδίων μέσα στη μάζα του χυτού. Μέσω πειραμάτων έχει αποδειχθεί ότι ο τύπος της μεταλλογραφικής δομής του κράματος χρωμίου-κοβαλτίου καθορίζει και τις μηχανικές ιδιότητες της χυτευμένης κατασκευής. Ο οδοντικός τεχνολόγος καλείται να έχει άριστη γνώση των υλικών που χρησιμοποιεί, έτσι ώστε να χρησιμοποιήσει και την κατάλληλη μέθοδο απόψυξης και να διαμορφώσει μια εργασία άρτιας μηχανικής αντοχής.^{11,12,13}

6.8 Επεξεργασία χυτού

Η επεξεργασία του χυτού μετά την χύτευση περιλαμβάνει τον καθαρισμό από το πυρόχωμα, την λείανση και την στίλβωση και σε αυτό το στάδιο χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή, ώστε να μην αλλοιωθούν τα ήδη υπάρχοντα αποτελέσματα ως προς την μηχανική αντοχή του χυτού.

Αρχικά το χυτό απομακρύνεται από το πυρόχωμα με χρήση ειδικού κόφτη και ελαφρύ χτύπημα με σφυρί για να μην υπάρξει στρέβλωση του χυτού. Ακολουθεί αμμοβολή με αυτόματη συσκευή (κλειστή) και με συσκευή κατευθυνόμενη με το χέρι, ώστε να απομακρυνθούν αφενός τα ίχνη του πυροχώματος και αφετέρου τα επιφανειακά οξειδία που σχηματίζονται κατά την χύτευση. Ο καθαρισμός για τα χυτά από κράματα χρυσού γίνεται με χημικό τρόπο σε υδατικό διάλυμα θειικού οξέος 50% και για τα χυτά από βασικά κράματα γίνεται σε συσκευή ηλεκτρόλυσης και όχι σε λουτρό οξέων, ενώ και τα χυτά από κράματα αργύρου-παλλαδίου δεν τοποθετούνται σε λουτρό οξέων. Η επεξεργασία με το οξύ είναι καλό να γίνεται με την θέρμανση του ίδιου του οξέος και όχι του χυτού, γιατί σε αντίθετη περίπτωση προκαλείται στρέβλωση του χυτού και αλλοίωση της σκλήρυνσης που επιτεύχθηκε με την σωστή απόψυξη. Το διάλυμα θειικού οξέος είναι το καταλληλότερο, εφόσον δεν βλάπτει κανένα κράμα χρυσού και εφόσον οι ατμοί του είναι λιγότερο διαβρωτικοί σε σύγκριση με άλλα οξέα.

Ακολουθεί το κόψιμο των αγωγών χύτευσης και γίνεται έλεγχος εφαρμογής πριν την κατεργασία, λείανση-στίλβωση και έλεγχος δομικής ακεραιότητας ειδικά αν πρόκειται για χυτό από τιτάνιο. Η μεταλλική αποκατάσταση εφαρμόζεται στο εκμαγείο και αφαιρούνται οι

επιφανειακές ατέλειες έτσι ώστε μετά και την στίλβωση να αποδοθεί εργασία ανεκτή από τον ασθενή.^{11,12}

Η λείανση αποσκοπεί στο να απαλλάξει το χυτό από ανωμαλίες και από την επιφανειακή αδρότητα, να αποκτήσει μια λεία και ομαλή επιφάνεια με σωστή εφαρμογή και να εξομαλύνει επιφάνειες του χυτού που ενδέχεται να προκαλέσουν τραυματισμό στους ιστούς και να ευνοήσουν την κατακράτηση μικροβιακής πλάκας. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται στην ταχύτητα περιστροφής των εργαλείων και στη πίεση που ασκείται στην επιφάνεια του χυτού, για να αποφευχθεί πιθανή βλάβη αλλά και υπερθέρμανση του κράματος αλλοιώνοντας τις ιδιότητες του και προκαλώντας στρέβλωση.

Η στίλβωση ως τελικό στάδιο επεξεργασίας αποδίδει την επιθυμητή στιλπνότητα και λάμψη στο χυτό, με σκοπό την διατήρηση της υγείας των περιοδοντικών ιστών, χωρίς να ευνοείται ο σχηματισμός μικροβιακής πλάκας και διευκολύνοντας την καλή στοματική υγιεινή. Η καλή στίλβωση του μεταλλικού σκελετού δεν εξαρτάται από την δύναμη που ασκείται επάνω στον σκελετό από τον δίσκο, αλλά από τις στροφές του δίσκου και από την πείρα και την προσοχή του οδοντοτεχνίτη. Ένας άλλος τρόπος στίλβωσης καλείται ηλεκτροστίλβωση, με την οποία τα ιόντα μετάλλου από τις «κορυφές» που εξέχουν ή από τα όρια εσοχών, απομακρύνονται από το σκελετό και οδεύουν προς την κάθοδο. Το αποτέλεσμα είναι η κάθοδος διαρκώς να αμαυρώνεται από την επικάθιση τους και το χυτό να αποκτά μια ομαλή και στιλπνή επιφάνεια.^{11,12,13}

7. Σημεία προσοχής σε κατασκευή κάθε είδους χυτής αποκατάστασης

7.1 Είδη προσθετικών εργασιών

Αντικείμενο της οδοντοτεχνικής αποτελεί η κατασκευή προσθετικών αποκαταστάσεων, δηλαδή η αποκατάσταση στοιχείων του στοματογναθικού συστήματος που έχουν απολεστεί ή ελλείπουν εκ γενετής. Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια μέρους της μύλης, μεγαλύτερου τμήματος της μύλης ή ακόμα η απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών. Σκοπός των προσθετικών αποκαταστάσεων είναι η αποκατάσταση ή η βελτίωση της αισθητικής εμφάνισης του προσώπου, της φωνητικής απόδοσης, της μασητικής ικανότητας και η διατήρηση της υγείας των ιστών του στοματογναθικού συστήματος.

Τα είδη των προσθετικών αποκαταστάσεων είναι τα εξής:

A) Ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις: Είναι η κατασκευή ακίνητων προσθέσεων, δηλαδή εργασιών που τοποθετούνται από τον οδοντίατρο και δεν αφαιρούνται και επανατοποθετούνται από τον ασθενή. Οι κατασκευές αυτές κατατάσσονται σε αυτές που διαθέτουν μεταλλικό σκελετό (ένθετα/επένθετα, στεφάνες, γέφυρες) και σε αυτές χωρίς μεταλλικό σκελετό (ένθετα/επένθετα/υπερένθετα, στεφάνες, γέφυρες, προστομιακές όψεις).

B) Κινητές προσθετικές αποκαταστάσεις: Είναι η κατασκευή κινητών προσθέσεων, δηλαδή εργασιών που τοποθετούνται και αφαιρούνται από τον ίδιο τον ασθενή. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι ολικές οδοντοστοιχίες, οι μερικές οδοντοστοιχίες και οι γναθοπροσωπικές αποκαταστάσεις

Γ) Αποκαταστάσεις επί εμφυτευμάτων: Είναι ο κλάδος της προσθετικής που ασχολείται με την κατασκευή ακίνητων ή κινητών εργασιών που εδράζονται σε εμφυτεύματα.

Για κάθε τύπο αποκατάστασης με μεταλλικό υπόστρωμα στόχος είναι η κατασκευή μιας άρτιας μηχανικής αντοχής εργασία. Έτσι, ακολουθούνται όλες οι διαδικασίες με τον τρόπο που αναφέρθηκαν αναλυτικά στο προηγούμενο κεφάλαιο και ο οδοντικός τεχνολόγος καλείται να επιλέξει το σωστό κράμα χρήσης για κάθε τύπο εργασίας. Η επιλογή του σωστού κράματος αποτελεί κύριο παράγοντα για την επιτυχία κάθε προσθετικής αποκατάστασης. Για το κράμα εκλογής λαμβάνονται υπόψη παράμετροι όπως το κόστος, το είδος της προσθετικής εργασίας, η

συμβατότητα του συντελεστή θερμικής διαστολής καθώς και οι ιδιότητες του κράματος (αντοχή, μέτρο ελαστικότητας, αντίσταση στην διάβρωση, σκληρότητα, χυτευσιμότητα, βιοσυμβατότητα, επίδραση στο χρώμα της πορσελάνης).^{12,13}

7.2 Ακίνητες προσθέσεις με μεταλλικό σκελετό:

7.2.1 Ένθετα/Επένθετα:

Ένθετα ή ένθετες εμφράξεις ονομάζονται οι ακίνητες προσθέσεις που κατασκευάζονται και τοποθετούνται σε παρασκευασμένη κοιλότητα της μύλης του δοντιού, περιβάλλονται από οδοντικού ιστούς και αποκαθιστούν την οδοντική ουσία που έχει χαθεί εξαιτίας τερηδόνας ή κατάγματος. Τα ένθετα χρησιμεύουν σε αναπλήρωση μικρής ποσότητας οδοντικής ουσίας που έχει χαθεί λόγω τερηδόνας ή κατάγματος και σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιούνται ως στηρίγματα μικρής έκτασης γεφυρών. Τα ένθετα ανάλογα με την επιφάνεια του δοντιού που καταλαμβάνουν, κατατάσσονται σε πέντε ομάδες με τα Ιης και τα ΙΙης να αποτελούν την πλειονότητα των αποκαταστάσεων.¹

Επένθετα ονομάζονται τα ένθετα τα οποία, εκτός από την κοιλότητα του δοντιού, επεκτείνονται και καλύπτουν και την μασητική επιφάνεια η μέρος αυτής. Αυτά τοποθετούνται σε προγόμφιους και γομφίους που έχει καταστραφεί μέρος της μύλης τους αλλά έχει απομείνει επαρκής οδοντική ουσία. Τα επένθετα πλεονεκτούν σε σύγκριση με τα ένθετα, καθώς δεν υπάρχει ο κίνδυνος κατάγματος φυμάτων λόγω της συνολικής κάλυψης της μασητικής επιφάνειας.

Για την κατασκευή ενθέτων και επενθέτων χρησιμοποιούνται κράματα χρυσού, κεραμικά υλικά και φωτοπολυμεριζόμενες σύνθετες ρητίνες. Στην περίπτωση κατασκευής από κράμα χρυσού, τα ένθετα Ι και V ομάδας κατασκευάζονται από κράματα τύπου Ι (μαλακά), τα ένθετα ΙΙ ομάδας από κράματα τύπου ΙΙ (μέτριας σκληρότητας) και τα ένθετα VI ομάδας από κράματα τύπου ΙΙΙ (σκληρά). Για να κατασκευαστεί ένα ένθετο ή επένθετο άρτιας μηχανικής αντοχής, ο οδοντικός τεχνολόγος οφείλει να χρησιμοποιήσει το κατάλληλο κράμα για κάθε τύπο ομάδας και να ακολουθήσει κάθε σημείο που προαναφέρθηκε γνωρίζοντας τις συνέπειες κάθε λάθους βήματος.

Κατά την διάρκεια του κερώματος, πρέπει να χρησιμοποιούνται κεριά που δεν αφήνουν κατάλοιπα, έτσι ώστε να μην υπάρξει επιμόλυνση του κράματος, δηλαδή προσθήκες στοιχείων στο κράμα που θα διαταράξουν την κρυσταλλική δομή του και θα του αλλοιώσουν μηχανικές

ιδιότητες, δίνοντας του περισσότερο ψαθυρό χαρακτήρα. Επίσης, ανάλογα με την ομάδα του ενθέτου χρησιμοποιείται και ο αντίστοιχος αγωγός χύτευσης. Στα ένθετα 1ης ομάδας τοποθετείται ένας κέρινος αγωγός χύτευσης μήκους μέχρι 5mm και διαμέτρου 3mm, ο οποίος συγκολλάται με μικρή ποσότητα συγκολλητικού κεριού στο κέντρο της μασητικής επιφάνειας του ενθέτου, με φορά κάθετη προς αυτήν. Σε ένθετα 2ης ομάδας ο αγωγός τοποθετείται στο μέσο της όμορης οριακής ακρολοφίας, με κλίση 45ο ως προς τον επιμήκη άξονα του δοντιού (Εικόνα 23α). Ενώ σε ένθετο 2ης ομάδας εγγύς-άπω-μασητικό τοποθετούνται δύο αγωγοί χύτευσης στις δύο όμορες οριακές ακρολοφίες, οι οποίοι ενώνονται σε σχήμα V, ώστε να εξασφαλιστεί η πλήρη χύτευση του ενθέτου (Εικόνα 23β).^{1,5,11}



α



β

Εικόνα 23: Σωστή τοποθέτηση αγωγού χύτευσης σε:

α) Ένθετο 2ης ομάδας, β) Εγγύς-άπω-μασητικό ένθετο.¹¹

7.2.2 Στεφάνες:

Οι στεφάνες είναι ακίνητες προσθέσεις και διακρίνονται σε ολικές στεφάνες ή στεφάνες ολικής επικάλυψης και σε μερικές στεφάνες ή στεφάνες μερικής επικάλυψης. Οι στεφάνες μερικής επικάλυψης είναι μεταλλικές χυτές στεφάνες, οι οποίες δεν καλύπτουν όλες τις επιφάνειες του δοντιού και τοποθετούνται σε δόντια με ικανοποιητικό μέγεθος μύλης απαλλαγμένων από τερηδόνα. Οι τύποι των μερικών στεφανών είναι οι στεφάνες $\frac{3}{4}$ (πρόσθια δόντια - καλύπτουν τρεις από τις τέσσερις επιφάνειες), οι στεφάνες $\frac{4}{5}$ (οπίσθια δόντια - καλύπτουν τέσσερις από τις πέντε επιφάνειες) και οι ηλοπαγείς στεφάνες ή καρφιδόπηκτα (καλύπτουν κυρίως την γλωσσική επιφάνεια του δοντιού και η συγκράτησή τους επιτυγχάνεται με καρφίδες που συγκολλούνται σε αντίστοιχα φρεάτια της γλωσσικής επιφάνειας). Από την άλλη οι στεφάνες ολικής επικάλυψης είναι οι προσθέσεις που περιβάλλουν την μύλη του δοντιού, καλύπτοντας όλη την επιφάνεια μέχρι το αυχενικό όριο της παρασκευής.¹

Οι στεφάνες κατασκευάζονται από κράματα Pd-Cu, Pd-Ag, Ni-Cr-Be και Au-Pd (με μικρή περιεκτικότητα σε Ag). Κάθε κράμα πρέπει να χειρίζεται κατάλληλα από τον ειδικό σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή, ώστε να επιτυγχάνεται το βέλτιστο αποτέλεσμα και να μην αλλοιώνονται οι επιθυμητές ιδιότητες.

Στην διαδικασία κατασκευή αυτών των χυτών αποκαταστάσεων ακολουθούνται τα ανάλογα βήματα από τον οδοντικό τεχνολόγο. Ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται η ύπαρξη δεξαμενών απαέρωσης όταν κρίνεται απαραίτητο από την πολυπλοκότητα της εργασίας και στην επένδυση με πυρόχωμα. Σε λεπτόκοκκα πυροχώματα και σε κέρινα ομοιώματα μεγάλου όγκου και έκτασης κρίνεται απαραίτητη η χρήση τους για την διαφυγή των αερίων. Εάν δεν διαφύγουν τα αέρια που συσσωρεύονται κατά την χύτευση στο εσωτερικό του πυροχωμάτινου δακτυλίου, αυτά θα ενσωματωθούν στο κράμα της αποκατάστασης, σχηματίζοντας πορώδες στο τελικό χυτό. Το πορώδες χυτό δεν παρέχει καλή μηχανική αντοχή, εφόσον αυξάνει την ψαθυρότητα με την εσωτερική ανομοιογένεια που δημιουργεί και είναι γνωστό πως κάθε αποκατάσταση άρτιας μηχανικής αντοχής διακρίνεται για την ομοιογένεια των κρυστάλλων στο εσωτερικό της. Η επένδυση πρέπει να ξεκινά σταδιακά με μικρές εναποθέσεις του ρευστού πυροχώματος στα σημεία όπου χρειάζεται αναπαραγωγή λεπτομερειών και στην συνέχεια πλήρωση του δακτυλίου (Εικόνα 24).^{1,5,11,12,13}



Εικόνα 24: Σταδιακή επένδυση του δακτυλίου με πυρόχωμα.¹¹

7.2.3 Γέφυρες:

Οι γέφυρες είναι ακίνητες προσθετικές αποκαταστάσεις που προορίζονται να αναπληρώσουν το κενό που δημιουργείται στον οδοντικό φραγμό μετά την απώλεια ενός ή περισσότερων δοντιών. Συγκεκριμένα, μια γέφυρα αποτελείται από τα φυσικά δόντια ή τις ρίζες, στα οποία στηρίζεται και

ονομάζονται στηρίγματα, από τις προσθέσεις επάνω στα δόντια στηρίγματα και ονομάζονται συγκρατήματα, από το μέρος της γέφυρας που αναπληρώνει την έλλειψη των δοντιών και από το σύνδεσμο, που ενώνει τα συγκρατήματα με το γεφύρωμα ή τα γεφυρώματα μεταξύ τους.¹

Οι τύποι των γεφυρών με μεταλλικό υπόστρωμα είναι η ολική χυτή και η ολική χυτή με προστομιακή όψη ή με σύγχρονα αισθητικά υλικά. Η ολική χυτή κατασκευάζεται εξ' ολοκλήρου από κράμα, είτε ως ένα χυτό είτε με συγκόλληση των μερών της, και παρουσιάζει την μεγαλύτερη αντοχή σε σχέση με όλους τους άλλους τύπους γεφυρών. Η κατασκευή της ακολουθεί την διαδικασία κατασκευής χυτών αποκαταστάσεων με την αντίστοιχη σχεδίαση. Από την άλλη, η ολική χυτή με όψη γέφυρα αποτελεί μια ιδιαίτερη εργασία και κατατάσσεται σε μεταλλοκεραμική, μεταλλοακρυλική ή μεταλλοπολυμερής. Σε αυτή την περίπτωση τα κράματα εκλογής πρέπει να διαθέτουν αυξημένη αντοχή και σκληρότητα και η σχεδίαση του σκελετού ακολουθεί ειδικές προδιαγραφές για την στήριξη του υλικού της όψης.¹¹

Η εκλογή του κατάλληλου υλικού, η καλή γνώση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των υλικών και η κατάλληλη σχεδίαση της γέφυρας είναι οι κύριοι παράγοντες καλής μηχανικής αντοχής της εργασίας. Ως προς το υλικό εκλογής, τα κράματα που χρησιμοποιούνται για γέφυρες πρέπει να είναι συμβατά με το αισθητικό υλικό εκλογής. Η συμβατότητα των συντελεστών θερμικής διαστολής είναι απαραίτητη για να επιτύχει η αποκατάσταση. Συγκεκριμένα, τα κράματα για γέφυρες είναι τα Ni-Cr-Be, Pd-Ag, Au-Pd (με μειωμένη περιεκτικότητα σε Ag) και ο ειδικός οδοντικός τεχνολόγος οφείλει να διαβάσει προσεκτικά τις οδηγίες του κατασκευαστή πριν την χρήση τους, εφόσον καθορίσει τις προδιαγραφές που θέλει για την κατασκευή μιας γέφυρας. Ως προς την σχεδίαση των γεφυρών είτε των ολικών χυτών είτε αυτών με αισθητική επικάλυψη, το μεταλλικό υπόστρωμα πρέπει να διαθέτει ικανοποιητικό πάχος κυρίως στην περίπτωση της γέφυρας με όψη. Η μηχανική αντοχή του μεταλλικού μέρους της γέφυρας, δηλαδή μια ομοιογενής κατάταξη των κρυστάλλων της εσωτερικής δομής επιτυγχάνεται με τα επιθυμητά πάχη σε κάθε μέρος της γέφυρας κατά την σχεδίαση.^{1,11,13}

Τα συγκρατήματα, οι σύνδεσμοι και το γεφύρωμα κερώνονται με σκοπό την διαμόρφωση μιας εργασίας ικανής να ανταπεξέλθει στις καταπονήσεις του στοματικού περιβάλλοντος. Ανάλογα με την επιλογή του συγκρατήματος, του συνδέσμου και της έκτασης του γεφυρώματος κερώνεται μια διαφορετική σχεδιαστικά πρόσθεση, η οποία στην συνέχεια θα χυτευθεί:

➤ **Συγκρατήματα:**

Τα συγκρατήματα που κατασκευάζονται πάνω σε φυσικά δόντια ή ρίζες δοντιών μπορεί να είναι μια ολική χυτή στεφάνη, μια στεφάνη με όψη, μια μεταλλοπολυμερής ή μεταλλοκεραμική, μια ολοκεραμική ή μια στεφάνη με ενισχυμένα πολυμερή ή και σε ορισμένες περιπτώσεις ένα ένθετο ή επένθετο. Η σχεδίαση αυτών ακολουθεί την σχεδίαση κάθε εργασίας μεμονωμένα.¹¹

➤ **Γεφύρωμα:**

Το μέρος αυτό αντικαθιστά ένα ή περισσότερα δόντια και η σχεδίαση του πρέπει να εξασφαλίσει την αντοχή του στις αυξημένες δυνάμεις της μάσησης που θα δεχθεί στο στοματικό περιβάλλον. Η αυξημένη κάμψη που ασκείται σε αυτό το σημείο της γέφυρας οφείλεται στην παραμόρφωση που υφίστανται λόγω της ασκούμενης δύναμης στον επιμήκη άξονα του. Προκειμένου να εξασφαλιστεί η απαραίτητη ακαμψία του γεφυρώματος, λαμβάνεται υπόψη η θεωρία των δοκών. Σύμφωνα με αυτή, όταν το μήκος του γεφυρώματος αυξάνεται στο διπλάσιο, η κάμψη οκταπλασιάζεται, δηλαδή η αντοχή του γεφυρώματος μειώνεται στο 1/8. Επίσης, όταν το ύψος του γεφυρώματος, κατά την αυχενομασητική διάσταση μειωθεί κατά το ήμισυ, η κάμψη επίσης οκταπλασιάζεται, γιατί είναι αντιστρόφως ανάλογη του πάχους στον κύβο. Επομένως, η σχεδίαση του γεφυρώματος πρέπει να πληρεί τα κριτήρια της θεωρίας των δοκών για να εμφανίζει ικανοποιητική αντοχή.¹¹

➤ **Σύνδεσμοι:**

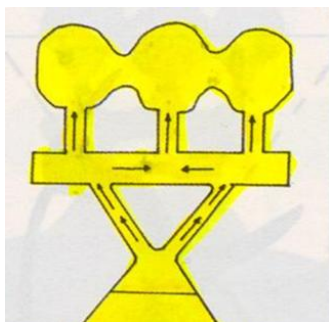
Οι σύνδεσμοι που τοποθετούνται στις όμορες επιφάνειες μεταξύ συγκρατήματος και γεφυρώματος ή μεταξύ γεφυρωμάτων σχεδιάζονται έτσι ώστε να αποτελούν μια επιφάνεια και όχι ένα σημείο. Η έκταση αυτής της επιφάνειας κρίνεται αναγκαία για να εξασφαλίζεται η αντοχή του συνδέσμου στις δυνάμεις της μάσησης χωρίς να διατρέχουν τον κίνδυνο θραύσης ή παραμόρφωσης. Η θέση και το σχήμα του προσαρμόζονται ανάλογα με το εάν πρόκειται για πρόσθια ή οπίσθια κατασκευή και η σχεδίαση τους είναι συγκεκριμένη. Σε γέφυρα προσθίων δοντιών, οι σύνδεσμοι σχεδιάζονται κατά την αυχενοκοπτική διάσταση στο κοπτικό τριτημόριο της μύλης και λίγο πιο κάτω από το κοπτικό χείλος, αφήνοντας κοπτικά ένα μικρό τριγωνικό χώρο και προς τον αυχένα ένα μεγαλύτερο τριγωνικό χώρο. Στην χειλοογλωσσική διάσταση, ο σύνδεσμος πρόσθιας γέφυρας καταλαμβάνει μικρότερη έκταση λόγω του περιορισμένου χώρου. Σε γέφυρα οπίσθιων δοντιών, ο σύνδεσμος σχεδιάζεται στο μασητικό τριτημόριο τη μύλης, εκτός από τα οπίσθια κάτω δόντια όπου σχεδιάζεται στο μέσο τριτημόριο και παρειογλωσσικά σχεδιάζεται

παρειοκά της μεσότητας των δοντιών, ενώ μεταξύ πρώτου και δεύτερου γομφίου της άνω ακριβώς στην μέση. Σύμφωνα με αυτές τις προδιαγραφές σχεδίασης και τοποθέτησης των συνδέσμων, κάθε γέφυρα και συγκεκριμένα κάθε σύνδεσμος είναι ικανός να ανταπεξέλθει στις καταπονήσεις εντός της στοματικής κοιλότητας.¹¹

Ως προς την διαδικασία χύτευσης μιας γέφυρας άρτιας μηχανικής αντοχής, έμφαση δίνεται στα εξής στάδια:

- **Τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης:**

Αυτή γίνεται κατά τα γνωστά από τα παχύτερα μέρη των μασητικών ή γλωσσικών επιφανειών και με την κλίση των 45ο ως προς την επιφάνεια του κεριού. Με τα κατάλληλα μήκη των αγωγών αυτοί πρέπει να συνδέονται ομαλά στην δεξαμενή σχήματος δοκού, έτσι ώστε να υπάρχει ομαλή ροή του κράματος και να αποφεύγεται η στροβιλώδης ροή. Η διαμόρφωση μιας δοκού χωρίς απότομες γωνίες και ομαλά σχεδιασμένη εξασφαλίζει την σωστή χύτευση και των λεπτότερων σημείων της γέφυρας, όπως των συνδέσμων που την αποτελούν (Εικόνα 25).



Εικόνα 25: Σωστή διαμόρφωση της δεξαμενής σχήματος δοκού για ομαλή ροή του κράματος.¹¹

- **Τοποθέτηση στον δακτύλιο και επένδυση με πυρόχωμα:**

Οι αποστάσεις, όπως έχει προαναφερθεί, από τα τοιχώματα του δακτυλίου πρέπει να τηρούνται, για την διαφυγή των αερίων και την διατήρηση των ίδιων θερμοκρασιακών συνθηκών για όλα τα μέρη της γέφυρας. Επίσης, για την αποφυγή πορώδους η επένδυση πρέπει να γίνεται σταδιακά με την εναπόθεση του πυροχώματος στα λεπτότερα σημεία του κέρινου ομοιώματος και στην συνέχεια με την ολική πλήρωση του δακτυλίου, όπως και στην περίπτωση των στεφανών.^{11,13}

7.3 Κινητές προσθέσεις με μεταλλικό σκελετό/ Μερικές οδοντοστοιχίες

7.3.1 Γενικά περί μερικών οδοντοστοιχιών

Μερική οδοντοστοιχία (Μ.Ο.) είναι η κινητή πρόσθεση που αντικαθιστά ένα ή περισσότερα, ή όλα εκτός από ένα, φυσικά δόντια. Αυτές είτε μόνιμες είτε μεταβατικές διακρίνονται σε συμβατικές μερικές οδοντοστοιχίες, άμεσες μερικές οδοντοστοιχίες (τοποθετούνται στην ίδια συνεδρία με τις εξαγωγές) επένθετες μερικές οδοντοστοιχίες (στηρίζονται τόσο στον βλεννογόνο των νωδών φατνιακών ακρολοφιών όσο και σε ρίζες δοντιών που έχουν διατηρηθεί με ενδοδοντική θεραπεία).¹

Η πληθώρα των συνδυασμών νωδότητας για κάθε γνάθο, τα διάφορα είδη κινητών προσθέσεων και η ανάγκη μιας ορθολογιστικής επικοινωνίας μεταξύ οδοντιάτρων και οδοντοτεχνιτών οδήγησε σε διάφορα συστήματα ταξινόμησης με επικρατέστερο την κατά Kennedy (4 ομάδες):

- I. Αμφοτερόπλευρα νωδές περιοχές πίσω από τα φυσικά δόντι
- II. Ετερόπλευρα νωδή περιοχή πίσω από τα φυσικά δόντια
- III. Ετερόπλευρα νωδή περιοχή με ύπαρξη τελευταίου γομφίου
- IV. Πρόσθια νωδή περιοχή μπροστά από τα υπάρχοντα φυσικά δόντι

Ακόμα υπάρχει και η κατάταξη κατά Bailyn κατηγοριοποιώντας τις Μ.Ο. σε οδοντικής στήριξης, μικτής στήριξης και βλεννογόνιας στήριξης. Οι δυο αυτές ταξινομήσεις αποτελούν την βάση για την σχεδίαση των Μ.Ο., εφόσον κατευθύνουν τον οδοντικό τεχνολόγο στις παραμέτρους που πρέπει να λάβει υπόψη για την ορθή λειτουργικότητα και την επιτυχία της εργασίας.^{10,12}

7.3.2 Τμήματα μερικής οδοντοστοιχίας

Τα τμήματα μιας Μ.Ο. είναι ο μεταλλικός σκελετός, οι ακρυλικές βάσεις ή εφίππια και τα τεχνητά δόντια. Ο μεταλλικός σκελετός αποτελείται από τον μεγάλο συνδετήρα, τους μικρούς συνδετήρες, το πλέγμα συγκράτησης και τα συγκρατητικά στοιχεία. Για την κατασκευή ενός ανθεκτικού μεταλλικού σκελετού από κράμα πρέπει κάθε τμήμα του να διαμορφωθεί με κάποιες προϋποθέσεις:

A) Μεγάλος συνδετήρας:

Είναι το τμήμα του μεταλλικού σκελετού που συνδέει σταθερά τις βάσεις ή εφίππια της Μ.Ο. μεταξύ τους, ή τη βάση του ενός ημιμορίου με τα συγκρατητικά στοιχεία του απέναντι ημιμορίου. Οι μεγάλοι συνδετήρες που σχεδιάζονται στις Μ.Ο. της άνω γνάθου είναι οι εξής:

- Υπερώια Ζώνη
- Διπλή Υπερώια Δοκός ή Ζώνη
- Υπερώιο πέταλο ή Ίππειο πέταλο
- Υπερώια πλάκα

Αντίστοιχα, οι μεγάλοι συνδετήρες που σχεδιάζονται στις Μ.Ο. της κάτω γνάθου είναι οι εξής:

- Γλωσσική δοκός
- Γλωσσική πλάκα
- Δοκός γλωσσικού φύματος (δοκός KARLSEN)
- Υπογλώσσια δοκός
- Χειλική δοκός
- Οριζόντια περιστρεφόμενη δοκός

Ο οδοντοτεχνίτης καλείται να επιλέξει τον μεγάλο συνδετήρα που θα χρησιμοποιηθεί για κάθε Μ.Ο. Τα κριτήρια που θα βοηθήσουν στην καλύτερη επιλογή αφορούν τα ανατομικά δεδομένα της επιφάνειας έδρασης, την έκταση της επιφάνειας που προσφέρεται για κάλυψη, τον αριθμό και την ποιότητα των υπαρχόντων δοντιών στηριγμάτων (κατηγορίες Μ.Ο.), το είδος του αντίθετου φραγμού (φυσικά δόντια, ακίνητες ή κινητές προσθέσεις), την ανοχή του ασθενή (ιδιαίτερα η εμπειρία του από προηγούμενη ΜΟ) και τις προϋποθέσεις της στοματικής υγιεινής.

Ως προς την σχεδίαση του μεγάλου συνδετήρα για την επίτευξη ικανοποιητικής αντοχής, κάθε τύπος πρέπει να εμφανίζει την απαραίτητη ακαμψία, ώστε αυτοί να μεταφέρουν τις δυνάμεις που ασκούνται κατά την μάσηση σε όλες τις επιφάνειες έδρασης της Μ.Ο. Για παράδειγμα στη περίπτωση του υπερώιου πέταλου, το βασικό μειονέκτημα θεωρείται η ανεπαρκής ακαμψία του, που συνήθως οφείλεται σε λανθασμένες προδιαγραφές κατασκευής, η οποία σε συνδυασμό με τις

ασκούμενες δυνάμεις κατά τη μάσηση, προκαλούν την κόπωση του μετάλλου κατά την μέση γραμμή και έτσι αυξάνεται η πιθανότητα θραύσης. Ωστόσο, με μικρές παραλλαγές σε ότι αφορά το πλάτος του προσθίου τμήματος, είναι ο πλέον χρησιμοποιούμενος μεγάλος συνδετήρας για ΜΟ άνω γνάθου. Από αυτό συμπεραίνεται πως ο οδοντικός τεχνολόγος πρέπει να επιδιώξει με τον σχεδιασμό την ακαμψία κατά την κατασκευή του μείζονος συνδετήρα, ώστε να υπάρξει καλή αντοχή του.¹⁰

Β) Μικροί Συνδετήρες:

Αποτελούν μικρές και λεπτές προεκτάσεις των μεγάλων συνδετήρων και συνδέουν τον μεγάλο συνδετήρα ή τη βάση της Μ.Ο. με τα υπόλοιπα τμήματα της. Οι μικροί συνδετήρες όταν συνδέουν άγκιστρα με τον υπόλοιπο μεταλλικό σκελετό, σχεδιάζονται να εφαρμόζουν στις όμορες επιφάνειες των δοντιών ή στα μεσοδόντια, ενώ όταν συνδέουν έμμεσα συγκρατητικά στοιχεία, σχεδιάζονται να εφαρμόζουν σε μεσοδόντιες περιοχές. Σε οποιαδήποτε σχεδίαση ανάλογα με την λειτουργία των μικρών συνδετήρων κύριος γνώμονας για την επιτυχή αντοχή αποτελεί για άλλη μια φορά η ακαμψία όπως στην περίπτωση των μεγάλων συνδετήρων.¹⁰

Γ) Πλέγμα Συγκράτησης:

Αποτελεί προέκταση των μεγάλων συνδετήρων επάνω στις φατνιακές ακρολοφίες και χρησιμεύει για τη μηχανική συγκράτηση των ακρυλικών εφίπιδων με τα τεχνητά δόντια στο μεταλλικό σκελετό της Μ.Ο. Σχεδιαστικά απαραίτητη κρίνεται η ακαμψία του.¹⁰

Δ) Συγκρατητικά Στοιχεία:

Είναι τα τμήματα του μεταλλικού σκελετού της Μ.Ο. που εφαρμόζουν στα δόντια στηρίγματα και με τα οποία επιτυγχάνεται η λειτουργική σταθερότητα της Μ.Ο. (συγκράτηση, στήριξη, σταθερότητα). Τα συγκρατητικά στοιχεία διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: άμεσα (εφαρμόζουν στα κύρια ή πρωτεύοντα δόντια στηρίγματα και παρέχουν στήριξη, συγκράτηση και σταθερότητα) και έμμεσα (εφαρμόζουν σε δευτερεύοντα δόντια στηρίγματα και παρέχουν πρόσθετη στήριξη και σταθερότητα).

Τα άμεσα συγκρατητικά στοιχεία είναι τα εξής:

- Άγκιστρα:

Αποτελούν τον πλέον συνήθη, απλό και ασφαλή τρόπο επαφής της Μ.Ο. με τα δόντια στηρίγματα, διότι προκαλούν τις λιγότερες δυνατές βλάβες στα δόντια στηρίγματα και σχεδιάζονται και κατασκευάζονται εύκολα και οικονομικά, αφού αποτελούν τμήματα του μεταλλικού σκελετού.

Τα άγκιστρα ταξινομούνται αναλόγως με τον τρόπο κατασκευής τους σε χυτά, συρμάτινα και μικτά. Τα χυτά άγκιστρα σχεδιάζονται και χρησιμοποιούνται είτε ενσωματωμένα στο μεταλλικό σκελετό είτε μεμονωμένα και συγκολλούνται στην ακρυλική βάση της Μ.Ο. (επιδιορθώσεις). Τα συρμάτινα άγκιστρα χρησιμοποιούνται κυρίως σε προσωρινές Μ.Ο. και κατασκευάζονται από εύκαμπτο μέταλλο, προσαρμόζονται στα δόντια στηρίγματα και συγκολλούνται στην ακρυλική βάση της Μ.Ο. Τα μικτά άγκιστρα έχουν χυτό και συρμάτινο τμήμα.

Επίσης, ταξινομούνται και ανάλογα με τον τρόπο εφαρμογής τους στα δόντια στηρίγματα σε περιβάλλοντα άγκιστρα ή μασητικής προσπέλασης και σε άγκιστρα έρποντα ή τύπου δοκού ή ουλικής προσπέλασης.

- Σύνδεσμοι Ακριβείας: Αποτελούν μηχανικά υποκατάστατα των συμβατικών αγκίστρων και θα αναλυθούν εκτενώς στην συνέχεια ως προς την κατασκευή τους για την επίτευξη καλής μηχανικής αντοχής τους.

Κάθε μέρος του μεταλλικού σκελετού μιας Μ.Ο. διαμορφώνει μια άρτιας μηχανικής αντοχής εργασία όταν ακολουθείται και η σωστή σχεδίαση. Το πάχος και η έκταση που καλύπτει ο μεγάλος συνδετήρας, η λεπτομερής και καθοδηγούμενη από μετρήσεις στον παραλληλογράφο και στο αρθρωτήρα σχεδίαση των αγκίστρων καθώς και η έκταση του πλέγματος συγκράτησης που θα υποστηρίξει τα δόντια, είναι παράμετροι που αλλάζουν ανάλογα με το περιστατικό. Ωστόσο, κύριο γνώμονα για την σωστή σχεδίαση αποτελεί η γνώση του οδοντικού τεχνολόγου ως προς τον σκοπό κάθε μέρους του μεταλλικού σκελετού. Ο μεγάλος συνδετήρας καλύπτει τέτοια επιφάνεια, ώστε να παρέχει την απαραίτητη ακαμψία. Οι μικροί συνδετήρες και το πλέγμα συγκράτησης επιτυγχάνουν και αυτά με την σειρά τους ικανοποιητική ακαμψία όταν σχεδιαστούν σωστά. Τέλος, τα άγκιστρα για τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη παράμετροι όπως η φορά ένθεσης, πρέπει να σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο ώστε και να εξυπηρετούν τον σκοπό χρήσης τους και να μπορεί να υλοποιηθεί η κατασκευή τους, αποφεύγοντας το ενδεχόμενο ατελούς χύτευσης λόγω κακής σχεδίασης.¹⁰

Η λειτουργική σταθερότητα της Μ.Ο. εξασφαλίζεται με συγκρατητικά στοιχεία, με τα οποία εφαρμόζει στα δόντια στηρίγματα. Η συγκράτηση, η στήριξη και η σταθερότητα σχετίζονται άμεσα με την μηχανική συμπεριφορά των υλικών. Πρακτικά και σχεδιαστικά καλύτερη μηχανική αντοχή του μεταλλικού σκελετού επιτυγχάνεται όταν οι δυνάμεις που μεταφέρονται στα δόντια στηρίγματα είναι οι ελάχιστες δυνατές. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το μέγεθος αυτών των δυνάμεων, εκτός από το μήκος και την ποιότητα της νωδής περιοχής, την σύγκλιση και τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της επιφάνειας του στηρίγματος, είναι και η ελαστικότητα και η σχεδίαση του αγκίστρου. Ως προς την ευκαμψία ή την ελαστική παραμόρφωση ενός βραχίονα του αγκίστρου, αυτή εξαρτάται σχεδιαστικά από το σχήμα της διατομής του, από το μήκος του συγκρατητικού βραχίονα αλλά και από το πάχος και την ομοιόμορφη λέπτυνση του. Ως προς την γενική σχεδίαση του αγκίστρου, αναλύοντας το εκμαγείο πρωταρχικός σκοπός είναι ο προσδιορισμός της σωστής φοράς ένθεσης, η οποία εξαρτάται και καθορίζεται από τα οδηγά επίπεδα, τις συγκρατητικές εσοχές, αλλά και από την μη παρεμβολή ιστών και την αισθητική. Τα οδηγά επίπεδα είναι οι όμορες εκείνες επιφάνειες των δοντιών των κυρίων στηριγμάτων μίας Μ.Ο., οι οποίες θα πρέπει να είναι παράλληλες μεταξύ τους για να εξασφαλίζουν ικανοποιητική αντιστήριξη και σταθεροποίηση στην Μ.Ο. και έτσι να αποδίδουν μια σωστή λειτουργικότητα της Μ.Ο. που δεν θα δοκιμάσει την αντοχή της στις διάφορες καταπονήσεις που δέχεται στην στοματική κοιλότητα.¹⁰

7.3.3 Κράματα εκλογής για μεταλλικό σκελετό μερικής οδοντοστοιχίας

Ένας άλλος παράγοντας για την επιτυχή κατασκευή μεταλλικού σκελετού Μ.Ο. είναι η επιλογή του κράματος χρήσης. Κάθε κράμα προσδίδει διαφορετικές ιδιότητες στην τελική εργασία και αναλόγως το περιστατικό και την αντίστοιχη σχεδίαση της Μ.Ο. επιλέγεται το κράμα που θα διαμορφώσει μια άρτια κρυσταλλική δομή και επομένως μια καλών μηχανικών προδιαγραφών πρόσθεση.^{5,10}

A) Κράματα χρυσού:

Χρησιμοποιούνται τα υπέρσκληρα κράματα της IV κατηγορίας, γιατί διαθέτουν την απαραίτητη αντοχή όπως και όλες τις άλλες ιδιότητες για τους σκελετούς των Μ.Ο. Η περιεκτικότητά τους είναι χρυσός 60 - 71,5%, χαλκός 11 - 16%, άργυρος 4 - 20%, παλλάδιο 0 - 5%, λευκόχρυσος 0 - 8,5% και ψευδάργυρος 1 - 2%. Σήμερα τα κράματα χρυσού χρησιμοποιούνται ελάχιστα για την κατασκευή

σκελετών Μ.Ο. λόγω του αυξημένου κόστους και της πλαστικότητας την οποία έχουν σε σχέση με τα άλλα κράματα και έτσι η χρήση τους περιορίζεται σε περιπτώσεις αλλεργίας σε συστατικά άλλων κραμάτων. Για την κατασκευή τους πρέπει ο σκελετός να είναι περίπου διπλάσιος σε πάχος σε σχέση με το κράμα χρωμίου-κοβαλτίου.⁵

B) Κράματα χρωμίου-κοβαλτίου:

I. Περιεκτικότητες σε μέταλλα και ιδιότητες

Αποτελούνται κατά 90% από τρία βασικά μέταλλα το Χρώμιο, το Κοβάλτιο και το Μολυβδένιο, ενώ το υπόλοιπο 10% συνίσταται από στοιχεία όπως το Πυρίτιο, ο Άνθρακας, το Μαγγάνιο, το Άζωτο, ο Σίδηρος, το Ταντάλιο και το Τιτάνιο.

- **Χρώμιο:**

Παρέχει στο κράμα την ικανότητα να ανθίσταται στην διάβρωση και στην αμαύρωση, όταν αυτό περιέχεται στην κανονική του αναλογία στο κράμα και η οποία κυμαίνεται μεταξύ 25 - 30%.

Κράματα με περιεκτικότητα σε Χρώμιο άνω του 30% παρουσιάζουν μεγάλη δυσκολία στην χύτευσή τους και συμβάλλουν στην δημιουργία μιας σχετικά εύθραυστης φάσης, η οποία είναι γνωστή σαν «φάση σίγμα». Αντίθετα, όταν στο κράμα περιέχεται ποσότητα χρωμίου μικρότερη του 20%, τότε μειώνεται κατά πολύ, η αντίστασή του στην διάβρωση και την αμαύρωση.

- **Κοβάλτιο:**

Αυξάνει σημαντικά την αντοχή και την σκληρότητα του κράματος, όπως επίσης και το μέτρο ελαστικότητάς του.

- **Άνθρακας:**

Υπάρχει στο κράμα υπό μορφή καρβιδίων του χρωμίου και του μολυβδενίου συμβάλει στην διαμόρφωση των μηχανικών ιδιοτήτων του λαμβανομένου, μετά την χύτευση, χυτού. Και αυτό γιατί όταν το ποσοστό του άνθρακα αυξηθεί κατά 0,2% πάνω από το επιθυμητό όριο, αυξάνει σε μεγάλο βαθμό η σκληρότητα του κράματος, με συνέπεια να καθίσταται αυτό ακατάλληλο προς χρήση, αφού τα χυτά τα οποία θα παραληφθούν από αυτό, θα είναι υπερβολικά εύθραυστα και ακατέργαστα. Αντίθετα, όταν το ποσοστό του μειωθεί κατά 0,2% στο κράμα, επέρχεται μία σημαντική ελάττωση του ορίου διαρροής όπως επίσης και της αντοχής του, σε βαθμό που το κράμα είναι ακατάλληλο για χρήση.

- Μολυβδένιο:

Σε ποσοστά 2-6,5% συμβάλλει στην αύξηση της αντοχής και την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων.

- Πυρίτιο και μαγγάνιο:

Αυξάνουν την ρευστότητα του τήγματος, καθιστούν το κράμα εύτηκτο και δρουν και σαν αποξειδωτικά.

II. Κατάταξη κραμάτων χρωμίου-κοβαλτίου

Γενικά η θερμοκρασία τήξης των κραμάτων χρωμίου-κοβαλτίου κυμαίνεται μεταξύ των 1250ο - 1500ο C. Σύμφωνα με τις προδιαγραφές της American Dental Association (A.D.A.), τα κράματα χρωμίου-κοβαλτίου ανάλογα με το σημείο τήξης τους κατατάσσονται στις εξής κατηγορίες:

- Κατηγορία I: Κράματα με σημείο τήξης μεγαλύτερο από 1320ο C.
- Κατηγορία II: Κράματα με σημείο τήξης μικρότερο από 1320ο C.

Γ) Τιτάνιο ή κράματα τιτανίου

Χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις αλλεργιών σε συστατικά άλλων κραμάτων και απαιτεί την χρήση ιδιαίτερου οδοντοτεχνικού εξοπλισμού.^{1,5,10}

7.3.4 Στάδια κατασκευής μεταλλικού σκελετού Μ.Ο. και μηχανική αντοχή

A) Τοποθέτηση αγωγών χύτευσης:

Η σωστή τοποθέτηση των αγωγών χύτευσης στο μεταλλικό σκελετό μιας Μ.Ο. εξασφαλίζει τη λήψη ενός χυτού χωρίς ατέλειες. Αν οι αγωγοί είναι πολύ μικροί ή έχουν τοποθετηθεί σε λανθασμένες θέσεις, τότε υπάρχει ο κίνδυνος ατελούς χύτευσης ή η δημιουργία χυτού με πόρους και προβληματική επιφάνεια, γιατί το κράμα δεν φτάνει μέχρι και τα λεπτότερα σημεία της διαμόρφωσης ή η τοποθέτηση δεν επιτρέπει την πλήρωση όλων των μερών του πυροχωμάτινου προτύπου.

Μεγάλη σημασία έχει και το τόξο το οποίο διαγράφουν οι αγωγοί χύτευσης, καθώς συγκλίνουν από τα διάφορα τμήματα του σκελετού της Μ.Ο. προς τον κεντρικό αγωγό. Το τόξο αυτό θα πρέπει να είναι όσο το δυνατό μικρότερο, για να διευκολύνεται η ροή του λιωμένου κράματος και να μην προκαλείται πρόωρη ψύξη που θα καταστεί επιζήμια για την ομοιόμορφη κρυστάλλωση του χυτού. Επίσης, οι αγωγοί χύτευσης δεν θα πρέπει να καταλήγουν κάθετα στο κέρινο ομοίωμα του σκελετού της Μ.Ο, γιατί το μέταλλο στα σημεία αυτά θα επιβραδύνεται με τον κίνδυνο στερεοποίησης του και τη λήψη ατελούς χυτού. Με τη χρήση αγωγών διαμέτρου 3-3,5 mm δεν είναι απαραίτητη η χρήση δεξαμενών χύτευσης, εφόσον έχουν ικανοποιητική διάμετρο και θα τροφοδοτούν ομαλά το χυτό. Τέλος, οι ακτινοειδώς τοποθετημένοι αγωγοί χύτευσης, δεν θα πρέπει να σχηματίζουν οξείες γωνίες στα σημεία της ένωσής τους, γιατί στα ίδια σημεία θα σχηματίζει οξείες γωνίες και το πυρόχωμα. Σε αυτήν την περίπτωση, κατά τον χρόνο ροής του λιωμένου μετάλλου ή της αποκήρωσης, υπάρχει η πιθανότητα να σπάσουν αυτές οι μυτερές προεξοχές του πυροχώματος και να φράξουν τη δίοδο του μετάλλου. Έτσι, το χυτό θα εμφανίζει προσμίξεις και εσωτερικές ατέλειες στην δομή του, γεγονός που το καθιστά εξαιρετικά ψαθυρό και επομένως μειωμένης μηχανικής αντοχής.^{5,10}

Επιπλέον, στο κέρινο πρόπλασμα των μεταλλικών σκελετών προσαρμόζονται αγωγοί αντιστάθμισης της πίεσης αλλά και αγωγοί απομάκρυνσης του πορώδους. Οι αγωγοί αντιστάθμισης της πίεσης συνδέουν τα άκρα του προπλάσματος και έτσι το λιωμένο κράμα γεμίζει με σταθερό ρυθμό το πυροχωμάτινο καλούπι, ξεκινώντας από τα χαμηλότερα τμήματα και προχωρώντας στα επιφανειακά. Οι αγωγοί απομάκρυνσης του πορώδους είναι αυτοί που συνδέουν τα υψηλότερα σημεία του πυροχωμάτινου καλουπιού και συνδέονται με τους αγωγούς αντιστάθμισης της πίεσης. Κατά την στερεοποίηση, όλα τα κράματα σχηματίζουν κενά (πορώδες) σε εκείνες τις περιοχές που έχουν γίνει απότομες αλλαγές στη διεύθυνση πορείας του λιωμένου μετάλλου. Επίσης, η παρατεταμένη στροβιλώδης ενέργεια των αερίων μέσα στο πυροχωμάτινο καλούπι μπορεί να οδηγήσει στο σχηματισμό πορώδους. Το ειδικό βάρος του μετάλλου με τους μικροπόρους και τα κενά είναι εξαιρετικά χαμηλότερο από το ειδικό βάρος του υπόλοιπου μετάλλου και έτσι αυτό το μέταλλο έχει την τάση να παραμένει στα ανώτερα τμήματα του καλουπιού (αντίστοιχα ανώτερα τμήματα του σκελετού). Επομένως, το πρόβλημα αυτό λύνεται με την χρήση των αγωγών απομάκρυνσης του πορώδους. Η μεταφορά πορώδους μέσα στο αγωγό αντιστάθμισης με την στροβιλώδη ενέργεια του κράματος δίνει ένα αρκετά συμπαγές χυτό και έτσι ένα χυτό με καλές μηχανικές ιδιότητες.¹⁰

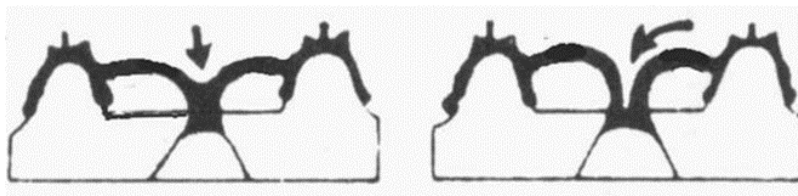
Η χύτευση του μεταλλικού σκελετού Μ.Ο. γίνεται με δυο τεχνικές:

- **Ανεστραμμένη χύτευση (διαμέσου του εκμαγείου):**

Το κέρινο ομοίωμα του σκελετού της Μ.Ο. τοποθετείται εύκολα στην σωστή απόσταση των 10 - 15 mm από τον πυθμένα του εγκλείστρου (Εικόνα 26), με σκοπό να επιτραπεί η ανάπτυξη μίας επαρκούς θερμικής ζώνης και να είναι εύκολη η διαφυγή του αέρα από το καλούπι κατά την είσοδο του κράματος. Σε αντίθετη περίπτωση, ο αέρας εγκλωβίζεται στην μάζα του χυτού, δημιουργώντας πορώδη δομή, κακή μηχανικής αντοχής (Εικόνα 27).



Εικόνα 26: Κέρινο πρόπλασμα Μ.Ο. που θα χυτευθεί με τεχνική ανεστραμμένης χύτευσης.¹⁰



α

β

Εικόνα 27: Ανεστραμμένη χύτευση:

α) Σωστή διαμόρφωση αγωγών, β) Λάθος διαμόρφωση αγωγών που δεν διευκολύνει ροή του λιωμένου κράματος.¹⁰

- **Τεχνική ανεστραμμένου κώνου:**

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την τοποθέτηση αγωγών σε μεταλλικούς σκελετούς μερικών οδοντοστοιχιών κυρίως της άνω γνάθου. Η ιδιαιτερότητά της βρίσκεται στο γεγονός ότι οι αγωγοί χύτευσης φέρονται από το πρόπλασμα προς ένα κώνο χύτευσης που βρίσκεται πάνω από το κέντρο του επιπέδου του προπλάσματος και όχι κάτω από τη βάση του εκμαγείου (Εικόνα 28).



Εικόνα 28: Κέρινο ομοίωμα Μ.Ο. που θα χυτευθεί με τεχνική ανεστραμμένου κώνου.¹⁰

Β) Χύτευση:

Ένα πολύ σημαντικό σημείο στην κατασκευή των Μ.Ο., το οποίο σχετίζεται άμεσα με τις φυσικομηχανικές ιδιότητες του μεταλλικού σκελετού τους, άρα και με την επιτυχία της πρόσθεσης, είναι το γεγονός ότι για χύτευση καλό είναι να μην χρησιμοποιείται κράμα το οποίο έχει ξανά τακεί. Με τις επαναλαμβανόμενες τήξεις χάνονται στοιχεία του κράματος ή προσλαμβάνονται άλλα, με αποτέλεσμα την αλλαγή των ιδιοτήτων του κράματος. Πρακτικά όπως έχει αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο η χρήση επαναχυτευμένου κράματος πρέπει να γίνεται σε αναλογία μικρότερη από 50%.

Γενικά, κατά την χύτευση ακολουθούνται οι ανάλογες διαδικασίες, ώστε να δημιουργηθεί χυτό χωρίς ατέλειες και με την εισροή του κράματος έως τα λεπτότερα σημεία του μεταλλικού σκελετού.¹⁰

Γ) Θερμικές κατεργασίες:

Τα κράματα χρωμίου-κοβαλτίου που χρησιμοποιούνται κυρίως για κατασκευή μεταλλικών σκελετών Μ.Ο. διαθέτουν τις απαραίτητες ιδιότητες για τη χρήση τους. Προβλήματα δημιουργούνται κατά τη διαδικασία της χύτευσης, όταν δεν ακολουθούνται οι οδηγίες των κατασκευαστών των σκευασμάτων και κατά την κατεργασία μετά τη χύτευση με παραμόρφωση τμημάτων για εφαρμογή τους ή κατά την υπερθέρμανση. Σκοπός λοιπόν των θερμικών κατεργασιών είναι η βελτίωση ή επαναφορά των επιθυμητών ιδιοτήτων των κραμάτων. Με την επιλογή της μεθόδου και των επιμέρους παραμέτρων ο οδοντικός τεχνολόγος διασφαλίζει την ποιότητα της εργασίας του.

Μετά τη θέρμανση σε θερμοκρασία ανόπτησης για ανακρυστάλλωση το παραμορφωμένο κράμα παρουσιάζει διαφορετική κρυσταλλική δομή που μοιάζει με αυτή πριν την παραμόρφωση. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι τόσο χαμηλότερη όσο περισσότερη ενέργεια έχει αποθηκευτεί στα όρια των κόκκων, άρα και όσο πιο έντονη ήταν η παραμόρφωση που έχει δημιουργηθεί. Όσο πιο έντονη παραμόρφωση έχει δημιουργηθεί τόσο πιο λεπτόκοκο μέταλλο-κράμα δημιουργείται με τη συγκεκριμένη θερμική κατεργασία. Άρα, θεωρητικά συμφέρει η έντονη παραμόρφωση. Αυτό όμως δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε σώματα με πολύπλοκα σχήματα όπως μια Μ.Ο. Στην περίπτωση της Μ.Ο. η επιλογή είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και η απότομη ψύξη. Έτσι, το κράμα λαμβάνει την κατάλληλη λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή που θα αποδώσει ως προς τις μηχανικές ιδιότητες.^{5,6,10}

7.4 Σύνδεσμοι ακριβείας

Οι σύνδεσμοι ακριβείας είναι μια μηχανική μικροκατασκευή, με την οποία επιτυγχάνεται η ακριβής σύνδεση μιας κινητής και μιας ακίνητης προσθετικής αποκατάστασης και μέσω αυτής με τα υπάρχοντα φυσικά δόντια. Αυτοί χρησιμοποιούνται σε περιπτώσεις γεφυρών (κινητών ή ημιακίνητων), μερικών οδοντοστοιχιών, επενθέτων οδοντοστοιχιών, ακόμα και σε περιπτώσεις επιεμφτευματικών αποκαταστάσεων.

Οι σύνδεσμοι ακριβείας αποτελούνται από δύο τμήματα. Το ένα τμήμα είναι το βασικό ή ακίνητο και συνδέεται με την ακίνητη εργασία που καλύπτει το δόντι στήριγμα (στεφάνη ή καλύπτρα) και το άλλο τμήμα είναι το κινητό, που ενσωματώνεται στην κινητή προσθετική εργασία (μερική οδοντοστοιχία ή επένθετη). Το βασικό τμήμα μπορεί να είναι μία υποδοχή που βρίσκεται μέσα στην περίμετρο της ακίνητης εργασίας ή μπορεί να είναι μία προεξοχή που βρίσκεται έξω από την περίμετρο της.

Επίσης, ανάλογα με το υλικό κατασκευής των συνδέσμων, αυτοί διακρίνονται σε προχτυπημένοι και χτυπούμενοι στο εργαστήριο. Οι προχτυπημένοι διατίθενται στο εμπόριο σε μεταλλική μορφή ενώ οι χτυπούμενοι στο εργαστήριο σε μορφή πλαστικού προπλάσματος και χτυπούνται από το ίδιο κράμα από το οποίο χτυπείται και η ακίνητη προσθετική εργασία, επάνω στην οποία έχουν ενσωματωθεί. Οι χτυπούμενοι στο εργαστήριο ονομάζονται και σύνδεσμοι ημιακριβείας, γιατί χτυπούνται εργαστηριακά και όχι βιομηχανικά.

Η κατασκευή των συνδέσμων ακριβείας και η επιτυχής μηχανική αντοχή τους αφορά επομένως την διαμόρφωση του βασικού και του κινητού τμήματος και συγκεκριμένα τον τρόπο ενσωμάτωσης τους στην ακίνητη και αντιστοίχως στην κινητή εργασία.¹⁶

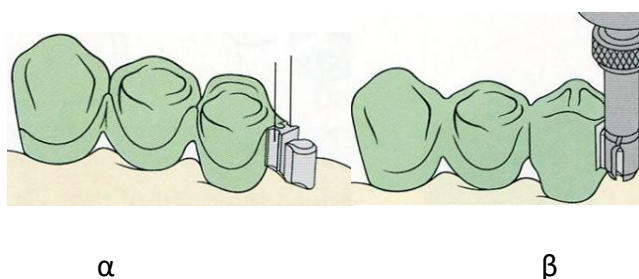
Οι τρόποι κατασκευής και σύνδεσης των συνδέσμων ακριβείας (ακίνητων μερών) με την ακίνητη πρόσθεση είναι οι εξής:

A) Χύτευση του συνδέσμου από το ίδιο κράμα με το οποίο χυτεύεται η ακίνητη εργασία (σύνδεση με χύτευση):

Στην περίπτωση αυτή είτε χρησιμοποιούνται πλαστικά προπλάσματα των ακίνητων μερών, όπου και ακολουθούνται όλα τα στάδια που περιεγράφηκαν αναλυτικά για την παραλαβή ενός τέλει χυτού, είτε χρησιμοποιούνται προχυτευμένα ακίνητα μέρη (Εικόνα 29). Στην περίπτωση μεταλλικών προχυτευμένων προπλασμάτων, μπορούν να προκύψουν προβλήματα εάν δεν ληφθούν υπόψη από τον οδοντικό τεχνολόγο τα εξής:

- Η θερμοκρασία τήξης του μετάλλου της ακίνητης πρόσθεσης με την οποία θα συνδεθεί ο σύνδεσμος, θα πρέπει να είναι χαμηλότερη από τη θερμοκρασία στερεοποίησης του κράματος από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο σύνδεσμος. Γι' αυτό τον λόγο συνιστώνται κράματα με υψηλό σημείο τήξης που περιέχουν πλατίνα και ιρίδιο. Για την αποφυγή της υπερθέρμανσης του κράματος χύτευσης και για να μην προκαλέσει αυτό μερική τήξη του κράματος του συνδέσμου, είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται επαγωγικός τρόπος χύτευσης για τον καλύτερο έλεγχο των θερμοκρασιών. Έτσι, αποφεύγονται αλλοιώσεις της κρυσταλλικής δομής του κράματος και διαταραχές των μηχανικών ιδιοτήτων.
- Για την επιτυχή σύνδεση του μεταλλικού συνδέσμου με το κράμα της χύτευσης θα πρέπει ο σύνδεσμος να θερμανθεί από τη θερμοκρασία προθέρμανσης του πυροχώματινου κυλίνδρου σε μία θερμοκρασία που είναι κοντά στη θερμοκρασία τήξης του επιλεγμένου μετάλλου (ερυθροπύρωση του κράματος του συνδέσμου).
- Κατά την προθέρμανση του πυροχώματος ή κατά τη διάρκεια της χύτευσης μπορεί να δημιουργηθεί ένας χώρος μεταξύ του πυροχώματος και του συνδέσμου, εξαιτίας της διαφορετικής διαστολής την οποία μπορεί να παρουσιάσουν το πυρόχωμα και ο σύνδεσμος. Έτσι, είναι δυνατόν να τρέξει λειωμένο μέταλλο μέσα στο θηλυκό μέρος του συνδέσμου.

- Το κράμα χύτευσης των ακινήτων προσθέσεων θα πρέπει να είναι συμβατό με το κράμα του συνδέσμου. Η επιλογή ενός τυχαίου κράματος είναι δυνατόν να οδηγήσει σε μία μεσόφαση μεταξύ κράματος χύτευσης και συνδέσμου, με χαμηλή μηχανική αντοχή και χαμηλή αντίσταση στη διάβρωση. Και αυτό γιατί η αντοχή των κραμάτων σε καταπονήσεις εξασφαλίζεται όταν τα κράματα έχουν μια ομοιογένεια στην δομή τους. Σε αντίθετη περίπτωση η αταξία αυξάνει τον κίνδυνο θραύσεων των τελικών κατασκευών.
- Είναι γνωστό ότι μετά τη χύτευση και απόψυξη μεγάλων προσθετικών εργασιών αναπτύσσονται εσωτερικές τάσεις στο εσωτερικό των προαναφερόμενων εργασιών. Αυτές οι τάσεις απελευθερώνονται με θερμική κατεργασία, με αποτέλεσμα μικρές μεταβολές στη θέση του συνδέσμου.
- Η διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής μεταξύ συνδέσμου ακριβείας και κράματος το οποίο επιλέχθηκε για τη χύτευση της ακίνητης προσθετικής εργασίας μπορεί να οδηγήσει σε συστολή των λεπτών τμημάτων.¹⁶



Εικόνα 29: α) Το πλαστικό πρόπλασμα τοποθετημένο στην όμορη επιφάνεια της ακίνητης πρόσθεσης, β) Τοποθέτηση προχυτευμένου συνδέσμου σε δεδομένη φορά ένθεσης.¹⁶

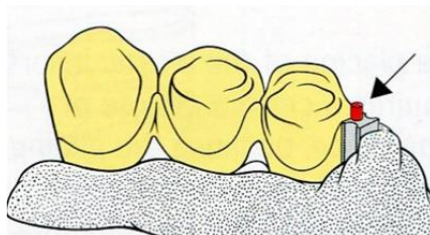
Β) Συγκόλληση του μεταλλικού συνδέσμου επάνω στην ακίνητη πρόσθεση με μεταλλική κόλληση και χρήση φλόγας (σύνδεση με συγκόλληση) ή laser:

Η επιτυχία της συγκόλλησης του συνδέσμου επάνω στην ακίνητη πρόσθεση με μεταλλική κόλληση εξαρτάται από τις ιδιότητες και την σύνθεση του υλικού κόλλησης, από την τήρηση της σωστής διαδικασίας, από την καθαρότητα των προς συγκόλληση επιφανειών και από την σχεδίαση και το σχήμα του συνδέσμου.

Στην διαδικασία αυτή έμφαση δίνεται στο υλικό της κόλλησης, δηλαδή το κράμα που διαβρέχει τις μεταλλικές επιφάνειες και τις οδηγεί σε συγκόλληση, στο πυροχώμα επιλογής και στην χρήση

αρτυμάτων και αντιαρτυμάτων. Για να επιτευχθεί καλή μηχανική αντοχή της τελικής εργασίας, η κόλληση πρέπει να έχει χαμηλότερο θερμοκρασιακό διάστημα τήξης από εκείνο του κράματος που πρόκειται να συγκολληθεί και να διαθέτει παρόμοιες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες με αυτές του συγκολλούμενου κράματος, ώστε να έχουν την ίδια αντοχή και σκληρότητα. Επίσης, τα πυροχώματα που θα ακινητοποιήσουν τα μέρη προς συγκόλληση, πρέπει να έχουν χαμηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής και πήξης από τα πυροχώματα των χυτών, ώστε να μην υπάρξει παραμόρφωση της εργασίας κατά την συγκόλληση (Εικόνα 30). Τέλος, τα αρτύματα είναι αντιοξειδωτικοί παράγοντες που τοποθετούνται στις προς συγκόλληση επιφάνειες και καθώς αυτές τήκονται με την αύξηση της θερμοκρασίας, σχηματίζεται στις μεταλλικές επιφάνειες μια λεπτή μεμβράνη που προφυλάσσει από τον σχηματισμό οξειδίων και τα αντιαρτύματα είναι ουσίες που χρησιμοποιούνται για τον περιορισμό της ροής του κράματος σε μη επιθυμητά σημεία. Η επιλογή του αρτύματος αποτελεί βασικό παράγοντα για την επιτυχή συγκόλληση και εξαρτάται από τον τύπο του κράματος και όχι από τον τύπο της κόλλησης.

Η συγκόλληση με laser βελτιώνει την αντοχή της τελικής εργασίας όταν υπάρχει σωστή καθοδήγηση της ακτίνας (συνεχείς βολές δέσμης laser, οι οποίες πρέπει να αλληλεπικαλύπτονται κατά 50%), όταν το διάκενο μεταξύ των προς συγκόλληση επιφανειών δεν είναι μεγαλύτερο από 0,1mm, και όταν η ακτίνα διαθέτει την σωστή ενέργεια, η οποία εξαρτάται από το είδος του κράματος. Εάν τηρηθούν τα παραπάνω από ένα έμπειρο ειδικό, η συγκόλληση με laser θα διαμορφώσει μια τελική αποκατάσταση καλών μηχανικών ιδιοτήτων.¹⁶



Εικόνα 30: Η ακίνητη εργασία και ο μεταλλικό σύνδεσμος ακριβείας βυθισμένα στην μάζα του πυροχώματος, έτοιμα προς συγκόλληση.¹⁶

Γ) Συγκόλληση του συνδέσμου επάνω στην ακίνητη πρόσθεση με τη χρήση «αναερόβιας» κόλλας:

Η ολοκλήρωση της συνδυασμένης προσθετικής εργασίας γίνεται με την ενσωμάτωση του κινητού μέρους του συνδέσμου ακριβείας με την κινητή πρόσθεση και τέλος με την σύνδεση με

την ακίνητη πρόσθεση. Υπάρχουν τρεις βασικοί τρόποι σύνδεσης του κινητού μέρους του συνδέσμου με την κινητή εργασία (μερική ή επένθετη οδοντοστοιχία) και είναι η τεχνική της αναερόβιας ρητινώδους κόλλας, η τεχνική της μεταλλοκόλλησης και η τεχνική με τη χρήση αυτοπολυμεριζόμενης ρητίνης. Ειδικά για την περίπτωση της μεταλλοκόλλησης, χρειάζονται ιδιαίτεροι χειρισμοί, ώστε να μην αλλοιωθούν ιδιότητες των κραμάτων.^{5,6,16}

8. Σύγχρονη τεχνολογία CAD/CAM

8.1 Σύγχρονη τεχνολογία CAD/CAM και σύγκριση με τεχνική χύτευσης

Τα τελευταία χρόνια εισήχθη στον κλάδο της οδοντιατρικής/ οδοντοτεχνικής η τεχνολογία CAD/CAM (Computer Adding Design/Computer Adding Manufacturing). Όλα τα συστήματα CAD-CAM αποτελούνται από τα τρία μέρη:

- Μια συσκευή ψηφιοποίησης ή σαρωτής (scanner) για την απόκτηση δεδομένων. Ο σαρωτής μετατρέπει την γεωμετρία των παρασκευών σε ένα σύνολο ψηφιακών δεδομένων, ώστε να είναι επεξεργάσιμα στον υπολογιστή.
- Ένα ειδικό λογισμικό (Software) το οποίο επεξεργάζεται τα ψηφιακά δεδομένα του σαρωτή και δίνει ένα πακέτο δεδομένων αναγνωρίσιμα από μια ειδική μηχανή κατεργασίας των υλικών.
- Μια μονάδα παραγωγής που μετατρέπει τα δεδομένα από το λογισμικό στην επιθυμητή οδοντική πρόσθεση. Αυτή η μονάδα λειτουργεί είτε με την αφαίρεση υλικού είτε με την προσθήκη υλικού.

Συνοπτικά, αναφέρεται ότι στην αφαιρετική μέθοδο αφαιρείται υλικό από έναν κύβο ή δίσκο κάτω από ελεγχόμενες συνθήκες (εκτροχισμός ακριβείας), για να απομείνει υλικό σε συγκεκριμένο σχήμα, σχηματίζοντας την προσθετική εργασία (τεχνική Milling). Αυτό συνήθως επιτυγχάνεται με συμβατικά λογισμικά NC (numeric control) και μηχανές που επιτελούν το εκτροχισμό. Εναλλακτικά, οι προσθετικές μέθοδοι είναι μία διαδικασία στην οποία η τελική κατασκευή δημιουργείται με την προσθήκη πολλαπλών διαστρωματώσεων υλικού της μίας επάνω στην άλλη (Selective Laser Melting ή Laser Sintering).^{17,18}

Οι σύγχρονες αυτές τεχνικές πλεονεκτούν όχι μόνο ως προς την εξοικονόμηση χρόνου αλλά και ως προς τις μηχανικές ιδιότητες των προσθέσεων που κατασκευάζονται σε σχέση με την κλασική τεχνική της χύτευσης. Και αυτό γιατί αποφεύγονται όλοι οι πιθανοί κίνδυνοι ατελειών των χυτών όπως τα οζίδια ή σφαιρίδια, τα πτερύγια, η δημιουργία υπολειμματικού χυτού ή πορώδους και η πιθανή επιμόλυνση του κράματος. Όλα τα παραπάνω προβλήματα που προκύπτουν από διάφορα στάδια της χύτευσης μεταβάλλουν την συμπεριφορά των κραμάτων εκλογής, αυξάνοντας την ψαθυρότητα, μειώνοντας την αντοχή τους στον εφελκυσμό, στην θλίψη και γενικά σε καταπονήσεις. Με την χρήση των σύγχρονων τεχνολογιών, η χύτευση παραλείπεται και μαζί με

αυτή και κάθε μεταβολή στις μηχανικές ιδιότητες. Οι προσθετικές και οι αφαιρετικές τεχνικές θα μπορούσαν επίσης να εξαλείψουν οποιοδήποτε σφάλμα που προκύπτει από τις ανθρώπινες ικανότητες και τις παραδοσιακές τεχνικές χύτευσης.

Στις σύγχρονες τεχνικές CAM επικρατούν οι μέθοδοι CNC (Milling) και SLM (Laser Sintering). Αυτές υπερτερούν ως προς την κλασική μέθοδο της χύτευσης, γιατί τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν από αυτές εμφανίζουν μικρότερο ποσοστό εσωτερικού πορώδους στην εσωτερική κρυσταλλική δομή τους και τα σφάλματα στην μικροδομή ήταν ελάχιστα. Μάλιστα, με τη μέθοδο Laser Sintering, το εσωτερικό πορώδες ήταν σχεδόν μηδενικό. Ως προς τις σύγχρονες μεθόδους, εάν η δέσμη του laser είναι συγχρονισμένη να λειώνει τους κόκκους του υλικού επιφανειακά τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLS (Selective Laser Sintering) ενώ εάν προκαλεί την πλήρη τήξη των κόκκων τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLM (Selective Laser Melting). Σε σύγκριση των μεθόδων αυτών, μηχανικές ιδιότητες όπως το όριο ελαστικότητας, το όριο διαρροής αλλά και η σκληρότητα εμφανίζουν καλύτερες με την μέθοδο SLS. Από μελέτες δοκιμών αποκαλύπτεται πως η SLS πλεονεκτεί, γιατί με την πλήρη τήξη των κόκκων του κράματος, μειώνονται οι αποστάσεις των κόκκων μεταξύ τους και έτσι αυξάνεται η λεπτόκοκκη δομή. Το αποτέλεσμα είναι ότι οι προσθέσεις που κατασκευάζονται με την τεχνική SLS εμφανίζουν μεγαλύτερη σκληρότητα, αντοχή στον εφελκυσμό, εκατοστιαία επιμήκυνση και γενικά καλύτερες μηχανικές ιδιότητες.^{17,18}

8.2 Κατασκευή προσθέσεων με την χρήση της τεχνολογίας CAD/CAM

Η κατασκευή προσθετικής αποκατάστασης με την βοήθεια σύγχρονων τεχνολογιών περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

- **Σάρωση:**

Αποτελεί το πρώτο στάδιο και περιλαμβάνει την επιλογή του τρόπου σάρωσης, την προετοιμασία του εκμαγείου μελέτης και την ίδια την σάρωση με την συλλογή όλων των απαραίτητων πληροφοριών που περιγράφουν τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του εκμαγείου (μέγεθος, σχήμα, χρώμα, οι κοιλότητες κλπ). Η λειτουργία της σάρωσης στηρίζεται στην χρήση τρισδιάστατων σαρωτών, οι οποίοι διακρίνονται στους επαφής ή μηχανικοί και στους χωρίς επαφή ή οπτικοί (laser ή λευκού φωτός). Αρχικά γίνεται μια αδρή σάρωση ολόκληρου του εκμαγείου με τα κολοβώματα και στην συνέχεια ακολουθεί σάρωση κάθε κολοβώματος ξεχωριστά.

- **Σχεδίαση:**

Με το κατάλληλο εγκατεστημένο λογισμικό ακολουθεί η σχεδίαση από τον οδοντικό τεχνολόγο. Ο ειδικός πρέπει να έχει άριστες γνώσεις τόσο των προδιαγραφών της κάθε αποκατάστασης όσο και του λογισμικού το οποίο χρησιμοποιεί, δηλαδή των παρεμβάσεων που του επιτρέπεται να κάνει. Αρχικά, καταχωρούνται τα στοιχεία του ασθενούς και επιλέγονται στο ψηφιοποιημένο εκμαγείο τα δόντια που αποτελούν την αποκατάσταση. Για κάθε ένα από τα δόντια επιλέγεται το είδος της εργασίας που θα κατασκευαστεί αλλά και το υλικό εκλογής που στην περίπτωση της εργασίας αποτελεί το κράμα εκλογής. Στην συνέχεια, καθορίζονται τα αυχενικά όρια στα κολοβώματα των δοντιών και επιλέγεται και η κατάλληλη φορά ένθεσης της κατασκευής. Το λογισμικό έχει την ικανότητα να κατευθύνει τον οδοντικό τεχνολόγο στα δεδομένα που εισάγει και να προσαρμόζει την κάθε παράμετρο στις απαιτήσεις της πρόσθεσης. Τέλος, εξομαλύνονται οι μορφολογίες που έχουν αποδοθεί σε κάθε δόντι και η σχεδίαση διαδέχεται την διαμόρφωση της πρόσθεσης.^{18,19}

- **Διαμόρφωση προσθετικής αποκατάστασης:**

Πραγματοποιείται με την αφαιρετική (milling) ή την προσθετική μεθοδο (SLM ή SLS):

- **Οι αφαιρετική μέθοδος (milling):**

Λειτουργεί με την βοήθεια προγραμμάτων NC (Numerical Control System) χρησιμοποιούνται προσεκτικά σχεδιασμένες και καθοδηγούμενες κινήσεις των κοπτικών εργαλείων. Τα ψηφιακά δεδομένα του τρισδιάστατου αντικειμένου που αναπαράγονται με το σύστημα CAD μετατρέπονται σε λωρίδες εκτροχισμού για την συσκευή CAM και τελικά φορτώνονται στην συσκευή εκτροχισμού. Οι συσκευές φρεζαρίσματος διακρίνονται ανάλογα με τον αριθμό των αξόνων επι των διευθύνσεων των οποίων κινούνται τα κοπτικά εργαλεία της συσκευής σε τριαξονικές, τετραξονικές και πενταξονικές συσκευές. Επίσης, ο εκτροχισμός μπορεί να γίνει με στεγνό φρεζάρισμα, όπως στις περιπτώσεις της ζirkονίας, ή με υγρό εκτροχισμό, απαραίτητο για όλα τα μέταλλα και τα κεραμικά υάλου.

Σε αυτή την μέθοδο, σημαντική είναι η επιλογή των κατάλληλων δισκίων/ μπλοκ κράματος με βάση της οδηγίες του κατασκευαστή και τις επιθυμητές ιδιότητες από πλευράς του οδοντικού τεχνολόγου. Επιπλέον, πρέπει να χρησιμοποιηθούν οι κατάλληλες συσκευές εκτροχισμού

λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος και την ακρίβεια που επιδιώκεται στην τελική εργασία αλλά και ο αριθμός των στροφών, από τον οποίο εξαρτάται άμεσα η μηχανική αντοχή της αποκατάστασης.

Οι προσθέσεις που κατασκευάζονται με την τεχνική milling εμφανίζουν αρκετά καλές μηχανικές ιδιότητες. Κάθε δισκίο κράματος ύστερα από τον κατάλληλο εκτροχισμό, για να κατασκευαστεί η επιθυμητή εργασία, διαθέτει μια άριστη εσωτερική μικροκρυσταλλική δομή, εφόσον το κράμα δεν έχει υποβληθεί σε τήξη, η οποία θα αλλοιώσει την κρυσταλλικότητα του με ενδεχόμενες ανακατατάξεις των κρυστάλλων κατά την στερεοποίηση του. Έτσι, η εσωτερική δομή παραμένει αναλλοίωτη, αποδίδοντας στην τελική εργασία τις μηχανικές ιδιότητες για τις οποίες έχει επιλεγθεί το συγκεκριμένο μπλοκ από τον οδοντικό τεχνολόγο.

➤ **Η προσθετική διαδικασία SLS ή SLM:**

Δημιουργεί προσθέσεις χρησιμοποιώντας σκόνη υλικού και ένα λέιζερ CO₂. Στη μέθοδο αυτή, στρώματα από συγκεκριμένο υλικό σε σκόνη πυροσυσσωματώνονται σε ένα τρισδιάστατο μοντέλο από ένα λέιζερ που κατευθύνεται από Η/Υ. Ένα ρολό διανέμει το κονιοποιημένο υλικό πάνω από την επιφάνεια ενός κυλίνδρου κατασκευής. Ο κύλινδρος κατασκευής είναι στην ουσία ένα έμβολο με κινούμενη βάση. Η σκόνη απλώνεται στρώμα με στρώμα πάνω από το στρώμα που ήδη έχει σκληρυνθεί και πυροσυσσωματωθεί. Για να διατηρηθεί το καινούργιο στρώμα σκόνης, η πλατφόρμα υποστήριξης (κινούμενη βάση του κυλίνδρου κατασκευής) χαμηλώνει το αντικείμενο τόσο όσο είναι το πάχος μίας διαστρωμάτωσης του υλικού. Η επιφάνεια αυτής της έντονα συμπιεσμένης σκόνης στη συνέχεια εκτίθεται σε μία δέσμη λέιζερ. Εάν η δέσμη είναι συγχρονισμένη να λειώνει τους κόκκους του υλικού επιφανειακά τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLS (Selective Laser Sintering) ενώ εάν προκαλεί την πλήρη τήξη των κόκκων τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLM (Selective Laser Melting).

Για την επιτυχή κατασκευή εργασιών με αυτή την μέθοδο, ο οδοντικός τεχνολόγος πρέπει να γνωρίζει καλά την τα υλικά που χρησιμοποιεί και στην συγκεκριμένη περίπτωση τις ιδιότητες της σκόνης του κράματος. Κάθε σκόνη από διαφορετικό κατασκευαστή έχει διαφορετικό θερμοκρασιακό διάστημα τήξης, θερμική συμπεριφορά αλλά και μέγεθος κόκκων, χαρακτηριστικά άρρηκτα συνδεδεμένα με τις μηχανικές ιδιότητες της τελικής εργασίας. Επίσης, πρέπει να εξετάζει και τις παραμέτρους του laser, όπως το μέγεθος της δέσμης, η απόσταση εκπομπής της, η ένταση της ενέργειας του κ.λπ. Λαμβάνοντας αυτά υπόψη, ένας έμπειρος οδοντικός τεχνολόγος μπορεί να κατασκευάσει μια άρτια προσθετική αποκατάσταση.^{18,19,20,21}

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Κάθε προσθετική αποκατάσταση κατασκευάζεται με σκοπό να μπορεί να ανταπεξέλθει στις καταπονήσεις που θα δεχτεί κατά την λειτουργία της εντός της στοματικής κοιλότητας. Η αντίσταση των υλικών και συγκεκριμένα των κραμάτων αντανakλάται στην μηχανική συμπεριφορά τους. Οι μηχανικές ιδιότητες που πρέπει να ληφθούν υπόψη από τον οδοντικό τεχνολόγο για την κατασκευή μιας πρόσθεσης είναι το όριο ελαστικότητας και το όριο διαρροής. Αυτές οι δυο τιμές μπορούν να προσδιορίσουν την μηχανική αντοχή μεταξύ των διαφόρων κραμάτων για αποκαταστάσεις αλλά και την αντοχή που παρουσιάζει το ίδιο κράμα, μετά από διαφορετικές κατεργασίες. Μελέτη²² ανάμεσα σε κράματα Au-Pd, Pd-Ag, Pd-Ag-Au και Au-Ag-Pd καταλήγει στο συμπέρασμα πως δεν υπάρχουν σημαντικές αλλαγές στο όριο διαρροής των κραμάτων αυτών αλλά ποικιλία εμφανίζουν οι τιμές της εκατοστιαίας επιμήκυνσης. Συγκεκριμένα, τα κράματα παλλαδίου εμφάνιζαν υψηλές τιμές εκατοστιαίας επιμήκυνσης και τα κράματα χρυσού χαμηλότερες τιμές της. Αυτή η διαφορά αποδόθηκε στην περιεκτικότητα των κραμάτων αυτών και κυρίως στην περιεκτικότητα τους σε δευτερεύοντα στοιχεία, όπως το ίνδιο και το τιτάνιο. Αυτά τα στοιχεία σχηματίζουν φάσεις που ενισχύουν μεν την σκληρότητα του κράματος και διαμορφώνουν δε και την μικροδομή τους, που αντικατοπτρίζεται στις τιμές των μηχανικών ιδιοτήτων. Άλλη μελέτη⁵ σε κράματα χρυσού-πλατίνας, καταλήγει στο ό,τι αυτά παρουσιάζουν σχεδόν το ίδιο όριο θραύσης, αλλά το ένα έχει μικρότερο όριο διαρροής (Πίνακας V). Ενώ λοιπόν αυτά τα δυο θα σπάσουν στην ίδια τάση, το ένα με την μικρότερη τιμή ορίου διαρροής θα έχει ήδη παραμορφωθεί σε μικρότερη τάση. Και αυτό πρακτικά σημαίνει πως το όριο διαρροής και το όριο ελαστικότητας αποδεικνύουν την μηχανική κατάσταση ενός κράματος, διότι με αυτές τις τιμές ελέγχονται οι πιθανές μόνιμες παραμορφώσεις στην εσωτερική δομή ενός κράματος, ανεξαρτήτως της ύπαρξης θραύσης. Αυτή την γνώση οφείλει να αποζητά ο οδοντικός τεχνολόγος, ώστε να κατασκευάσει μια άρτιας από μηχανικής άποψης εργασία και για να αξιολογήσει τα αίτια θραύσης ή την μηχανική κατάσταση μιας εργασίας από συγκεκριμένο κράμα εκλογής. Ενδεικτικά ακολουθεί σχετικός πίνακας με αναγραφόμενες τιμές μηχανικών ιδιοτήτων για διάφορα οδοντιατρικά κράματα (Πίνακας VI).²²

Όριο θραύσης	Όριο διαρροής
470 N/cm ²	274 N/mm ²
470 N/cm ²	394 N/mm ²

Πίνακα V: Τιμές ορίου διαρροής και θραύσεως δυο κραμάτων χρυσού πλατίνας.⁵

Πίνακας 5.IV. Συγκεντρωτικός πίνακας τιμών των μηχανικών ιδιοτήτων διάφορων οδοντιατρικών υλικών.

ΥΛΙΚΑ	Όριο Αναλογίας	Όριο Διαρροής MN/m ²	Όριο θραύσης	Μέτρο Ελαστικότητας GN/m ²
Κράμα χρυσού τύπου I	69		221	
Κράμα χρυσού τύπου II	190		379	
Κράμα χρυσού τύπου III Μαλακό	221	200 – 240	400 – 450	
Σκληρωμένο	262	290 – 310	510 – 550	
Κράμα χρυσού τύπου IV Μαλακό	286	275 – 310	470 – 520	
Σκληρωμένο	572	380 – 510	750 – 790	
Κράμα 40% Au, Ag-Pd Μαλακό	—	379	562	
Σκληρωμένο	—	738	890	
Κράμα 10% Au, Ag, Pd Μαλακό	438		559	
Σκληρωμένο	583		731	
Κράμα Ag-Pd Μαλακό		282	434	96
Σκληρωμένο		324	469	
Κράμα Ni-Cr για ακίνητη προσθετική	183	359	421	
Κράμα Ni-Cr για μερικές οδοντοστοιχίες		710	869	
Κράμα Ni-Cr για πορσελάνη	545		917	218

Πίνακας VI: Συγκεντρωτικός πίνακας μηχανικών ιδιοτήτων οδοντιατρικών κραμάτων.⁵

Επίσης, η σκληρότητα είναι μια σημαντική παράμετρος, η οποία επηρεάζεται από την περιεκτικότητα των κραμάτων αλλά και από τις κατεργασίες, στις οποίες αυτά υποβάλλονται. Ως προς την περιεκτικότητα των κραμάτων και την σκληρότητα, έρευνα²³ σε δυο κράματα Ni-Cr-Mo, όπου το ένα διέθετε Ti και το άλλο Be, απέδειξε υψηλότερη τιμή σκληρότητας, αντοχής στον εφελκυσμό και μικρότερη επιμήκυνση στο κράμα που περιείχε Ti ενώ στο κράμα με Be χαμηλότερη τιμή σκληρότητας, αντοχής στον εφελκυσμό και υψηλότερη τιμή επιμήκυνσης. Ακόμα, συχνά κατά την εργαστηριακή τεχνική ενδέχεται να προστεθεί άνθρακας στα κράματα λόγω λανθασμένης χύτευσης κατά την κατασκευή των προσθέσεων. Η περιεκτικότητα του άνθρακα πάνω από 0,2% αποτελεί χαρακτηριστικό παράδειγμα κράματος που μειώνεται η σκληρότητα του λόγω διαφορετικής περιεκτικότητας από την επιθυμητή. Σε κράματα Pg-Ag όπως και σε Ni-Cr που έχουν έρθει σε επαφή με γραφίτη, ο άνθρακας μεταφέρεται στο κράμα και δημιουργεί προβλήματα τόσο στην δομή και τις ιδιότητες του ίδιου του κράματος όσο και στην επίτευξη μεταλλοκεραμικού δεσμού σε αντίστοιχες αποκαταστάσεις. Επίσης, υπάρχουν περιπτώσεις όπου το κράμα υποβάλλεται σε διαδικασία σκλήρυνσης ύστερα από την χύτευση του για να ανακτήσει την σκληρότητα του, όπως συμβαίνει με τα κράματα χρυσού. Σε κάθε περίπτωση, η επίτευξη μιας σκληρής επιφάνειας που προβάλλει αντίσταση στην εισχώρηση άλλων υλικών στο εσωτερικό της πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη με βάση την γνώση της περιεκτικότητας των κραμάτων κατά την εκλογή τους από τον κατασκευαστή αλλά και με βάση την προσθήκη ιχνοστοιχείων που μπορεί να καταστεί επιζήμια κατά την εργαστηριακή διαδικασία. Ενδεικτικά, ακολουθεί πίνακας με κράματα που χρησιμοποιούνται συχνά στην οδοντοτεχνική με την σκληρότητα που αυτά παρέχουν, λαμβάνοντας υπόψη τόσο την περιεκτικότητα τους όσο και την πιθανή σκλήρυνση των κραμάτων εκλογής με τις κατάλληλες μεθόδους επεξεργασίας (Πίνακας VII).²³

ΥΛΙΚΑ	Vickers	Knoop	Brinell
Κράμα χρυσού			
Τύπου I	55		45
Τύπου II	105		95
Τύπου III μαλακό	125		110
σκληρυμένο	135		120
Τύπου IV μαλακό	160		140
σκληρυμένο	250		220
Κράμα 40% Au, Ag, Pd			
μαλακό		177	
σκληρυμένο		252	
Κράμα Ni-Cr για ακίνητες			
προσθέσεις	330		
Κράμα Ag-Pd μαλακό			130
σκληρυμένο			140
Κράμα Co-Cr			
για μερικές οδοντοστοιχίες		391 – 415	

Πίνακας VII: Τιμές σκληρότητας οδοντιατρικών κραμάτων.⁵

Η μηχανική συμπεριφορά ενός κράματος, όπως η αντοχή στον εφελκυσμό καθώς και η επιμήκυνση, παρατηρείται πως βελτιώνεται σημαντικά (έως 30%) με τη λεπτόκοκκη δομή των κραμάτων.¹⁸ Η δημιουργία λεπτόκοκκης δομής έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της μηχανικής αντοχής, επειδή η διακίνηση των διαφόρων διαταραχών παρεμποδίζεται από τα όρια των κόκκων και επομένως όσο μικρότερους κόκκους έχει ένα μέταλλο, τόσο μεγαλύτερη επιφάνεια αντίστασης θα συναντούν οι διαταραχές κατά τη μετακίνησή τους. Σε αντίθετη περίπτωση, όπου σχηματιστεί ένα κράμα με χονδρόκοκκη δομή, η διάδοση μια ρωγμής από κρύσταλλο σε γειτονικό κρύσταλλο και η τελική θραύση μιας εργασίας είναι πιθανότερη αφού δεν προβάλλεται ισχυρή αντίσταση από πλήθος επιφανειών των κόκκων της δομής. Η απότομη ψύξη, οι κατάλληλες για κάθε κράμα θερμικές κατεργασίες και οι περιεκτικότητες σε ιχνοστοιχεία όπως του ιριδίου (Ir) και του ρουθηνίου (Ru) είναι χαρακτηριστικοί τρόποι επίτευξης υπερλεπτόκοκκης κρυσταλλικής δομής. Από την άλλη πλευρά, ατέλειες στην εσωτερική δομή του κράματος λόγω προσθηκών από λάθη που προκύπτουν στην διαδικασία κατασκευής μιας αποκατάστασης, επηρεάζουν αρνητικά την κρυσταλλική δομή και έτσι την μηχανική κατάσταση της τελικής εργασίας. Συγκεκριμένα, η αντοχή στον εφελκυσμό, η εκατοστιαία επιμήκυνση, η σκληρότητα και το όριο διαρροής ευνοούνται από την μικρόκοκκη δομή και το μέτρο ελαστικότητας είναι μια παράμετρος, η οποία δεν επηρεάζεται καθόλου από τις μεταβολές στην δομή του κράματος, αλλά εξαρτάται αποκλειστικά από τη σύστασή του.¹⁸

Οι κίνδυνοι που εμφανίζονται στο στάδιο της χύτευσης των κραμάτων είναι η παραλαβή ενός χυτού με πόρους ή ενός υπολειμματικού χυτού, η ύπαρξη έντονων προεξοχών και η επιμόλυνση του κράματος κατασκευής. Ωστόσο, με την σωστή απόψυξη, επανάτηξη και τις κατάλληλες θερμικές κατεργασίες για κάθε τύπο κράματος, μπορεί να αποφευχθεί κάθε ατέλεια και επομένως κάθε αρνητική επίπτωση στην μηχανική κατάσταση της πρόσθεσης. Αρχικά ως προς την απόψυξη,

για κάθε κράμα ενδείκνυται συγκεκριμένος τρόπος απόψυξης είτε με γρήγορη είτε με αργή ψύξη ανάλογα τις οδηγίες του κατασκευαστή, με σκοπό την απόδοση μικροκρυσταλλικής (λεπτόκοκκης) δομής που προσδίδει στο κράμα καλύτερες μηχανικές ιδιότητες και την αποφυγή μεγαλοκρυσταλλικής (αδρόκοκκης) δομής. Ωστόσο, η ανάκτηση της αρχικής κατάστασης ενός κράματος με καλές μηχανικές ιδιότητες και την χαρακτηριστική λεπτόκοκκη κρυσταλλικότητα επιτυγχάνεται στην συνέχεια με τις κατάλληλες θερμικές κατεργασίες. Κάθε κράμα ύστερα από μια ψυχρή κατεργασία παρουσιάζει μόνιμες εσωτερικές τάσεις και έχει χάσει ένα μέρος της ελαστικότητας και της ελατότητας του. Η ανόπτηση για ανακρυστάλλωση και η ανόπτηση για αποκατάσταση, αποτελούν τις δύο θερμικές κατεργασίες, οι οποίες έχουν ως σκοπό τη δημιουργία μικρότερων κόκκων στο κράμα και την εξάλειψη των εσωτερικών τάσεων, που είναι εγκλωβισμένες στη μάζα του. Έτσι, επιτυγχάνουν την εκλέπτυνση των κόκκων του κράματος αλλά και την βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων, όπως είναι η σκληρότητα και το όριο ελαστικότητας. Η διαφορά τους έγκειται μόνο στο ύψος της τελικής θερμοκρασίας και τη χρονική διάρκειά τους, με την ανόπτηση για ανακρυστάλλωση να πραγματοποιείται σε μικρότερο χρονικό διάστημα αλλά σε υψηλότερη θερμοκρασία. Υπάρχουν κάποιες ακόμα θερμικές κατεργασίες που χρησιμοποιούνται στον κλάδο την οδοντικής προσθετικής. Η ανόπτηση για ομοιογενοποίηση, όπως ορίζεται, εφαρμόζεται για την επίτευξη χημικής ομοιογένειας ενός κράματος, μέσω της διάχυσης των ατόμων των διάφορων στοιχείων που το αποτελούν με σκοπό αυτά να καταλάβουν τις επιθυμητές θέσεις ισορροπίας. Τέλος, η σκλήρυνση εκ κατακρημνίσεως δια γηράνσεως και ο μετασχηματισμός τάξεως-αταξίας αποτελούν θερμικές κατεργασίες, οι οποίες εφαρμόζονται για την αύξηση της σκληρότητας του κράματος, όταν αυτό κριθεί απαραίτητο.²⁴

Ακόμα, για οικονομικούς λόγους εμφανίζονται και τα προβλήματα της επανάτηξης των κραμάτων, που μπορούν να επηρεάσουν ιδιαίτερα την αντοχή της εργασίας, εφόσον το κράμα έχει υποβληθεί σε επαναλαμβανόμενες θερμάνσεις και ψύξεις. Κάθε κράμα διαθέτει ένα διάγραμμα φάσεων, το οποίο παρουσιάζει αναλυτικά την κατάσταση του κράματος με βάση την θερμοκρασία στην οποία υποβάλλεται κάθε φορά. Ωστόσο, όταν ένα κράμα τήκεται, ψύχεται και επιδιώκεται να επανατακεί, χάνει και προσλαμβάνει στοιχεία σε μικρές ή μεγάλες αναλογίες. Συγκεκριμένα, μελέτη σε κράμα Co-Cr-Mo, όπου εξετάστηκαν δοκίμια με περιεκτικότητα επαναχυτευμένου κράματος 0%, 25%, 50%, 75% και 100%, παρατηρήθηκε σημαντική αλλοίωση της μηχανικής αντοχής των κραμάτων που είχαν αυξημένη περιεκτικότητα επαναχυτευμένου κράματος. Στην κρυσταλλική αναπαράσταση των κραμάτων αυτών δημιουργούνται νέες φάσεις. Η αλλαγή αυτή

στην σύνθεση των κραμάτων συνίσταται κυρίως στην αύξηση της περιεκτικότητάς τους σε άνθρακα, η οποία έχει σαν αποτέλεσμα, αφ' ενός την αύξηση της σκληρότητας τους αφ' ετέρου την μείωση της αντοχής τους σε εφελκυσμό, του ορίου διαρροής όπως επίσης και της εκατοστιαίας επιμήκυνσής τους. Εκτός από τον άνθρακα μεταβολή και μείωση στην εκατοστιαία περιεκτικότητα παρατηρείται και για το πυρίτιο και το μαγγάνιο με αποτέλεσμα την μείωση της ευτηκτότητας του κράματος. Και όλα αυτά γιατί η αρχική περιεκτικότητα του κράματος αλλοιώνεται και οι κρύσταλλοι λαμβάνουν διαφορετικές θέσεις. Μια τέτοια αλλοίωση της κρυσταλλικότητας επηρεάζει άμεσα την συμπεριφορά και την αντίσταση των κραμάτων στις διαφορετικές καταπονήσεις.^{5,6,25}

Σε συστηματική μελέτη εξετάστηκε η ασφαλής περιεκτικότητα επαναχυτευμένου κράματος σε αποκαταστάσεις. Πρακτικά, η επιτρεπτή αναλογία είναι χρήση επαναχυτευμένου κράματος σε ποσοστό μικρότερο του 50%. Βέβαια, η χύτευση κράματος χωρίς χρήση επαναχυτευμένου είναι η ενδεδειγμένη και αποδίδει τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Ωστόσο, με τον κατάλληλο χειρισμό και την γνώση, η επανάτηση σε αποδεκτά όρια είναι επιτρεπτή. Επομένως, ο οδοντικός τεχνολόγος πέρα από το σημαντικό εργαλείο της γνώση που του παρέχουν τα διαγράμματα φάσεων των κραμάτων, οφείλει να γνωρίζει και τις ασφαλείς αναλογίες προσθήκης επαναχυτευμένων κραμάτων που παρουσιάζουν διαφορετικές φάσεις και συμπεριφορές από το αρχικό κράμα.¹⁵

Εκτός όμως από τις παραμέτρους της απόψυξης, της επανάτηξης και των θερμικών κατεργασιών, σημαντικό βήμα για καλές μηχανικές ιδιότητες της τελικής αποκατάστασης αποτελεί η σχεδίαση των αγωγών χύτευσης σε προγενέστερο στάδιο. Το σχήμα, το μέγεθος (μήκος και διάμετρος) καθώς και η ένωση του αγωγού με το κέρινο ομοίωμα αποτελούν σχεδιαστικές παραμέτρους με άμεσες επιπτώσεις στην εισροή του λιωμένου κράματος στο πυροχωμάτινο καλούπι και επομένως στην παραλαβή ενός άρτιου χυτού άνευ ατελειών. Μελέτη που διεξήχθη σε τέσσερις διαφορετικά σχεδιασμένους αγωγούς (ευθείς, διανοιγόμενους, με απότομη και με σταδιακή στένωση) για κατασκευή μεταλλοκεραμικής στεφάνης από κράμα Au-Pd, κατέληξε σε συμπεράσματα ως προς της χυτευσιμότητα και την εμφάνιση πορώδους των εργασιών. Συγκεκριμένα, η χύτευση πραγματοποιήθηκε επιτυχώς με τους ευθείς και του διανοιγόμενους αγωγούς και σε αυτές τις κατασκευές υπήρξε μειωμένο πορώδες στο εσωτερικό. Άλλη μελέτη σύγκρινε δοκίμια μερικών οδοντοστοιχιών από Co-Cr ως προς την ύπαρξη ατελειών στην εσωτερική δομή τους. Κάθε μερική οδοντοστοιχία κατασκευάστηκε με διαφορετικό σχεδιασμό αγωγών χύτευσης, η οποία αναλύθηκε σε διαγράμματα. Το συμπέρασμα που διεξήχθη, έδειξε πως

το μέγεθος και το σημείο ένωσης των αγωγών χύτευσης επηρέαζαν άμεσα την εσωτερική δομή και συνεπώς τις ατέλειες των αποκαταστάσεων και άλλα σχεδιαστικά κριτήρια ήταν δευτερευούσης σημασίας.^{26,27}

Όσον αφορά την σύγχρονη τεχνολογία CAD/CAM, στις σύγχρονες τεχνικές CAM επικρατούν οι αφαιρετικές μέθοδοι CNC (Milling) και οι προσθετικές μέθοδοι SLM και η SLS. Εάν η δέσμη του laser είναι συγχρονισμένη να λειώνει τους κόκκους του υλικού επιφανειακά τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLS (Selective Laser Sintering) ενώ εάν προκαλεί την πλήρη τήξη των κόκκων τότε πρόκειται για τη μέθοδο SLM (Selective Laser Melting). Πρόσφατη έρευνα μελέτησε δοκίμια από κράμα Co-Cr, τα οποία διαμορφώθηκαν με τις τρεις διαφορετικές μεθόδους, με χύτευση, με την μέθοδο milling και την μέθοδο SLM. Με τις αφαιρετικές και τις προσθετικές τεχνικές παρατηρήθηκε πως αποφεύγονται προβλήματα που υπήρχαν εξ αρχής με τις συμβατικές τεχνικές της χύτευσης όπως τα ατελή χυτά, το πορώδες και γενικά η κακή εσωτερική κρυσταλλική δομή και έτσι τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν με χύτευση δεν είχαν την βέλτιστη μηχανική συμπεριφορά. Επιπλέον, μεταξύ των τεχνικών CNC και SLM, υπερείχαν τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν με την SLM, με διαφορές στις μετρήσεις του ορίου διαρροής, του ορίου ελαστικότητας, της εφελκυστικής αντοχής αλλά και της σκληρότητας. Αυτό οφείλεται στο ότι τα δοκίμια που κατασκευάστηκαν με την μέθοδο SLM εμφάνιζαν συμπαγή κρυσταλλική δομή και μικρό μέγεθος κόκκων. Συμπερασματικά, η SLM είναι η τεχνική που υπερέχει και μεταξύ των σύγχρονων τεχνολογιών και της χύτευσης και καλύτερων προδιαγραφών εργασίες κατασκευάζονται με τις σύγχρονες μεθόδους.^{20,21,28}

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοπτικά τα συμπεράσματα, στα οποία καταλήγει η εργασία, είναι τα εξής:

- 1) Οι μηχανικές ιδιότητες που βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς κάθε κράματος είναι το όριο ελαστικότητας, το όριο διαρροής και η σκληρότητα και συνδέονται άμεσα με την περιεκτικότητα των διάφορων κραμάτων και κυρίως από τα ιχνοστοιχεία που αυτά διαθέτουν.
- 2) Η εξασφάλιση καλής μηχανικής συμπεριφοράς του κράματος εξαρτάται από την κρυσταλλική του δομή και συγκεκριμένα από την επίτευξη υπερλεπτόκοκκης δομής.
- 3) Οι διαδικασίες, στις οποίες υποβάλλονται τα κράματα όπως η απόψυξη, η επανάτηξη και οι θερμικές κατεργασίες μπορούν να αλλοιώσουν την δομή τους και επομένως την μηχανική τους συμπεριφορά σε περίπτωση που δεν εφαρμοστούν σωστά. Το αποτέλεσμα λανθασμένης εφαρμογής των ανώτερων διαδικασιών είναι η κατασκευή προσθέσεων κακών προδιαγραφών.
- 4) Η σωστή σχεδίαση των αγωγών χύτευσης (σχήμα, μέγεθος, σημείο σύνδεσης με κέρινο ομοίωμα) δημιουργεί τις προϋποθέσεις για καλή μηχανική συμπεριφορά των προσθετικών αποκαταστάσεων που κατασκευάζονται με χύτευση, εφόσον μέσω αυτών τροφοδοτείται το πυροχωμάτινο καλούπι με λιωμένο κράμα.
- 5) Οι σύγχρονες τεχνολογίες CAD/CAM αποτελούν μια πολλά υποσχόμενη εξέλιξη και υπερέρχουν ως προς την συμβατική τεχνική της χύτευσης, εφόσον απαλλάσσουν από τους πολυάριθμους κινδύνους, διαμορφώνοντας προσθέσεις με πυκνή κρυσταλλική δομή και άρα καλή μηχανική αντοχή.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στον τομέα της οδοντικής τεχνολογίας χρησιμοποιούνται κράματα για την κατασκευή προσθετικών αποκαταστάσεων με μεταλλικό υπόστρωμα. Τα οδοντιατρικά κράματα ταξινομούνται ανάλογα με την περιεκτικότητά τους σε μέταλλα και ο οδοντικός τεχνολόγος επιλέγει το κράμα χρήσης με βάση τις απαιτούμενες για την εργασία ιδιότητες. Οι μηχανικές ιδιότητες αποτελούν κύριο παράγοντα εκλογής ενός κράματος και συγκεκριμένα αυτές που βοηθούν στην κατανόηση της συμπεριφοράς του είναι το όριο διαρροής, η αντοχή στον εφελκυσμό, η εκατοστιαία μήκυνση και η σκληρότητα.

Κατά την διαδικασία κατασκευής μιας προσθετικής αποκατάστασης τα κράματα οφείλουν να διατηρούν τις μηχανικές τους ιδιότητες και αυτό εξαρτάται από την διαχείριση τους από τον ειδικό οδοντικό τεχνολόγο. Για την επίτευξη καλής μηχανικής αντοχής ενός κράματος επιδιώκεται η λεπτόκοκκη κρυσταλλική δομή του, η οποία διαταράσσεται κατά την διάρκεια κατασκευής μιας πρόσθεσης. Κάθε κράμα διαμορφώνει μια πρόσθεση κάτω από διαφορετικές θερμοκρασιακές συνθήκες χύτευσης, αποψύχεται με συγκεκριμένο τρόπο, μπορεί να υποβληθεί σε συγκεκριμένες θερμικές κατεργασίες και τέλος δέχεται συγκεκριμένη αναλογία επαναχυτευμένου κράματος, ώστε να κατασκευαστεί μιας άρτιας μηχανικής αντοχής εργασία.

Τέλος, τα τελευταία χρόνια εμφανίζεται η σύγχρονη τεχνολογία CAD/CAM, με την οποία μελέτες αποδεικνύουν πως επιτυγχάνονται καλύτερες προσθετικές αποκαταστάσεις από μηχανικής άποψης, λόγω της επίτευξης κατάλληλης πυκνής κρυσταλλικής δομής. Με τις αφαιρετικές και τις προσθετικές τεχνικές των μεθόδων αυτών αποφεύγονται προβλήματα που υπήρχαν με τις συμβατικές τεχνικές της χύτευσης. Έτσι, εφόσον μειώνουν τις αποτυχημένες προσθετικές αποκαταστάσεις πλεονεκτούν σημαντικά σήμερα.

SUMMARY

Dental technology uses alloys for the construction of dental restorations containing metal. There are different dental alloys depend on their metal content and dental technician is responsible for using the ideal one, taking the properties of the restoration into consideration. An ideal alloy must provide specific mechanical properties such as yield limit, tensile strength, percentage elongation and hardness. Due to them, dental technician can understand the mechanical behavior of an alloy.

Mechanical properties of alloys should be the same after every stage of the construction of restorations. If dental technician uses proper techniques during construction, then alloys will have great mechanical behavior. The small metallic grains in the microconstruction of an alloy, which can be disordered in the process of construction, are significantly important, because they ensure mechanical endurance. Also, each alloy transforms into a restoration under different casting temperatures, cooling procedure and heat treatment are individual for each material and lastly restorations must contain a specific amount of used alloy, so as great mechanical behavior to be accomplished.

Finally, during recent years dental technology has introduced CAD/CAM technology. Prosthetic restorations, which use this technology, prove to provide better mechanical properties, because of dense grain formation. New manufacturing methods, including milling and SLM techniques, are in advantage, as they overcome problems of traditional method of casting. Consequently, CAD/CAM technology reduces defective dental restorations and is nowadays widely used.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Καφούσιας Ν, Σταθόπουλος Απ, Μπαλτζάκη Γ: Οδοντιατρικά Βιοϋλικά. Εκδόσεις «ΑΚΙΔΑ». Αθήνα 1995: σελ. 1-4, 31-44, 55-82, 95-124, 193-211, 231-257
2. Sukaguchi RL, Powers J: Graig's RESTORATIVE DENTAL MATERIALS.13th edition. Mosby. Philadelphia 2012: pp 135-140, 211-244
3. McCabe J, Walls A: Applied Dental Materials. Blackwell Publishing Ltd.2008. 9th edition: pp 53-78, 84-88
4. Αναστασοπούλου Ι, Δρίτσα Β, Θεοφανίδης Θ, Υφαντής Δ, Υφαντής Κ: Βιοϋλικά-Εφαρμογές, κεφάλαιο 4: ΜΕΤΑΛΛΙΚΑ ΒΙΟΪΛΙΚΑ - ΠΑΘΗΤΙΚΟΠΟΙΗΣΗ – ΔΙΑΒΡΩΣΗ. Εκδόσεις Κάλλιπος. Αθήνα 2015: σελ.73-77
5. Σταθόπουλος Απ: Αριστοτέλους Αδάμ Οδοντιατρικά Υλικά. Επιστημονικές Εκδόσεις Παρισιανού. Αθήνα 1987: σελ. 16-27, 32-53, 74-101, 159-172, 174-186
6. Anusavice KJ, Shen C, Rawls R: Phillip's Science of Dental Materials. 12th edition. Saunders, an imprint of Elsevier Inc. St Louis 2013: pp 9-12, 48-92
7. Schmalz G, Bindsvlev DA: Biocompatibility of Dental Materials. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009. Updated and revised edition of the original German edition published by Urban & Fischer (Elsevier), 2004: pp 221-254

8. Watts DC: Dental Materials: Official Publication of the Academy of Dental Materials. ELSEVIER
Clarivate Analytics Journal Citation Reports 2022: pp 1163-1168
9. Mott NF: The Mechanical Properties of Metals. Wills Physical Laboratory, University of Bristol.
April 1951
10. Προμπονάς Α, Βλησίδης Δ: Μερικές Οδοντοστοιχίες - Σύγχρονες Εργαστηριακές Διαδικασίες
Κατασκευής. Εκδόσεις Π.Χ. Πασχαλίδης ΕΠΕ. Τετραπόλεως 14-Αθήνα 2011: σελ.23-53, 115-142,
144-163, 166-170
11. Δημητροπούλου Ε: Η εργαστηριακή διαδικασία στην Ακίνητη Προσθετική. Αθήνα 2004: σελ.19-
32, 67-74, 77-115, 121-127, 131-143
12. Κωτσιομύτη Ε, Εμμανουήλ Ι, Πισιώτης Α: Προσθετική αποκατάσταση με κινητές μερικές
οδοντοστοιχίες. Προπτυχιακό εγχειρίδιο. Εκδόσεις Κάλλιπος 2015: Κεφ 8
13. Σταθόπουλος Απ, Δρούκας Β: Αριστοτέλους Αδάμ Στοιχεία Ακίνητης Προσθετικής.
Επιστημονικές Εκδόσεις Γρ.Κ.Παρισιανός. Ναυαρίνου 20-Αθήνα 1987: σελ.13-19
14. Zhou Y, Li N, Yan J, Zeng Q: Comparative analysis of the microstructures and mechanical
properties of Co-Cr dental alloys fabricated by different methods. J Prosthet Dent 2018; 120: pp
617-623
15. Vaillant-Corroy AS, Corne P, March PD, Fleutot S, Cleymand F: Influence of recasting on the
quality of dental alloys-A systematic review. J Prosthet Dent. 2015; 114: 205-210

16. Προμπονάς Α: Συνδυασμένη προσθετική: σύνδεσμοι ακριβείας - τηλεσκοπικά συστήματα. Προπτυχιακό εγχειρίδιο 2015. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις, <https://hdl.handle.net/11419/2876>
17. Προμπονάς Α: Ψηφιακή Οδοντική Τεχνολογία: CAD-CAM. Αθήνα 2017: σελ. 51-62, 74-102, 136-160
18. Irvin RK, Louis JD: Progress in Materials Science. ELSEVIER. 1961; 9: 133-199
19. Noort R: The future of dental devices is digital. Dent Materials. 2012; 28: 1-12
20. Williams RJ, Bibb R, Eggbeer D, Collis J: Use of CAD/CAM technology to fabricate a removable partial denture framework. J Prosthet Dent. 2006; 96: 96-99
21. Bosch G, Ender A, Mehl A: A 3-dimensional accuracy analysis of chairside CAD/CAM milling processes. J Prosthet Dent. 2014; 112: 1425-1431
22. Ucar Y, Brantley W, Johnston W, Dasgupta T: Mechanical prosperities, fracture surface characterization, and microstructural analysis of six noble dental casting alloys. J Prosthet Dent. 2011; 105: 395-402
23. Bauer J, Ferreira Cost J, Nunes Carvalho C, Grande R, Loguercio A, Reis A: Characterization of two Ni-Cr dental alloys and the influence of casting mode on mechanical prosperities. J Prosthet Dent 56. 2012; 1-8

24. Dubois LM, Ritnur KL, Weins WN, Rinne VW : The effect of the temperature at quenching on the mechanical properties of casting alloys. *J Prosthet Dent.* 1987; 57: 566-571
25. Walczak M, Beer K, Surowska B, Borowicz J: The issue of using remelted Co-Cr-Mo alloys in dental prosthetics. 2012; 12: 171-177
26. Verrett RG, Duke ES: The effect of sprue attachment design on castability and porosity. *J Prosthet Dent.* 1989; 61: 418-424
27. Burnett CA, Maguire H: Sprue design in removable partial denture casting. *J Prosthet Dent.* 1996; 24: 99-103
28. Kim H, Jang S, Kim YK, Son Y, Min B, Kim K, Kwon T: Microstructures and mechanical properties of Co-Cr dental alloys fabricated by three CAD/CAM-based processing techniques. *MDPI Materials.* 2016; 9: 1-14

