

# 牙科材料學Dental morphology 牙科用陶瓷 (Dental Ceramics)

臺北醫學大學 牙醫學系  
董德瑞老師  
drdong@tmu.edu.tw

## 學習目標

能辨識及敘述牙齒之形態、特徵與功能意義，並能應用於臨床診斷與治療

1. 牙齒形態相關名辭術語之定義與敘述
2. 牙齒號碼系統之介紹
3. 牙齒之顎間關係與生理功能形態之考慮
4. 恆齒形態之辨識與差異之比較
5. 乳齒形態之辨識與差異之比較
6. 恆齒與乳齒之比較
7. 牙髓腔形態
8. 牙齒之萌出、排列與咬合
9. 牙體形態學與各牙科臨床科目之相關
10. 牙科人類學與演化發育之探討

## 參考資料

牙科材料學(鍾國雄)

Phillip's Science of Dental Materials (11th edition, Kenneth J. Anusavice)

Craig's Restorative Dental Materials (12th edition, John M. Powers, Ronald L. Sakaguchi.

## Summary

The course of Dental Morphology provides the student with knowledge in the morphological characteristics of the teeth and related oral structures upon which a functional concept of intra-arch relationships may be based for the clinical application to patient assessment, diagnosis, treatment planning, and oral rehabilitation.

## 壹、成分(Composition)

大部份牙科用陶瓷材料是以矽土(Silica,  $\text{SiO}_2$ )為主，以一種結晶形態，例如石英(Quartz)或是非晶形玻璃(Amorphous Glass)，例如熔融矽土(Fused Silica)存在。熔融矽土其熔點十分高，一般的熔爐將無法使之熔融，其高熔點乃由於其四面體的(Tetrahedra)矽土結構為一立體網狀共價鍵結構。

## 一、玻璃變性劑(Glass Modifier)

在四面體的矽土鍵結中若添加金屬離子，例如：鈉、鉀、或鈣，常用是以上金屬的碳酸鹽化合物，這些金屬離子將與四面體內的氧與矽鍵中的氧結合並破壞原有的立體網狀結構而成為線性的四面體矽土結構，此形態的矽土其熔點將較主體結構的矽土為低且流動也較佳。因此，上述的碳酸鹽稱之為變性劑，其添加將造成玻璃材料的流動性升高、軟化溫度降低。然而，過高濃度的變性劑將會造成材料的化學耐久性(Chemical Durability)例如：抵抗水、酸或鹼的能力降低，此外，當過多的四面體結構被改變，則玻璃將會結晶化或去玻璃化(Devitrify)。因此，在調整玻璃材料的熔點範圍的同時應注意維持陶瓷材料的化學穩定性。

## 一、玻璃變性劑(Glass Modifier)

目前牙科用陶瓷材料其分類大多依其燒製(Firing)溫度而定：

- 1.高熔點陶瓷：攝氏1290至1370度(華氏2350至2500度)
- 2.中熔點陶瓷：攝氏1095至1260度(華氏2000至2300度)
- 3.低熔點陶瓷：攝氏870至1065度(華氏1600至1950度)

## 一、玻璃變性劑(Glass Modifier)

事實上陶瓷材料的熔點仍可以在添加更多的玻璃變性劑而繼續下降，但是，此時的化學穩定性便下降，因此，實際應用時，多建議進行自行上釉(Self-Glaze)而不進行塗瓷釉再燒製操作，原因是低燒製溫度的瓷釉材料(Glaze Material)內含較多的玻璃變性劑，往往在口腔環境中容易溶解滲漏出來，顯示穩定性較差。在陶瓷粉末製作過程並非故意情況下常出現另一種重要的玻璃變性劑：水份，常熔融在內，而氫離子事實上應該是以水合氫離子(Hydronium Ion,  $H_3O^+$ )形式存在，將取代鈉或其它金屬離子而成為變性劑，結果在陶瓷燒製完成後若置放在潮濕的環境內，例如：口腔，將會出現慢裂生成(Slow Crack Growth)現象，在長期使用後(約6至7年)將發生完全破裂失敗的現象。

## 二、牙科用陶瓷內的長石(Feldspar)

長石乃一天然礦物質，內含鉀長石(Potash Feldspar)，鋁土(Alumina,  $Al_2O_3$ ) 和矽土(Silica,  $SiO_2$ )，是燒製金屬陶瓷牙冠的主要成分之一。當長石与其它金屬氧化物混合燒煉時，將形成一玻璃相，在正式陶瓷燒製溫度時將變軟和作少許的流動。當開始軟化時，陶瓷粉末粒子將互相熔接在一起，此種粒子在高溫的熔接現象稱為燒結(Sintering)。長石的另一重要特性是其在熔融時有形成結晶形礦物：白榴石(Leucite)的傾向。白榴石是一種含鉀鋁矽酸鹽的礦物，成分主要組成爲  $K_2O \cdot Al_2O_3 \cdot 6SiO_2$ ，較之長石玻璃擁有較大的熱膨脹係數(20至25X10<sup>-6</sup>/°C)而後者僅10X10<sup>-6</sup>/°C。此外，當長石加熱至溫度在攝氏1150度至1530度時，此時的長石進行分熔(Incongruent Melting)，在液態玻璃中出現白榴石結晶，此現象的發生有利於牙科用陶瓷材料熔合於金屬表面。

## 三、牙科用陶瓷內的石英(Quartz)

在牙科用陶瓷材料中使用的是純石英結晶，其製造過程與長石相似，但多以研磨成細微粉末添加入瓷粉內，石英的矽土成分在陶瓷燒製過程保存不變，此可提供陶瓷在高溫燒製時形態的穩定性並作為其它成分的成形支架。

## 四、牙科用陶瓷內的堯土(Kaolin)

堯土在自然界的形成是由於長石經風化(Weathering)後其中的矽酸鉀水溶性成分被酸性水份沖洗流走而成，在一般河川沈積下來的堯土均以黏土(Clay)方式存在，牙科所採用的是最純的黏土或瓷土使用。瓷土的組成是  $Al_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot 2H_2O$ ，原料的黏土經多次沖洗將所含的雜質分離並去除，然後乾燥與篩選成白色粉末，因此，瓷土可使陶瓷變得較為潔白。當瓷土加水後將恢復原來的黏性和可塑性，以製作一定形狀的陶瓷製品，當在高溫燒製時則黏附在石英粒子的支架上並有明顯的收縮現象。

## 五、其它添加物(Other Additions)

其它的金屬離子經常被添加入陶瓷材料中共熔合，以改良陶瓷的特性，例如：氧化硼(Boric Oxide,  $B_2O_3$ )，其添加可扮演變性劑的角色，降低黏稠度和軟化溫度，而其最重要的變化是形成一分離的晶格(Separate Lattice)分佈於矽土晶格之內，因而阻斷了矽土堅強的網狀結構而導致玻璃軟化點下降，鋁土的作用則較為複雜，主要也是改變軟化點和黏稠度。

## 【 五、其它添加物(Other Additions)】

色素(Pigments)在陶瓷成分雖然佔量不多，但是對於模倣自然牙齒色澤的效果卻十分重要。通常是將金屬氧化物研磨成細粉末，然後與長石在高溫中熔合一起，冷卻後再研磨成粉末備用。所採用的金屬氧化物包括：黃褐色的氧化鈦、紫色的氧化鎂、褐色的氧化鐵、藍色的氧化鈷、綠色的氧化銅或氧化鉻、褐色的氧化鎳、褐白色的氧化錫或氧化鋁。過去曾添加氧化鈾以提供螢光(Fluorescence)但是由於含放射性，現今多以銅族元素取代。

## 【 五、其它添加物(Other Additions)】

一般廠商對市售的陶瓷成分都不會將正確的配方成分標示出來，目前大多數使用的牙科用陶瓷成分其中長石含量約佔75至85%，石英為12至22%，瓷土則為3至5%，其餘是少量的色素組成。典型的成分見表16-1和16-2所列。

## 【 貳、機械和物理性質(Mechanical and Physical Properties)】

對於陶瓷性質的決定，在操作過程中，最後成型的陶瓷成品其性質有重大的影響的因素包括：1.陶瓷在燒製以前其粉末於成型過程中縮合的程度(Degree of Condensation)或擠壓處理(Compaction)狀況；2.燒製的程度和熔合陶瓷的步驟。關於熔合的陶瓷(Fused Porcelain)材料的性質方面較為重要的是橫向強度(Transverse Strength)又稱為抗撓強度、線性與容積收縮和比重等性質。橫向強度方面，陶瓷約在62至90MPa (9000至13,000psi) 範圍內；剪切強度(Shear Strength)則為110MPa(16,000psi)和對徑抗拉強度(Diametral Tensile Strength)則較低，祇有34MPa(5,000psi)左右，抗壓強度約為72MPa(25,000psi)，彈性模數為69GPa(10X106psi)和洛氏硬度數(Knoop Hardness Value)為460。

線性收縮方面，經上釉的陶瓷，屬於低熔點陶瓷的線性收縮為14%，而高熔點陶瓷則為11.5%，如果處理不當將出現過度上釉(Overglaze)情形，則毋論那一種熔點的陶瓷都會發生較大的線性收縮，而容積收縮則不同熔點陶瓷間收縮量的差異可能大於8%。研究報告顯示低熔點陶瓷的容積收縮約在32至37%，而高熔點收縮則在28至34%，中度熔點的陶瓷其收縮量在低和高熔點之間。為減低收縮的變化，正確的縮合控制(Control of the Condensation)和燒製技術是補償和降低收縮現象的最佳方法。

熔合陶瓷的比重(Specific Gravity)是各項特性中，操作技術影響最少的性質，高熔點和低熔點型的陶瓷在比重方面的差異也不大，視比重(Apparent Specific Gravity)約在2.2-2.3範圍內，真比重(True Specific Gravity)約為2.4。各種廠牌的瓷粉其比重差異均不明顯。陶瓷的熱性質方面包括熱導性(Thermal Conductivity)為0.003°C/cm和擴散度為0.64mm<sup>2</sup>/sec。

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

陶瓷材料在牙科領域中使用乃由於具有優異的美觀品質、高抗壓強度、良好化學穩定性和生物相容性，然而，脆性和低抗拉強度的弱點仍有待改進。改善陶瓷弱點的方法可歸納為以下兩大方向：1.強化材料的脆性；2.改善材料在應用上的設計以降低應力的集中和拉張應力的發生。陶瓷材料在真正應用的情況裡經常承受由於彎曲變化而產生的強大拉張應力(Tensile Stress)。因此，陶瓷製品其表面的完整性或存在瑕疵與否將決定材料的強度，實驗證實如果減少陶瓷表面的瑕疵可明顯提昇陶瓷的強度，臨床多以上瓷釉(Glazing)的方式使陶瓷表面保持光滑與減少瑕疵的量而獲得強化。實用的強化處理可分為：

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

#### 1. 殘餘抗壓應力的介入(Introduction Of Residual Compressive Stresses)

一般陶瓷發生破裂主要是由表面瑕疵部位發生裂痕，裂痕的延伸將導致材料的破壞，如果在一陶瓷物質表面能預加一殘餘壓縮應力，在表面則當拉張應力發生之初將可以消滅拉張應力變化或裂痕的前進，因此便可將陶瓷材料的強度大大提昇。在技術上將如此保護性的殘餘壓縮應力介入陶瓷材料表面可分為三種方法：

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

a. 離子交換法(Ion Exchange Technique)：此法是利用離子的大小不同在進行交換後造成壓力，在內部出現而形成殘餘壓縮應力，例如：鈉離子其大小較之鉀離子小35%，若將含鈉的陶瓷製品浸泡在硝酸鉀的溶液內，部份的鉀離子將與陶瓷表面內含的鈉離子進行交換，較大直徑的鉀離子進入陶瓷表面內部後，由於體積較原有的鈉離子為大所以產生擁擠的現象，表面產生的殘餘壓縮應力約有700MPa(100,000psi)。此種離子交換法又稱之為化學式調質(Chemical Tempering)。

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

b. 熱調質法(Thermal Tempering)：此法是最常用之一，和用急速冷卻(Quenching)的處理方式使在高熱或熔融狀態的陶瓷材料固化並形成表面的殘餘抗壓應力。在急速冷卻過程中包圍在熔漿冠心之外是一層堅硬的玻璃成分，但當內部熔漿進行固化時將產生收縮，然而外表堅硬的玻璃層則不易發生收縮變化，此時冠心部份將形成殘餘拉張應力而表面的部份則出現殘餘的壓縮應力。

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

c. 熱膨脹係數的失配(Thermal Expansion Coefficient Mismatch)：此種處理多使用於利用多層次燒製陶瓷時，藉著成分的不同，出現不同的熱膨脹係數，當燒製過程中冷卻時，如果內層擁有較高的熱膨脹係數，則其膨脹將增加，但冷卻時收縮便較小，最後當回到室溫時由於內外層的收縮量不同，外層陶瓷材料將如熱調質反應一般造成殘餘壓縮應力存在。

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

#### 2. 裂痕延伸的阻斷法(Interruption Of Crack Propagation)

此種方式多是以一不同物質材料散佈於陶瓷材料內部，以進行阻斷裂痕在陶瓷內部延伸前進，在散佈(Dispersion)技術方面可分為以下各種方法：

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

a. 結晶相的散佈處理(Dispersion Of A Crystalline Phase)：以一較韌性，結晶式材料，例如：鋁土(Alumina)添加入玻璃內部，均勻散播的結果，將會使添加有這些鋁土的玻璃有更好的韌性和強度，其中的強化機轉是鋁土粒子將阻斷任何裂痕的通過而保護陶瓷製品的完整。在添加此類加強式的結晶填料時要注意其熱膨脹係數與玻璃之間的差異應保持愈小愈好，以免造成失配(Mismatching)的脫落現象出現。

### 【一、牙科用陶瓷之強化處理(Strengthening Dental Porcelain)】

b. 變態韌化(Transformation Toughening)：此項是一最新的技術，加入的結晶性材料在應力作用下將進行晶體結構的改變，常用的結晶性材料為部份穩定性鋯土(Partially Stabilized Zirconia, PSZ)。此晶體物質可將裂痕延伸所擁有的能量吸收，一方面造成自身晶體的變態發生，同時則有減弱裂痕的延伸，間接強化陶瓷材料，使用此法的缺點是添加的鋯土本身由於折射指數較玻璃為高，所以容易造成陶瓷材料的濁白效果。

### 【二、牙科陶瓷復形体的設計(Design Of Dental Restorations Involving Ceramics)】

在設計上如果能事先了解陶瓷材料的弱點，應避免陶瓷製品承受高拉張應力和由厚薄不均或尖銳角度所起的應力集中現象(Stress Concentration)。

### 【二、牙科陶瓷復形体的設計(Design Of Dental Restorations Involving Ceramics)】

#### 1. 減少拉張應力(Minimizing Tensile Stresses)

傳統的瓷套冠(Porcelain Jacket Crown)不適用於後牙的復形，其原因是咬合力容易引起強大的拉張應力並集中在牙冠的內部。金屬瓷冠(Metal Ceramic Crown)由於是先製作金屬薄蓋冠(Metal Coping)然後再將陶瓷燒烤在金屬表面，金屬薄蓋冠的延性和強度可預防陶瓷內部承受過大的拉張應力。

### 【二、牙科陶瓷復形体的設計(Design Of Dental Restorations Involving Ceramics)】

#### 2. 避免應力集中(Avoiding Stress Concentration)

在設計上，如果出現突然的形狀變化或厚度改變均容易造成應力的上昇使復形體更易發生破壞。在瓷套冠製作過程中，鉛箔片在摺疊處容易造成切跡(Notch)使應力上昇，牙齒修形上如有尖銳的線角(Sharp Line Angles)也是易製造應力集中的區域，同時，如果修形上厚度不均勻，在陶瓷燒製過程中，瓷層的突然厚度改變將會造成應力集中現象。在復形體設計中，雖然金屬瓷冠較瓷套冠為強硬，但是仍須注意薄蓋冠內部不應有尖銳的線角和避免突然的厚度改變現象發生才能確保復形體的耐用性。

### 【三、影響顏色的因素(Factors Influencing Color)】

自然牙齒的顏色綜合了光線在牙齒內的反射作用(Reflection)、折射作用(Refraction)和色散作用(Dispersion)，而色散作用又因光的波長不同而有差異。因此，牙齒外觀的顏色將因我們使用比色的光源是直接陽光、反射陽光或鎢絲、螢光燈的不同而有所差別。牙科用陶瓷在著色時是以混合金屬氧化物一起燒製而產生色澤，而色澤的確定是按先前牙醫師使用比色板(Shade Guide)比對所得，而後來復形體的顏色就是藉著色素的混合而盡量配合。然而，真正的顏色表現是一項複雜的光折射，反射和色散作用的組合結果，色素是決定於對光的吸收和反射作用為主，例如：如果以白光照射在一紅色物體表面，則除了紅色波長的光線之外其餘波長的光將被物體表面所吸收，紅色波長的光則反射出來，

### 【 三、影響顏色的因素(Factors Influencing Color) 】

因此，若以紅色色相(Hue)的色料與瓷套冠材料相混合，但是光源中卻不含紅色波長的光波，結果製成的牙冠會呈現不同的色調。理想地，牙醫師應在藍色天空時北方的光源作為此色時的照明(Illumination)，其原因是該方向的光源擁有較平均的可見光波長。如果天空呈現密雲，所得到的色調將較上述反射的日光得到的色調更為淺灰(Grayer)，如果光源是經由紅磚牆反射回來則色調將呈現略帶粉紅色相(Pink Hue)。因此，顏色的比配(Color Matching)如果可能應使用兩種或以上不同的光源，其中最低限度有一項是北方的日光，而比配的時刻以中午稍為有雲的時分為佳。

### 【 三、影響顏色的因素(Factors Influencing Color) 】

另一影響陶瓷復形體美觀的因素是黏合劑，特別是瓷套冠，由於其透明度高，若使用不透明潔白的黏合劑(Opaque Cement)，例如：磷酸鋅黏合劑，由於光源的吸收作用將可能造成瓷套冠的色澤改變，因此，應使用半透明性的矽磷酸鹽黏合劑或玻璃離子體黏合劑效果會較理想。

### 【 參、陶瓷復形體的製作 (Fabrication Of A Ceramic Restoration) 】

#### 【 一、縮合作用(Condensation) 】

瓷套冠、金屬瓷冠和其它的陶瓷復形體其製作方法均是將細緻的粉末以水調拌並擠壓縮合成所需的形狀。一般而言，粉末的粒度分佈均可讓粉末堆砌成最理想的密緻程度，愈密緻的堆積可提供較低程度的燒製收縮(Firing Shrinkage)和較少的氣孔性，此項堆積的達成可包括振盪(Vibration)、調拌(Spatulation)和毛刷(Brush)技術等方法。

#### 【 二、燒製步驟(Firing Procedure) 】

當陶瓷材料經堆積成型完成後，復形體將置放在一燒製黏土托(Fire-Clay Tray)上然後推入瓷爐中進行燒製。此時注意不能與爐內壁或地板有所接觸，不然在高溫時，陶瓷材料將軟化，部份接觸污染的成分將熔合成熱元素(Heating Element)，如果發生任何污染，則在冷卻時將會發生斷裂或分解現象。

#### 【 二、燒製步驟(Firing Procedure) 】

振盪方法是以輕度振盪將濕粉末在支架(Framework)中作振盪堆積，滲出的過多水份則以乾淨的紙巾吸走。調拌方法則以一小調刀將濕粉末塗佈成形並光滑表面，在光滑過程中，過多的水分將被移除吸收，第三項方法是以毛刷將乾燥的瓷粉塗佈在濕潤瓷粉的對側方向塗上，由於水分將朝乾燥粉末方向滲透，結果將會造成濕粉末的內拉，造成更密緻乾燥的效果。無論使用以上何種擠壓堆積方式，注意水的表面張力是整個堆積成形的動力，因此，陶瓷在堆積未完成以前下能完全乾燥。

## 二、燒製步驟(Firing Procedure)

基本上，陶瓷材料組成成分間的熱化學作用(Thermochemical Reaction)在粉末製成前已完成反應，後期燒製成型的目的是將粒子重新熔合成固定形狀操作而已!然而，在燒製的高溫環境內特別是過久或延長甚至反覆多次的燒製處理將可能引起不必要的熱化學作用發生，特別是白榴石(Leucite)的含量改變將同時會造成陶瓷與金屬間出現較大的熱膨脹係數的失配，因而發生應力的集中，容易導致陶瓷出現裂痕。燒製時，將堆積完成的陶瓷材料置於瓷爐的門口前方，此時瓷爐已預熱完畢，內部溫度約攝氏650度，瓷爐預熱的目的，一方面可將爐內水氣或其它的可能造成污染的雜質燃燒並清除乾淨，另一方面可提供陶瓷材料正確加熱的程序。在爐口預熱約5分鐘後，陶瓷復形體將被送入爐中，整個燒製週期便正式開始。

## 二、燒製步驟(Firing Procedure)

陶瓷粉末其粒度大小除將影響堆積的緻密程度以外也將影響最後復形體成品的視密度(Apparent Density)，粒度較大的粉末相對在燒製成品中內含的空泡容積較大。在燒製過程中常使用抽真空的方式使瓷爐內壓力下降至約為大氣壓力的十分之一，此時當溫度上昇，粒子互相熔合燒結一起，由於壓力的關係原有的氣泡將外逸，祇殘餘部份被包圍在陶瓷內部且被陶瓷材料隔離於爐內壓力環境的內在氣泡，在燒製至溫度約在最高燒製溫度下約攝氏55度時，此時爐內的真空將釋放，壓力自原來祇有十分之一大氣壓力回復到一個大氣壓力的狀態，此時由於壓力的增加陶瓷內部的氣泡將受到陶瓷材料的壓縮而減少和變小。

## 三、上瓷釉(Glazing)

由於要獲得光滑且自然的表面效果，陶瓷復形體母論是瓷套冠，金屬瓷冠等均會在燒製成型後表面上染色和瓷釉(Stain and Glaze)，由於瓷釉大部分都是添加了大量的變性劑以讓其燒製溫度下降至足夠低，但是也往往引起一些化學性不穩定的問題和耐久性不足的現象。為解決以上的問題且可以使特殊染色獲得更真更久的效果，目前多建議進行內染色處理(Internal Staining)，將染料直接嵌入陶瓷粉末成型的內部一併進行燒製，此方法的缺點是效果較難控制，且一旦不理想，消除步驟較困難，必須整塊陶瓷結構磨除重新堆積燒製。經上瓷釉的陶瓷在強度和破裂模數方面均較未上瓷釉的為高，見表16-3所列。另外，經上瓷釉的陶瓷成品，瓷釉層將有效降低裂痕的延伸，如果將瓷釉層磨除則陶瓷的橫向強度可能下降到祇有原來上瓷釉陶瓷的一半。

## 四、冷卻(Cooling)

在燒製陶瓷材料過程中，正確的冷卻處理將可避免陶瓷材料的損害，過急的冷卻速度將可能造成陶瓷材料由於冷卻太快而引起收縮不均勻破裂發生。但是對於具有金屬薄蓋冠做襯裡的金屬瓷冠，太慢的冷卻速度可能會引起陶瓷和金屬間熱膨脹係數差異的更明顯而更易引起裂紋(Craze)和破裂現象的發生。

## 肆、陶瓷材料的應用(Porcelain Materials Applications)

## 一、陶瓷人工牙齒(Porcelain Artificial Teeth)

陶瓷材料最早應用於牙科領域就是用於製造人工牙齒，所採用的材料屬高熔點陶瓷。人工牙齒在製造時通常是以兩層或以上不同成分和半透明性的陶瓷材料堆積，壓入金屬模具內然後燒製而成。圖16-1所示為人工前牙的剖面圖。原料中以長石成分為主，然後加入15%石英和4%瓷土以調整材料的模塑性(Moldability)。燒製完成的人工牙齒是藉著機械性聯鎖(Mechanical Interlocking)固持於義齒基底上，在前牙方面，多在燒製過程中加入一貴金屬環於牙齒的背部，如圖16-1所示，而後牙方面則製成一凹陷空間以便基底樹脂材料流入固化而獲得同樣外，經上瓷釉的陶瓷成品，瓷釉層將有效降低裂痕的延伸，如果將瓷釉層磨除則陶瓷的橫向強度可能下降到祇有原來上瓷釉陶瓷的一半。

## 一、陶瓷人工牙齒(Porcelain Artificial Teeth)

在燒製人工牙齒過程中，第一階段通常是將水份和有機黏結劑(Organic Binder) 燒除，並成雛型，在第二階段或緻密化階段(Densification Stage)，此時長石將與石英和瓷土正式發生熔合和固化成型，由於粒子間互相熔結，結果將造成約18%的線性收縮，因此如擬製造一顆人工牙齒寬為8.5毫米時則模型的尺度需10.3毫米寬，才能補償燒製過程中的收縮量。另外，在燒製過程出現在材料內部的氣泡，以大氣燒製的陶瓷為例，經測定其含氣泡的量約為6.3%，此種由於瓷粉的燒結造成之空泡情形可經由真空燒製步驟獲得明顯的改善。在性質方面，陶瓷人工牙齒最重要的性質是與其磨耗直接有關的硬度，表16-4所列乃陶瓷材料與自然齒質與塑膠牙齒的硬度比較。據估計陶瓷材料較一般塑膠牙齒有高達10至20倍的抗磨耗能力。目前在塑膠人工牙齒方面由於顯合反應的更完整和製成的人工牙齒其交聯與呈網狀結構的本質，所以在硬度和耐磨耗能力均明顯上昇。

## 一、陶瓷人工牙齒(Porcelain Artificial Teeth)

綜合陶瓷人工牙齒的特性可歸納如下：

### 《優點》

- 1.優異的生物相容性:
- 2.自然的外觀:
- 3.對變形和磨耗作用有高度抵抗能力。

### 《缺點》

- 1.材料脆性高:
- 2.藉機械性附著於義齒基底上:
- 3.咬合接觸時有明顯聲響:
- 4.咬合調整和修磨、磨光較困難:
- 5.高密度的牙齒，將增加義齒的總重量:
- 6.與丙烯酸類基底材料在熱膨脹係數方面失配，易引起裂紋。

## 二、瓷套冠(Porcelain Jacket Crowns)

早期以此類牙冠進行復形甚普遍，使用的是高熔度的長石陶瓷材料，初期的材料強度較低，後經改良加入鋁土，先製成冠心體部份，再按顏色層燒製陶瓷在鋁土冠心體之表面形成一較強的瓷套冠，見圖16-2所示。雖然此類瓷套冠在顏色美觀上較後期發展的金屬冠為理想，但是在臨床應用上，由於不宜後牙冠的製作且無法製作牙橋，且製作步驟較為複雜且敏感度高，所以漸被金屬瓷冠所取代。

## 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

全瓷的復形體其最大的缺點及受限於膺復工作因素是其缺乏抗拉和剪切強度。為求降低此項缺點和減少破裂現象目前多採用將陶瓷直接熔合在金屬的薄蓋冠(Coping)上，然後再黏合在牙齒上去，故又稱為陶瓷融合金屬冠(Porcelain-Fused-to-Metal Crown, PFM)，見圖16-3所示。由於金屬具有較高的抗拉強度且經正確處理後，陶瓷材料可以堅固地黏結在金屬表面，而陶瓷材料也因而獲得強度的加強，因此，在正確的設計和物理性質配合下，金屬瓷冠將較其它陶瓷復形體容易製作和具有較低的製作失敗率。

## 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

### 1.陶瓷成分(Composition)

為求配合薄蓋冠台金的高熱膨脹係數，陶瓷成分中的長石量將適當地提昇而獲得 $13$ 至 $14 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 的係數，其製成是將長石與碳酸鹼土金屬，例如：碳酸鉀、碳酸鋰一併在溫度為攝氏 $1093$ 度共同燒結成為玻璃，並結晶成為白榴石(Leucite)，此白榴石具有較高的熱膨脹係數。在製造過程中將含白榴石的熔合玻璃驟冷並在水中成熔塊(Frit)，將玻璃在非晶形態中冷凍下來，熔塊經研磨和與金屬氧化物的色料混合成為各種不同色調的牙科用瓷粉。

## 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

至於用在遮蓋金屬薄蓋冠顏色的不透明(Opaque)瓷粉則含約15%的氧化錫、氧化鋯或二氧化鈦的成分，在不透明層上的是牙本質層(Dentin Layer)或稱體層(Body Layer)，最後，在最外的層次稱之牙釉質層(Enamel Layer)其色調帶半透明性以做效自然切緣的色調。



### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

#### 2. 薄蓋冠的鑄造 (Cast coping)

薄蓋冠提供一堅強支架予陶瓷材料熔合在其表面，陶瓷材料必需具備較低的熔點用於鑄造薄蓋冠的金合金通常擁有較高的熔融範圍以防止在燒製金屬瓷冠高溫狀況下出現自重下垂(Sag)、潛變(Creep)或熔解軟化等現象。同時在成分中含微量的基底金屬(Base Metals)，例如：鐵、鋇、和錫。此類基底金屬在去氣/處理時，將在薄蓋冠表面利用高溫擴散原理形成一表面氧化層，此氧化層是陶瓷黏結在薄蓋冠主要的機轉。至於在熱膨脹係數的相配方面，據研究當熱膨脹係數相差僅 $3 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 時將會在金合金與陶瓷介面中產生剪切應力高達280MPa(39,800psi)，然而，一般的金屬瓷冠其介面擁有的抗剪切強度約在73MPa(10,300psi)以下，見表16-5所列。

### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

用作製造薄蓋冠的合金材料必需具備較高的比例極限和彈性模數，如果合金擁有較高的彈性模數可減低陶瓷材料的應力集中現象；另外，合金本體的比重不能太高，且熔點應較陶瓷熔合溫度為高，以免在高溫情況下出現自重下垂影響牙冠牙橋的精密度。

### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

#### 3. 技術性考量(Technical Considerations)

雖然此類牙冠牙橋的製造多由技術人員所完成，然而，能對整個步驟瞭解將可降低失敗的機率。由於用作製造薄蓋冠的合金要求有較高的熔點，所以採用的金合金或基底合金多是以耐高溫的包埋材料進行包埋然後鑄造，同時為解決鑄造收縮的問題，包埋材料亦應擁有足夠的熱膨脹以補償收縮的發生，保持精密性，其中以磷酸鍵結和矽土鍵結鑄造包埋粉為宜。為求消除由於磨光或鑄造時污染所殘餘的雜質，同時獲得所需的氧化膜供陶瓷黏結，因此，薄蓋冠往往會在修磨並洗潔後置放於瓷爐內待溫度上昇至攝氏980度進行去氣或除氣處理，此項處理只針對金合金或銀鎳合金系統，其它的基底合金系統由於氧化作用較明顯，所以不必再進行以上的除氣處理而改以氧化鋁等成分的微粒砂子進行噴射處理(Blasting)，再以超音波清洗乾燥的步驟取代。

### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

燒製瓷層步驟中通常先塗佈一層厚0.2毫米的不透明瓷層(Opaque Layer)，然後燒製至其熔合溫度；其餘的半透明瓷層則按比色結果和牙冠形態而堆積成型。當牙釉質層添加完畢後，陶瓷的燒製便進入最後階段，稱為瓷釉烘培(Glaze Bake)，將瓷爐的溫度調至上瓷釉的溫度後一層玻璃化瓷層將在陶瓷表面形成，此時將上瓷釉的牙冠或牙橋自爐戶中取出，放在工作檯上，並以瓶子或燒杯將之覆蓋，讓其工作檯上，室溫環境內，緩慢降溫冷卻為止。

### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

#### 4. 陶瓷金屬黏著(Porcelain Adhesion To Metal)

對於促進陶瓷與金屬間的黏結或黏著效果可歸納為濕潤作用、氧化黏著和機械性固持效果等。

### 三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)

a. 濕潤作用(Wetting)：一般液態物質對固體表面的濕潤程度多以接觸角的大小作為表示，良好的濕潤特性可讓陶瓷材料能深入金屬的粗糙表面內部並獲得較大面積的接觸，同時更表示陶瓷和薄蓋冠合金之間有良好的化學相容性。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

b.氧化黏著(Adherent Oxide)：金屬表面存在一層氧化膜對於陶瓷的濕潤有很大的幫助，此層氧化膜多是由金屬內部一些微量元素，例如在金合金成分中所含的鐵、錫、鋨等元素經擴散至金屬表面並經氧化而形成的，在燒製過程中進一步的擴散將出現於陶瓷材料與氧化膜之介面，結果形成一堅固的化學式黏著效果。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

c.機械性固持(Mechanical Retention)：在金屬氧化膜表面如果有粗糙的現象出現，特別是基底合金表面經噴砂處理後，將產生一明顯的機械性固持效果，有助陶瓷與金屬發生黏著效果。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

d.黏結失敗(Bonding Failure)：陶瓷與金屬薄蓋冠之間的黏結效果常因受應力、設計、甚至材料強度等因素而造成破裂失敗現象，其分類見圖16-4所示。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第一類失敗：介面在陶瓷和金屬之間，表示無氧化膜的形成，可能是在銀鈦合金表面使用了披覆劑(Coating Agent)以防止銀擴散至陶瓷內造成變色效果，但卻阻礙了氧化膜的形成，陶瓷無法有效黏結在金屬薄蓋冠表面。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第二類失敗：出現於氧化膜與瓷層的介面，可能的原因是氧化膜受污染或是陶瓷材料與氧化膜發生相容性問題。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第三類失敗：出現於瓷層內部的分裂，主要是陶瓷材料內部應力有集中現象或存在雜質、氣泡等造成完整性的破壞與強度的減弱。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第四類失敗：出現於金屬與氧化膜介面上，此表示陶瓷與氧化膜之間的黏結強度較之氧化膜與金屬黏結效果為佳。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第五類失敗：單純出現在氧化膜內的破裂，此現象多見於基底合金，例如鎳鉻合金，由於氧化程度較高，結果形成的氧化膜不易控制而致過厚，且氧化膜自身是一較脆弱的結構，容易產生化學式或機械性的破壞。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

第六類失敗：屬於與第三類相似的內聚性失敗，其原因也與金屬內部結構有缺陷、雜質、氣泡等造成結構上的不完整而破壞。

### 【三、金屬瓷冠(Metal Ceramic Crowns)】

#### 5.優點(Advantages and Disadvantages)

##### 《優點》

- a.高強度:
- b.可以製作牙橋:
- c.精密度和貼合性較佳

##### 《缺點》

- a.容易暴露金屬邊緣影響美觀:
- b.金屬元素可能擴散至陶瓷內造成變色:
- c.不易製成半透明性或透明效果:
- d.陶瓷與金屬黏結會發生破裂失敗:
- e.合金的應用會引起生物相容性問題。

### 【四、可鑄造式玻璃陶瓷(Castable Glass Ceramics)】

玻璃陶瓷是一種先呈現玻璃化或非結晶狀態，後經熱處理轉換成結晶狀態材料。目前經研發成功並市售的材料是以去蠟處理(Lost Wax Process)再經鑄造而成型。此類玻璃陶瓷材料基本成分仍屬矽土材料，經熱處理後，將形成雲母結晶而增強材料的各項強度和物理性質，特殊的結晶形成使製成的復形體有優良的半透明性和光的折射效果。

### 【四、可鑄造式玻璃陶瓷(Castable Glass Ceramics)】

製造過程是先以磷酸鍵結包埋材料包埋，經脫蠟成模，其脫蠟溫度分兩階段，前階段在攝氏250度，另一階段則在攝氏950度，然後降回室溫左右，其鑄造時模具的溫度約為攝氏37~42左右，所以是一項冷模鑄造(Cold Mold Casting)處理，配合使用廠商配備的玻璃原料，坩堝和鑄造機組進行鑄造，溫度約攝氏1380度。經清理包埋材料和切除鑄道後，此時的玻璃成品將以特殊的包埋材料包埋，然後，依一定程序昇溫至攝氏1075度，並熱煉數小時，使結晶作用能徹底完成，而成為一雲母陶瓷成品，此過程稱之為瓷化(Ceramming)。

#### 【 四、可鑄造式玻璃陶瓷(Castable Glass Ceramics) 】

經瓷化後的陶瓷復形體具撓曲強度(Flexure Strength)約52MPa(22,000psi)和洛氏硬度數(KHN)362左右，熱膨脹係數為 $7.2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ，最後的色調是藉著外在染色(External Staining)處理而獲得所需的顏色，見圖16-5所示。此類材料目前祇建議使用於前牙或後牙並能作足夠厚度磨除的牙齒製作牙冠使用，牙橋的設計，由於材料的脆性和鑄造後的精確性，而仍在研究中。

#### 【 五、鋁殼陶瓷材料(Aluminous Core Porcelain Materials) 】

由於金屬瓷冠對光僅具有反射作用，而自然牙齒則容許光的穿透，為求擁有更自然真實的復形效果，全瓷復形(All-Ceramic Restoration)便成為過去十餘年來主要研究發展不具金屬基材瓷冠的主題。