

牙科材料學
Dental morphology

鑄造步驟
Casting Procedures

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

1. 牙科材料學(鍾國雄)
2. Phillip' s Science of Dental Materials (11th edition, Kenneth J. Anusavice)
3. 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.

牙醫界所採用的鑄造步驟主要是脫蠟技術(Lost Wax Technic)。此方法包括蠟型的製作、以包埋材料包埋、加熱處理脫蠟而成模具和將熔融的金屬灌注入模具內，最後固化成為鑄造體(Cast)。圖9-1乃一嵌體蠟型未經包埋和脫蠟處理前的構造剖面圖。

壹、補償作用
(Compensation)

在牙醫界採用鑄造技術處理以製作復形體時，一般的鑄造體其精確度要求是在誤差0.1%以內，因此，一般的脫蠟技術過程中所牽涉使用的材料間應有互相補償尺度變化(Dimensional Change)的能力，綜合而論，可歸納為以下的關係：

蠟型的收縮 + 合金的收縮 = 蠟型的膨脹 + 包埋材料的膨脹(凝結、吸濕和熱)

一、熱收縮效應(Thermal Shrinkage Effect)

1. 蠟型方面

蠟型的製作可分為直接和間接製作兩種方式，除了少數復形體，例如嵌體的製作是可以使用直接製作法，在患者口腔牙齒窩洞內雕刻印取外，其餘大部份的復形體均是牙醫師將牙齒形狀修磨好後，以適當精確的印模材料(Impression Materials)將形狀印成負模(Negative impression)，然後以石膏產物中第三、四或五型硬石膏材料灌注成為口腔組織和牙齒形狀的複製品(Replica)：硬石膏模型(Stone Model)，最後按所需製作蠟型的牙齒分別製成單齒模(Die)，以方便在口外進行的間接方蠟型製造操作。口內直接製作蠟型式，由於環境溫度有所差異(口內約為攝氏37度，而室溫平均為攝氏25度，因此，收縮量可達0.4%，在口外的硬石膏單齒模型上製作蠟型，則蠟型收縮量約為0.2%。

一、熱收縮效應(Thermal Shrinkage Effect)

2. 合金方面

熔融的金屬當鑄造完成時，將從熔點的溫度冷卻到室溫成固態物體，此時由於溫度的懸差，收縮現象是無法避免，但是，收縮量的大小將因鑄造體的形態而有所差異，例如，薄的鑲面以及大的第五類型復形體其間的變化可自1.25%以至2.4%不等的收縮變化。

二、熱膨脹效應(Thermal Expansion Effect)

1. 蠟型方面

蠟型經包埋後，由於包埋材料在凝結反應過程中出現放熱反應，熱量傳遞到蠟型將引起蠟型的膨脹和軟化，由於此時的蠟型周圍被包埋材料所圍繞，所以變化不會明顯且不安全，變化太大將容易引起蠟型的變形。

二、熱膨脹效應(Thermal Expansion Effect)

2. 包埋材料方面

由於包埋材料的成分不同，因此，不同處理的方式可獲得不同程度的膨脹效果。

2. 包埋材料

1、高熱處理的變化：當包埋材料按廠商指示調拌，灌模，並靜置45-60分鐘以達到凝結反應，此時，對常用以白砂土為填料和耐火材料的包埋粉將有約0.35%的凝結膨脹效應。

此時將模具放置在烤箱並在攝氏200度時熱處理205530分鐘，以進行脫蠟處理和繼續加溫到攝氏700度，同時也熱煉(Heat Soaking)約20-30分鐘，以期獲得最高的熱膨脹效應約1.25%。由於此類包埋材料強度較弱，所以需要使用金屬環幫助灌模，一般使用金屬環時都會在內層墊加吸水後的石棉襯墊(Asbestos Liner)，以供空間讓包埋材料進行膨脹，而石棉襯墊所沾的水份會被包埋材料在凝結過程中吸收，而同時發生吸濕性凝結膨脹，此項膨脹量約為正常凝結膨脹率的兩倍，因此，綜合上述各項的膨脹效應得到的結果約為1.95%至2.30%，而熱膨脹的效應最為明顯。

2. 包埋材料

II、低熱吸濕(Low Heat-Hygroscopic)變化：一般作為吸濕性配方的包埋材料多具有較主要為熱膨脹的包埋材料有較佳的內聚強度，因此，往往不必使用金屬環而改用其它可拆式或膠質的容器則可。在凝結的初期將包埋材料浸泡在水裡進行吸濕膨脹，結果將發生膨脹量約為1.50%，加上正常的凝結膨脹量0.3%，總計在加熱之前已有約1.80%的膨脹量。在繼後的加熱處理中除了脫蠟外，在攝氏480度熱煉30~45分鐘將可獲得約0.55%的膨脹量，因此，這類型的包埋材料將可獲得2.10%至2.35%的膨脹量。

貳、開鑄道(Spruing)

在蠟型上加上鑄道的主要目的可歸納如下：

1. 用以固定蠟型以連貫模具的形成；
2. 在脫蠟過程中形成一除蠟的管道；
3. 形成一管道，在鑄造過程中讓熔融的金屬流入模具內；
4. 在固化過程中，金屬收縮時的補償用。

一、鑄造大小的影響

鑄造本體應有足夠的大小空間，讓鑄造體在固化時能保持連續及開放性，減低鑄造在固化時產生的收縮誤差，同時也應保持適當的短距離讓鑄造時熔融的金屬能直接迅速地灌注入模具空間內去，一般的鑄造長度約為4-5毫米，其直徑則視蠟型的最厚部份大小而採取相近的粗細程度。

二、附着點的設計

鑄道在蠟型上的附着，應以最粗大的部份為主，見圖9-2所舉各種不同蠟型鑄道的設計。如果蠟型出現兩片較大的蠟型而中間相連部份較薄小，則應考慮以雙鑄道或‘Y’型連接方式設計，鑄道的設計以求讓熔融的金屬直接灌注入模具空間內，不致產生漩渦或迴流等不正常流向，造成空氣陷入或氣孔存在鑄造體內部，影響成品的品質。同時，在附着點部位要圓滑，無尖銳角度或拐彎迴流的現象。

三、鑄道的選擇

一般是以圓形蠟條為主要選擇的材質，部份有取用中空的金屬條管、膠管等不同材質，但是，原則上應以能拔除或加熱處理時能完全燃燒，不留殘餘灰渣，影響鑄造效果為考慮。

四、蠟型的方位性

蠟型是藉著鑄道和鑄道成型器(Sprue Former)固定並定位於金屬環內，以待灌入包埋材料，加熱處理而成模具，見圖9—1所示。此時為求解決在鑄造過程中模具空間內的氣體能及時逸出，讓熔融金屬灌入成型，蠟型的一端應離金屬環開口約6毫米，此距離有雙重意義，一是讓包埋材料具備6毫米厚度承受熔融金屬的衝擊力量，另一是模具空間內的氣體能在合理的距離和時間內被壓縮往外逸散。較之6毫米較薄或較厚都有造成鑄造缺損或不完整的可能。

參、襯墊(Liner)

在使用金屬環作為包埋處理的操作時，在金屬環的內層經常加上一層或兩層的石棉質襯墊，以提供包埋材料作側方膨脹的空間，另外，為防止包埋材料在熱處理後，與金屬環和襯墊的附着效果不良，所以，石棉襯墊使用時在近金屬環一端開口距離3毫米處才圍上，以便讓包埋材料能固定在金屬環內不易脫落。

為使石棉襯墊能黏貼在金屬環內壁，因此多在貼上後，浸些少水使其飽和並能有黏貼的效果，而石棉所吸收的水份對爾後灌注的包埋材料可能提供部份的吸濕性膨脹效應。石棉襯墊對包埋材料的膨脹影響見圖9—3所示，此類現象水稱為半吸濕性膨脹(Semihgrosopic Expansion)，有別於將包埋材料浸泡在水裡所發生的吸濕性膨脹。

肆、包埋(Investing)

當蠟型經由鑄道蠟固定於鑄道成型器上，且選擇合適的金屬環和加上濕潤的石棉襯墊，此時應將量好的包埋粉和水依廠商的指示進行調拌和灌模。為減低蠟型的可能發生誤差和氣泡的出現於蠟模空間的內壁，蠟型應以稀釋的清潔劑小心沖洗或噴上少許表面清潔劑以增加包埋材料的濕潤性(Wetting)。

當以上的清潔劑風乾後便可開始調拌包埋材料，經調查發現95%以真空調拌包埋機所灌注的模具是無任何空泡存在於蠟型表面，而手調的結果則只有17%有以上理想的效果。另外，在灌入包埋材料時注意振盪的控制，過份的振盪除造成蠟型與鑄道蠟的脫離外，更會使包埋材料分離造成蠟型表面水份過多，影響以後鑄造體表面的平滑性或內部氣泡的出現。

伍、熔化(Melting)

對於鑄造時採用的熔化方法可分為兩種：一是使用噴鎔(Torch)，另一種是電熱器。見表9-1所列之各項方法：

一、噴鎔熔化(Torch Melting)

在鑄造金合金嵌體或牙冠牙橋時最常用的是煤氣和空氣混合燃燒的方法，使用時應注意噴鎔火焰的層次，並有效利用熱能而不致造成合金的氧化反應。噴鎔火焰的圖示見圖9-4，還原焰的尖端乃最佳熔化金屬的火焰區域。

其它的空氣/乙炔和氧氣/乙炔所產生的溫度較高，較不易控制，易造成金屬的過熱和氧化。

二、電熔化(Electrical Melting)

使用電熱器作為熔融合金的形式包括電阻性熔化，最為適合金合金的熔化鑄造，另外，電感應熔化和電弧熔化，對於基底合金和鈦金屬的熔融均十分理想，使用電阻爐較之噴鎔方便，且容易控制加熱的溫度，但是感應或電弧由於熱量發生迅速所以溫度不易控制。

陸、鑄造機器(Casting Machines)

鑄造機器主要是協助熔融的金屬液漿從坩堝流入模具完成鑄造的操作。此類機器可分為兩大型式：氣動力(Pneumatic Force)和離心力(Centrifugal Force)。其中各種方法見表9-2所列。

一、氣動力式

為較舊式的方法，是使用蒸氣壓力將熔融合金推壓進入模具內，目前較常用是一種利用真空壓力的方式使熔融的合金在真空狀態下發生的推和吸的力量而流入模具內。更有發展利用燃燒氣體推動的原理將金屬熔漿推入模具裡去，以完成鑄造操作。

此類使用氣動力的鑄造方式要注意包埋材料本身要有足夠的透氣性能，使模具空間的氣體能在瞬間被推出，且容許金屬熔漿快速灌入填滿模具，所以，以多孔性較明顯的石膏結合包埋材料用於此型式鑄造最為理想。

二、離心力式

此種機器以利用彈簧的旋緊方式最為常用，從旋緊的次數可以估計產生離心力的大小，和金屬熔漿灌注入模具的所需時間。

從表9-2所列可分為4種的推動方式，電動機推動的啟動速度較慢，但加速則較快，然而一項鑄造的完整性或是鑄造能力(Castability)的評估是以初期的加速度為最重要的考慮因素，因為鑄造一開始金屬熔漿流入模具的各部份，對於細微部份的充填能力就有賴初期的衝力和加速度。

為求改良傳統的離心力式鑄造，有以氣動式來協助離心旋轉的鑄造，特別是對初期加速度的改善，使得在金屬熔漿能在瞬間且流動性乃很好的狀態下快速灌注入模具內，達成完整的鑄造效果，並能成功地鑄造更薄和細小的鑄造體。

柒、鑄造體的清洗和修磨 (Cleaning and Finishing)

當鑄造機停止旋轉或熔融的金屬已經充滿模具後，模具可以先從鑄造機上取下，觀察模具外端的鑄道與金屬鈕(Button)部份，靜置於室溫待金屬鈕轉成暗紅色時候，可將鑄造模具浸入水中，對於金合金的鑄造體此種驟冷或淬火(Quenching)操作將使鑄造體變軟，且包埋材料在遇冷水時則會碎裂，同時也有助金屬鑄造體的取出。

此時的金屬鑄造體由於氧化或硫化的作用，表面多呈黑色一層，去除此表面的化學層的操作稱之浸漬處理(Pickling)，一般是使用鹽酸(50% HCl)為主的酸液，以陶瓷器皿盛載，將鑄造體浸泡在內，酸液的量以完全淹沒鑄造體為止，然後稍加熱，以不煮沸為原則，以增加酸洗的效果，最後合金鑄造體再以大量清水沖洗殘餘的酸液，吹乾後並進行檢查和進一步形狀的修磨。

一般用作陶瓷融合金屬的合金例如鈦金屬或合金類，基底金屬或合金類均採取室溫緩慢冷卻，才進行包埋材料的拆除，而且由於表面金屬氧化層乃日後陶瓷融合的主要部份，所以不進行浸漬處理，或改以噴砂處理為主。在經過包埋材料清除，浸漬處理，清洗乾淨後，先檢查鑄造體無任何突出異物或缺陷，同時可放回單齒模上檢查實際鑄造的完整性。鑄造體的吻合性和邊緣的完整性如果檢視無誤後，則可進行最後的修磨和磨光處理(Polishing)。

首先將鑄道切除，然後按打磨工具的自粗到幼細的程度分別作修磨，以獲得理想的形態和咬合關係，最後以氧化錫或氧化鋁等幼細磨光粉，配合布輪以慢速打光，獲得一光亮麗的鑄造成品。

捌、鑄造誤差(Casting Errors)

鑄造體所出現的缺點可以歸納為以下四大類：

- (1) 扭曲(Distortion)
- (2) 表面粗糙和不規則(Surface Roughness and Irregularities)
- (3) 氣孔(Porosity)
- (4) 不完整鑄造(Incomplete Casting)

一、扭曲現象

此項變形可能是源自早期蠟型的扭曲所引起，一方面可能是蠟型的製作過程中溫度的變化或是內部應力的散發所引起的扭曲，也可能是包埋後包埋材料凝結時所散出的熱造成包埋材料未完全硬化但蠟型出現軟化變形，後者與包埋材料的膨脹和凝結有直接的關係。對於此種在形態或尺度上(Dimensional)誤差，可歸納和建議解決如下與圖9—5所示。

誤差	原因	建議避免措施
鑄造體太小	模具膨脹不足	採用正確水粉比例和加溫措施
鑄造體太大	模具膨脹太多	選用正確包埋材料和操作
扭曲變形	蠟型的應力釋放	製作蠟型前將蠟徹底溫熱軟化

二、表面粗糙和不規則

鑄造體表面呈現粗糙或不規則時不單會增加修磨的困難，更容易造成精確或貼合性的降低，其中引起的因素可歸納如下各點：

二、表面粗糙和不規則

1. 氣泡

包埋時，附在蠟型表面的氣泡在將來鑄造時會形成一突出的結節狀物體，減少此類現象可使用真空包埋處理或在包埋前於蠟型表面塗些濕潤劑(Wetting Agent)。

二、表面粗糙和不規則

2. 熱處理不當

過速的加熱方式將易引起包埋材料的破裂，加熱不足更將會造成有殘餘的蠟留在模具內；過久的加熱烘烤模具則將造成包埋材料分解，產生污染合金的氣體，對合金加熱過久也會引起表現的不規則。

二、表面粗糙和不規則

3. 水粉比例

水粉比例愈高，則形成蠟型表面的包埋材料較疏鬆，水粉比例愈低，則包埋材料過稠，不易精確覆蓋蠟型，易造成鑄造體表面的不規則。

二、表面粗糙和不規則

4. 鑄造壓力

壓力過高，可能造成模具內壁的完整性或尖銳的部份受損，而致鑄造體表面粗糙。一般的鑄造氣壓約15至20psi，離心力式鑄造機其彈簧約旋緊3至4圈便足夠達成鑄造操作。

二、表面粗糙和不規則

5. 其它的污染

如外物的滲入，殘餘的蠟雜質等等。綜合如下：

誤差	原因	建議避免措施
粗糙表面	1. 包埋材料的破碎 2. 蠟型上附有氣泡 3. 包埋材料脆弱	不要對模具和合金過度加熱 使用濕潤劑和真空包埋操作 正確水粉比例，濕潤劑不能過量使用
凸片 (Fins)	包埋材料的破裂	包埋材料不能加熱太速

三、氣孔(Porosity)

可分為內在性和外在性兩種，外在性就是前述的表面粗糙的原因之一，內在性則可能造成鑄造體的品質與強度降低，如果接近表面更引起變色，破壞等不良效果。氣孔可由其引起的原因不同而分類如下：

三、氣孔(Porosity)

1. 由於固化收縮所引起的

- I、局部收縮性氣孔(Localized Shrinkage Porosity)
- II、顯微氣孔(Microporosity)

三、氣孔(Porosity)

2. 氣體所引起的

- I、針孔性氣孔(Pinhole Porosity)
- II、氣含性氣孔(Gas Inclusions)
- III、表面下氣孔(Subsurface Porosity)

3. 模具內所陷入的空氣

局部收縮性氣孔主要是由於熔融合金在固化作用時不完全的供給(Feeding)所引起，特別是基底金屬合金的收縮量十分大，因此，在鑄道的設計方面必須考慮其足夠大小，以提供如球池(Reservoir)的功能，此形態的氣孔多出現在鑄道與鑄造體交界處。另外，在內部也會因局部過冷造成結構內部冷卻較慢而呈現的內部氣孔，又稱為吸回氣孔(Suck-Back Porosity)。避免的途徑，一方面可以加大鑄道與鑄造體附著點的範圍，另一方法是稍為降低鑄造的溫度(約攝氏30度)。顯微氣孔多發生在急速固化時，顯微的氣泡凝結在進行固化的金屬內部，只有在剖開金屬鑄造體才容易發現，避免急速固化將可避免此種氣孔的發生。

針孔性和氣含性氣孔均是固化作用時氣體陷入所引起，多呈圓形。但是氣含性的體積較大，其形成往往和合金的成分發生溶解有關，例如鉍金屬對氫氣有強大的吸附能力，當金屬熔融時，氣體便放出成為微小的氣泡存在金屬內部。大型的氣含性氣孔可能是鑄造金屬在模具內成漩渦流轉所捲入，或是使用噴鎊氣體的吹入熔融金屬液漿內部而致。注意調整噴鎊和鑄道的設計可減低氣含性氣孔發生。

表面下氣孔可能也是金屬冷卻固化時，由於成核作用(Nucleation)多在表面與氣泡的凝結同一部位，因而將之包含在表面下而成微小的氣孔。

關於局部收縮性，顯微性和表面下氣孔的影響因素，可歸納見表9—3所列。至於模具內的空氣陷入鑄造體內又稱為回壓氣孔(Back Pressure Porosity)，主要是模具內的氣體無法及時在熔融合金灌注入時，適時從包埋材料中逸散出去，而形成一氣體反壓，致流入的金屬對模具的充填能力有所阻礙，造成鑄造體有明顯的空缺部份。注意脫蠟，和適當的模具與鑄造溫度，加上足夠的鑄造壓力，可消除此項氣孔的發生。同時，蠟型在包埋材料的方位，特別是離金屬鑄造環一端之距離應保持在6毫米。

四、不完整鑄造

首先考慮是氣道(Venting)的不足引起上述的回壓氣孔所致，另外是鑄造壓力的不足也是引起圓形，不完整邊緣的主要因素。模具內部的蠟型沒有完全脫除，造成阻塞現象，或是其它引起阻塞現象都可能造成不完整鑄造。另外是人為因素，例如：對所需合金的重量估計錯誤造成不足的鑄造結果。

對於不完整的鑄造可歸納如下：

誤差	原因	建議避免措施
圓形的邊緣	由於模具包埋材料氣孔性不足引起回壓現象。	蠟型距離鑄造環開口不能超過6毫米或使用多孔性包埋材料，增加氣道，確實將蠟脫除，與以足夠的鑄造力鑄造等。
短縮的鑄造體	1. 合金量不足。 2. 模具太薄，太冷或阻塞。 3. 鑄造力量不足。	足量的合金和完全的熔融。 選用正確大小的鑄道蠟和加熱足夠。 用足夠強度壓力的鑄造機器。

玖、陶瓷材料的鑄造

在七十年代研究成功的一種可鑄造式玻璃陶瓷(Castable Glass Ceramic)材料，其主要成分為石英雲母類，製作過程是利用特有的鑄造機器，乃一種屬於離心力式的鑄造機，以脫蠟鑄造處理的步驟，將嵌體或單顆牙冠以蠟型經由鑄造方法製作成型。目前的商業產品以美國Dentsply International與Corning公司聯名研究成功之產品：Dicor為代表。

首先將嵌體或牙冠製成蠟型，其中的厚度以1毫米或以上的鑄造效果最佳，使用廠商提供的磷酸結合包埋材料包埋，加熱的步驟為先加熱到攝氏250度並熱煉30分鐘，然後加熱至攝氏955度，再熱煉30分鐘。

原料經精煉成玻璃錠狀，重約4克，配合特有的鑄造機和已設定的程式，加熱至攝氏1360度然後鑄造處理，鑄造後，靜置室溫冷卻約45分鐘，然後小心拆除包埋材料將鑄造體進行下一步陶瓷化(Ceramming)處理。

陶瓷化的進行是在一特殊的烤爐和經廠商提供的包埋材料將鑄成的玻璃體包埋，經攝氏1075度6小時的熱處理，玻璃體內部將完成再結晶作用(Recrystallization)，獲得足夠的強度和像似自然牙齒的半透明性，最後照個別牙齒色調的需要而加以上色(Shading)結果便可以獲得一顆全陶瓷的鑄造式牙冠或嵌體。見圖9—6的步驟說明。

此種可鑄造陶瓷材料目前只限於牙冠和嵌體的製作，由於陶瓷材料的抗拉張強度較差，所以牙橋的製作仍不鼓勵，但在研究發展中。