

牙科材料學Dental morphology
包埋材料
(Investment Materials)

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. 恒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. 恒齒與乳齒之比較
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.

當蠟型在模型上製作完成後，接著的操作步驟就是使用包埋材料將蠟型包圍起來，經過去蠟(De-Wax)處理，使形成一模具(Mould)可以進行後續的各項鑄造步驟 (Casting Procedures)。關於包埋材料製作模具的步驟見圖8-1所示。包埋材料除了主要用於製作模具，提供鑄造應用外，在義齒製作過程中，原先以基底蠟雕成的義齒蠟型可以用模型用熟石膏將之包埋，同樣經過去蠟處理後，使用丙烯酸類顯合物 (Acrylate Polymer)等樹脂(Resin)材料可經煮聚(Processing) 而成為一具有足夠強度而美觀的義齒。

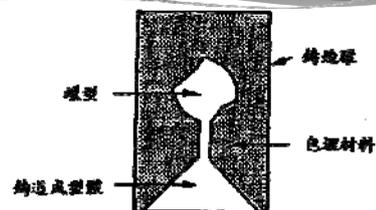


圖 8-1 包埋材料製作模具的圖示。

壹、包埋材料性質要求

基本上，包埋材料是以陶瓷材料成分為主，且擁有複製形成一精確並可應用的模具空間的能力，對其性質的一般要求可列述如下：

- 1.包埋材料應易操作使用，能完整地覆蓋在蠟型上，並且在合理的時間內凝結硬化。
- 2.包埋材料能精確地將蠟型的形態，特別是細緻和邊緣較薄部位均能完整地複製成模。
- 3.在脫蠟(Burnout)加溫時，包埋材料不會分解或產生副產物影響爾後的鑄造品質。
- 4.鑄造用的包埋材料應有理想的多孔性，讓模具內的氣體在鑄造時能順利逸出。
- 5.鑄造完畢，鑄造用的包埋材料易於拆除且不會影響鑄造成品的品質
- 6.包埋材料無論在室溫或高溫處理時應具備足夠的強度，不易破碎或變形
- 7.包埋材料應具備足以補償蠟型、鑄造金屬和處理過程中可能產生收縮現象的膨脹能力和效果。
- 8.包埋材料在熱處理時，其熱膨脹溫度範圍應較廣且變化不太劇烈以利鑄造操作進行。
- 9.由於鑄造後包埋材料所製成的模具必須破壞，因此，包埋材料的來源應要廣泛且成本低廉為宜。

貳、包埋材料的組成

一般而言，包埋材料主要是以下三種不同材料所組成：

- 一、耐火材料(Refractory Material)
- 二、黏結材料(Binder Material)
- 三、其它化學劑(Cheical Agents)

一、耐火材料(Refractory Material)

此類材料的成分主要是二氧化矽和其衍生物，例如：石英(Quartz)，鱗石英(Tridymite)、白矽土(Cristobalite)或是以上三者的混合物。

二、黏結材料(Binder Material)

由於上述的耐火材料無法自行凝結成固態物體形狀，因此，必須藉其它黏結材料的加入幫忙成型，最常用於金合金鑄造的黏結材料為半水硫酸鈣(石膏)材料，其餘鑄造用的包埋材料之黏結劑(Binder Agents)可分別為矽酸鈉(Sodium Silicate)、矽酸乙酯(Ethyl Silicate)、硫酸銨(Ammonium Sulfate)、磷酸鈉(Sodium Phosphate)和其它類似的材料。

三、其它化學劑(Cheical Agents)

通常單獨只含耐火和黏結材料的混成，並不能滿足包埋材料性質的要求，往往需添加其它化學物質例如氫化鈉、硼酸、硫酸鉀、石墨(Graphite)、銅粉或氧化鎂以調整所配成的包埋材料性質來符合實際應用的需要。例如：對硫酸鈣結合的包埋粉添加少許硼或鹽酸將增加其熱膨脹的效應。

參、包埋材料的分類(Classification)

一般按其應用範圍，包埋材料可以歸納如圖8-2的分類方式以鑄造用途為導向，配合其主要黏結材料的成分，可分為硫酸鈣或石膏結合包埋粉(Calcium Sulfate Or Gypsum-Bonded Investments)，磷酸結合包埋粉(Phosphate-Bonded Investments)和矽酸乙酯或矽土結合包埋粉(Ethyl Silicate or Silica Bonded Investment)三大類型。

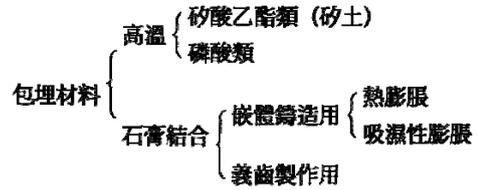


圖8-2、包埋材料的分類。

一、石膏結合包埋粉(Gypsum-Bonded Investments)

1.成分

一般此類金合金鑄造的包埋材料含60至65%的石英或白砂土或是二者的混合: 30-35%的半水硫酸鈣和約5%的化學變性劑(Modifiers)。以上三種主要成分的混合成為適合作金合金鑄造的包埋材料。

1.成分

此類包埋材料的添加物和廠商建議的操作步驟是使用者必須加以注意和遵從的，由於石膏結合包埋粉的耐熱能力不高，因此在脫蠟(Burnout)加熱時不能超過攝氏700度，當溫度超過攝氏700度而接近900度時，內含的耐火材料：矽土，將與硫酸鈣起化學反應生成三氧化硫氣體。在高溫時，三氧化硫氣體會自材料表面逸出而造成金屬鑄造體表面腐蝕現象。

1.成分



2.性質

美國牙醫協會第2號規範(American Dental Association Specification No.2)主要是訂定牙科嵌體(inlay)鑄造用包埋粉的性質。首先，對於石膏結合包埋粉，按其膨脹的方式又分類為

- 第一型：熱膨脹式，嵌體鑄造用包埋材料
- 第二型：吸濕性膨脹式嵌體鑄造用包埋粉和
- 第三型：熱膨脹式局部義齒鑄造用包埋粉

共三大類，以上三型全部的黏結劑都是半水硫酸鈣，有關物理性質方面包括凝結膨脹、吸濕性膨脹、熱膨脹、抗壓強度、凝結時間、包埋粉的精細程度均有基本的要求，見表8-1、8-2所列：

2.性質

表8-1 牙科合金鑄造用石膏結合包埋材料其膨脹性質的要求

種類	預2小時的凝結膨脹(%)		熱膨脹(%)		凝結後膨脹之總量(%)			
	在空氣中		在水中					
	最低	最高	最低	最高	最低	最高		
I - 熱膨脹式嵌體鑄造用	0.0	0.6	-	-	1.0	1.6*	1.3	2.2
II - 吸濕性膨脹式嵌體鑄造用	-	-	1.2	2.2	0.0	0.5**	1.3	2.7
III - 熱膨脹式局部義齒鑄造用	0.0	0.4	-	-	1.0	1.5*	1.2	1.9

*在攝氏700度時

**在攝氏500度時

2.性質

表8-2 牙科合金鑄造用石膏結合包埋材料一般性質的要求

種類	凝結時間(分鐘)		凝結強度(MPa)			於2小時後 凝結強度 (MPa)
	最低	最高	最低	最高	最低	
	最低	最高	最低	最高	最低	
I - 熱膨脹式嵌體鑄造用	5	25	1.00	5.0	0.5	2.0
II - 吸濕性膨脹式嵌體鑄造用	5	25	1.00	5.0	0.5	2.0
III - 熱膨脹式局部義齒鑄造用	3	15	1.00	5.0	0.5	2.0

3.溫度的影響

由於牙科目前在鑄造操作中均採取脫蠟造模法(LostWax Moulding)，在包埋材料內部形成一模具空間，讓熔融的金屬灌注成型，因石膏結合的包埋粉其耐高溫的能力較低，所以包埋材料在熱處理時溫度不能低於攝氏370度，以免膨脹量和脫蠟不完全，但也不能高於攝氏700度，避免包埋材料起化學變化甚至瓦解影響鑄造品質。

3.溫度的影響

對耐火材料的變化，雖然石英、鱗石英和白矽土均是矽土的同質多晶性(Polymorphism)物質，但是，在加熱時其膨脹率則各異，見圖8-3所示。白矽土在攝氏400度時膨脹量為1.6%，石英則需加熱至攝氏600度才會膨脹1.4%，而鱗石英在加熱至攝氏600度其熱膨脹量仍不到1%。特別注意的是無一種耐火材料其熱膨脹是均勻平穩或是呈線性發生的，往往在加熱到某溫度時才出現明顯且劇烈的膨脹變化。

3.溫度的影響

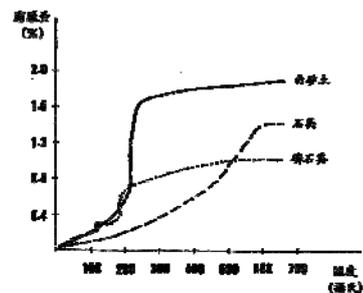


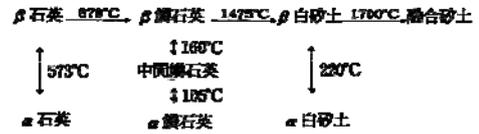
圖8-3 耐火材料熱膨脹變化。

3.溫度的影響

例如，白砂土的膨脹現象在攝氏220度以前是較為均勻，但在超過約250度時則出現由原有的0.5%膨脹到1.2%的急劇變化；石英則在攝氏573度時出現大幅度的改變，鱗石英雖然不明顯，但是卻在較低的溫度約攝氏105度和160度左右有兩度的變化出現。從圖8-3的熱膨脹曲線可以發現，白砂土和石英存在兩種同質多晶體(Polymorphic Crystals)，分別在較高與較低溫度均能保持較穩定的形態，在低溫或室溫能保持穩定的稱為 α 型，高溫環境中呈現穩定的稱為 β 型，而鱗石英由於熱膨脹曲線中出現兩度的轉變，所以應該有三種型的結晶。而發生轉變的溫度，例如白砂土的攝氏220度，石英的攝氏573度和鱗石英的105與160度稱為位移性轉移溫度(Displacive Transition Temperature)。能量的吸收，將造成分子間的化學鍵結發生一種伸直效應(Straightening Effect)而造成物體的容積增大或密度降低，但是化學成分無任何改變，見圖8-4所示。

關於各項耐火材料成分受熱的轉換(inversion)可歸納如下

3.溫度的影響



3.溫度的影響



3.溫度的影響

由於以上的轉換，且白砂土擁有最大的熱膨脹效應，對於鑄造操作過程可能發生的收縮現象有適當的補償效果。對硫酸鈣黏結劑而言，由於在攝氏105度開始便有來自耐火材料的膨脹現象出現。然而，含水硫酸鈣結晶此時亦轉換成無水硫酸鈣，脫水的結果形成收縮現象，以上的膨脹和收縮現象互相補償，在繼續加溫的情況下，耐火成分分別依其所達到的位移性轉移溫度而進行 α - β 相的轉換而發生熱膨脹效應。

3.溫度的影響

前面已提及此類包埋材料的加熱處理在攝氏700度以內為限，過度加熱，除了三氧化硫的腐蝕氣體發生外，另外，如果在脫蠟時有殘餘過多的碳化物存在，在高溫時，碳將與硫酸鈣起化學變化，生成硫化鈣和強氧化作用的一氧化碳，再繼續反應生成 二氧化硫和二氧化碳氣體，使鑄造的品質受影響甚至造成鑄造的失敗。

4.凝結時間(Setting Time)

此項性質的測定如同熟石膏凝結時間測定方法一樣，其控制方式也可以互相模倣應用。

根據美國牙醫協會第2號規範，牙科嵌體鑄造用包埋材料，其凝結時間不得短於5分鐘也不能超過25分鐘，以便有足夠的混合和灌模的時間。

5.正常凝結膨脹(Normal Setting Expansion)

將矽土和半水石膏材料混合一起時，在凝結作用所伴隨發生的膨脹比單獨石膏產物的凝結會出現較大的膨脹量，其原因是矽土粒子將可能影響硫酸鈣結晶的成網狀交錯的互相擠壓作用，而直接以朝外方向進行結晶與沈積，所以膨脹的效果便更明顯，在美國牙醫協會第2號規範的第一型包埋粉在空氣中的凝結膨脹最大可達0.6%。

6.吸濕性凝結膨脹(Hygroscopic Setting Expansion)

此項變化在石膏產物中已經說明，與正常凝結膨脹不同處在於在凝結過程中，吸濕性凝結乃將包埋或石膏材料置於水中或是與水直接接觸，因而獲得較大量的膨脹結果。在美國牙醫協會第2號規範的第2型包埋粉便要求在水中的膨脹量最低為1.2%，最高為2.2%。

對於吸濕性凝結膨脹的影響因素可歸納如下：

a、成分的影響：

吸濕性膨脹量的大小與包埋粉內含矽土的量成正比，矽土的粒子愈小，吸水後的膨脹效果愈佳，和半水硫酸鈣特別是熟石膏類組合所獲得的吸濕性膨脹效果最理想。單純半水硫酸鈣的膨脹量很低。在包埋材料中必需含有最少15%的硫酸鈣或黏著材料才能避免在大量吸水包埋粉膨脹確定後，若經乾燥或加熱時出現瓦解或龜裂的可能性。

b、水粉比例的影響：

如果原是可以進行吸濕性膨脹的包埋粉，在調拌時若把水粉比例提高，則往後進行吸濕性凝結膨脹的反應將較不明顯。

c、調拌方式的影響：

大部份包埋粉混合時間愈短，吸濕性膨脹現象較不明顯。

d、包埋粉的保存年限：

存放愈久的包埋粉，特別是儲存環境較為潮濕，其吸濕性膨脹效果較不明顯。

e、浸泡水時間的影響：

如果把灌好包埋材料的蠟型在其初期凝結之前就浸泡在水中，則吸濕性凝結膨脹的量將達到最高程度，在初期凝結結束之後，延遲愈久浸入水中其吸濕性膨脹效果將愈下明顯。

f、水浴(Water Bath)的溫度：

對於吸濕性膨脹浸泡，水浴的溫度影響不太明顯且屬於間接性，原因是包埋材料所包圍的蠟型對水溫的反應比包埋材料為敏感。蠟型若在吸收水浴的較高溫度後，將會變柔軟和自身也膨脹，而對包埋材料進行膨脹反應所生的阻力也降低，讓包埋材料在其它因素下所發生的膨脹有展開的空間。

g、水份的影響：

一般而言，調配好的包埋材料若進行吸濕性膨脹處理，加在包埋材料表面的水份愈多則膨脹現象愈明顯，但是此加水量有一極限，倘若包埋材料接觸的水份比其所能吸收的水份為少，則浸泡後的包埋材料由於吸收水份不足，結果也無法表現其最高的吸濕性膨脹效果，而此種吸水量的多寡往往與盛載包埋材料的容器局限(Confinement)程度有密切關係。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

在正常凝結膨脹中已提到石膏結合包埋粉的膨脹與成分中含矽土(Silica)和矽土的類型有密切關連。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

在包埋材料成分中，石膏成分在熱處理過程中有明顯的早期收縮現象，如果石英的成分在60%以下，其餘為半水硫酸鈣的黏結劑，則硫酸鈣在受熱時所發生的收縮現象，石英的膨脹是無法代償的，當石英的含量增加到佔75%或以上，而包埋材料加熱到攝氏700度(華氏1292度)左右，則整體包埋材料才會呈現有效的熱膨脹效應，並能補償合金在鑄造操作過程中所發生的收縮反應。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

同樣地，如果耐火材料成分是白矽土(Cristobalite)，由於白矽土在較低的溫度範圍內便進行轉換變化，因此整體包埋材料在較低的溫度熱處理時便呈現有效的熱膨脹效應，而且，白矽土的膨脹量比石英為大，一般模具的溫度在攝氏500度(華氏932度)左右便適合合金的鑄造操作。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

目前的包埋材料由於要充份利用白矽土和石英在不同溫度發生不同膨脹量的特性，往往同時加入石英和白矽土作為耐火材，使加熱過程能在不同溫度範圍都有熱膨脹現象的發生。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

牙科用包埋材料的熱膨脹量的需求，完全視實際需要量而定，第一型的包埋粉主要依賴熱膨脹的效應，所以其膨脹量應在1.0%至1.6%之間，第二型包埋粉由於以吸濕性膨脹為主，所以其熱膨脹量便較低，在攝氏500度時約為0.6%左右。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

a、水粉比例對熱膨脹的影響：
在能正常順利調拌操作包埋粉的情況下，水粉比例愈高，熱膨脹量則愈低。其原因是熱膨脹效應發生視單位容積所含的材料量而定，因此，正確的水粉比例使用才能確保膨脹量的正常。

7. 熱膨脹(Thermal Setting)

b、化學變性劑的影響：
由於矽土是包埋材料膨脹效應來源的主要物質，然而，矽土的添加卻往往造成包埋粉的變脆，因此在成分配方面常加入鈉，鉀，銻等氧化物以消除石膏的收縮，並增加矽土的膨脹效應，硼酸除了上述的效果外，並能使凝結包埋材料更為堅硬，但由於在高溫會分解，所以對鑄造體的表面易引起腐蝕的反應。
綜合各項對膨脹效應有關的操作因素列表於表8-3，以供參考。

表8-3 對石膏結合包埋材料膨脹有關之操作因素

因素	凝結和吸濕性膨脹	熱膨脹
水粉比例增加	下降	下降
調拌時間增加	增加	無影響
調拌速度增加	增加	無影響
包埋粉保存過久	下降	無影響
水浴溫度增加	增加	
浸泡時間增加	下降	

8.熱收縮(Thermal Contraction)

當包埋材料加熱處理製成模具後，如果此時自攝氏700度之高溫冷卻下來，其可能發生的現象就是在高溫穩定的β型石英或白矽土將轉換回其低溫穩定的α型而伴有如同加熱處理之形式，進行相似的冷卻收縮現象，而此項的收縮結果變成事實上比原尺寸還小的形狀，然而，若是鑄造也同時完成，此時鑄造體也冷卻成固體，結果此堅硬的金屬鑄造體將不受此明顯的包埋材料冷卻收縮的影響，因而造成的結果是包埋材料出現裂痕或破裂。若經冷卻後的包埋材料再次加熱處理，則受熱膨脹的現象又會再次出現，由於此時成分中的水分子已經在先前的加熱時蒸發完全，因此，再次加熱的結果是包埋材料會出現龜裂和完整性受到破壞與瓦解，所以一般的包埋材料不建議重複加熱處理。

9.強度和其它性質

由於包埋材料所製成的模具是往後鑄造操作過程中熔融合金流入鑄造的空間，因此，包埋材料必須具備一定的強度以承受熔融合金的衝擊和維持模具空間表面完整性的能力。此項抵抗熔融合金衝擊的能力往往是以抗壓強度作為測量指標，在成分中表現包埋材料的強度是石膏黏結劑部份，使用精煉的半水硫酸鈣比熟石膏能增強材料的抗壓強度，同樣地，化學變性劑對黏結效能也有所幫助，也相對使包埋材料更為堅硬，抗壓效果較為理想。

9.強度和其它性質

根據美國牙醫協會第2號規範，嵌體鑄造用包埋材料的第2小時抗壓強度應不得低於2.41MPa；對於較大複雜的鑄造，如義齒支架的製作，則應選用強度較佳的第三型包埋材料。

9.強度和其它性質

堅硬的金屬鑄造體將不受此明顯的包埋材料冷卻收縮的影響，因而造成的結果是包埋材料出現裂痕或破裂。若經冷卻後的包埋材料再次加熱處理，則受熱膨脹的現象又會再次出現，由於此時成分中的水分子已經在先前的加熱時蒸發完全，因此，再次加熱的結果是包埋材料會出現龜裂和完整性受到破壞與瓦解，所以一般的包埋材料不建議重複加熱處理。

9.強度和其它性質

包埋材料的強度如同石膏產物一樣，水粉比例愈大，其結果的抗壓強度則愈低，部份含氯化鈉變性劑的包埋材料在加熱時將可能產生明顯強度降低的現象。包埋材料的粉末精細程度(Fineness)將影響其凝結時間、鑄造體的表面粗糙度等性質；一般而言，較細的矽土成分將有利吸濕膨脹的進行發生，較粗大粒子的包埋材料易造成鑄造體表面粗糙不平。

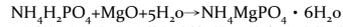
二、磷酸結合包埋粉 (Phosphate-Bonded Investment)

1.成分

與石膏結合包埋材料相似，主要含耐火的填料和黏結劑，填料方面也以矽土類為主，特別是白矽土，石英或二者的混成物，佔包埋材料成分的80%。填料的加入其目的是提供高溫處理時的耐熱和熱膨脹的主要來源。黏結材料包含主要的氧化鎂成分和磷酸基質，目前以磷酸氫為主與粉末相混合，由於使用磷酸較為累贅，因此目前大部份的磷酸結合包埋粉均是粉與液體的配方包裝，液體部份則將矽土和水配成膠態的矽土懸浮液(Colloidal Silica Suspension)，然後與粉末的成分調和混合而成包埋材料。

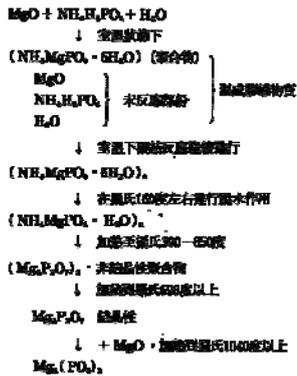
2.凝結反應作用

此類型的包埋材料其化學凝結反應作用可以用以下公式說明：



主要的反應成分是黏結劑部份，其中生成物磷酸氫鎂乃一聚合體形式，成分中的鎂土(MgO, Magnesia)和矽土(耐火材料部份)將被生成物 $\text{NH}_4\text{MgPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的膠態分子所包圍而凝成一固態物體。

凝結反應之包埋材料在其凝結初期一直至加熱處理。其過程可歸納如下：



2.凝結反應作用

在不過度加熱情況下磷酸結合包埋材料的最後熱凝結的產物為結晶性的 $\text{Mg}_3\text{P}_2\text{O}_7$ 和未反應的鎂土(MgO)與耐火材料成分(石英和/或白矽土)。如果過度加熱則部份的 $\text{Mg}_2\text{P}_2\text{O}_7$ 會反應成為 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ 。一般最高的溫度的為攝氏900度，當鑄造溫度超過攝氏1375度時，包埋的模具將崩裂和鑄造會失敗。

3.凝結和熱膨脹(Setting and Thermal Expansion)

如同石膏產物一般，在其凝結反應過程中出現的理論結果是一收縮現象，但實際測得的是膨脹效果，而膨脹的反應更因使用膠態液體調拌比水所得的效果更為明顯。見圖8—5所示。熱收縮現象主要是由於黏結劑的分解、氮氣的逸出，但是由於此種收縮現象比耐火材料矽土等因為受熱而發生的膨脹低，所以最終的結果是膨脹效應。熱膨脹的量在使用膠態矽土液體調拌時約在0.8至1.2%之間。

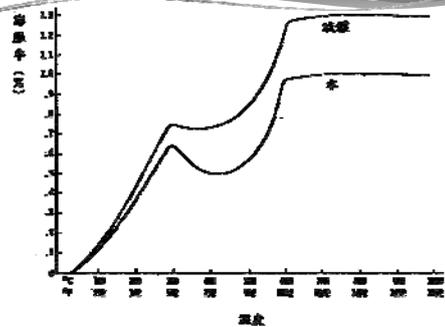


圖 8—5 磷酸結合包埋材料以液態和水調拌所發生不同的熱膨脹效果。

4.工作和凝結時間

在調拌混合過程中溫度對於反應的影響頗明顯，較高溫的調拌，凝結將較快速，而在反應的初期又是一項放熱反應，所以更加速其凝結，另外，調拌的方武和速度對材料混合的均勻性、平滑性和精確度均有影響，使用真空調拌裝置可得到較理想的效果與較長的包埋時間。水粉或液粉的比例若增加，將延長工作時間，依照廠商的指示使用液粉比例和高速(1750rpm)的調拌速度調和包埋材料，一般的操作時間都十分短(約為2分鐘左右)：因此除了增加液粉比例外，環境的溫度和液體先行冷凍降溫，將可獲得更長的工作時間。

5.其它性質

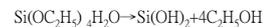
使用矽土膠態液體所調和磷酸結合包埋粉除了可比水調拌得到較多的膨脹外，在吸濕膨脹中也有部份的效應，約為0.6到0.8%的膨脹量。另外，對包埋粉的強度的增加也有所幫助。

三、矽酸乙酯結合包埋材料(Ethyl Silicate-Bonded Investment) 或矽土結合包埋材料(Silica-Bonded Investment)

1.成分

此包埋材料主要是粉末和液體的混合方式，黏結劑是一種矽土凝膠(Silica Gel)可以在加熱處理後轉換為矽土(例如：白矽土)。此項矽土凝膠的製造可在低酸鹼值或加入酸性鹽類情形下將矽酸鈣轉化成矽酸凝膠(Silicic Acid Gel)，膠態的矽土亦可以在氯化氨的加速影響下生成膠體。

目前最常用的方法是使用矽酸乙酯經鹽酸滴定進行水解作用(Hydrolysis)而成為黏結劑的主要成份：反應過程的化學式如下：



由於矽酸乙酯為易燃物品，且製成品較昂貴，現今多以矽酸鈉和膠態矽土來代替使用。另外，因為此類型的包埋材料其液體的調配和操作步驟都較為繁雜和費時，目前只用於高溫基底金屬局部義齒支架製作。

2.性質

在調拌時，包埋粉內含的氧化鎂可中和部份的酸性物質。在凝結反應時，由於凝聚成凝膠(Gel)體所以有收縮現象。在初期凝結時，副產物：乙醇和水，將慢慢散發而凝膠漸漸變硬，此種凝膠反應作用(Gelation)通常速度較緩慢需加入一些胺類(Amines)以致水解和膠體反應同時進行和完成。

由於此包埋粉主要成分都是高度耐熱材質，黏結劑是矽土凝膠，所以在高溫不易瓦解，在凝結過程中無膨脹現象，收縮的量約為0.3至0.4%左右，膨脹的效應來自熱處理的變化，可高達1.7至2.1%，在攝氏260度左右便有明顯的熱膨脹效果，在加熱到攝氏1150度時膨脹量已趨穩定，此時的熱處理(Heat Soak Treatment)只能獲得額外0.1至0.2%的膨脹而已。

3.特性

矽酸乙酯結合包埋材料內含有十分高的耐火材料成分，凝結時的尺度變化較低，但是為求獲得較理想的滲透性(Permeability)必須在包埋材料凝結的初期，將包埋材料表面一層含過多凝膠和細粒子的表層磨去，以便增加包埋材料的鑄造時氣體逸出的滲透能力。

3.特性

此包埋材料在鑄造能力和鑄造精細與光滑的品質均較磷酸結合包埋材料為高，且準確性也較理想。由於液體的調配複雜和保存期限較短，加上在高溫時材料由於含石膏的黏結成分較低，所以強度較差，連同高的熱膨脹效應使得材料在使用時要額外注意小心，以免破裂，造成失敗的鑄造結果。

肆、其它類型的包埋材料

由於目前在牙科用鈦和鈦合金的研發漸趨成熟，過去在工業界所應用的技術和材料已經過多方面的改良，將來使用純鈦和鈦合金的機會將大大增加。由於鈦和鈦合金的鑄造溫度比一般基底合金(Base Metal Alloys)為高，所以上述三種包埋材料都沒法滿足鈦金屬鑄造的要求。現時日本牙科材料界研究是以氧化鎂(Magnesia)為主，作為黏結劑和耐火材料成分，而北美洲一帶的研究則在磷酸結合包埋材料中作修改處理，先在蠟型表面塗覆一層氧化鎂、鋯土(Zirconia)或氧化釷(Yttria)以減低鈦的氧化和化學反應，目前各項研發仍在進行中。