

[原著] 松本歯学 18 : 123~131, 1992

key words : 鑄造 - リン酸塩系埋没材 - Co-Cr 合金 - ワックス

## 鑄型内のワックスの軟化と鑄造精度について

伊藤充雄, 山岸利夫

松本歯科大学 総合歯科医学研究所 生体材料部門 (主任 伊藤充雄 助教授)

### Relationship between the Casting Accuracy and the Softening of Wax in the Mold

MICHIO ITO and TOSHIO YAMAGISHI

*Department of Biomaterials, Institute for Dental Science,  
Matsumoto Dental College (Chief : Asso. Prof. M. Ito)*

#### Summary

The setting expansion of phosphate bonded investment material was obstructed by the load. Therefore, the result was casting shrinkage increase accompanied by a decreased flow of the wax pattern. Setting expansion can be obtained sufficiently by softening wax or melting wax. The wax pattern was invested with investment material. After leaving it for 10, 20, 30, and 40 minutes, the mold was kept in a bath at constant temperatures of 55°C and 65°C for 60 minutes. This study measured the roughness, compressive strength, setting expansion and heat expansion of investment material, while investigation the relationship between their properties and casting accuracy.

The results may be summarized as follows ;

1. When the mold was warmed only briefly the setting expansion decreased. There was no significant difference between 55°C and 65°C.
2. The heat expansion using a non-warmed test piece was larger than with a warmed test piece.
3. The compressive strength of the test piece when warmed to 55°C was greater obtained stronger than other test pieces. When the test piece was warmed briefly the compressive strength was decreased.
4. The setting expansion was affected by viscosity of wax.
5. When not sufficiently hardened, the setting expansion of the mold obstructed the wax pattern.
6. The thermal expansion due to high softening temperature and high melting tempera-

ture of pattern materials affects casting accuracy. But, with a hardened mold pattern materials could not change dimension.

7. The surface roughness increased when the mold was warmed briefly, after the investment was mixed.

## 緒 言

鋳造精度に影響する因子の中で緩衝材の種類、耐火材の混合比、埋没材を取り扱う室内温度、練和後の埋没方法、練和後の加熱開始時間、ワックスの種類と鋳造精度についてそれぞれ検討した<sup>1)~7)</sup>。リン酸塩系埋没材は石こう系と比較して、合金の鋳造収縮率を補うのに硬化時膨張にたよるところが多く、硬化時膨張の発現量が鋳造精度を左右している。埋没材を取り扱う室内温度が高いほど、リン酸塩系埋没材の硬化時膨張は大きく発現し<sup>3)</sup>、練和後、埋没までの時間が長いと硬化時膨張は減少する傾向にあった。練和後の加熱開始時間と鋳造精度の関係は埋没材によってことなり、セラベスト埋没材は5時間後、セラミゴールド埋没材は24時間後が最も優れたものであった<sup>6)</sup>。また、ワックスの種類と鋳造精度との関係ではワックスの短縮率が大きいワックスを用いたときの精

度は良好であった。一方、硬化時膨張には有効量があることが報告されている<sup>8)</sup>。しかしながら、硬化時膨張の発現をワックスが阻害するために、硬化時膨張が十分に得られず鋳造精度は悪くなることが考えられる。本報告はワックスが硬化時膨張の発現を阻害することに注目し、埋没したワックスを加熱することによって軟化あるいは融解させ十分に硬化時膨張を得ることを試み、鋳造精度との関係について検討した。

## 材料および方法

実験に用いた原形材料は表1に示す。埋没材は、セラベスト(GC社ロット番号251133)、付属液(ロット番号070334)を混液比0.24で用いた。練和は30秒間バキューベスト(Whip Mix社)を用いて行った。リングは直径30 mm、高さ35 mmにニューアスベストリボン(モリタ社)を1枚内張りして用いた。作業室内温度は23℃一定とした。

### 1. 硬化時膨張の測定

硬化時膨張は図1に示す方法によって、練和時間から10, 20, 30, 40分経過した埋没材を55℃と65℃にそれぞれ60分間加熱し、練和時間から3時間後まで測定した。測定は縦膨張についてデジマチック(三豊社)を用いて行った。測定値は3回の平均で示した。

### 2. 加熱膨張の測定

加熱膨張の試験片は、高さ10 mm、直径5 mmの寸法を有する金型を用いて作製した。埋没した試験片は練和開始から10, 20, 30, 40分経過後、55℃と65℃のそれぞれの恒温槽中で60分間加熱し

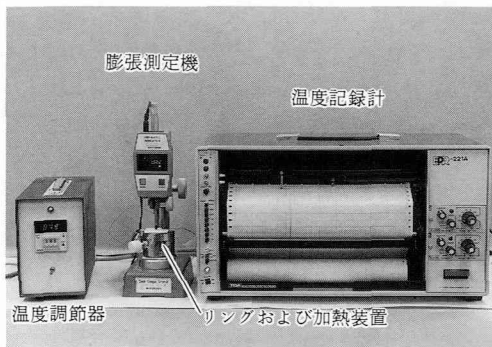


図1：硬化時膨張の測定装置

表1：型材の種類と性質

	Material	Manufacture	Code	Softening temperature °C	Melting* temperature °C
1	Violet	GC	GV	39	57.4
2	Shofu Hard	Shofu	SH	51	61
3	Paraffin 1080	Nippon Seiro	1080	63.5	84
4	Resin Pattern	GC	RP	70	—

\* : by the manufacturer

た、測定は練和開始から24時間経過した試験片を自己膨張計 MJ810DA (理学)を用いて、各条件3回行った。

3. 圧縮強さの測定

圧縮強さの試験片は、高さ50 mm、直径20 mmの寸法を有するゴム型を用いて作製した。試験片は埋没後、練和開始から10分と30分後に55℃と65℃の温度でそれぞれ60分間係留した。その後、練和開始から24時間後に800℃で90分加熱した試験片を室温に炉冷し、万能試験機(島津社)を用いて各条件5個の圧縮強さを測定した。

4. 表面あらさの測定

表面あらさの試験片は、シートワックス(0.35 mm)を一辺の長さ10 mmとする正方形に切断後、直径1.8 mmのスプルーを用いて埋没した。試験片は練和時間から10分と30分後に55℃および65℃でそれぞれ60分間係留した。鑄造は練和時間から24時間後に室温から加熱し800℃で90分間加熱した鑄型に、高周波遠心鑄造機(デンヨー社)にて、Co-Cr系合金(ウイジル, クルップ社)を融解温度に80℃プラスして行った。表面あらさは、あらさ測定機(東京精密社)によって中心線平均あらさを測定した。測定は各条件3個について行った。

5. 鑄造精度

鑄造精度は、フルクラウン型の鑄造体について検討した。各ワックスは恒温槽中で軟化し、金型上に8 kg/cm<sup>2</sup>の一定圧で圧接してフルクラウン型を作製した。鑄型は練和開始から10, 20, 30, 40分経過後、55℃と65℃の温度でそれぞれ60分間係留した。練和開始から24時間後に800℃に加熱し、項目2-4と同様な方法にて鑄造した。測定値は各条件3個の平均で表示した。

結 果

1. 硬化時膨張

硬化時膨張の測定値を分散分析した結果を表2に示す、この表によると練和開始後の加熱までの時間が1%の危険率で有意性が認められた。この有意性の認められた測定値を図2に示す。図によると23℃の室内で練和開始から3時間後の硬化時膨張は約1.50%であり、この測定値は24時間経過した硬化時膨張量と同じであった。練和開始から10分経過した埋没材を55℃の温度で60分間係留した硬化時膨張は1.30%であり、65℃の温度での硬化時膨張は1.24%であった。練和開始から20分経過した埋没材を55℃の温度で60分間係留した硬化時膨張は1.35%であり、65℃の硬化時膨張は1.42%であった。練和開始から30分経過した埋没材を55℃の温度で60分係留した硬化時膨張は1.47%であり、65℃では1.51%であった。つぎに、40分経過した埋没材を55℃の温度で60分間係留した硬化時膨張は1.52%、65℃では1.49%であった。練和開始から早い時期に加熱すると硬化時膨張は小さくなる傾向にあった。

2. 加熱膨張

加熱膨張量を測定し、その測定量を分散分析した結果を表2に示す。この表によると練和開始から加熱までの時間が1%の危険率で有意性が認められた。また、加熱開始時間と温度の交互作用は5%の危険率で有意性が認められた。この有意性の認められた測定結果を図3に示す。この図によると、室内温度23℃における24時間後の加熱膨張量は約1.10%、練和開始から10分後に55℃で60分間係留した試験片の加熱膨張量は約1.05%、65℃では約0.95%であった。練和開始から20分後に55℃で60分間係留した試験片の加熱膨張量は0.98%であり、65℃では約0.99%であった。練和開始から30分後に55℃で60分間係留した試験片の加熱膨張量は約0.99%、65℃では約1.00%であった。つぎに、練和開始から40分後に55℃で60分間

表2：分散分析結果(硬化時膨張, 加熱膨張, 圧縮強さ, 表面あらさ)

Source of Variation	寄与率			
	Setting expansion	Heat expansion	Compressive	Roughness
A: Time	37.0**	38.2**	31.7**	—
B: Temperature	—	—	—	—
A×B	34.8	15.3*	24.8**	54.4**
Error	28.2	46.5	43.5	45.6
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

\*\* : 99% \* : 95% Confidence

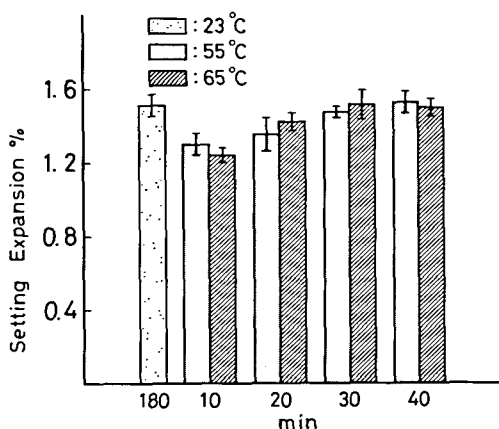


図2：加熱開始時間と硬化時膨張の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で180分後の硬化時膨張量, 55℃と65℃は加熱機を使用した.)

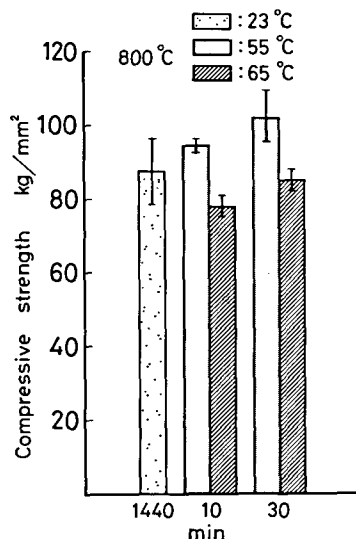


図4：加熱開始時間と圧縮強さの関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存, 55℃と65℃は加熱機を使用した.)

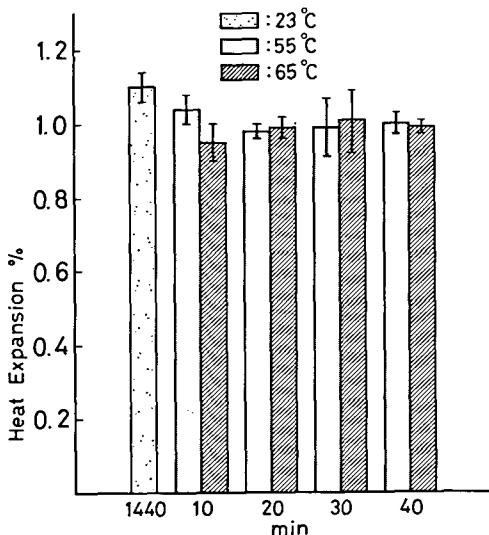


図3：加熱開始時間と加熱膨張の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存, 55℃と65℃は加熱機を使用した.)

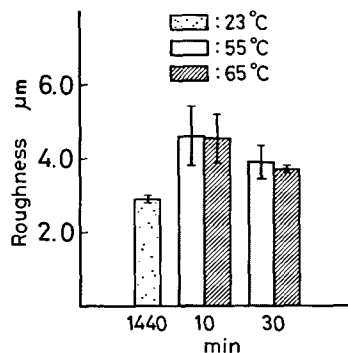


図5：加熱開始時間と表面あらさの関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存, 55℃と65℃は加熱機を使用した.)

係留した試験片の加熱膨張量は約1.00%, 65℃では約0.99%であった。練和開始後, 20分, 30分, そして40分の加熱膨張量は約1.00%で差が認められなかった。しかし, 練和開始から10分経過後に55℃に加熱した試験片と室内温度23℃の試験片の加熱膨張量は他の条件より大きな測定値を示した。

### 3. 圧縮強さ

圧縮強さを測定し, その測定値を分散分析した

結果を表2に示す。この結果によると, 加熱までの時間が危険率1%, そして加熱までの時間と温度の交互作用が危険率1%で有意性が認められた。この有意性が認められた測定値を図4に示す。この結果によると, 23℃で24時間後の圧縮強さは約88 kg/cm<sup>2</sup>であり, 練和開始から10分後に55℃で60分間係留した圧縮強さは約94 kg/cm<sup>2</sup>であった。65℃に加熱した試験片の圧縮強さは約78 kg/cm<sup>2</sup>であった。つぎに, 練和開始から30分後に55℃

表3：型材と鑄造精度についての分散分析結果(GV：GC バイオレット，SH：松風ハード，1080：パラフィンワックス，Resin：GC パターンレジン)

Source of Variation	寄与率			
	GV wax	SH wax	1080 wax	Resin
A: Time	57.2**	56.7**	35.7**	26.3**
B: Temperature	—	—	—	—
A×B	33.7**	19.1**	46.9**	39.6**
Error	9.1	24.2	17.4	34.1
Total	100.0	100.0	100.0	100.0

\*\*：99% Confidence

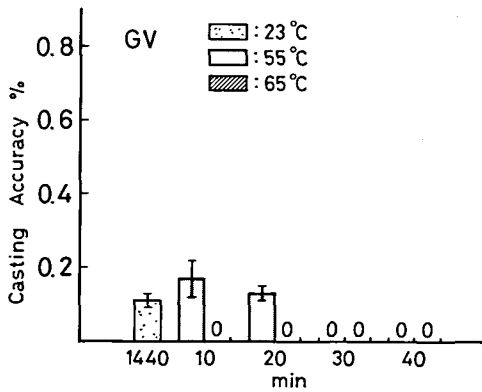


図6：加熱開始時間と鑄造精度の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存，55℃と65℃は加熱機を使用した。GV：GC バイオレット)

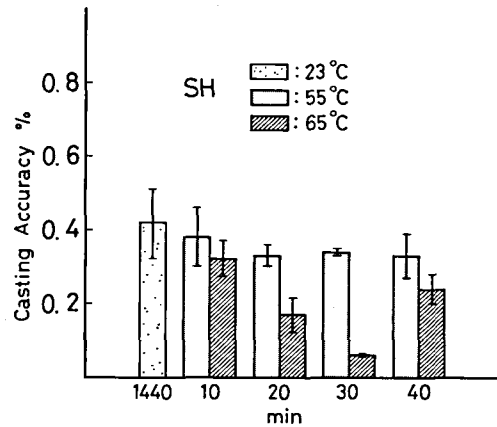


図7：加熱開始時間と鑄造精度の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存，55℃と65℃は加熱機を使用した。SH：松風ハード)

に加熱した圧縮強さは約102 kg/cm<sup>2</sup>であり，65℃では約85 kg/cm<sup>2</sup>であった。早い時期に高い温度に加熱すると圧縮強さは小さくなる傾向であった。

4. 表面あらさ

表2は表面あらさを測定し，分散分析した結果を示す。この表によると，加熱するまでの時間と温度の交互作用が1%の危険率で有意性が認められた。図5は有意性の認められた測定値を示す。図によると，23℃の表面あらさは約2.9μmであり，練和開始から10分後に55℃と65℃にそれぞれ加熱した表面あらさは両者とも約4.6μmであった。つぎに，練和開始から30分後に55℃に加熱した表面あらさは約3.9μmであり，65℃では3.7μmであった。練和開始から早い時期に加熱すると表面あらさは粗くなる傾向であった。

5. 鑄造精度

表3はCV，SH，1080とResinを用いて鑄造

した測定値を分散分析した結果を示す。GVでは加熱までの時間，そして加熱までの時間と温度の交互作用が1%の危険率でそれぞれ有意性が認められた。SH，1080とResinは加熱までの時間，そして加熱までの時間との交互作用が1%の危険率でそれぞれ有意性が認められた。

図6～9は有意性が認められた測定値を示す。図6はGVを用いた時の鑄造精度の測定値である。23℃で24時間経過した鑄型を用いた鑄造収縮率は約0.11%，練和開始から10分後，55℃で60分間係留した鑄造収縮率は約0.17%，65℃の収縮率は0であった。練和開始から20分後，55℃で60分間係留した鑄造収縮率は約0.13%，65℃では約0.09%であった。練和開始から30分後と40分後の55℃と65℃の両者の鑄造収縮率は0であった。55℃と65℃ともに30分以上経過した適合性は良好であった。

図7はSHを用いたときの鑄造収縮率の測定値

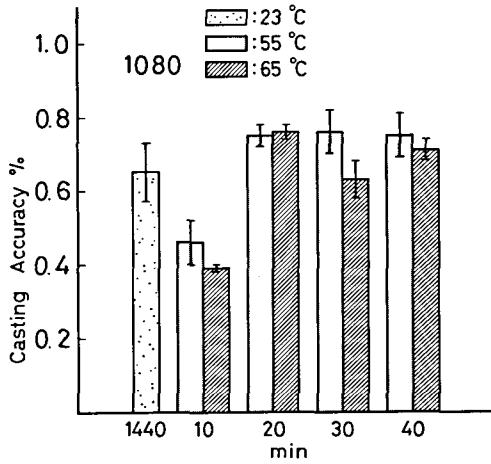


図8：加熱開始時間と鋳造精度の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存, 55℃は65℃は加熱機を使用した。1080：パラフィンワックス)

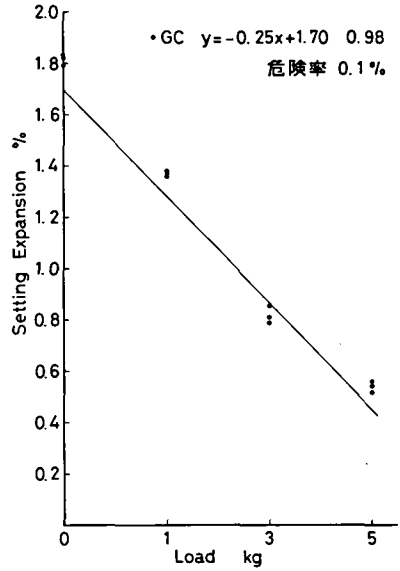


図10：硬化時膨張と荷重の関係

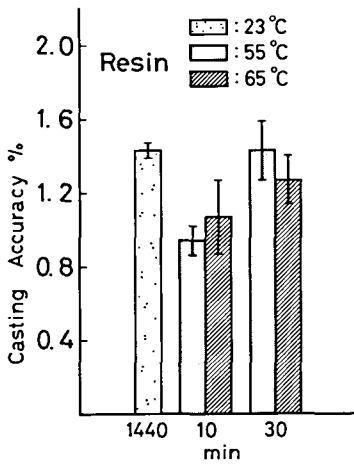


図9：加熱開始時間と鋳造精度の関係  
(23℃は23℃の恒温室中で1440分保存, 55℃と65℃は加熱機を使用した。Resin：GCパターンレンジ)

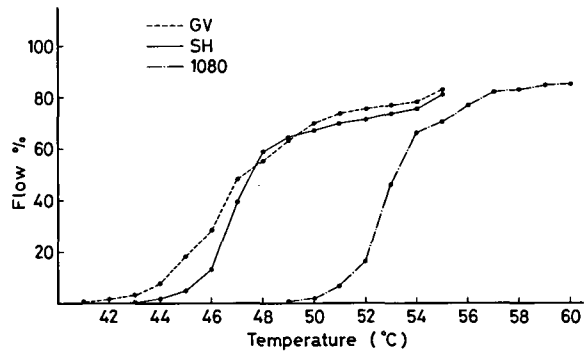


図11：各種ワックスと短縮率の関係

た。40分後の55℃の鋳造収縮率は約0.33%、65℃では約0.24%の収縮率であった。55℃に加熱した鋳造収縮率は20分、30分、40分ともに約0.33%で差は認められなかった。65℃の加熱では30分後の鋳造収縮率が最も小さいものであった。

である。23℃で24時間経過した鋳型を用いた鋳造収縮率は約0.42%であった。練和開始から10分後に55℃で60分間係留した鋳造収縮率は約0.38%であり、65℃では約0.32%であった。20分後に55℃で60分間係留した鋳造収縮率は約0.33%、65℃では約0.17%であった。30分後の55℃の場合は約0.34%の収縮率であり、65℃では約0.06%であ

図8は1080を用いたときの鋳造収縮率の測定値を示す。図によると、23℃で24時間経過した鋳造収縮率は約0.65%であった。練和開始から10分後に55℃で60分間係留した鋳造収縮率は約0.46%、65℃での収縮率は約0.39%であった。20分後に加熱した鋳造収縮率は約0.75%、65℃では約0.76%であった。30分後に55℃に加熱した鋳造収縮率は約0.76%、65℃では約0.63%であった。つぎに、

40分後に55℃に加熱した鑄造収縮率は約0.75%、65℃では約0.71%であった。練和開始から10分後に加熱した鑄造収縮率は他の測定値よりも0.30~0.35%小さいものであった。

図9はResinを用いたときの鑄造収縮率の測定値を示す。図によると、23℃での鑄造収縮率は約1.43%であった。練和開始から10分後に55℃で60分間保留した鑄造収縮率は約0.94%、65℃では約1.07%であった。つぎに、30分後の55℃での鑄造収縮率は約1.43%、65℃では約1.27%であった。練和開始から10分後に55℃と65℃にそれぞれ加熱した鑄造収縮率は他のものよりも0.20~0.40%小さくなる傾向であった。

### 考 察

硬化時膨張の発現が原型材料によって妨げられ、十分に得ることが出来ないとき鑄造精度は悪くなる。したがって、埋没材とワックスの間に存在する力について検討した。鑄造精度は鑄造体の表面あらさ、形態、肉厚などによって影響されるが、今回は単純に硬化時膨張と加熱膨張によると仮定して検討した。加熱膨張は1%一定、合金の収縮率は2.0%とし、各ワックスを用いたときの鑄造収縮率の結果から発現した硬化時膨張を求め、この硬化時膨張量をもとに図10の数式からワックスの埋没材への抵抗荷重を求めた。なお、リングは直径30mmを用いた。この結果によるとGVでは $425\text{g}/\text{cm}^2$ 、SHは $556\text{g}/\text{cm}^2$ 、そして1080では $878\text{g}/\text{cm}^2$ であった。この荷重をそれぞれワックスに加え、短縮率を求めた結果は図11に示す。GVとSHは同様な傾向を示している点で興味深い。硬化時膨張の発現を妨げないようにするために、ワックスを軟化させたり、融解する方法が考えられる。実験に用いたワックスの軟化開始温度と融解温度はGVの39℃と57.4℃、SHの51℃と61℃、1080の63.5℃と84℃であった。埋没後55℃に加熱したワックスGVは完全に軟化したと考えられる。また、65℃においてワックスGVは図12に示すように融解している。SHは軟化した痕跡が認められた。しかしながら、硬化時膨張を十分に得るためには埋没したワックスを加熱して軟化するタイミングがあると考えられる。そこで練和開始から10分、20分、30分、40分後にそれぞれ55℃と65℃に加熱して硬化時膨張を測定した。その結果、

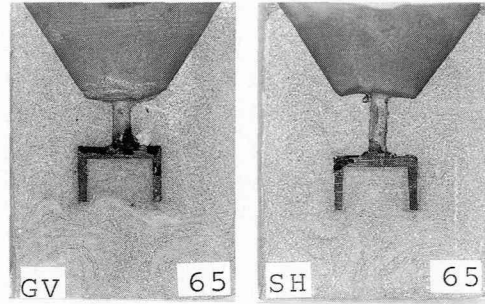


図12：鑄型を65℃に加熱したときのワックスの融解状態

練和開始から早い時期に加熱を開始すると硬化時膨張は小さくなる傾向であった。

加熱膨張は練和開始から10分経過後に55℃に加熱した場合、他の条件のものより大きな測定値であった。しかし、65℃に加熱した場合は逆に小さくなった。また、20分後の加熱膨張量には差が認められなかった。

圧縮強さは加熱を開始する時間が早いほど小さくなり、温度が高いと小さくなる傾向であった。これは加熱することによって結合材の結晶の成長と分布状態が影響されたものと考えられる。

表面あらさは鑄造精度に影響する因子としてあげられており、練和開始から加熱までの時間が短いほど、粗造となっている。この傾向は好ましいことではない。

ワックスGVを用いて55℃に加熱したときの鑄造収縮率は、練和開始から10分後の場合0.17%、20分後の収縮率は0.13%であった。一方、65℃に加熱した鑄造収縮率は各時間ともに0であった。65℃に加熱したワックスは融解状態にあり、埋没材の硬化時膨張に対する抵抗力はないと考えられる。したがって、硬化時膨張は十分に得られたものと考えられる。しかし、55℃に加熱したときの10分と20分の鑄造収縮率は大きい。埋没材が硬化体となる前に生じる硬化時膨張は軟化したワックスの粘性の抵抗にあい十分に発現できないものと考えられる。また、早い時期に加熱すると硬化時膨張が小さいことも影響している。

ワックスSHを用い、55℃に加熱した鑄造収縮率は0.33~0.38%であった。加熱しない鑄型を用いた鑄造収縮率は0.42%でその差はわずかであった。一方、65℃に加熱した鑄造収縮率は練和開始から10分後の0.32%が最も大きく、ついで40分後

の0.24%であり、最も小さい収縮率は30分後の0.06%であった。55℃の加熱よりも65℃に加熱した鋳造収縮率は小さくなる傾向であった。55℃ではワックスの軟化は十分ではなく、硬化時膨張の発現を妨げたものと考えられる。図12に示すように65℃ではSHの融解が認められており、55℃のときよりも硬化時膨張の有効量が大きく得られたものと考えられる。

埋没材のワックスを押す力は硬化が進行するにしたがって、徐々に生じてきて、硬化時膨張の有効量がワックスの軟化とともに変化していく。ワックスSHを用いたときの硬化時膨張の最大有効量は30分後に得られたものと考えられる。したがって、30分後の鋳造収縮率が最も小さくなっている。砂粒や結晶との間にあるゲル化したコロイダルシリカが強度を増し鋳型がほぼ硬化体となったとき、軟化あるいは融解したワックスを押す力が生じてきたためと考えられる。40分後では硬化時膨張の発現量そのものが少ないためにワックスを軟化しても鋳造収縮率は大きくなったものと考えられる。

1080を用い、練和から10分後に55℃と65℃に加熱した鋳造収縮率はそれぞれ0.46%と0.39%であった。加熱した鋳造収縮率は加熱しない鋳造収縮率よりも約0.20%小さくなっている。他の条件では0.63~0.76%の収縮率であった。55℃の1080は軟化しないが、65℃ではわずかに軟化すると考えられる。しかしながら、鋳造収縮率は差が認められなかった。つぎに、レジンパターンを用いたとき、練和開始から10分後に55℃と65℃にそれぞれ加熱した鋳造収縮率は0.94%と1.07%であった。30分後の55℃と65℃の収縮率は1.43%と1.27%であった。この鋳造収縮率の測定結果は1080を用いたときと同じ傾向であった。レジンの場合も、軟化あるいは融解はこれらの温度では生じないが、練和開始から10分後の鋳造収縮率は小さくなっている。軟化温度や融解温度の高い原型材料を加熱することによって、原型材料の加熱膨張による寸法変化が生じる。埋没材が硬化体になる前であれば、原型材料の寸法変化した量が合金の収縮を補うために加算されることが考えられる。この現象は埋没材が硬化体になる以前であれば可能であると考えられる。しかし、練和開始から20分後では、埋没材が硬化体となってしまうた

めこの現象は望めないと考えられる。

以上のように、埋没後、鋳型を加熱するときの原型材料の加熱膨張量、軟化温度、融解温度、粘性によって硬化時膨張の発現量が左右され鋳造収縮率に影響するものと考えられる。

## 結 論

ワックスは埋没材の硬化時膨張の発現を妨げる。したがって、短縮率の小さいワックスを用いたときの鋳造精度は悪くなる。本研究はワックスを軟化あるいは融解することによって、十分に硬化時膨張を得ることを目的として埋没後に鋳型を加熱した。加熱する温度、加熱を開始する時間と鋳造精度の関係について検討した結果、以下の結論を得た。

- (1) 硬化時膨張量は加熱を開始する時間が早いと少なくなる傾向であった。加熱する温度の影響は認められなかった。
- (2) 加熱膨張量は練和開始から24時間後の加熱しない試験片が加熱した試験片より大きくなる傾向であった。加熱する温度の影響は認められなかった。
- (3) 圧縮強さは55℃に加熱した試験片が他のものより大きくなる傾向であった。加熱を開始する時間が早いほど圧縮強さは小さくなった。
- (4) 加熱下での硬化時膨張量は、ワックスの軟化あるいは融解後の粘性により影響されると考えられる。
- (5) 埋没材が十分に硬化体になる前は、原型材料を押す力が小さいために硬化時膨張は阻害される。
- (6) 軟化温度、融解温度の高い原型材料の加熱膨張量は、埋没材が硬化体になる前に加熱することによって鋳造精度に反映させることが出来る。
- (7) 練和後、早い時期に加熱することにより鋳肌が粗造となった。

## 文 献

- 1) 永沢 栄, 伊藤充雄, 高橋重雄, 鈴木義博, 天野恭子 (1975) 鋳造精度に関する研究 (その3) 埋没材の硬化時における膨張圧, 膨張量, および発熱温度に対する緩衝材の影響について. 歯科学報, 75: 286-292.
- 2) 伊藤充雄, 永沢 栄, 高橋重雄, 山根照人, 桜井



- 和子(1976)鑄造精度に関する研究(その4)Co-Cr-Ni系合金の鑄造精度. 歯科学報, 76:23-31.
- 3) 伊藤充雄, 石井和生, 永沢 栄, 高橋重雄(1985)リン酸塩系埋没材について(その4)作業室内温度と硬化時膨張との関係. 松本歯学, 11:201-207.
  - 4) 伊藤充雄(1987)高溶融合金の鑄造における低温鑄型用埋没材の研究. 歯理工誌, 47:200-208.
  - 5) 伊藤充雄, 杉江玄爾, 高橋重雄(1986)リン酸塩系埋没材について(その5)硬化時の反応熱と膨張について. 松本歯学, 12:366-373.
  - 6) 伊藤充雄, 永沢 栄, 宮沢てる子(1981)鑄造精度に関する研究 リン酸塩系埋没材, 鑄型の加熱開始時間の影響について. 歯理工誌, 22:202-212.
  - 7) 伊藤充雄, 高橋重雄(1986)リン酸塩系埋没材について(その6)ワックスと鑄造精度との関係について. 第8回日本歯科理工学会学術講演会抄録集, 6:121.
  - 8) Anderson, I. M. (1972) Applied Dental Materials, 4th ed. 134. Black Scientific Publications, London