

反復使用된 陶材燒付用 Ni-Cr 合金의 微細組織 및 硬度에 關한 實驗的 研究*

서울大學校 歯科大學 補綴學教室

梁 在 鎬

AN EXPERIMENTAL STUDY ON THE MICROSTRUCTURE AND HARDNESS OF TWO REPEATEDLY USED NICKEL-CHROMIUM-BASED ALLOYS FOR PORCELAIN VENEERING

Jae Ho Yang, D.D.S., M.S.D., Ph.D.

Department of Prosthodontics, College of Dentistry, Seoul National University.

..... > Abstract <

The purpose of this study was to observe the changes in microstructure and Rockwell hardness of two repeatedly used Ni-Cr based ceramic alloys. Test specimens were made on disks measuring 10mm in diameter and 2-3mm in thickness. After two disks of baseplate wax were invested, the alloy was melted with oxy-gas torch and each disk of baseplate wax was cast using centrifugal casting machine according to manufacturer's instruction.

One of these two disk specimens was first studied in the 'as-cast'(1AC) condition. The other specimen (1SB) was tested after receiving a cycle of thermal treatments simulating the various firings necessary to the porcelain build-up.

By using the same method as mentioned above, we could obtain the second casting with the addition of 50% new alloy to the button of the first casting (50AC, 50SB), and the second casting without the addition of new alloy (2AC, 2SB).

The disks were then embedded in an acrylic mold and metallographically polished. The microstructure of each state of alloys was observed under the metallographic microscope (Union Optical Co., Japan).

Rockwell hardness (HRC) of each specimen was determined using Rockwell hardness tester (Tokyo Testing Machine Mfg. Co., Japan).

From the foregoing experiments, the following results were obtained.

1. The microstructures of the two alloys showed the dendritic structure.

* 本 論文의 研究費는 1981年度 서울大學校 病院 臨床研究費 補助로 이루어 진 것임.

2. The microstructure of repeatedly used specimens showed an increasing tendency of casting defect due to gas porosity.
 3. The microstructure of simulated baked specimens which had received regular porcelain firing cycles showed a little increase in the size of dendrite.
 4. There was no significant difference in Rockwell hardness value between alloy V and alloy F.
 5. The Rockwell hardness values of simulated baked specimens which had received regular porcelain firing cycles decreased comparative to as-cast specimens.
 6. The Rockwell hardness values have no significant differences among the first as-cast state (IAC), second casting with the addition of 50% new metal (50AC) and second casting without the addition of new metal (2AC) except the area of casting defect.
-

一 目 次 一

- I. 緒 論
- II. 實驗材料 및 方法
- III. 實驗結果
- IV. 總括 및 考按
- V. 結 論
- 參考文獻

I. 緒 論

前齒補綴物의 大部分을 차지하고 있는 陶材燒付前裝冠은 奢美的인 面에서 가장 優秀한 補綴物로 利用되고 있다.

1889年 Land가 白金泊이 陶材와 親和性이 있다고 報告한 以後로 Taggart(1908)³¹⁾에 依하여 새로 운 鑄造法이 紹介되었고 Brecker等(1956)⁴⁾에 依하여 陶材와 溶着되는 Au-pt系合金이 開發되었고, 1968年 Weinstein等¹⁹⁾이 陶材燒付用 金合金의 特許를 얻은 後부터 陶材燒付前裝冠의 施術이 普遍化되었다.

그러나 國際的인 金價의 昂騰으로 더욱 經濟的인 合金이 要求되어 金의 含量이 50% 以下인 低金含有合金과 Ag-Pd合金과 Ni,Cr,Mo이 主成分인 卑金屬合金이 賴이 使用되고 있다.

Moffa(1973, 1977)^{21, 22)}, Huget(1977)¹³⁾, Meyer(1979)²⁰⁾, Hesby(1980)¹¹⁾等은 陶材燒付用 Ni-Cr合金의 機械的 性質에 關하여 報告하였고, Harcourt(1964)²⁰⁾, Asgar(1968)², Morris(1975, 1979)^{23, 24)}等은 局所義齒用 Co-Cr系合金의 熱處理와 微細組織에 關해

서 報告하였다.

陶材燒付用 合金의 微細組織에 關한 研究로는 Leinfelder(1970)⁵, O'Brien(1964)²⁵⁾, Lewis(1975)¹⁶⁾, Civjan(1970)⁵, Meyer(1979)²⁰⁾, Huget(1978)¹⁴⁾ 等의 報告가 있다.

Huget(1976, 1977, 1978)^{12, 13, 14)}, Civjan(1971)⁶⁾, Baran(1979)³⁾ 等의 研究에 依하면 鑄造用 合金은 热處理에 依하여 金屬相에 變化를 나타낸다고 하였다. 硬度에 關해서는 O'Brien(1964)²⁵⁾, Leinfelder(1964)¹⁵⁾, Smith(1970)²⁹⁾, Civjan(1972)⁷⁾, Vermilyea(1980)³¹⁾ 等의 報告가 있다.

그러나 陶材燒付用 Ni-Cr系合金의 鑄造回數와 热處理에 따른 組織像과 硬度 變化에 關한 研究는 稀少하였다.

또한 Hesby(1980)¹¹⁾에 依하면 卑金屬 合金도 經濟的인 理由로 一次 使用後 再 使用하는 傾向이 높다고 하였다.

이에 著者は 陶材燒付用 Ni-Cr合金인 V合金과 F合金을 對象으로 해 反復鑄造 및 热處理에 따른 金屬顯微鏡 組織을 觀察하고 臨床的으로 要重한 物理的 性質의 하나인 硬度를 測定하여 多少의 智見를 얻었기에 이에 報告하는 바이다.

II. 實驗材料 및 方法

韓國 齒科臨床에서 使用中인 陶材燒付用 Ni-Cr合金인 V合金*과 F合金**을 使用하였다.

1) 試片製作

直徑 10mm, 厚徑 2 ~ 3mm인 baseplate wax로 만

* Vera Bond, Alba Dent. Co., Walnut Creek, CA.
** Fine Bond, Kusui Corp., Japan

는 disk로 2개의 蟻型을 製作하여 通法에 따라 高温磷酸塩 埋没材(Biovest, Dentsply Co.)로 埋没한 後 酸素-아세틸렌(oxy-acetylene) 가스로 熔融後 遠心鑄造機로 鑄造하였다. 鑄造는 새 合金鑄塊(ingot)로 一次 鑄造하고(1AC[†]로 表示), 남은 button의 1/3을 同量(50%)의 새 合金과 熔融하여 鑄造한 것(50AC로 表示)과 나머지 1/3를 새 合金 添加 없이 二次 鑄造한 것(2AC로 表示) 等 3 가지 方法으로 鑄造하고 sandblasting한 後 1AC, 50AC, 2AC 試片中 각각 1개씩의 試片을 取하여 陶材를 築盛하지 않고 Table 1과 같은 條件으로 5回의 正常的 陶材燒成過程을 거친 热處理를 하여 1SB[‡](一次 鑄造後 热處理를 거친 試片), 50SB(一次 鑄造後 남은 button과 同量의 새 合金을 熔融해 鑄造해서 热處理를 거친 試片)와 2SB(二次 鑄造後 남은 button으로만 鑄造해 热處理한 試片)라 稱하는 試片을 製作하였다. 따라서 V合金과 F合金의 總試片은 12個였다(Fig 1).

上記한 方法으로 製作한 試片을 金屬顯微鏡 觀察

Table 1. Firing Schedule

Firing Cycle	Temperature	Temperature Increase	Vacuum or Air
First firing			
Fired	1200 to 1860°F.	75° per minute	28 inches vacuum
HOLD	1860°F. - 5 min.		28 inches vacuum
Second firing			
Fired	1200 to 1720°F.	75° per minute	28 inches vacuum
	1720 to 1860°F.	75° per minute	air
Remove immediately and bench cool.			
Third firing			
Fired	1200 to 1720°F.	75° per minute	28 inches vacuum
	1720 to 1820°F.	75° per minute	air
Remove immediately and bench cool.			
Fourth firing			
Fired	1200 to 1700°F.	75° per minute	28 inches vacuum
	1700 to 1800°F	75° per minute	air
Remove immediately and bench cool.			
Fifth firing			
Fired	1200 to 1800°F.	75° per minute	air
Remove immediately and bench cool.			

[†] AC : As-cast

[‡] SB : Simulated bake

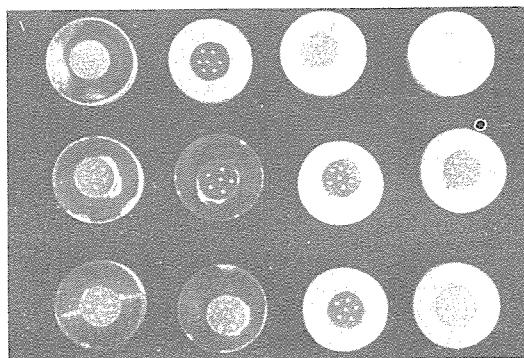


Fig. 1. Specimens tested (Left : Alloy V, Right : Alloy F).

및 硬度試驗을 하기 위해 각각의 試片을 Press Mount (Marumoto Co., Japan)를 利用하여 bakelite 粉末로 mounting하거나 自家重合래진으로 mounting하여 付號表示를 한 後 silicon carbide 研磨紙 #120, #180, #240, #320, #400, #600까지 研磨하고 6 μ diamond paste, 1 μ diamond paste로 研磨

하고 0.05μ 의 研磨用 Alumina 懸濁液으로 高度研磨했다.

2) 實驗器具 및 方法

① 微細組織

金屬組織의 顯微鏡的 觀察을 為해 高度로 研磨된 試片을 Petzow²⁾의 電氣腐蝕法에 따라 10% 黃酸溶液에 浸漬後 試片을 陽極으로 連結하고 stainless steel 板을 陰極으로 連結한 後 3 volt의 電氣를 3 秒동안 通過시켜 腐蝕시킨 後 35mm 寫眞機가 附着된 Versamet metallographic microscope(Union Optical Co., Japan) (Fig. 2)로 각各의 試片을 50倍로 擴大撮影하여 樹枝狀 結晶의 成長을 觀察하였고 一次 鑄造한 試片(1 AC)을 400倍로 擴大撮影하여 微細組織을 觀察하였다.

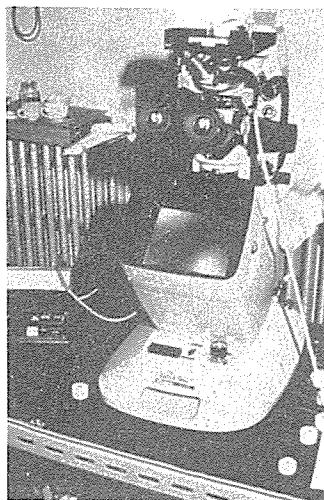


Fig. 2. Metallographic Microscope.

② 硬度測定

硬度測定器로는 ADA 規格 14號의 方法대로 Rockwell 硬度를 測定하기 為하여 Rockwell Hardness Tester(Tokyo Testing Machine Mfg. Co., Japan) (Fig. 3)를 使用하였다며, 測定方法은 試驗面 및 anvil에 接觸되는 背面을 서로 平行面이 되게 한 後 壓入體(penetrator)로는 頂角 120° 의 diamond cone을 使用하여 10kg의 初荷重을 加해 scale의 長針과 短針이 zero에 오게 한 後 150kg의 試驗荷重을 加해 Cscale上의 눈금을 읽어 Rockwell 硬度로 定하였다며 各試片當 6 ~ 7回 씩 測定하여 그 平均值를 그 試片의 硬度値으로 定하였다. 測定時隣接한 壓痕의 中心에서 부터 $4d$ (壓痕의 直徑) 以上, 試片의 끝 部分에서 $2d$ 以上 떨어져 測定하였다. 이것은

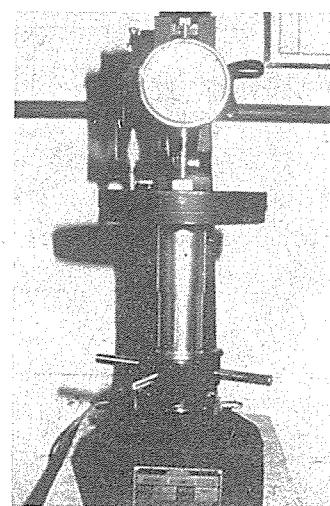


Fig. 3. Rockwell Hardness Tester.

加工硬化가 된 곳을 避하기 為해서다.

III. 實驗結果

1. 微細組織의 變化

① 새 合金으로 一次 鑄造時(1 AC)와 热處理時(1 SB)의 試片의 組織像 :

Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 V合金의 1 AC의 組織像으로 400倍와 50倍로 觀察한 寫眞이며 Fig. 4(c)는 V合金을 热處理한 1 SB의 組織像이다.

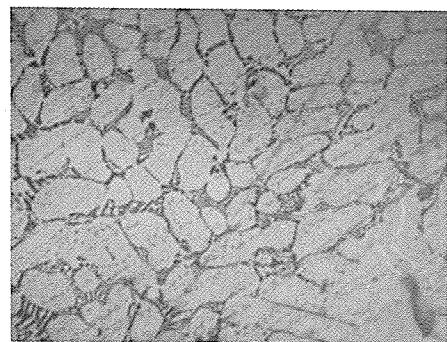
50倍의 低倍率로 觀察한 寫眞(Fig. 4(b), Fig. 4(c))에서 白色 部位는 樹枝狀 結晶이며 그 사이의 灰色 部位는 共晶化合物(eutectic lamellae)이다. Fig. 4(a)는 V合金의 一次 鑄造像(1 AC)을 400倍의 高倍率로 觀察한 것으로 樹枝狀 結晶의 γ 相(gamma phase) 内部에 γ' (gamma prime)이 存在하며 樹枝狀 結晶 사이에 共晶化合物 組織이 나타났고, 그밖에 非金屬 介在物이 存在하였다.

1 AC(Fig. 4(b))와 1 SB(Fig. 4(c))를 比較時陶材燒成 過程의 热處理를 거친 試片(1 SB)이 热處理前의 鑄造試片(1 AC) 보다 共晶化合物의 spacing이 若干 增加하였으며 樹枝狀 結晶이 成長되었다.

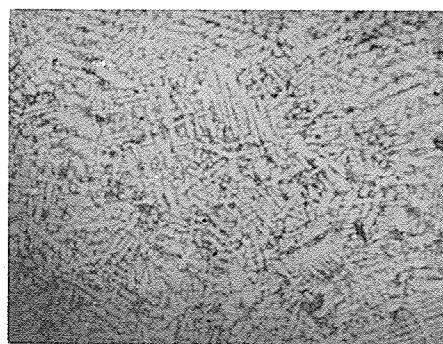
F合金에서도 Fig. 5(a)에서와 같이 V合金과 같은 組織像을 보였으며 1 AC(Fig. 5(b))와 1 SB(Fig. 5(c))의 樹枝의 크기에 큰 差가 없었다.

② 一次 鑄造後 남은 button에 同量의 새 合金을 熔融하여 鑄造時(50AC)와 热處理時(50SB)의 組織像 :

Fig. 4. The changes in microstructures of alloy V.



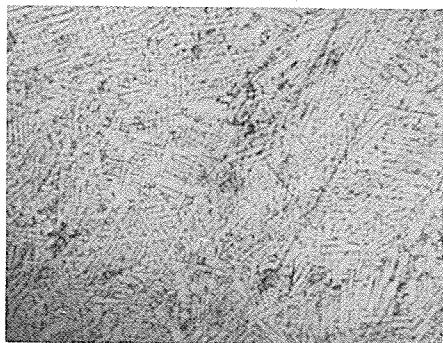
(a) 1 AC ($\times 400$)



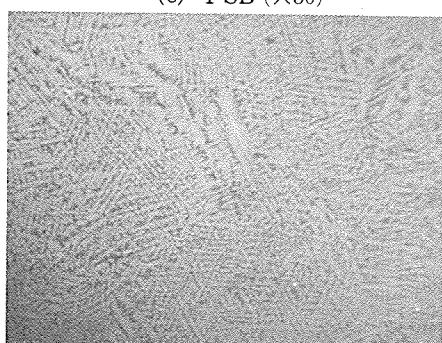
(b) 1 AC ($\times 50$)



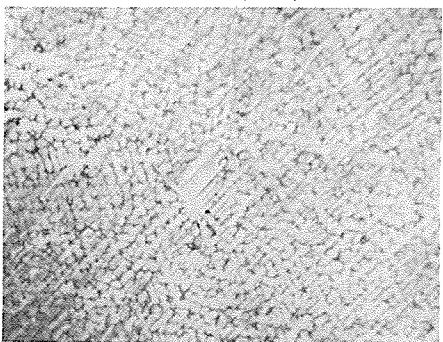
(c) 1 SB ($\times 50$)



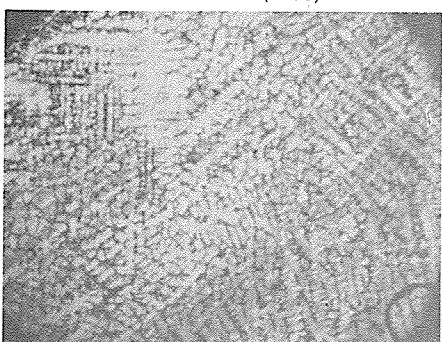
(d) 50AC ($\times 50$)



(e) 50SB ($\times 50$)

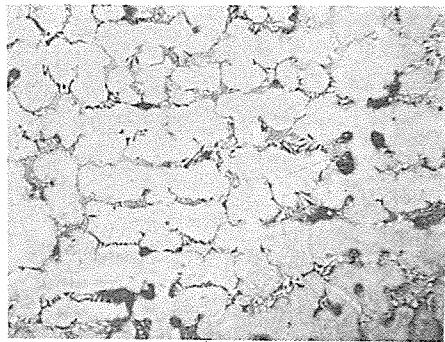


(f) 2 AC ($\times 50$)

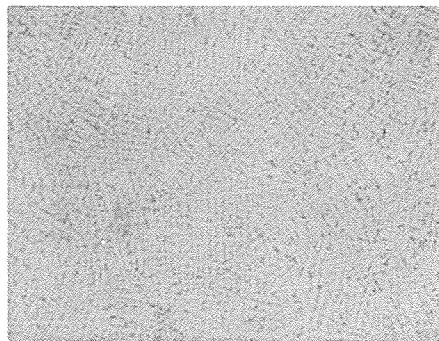


(g) 2 SB ($\times 50$)

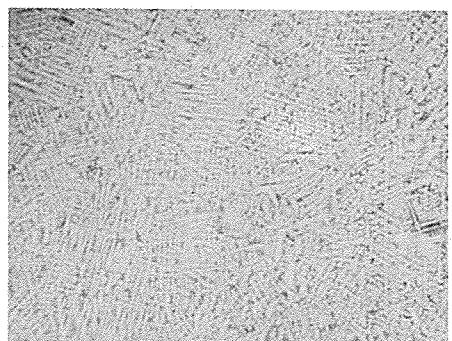
Fig. 5. The changes in microstructures of alloy F.



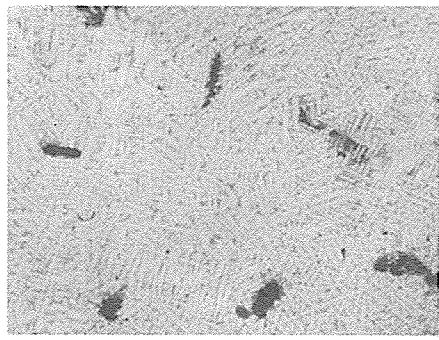
(a) 1 AC ($\times 400$)



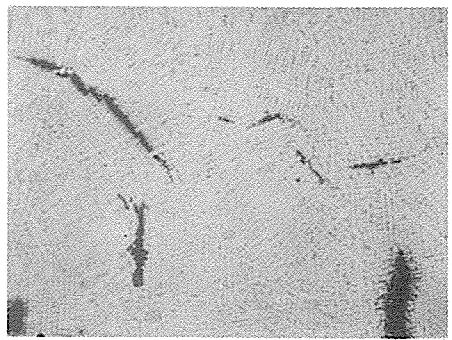
(b) 1 AC ($\times 50$)



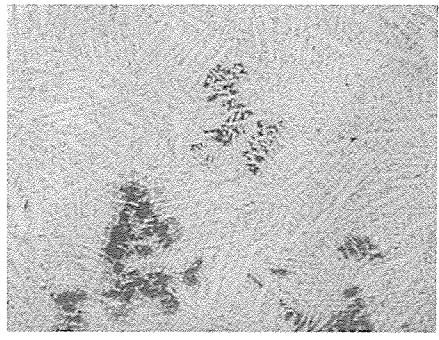
(c) 1 SB ($\times 50$)



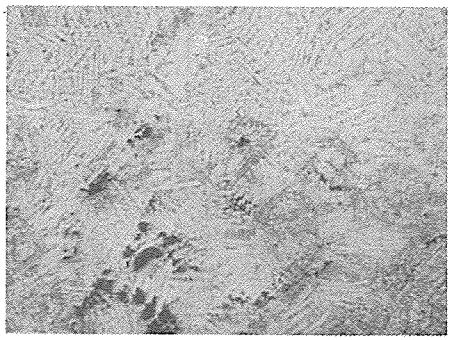
(d) 50AC ($\times 50$)



(e) 50SB ($\times 50$)



(f) 2 AC ($\times 50$)



(g) 2 SB ($\times 50$)

Fig. 4(d)는 V合金의 50AC의組織像이고 Fig. 4(e)는 50SB의組織으로 50AC(Fig. 4(d))와 50SB(Fig. 4(e))를比較時白色의樹枝狀結晶의成長이거의비슷하였다. 또한 Fig. 4(b)의一次鑄造像(1AC)과 Fig. 4(d)의 50AC와比較時樹枝의크기가거의類似한組織을보였다.

F合金에서 50AC(Fig. 5(d))와 50SB(Fig. 5(e))와같이樹枝의크기에變化가없었으나 Fig. 5(b)의 1AC나 Fig. 5(c)의 1SB보다黑色部分으로나타나는gas porosity에依한鑄造缺陷이增加되었다.

③二次鑄造時(2AC)와熱處理時(2SB)의組織像: Fig. 4(f)는 V合金의 2AC組織으로새合金을添加하지않고一次鑄造後남은button의%를使用하여鑄造한組織이며 Fig. 4(g)는陶材燒成過程의熱處理를거친試片의組織으로樹枝狀結晶의크기는差가없었으나 1AC와比較時2AC가若干커졌다.

F合金에서도鑄造時(Fig. 5(f))와熱處理時(Fig. 5(g))의樹枝의크기엔큰變化가없었으나 50AC(Fig. 5(d))와 50SB(Fig. 5(e))보다鑄造缺陷이增加되었다.

以上의組織所見을綜合的으로觀察時一次鑄造時(1AC),一次鑄造後새合金을同量添加後鑄造時(50AC)와一次鑄造後남은button으로만二次鑄造時(2AC)를比較해볼때二次鑄造時(2AC)가鑄造缺陷이가장많았고 50AC가그다음으로 많았다.

熱處理를한境遇에도2SB가鑄造缺陷이가장많았고50SB가그다음으로많았고1SB에서는鑄造缺陷이가장적었다.

2. 硬度의變化

V合金과F合金의Rockwell硬度(H_{RC})는Table 2 및 Fig. 6과 같다.

V合金에서는一次鑄造(1AC)時36,熱處理(1SB)時23으로나타났고,

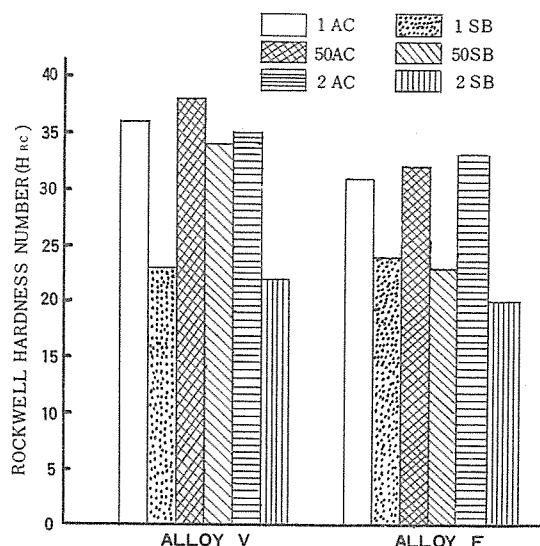


Fig. 6. Comparison of the Rockwell hardness values of two Ni-Cr based alloys for porcelain veneering.

50%의새合金을添加後二次鑄造(50AC)時38,熱處理(50SB)時34로나타났고, 새合金添加없이二次鑄造(2AC)時35,熱處理(2SB)時22로나타났다.

1AC, 50AC, 2AC를比較時健全組織에서는큰硬度差가없었다.

그러나熱處理時는鑄造時보다硬度가낮았다.

F合金의Rockwell硬度(H_{RC})是一次鑄造(1AC)時31,熱處理(1SB)時24로나타났고, 50%의새合金을添加後二次鑄造(50AC)時32,熱處理(50SB)時23으로나타났고, 새合金添加없이二次鑄造(2AC)時33,熱處理(2SB)時20으로나타났다.以上의硬度值을比較時1AC, 50AC, 2AC間의硬度差가적었고熱處理時는鑄造時보다硬度가낮아졌다.

Table 2. Rockwell hardness numbers (H_{RC})

Alloys	State					
	1 AC	1 SB	50 AC	50 SB	2 AC	2 SB
V	36	23	38	34	35	22
F	31	24	32	23	33	20

또한 V合金과 F合金間에 鑄造缺陷部를 除外한健全組織에서는 硬度差가 적었다. 그러나 gas porosity로 생긴 鑄造缺陷部의 硬度값은 같은 試片에서도 많은 差異를 觀察할 수 있었다.

IV. 總括 및 考按

陶材燒付用 Ni-Cr 合金의 一般的인 組成은 主成分인 Ni이 約 67~80%, Cr이 12~20%²⁶⁾로 되어있고 共通的 微量元素로 Mo, Al, C, Mg, Si 등이 含有되어 있고 合金에 따라 融點을 낮추기 為해 0.5~2%의 beryllium(Be)을 含有하고 있다^{26, 28)}.

基地인 gamma matrix는 主로 Ni과 Cr으로 構成되어 있고¹⁸⁾, Mo, Mn, Fe, Co, W 등이 固溶體로서 γ基地에 熔融되어 機械的 性質이 向上되며 干涉으로 強化가 일어난다. 또한 γ'相의 析出硬化(precipitation hardening)로 強化된다²⁴⁾.

Ni-Cr 合金이 熔融狀態時 모든 元素가 均一하게 分布되어 있었으나 凝固가始作되면 比較的 高融點元素부터 樹枝狀으로 析出되면서 樹枝狀 組織周圍의 low melting element들은 温度가 下降함에 따라 凝固된다.

炭素는 樹枝狀 結晶사이에서 lamella structure의 共晶炭化物 組織을 이루어 合金의 強化에 影響을 주지만 共晶化合物이 너무 많거나 連續의破壊強度와延伸率이低下되어 脆弱해 破折되기 쉽고不連續으로 存在하는 延性이 增加된다^{16, 28)}.

Lubovich等¹⁷⁾은 Ni-Cr 合金이 Au-Pt 合金 보다 sag 抵抗度가 9倍나 되며 彈性系數가 2~2.5倍이며 比重이 낮고 값이 1/6程度에 不過하다고 하였다.

陶材燒付用 Ni-Cr 合金은 鎔解溫度가 約 1300°C로 매우 높기 때문에 高温鑄造用 埋沒材 및 特別한 鎔解熱源이 必要하며 鑄造收縮이 金合金보다多少 크다. 最近에 1000°C 以下의 熔融溫度를 갖는 Ni-Cr 合金이 開發되어 Ni, Mn, Cu Base에 Cr과 Ge을 添加하고 微量元素로 Fe, Si 등을 添加한 것으로 通常의 gypsum bonded 埋沒材로 埋沒하고 都市ガス로 쉽게 鎔解 및 鑄造가 可能하며 研磨가 容易하다.

Hesby等¹⁸⁾은 卑金屬合金을 새 合金의 添加 없이 4回까지 反復使用해도 物理的 性質에는 有意한 差가 없다고 하였으나 内面 氣泡의 發生과 腐蝕等의 問題가 있다고 報告되고 있다. 本 實驗에서도 再使用時 많은 gas porosity가 나타났다.

Meyer等²⁰⁾은 陶材와 溶着되는 合金中 80% 以上

의 金을 含有한 Au-Pt-Pd合金, 50% 以下의 金을 含有한 低金含有合金과 Ni-Cr系 合金의 機械的 性質 및 組織像을 比較해서 貴金屬 合金은 陶材燒成過程의 热處理를 거친 後 組織의 均質性(homogeneity)이 增加되었으나 Ni-Cr 合金의 微細組織에는 明確한 變化를 주지 못했다고 했다. 本 實驗에서도 热處理時 樹枝의 큰 變化를 認定할 수 없었다.

Smith²⁹⁾의 研究로는 陶材燒付用 高金 含有合金인 Au-Pt-Pd合金은 Fe와 Sn을 添加해 陶材燒成後 冷却時 Pt-Fe와 Pd-Sn 化合物을 만들어 硬度가 增加된다고 하였으나 German³⁰⁾은 ordering으로 硬化가 된다고 하였다.

또한 热處理時 貴金屬 合金은 硬度가 增加되나 卑金屬合金은 硬度가 減少한다고 하였다. 本 實驗에서도 V合金과 F合金 모두 鑄造時 보다 热處理時 硬度가 減少되었다. 또한 鑄造缺陷이 增加할 수록 機械的 性質이 떨어져 架工義齒의 破折이 쉽게 되므로 陶材燒付用 Ni-Cr合金의 反復使用은 避하는 것이 좋다고 思料된다.

V. 結論

著者는 陶材燒付用 Ni-Cr系 合金인 V合金과 F合金二種을 選擇하여 새 合金으로 一次 鑄造時와 一次 鑄造後 남은 button에 50%의 새 合金을 添加後 鑄造한 것과 一次 鑄造後 남은 button에 새 合金添加 없이 二次 鑄造한 境遇와 以上의 試片을 陶材를 溶着시키지 않고 正常的 陶材 燒成過程의 热處理를 하여 金屬組織像의 變化 및 Rockwell 硬度를 測定하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 두 合金의 微細組織은 樹枝狀 組織을 나타냈다.
2. 反復使用된 合金에서 gas porosity에 基因한 鑄造缺陷部가 增加되었다.
3. 鑄造後 正常的 陶材 燒成過程의 热處理를 거친 試片은 樹枝의 크기가若干增加되었다.
4. V合金과 F合金間의 硬度差는 적었다.
5. 陶材 燒成過程의 热處理를 거친 試片은 硬度가 減少되었다.
6. 反復 使用時 鑄造缺陷部를 除外하고는 硬度差가 적었다.

- REFERENCES -

- 1) American Dental Association Specification No. 14 for dental chromium-cobalt casting alloy. In guide to dental materials and devices, 6th ed. Chicago, American Dental Association, pp. 207-209, 1972.
- 2) Asgar, K., and Allan, F.C.: Microstructure and physical properties of alloys for partial denture castings, *J. Dent. Res.* 47: 189-197, 1968.
- 3) Baran, C.: Phase changes in base metal alloys along metal porcelain interfaces, *J. Dent. Res.* 58: 2095-2104, 1979.
- 4) Brecker, S.C.: Porcelain baked to gold-a new medium in prosthodontics, *J. Prosthet. Dent.* 6: 801, 1956.
- 5) Civjan, S., Huget, E.F., Lichtenberger, H., and Frank, W. A.: Heat-treatment of nickel-chromium based dental alloys. Paper No. 541, IADR Annual Meeting, New York, March 1970.
- 6) Civjan, S. et al.: Properties of two newly developed base metal dental casting alloys, *J. Dent. Res.* 50: 1714, 1971.
- 7) Civjan, S. et al.: Effects of heat treatment on mechanical properties of two nickel-chromium-based casting alloys, *J. Dent. Res.* 51: 1537, 1972.
- 8) Civjan, S., Huget, E.F., and Marsden, J.E.: Characteristics of two gold alloys used in fabrication of porcelain-fused-to-metal restorations, *J. Amer. Dent. Assoc.*, 85: 1309-1315, 1972.
- 9) German, R.M.: Ceramo-metal aging reactions during porcelain firing, *A.A.D.R. Abstracts* No. 818, 1980.
- 10) Harcourt, H.J.: The effects of variation in cooling rates and heat-treatment in cobalt-chromium alloys. *Br. Dent. J.* 116: 475, 1964.
- 11) Hesby, D.A., Kobes, P., Garver, D.G., and Pelleu, G.B. Jr.: Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy, *J. Prosthet. Dent.* 44: 291, 1980.
- 12) Huget, E.F., Dvivedi, N., and Cosner, H.E.: Characterization of gold-palladium-silver and palladium-silver for ceramic-metal restorations, *J. Prosthet. Dent.* 36: 58-65, 1976.
- 13) Huget, E.F., Dvivedi, N. and Cosner, H.E.: Properties of two nickel chromium crown and bridge alloys for porcelain veneering, *J. Amer. Dent. Assoc.* 94: 87-90, 1977.
- 14) Huget, E.F., Vlaca, J.M. and Wall, R.M.: Characterization of two ceramic base-metal alloys, *J. Prosthet. Dent.* 40: 637-641, 1978.
- 15) Leinfelder, K.F., & others; Hardening of high fusing gold alloys, *J. Dent. Res.* 45: 392, 1966.
- 16) Lewis, A.J.: Metallographic changes and phase identification in a nickel base alloy upon fusing and casting, *Aust. Dent. J.* 20: 378-383, 1975.
- 17) Lubovich, R.P., and Goodkind, R.J.: Bond strength studies of semiprecious, and non-precious ceramic-metal alloys with two porcelains, *J. Prosthet. Dent.* 37: 288, 1977.
- 18) Lyman, T., (editor): *Metals handbook*, 7, ed. 8., Metals Park, Ohio, 1972, American Society for Metals, p.313.
- 19) McLean, J.W.: *The science and art of dental ceramics and their clinical use*, 1st ed., 1979, Chicago, Quintessence publishing Co., 1979.
- 20) Meyer, J.M., Payan, J., and Nally, J.N.: Evaluation of alternative alloys to precious ceramic alloys, 1. Mechanical properties, *J. Oral Rehabilitation*, 6: 291-309, 1979.
- 21) Moffa, J.P., Lugassy, A.A., Guckes, A.D., and Gettleman, L.: An evolution of non-precious alloys for use with porcelain veneer, Part 1:Physical properties, *J. Prosthet. Dent.* 30: 424-421, 1973.

- 22) Moffa, J.P.: Physical and mechanical properties of gold and base metal alloys. Proceedings. Alternative to Gold Alloys in Dentistry. DHEW Publication No. (NIH) 77-1227, pp. 81-93, 1977.
- 23) Morris, H.F., and Asgar, K.: Physical properties and microstructures of four new commercial partial denture alloys, *J. Prosthet. Dent.* 33:36, 1975.
- 24) Morris, H.F., Asgar, K., Rowe, A.P., and Nasjleti, C.E.: The influence of heat treatments on several types of base metal removable partial denture alloys, *J. Prosthet. Dent.* 41:388-396, 1979.
- 25) O'Brien, W.J., Kring, J.E. and Ryge, G.: Heat treatment of alloys to be used for the fused porcelain technique, *J. Prosthet. Dent.* 14:955-960, 1964.
- 26) O'Brien, W.J., and Ryge, G.: An outline of dental materials and their selection, Philadelphia, W.B. Saunders Co. 1973.
- 27) Petzow, G.: Metallographic etching, ASM, pp. 77-78, 1978.
- 28) Skinner, E.W., and Phillips, R.W.: The science of dental materials, ed. 7, Philadelphia, W.B. Saunders Co., 1973.
- 29) Smith, D.L., & others; Iron-platinum hardening in casting golds for use with porcelain, *J. Dent. Res.* 49:283, March-April, 1970.
- 30) Taggart, W.H.: A new and accurate method of making gold inlays, *Dent. Cosmos*, 49: 1117-1121, 1907.
- 31) Vermilyea, S.G., Huget, E.F., and Vilca, J.M.: Observations in gold-palladium-silver and gold-palladium alloys, *J. Prosthet. Dent.* 44:294, 1980.
- 32) 朴禧善:金屬組織學, 東明社, 서울, 1980.
- 33) 廉永夏:材料試驗法, 東明社, 서울, 1981.