

論 文

鉛青銅鑄物の 組織에 미치는 熔解 및
鑄込條件의 影響에 관한 研究

李云煥*, 崔昌鈺**

Effect of Melting and Pouring Conditions on Structures of Leaded Tin Bronze Castings

W.W.Lee*, C.O.Choi**

ABSTRACT

The effects of melting and casting conditions on cast structures of Cu-Sn-Pb alloys were studied. Specimens were prepared at different pouring temperatures of 1100°C to 1260°C with use of various kind of molds, green sand mold, CO₂ sand mold, shell mold, furan sand mold and metallic mold.

- (1) The transition of equiaxed to columnar structure greatly influenced by adding elements and mold binders.
- (2) The change of equiaxed structure according to pouring temperatures were expressed by separation theory. Lower pouring temperature and rapid cooling rate increase hardness and it's further increase was shown in the region of columnar structure.
- (3) Proper controls of pouring temperature, cooling rate and mold binder were important factors to improve wear properties of Cu-Sn-Pb alloys castings.

1. 序 論

鉛青銅鑄物은 Cu-Sn系 合金에 22%까지의 Pb를 含有한 合金鑄物으로써 工業用材料로서는 耐壓性 耐摩性이 우수하여 中高速 高荷重用의 軸受, 기타 汽缸, 밸브 등에 사용된다. 이 合金類는 韓國工業規格¹⁾에서 鉛入青銅鑄物로 規定되어 있으나 製造作業標準이 規定되어 있지 않아서 각 工場의 獨自的인 製造法에 依存하고 있다.

鉛青銅鑄物の 製造에 관한 國內外 研究動向을 文獻에 의하여 調査하였던 바 주로 2元系合金에 관해서 이루어지고 있으며 3元系인 Cu-Sn-Pb 合金에 대하여 鑄造條件에 따라 體系的으로 研究한 바가 없는 것으로 調査되었다.

鉛青銅鑄物은 Pb의 重力偏析 또는 逆偏析²⁾이 일어나기 쉬우므로 주의를 要하며 朱錫青銅鑄物과 같이 凝固溫度範圍가 넓고 押湯效果가 적어 微細하게 分散된 收縮에 의한 缺陷이 생기기 쉬우며 Pb의 酸化에 의하

여 熔融狀의 粘性이 큰 酸化鉛이 生成되고 두께 增加에 의한 機械的性質의 低下가 비교적 큰 것³⁾으로 알려져 있다.

따라서 本 實驗에서는 鉛青銅鑄物の 製造에 있어서 鑄造條件에 따른 鑄造組織의 觀察과 機械的性質의 檢討를 통하여 最適의 熔解 및 鑄造條件을 규명하므로 健全한 鑄物을 製造하기 위한 基礎資料를 提供함을 研究目的으로 하였다.

2. 實驗方法

2-1 試驗片 製作

本 實驗에서 目的으로 하는 組成인 Cu-Su-Pb系 合金의 1次鑄塊를 만들기 위하여 純度 99.97%의 銅地金, 純度 99.9%의 鉛地金을 이용하여 각 組成의 1次鑄塊를 熔解, 鑄造하여 鑄物用 鉛青銅合金 地金으로 하였으며 이 때 熔解는 高周波誘導熔解爐(10kg-15Kw-10,000Hz)를 사용하여 金型에 鑄造하였다.

1次鑄塊의 化學成分은 Table 1과 같이 韓國工業規

* 東國產業(株)(前東亞大學校大學院生)

** 東亞大學校工科大學 教授

格(KS D 6011)에 규정한 4 가지 종류의 組成으로 하였다.

Table 1. Chemical composition of primary ingots. (wt, %)

	Cu	Sn	Pb	classification inKS
A	85	10	5	KS D 6011 type 2
B	80	10	10	KS D 6011 type 3
C	77	8	15	KS D 6011 type 4
D	72	8	20	KS D 6011 type 5

1次鑄塊를 高周波誘導熔解爐에서 Table 2와 같은 溫度로 再熔解하여 實驗目的에 適合한 조건으로 각종 鑄型에 鑄込凝固하여 2次鑄塊를 鑄造하였다. 이 때 사용한 鑄型은 (1) 金型, (2) 生砂型 (3) 후란砂鑄型 (4) CO₂ 砂型 및 (5) Shell 型의 5種으로 하였으며 사용한 矽砂의 化學成分 및 粒度分布는 Table 3 및 Table 4와 같으며 또한 鑄物砂의 配合比率는 Table 5와 같이 하였다.

Table 2. Melting and pouring temp. of primary ingots.

melting temp (°C)	pouring temp (°C)
1140	1100
1180	1140
1220	1180
1260	1220
1300	1260

Table 3. Chemical composition of molding sand.

(wt, %)					
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	LOI
94.7	2.97	0.19	0.01	0.01	0.36

Table 4. Sieve analysis of molding sand

Mesh No.	6	12	20	30	40	50	70	100	140	200	270	pan	AFS GFN
wt. %	-	-	0.1	0.1	0.6	2.7	21.4	43.1	22.4	5.8	1.5	0.5	72.2

Table 5에 表示한 配合比로 混練한 鑄物砂에 의하여 만든 鑄型의 形狀과 치수는 Fig 1에 나타낸 바와 같으며 이로서 $\phi 30 \times \ell 42$ mm 크기의 2次鑄塊를 만들었다.

Table 5. Molding sand mixtures.

Mold	(Wt, %)					
	Sand		Binders		Additives	Other
Green sand mold	Silica	100	Bentonite	8	Water	6
Furan sand mold	Silica	100	Furan resin	1.5	Catalyst	0.75
Shell mold	Silica	100	Phenol resin	3	Rosin	0.3
CO ₂ Sand mold	Silica	100	Water glass	6	CO ₂ gas	
Metallic mold	Cast iron	-	-	-	-	-

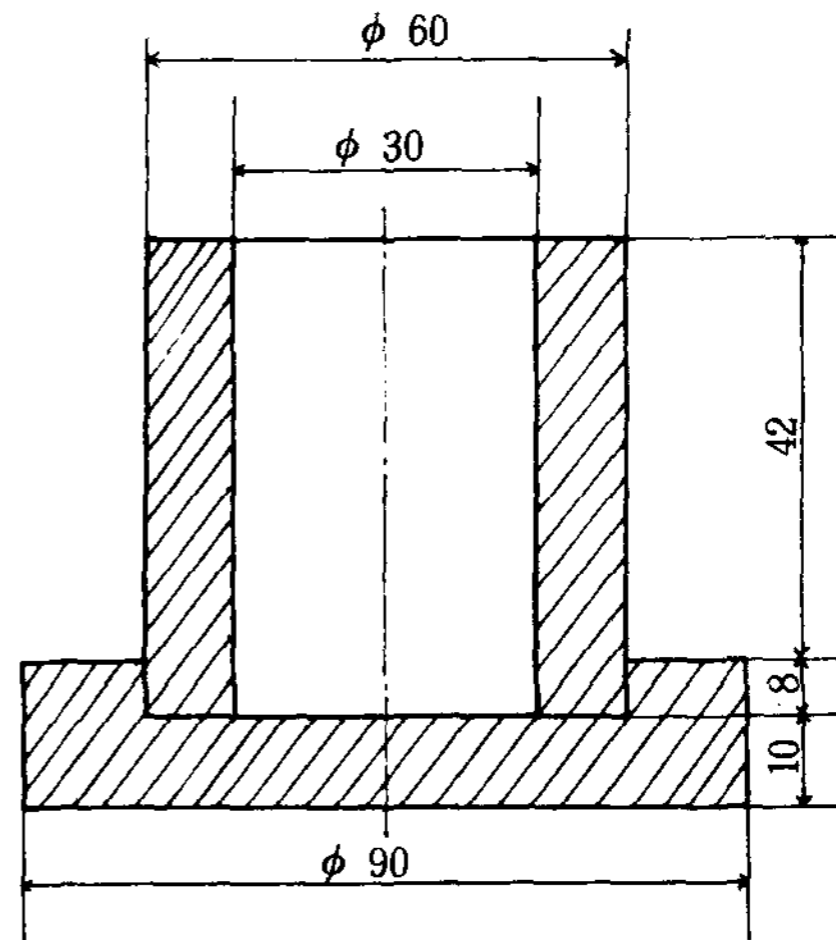


Fig. 1. Mold dimension (mm)

2-2 實驗方法

鑄造한 鉛青銅鑄物の 2次鑄塊를 鑄放狀態에서 中心軸上에서 垂直으로 切斷하여 macro組織을 觀察하였다. 또한 macro組織 관찰 후 micro組織은 각 試片에서 鑄塊 밑면에서 10 mm 상단, 鑄塊表面에서 5 mm 되는 부분의 縱斷面을 절단 濕式研磨後 암모니아수와 과산화수소를 配合한 腐蝕液을 사용하여 數分間 腐蝕後 光學顯微鏡을 사용하여 觀察하였다.

한편 鑄塊의 位置에 따른 化學成分을 調査하여 偏析의 影響을 검토하고자 2次鑄塊의 縱斷中心面을 Fig. 2와 같이 각 위치에서 化學成分을 分析하여 Sn과 Pb의 組成 變動에 대하여 調査하였다. 또한 鑄塊의 鑄造條件에 따른 機械的性質을 調査하기 위하여 브리넬硬度機를 사용하여 縱斷中心面에서 Fig. 3에 나타낸 위치에서 測定하여 硬度값을 얻었다.

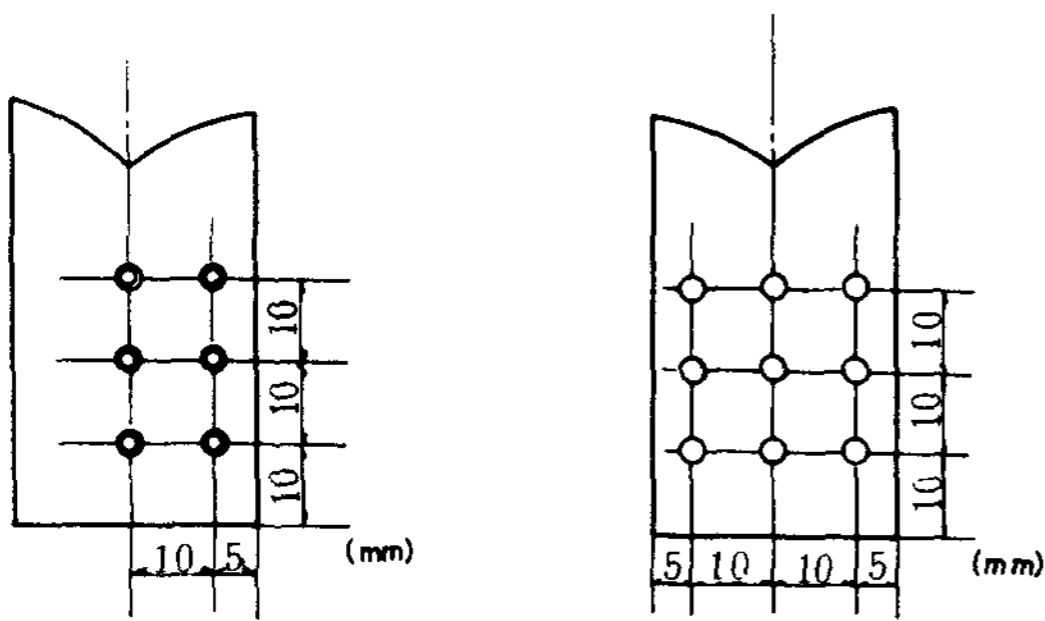


Fig. 2. The location of chemical composition analysis. Fig. 3. The location of hardness measurement.

3. 實驗結果 및 考察

3-1 合金組成과 鑄造組織과의 關係

鉛青銅合金의 1次鑄塊를 1,140 °C로 熔解하여 鑄込溫度 1,100 °C에서 金型에 鑄込한 2次鑄塊의 macro組織을 合金組成別로 나타내면 Fig.4와 같다.

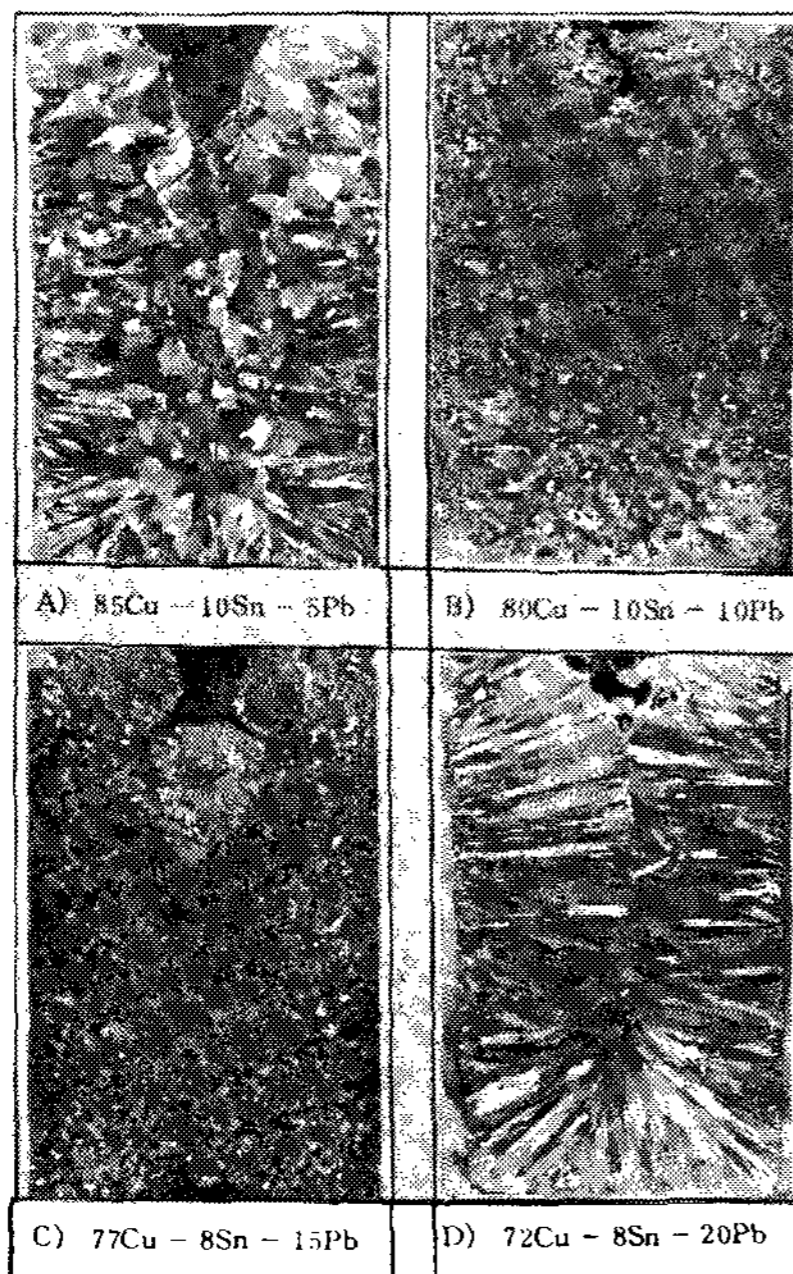


Fig. 4. Macrostructures of various alloy ingots in metallic mold poured at 1100 °C (X1.5)

85 Cu-10 Sn-5 Pb 合金의 경우 대체로 粗大한 等軸晶과 柱狀晶으로 되어 있으나 80 Cu-10 Sn-10 Pb 合金은 鑄塊 中心部에 微細한 等軸晶이 生成되며 柱狀晶은 減少하였으며 77 Cu-8 Sn-15 Pb의 合金은 大部分 微細한 等軸晶으로 되어있으며 72 Cu-8 Sn-20 Pb의 合金은 柱狀晶으로 성장하였다. 따라서 Pb의 含有量이 增加함에 따라 等軸晶의 面積率이 增加하여 그 크기도 微細하게 變化하였으나 72 Cu-8 Sn-20 Pb의 경우는 오히려 柱狀晶으로 成長하였다.

Fig.5는 1次鑄塊를 1,140 °C로 熔解하여 鑄込溫度 1,100 °C에서 殼型鑄型에 鑄込한 경우의 macro組織을 나타내었다. 85 Cu-10 Sn-5 Pb의 合金은 매우 粗大한 結晶으로 되어 있으며 Pb 含有量이 많아질수록 組織은 微細해지며 72 Cu-8 Sn-20 Pb의 合金도 鑄塊의 中心部에 等軸晶으로 成長하였다.



Fig. 5. Macrostructures of various alloy ingots in shell mold poured at 1100 °C (X1.5)

Fig.6은 1次鑄塊를 1,140 °C로 再熔解하여 鑄込溫度 1,100 °C에서 金型에 鑄込한 경우, micro組織을 合金組成別로 나타내었다. 각 合金의 micro組織은 모두 樹枝狀晶으로 成長하였음을 보여주고 있으며 또한 Pb 含有量이 많아질수록 樹枝狀晶이 더 微細하게 生成되고 있음을 나타내고 있는 것으로 Pb의 含有量이 增加함에 따라 液上線이 낮아지므로 鑄込溫度는 一定

하여도 凝固溫度까지 긴 時間이 소요되어 複雜한 樹枝狀晶으로 變化⁵⁾ 하며, 溶質偏析으로 因하여 樹枝狀晶의 方向性이 없어지고 가지間隔이 不規則하게 됨을 알 수 있다.⁶⁾

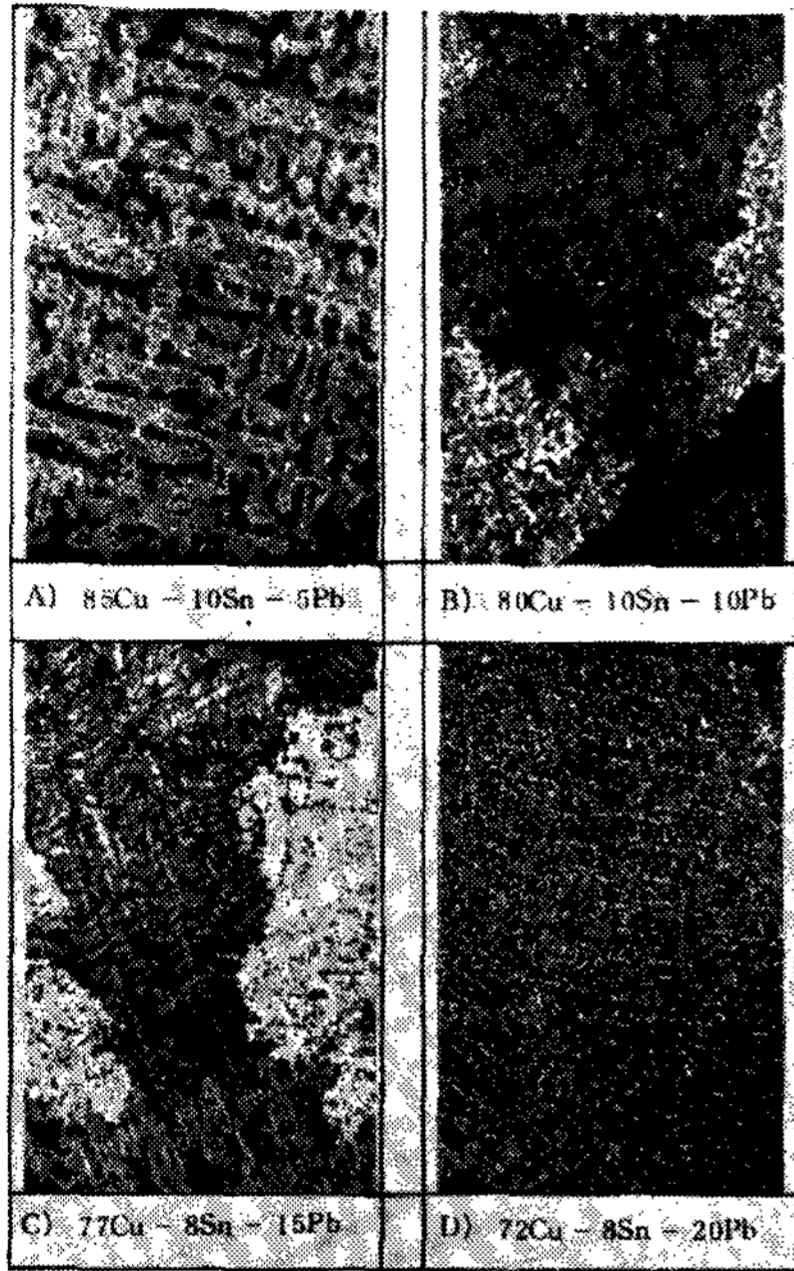


Fig. 6. Microstructures of various alloy ingots in metallic mold poured at 1100°C (X 100)

3-2 鑄込溫度와 鑄造組織과의 關係

85 Cu-10 Sn-5 Pb 合金의 1次鑄塊를 鑄込溫度 1,100°C, 1,140°C, 1,180°C, 1,220°C 및 1,260°C 로 金型에 鑄込한 경우 macro組織을 Fig.7에 表示하였다.

鑄込溫度 1,100°C에서는 鑄塊 中心部에는 等軸晶, 外周部에는 柱狀晶으로 成長되어 있으며 鑄込溫度 1,140°C 및 1,180°C에서는 等軸晶은 나타나지 않고 柱狀晶으로만 成長하였으며 1,220°C에서는 鑄塊 中心部에 약간 等軸晶으로 나타내고 1,260°C에서는 鑄塊 中心部에 다소 미세한 等軸晶으로 凝固하였다. 이는 鑄込溫度가 높아지면 鑄型壁面에서 生成된 結晶이 遊離되어 熔融金屬 内部의 高溫으로 인하여 再熔解되고 鑄型 壁面에서는 安定한 凝固殼을 形成하여 柱狀晶으로 成長되었으며,⁷⁾ 더욱 高溫으로 鑄込한 경우는 結晶이 안

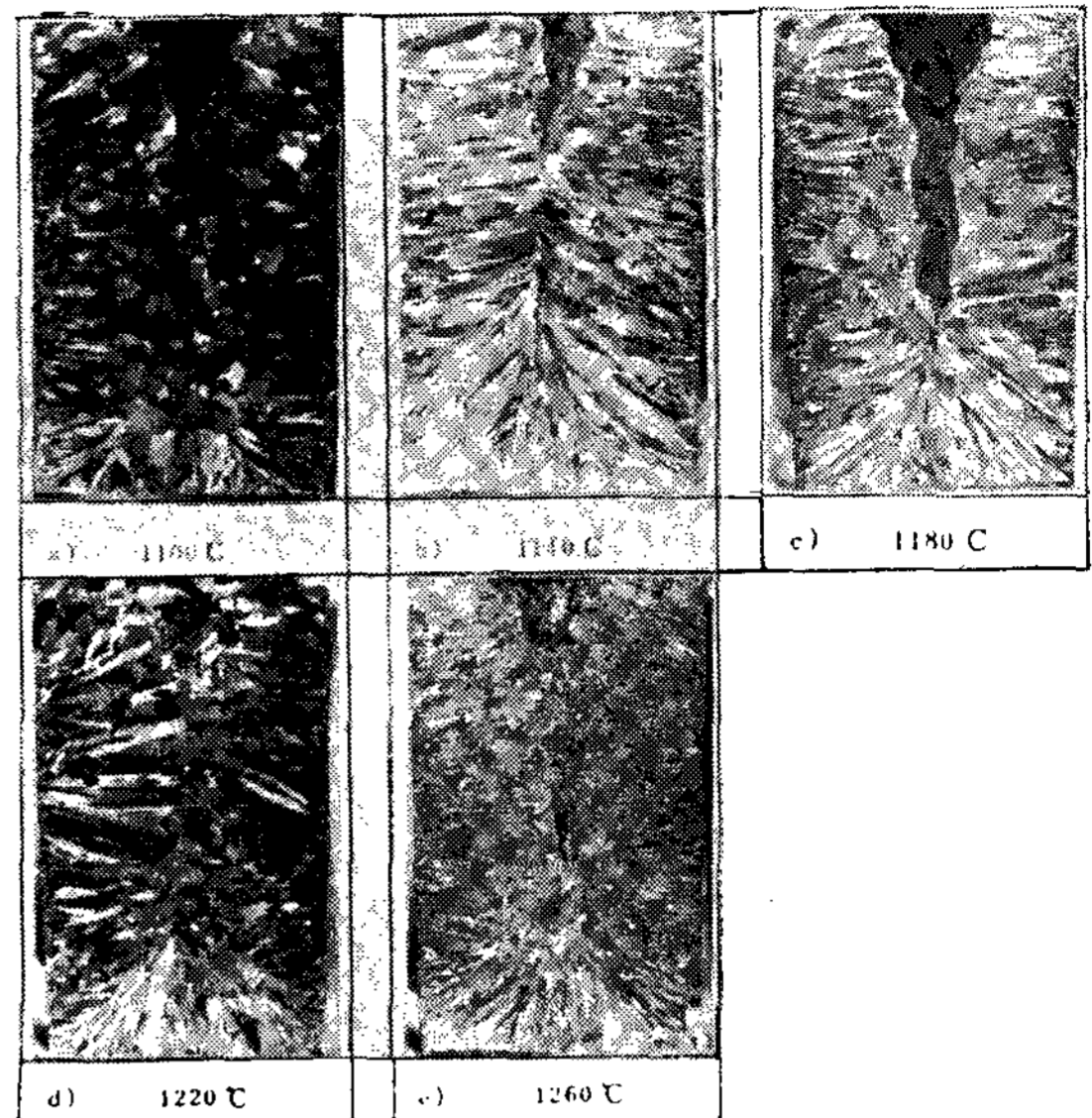


Fig. 7. Macrostructures of 85Cu-10Sn-5Pb alloy ingots in metallic mold poured at various pouring temp. (X 1.5)

정된 凝固殼을 生成할 수 있는 溫度까지 도달하기에는 다소 오랜 時間이 所要되므로 結晶의 遊離가 많아지게 되어 일부 遊離된 結晶이 再熔解되지 않고 남아 있으므로 等軸晶으로 成長한 것으로⁸⁾ 思料된다.

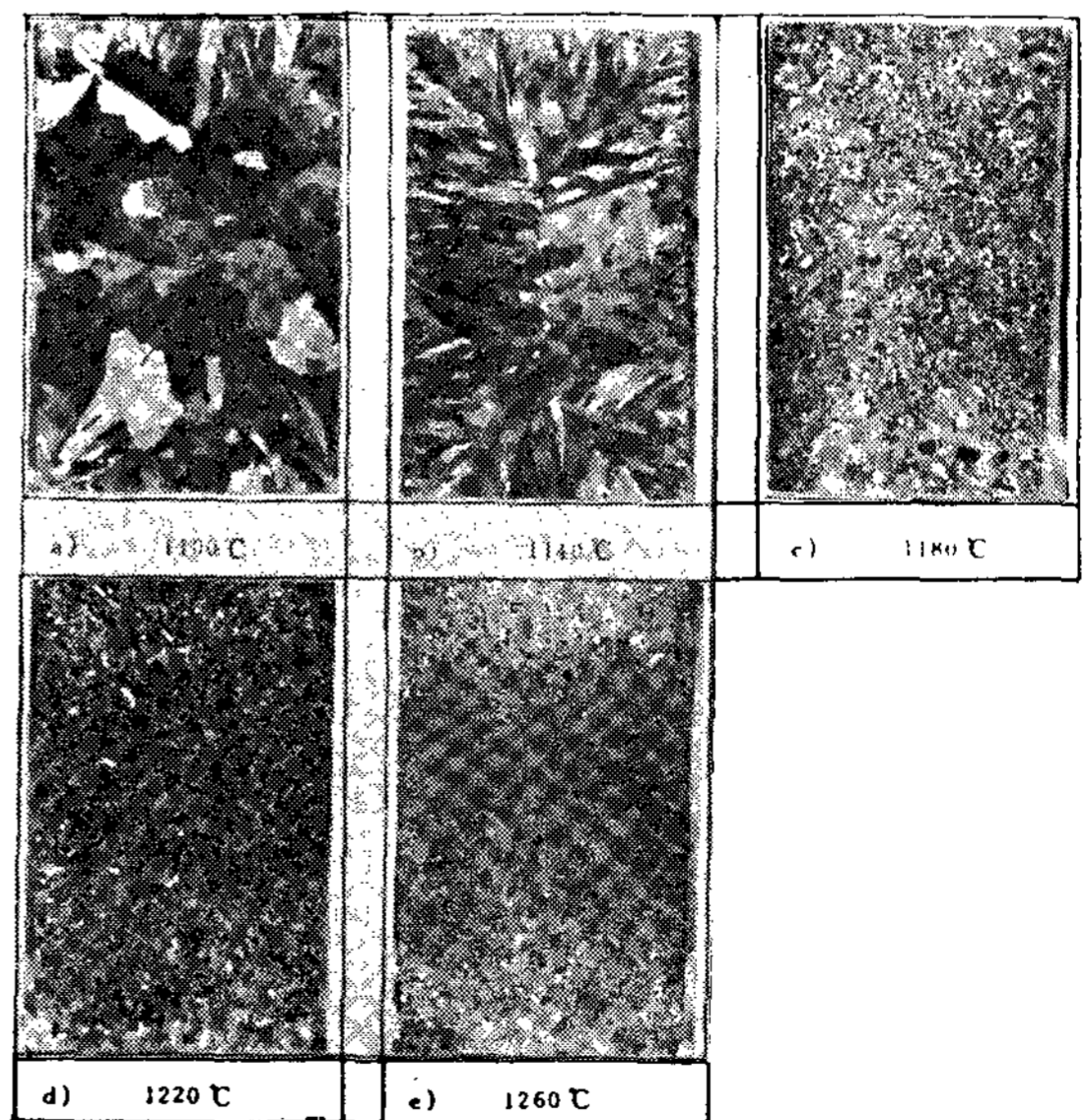


Fig. 8. Macrostructures of 85Cu-10Sn-5Pb alloy ingots in shell mold poured at various pouring temp. (X 1.5)

Fig.8은 85 Cu-10 Sn-5 Pb 합금의 1次鑄塊를鑄込溫度 1,100 ℃, 1,140 ℃, 1,180 ℃, 1,220 ℃ 및 1,260 ℃로 殼型鑄型에鑄込한 경우의 macro組織을 나타내었다.鑄込溫度가 올라감에 따라 結晶의 粒子가 微細하여 지고 있음을 알 수 있으며 1,260 ℃의 高溫에서鑄塊 中心部에 약간의 粗大化를 나타내고 있다. 이는鑄込溫度가 높으면鑄型壁面에서 核生成된 結晶이 遊離되고 이 遊離된 結晶이鑄塊 内部의 高溫의 용융금속에 의하여 再熔解되면서 結晶의 增殖現狀⁸⁾이 일어나 微細하게 되며, 1,260 ℃에서는鑄塊 中心部에 다시 큰 粒子가 나타난 것은 高溫으로 됨에 따라鑄塊 中心部에서 遊離된 結晶들이 成長하였기 때문이다. 또한鑄込한鑄型이 金型과 같이鑄型壁面이 平滑하면 安定한 凝固殼의 形成이 용이하여 柱狀晶으로 成長하고 砂型과 같이鑄型壁面에서 結晶의 生成, 遊離가 용이하면 等軸晶으로 成長하는⁹⁾ 것으로 思料된다.

3-3 鑄型的 種類와 鑄造組織과의 關係

85 Cu-10 Sn-5 Pb 합금의 1次鑄塊를鑄込溫度 1,100 ℃에서 각종鑄型에鑄込한 경우의 macro組織을 Fig.9에 나타내었다.

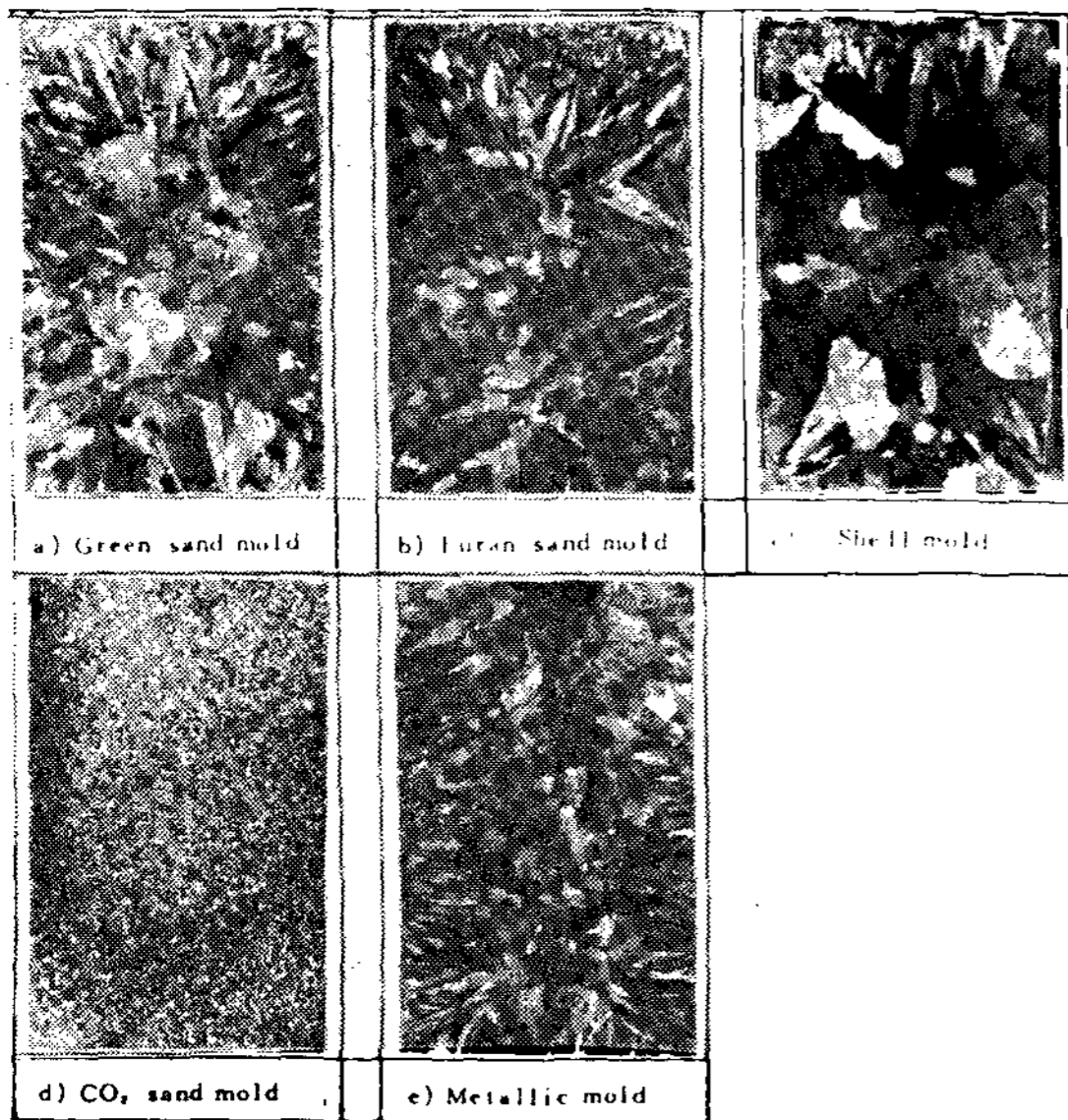


Fig. 9. Relationship between mold material and casting structure in 85Cu-10Sn-5Pb alloy ingots poured at 1100 ℃(X 1.5)

Fig.9에서 보인 바와 같이鑄型粘結材의 種類에 따라 macro組織이 變化하고 있음을 나타내고 있다. 즉

生砂型, 殼型 및 金型은鑄塊 外周部에는 柱狀晶으로鑄塊 中心部에는 等軸晶으로 成長하였으나 후란砂型은 중앙에 약간의 等軸晶이 있으나 대부분 柱狀晶으로, CO₂砂型은 完全한 等軸晶으로 成長하였다. 이는鑄型的 種類에 따라鑄型壁面에서 核生成의 자리 數가 變化하며¹⁰⁾ 또한 結晶의 遊離가鑄型壁面에서 濕潤性의 變化나 또

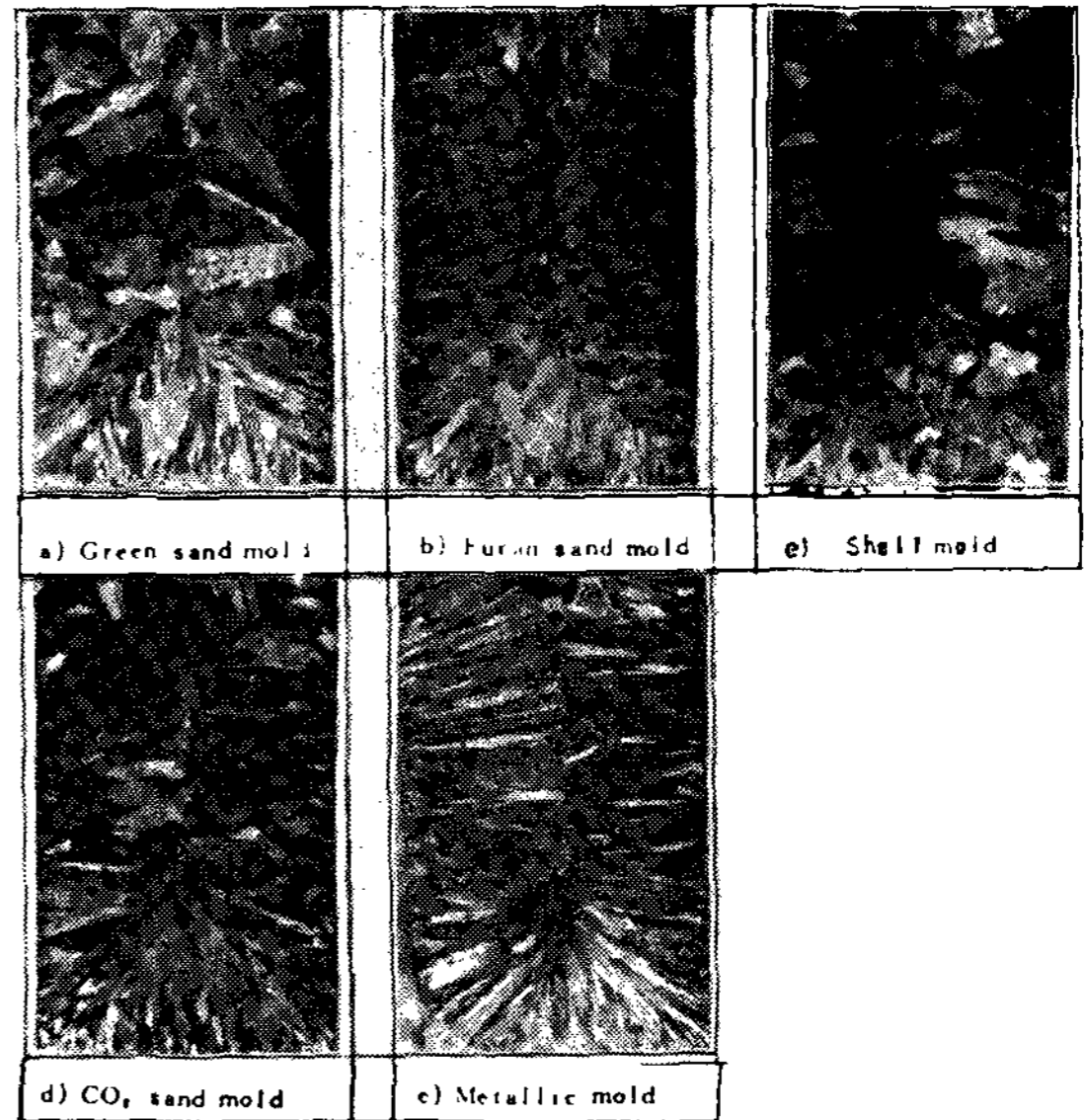


Fig.10. Relationship between mold material and casting structure in 72Cu-8Sn-20Pb alloy ingots poured at 1100 ℃ (X 1.5)

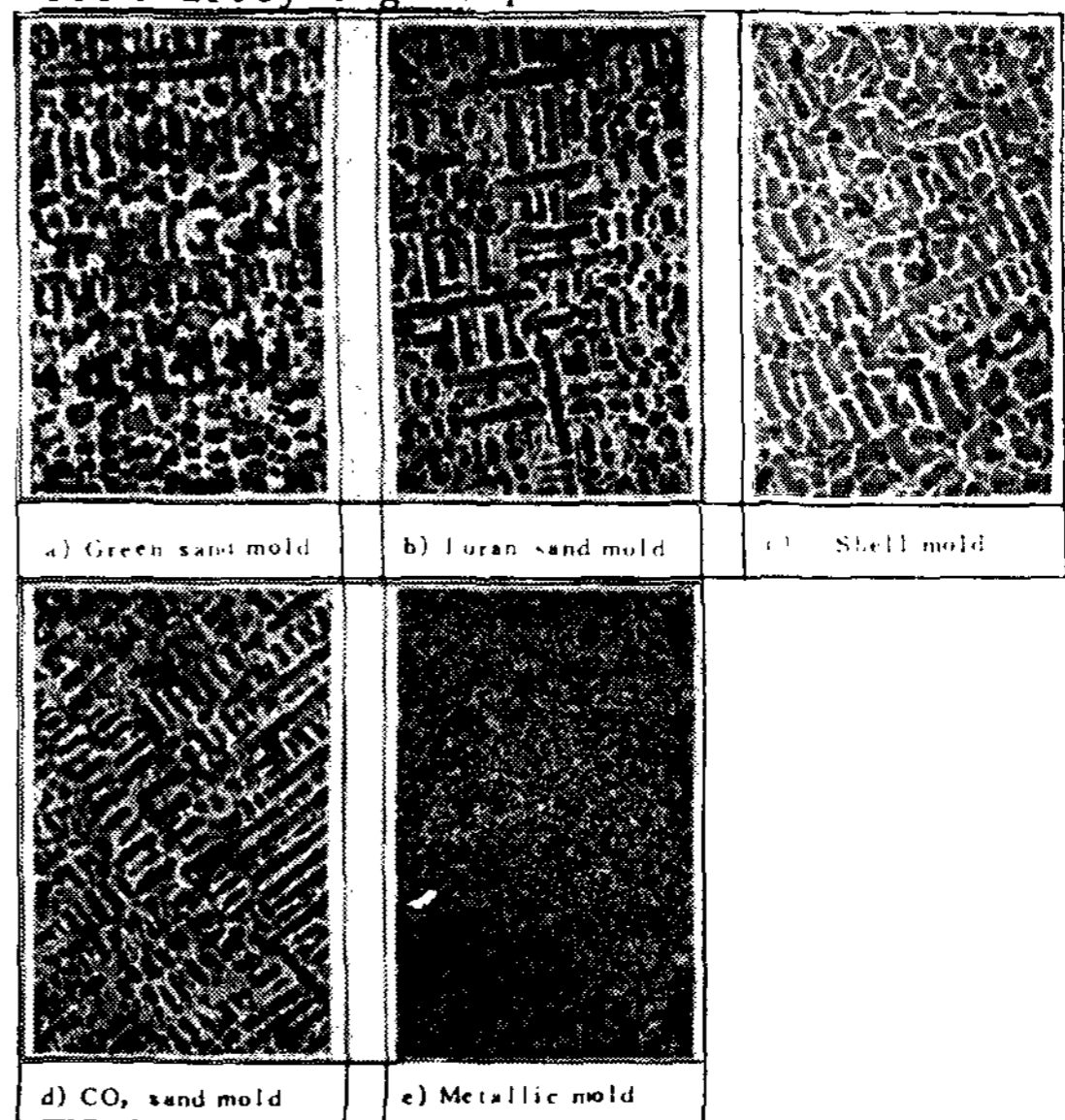


Fig. 11. Microstructures of 80Cu-10Sn-10Pb alloy ingots in various molds poured at 1100 ℃ (X 100)

는 鑄型粘結材의 種類에 따라 용융금속의 不純物로써 作用함에 따라 結晶의 遊離에 影響¹¹⁾을 미치는 것으로 推定된다. 또한 72 Cu-8 Sn-20 Pb 合金의 1次鑄塊를 鑄込溫度 1,100 °C에서 각종 鑄型에 鑄込한 경우의 macro組織은 Fig.10에 나타내었다. Fig.9와 같이 鑄型粘結材에 따라 다소 다른 組織을 나타냄을 알 수 있었다.

Fig.11은 80 Cu-10 Sn-10 Pb 合金의 1次鑄塊를 1,100 °C로 鑄込한 경우 각 鑄型의 種類에 따른 micro組織을 나타내었다. 金型의 경우 鑄造組織이 매우 微細한 樹枝狀晶을 나타내고 있음을 알 수 있으며 이는 砂型鑄物과 比較하여 좋은 對照를 보이고 있다. 따라서 樹枝狀晶의 크기는 冷却速度와 關係하는 것으로¹²⁾ 생각된다.

3-4 鑄造條件에 의한 化學成分의 變化

85 Cu-10 Sn-5 Pb 및 72 Cu-8 Sn-20 Pb 合金의 1次鑄塊를 鑄込溫度 1,100 °C, 1,180 °C 및 1,260 °C로 凝固시킨 2次鑄塊의 위치에 따른 Sn과 Pb의 거동에 대하여 化學成分 分析結果를 Fig.12 및 Fig.13에 나타내었다.

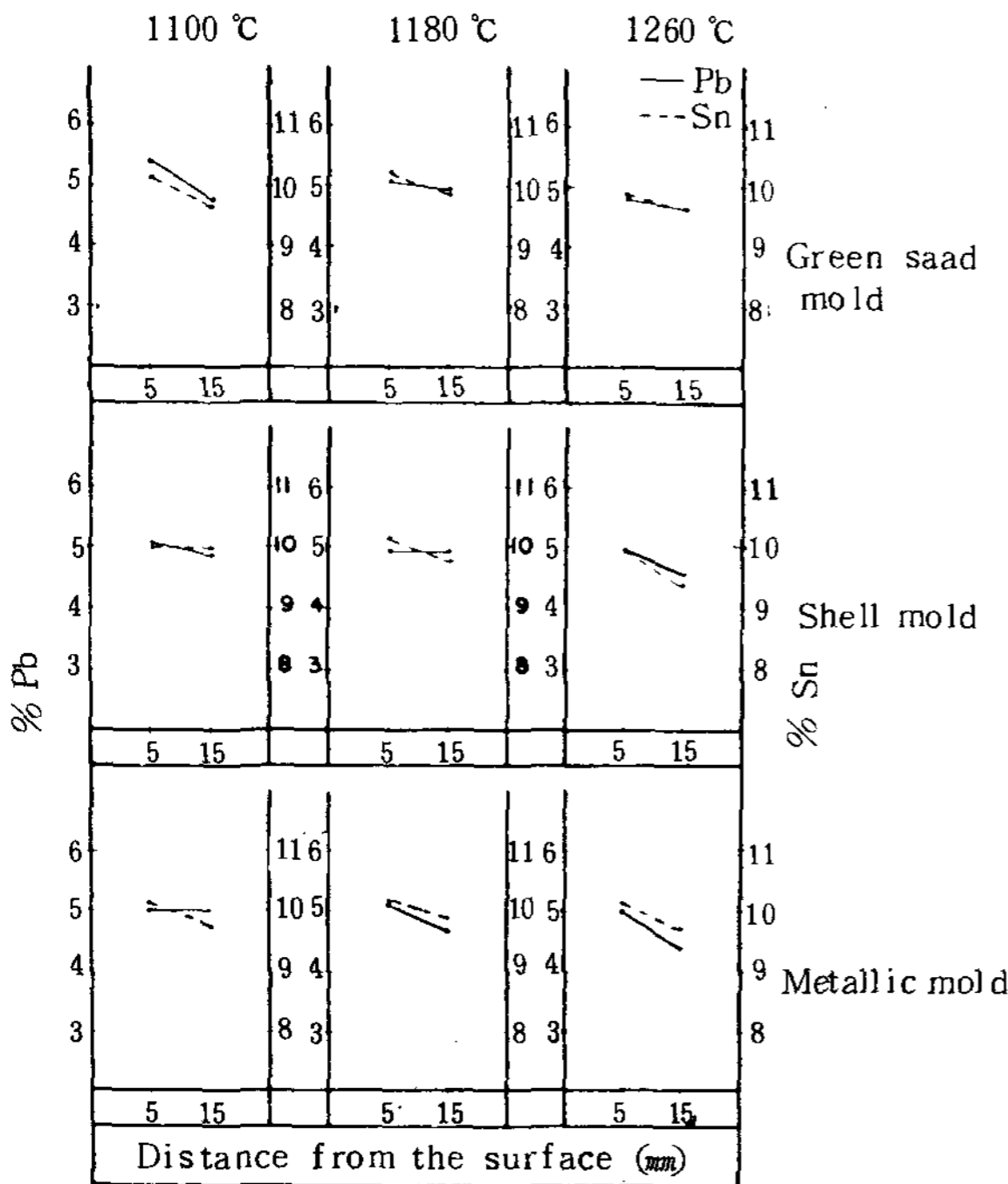


Fig.12 Variation of solute content with position and pouring temp. in 85Cu-10 Sn-5Pb alloy ingots

鉛青銅鑄物の 경우 Pb의 偏析을 나타내는 대표적인 合金으로써¹³⁾ 본 實驗에서는 Pb의 含有量이 偏晶組成 이상인 아니고 鑄塊의 形狀도 단순하며 크기도 작으나 偏析을 나타내고 있음을 알 수 있었다. Fig.12에서 보인 바와 같이 85 Cu-10 Sn-5 Pb 合金에 있어서 鑄塊 表面部와 下端部에 Pb 및 Sn의 含有量이 증가함을 보이고 있어 逆偏析 또는 重力偏析²⁾의 경향을 나타내고 있다. 한편 熔解溫度 및 鑄込溫度가 높은 경우 더욱 편석현상을 보이며 또한 Pb의 含有量이 目的成分보다 낮은 값을 나타내고 있어 이는 熔解중에 증발손실로 추정된다.

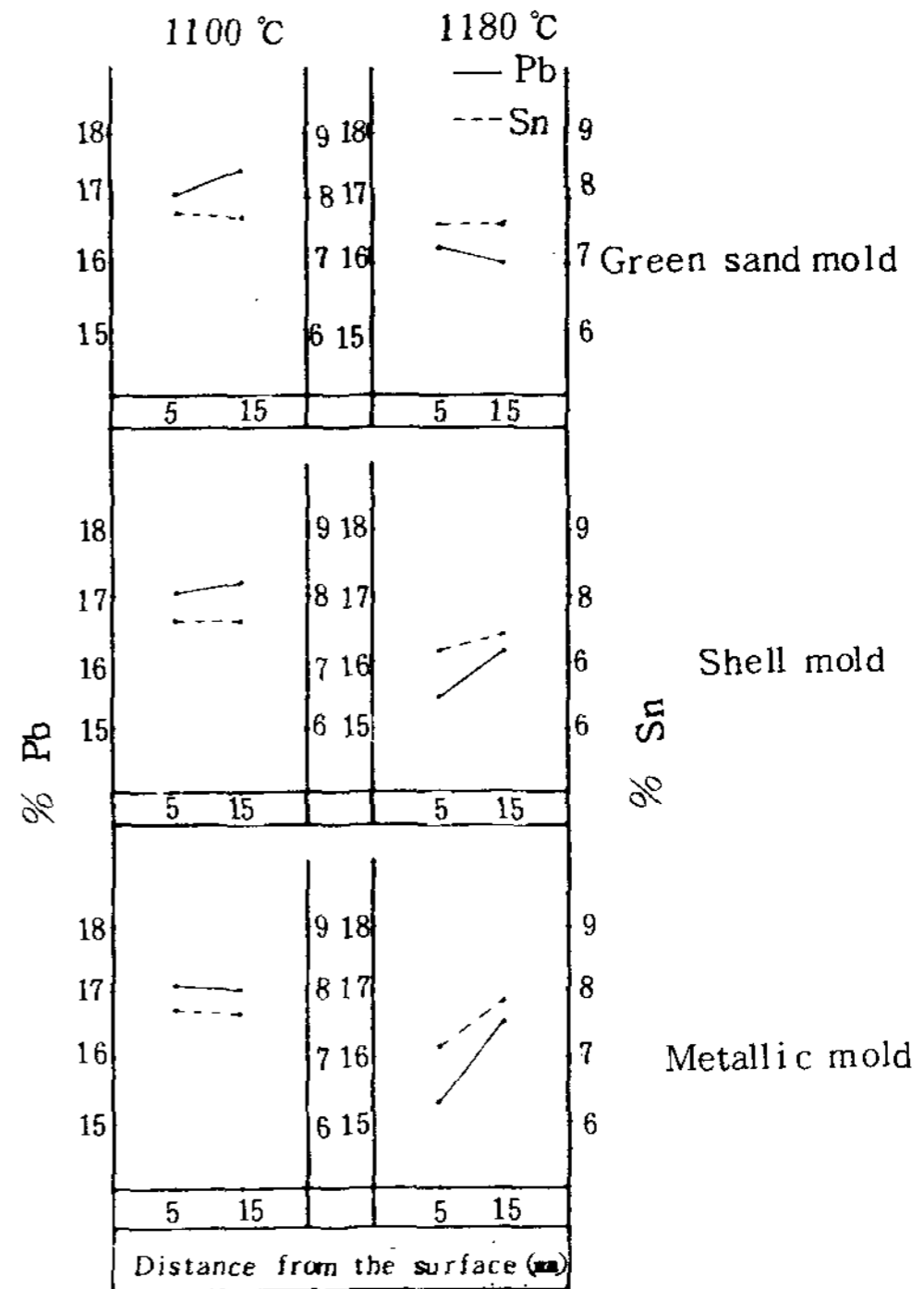


Fig.13 Variation of solute content with position and pouring temp 72 Cu-8Sn-20Pb alloy ingots

Fig.13은 72 Cu-8 Sn-20 Pb 合金에 대하여 Sn과 Pb의 거동을 나타내는 것으로 鑄塊의 表面部보다 中心部에 含有量이 많은 偏析現象을 보이고 있다. 또한 熔解溫度 및 鑄込溫度가 높은 경우 더욱 편석경향을 보이며 Pb의 含有量이 많은 合金에 있어서 熔解溫度가 높으면 熔解중에 Pb의 증발손실이 더욱 많아 熔解가 불가능 하였다. 鑄型의 종류에 따른 偏析의 차이는 분명히 나타나지는 않았으며 다만 Pb와 Sn의 분포경향이 일치하고 있다는 것을 알 수 있었다. 이는 Pb와

Sn의 凝固形態 변화와 관련이 있고 Pb와 Sn이 각각 교대로 固溶體를 형성한다는 것도 분포경향을 일치시킨다고¹⁴⁾ 생각된다.

3-5 鑄造條件에 의한 機械的性質의 變化

合金의 組成別, 鑄型의 種類 및 鑄込溫度에 따른 2次鑄塊의 硬度 測定結果를 Fig.14에서 Fig.17까지 表示한다. 또한 KS規格에 규정된 硬度에 해당하는 값을 직선으로 나타내었다. 鑄塊는 대체로 鑄込溫度가 낮고 冷却速度가 빠른 鑄型에 鑄込한 경우에 규정의 硬度값이 얻어졌다. 일반적으로 鑄込溫度가 낮을수록 機械的性質은 좋아지지만¹⁵⁾ 酸化物이 混入되고 blow hole이 나타나며, 鑄込溫度가 높으면 gas의 吸入으로 인한 pin hole의 발생으로 缺陷이 나타나며¹⁶⁾ 또한 熔解中에 증발손실도 크게 된다. 따라서 규정의 硬度값을 갖게 하기 위해서는 組成에 따라 鑄込溫度 및 鑄型의 種類를 選擇함이 필요하다. 높은 硬度값은 樹枝狀晶이 微細하게 分布하는 金型에서 얻어졌으며 樹枝狀晶의 結晶의 크기 分布가 비슷한 경우 macro組織과 硬度와의 關係를 調査한 結果 柱狀晶에서 높은 硬度값을 나타내었다. 同一 鑄型에 鑄込한 경우 等軸晶보다 柱狀晶에서

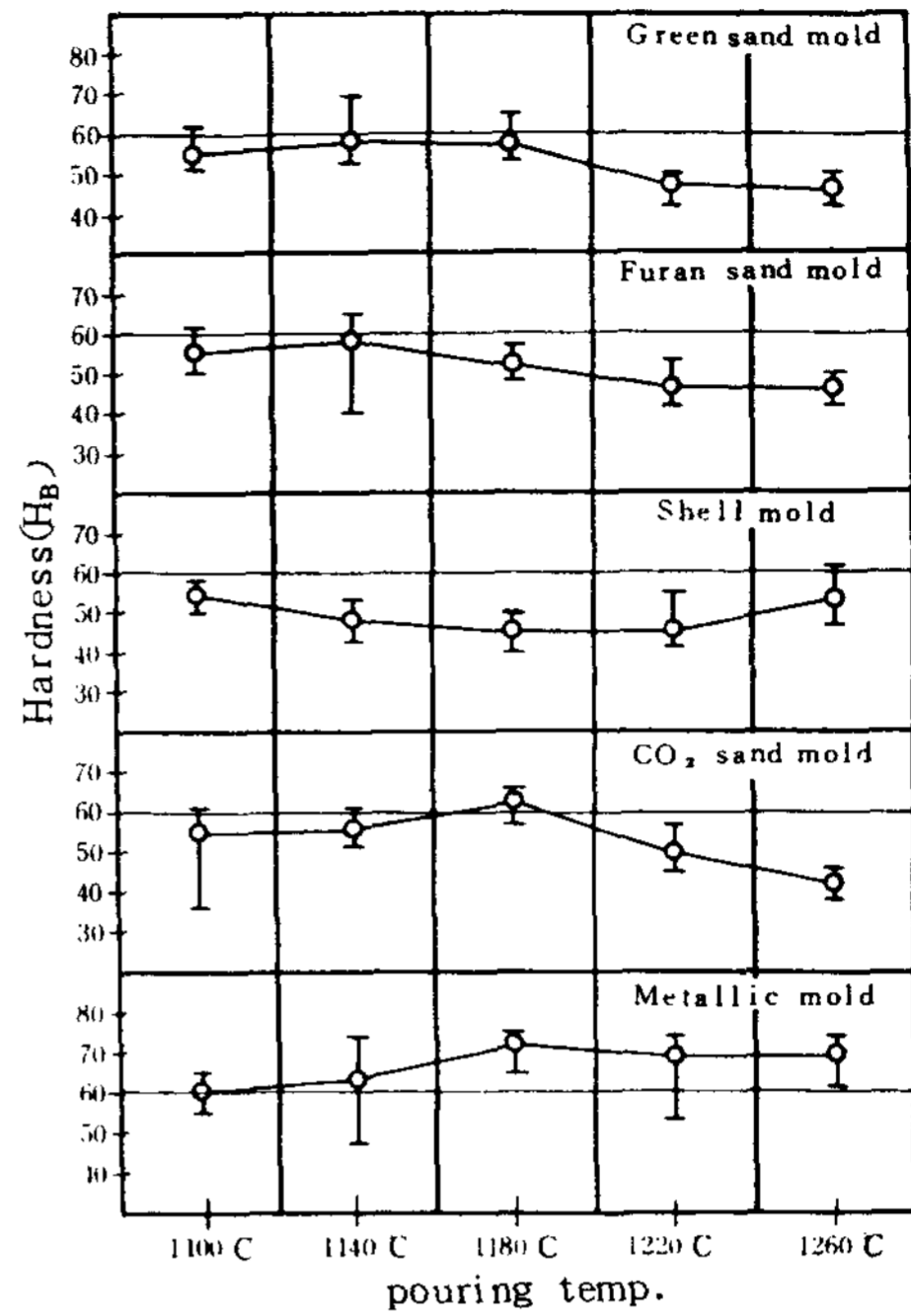


Fig.15. Hardness (HB) variation of 80Cu - 10 Sn - 10 Pb depending upon various molds and pouring temp.

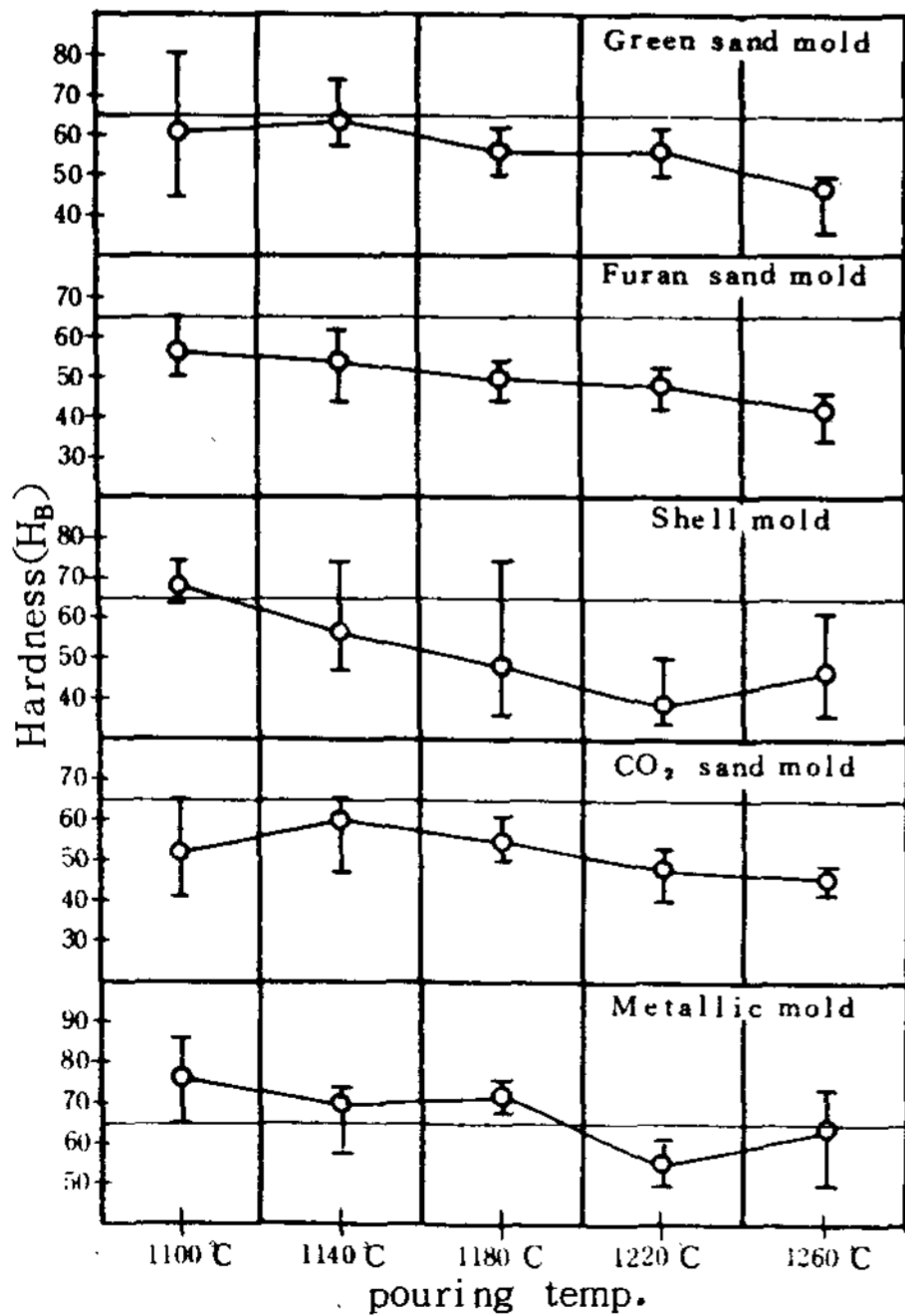


Fig.14. Hardness (HB) variation of 85 Cu - 10 Sn - 5 Pb depending upon various molds and pouring temp.

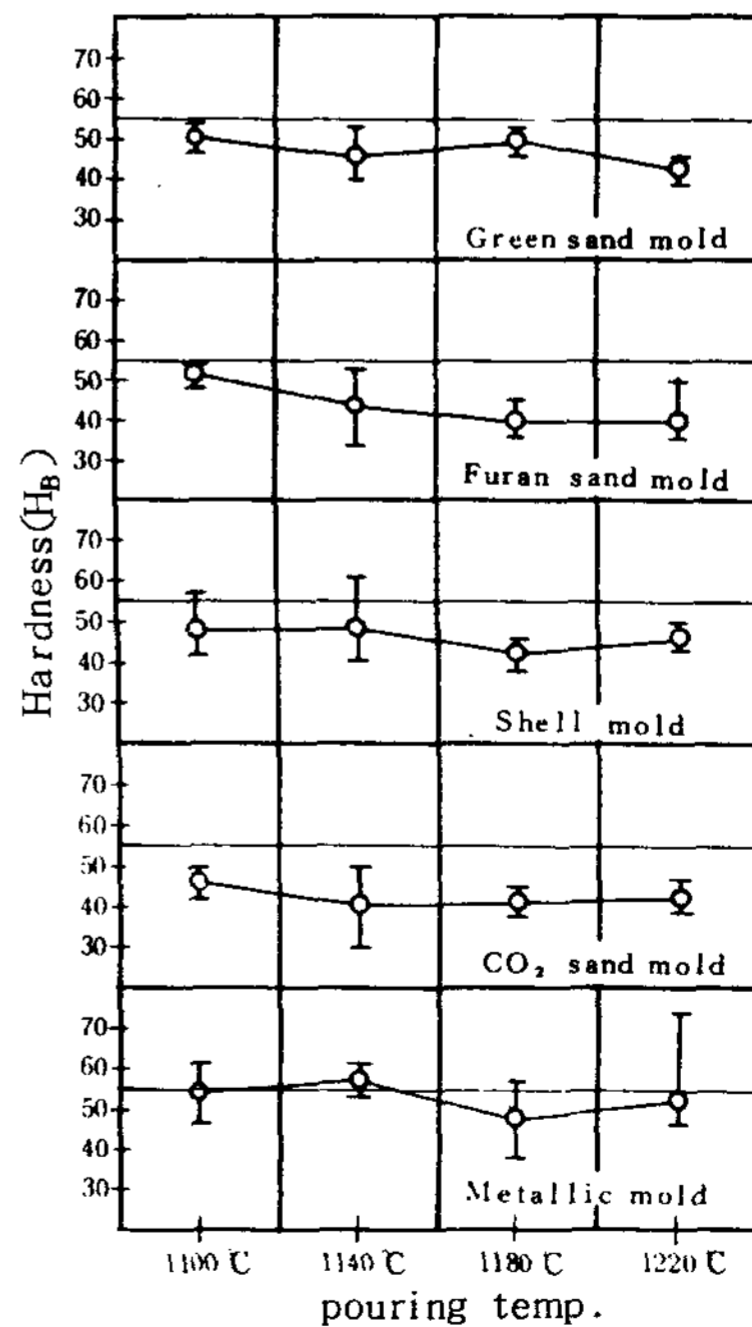


Fig.16. Hardness (HB) variation of 77 Cu - 8 Sn - 15 Pb depending upon various molds and pouring temp.

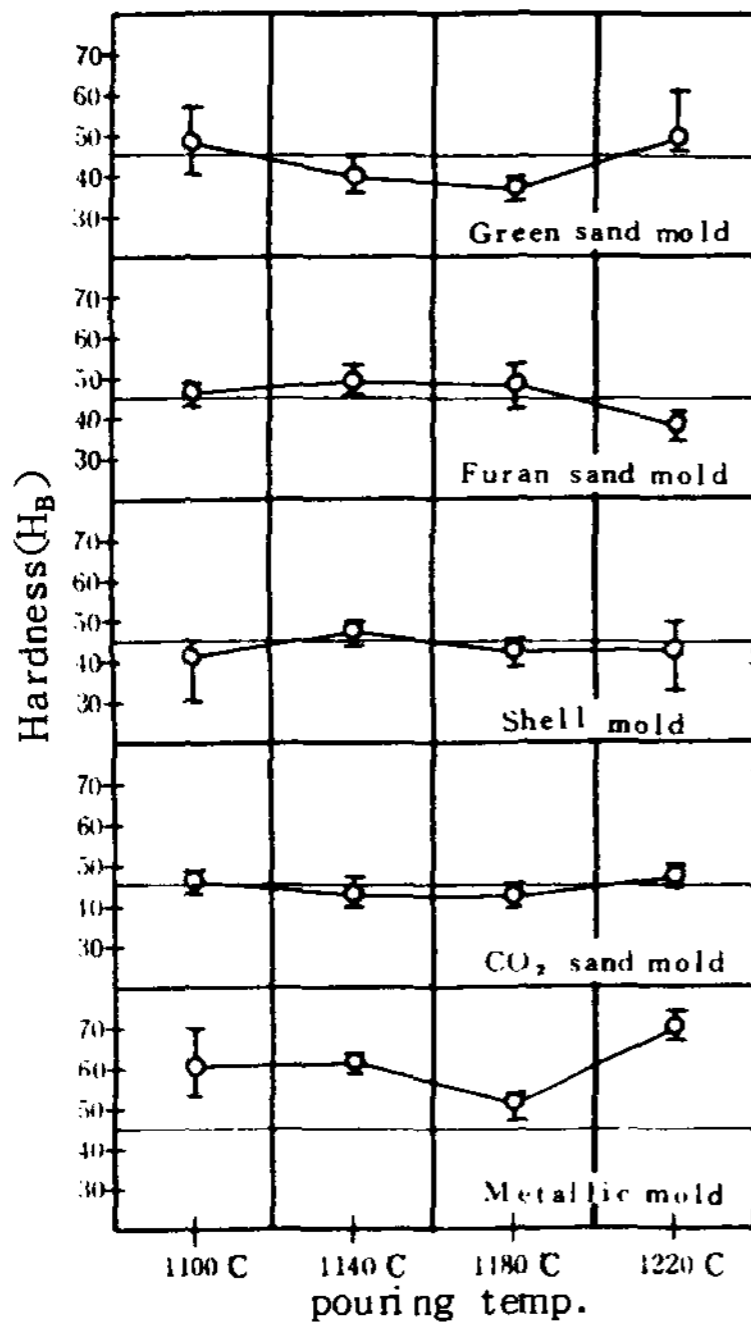


Fig.17. Hardness (H_B) variation of 72 Cu - 8 Sn - 20 Pb depending upon various

더 높은 硬度값을 나타내고 있다는 것은 柱狀晶에서는 micro porosity가 1次가지와 2次가지 사이나 2次가지들 사이에 存在하고 粒界에는 거의 存在하지 않지만 等軸晶에서의 micro porosity의 分布는 粒界에 porosity가 훨씬 많이 存在하여¹⁷⁾ porosity의 分布狀態가 硬度의 變化에 影響을 주는 것으로¹⁸⁾ 추정된다.

4. 結 論

鉛青銅鑄物の鑄造組織에 미치는鑄造條件의影響에 관한實驗結果 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 鉛青銅鑄物の合金組成에 따라鑄塊의鑄造組織이 變化하는 것으로 Pb含有量이 15%까지는 等軸晶이 많아지고 또한 微細化 경향을 나타내지만 20%에서는 오히려 柱狀晶으로 成長하였다.

2) 鑄込溫度에 따른鑄造組織은 85 Cu-10 Sn-5Pb의 경우 1,180℃까지는 等軸晶에서 柱狀晶으로 成長하고 이보다 높은溫度에서는 等軸晶이 나타나는 것으로 結晶遊離說에 의한 等軸晶生成의 관계가 확인되었다.

3) 鑄型의 種類에 따라鑄造組織이 變化하는 것으로 85 Cu-10 Sn-5 Pb合金에 있어서 CO₂砂型은 완전한 等軸晶과 후란砂型은 대부분 柱狀晶으로 成長하며, 生

砂型, 殼型 및 金型은 통상의 組織인 柱狀晶과 等軸晶으로 成長하였다.

4) 鑄塊의 位置에 따른 Pb 및 Sn組成의 變動은 逆偏析 또는 重力偏析의 경향을 보이며 또한 Sn과 Pb의 분포경향은 일치하였다.

5) 鑄込溫度가 낮고 冷却速度가 빠른鑄型인 金型 등에서 높은 硬度값을 갖게 되며 또한 柱狀晶에서, 보다 높은 硬度값이 얻어졌다.

後 記

本 研究는 產學協同財團의 1985年度 學術研究費支援에 의해서 이루어 졌으며 研究費支援에 감사드리며 또한 matching fund를 부담하고 研究進行에 있어서 많은사편의를 제공한 동우금속공업사에 대하여 감사를 드립니다.

參 考 文 獻

1. 韓國工業規格 KS D 6011 (1978)
2. 椛山, 福迫: 鑄物, 37, 9, (1965), 882, 884
3. American Foundrymen's Society: Casting Copper Base Alloys, (1984), 130
4. 日本銅合金鑄造會: 研究調查報告, 49, 7
5. 椛山, 梅田, 見玉: 鑄物, 46, 2, (1974), 116
6. G.S. Cole: Canadian Met. Quart, 8, (1969)
7. A. Ohno: The Solidification of Metals, (1976), 72
8. 崔昌鈺, 李啓完: 구조, 5, 1, (1985), 36
9. 大野, 南, 金谷: 日本鑄物協會 第98回 講演회 개요집, (1980), 61
10. A. Ohno: T. Moteg: AFS Cast Metals Research Journal, 6, (1945), 45
11. 椛山, 梅田, 竹內, 加藤: 鑄物, 46, 9, (1974), 820
12. 梅田, 竹內, 椛山: 鑄物, 49, 6, (1977), 345
13. 野田, 大谷, 塚田: 鑄物, 32, 12, (1960), 863
14. 日本銅合金鑄造會: 鉛青銅鑄物の 製造作業標準化에 관한 研究, 39.
15. 河野幸男: Jact News, 3378, (1972)
16. 福迫達一: 綜合鑄物, 12, (1972), 51
17. 福迫達一: Jact News, 2253 (1976)
18. A. Couture, J.O. Edwards: Cast Metals Research Journal, 10, 1, (1974), 115