

一方向 凝固시킨 Al-Fe-Ni, Al-Fe-B 合金의 機械的 性質 및 組織

金 麗 源* · 辛 玟 教**

The Structure and Mechanical Properties of Unidirectionally
Solidified Al-Fe-Ni, Al-Fe-B Alloy.

Y. W. Kim, M. K. Shin

Abstract

The microstructure and mechanical properties of unidirectionally solidified Al-Fe-Ni and Al-Fe-B alloys have been studied in varying the some conditions.

To investigate the change of microstructure and mechanical properties was carried out by the varying the composition and solidification rate from 1.2 to 80mm/min at temperature gradient 60°C/cm.

The results obtained are as follow;

1. In proportion to the increase of the solidification rate, the type of crystallized phase of these composite alloys was changed by added element.
 - a) The crystallized phase of composite alloy in added nickel was changed from the rod-type fiber to platetype fiber.
 - b) The crystallized phase of composite alloy in added boron was changed from the plate-type fiber to rod-type fiber.
2. The strength was rapidly increased with the changing process of crystallized fiber from the plate-type fiber to the rod-type.

I. 緒 論

1962년 R. W Kraft¹⁾는 Al-CuAl₂의 共晶造成의 合金을 一方向 凝固시킨으로서, 非等方性 二重組織을 얻고 그 物理的·機械的 性質을 評定하였다.

1965年 Lemky²⁾ 等에 의해서 Al-Al₃Ni系 複合材는 比強度가 높고 相들 사이의 結合력이 크

며 高溫安定性이 있고 彈性率, 靱性, 耐衝擊性 등의 靱性 性質들이 우수하다고 評價되고 있다.

現在까지의 研究結果³⁻⁴⁾에 依하면 共晶造成合金을 一方向 凝固시킨으로서, 層狀複合組織은 凝固界面에서 液相內의 溫度勾配(G)가 크고, 凝固速度(R)가 작을 때 쉽게 形成된다고 한다. 또한 共晶合金을 一方向凝固시킨 複合材料는 固體-液體 凝固界面이 比較的 平滑한 狀態에서, 凝

* 正會員, 釜山開放大學

** 正會員, 韓國海洋大學

固製造되기 때문에 Fiber와 Matrix間的 界面이 安全하고, 凝固條件에 따라 Fiber가 一方向으로 配列되는 利點이 있으나, 反面 人工複合材와 같 이 Fiber와 Matrix를 自由로이 組合할 수 없고, 아직까지 몇몇 元素에만 적용하고 있는 實情이 라서 實用化段階에는 이르지 못하고 있다. 그리고 一方向凝固시킬 경우 凝固速度를 變化시킴으 로서 晶出成長되는 Fiber의 크기, Fiber의 간격 및 Fiber의 形狀 등 즉 凝固組織에 큰 影響을 미 친다는 Kelly와 Nicholson의 報告가 있다. 그러나 相의 크기와 간격에 대하여는 여러 文獻에 報告되어 있으나 正確한 Fiber의 형상에 對하여 는 잘 눈에 띄이지가 않는다.

本 研究에서는, 一方向凝固시켰을 때의 冷却 速度에 따른 Fiber의 形狀을 主로 走査式 電子顯 微鏡으로 觀察하기 爲하여 Bridgmann type로 一方向凝固시켜 製造한 Al-Fe-Ni 共晶造成合金과 Al-Fe-B 合金에 對하여 溫度勾配(G)와 凝固 速度(R)의 比 즉 G/R의 變化에 따른 複合材의 Fiber상의 간격 및 形狀과 이에 따른 引張試驗, 硬度試驗 및 충격시험을 하여 機械的 性質을 中 心으로 檢討하였다.

II. 實驗方法

II.1 一方向凝固用試料의 製造

一方向凝固用試料合金은 純度 99.9%의 Al과 電解鐵 및 99.9%의 Ni과 Fe-B을 Ar gas 분위기 로 維持된 電氣爐內에서 高純度 Alumina 도가니 爐를 使用하여, 1000°C에서 Al을 먼저 溶解시킨 後에 所定の 電解鐵과 Ni 및 硼素를 上記와 같 은 方法으로 熔融시켰다.

Table 1. Chemical composition of alloys wt % nominal

Alloy	Element				Sign
	Fe	Ni	B	Al	
A-1	2.5	1.0		Bal	○
A-2	2.5	1.5		Bal	□
A-3	2.5	2.5		Bal	●
B-1	2.5		0.1	Bal	△
B-2	2.5		0.5	Bal	■
B-3	2.5		1.0	Bal	▲

熔湯은 偏析를 防止하기 爲하여 充分히 교반 하였다. 이때 特히 熔湯의 酸化를 防止하기 위 하여 酸化防止劑를 表面에 덮고, 더욱 多量의 Ar gas를 流入시켰다. 그리고 400°C 정도로 豫 熱시킨 8φ×240Lmm의 高純度 Alumina tube에 鑄入하여, 一方向凝固試料를 製造하였다.

또한 凝固條件에 따른 相變化를 觀察하기 위 하여 Ni系와 B系 合金의 添加量을 3가지로 變化 시켜 各 組成에 의한 機械的 性質의 變化와 6~ 8 區分으로 凝固速度를 區分하여 試料를 準備하 였다.

이들 合金의 組成值를 Table 1에 나타내었다.

II.2 實驗裝置

Fig.1은 本 實驗에 使用된 方向性 凝固裝置의 斷面圖이며, Photo.1에 裝置設備를 나타내었다. 이 實驗裝置는 加熱部, 冷却部, 驅動部의 3部分 으로 나누어진다.

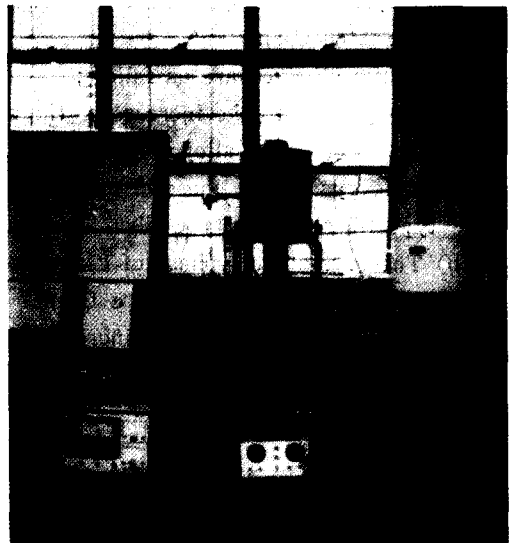


Photo. Experimental apparatus for unidirectional solidification

加熱部는 분위기 gas를 流入할 수 있는 Tube-furnace와 支持된 試料를 上昇 下降시킬 수 있는 軸으로 構成되어 있고, Tube-furnace 下端에는 冷却水管이 裝置되어 있다. 冷却部는 冷却水를 一定速度로 供給하는 自動 Pump를 設置하여 試

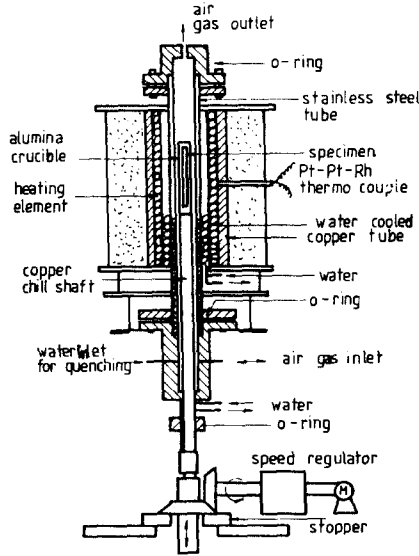


Fig. 1. Diagram of apparatus for unidirectional solidification

料의 溫度勾配 (G)를 $60^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 로 維持하도록 Tube-furnace 下端의 冷却水管에 連結되어 있다. 驅動部는 무단변속 Motor로 베벨기어를 驅動시킴으로서 試料를 所定의 凝固速度 R로 調節할 수 있게 되어 있다. 즉 爐內溫度가 1000°C 일 때 凝固界面에서의 溫度勾配 G를 $60^{\circ}\text{C}/\text{cm}$ 가 되도록 自動溫度調節器에 의하여 調節되도록 裝置되어 있다. 또한 組成이 다른 各 試料를 6個씩 方向性 凝固裝置의 軸으로 支持시켜, Tube-furnace에 裝入시키고 Ar gas를 $1\text{l}/\text{min}$ 의 速度로 流入시키면서, 1000°C 로 90分간 충분히 熔融시킨 후 무단변속기를 驅動시켜 試料를 $1.5\sim 80\text{mm}/\text{min}$ 의 速度로 下降시키면서 200mm 정도로 一方向凝固가 完了되도록 하였다.

II.3 機械的性質 測定 및 凝固組織觀察

一方向凝固시킨 試料를 $6\phi \times 25\text{Lmm}$ 의 引張試驗片으로 Fig.2와 같이 선발加工한 後 引張試驗機 (SIMAZU 25 Ton)에서 Cross head speed를 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 로 引張強度, 降伏強度 및 延伸率을 測定하였고, 靱性(Toughness)測定은 上記 引張試驗機에 附着되어 있는 積分器에 의하여 靱性值를 測定하였으며, 硬度試驗은 $6\phi \times 7\text{Lmm}$ 의

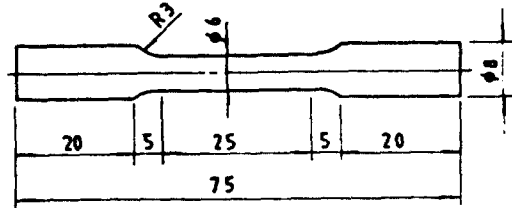


Fig. 2. Dimension of tensile test pieces

試驗片으로 製作하여 Micro vickers 硬度試驗機 (전동식 Vickers 硬度機)를 使用하여, 荷重 5kg을 加하여 試驗하였다. 凝固組織의 觀察은 一方向凝固시킨 各 試料의 中央部分에서 $8\phi \times 7\text{Lmm}$ 로 절단 후 表面研磨하여 鹽酸水溶液 (1+1)으로 最大 40초까지 腐蝕시킨 후 走査式 電子顯微鏡(JEOL, JSM-35CF, 25KV)에 의하여 凝固速度에 따른 組織을 觀察하였다.

III. 實驗結果

III.1 機械的 性質

Fig. 3, Fig. 4는 Table 1에 表示한 6個의 試料를 凝固速度 $R=1.5\sim 80\text{mm}/\text{min}$ 의 範圍에서 各 各 7~8等分으로 變化시켜 一方向凝固하여 製作한 複合材들의 引張強度 및 0.2% 耐力을 나타낸 것이다.

여기에서 Ni와 B의 添加量이 많을수록 引張強度와 耐力이 모두 增加되는 것을 알 수 있다.

A試料에서는 凝固速度 $R=1.5\sim 3\text{mm}/\text{min}$ 範圍에서는 R의 값이 增加함에 따라 強度와 耐力은 徐徐히 增加하다가 $R=25\text{mm}/\text{min}$ 附近에서 最大值를 나타내었다. 그리고 $R=5\sim 25\text{mm}/\text{min}$ 範圍에서는 引張強度는 徐徐히 減少하며, $R=25\text{mm}/\text{min}$ 以上에서는 引張強度는 거의 變하지 않으나 耐力은 $R=45\text{mm}/\text{min}$ 以上の 範圍에서는 20% 정도 減少함을 알 수 있다. B試料에서는 凝固速度 $R=1.5\sim 10\text{mm}/\text{min}$ 範圍의 경우 R의 값이 增加함에도 불구하고, 引張強度와 耐力은 그다지 增加하지 않으나 $R=40\sim 43\text{mm}/\text{min}$ 範圍에서는 R이 커짐에 따라 增加速度가 $R=60\sim 80\text{mm}/\text{min}$ 範圍에서 最高值를 나타내었

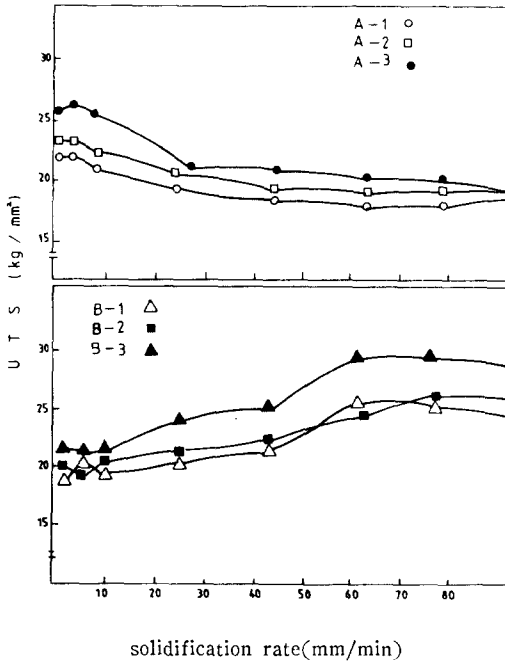


Fig. 3. Tensile strength of Al-Fe-Ni(B) alloys related to solidification rate(R)

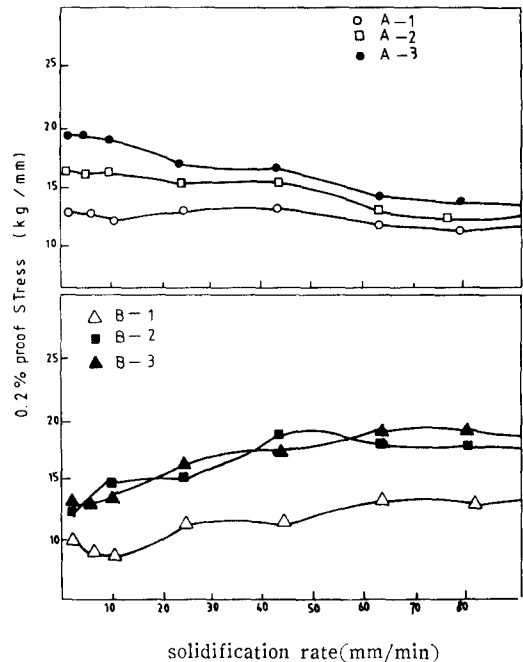


Fig. 4. Yield strength of Al-Fe-Ni(B) alloys related to solidification rate(R)

다. 以上の結果를 要約하여 보면 Ni을 含有한 合金은 凝固速度가 적을수록 引張強度 및 耐力이 增加하나 B를 含有한 合金은 凝固速度가 클수록 引張強度 및 耐力이 크게 增加하는 相反된 現象을 觀察할 수 있다.

Fig. 5는 各 試料의 硬度值를 나타낸 것이다. A試料의 경우 R≒1.5~10mm/min의 範圍에서는 R값이 增加함에 따라 硬度值가 약간씩 增加하다가 R≒10mm/min 附近에서 最大値를 나타내었다. 그리고 R≒10mm/min 以上에서는 R의 값이 增加함에 따라 硬度值가 徐徐히 直線狀으로 減少하였다. 또한 B試料에서는 B-1, 2, 3가 다 같이 硬度值가 R값에 따라 거의 變化가 없었음을 알 수가 있다. 그러나 R의 全範圍에 걸쳐서 B添加量이 많을수록 대체로 硬度值가 낮아지고 있음을 알 수가 있다.

Fig. 6은 各 試料의 延伸率의 變化를 나타낸 것이다. A試料는 R≒1.5~15mm/min의 範圍에서 R값이 增加함에 따라 延伸率이 徐徐히 減少하다가 R≒20~25mm/min의 範圍에서 最小値를 나타내었다.

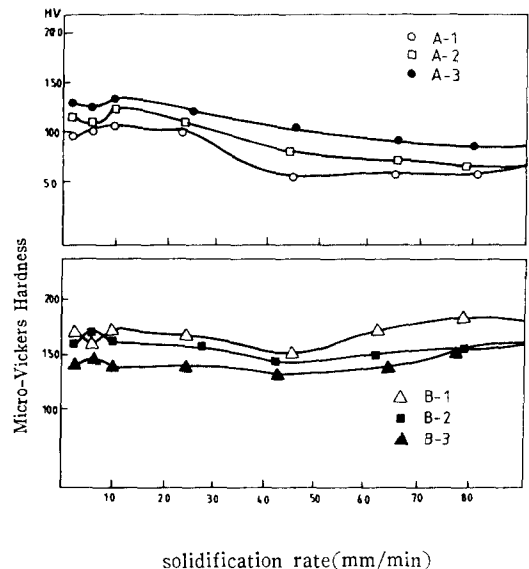


Fig. 5. Micro vickers hardness of Al-Fe-Ni(B) alloys related to solidification rate(R)

또 R≒25mm/min를 넘으면 延伸率이 增加하나 R≒30mm/min 以上이 되면 거의 一定하여진

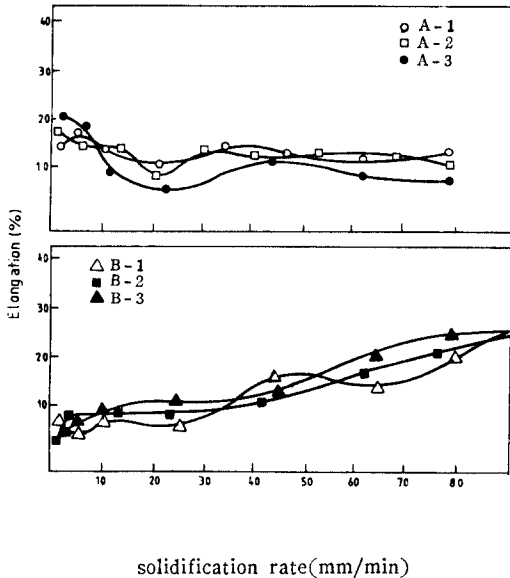


Fig. 6. Elongation of Al-Fe-Ni(B) alloys related to solidification rate(R)

다. 그리고 R의 全範圍에 걸쳐서 Ni 添加量이 많을수록 대체로 硬度値가 낮음을 알 수 있다. B試料는 R의 값이 增加함에 따라 延伸率(%)이 增加하고 있고, R=80mm/min에서 最高値를 나타내고 있다. 즉 B添加量에 따라서 硬度値의 差異는 없으나, B含量이 많아질수록 凝固速度가 클수록 延伸率은 一般的으로 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

Fig.7은 各 試料의 韌性値의 變化를 나타낸 것이다. A試料의 경우 R=10mm/min 以下에서는 충격치의 變化가 대체로 減少하고, R=15~30mm/min 範圍에서는 最小値를 나타냈고, R=30mm/min 以上에서는 거의 上昇된 硬度値를 유지하고 있다. 특히 A-3試料의 충격치가 낮게 나타났다. B試料의 경우 대체로 R=1.5~10mm/min 範圍에서 충격치가 增加하지만 R=10~40mm/min 範圍에서는 R값이 增加함에 따라 충격치가 完滿히 減少한다. 그리고 R=40mm/min 附近에서 충격치가 最小로 되고 그 以上의 範圍에서는 R이 增加함에 따라 충격치가 徐徐히 增加하고 있다.

II.2 顯微鏡 組織觀察

Photo. 2는 A-3 試料의 一方凝固組織中에서 凝

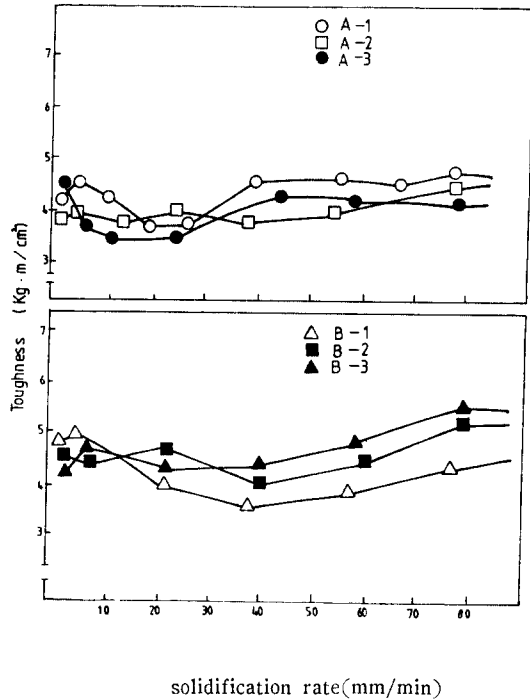


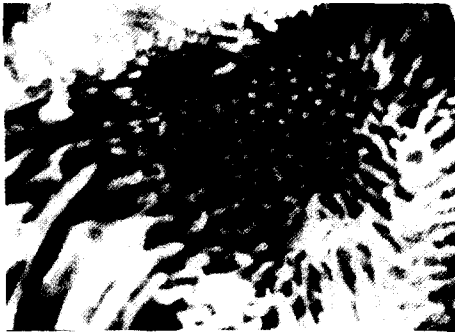
Fig. 7. Toughness of Al-Fe-Ni(B) alloys related to solidification rate(R)

固速度가 各各 다른 4種을 擇하여 組織의 變化過程을 觀察한 것이다.

(a)는 凝固速度 R=3.5mm/min로 一方凝固시킨 組織으로서 一部에 Ribbon狀⁶⁾의 板狀 Fiber를 除外하고, 거의 微細한 球形의 Rod狀의 Fiber가 發達되어 있으며 Cell 境界가 좁은 狀態를 나타내고 있다.

(b)는 凝固速度 R=8.5mm/min로 一方凝固시킨 組織으로. 凝固速度가 增加함에 따라 球形의 Rod狀 Fiber는 줄어들고 板狀인 Ribbon狀 Fiber가 多量 混在된 組織이다.

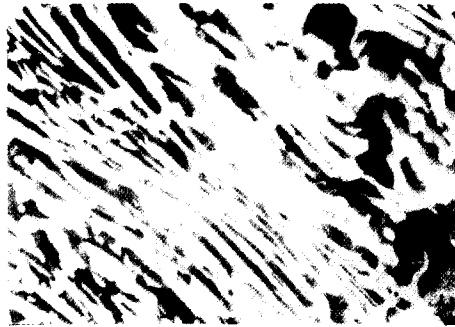
(c)는 R=22mm/min, (D)는 R=45mm/min로 一方凝固시킨 組織이다. 이 組織들은 凝固速度가 높아짐에 따라 (a)는 凝固速度 R=3.5mm/min로 一方凝固시킨 組織으로 A-3試料와는 完全히 다른 Ribbon狀도 아닌 粗大한 柱狀組織이 層狀으로⁷⁾生成되었고 (b)는 凝固速度 R=8.5mm/min로 一方凝固시킨 組織으로 凝固速度가 增加함에 따라 粗大한 柱狀組織이 多角型의 두터운 Ribbon狀으로 不規則하게 密集된 組織



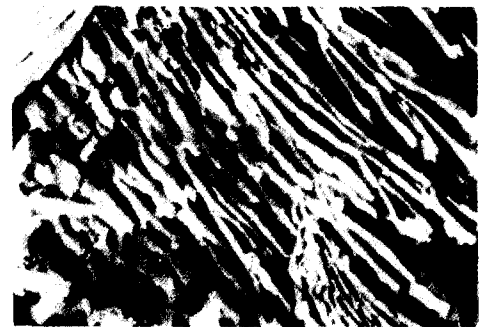
(a) R = 3.5 mm/min.



(b) R = 8.5 mm/min.



(c) R = 28 mm/min.



(d) R = 60 mm/min.

Photo. 2. Scanning electron micrographs of unidirectionally solidified 2.5% Fe-1.5% Ni-Al composite

을 나타내었다. 그리고 (c)는 凝固速度를 더욱 크게 증가시켜 R=28mm/min로 凝固시킨組織으로 (b)에서 나타난 組織은 거의 없어지고, 微細한 球形의 Rod狀 Fiber가 散在한 채로 成長한 組織을 보이고 있다. (D)는 R=60mm/min로 凝固速度를 크게 증가시켜 一方凝固시킨 組織이다. 이 組織은 Matrix에서 Rod狀 Cell間의 境界가 넓어지면서, 組織全體가 完全히 얇은 板狀의 Fiber가 層狀으로 배열되며, Fiber의 成長速度가 크게 줄어 들었음을 觀察할 수 있다.

Ni 含有한 A-3 組成材料의 一方向凝固速度에 따른 組織의 變化를 要約하면 凝固速度가 R=5 mm/min 以内에서는 球形의 Fiber가 生成되며 R≅6~8mm/min 以上 增加될수록 球形의 Rod-type fiber는 存在하지 않고 점차 板狀의 Fiber가 層狀으로 배열된 組織으로 變한다. Photo. 3 은 B-3 試料의 一方向凝固組織 中에서 凝固速度가 各各 다른 4種을 擇하여 組織의 變化過程을 觀察한 것이다.

微細한 纖維狀의 Fiber가 密集된 組織으로 A-

3 材料에서 凝固速度 R=3.5mm/min와 유사한 Fiber狀을 볼 수 있다.

要約하면 Ni과 B를 添加한 複合材는 凝固速度 R에 따라 生成되는 Fiber狀이 전혀 다른 양상을 띄고 있음을 알 수가 있다. 機械的 性質의 變化도 이렇게 各各 다른 形狀의 Fiber의 晶出에 의한 것이 아닌가 생각된다.

또한 Table 2는 B-3 合金에서 凝固速度(R)에 따른 Fiber 相間 間격(λ)와 引張強度와의 相互關係를 나타낸 것으로 Photo. 4의 結果를 綜合하여 나타낸 것이다. 즉 Rod-type의 fiber가 形成되기 始作하는 凝固速度 R=40mm/min에서 凝固速度(R)을 各各 50mm/min로 增加시키에 따라 生成된 fiber의 相間間격(λ)의 變化와 引張強度의 變化를 살펴 보았다. 여기서 凝固速度(R)가 增加함에 따라 生成된 Fiber의 直徑의 變化는 거의 볼 수 없으나 Fiber 相間 間격(λ)은 점차 좁아졌으며 引張強度 역시 比例的으로 增加하였음을 觀察할 수 있었다. 그리고 相間間격(λ)와 凝固速度(R)와의 關係를 規定하는 式 $\lambda^2 R = \text{定數}$



(a) R = 3.5mm/min.



(b) R = 8.5mm/min.



(c) R = 22mm/min.



(d) R = 45mm/min.

Photo. 3. Scanning electron micrographs of unidirectionally solidified 2.5% Fe-1.0% B-Al composite

에서 λ^2R 의 平均값은 本 材料에서 $3.43 \times 10^{-7} \text{ mm}^3/\text{min}$ 임을 알 수 있다.

VI. 考 察

IV.1 機械的 性質의 變化

Fleming, Davis 等の 組成的 過冷說에 依하면 溫度勾配(G)와 凝固速度的 比 G/R 에서 R가

增加함에 따라 晶出相의 形狀이 粗大한 層狀複合組織에서 微細한 Cell組織의 Composite組織이 生成되며, 또한 複合材의 強度는 Matrix의 強度와 Fiber의 間隔 및 Fiber의 形狀에 影響을 받는다고 報告되어 있다.

Photo.2와 Fig.3에서 보는 바와 같이 A-3合金은 $R=3\sim 5\text{mm}/\text{min}$ 의 範圍에서는 Rod狀의 Fiber가 規則的으로 發達되어 있으므로 強度는

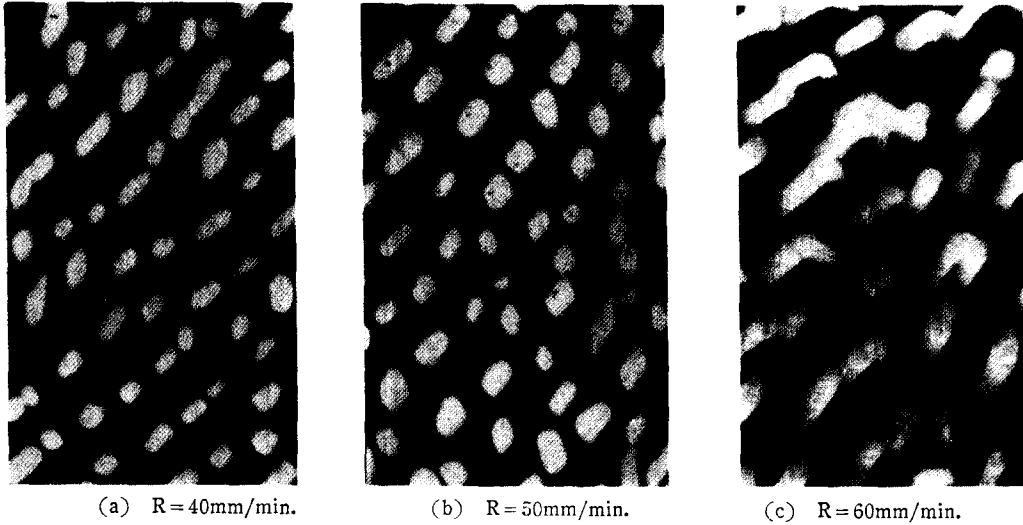


Photo.4. Interfiber spacing of B-3 alloy related to solidification rate(R)

Table 2. Solidification rate(R) vs interfiber spacing and tensile strength for B-3 alloy.

R(mm/min)	λ (mm)	λ^2R	U. T. S(kg/mm ²)
40	9.2×10^{-3}	3.4×10^{-7}	24.6
50	8.4×10^{-3}	3.5×10^{-7}	27.0
60	7.5×10^{-3}	3.4×10^{-7}	29.2

매우 높게 된다. 그러나 凝固速度 R이 5mm/min 以上이 되면 Rod狀의 一部分이 板狀의 Fiber로 되며 凝固速度 R를 더욱 증가시키면 微細한 板狀의 Fiber가 層狀으로 成長한 組織을 形成케 되므로 強度는 점차 完滿하게 弱화한다.

本 實驗에서 同一한 Fe(%)를 가지는 合金에서 Ni의 含量이 增加할수록 最高強度를 가지는 凝固速度의 값은 작은 쪽으로 移動한다는 Fleming 등이 報告한 事實과 一致한다고 하겠다.

Photo.3과 Fig.3에서 보는 바와 같이 B-3合金은 凝固速度 R이 1.5mm/min~10mm/min의 範圍에서는 粗大한 柱狀 및 板狀의 Fiber群을 形成케 되므로 強度, 硬度 및 延伸率에 상당히 낮은 값을 나타낸다. 그러나 R=20mm/min 以上 增加하면 機械的 性質이 계속 增加하기 始作하는데 이것은 粗大한 板狀組織이 消滅되고 새로운 Rod-type fiber가 生成되기 때문이라 생각된다. 그리고 R=60mm/min에서는 板狀 Fiber는 完全 消滅되었고 規則的인 配列을 한 Rod-fiber群의 出現으로 強度, 硬度, 延伸率 등이 우수한 값을

나타낸다고 생각된다.

Table 2는 凝固速度가 增加함에 따라 Fiber 相間 間격의 變化가 材料의 機械的 性質에 直接的인 影響을 미치는 因子로 생각할 수 있다. 우선 Hall-petch式을 適用하면, Fiber間의 間격과 強度와의 關係를 추정할 수 있다.

$$\sigma = \sigma_0 + K\lambda^{\frac{1}{2}}$$

여기서 σ : 引張 혹은 壓縮強度

σ_0 : 材料의 屈服應力

K: 常數

λ : Fiber간의 間격

이다.

Fiber間의 間격과 凝固速度는 Zener⁷⁾와 Tiller⁸⁾ 등에 의해서 구체화 되었으며, Zener는 Fiber間의 間격과 凝固速度와의 關係를 共晶組成에서 凝固될 때 共晶溫度 T_e 와 凝固가 시작되는 溫度 T_0 의 差인 過冷度 ΔT 로 表現하였다.

$$\Delta T = K_1 R \lambda + K_2 / \lambda$$

Tiller는 이 式을 利用하여 一定한 凝固速度 R에 對해 ΔT 를 最小化하기 위한 條件을 제시하

였다.

즉, $d\Delta T/d\lambda = 0$

그래서 $\lambda^2 R = \text{정수}$ 가 된다.

結局 一方凝固시킨 複合材料의 強化는 Kelley⁵⁾에 의해 그 理論이 제안되었듯이, 機械的 性質은 基地, 晶出 Fiber의 體積率 및 晶出 Fiber의 두께 및 길이 등에 의하여 크게 影響을 받는다. 本 實驗에서는 特히 Fiber의 形狀 및 그 體積率 이 큰 影響을 미친다고 생각된다.

IV, 2 生成된 Fiber의 強度計算

B-3合金에서 凝固速度 $R \approx 60 \text{mm/min}$ 인 複合材料를 擇하여 여기에서 生成된 Rod狀 Fiber의 縱彈性係數 및 應力을 求하기 爲하여 人工으로 보강시킨 複合材料에 대한 彈性係數와 應力^{5), 6)}을 混合法則에 의하여 計算하여, 一方 凝固시킨 Fiber와 人工複合材料 fiber의 強度를 比較하여 보았다.

$$E_c = \alpha E_f V_f + E_m V_m = \alpha E_f (1 - V_m) + E_m V_m \quad \text{①}$$

$$\sigma_c = \beta \sigma_f V_f + \sigma_m V_m = \beta \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad \text{②}$$

여기서

E_f, E_m : fiber 및 Matrix의 縱彈性係數

E_c, σ_c : 複合材料의 縱彈性係數 및 破壞應力

V_c, V_m : fiber 및 Matrix의 體積率

σ_f : fiber의 破壞應力

σ_m : fiber의 破壞變形率에 대한 Matrix의 應力

α, β : fiber形態에 의하여 결정되는 定數

一方向強化의 경우 1.0

2直交方向의 경우 0.5

fiber의 方向이 自由인 경우 3/8

여기서 B-3合金의 측정치는 각각

$$\sigma_c = 29 \text{kg/mm}^2$$

$$E_c = 7,900 \text{kg/mm}^2$$

$$V_f = (1 - V_m) = 0.083$$

$$E_m = 7,500 \text{kg/mm}^2$$

$$\sigma_m = 4.8 \text{kg/mm}^2$$

이므로,

$$E_f = 12,300 \text{kg/mm}^2$$

$$\sigma_f = 280 \text{kg/mm}^2$$

이 計算値는 NiAl_3 fiber의 縱彈性係數 E_{NiAl_3}

$\approx 14,000 \text{kg/mm}^2$,¹⁰⁾ $\sigma_{\text{NiAl}_3} \approx 300$ ^{22, 10)}에는 모자라는 값이지만 이는 熔解 및 一方向 凝固時에서 熔解條件 및 凝固條件의 相異에 기인한 것이라고 생각된다.

V. 結 論

純度 99.9%의 Al에 微量의 電解鐵과 Ni 및 B를 添加한 Al-Fe-Ni合金과 Al-Fe-B合金을 溫度勾配 60°C/cm , 凝固速度 $R = .5 \sim 80 \text{mm/min}$ 로 一方凝固시킨 後 凝固速度別로 引張試驗, 硬度試驗, 靱性試驗 및 組織檢査를 하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 凝固速度가 增加하므로서 複合材料의 晶出相의 形狀은 添加元素에 따라 變한다.

i) Ni 添加 複合材의 晶出相은 Rod狀 Fiber에서 板狀 fiber로 된다.

ii) B 添加 複合材의 晶出相은 板狀 Fiber에서 Rod狀 Fiber로 된다.

2) Rod狀 Fiber로 구성된 複合材의 機械的 性質은 板狀 Fiber로 구성된 複合材보다 우수하다.

3) Rod狀 Fiber의 縱彈性係數(E)와 應力(τ)는 대체로 混合法則과 一致한다.

參 考 文 獻

1. R. W. Kraft et al: "Crystallographic Substructure of Lammeller Al-CuAl₂ Eutectic" Trans. Met. Soc. AIME, 224(1962), 1176.
2. F. D. Lemkey et al: "The Microstructure, Crystallography and Mechanical Behavior of Unidirectionally Solidified Al: Al₃ Ni Eutectic" Trans. Met. Soc. AIME 233(1965), 334.
3. 趙顯麒·洪俊杓: "Al-Ni-Mn系 合金의 凝固組織과 機械的 性質", 大韓金屬學會(1979).
4. 中谷義三 et al: 一方向凝固 Al-Fe-Ni 共晶合金 機械的 性質.
5. A. Kelly and R. B. Nicholson: Strengthening Methods in Crystals(1971), 505.
6. 李學用·洪俊杓·趙顯麒: Al-Fe-Mn 3元系合金의 一方向凝固組織과 機械的性質. 大韓金屬

- 學會 Vol. 19. No5(1981), 394.
7. C. Zener: "Kinetics of the Decomposition of Austenite" Trans, AIME, 167(1947), 550.
8. W. A. Tiller: "Polyphase Solidification", ASM, (1958), 276.
9. 藤井太一: 複合材料 力學. 材料 Vol. 25 No. 269(1976), p. 201.
10. B. Cantor, G. A. Chadwick: J. Material Science Vol. 10(1975), p. 578.

科學技術人の 信條

우리 科學技術人は 科學技術의 暢達과 振興을 通하여 國家發展과 人類福祉 社會가 이룩될 수 있음을 確信하고 다음과 같이 다짐한다.

- 一. 우리는 創造의 精神으로 眞理를 探求하고 技術을 革新함으로써 國家 發展에 積極 寄與한다.
- 一. 우리는 奉仕하는 姿勢로 科學技術 振興의 風土를 造成함으로써 온 國民의 科學的 精神을 振作한다.
- 一. 우리는 높은 理想을 指向하여 自我를 確立하고 相互 協力함으로써 우리의 社會的 地位와 權益을 伸張한다.
- 一. 우리는 人間의 尊嚴性이 崇尚되고 그 價値가 保障되는 福祉社會의 具現에 獻身한다.
- 一. 우리는 科學技術을 善用함으로써 人類의 繁榮과 世界의 平和에 貢獻 한다.