

# Al-Zn 共晶合金의 一方向性凝固에 의한 Cellular Structure

申明澈\* · 洪鍾徽\*\* · 孟琓在\*\*\*

## The Cellular Structure of Unidirectionally Solidified Al-Zn Eutectic Alloy

Myung Chul Shin, Jong H. Hong and Sun-Chae Maeng

(Received at Nov. 16, 1973)

### Abstract

In this work the stage of cell development and the cell morphology in the Al-Zn eutectic have been studied by solidifying the alloy unidirectionally. Cells are shown to develop preferentially from grain boundaries, growth induced boundaries and fault lines. In the Al-Zn eutectic alloy, well developed regular cell shape as in solid solution has not been found, but its typical shape is rhombic. Besides, chrysanthemum-like shape and some other shape, which seems likely deformed from any hexagonal form irregularly, has been found. At high impurity concentration, 0.52% of Cd, cellular dendrite has been produced.

### 抄 錄

이 研究에서는 一方向으로 凝固시킨 Al-Zn 共晶合金의 cell 形成過程과 cell morphology 를 調査하였다. Cell 은 grain boundary 와 growth induced boundary 및 fault line 등에서 부터 優先적으로 形成되기 시작했다. Cell 의 模樣은 固溶體合金에서처럼 規則적인 形은 아니었으나 代表的인 形으로 마름모 形이 나타났고 菊花狀形 및 hexagonal cell 이 不規則하게 變形된것 같은 形態도 나타났다. 不純物로서 Cd 의 濃도를 0.52%로 增加했을때는 cellular dendrite 가 形成되었다.

### 1. 序 論

共晶合金에서의 cell 形成過程은 一方向性凝固(unidirectional solidification)方法을 이용하여 成長速度(凝固速度), 溫度勾配 및 不純物濃도를 달리한 여러 條件下에서 많이 研究된 바 있다.<sup>1-4)</sup> 특히 Gruzleski 와 Winegard<sup>1)</sup>는 Sn-Cd 共晶合金에 對해서 cell 形成過程과 cell morphology 에 관하여 상세히 研究報告하였다. 그들에 依하면 grain boundary, fault line 및 凝固에 使用된 容器的 一部分등은 cell 形成에 重要な 역할을 하며 不純物の 濃도가 높은 곳에서는 eutectic dendrite 가 形成된다고 하였다.

그러나 오늘날까지 Al-Zn 共晶合金에서는 cell 形成過

程 및 cell morphology 에 對한 研究가 아직 되어있지 않다. 따라서 本 研究에서는 Al-Zn 共晶合金에 不純物로서 Cd 을 添加하여 凝固速度와 固相前面인 液相에서의 溫度勾配 및 Cd 의 濃度變化에 따른 cell 形成過程과 cell morphology 를 研究하였고 Gruzleski 와 Winegard<sup>1)</sup>의 Sn-Cd 共晶合金에 對한 結果와 比較檢討하였다.

### 2. 實驗方法

本 研究에서는 純度 99.999%인 Al 과 Zn 金屬을 사용하였고 核生成을 促進시키기 위해 不純物添加元素로 純度 99.999%인 Cd 을 사용하였다. 試料은 먼저 精確한 共晶成分(Zn-5wt % Al)이 되도록 秤量하여 도가니爐에서 용해시켜 直徑 30mm 의 棒狀 ingot 로 만들었고 이것을 다시 용해하여 Cd 을 添加하지 않은 것과 여기에 Cd 을 각각 0.115wt%, 0.23wt% 및 0.52wt% 添加한 6mm×6mm×200mm 크기의 合金을 만들었다.

\* 高麗大學校 大學院(韓國科學技術研究所 材料試驗室)

\*\* 高麗大學校 金屬工學科 教授

\*\*\* 韓國科學技術研究所 材料試驗室長

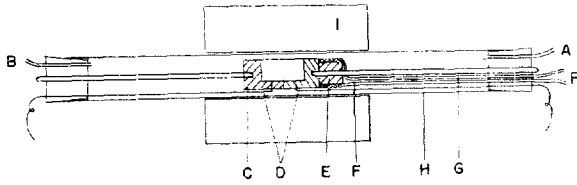


Fig. 1. Schematic diagram of solidification apparatus.

- A: gas inlet, F: cooling coil,
- B: gas outlet, G: rod holding the boat,
- C: graphite mold, H: stainless steel tube,
- D: thermocouples, I: furnace.
- E: copper block,

一方向性凝固에 使用한 爐는 Fig. 1과 같으며 水平方向凝固方式을 擇하였다. 이 裝置에 使用한 boat(C)는 直徑 30mm의 高純度電極用 黑鉛棒을 利用하여 中心部에 斷面 7mm×7mm의 홈을 깊게 파고 두 部分으로 被었다 붙였다 할 수 있도록 만들었다. 이때 boat의 兩部分을 接合시켰을 때 홈의 깊이는 100mm 이었다. Boat의 한쪽 끝이는 熱傳導度가 좋은 copper block(E)을 붙여 cooling coil(F), 즉 copper tube로 감아 冷却水에 의해서 boat에 溫度勾配를 줄 수 있도록 하였다. boat의 양쪽 밑면에 상호 간격 20mm 되도록 구멍을 뚫어 #30의 alumel-chromel thermocouple을 各各 설치하였는데 融液과의 接연을 위해 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>와 CaO 분말을 3:1의 比率로 붙여 蓋어 발랐다. 이와 같이 설치한 thermocouple은 strip chart recorder에 連絡하여 두 點사이의 溫度勾配를 millivolt meter로 正確히 읽을 수 있도록 하였다.

試料는 길이 100mm 되도록 切斷하여 黑鉛 boat에 넣었고 stainless steel tube 속에서 용해하여 一方向性凝固를 시켰으며 이때 雰圍氣調節을 爲해 高純度의 질소가스를 흘려주었다. 溫度勾配의 變化는 boat의 位置를 變化시켜 얻었고 凝固速度의 變化는 冷却水의 量을 調節하여 얻었다. 이 裝置에 依하여 調節可能한 凝固速度는 1.0×10<sup>-3</sup>~7.5×10<sup>-4</sup>cm/sec 이었고 溫度勾配는 9~38°C/cm 의 범위이었다. 한편 液相의 溫度勾配 G는 固液界面이 한쪽 thermocouple 근처에 進展해 왔을때 두 thermocouple의 溫度를 同時에 기록하여 측정하였다. 凝固速度 R은 固相이 앞쪽 thermocouple 근처에 왔을때 boat에 진동을 주어 固液界面에 波狀(ripple)표식을 만들어 주고 所定의 時間이 경과한 다음 앞쪽 boat(凝固가 進行된 boat)를 急히 꺼내어 찬물에 急冷시켜 진동에 依하여 만들어진 波狀표식부와 最後의 凝固面사이의 距離에서 測定하였다.

이와 같은 方法에 依하여 一方向性凝固를 시킨 試料

의 固液界面組織은 最後 凝固面을 約 1mm 정도 넘다한 다음 C:O<sub>3</sub> 5g+Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0.4g+H<sub>2</sub>O 100cc의 부식액으로 부식시켜 金屬顯微鏡으로 觀察하였다. 따라서 다르히 言及하지 않는 限 界面組織은 凝固方向에 수직한 面을 觀察한 것이다.

### 3. 結果 및 考察

#### 3.1. 共晶組織의 缺陷

Al-Zn 共晶合金을 G/R 값이 3.4×10<sup>3</sup>deg C/cm<sup>2</sup>/sec이 상인 범위에서 凝固시켰을 경우와 Cd 0.115%를 添加시킨 共晶合金을 G/R 값, 2×10<sup>4</sup>deg C/cm<sup>2</sup>/sec 이상인 條件下에서 凝固시켰을 경우에 特有의 lamellar structure가 나타났다. 一般적으로 一方向으로 凝固시킨 共晶組織은 Sn-Cd 共晶合金때와 같이 여러가지 缺陷을 同伴한다. Al-Zn 共晶合金에서의 缺陷에 대한 實驗結果는 다음과 같다.

3.1.1. Lamellar fault와 fault line: Fig. 2는 本實驗에서 얻은 Al-Zn 共晶合金의 lamellar fault(작은 화살표 위치)와 fault line(큰 화살표)을 나타낸다.

共晶合金의 lamellar fault와 fault line의 形成問題에 關해서는 지금까지 많이 研究되어 왔으며 特히 Kraft와 Albright<sup>10)</sup>에 依해 자세히 檢討된 바 있다. 그들에 의하면 lamellar fault는 主로 共晶組織의 層狀(lamella)이 어긋난(mismatch) 위치에서 생기게 된다고 하였다. 즉 이 위치에서 餘分으로 하나의 相이 層狀으로 核生成하여 成長하기 시작하면 그에 對應되는 相의 層도 自動적으로 形成되어 lamellar fault를 이룬다고 說明하고 있다.

한편 fault line의 移動形態에 關해서는 Gruzieski와

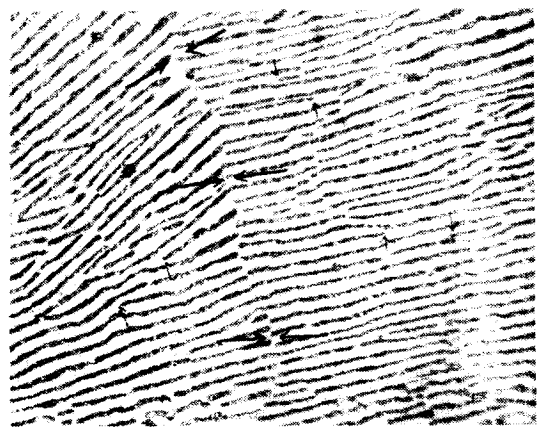


Fig. 2. Lamellar faults (marked by small arrows) and fault line (marked by large arrow). 0.115wt % Cd, G/R=2×10<sup>5</sup>deg C/cm<sup>2</sup>/sec. transverse section. ×490.

Winegard<sup>12)</sup>에 의한 研究結果가 報告된바 있다. 그들에 의하면 凝固가 進行할 때 fault line은 固液界面을 따라 移動하여 다음과 같은 세가지 形態로 移動된다고 한다. 즉 (1) fault line의 lamellar 面에 平行方向으로의 移動과 (2) lamellar 面에 수직방향으로의 移動 및 (3) 凝固가 進行할 때 lamella 數의 증감을 야기시키는 fault line의 彎曲, 수축등이다. 이러한 세가지 形態의 이동 결과로써 fault line은 상호작용을 일으켜 一定한 形의 fault line을 이루게 된다.

3.1.2. Grain boundary와 growth induced boundary: Gruzleski와 Winegard<sup>12)</sup>는 grain boundary와 growth induced boundary를 그 生成原因에 따라 區別하고 있다. 즉 grain boundary는 核의 生成과 成長에 依하여 形成된 것을 growth induced boundary는 成長過程에서 形成된 것을, 말했다. 이들 두가지 boundary의 차이는 顯微鏡上으로 넓은 面積을 仔細히 觀察하지 않고 局部的으로 보았을 때는 쉽게 區別되지 않는다.

Fig. 3은 grain boundary(화살표)와 growth induced boundary(點線)을 나타낸 것이다. growth induced boundary는 하나의 커다란 grain 속에 들어있는 또 하나의 grain boundary(subgrain boundary)라고 볼 수 있다. 이들 두 種類의 boundary에서는 lamella가 서로 어긋나져 있어 方位의 變化가 일어났으며 共晶組織의 缺陷들입은 말 할것도 없다.

Gruzleski와 Winegard<sup>12)</sup>는 growth induced boundary는 많은 小形(minor) fault line들이 lamellar 面에 平行으로 移動하여 比較的 安定된 큰 fault line을 이루어 形成되는 것이라고 說明하고 있다. 즉 이 fault line의 兩側에서 lamella들은 比較的 큰 方位差를 이루게 된다. 그들의 提案과 같이 小形 fault line이 반드시 la-

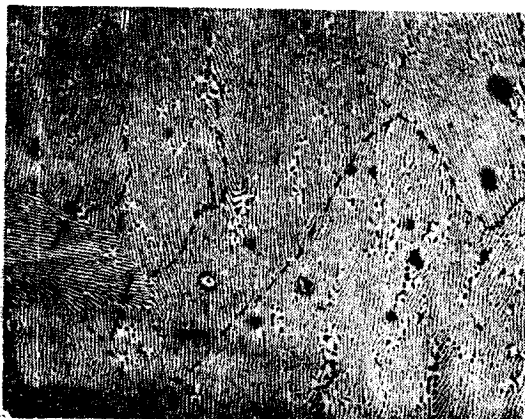


Fig. 3 Grain boundary (arrow mark) and growth induced boundary (dotted line). 0.115% Cd, G/R=2×10<sup>4</sup> deg C/cm<sup>2</sup>/sec, transverse section. ×60.

mellar 面에 平行으로 移動하는가에 對해서는 더 檢討할 餘地가 있다고 보나 grain boundary內 도처에서 많은 적은 fault line에 의해 lamella의 적은 다발들의 方位가 어긋나고 이들 어긋난 다발들이 모여서 커다란 어긋남을 이루어 growth induced boundary를 形成하게 된다는 것은 事實이라고 본다. 이러한 事實은 Fig. 3을 注意해서 觀察하면 確認할 수 있다. Fig 3에 點線으로 表示된 growth induced boundary의 境界는 多少에대한 것 같으나 偏光顯微鏡으로 觀察하면 境界가 明白히 나타나는 것을 볼 수 있었다.

앞서 Fig. 2에서 fault line이라고 表示한 位置는 오히려 growth induced boundary라고 보는 것이 타당할 것이다. 이 boundary를 境界로 아래쪽에서는 lamella의 方位 變化가 別로 없으나 윗쪽에서는 심하게 나타났었다. 이것은 grain內部的 fault 또는 fault line의 分布狀態에 起因하는 것이다.

growth induced boundary가 形成될 때 까지의 fault line의 移動方向 및 그에 必要한 活性化 energy, boundary의 比較的 安定된 位置와 lamella에 對한 方位等에 對해서는 앞으로 더 많은 實驗 및 理論的인 研究檢討가 있어야 할 것이다.

3.2. Cell 形成의 初期段階

添加不純物의 濃도가 一定할 경우, G/R의 값이 낮으면 즉 過冷現象이 일어날 경우 cellular structure가 形成되었다. 成長條件 즉 G/R 값이 一定할 때는 不純物의 濃도가 높을 수록 cell이 용이하게 形成된다. 한편 不純物의 量이 아주 높을 경우(Cd:0.52%)에는 cellular dendrite structure가 形成되었다.

不純物濃도가 比較的 낮을 때(Cd: 0.115%)에는 G/R 값이 적을 경우 grain boundary와 growth induced boundary에서 lamella의 붕괴가 優先적으로 일어나는 것을 볼 수 있었는데 이것은 cell 形成의 初期段階에 해당된다. 이들 cell이 形成되는 初期과정은 더 상세히 檢討하면 다음과 같다.

3.2.1. Lamella의 붕괴: 完全한 cell이 形成되기 以前段階, 즉 cell 形成의 初期現象을 보면 精晶粒界나 growth induced boundary에서 lamella의 붕괴가 일어나고(優先的 粒界붕괴) 다음에 粒界內에서도 붕괴되는 것을 알 수 있었다. Fig. 4는 이와 같은 boundary에서 lamella의 붕괴가 일어난 模樣을 나타내고 있다. 粒界붕괴는 fault line과 같은 substructure에서 形成되는데 앞에 나온 Fig. 3粒內의 fault에서 lamella의 붕괴가 일어나 暗暗裡에 cell의 윤곽을 나타내고 있는 것을 볼 수 있다.

붕괴가 일어나는 原因에 對해서는 많은 사람들이 研究하였다. 특히 Chadwick<sup>23)</sup>는 不純物에 의하여 形成된

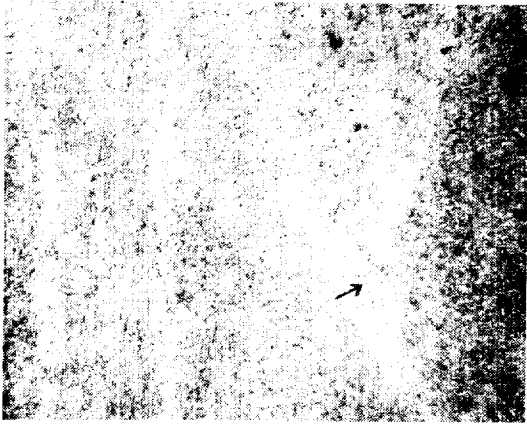


Fig. 4. Broken lamellar at the growth induced boundaries and the formation of nodelike structure (marked) at the junction of boundaries. Impurity is not added.  $G/R=1.3 \times 10^5 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ . transverse section.  $\times 250$ .

다 하였으나 Hunt와 Chilton<sup>2)</sup>은 불순물은 오직 間接的인 영향을 줄뿐 固液界面에서 成長方向의 差에 의하여 形成된다고 하였다. 本實驗에서 觀察한 結果에 依하면 순수한 合金에서도 lamella의 붕괴가 일어났으나 불순물의 增加에 따라 lamella의 붕괴가 크게 나타났다. 따라서 lamella의 붕괴는 불순물에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

3.2.2. Nodelike structure의 形成: Cell形成初期에 나타나는 또 하나의 共晶組織의 缺陷은 nodelike structure이다. 同一한 濃度의 試料에서는 lamella의 붕괴가 일어나는 段階보다  $G/R$ 의 값이 약간 낮을때 나타난다. nodelike structure는 grain boundary나 growth induced boundary들이 交叉하는 點에서부터 發生하는 것이 一般的이다. Fig. 4를 보면 3個의 growth induced boundary가 交叉하는 點에서 nodelike structure가 形成되어 있는 것을 알 수 있다.

이와 같이 共晶合金에 나타나는 node는 固溶合金에서 나타나는 node와 유사하나 다음과 같은 중요한 差異點이 있다. 우선 數的으로 固溶合金에서 처럼 많지 않을 뿐만 아니라 grain boundary나 growth induced boundary의 交點에 의하여 形成되므로 固溶合金에서와 같은 規則的인 配列을 이루지 못한다. 또한 이 部分의 불순물 濃度は 固溶合金에서 처럼 높지 않다는 것이 알려져 있다.<sup>4)</sup>

本實驗에서도 이 部分의 불순물濃度を X-ray microprobe analyser로 調査해 보았으나 差異點을 發見하지 못했다.

### 3.3. Cell morphology

위에서 cell의 形成段階에 대해 檢討하였는데 그들이 形成되는 같은 不純物 濃度에서  $G/R$  값이 더욱 낮아지도록 急冷을 시키면 Cell이 形成된다.

Al-Zn 共晶合金에서 cell의 크기는 매우 不規則하여 同一한 成長條件下에서도 그 크기가 달라 定量的인 傾向을 찾아내지 못하였다. Gruzleski와 Winegard<sup>1)</sup>亦是 Sn-Cd 共晶合金에서 cell의 크기와 模樣이 不規則하다는 것을 이야기 한 바 있다. cell의 模樣은 固溶合金에서 나타나는 것과 같은 規則的으로 잘 發達된 hexagonal形은 發見하지 못했으나 몇가지 特色있는 模樣으로 大別할 수 있었다. 불순물을 添加시키지 않은 共晶合金을  $G/R$  값이  $1.8 \times 10^5 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ 인 條件下에서 急冷凝固시켰을 경우에 lamellar plane에 平行하게 lamella의 붕괴가 일어나 Fig. 5에서 보는 것과 같이 lamella의 方位로 elongated된 cell이 形成되었다.

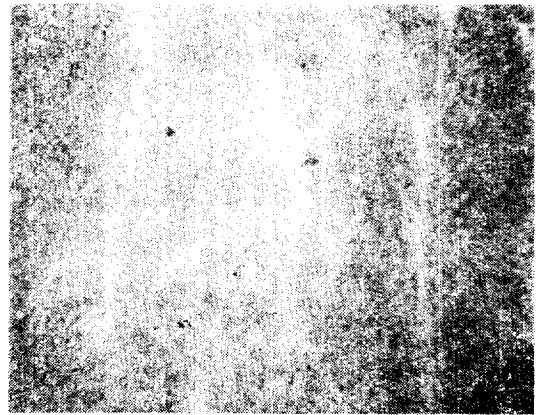


Fig. 5. Elongated cellular structure grown by the same growth condition as Fig. 4  $\times 120$ .

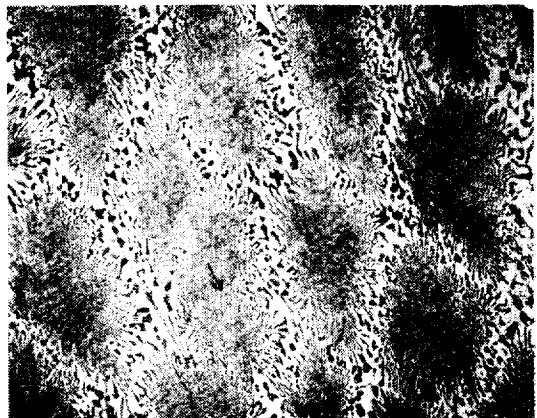


Fig. 6. The formation of rhombic cellular structure. New cell boundaries are marked. 0.23% Cd,  $G/R=1 \times 10^5 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ . transverse section.  $\times 60$ .

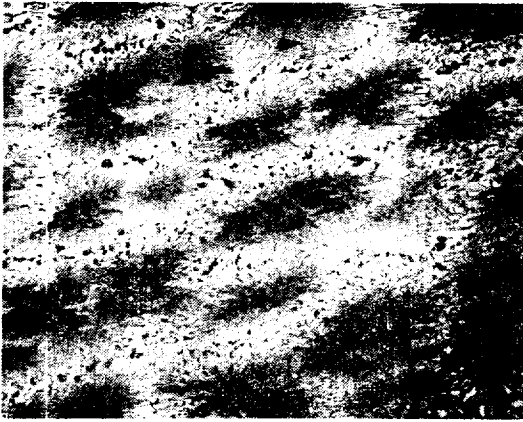


Fig. 7. Chrysanthemum-like cellular structure. 0.23% Cd,  $G/R=3.8 \times 10^4 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ . transverse section.  $\times 60$ .

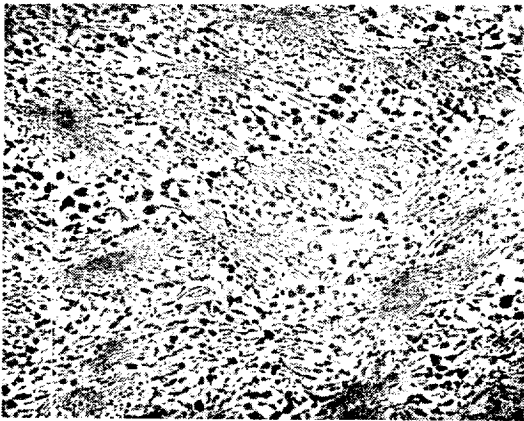


Fig. 8. Extremely developed chrysanthemum-like cellular structure. 0.115% Cd,  $G/R=8.1 \times 10^3 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ . transverse section.  $\times 60$ .

그러나  $G/R$  값이  $3.4 \times 10^3 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$  이상인凝固條件下에서는 cell의 形成을 보지 못하였다. 不純物의 量을 0.23%로 添加하고  $G/R$ 의 값이 낮은 狀態( $G/R=1 \times 10^5 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ )에서 凝固시켰을 때는 固溶合金에서의 hexagonal cell과 比較할 수 있는 Fig. 6과 같은 다름모 형태의 cell이 形成되었다. 한편 同一量의 不純物에서  $G/R$ 이 더욱 적은 條件( $G/R=3.8 \times 10^4 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ )에서 凝固시켰을 때는 cell 內部에서 lamella의 붕괴가 일어나 Fig. 7과 같은 菊花狀의 cell이 形成되었다. 不純物이 比較的 적은 경우(Cd:0.115%)에 形成된 cell도 Fig. 6,7과 다소 비슷하거나 固溶合金에서 나타나는 hexagonal cell이 不規則하게 變形된 것 같은 모양으로 나타났다. 한편 菊花狀 cell이 極端적으로 發展한 것 같은 Fig. 8에 表示한 樣樣的 cell도 이

따금 나타났다.

Gruzleski와 Winegard<sup>1)</sup>의 實驗에서는 Sn-Cd 共晶合金의 典型的인 cell 구조가 달걀型(ovular)구조로 나타났다나 本實驗結果에 依하면 Al-Zn 共晶合金에서는 그와 같은 cell 구조는 나타나지 않았고 또 그들이 發見한 것과 같은 crown 구조도 나타나지 않았다. Al-Zn 共晶合金의 典型的인 cell 構造는 hexagonal 型을 연상시키는 마름모型으로 나타났으며 固溶合金의 cell 구조에 오히려 가깝다는 것을 알 수 있었다.

앞에 나온 모든 cell 구조를 보건데 lamellar plane에 平行한 方向으로 길쭉하게 잘 發達되어 있음을 알 수 있다. 이러한 사실은 共晶合金 cell 構造의 一般的인 特徵이다. 한편 Fig. 6 화살표 位置를 보면 잘 發達된 cell boundary 속에 lamella에 수직 方向으로 아직 發達하지 못한 새로운 boundary가 생겨있음을 알 수 있다. 이것은 새로운 cell boundary를 形成하는 준비단

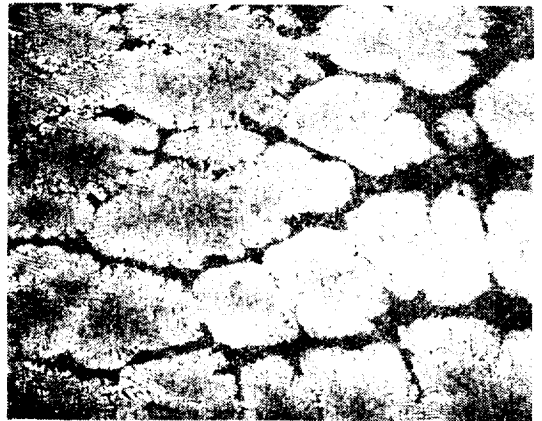


Fig. 9. Eutectic cellular dendrite. 0.52% Cd,  $G/R=4.5 \times 10^4 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ . transverse section.  $\times 60$ .



Fig. 10. Longitudinal section of the same sample shown in Fig. 9.  $\times 60$ .

계로 볼 수 있으며 이들이 붕괴하여 充分한 cell wall 로 發達한 다음 段階가 Fig. 7에서 보는 菊花狀 cell 이라고 생각된다. Fig. 7에서 lamellar plane 에 수직하게 形成된 cell boundary 들은 元來 cell 内部에 lamellar plane 에 수직하게 存在하던 fault line 들이 붕괴하여 새로운 cell boundary 로 發達한 것이라고 생각된다. 이와같이 cell 이 分離增殖되어나가는 現象은 다른 共晶合金에서도 觀察된 바<sup>1)</sup> 있다.

不純物濃도가 아주 높을 경우(Cd: 0.52%) eutectic cellular dendrite 라 불리우는 branched cellular structure 가 觀察되었다. Fig. 9 및 10은 Al-Zn 共晶合金의 cellular dendrite 組織을 나타낸다. Fig. 9는 凝固方向에 直角인 면이고 Fig. 10은 같은 試片을 凝固方向에 平行인 면에서 觀察한 組織이다. 이와같은 eutectic dendrite 는 같은 試料에서도 表面쪽이 잘 發達되어 있었다.

一般的으로 固溶合金에서는 不純物濃도가 높거나 溫度勾配가 낮아 組成的過冷도가 크면 cell structure 가 cellular dendrite 로 遷移한다고 알려져 있다<sup>5)</sup>. Fig. 10을 보면 cellular dendrite boundary 는 dendrite 첨단으로부터 輻선 뒤까지 확장되어 있다. 이는 組成的過冷 영역이 확장되어 dendrite 첨단으로부터 徐徐히 凝固되고 溶質의 濃도가 높은 融液이 그 周邊까지 남아 있었던 것을 意味한다. 이와같은 現象은 共晶合金에서도 固溶合金에서의와 같이 溶質의 濃도가 크고 組成的過冷도가 증가할 경우에 eutectic cellular dendrite 가 形成된다는 것을 意味하는 것이다.

3.4. Cell 成長의 모양

cell 이 어떤 모양으로 成長하는가를 檢討하기 위하여 成長方向에 平行인 方向의 cell 구조도 調査하였다.

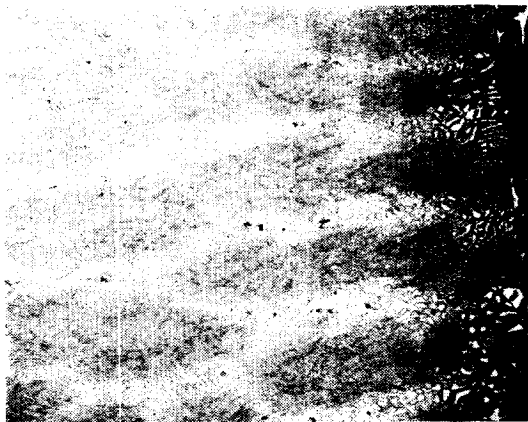


Fig. 11. Cellular structure of a transverse section. 0.115 % Cd,  $G/R=2 \times 10^6 \text{ deg C/cm}^2/\text{sec}$ .  $\times 60$ .

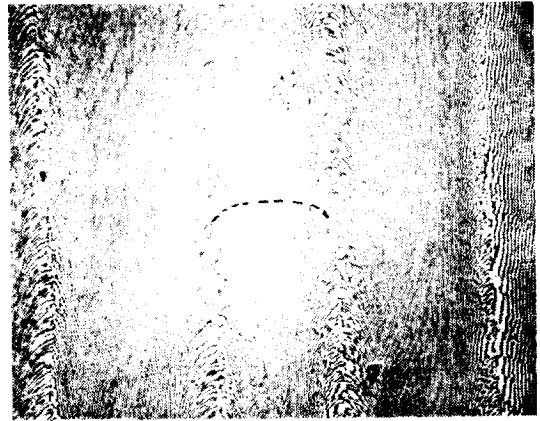


Fig. 12. Colony structure. same sample as shown in Fig. 11 but the longitudinal section.  $\times 120$ .

Fig. 11은 成長方向에 수직인 면의 cell structure 인데 이 試片의 成長方向에 平行인 면을 觀察한 것이 Fig. 12이다. Fig. 12에 나타난 것과 같은 colony structure 는 不純物을 함유하는 共晶合金에서 凝固時에 cellular structure 가 固液界面을 따라 움직인 結果 形成되는 것이라고 說明되고 있다.<sup>5)</sup> Colony structure 의 lamella 들은 colony boundary 를 따라 分離되어 있으며 boundary 와 各各 거의 直角으로 단나고 있다.

이와 같은 colony 의 모양에서 cell 의 成長過程을 다 약할 수 있다. 즉 cell 의 中央이 먼저 成長하여 앞서 나가며 사진에 點線으로 表示한 것과 같은 dome 形態로 成長해 나가리라는 것을 짐작할 수 있다.

이들 colony structure 의 경계의 폭은 不純物濃도가 높을 수록 넓게 形成되는 것 같은 인상을 받았으나 過冷程度等 다른 因子에 의해 영향받기 때문에 一律적으로 이야기 하기는 困難하다.

4. 結 論

本 實驗에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1. 凝固條件과 添加不純物의 濃도에 따라 grain boundary, growth induced boundary 및 lamellar fault line 등에서 lamella 의 優先的 붕괴가 일어나고 nodelike structure 가 形成된 後 cellular structure 로 發展되었다. cell 의 形成은 不純物濃도가 높을 수록 G/R 값이 낮을 수록 용이하였다.

2. Cell 의 模樣은 固溶合金에서 처럼 規則적인 型은 아니었으나 hexagonal 型이 不規則하게 變形된 것 같은 型과 特히 代表的인 型으로는 마름모型으로 나타났다. 한편 elongated cell 과 마름모型이 發展한 菊花狀 cell 도 나타났다. Sn-Cd 共晶合金<sup>1)</sup>에서의와 같은 달걀형이나

crowne 型 cell 은 나타나지 않았다. Cell 의 크기는 不規則하여 定量的으로 表示할 수 없었다.

3. Cell 의 成長樣相은 dome 樣相으로 進展함을 알았다.

4. 不純物을 0.52%로 증가하면 過冷에 依하여 eutectic cellular dendrite 가 나타났다.

### References

- 1) J. E. Gruzleski and W. C. Winegard: Trans. Met. Soc. AIME **242** (1968) 1785
- 2) G. A. Chadwick: J. Inst. Metals **91** (1962-63) 293
- 3) J. E. Gruzleski and W. C. Winegard: J. Inst. Metals **96** (1968) 304
- 4) W. M. Rumiball: Metallurgia **78** (1968) 141
- 5) R. W. Kraft and D. L. Albright: Trans. Met. Soc. AIME **221** (1961) 95
- 6) R. W. Kraft and D. L. Albright: Trans. Met. Soc. AIME **224** (1962) 1176
- 7) R. W. Kraft, F. D. Lemkey and F. D. George: Trans. Met. Soc. AIME **224** (1962) 1637
- 8) R. H. Hopkins and R. W. Kraft: Trans. Met. Soc. AIME **233** (1965) 1526
- 9) R. W. Kraft, D. L. Albright and J. A. Ford: Trans. Met. Soc. AIME **227** (1963) 540
- 10) L. O. Graham and R. W. Kraft: Trans. Met. Soc. AIME **236** (1966) 94
- 11) A. S. Yue: Trans. Met. Soc. AIME **224** (1962) 1010
- 12) H. R. Bertorello and H. Biloni: Trans. Met. Soc. AIME **245** (1969) 1373
- 13) J. D. Hunt and J. P. Chilton: J. Inst. Metals **191** (1962-63) 338
- 14) H. Biloni, G. F. Bolling and H. A. Domian: Trans. Met. Soc. AIME **233** (1965) 1926
- 15) B. Chalmers: "Principles of Solidification", John Wiley and Sons (1964)