

鋁在形變過程中亞結構的形成問題 (I)

劉 益 煥 陶 祖 聰

(中國科學院應用物理研究所)

DEVELOPMENT OF SUB-STRUCTURE IN THE DEFORMED ALUMINIUM CRYSTALS (I)

LIU YI-HUAN, TAO TSU-TSOONG

(Institute of Applied Physics, Academia Sinica)

近幾年來，變形晶體中亞結構的形成機構問題，曾引起很多爭論，其中以 Wood 及 Cahn 為代表的兩種理論最為突出。Wood 及其合作者^[1]用多晶體鋁樣品，經不同溫度及不同應變速度的形變後，依據在背射 X 射線照相上反射點數目的改變，認為在範性形變過程中，晶粒是直接地被分裂成小晶塊的，而且這些小晶塊又相互發生轉動和移動，使塊與塊之間產生晶向差。Cahn^[2]則用室溫變形的鋁單晶，經高溫熟煉後，觀察勞厄星芒中輝紋的產生及改變。他認為在晶體內由於形變而產生的扭折帶，當高溫熟煉時，發生多邊形化，所以在原晶粒內形成了許多具有微小晶向差的晶塊。

本工作的目的在於初步了解亞結構的形成問題。

本試驗所用材料為 99.67% 純鋁。做成標準的片狀樣品，規長為 4 厘米，寬為 1.1 厘米，厚為 1 毫米。用應變再結晶的方法，做成不同晶粒大小的樣品，經侵蝕後，顯示出清楚的晶粒。試驗所採取的溫度為室溫 (18°C) 及高溫 (480°C)。高溫下的伸拉速度有兩種，即每小時伸拉 1% (低速) 及每秒伸拉 8% (高速)。室溫伸拉則使用普通速度 (約每分鐘伸拉 1%)。高溫伸拉及熟煉處理時，樣品溫度的均勻度在 $\pm 3^\circ\text{C}$ 範圍以內。X 射線的觀察是採用勞厄及背射照相兩種方法同時進行的。

為了較全面地觀察在變形晶體內所形成的亞結構的現象，我們進行了單晶體及多晶體的高溫低速、多晶體的高溫高速、和多晶體在高溫低速下的斷裂等試

驗。試驗結果表明：經高溫伸拉後，勞厄星芒都呈現輝紋（圖 1），同時隨形變程度的增加而愈顯清楚。在同一試驗條件下，一般地說，多晶體比單晶體更易於產生清楚的輝紋。多晶體樣品在高溫高速伸拉（5 秒鐘內伸拉 48%）後和在斷裂處的 X 射線照相，都顯示出很大的輝紋星芒，但其組織很細，同時也不甚清楚（圖 2, 3）。

觀察熱應變和冷應變以後的熱處理對於變形多晶體樣品內所形成的亞結構的影響，我們用同一樣品進行了以下的試驗。

程 序	處 理
1	室溫，伸拉 2.5%
2	500°C，熟煉 20 小時
3	480°C，在 1 小時中伸拉 1%
4	室溫，伸拉 3%
5	500°C，熟煉 25 小時
6	480°C，在半小時中伸拉 0.5%
7	480°C，在 5 小時中伸拉 4%
8	室溫，伸拉 3%
9	500°C，熟煉 26 小時
10	480°C，在 1 小時中伸拉 1%
11	500°C，熟煉 111 小時再在 620°C 熟煉 26 小時
12	620°C，熟煉 132 小時

樣品經室溫伸拉（1）及熟煉處理（2）後，原由冷應變（1）所得的勞厄星芒及德拜弧僅顯示很小的變化。但經高溫應變處理（3）後，在星芒的連續背景上產生了輝紋，在德拜弧上也出現了小點。處理（6）和（7）指出，當高溫應變繼續增大時，輝紋及小點數目增多，同時連續背景的強度大大減小，因此使輝紋及小點更為清楚（圖 4, 5, 6, 7）。這種現象意味着在熱應變過程中原晶粒內亞結構的發展已達到可用 X 射線方法檢查出來的程度。

樣品再經 3% 室溫應變處理（8）後，冷應變使星芒長大，同時使原來星芒中的輝紋發生彌散，因而就不清楚了，但還是基本保留着原來輝紋的形態。在背射照相上，原來清楚的小點也變得模糊地分佈在連續的德拜弧上。這表示原來較完整的亞結構因受冷應變而發生畸變。熟煉處理（9）使輝紋及小點都漸較清楚，但分辨率還是很不好。經熱應變（10）處理後，輝紋及小點的清晰度有了顯著的增進。這過程說明，在經同一冷應變後，雖然熟煉處理能使亞結構有少許發

展(包括內應力消失, 亞晶粒長大等), 但很小的較短時間的熱應變, 對於亞結構的發展, 比同一溫度或稍高溫度長時間的熟煉處理要有效得多。

在樣品已形成亞結構的情形下, 經長時間和更高溫度的熟煉處理 (11) 後, 輝紋及小點的清晰度雖有少許改進, 但即使再在 620°C 熟煉 132 小時 (12) 後, 再結晶雖在某些部分已開始發生, 但連續背景還是有某些程度的保留 (圖 8), 輝紋及小點的分辨率也遠不如經 4% 熱應變 (7) 所得的那樣清楚。這表明, 熟煉處理對於亞結構更進一步的發展, 是遠不如熱應變的作用。

根據這些試驗, 我們得到以下結論:

1. 單晶體及多晶體經不同速度高溫形變後, 都產生亞結構, 甚至在斷裂情形下, 也是如此。
2. 高溫應變對於亞結構的發展, 比一般冷應變後熟煉處理的作用要有效得多。
3. 在一定條件下, 亞結構的發展隨應變程度的增加而增進; 同時形變愈快, 星芒中的輝紋愈細, 也即亞晶粒愈小。

關於亞結構的形成與形變機構的關係, 我們將在第二部分進行討論。

參 考 文 獻

- [1] Wilms, G. R. and Wood, W. A., *J. Inst. Metals*, **75** (1948-49), 693.
Wood, W. A. and Rachinger, W. A., *ibid.*, **76** (1949-50), 237.
Wood, W. A. and Scrutton, R. F., *ibid.*, **77** (1950), 423.
Wood, W. A. and Wilms, G. R., *ibid.*, **79** (1951), 159.
Wood, W. A. and Suiter, J. W., *ibid.*, **80** (1951-52), 501.
- [2] Cahn, R. W., *ibid.*, **76** (1949-50), 121; **79** (1951), 129; *Progress in Metal Physics*, Vol. 2, p. 151, (1950).

