

## 鋁在形變過程中亞結構的形成問題 (III)\*

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 (III)

LIU YI-HUAN, TAO TSU-TSOONG

(Institute of Applied Physics, Academia Sinica)

繼續以前鋁在  $200^{\circ}$  及  $480^{\circ}\text{C}$  高溫形變工作的研究<sup>[1,2]</sup>，我們又用單晶體及多晶體兩種樣品在  $630^{\circ}\text{C}$  進行了試驗。所採用的伸拉速度有高速(數量級為  $10000\%/\text{秒}$ )及低速( $1\%/\text{小時}$ )兩種。高速伸拉是利用自由落體進行的，伸拉在  $10^{-2}$ — $10^{-3}$  秒即進行完畢，但是樣品在伸拉後須經一、二分鐘才能降到室溫，以致變形樣品發生熟練作用；這在分析試驗結果時，必須予以考慮。低速伸拉試驗則與以前所報告的相同。

#### 一. 低速形變的試驗結果

單晶體及多晶體樣品的試驗結果指明：隨着形變程度的增加，勞厄星芒逐漸增大，其中輝紋及沿德拜弧分佈着的背射小點也愈益清晰；這意味着在晶體內所形成的亞結構隨着形變程度的增加而發展。這些輝紋及小點比  $480^{\circ}\text{C}$  熱形變所產生的要粗得多，而它們的背景也清楚很多(圖 1, 2)。這又表明  $630^{\circ}\text{C}$  熱形變產生更大的亞晶粒，同時在伸拉過程中，由於在更高溫度下的回復作用，晶體內的內應力也大為減小。

在樣品斷裂處的勞厄照相中顯示出很大的星芒；這些星芒是由很多很粗的小點和輝紋所組成的(圖 3)；在背射照相上，則有許多粗的小點清楚地分佈在德拜弧上。在同一部位用細聚焦 X 射線方法攝得的勞厄照相上，則星芒中所出現的小點是更細而更多(圖 4)。這說明用普通 X 射線法所顯示出來的每一亞晶粒，實際上是由彼此間晶向差很小的許多晶塊所組成的。

\* 1955 年 12 月 24 日收到。

多晶體的試驗進一步指出：晶粒邊界對於亞結構的形成及其發展起着促進作用。這是由於在伸拉時，晶體在晶粒邊界處的形變受了限制而發生更大的扭轉的緣故。

## 二、高速形變的試驗結果

單晶體樣品在  $630^{\circ}\text{C}$  受高速伸拉而斷裂時，它們的普效伸長度（指除了細頸部分以外的全部伸長度）都達到 50—100% 之間，斷裂處則產生細頸。在均勻變形部分的勞厄照相上，勞厄星芒中有極模糊的輝紋。在背射照相上，則有極細的瀰散小點分佈在連續的德拜弧上，而且連接着瀰漫的勞厄點（圖 5, 6）。這與  $200^{\circ}\text{C}$  低速伸拉後的斷裂結果極為相似。這意味著晶體在高溫高速形變的試驗條件下，回復過程非常短促，形變後晶體內有大量內應力留存。同時巨大的高速形變產生了彼此間具有較大晶向差的細小亞晶粒。

我們也在細頸和斷裂之間的各部位進行了一系列的 X 射線觀測。細頸處的勞厄照相，顯示出在勞厄星芒上或其近傍有許多顯明的斑點，這些斑點是由於再結晶而生成的新晶粒所衍射出來的。星芒的輝紋也較為清楚（圖 7），同時在背射照相上，除了上述由小點組成的德拜弧外，也相應地出現了這些新晶粒的衍射點。接近斷裂處的勞厄照相出現了更多的上述再結晶晶粒的衍射斑點，並大致還沿着星芒的位置分佈着，形成擇尤取向圖樣的傾向（圖 8），而背射照相上只有新生晶粒的衍射點。這種現象是因為在細頸及斷裂處的巨大形變產生了更大的內應力，以致樣品在伸拉後立刻發生再結晶。新晶粒的斑點按星芒位置而分佈的事實表明這些新晶粒很可能是由於原來的亞晶粒長大而成的。同時內應力相應地消散，使星芒輝紋及背射小點的瀰散背景減弱。這種所謂同位再結晶現象<sup>[3]</sup>，我們在以後還要詳細進行研究。

多晶體樣品（平均晶粒大小為 1.5 及 3.0 mm）在  $630^{\circ}\text{C}$  高速斷裂伸拉試驗的結果與上述相同，但樣品顯示出較大的再結晶本領。當樣品伸長度為 20—30% 時，在勞厄照相上已顯示出同位再結晶的現象。這與晶粒邊界引起應力集中和再結晶從晶粒邊界開始的事實是符合的。

綜合上述試驗結果，我們得到以下的結論：

1.  $630^{\circ}\text{C}$  形變試驗結果是和以前  $200^{\circ}$  及  $480^{\circ}\text{C}$  形變的結果完全一致的。這些試驗指出：

- i) 鋁單晶體或多晶體樣品經不同溫度（ $200$ — $630^{\circ}\text{C}$ ）及不同速度（ $1\%/\text{小時}$ — $10000\%/\text{秒}$ ）的伸拉和斷裂形變，都產生亞結構。
- ii) 在同一形變速度下，形變溫度愈高，則所形成的亞晶粒愈大，勞厄輝紋及背射

點的背景也愈弱。在同一形變溫度下，形變速度愈大，則形成的亞晶粒愈小，勞厄輝紋及背射點的背景愈強。這指示回復效應是使形變速度和形變溫度發生對應關係的重要因素之一。

iii) 在形變過程中晶體在晶粒邊界處發生巨大的扭轉，從而促進了亞結構的形成及發展。形變程度的增加，也能起這種作用。

2. 經  $630^{\circ}\text{C}$  高速巨大形變後，晶體內有很大的內應力，因此在高溫下很快地發生同位再結晶現象，從而晶體獲得了再結晶的擇尤取向組織。這種同位再結晶的產生很可能是由於原變形晶體內某些亞晶粒長大的結果。

細聚焦 X 射線勞厄照相係本所何華同志所作，特此致謝。

#### 參 考 文 獻

- [1] 劉益煥、陶祖聰，物理學報，11 (1955)，363.
- [2] 劉益煥、陶祖聰，物理學報，11 (1955)，507.
- [3] Crussard, C., *Rev. Métall.*, 41 (1944), 111, 133.

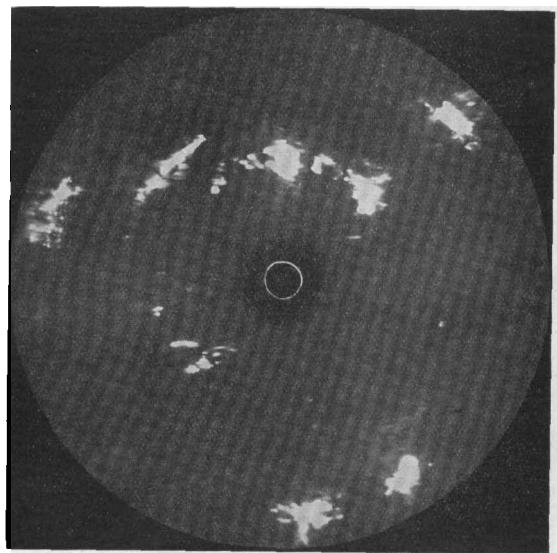


圖 1. 鋁多晶,  $630^{\circ}\text{C}$  低速伸拉

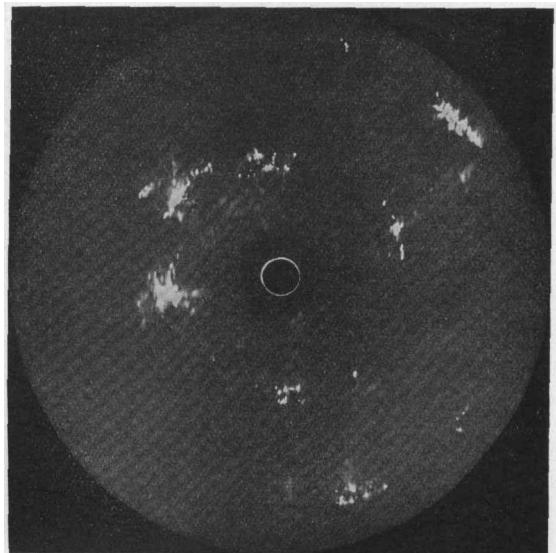


圖 2. 鋁多晶,  $480^{\circ}\text{C}$  低速伸拉

伸長度大約相同

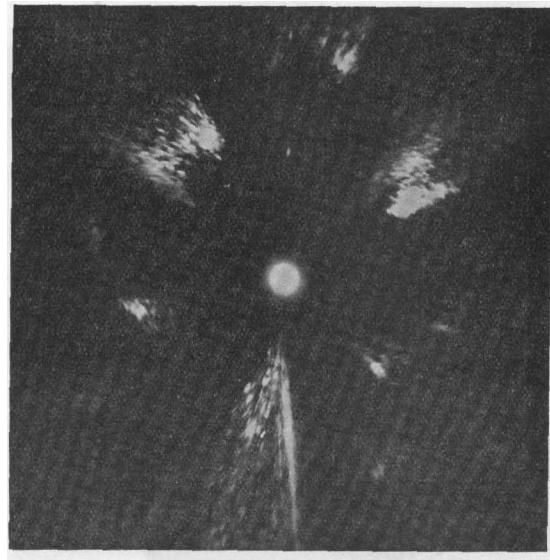


圖 3. 普通勞厄照相

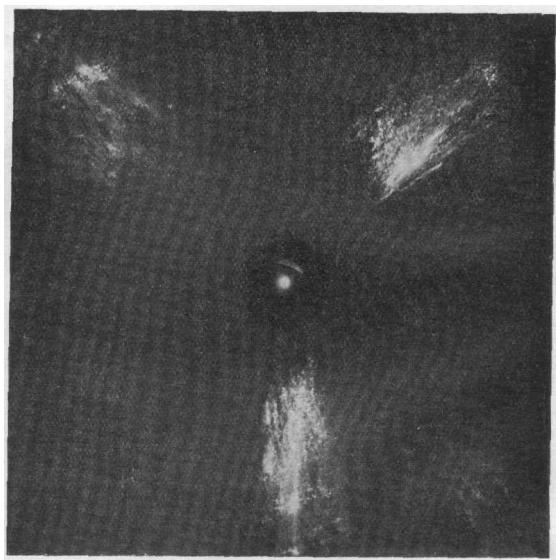


圖 4. 細聚勞厄照相

鋁單晶,  $630^{\circ}\text{C}$  低速伸拉(斷裂部位)

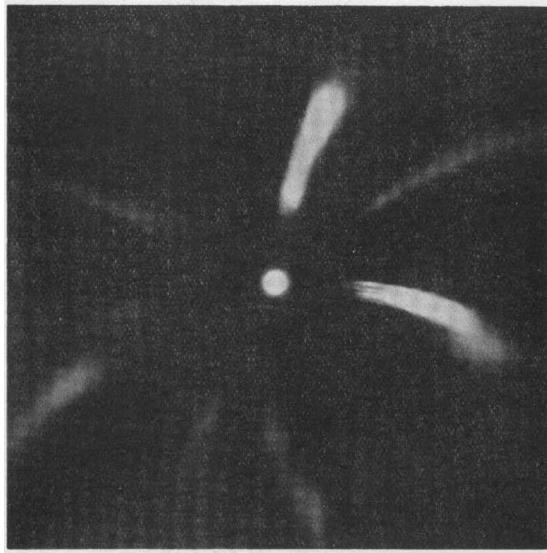


圖 5

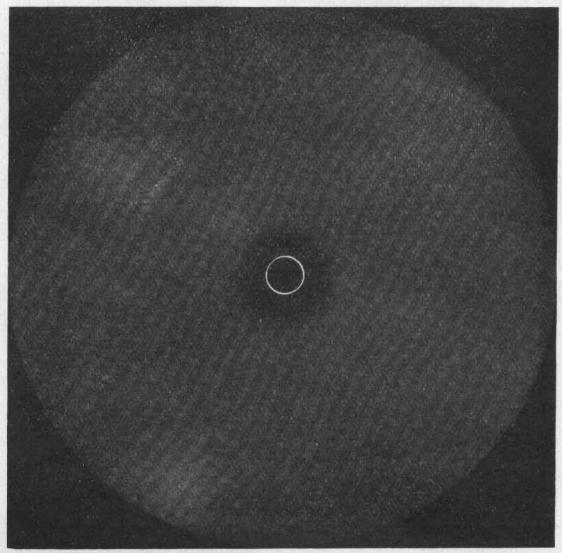


圖 6

鋁單晶, 630°C 高速斷裂伸拉 (均勻伸拉部位, 約 90%)

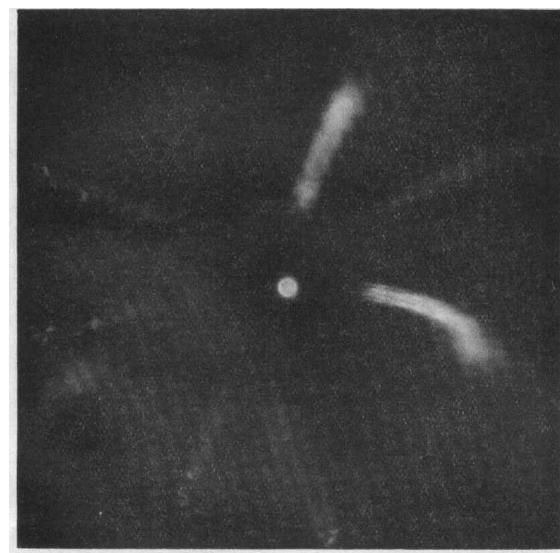


圖 7. 鋁單晶, 630°C 高速斷裂伸拉, 細頸部位

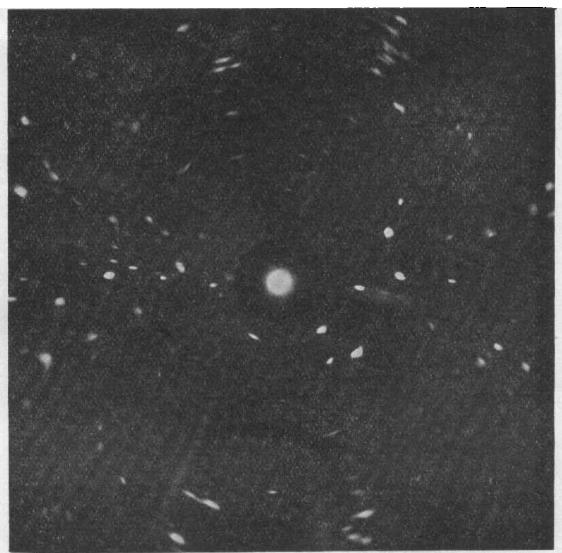


圖 8. 鋁單晶, 630°C 高速斷裂伸拉, 接近斷裂部位