

鋁多晶形變后內耗的變化

李 燮 均 董 用 威

(物理學系)

一、引 言

近年來很多作者利用內耗測量獲得了不少關於形變后晶體內部結構變化的資料，這些研究的結果可以參看文獻〔1—7〕以及它們所引的一系列文獻。

在這些研究工作中除了有一些是研究蠕變⁽⁷⁾情況下內耗變化以外，絕大部分工作中形變是在室溫下進行的。大家知道，在不同溫度下形變的晶體，它們結構會有很大的差別，這方面有很多作者用不同方法已獲得大量的資料^(8—11)，但是問題仍然沒有徹底弄清還有待於進一步積累大量的資料。

我們工作的目的是觀察不同溫度下形變時內耗的變化，它們在保溫過程中的恢復以及不同溫度下形變晶體的內耗——溫度曲線。從而來比較不同溫度下形變時結構變化的特點。

二、試樣處理及實驗方法

材料為技術純鋁主要雜質鐵硅的含量分別為0.30wt%及0.26wt%。冷拉到直徑為0.9毫米后在550°C退火二小時。所得試樣經過金相觀察晶粒大小為~0.05mm試樣按上夾頭以后為了消除操作過程所引起的加工，試樣又在測量內耗裝置的爐中加熱到500°C左右退火半小時。試樣有明顯的再結晶組織。內耗用扭擺法測量。

經過退火后試樣在爐中冷卻的過程中測它的內耗——溫度曲線。為了避免試樣在高溫下發生范性形變，因此內耗曲線在400°C開始測。所有試樣都測定了內耗曲線。這些結果相互間略有差別，引起差別的原因顯然是由於各個試樣晶粒大小有些差別而引起的。葛庭燧⁽¹²⁾研究過晶粒度大小對內耗曲線的影響，發現晶粒小時內耗峰值高位置往低溫方向移，我們的結果也如此(圖9,10,11)。但晶粒度大小在顯微鏡下觀察差別不大。

形變的方式為扭轉，形變后立刻測內耗，每形變一次測一小時內內耗恢復的情形，每扭一圈相當於表面最大切形變為 1.13×10^{-2} 。測內耗時試樣表面最大切形變為 2.15×10^{-6} 。

三、測量結果

(1) 內耗——形變度曲線。

圖1,2,3,4,分別為室溫，(23°C)，50°C，內耗峯處的溫度(188°C)及內耗——溫度曲線極小處(300°C)時的內耗——形變度曲線。

可以看出，在較低溫度時曲線分三個階段：上升得快；幾乎不變；繼續上升。在內

耗峰处 (188°C) 形变时曲线较复杂, 值得指出的是在形变度较大时恢复一小时以后内耗值较未形变时还低, 在 300°C 处曲线有一个峰。各种不同温度下的结果都有一共同的特点: 曲线形状与形变后测量内耗的时间有关。

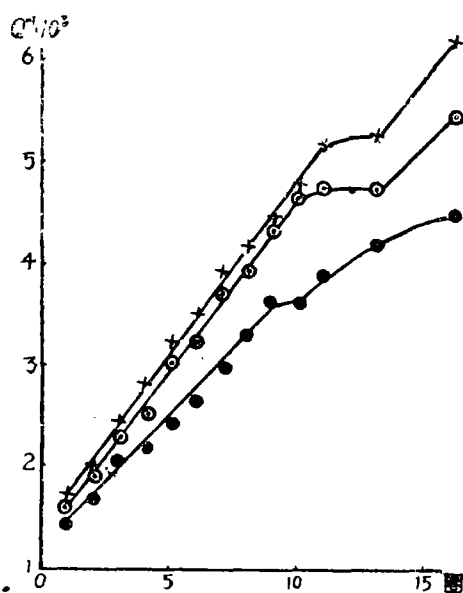


图 1 室温下形变时内耗——形变度曲线

×: 形变后五分钟测内耗
○: 形变后十分钟测内耗
●: 形变后一小时测内耗

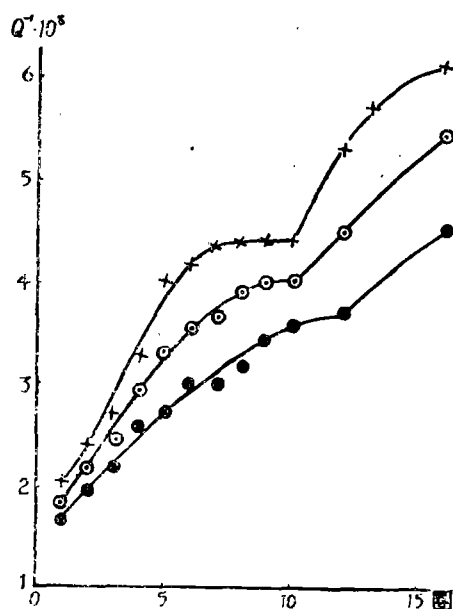


图 2 50°C 时形变的内耗——形变度曲线

×: 形变后四分钟测内耗
○: 形变后十分钟测内耗
●: 形变后四十分测内耗

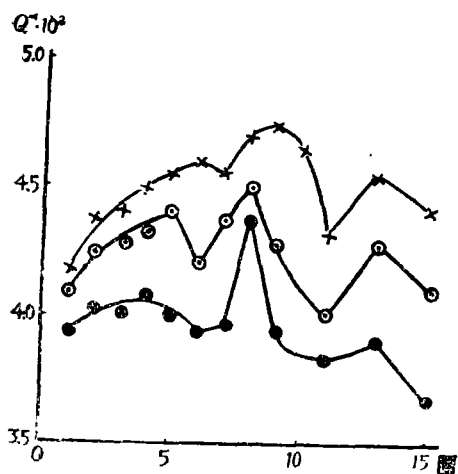


图 3 188°C 形变的内耗——形变后曲线

×: 形变后五分钟测内耗
○: 形变后十分钟测内耗
●: 形变后一小时测内耗

(2) 內耗的恢復。

圖 5, 6, 7, 8 為形變後內耗恢復曲線的一部分，所有曲線有一個共同的特點：開始時恢復很快，以後恢復較慢，但曲線總不趨於水平（即恢復繼續着）。我們在室溫下作了一個較長時間的恢復測量工作。圖 9 是扭了十圈以後內耗恢復的曲線一直到三十餘小時內耗還是繼續減少中。

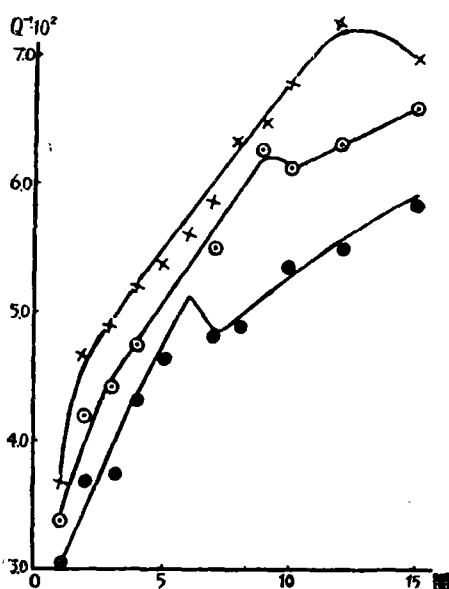


圖 4 300°C 形變的內耗——形變度曲線

×：形變後五分鐘測內耗

○：形變後十分鐘測內耗

●：形變後一小時測內耗

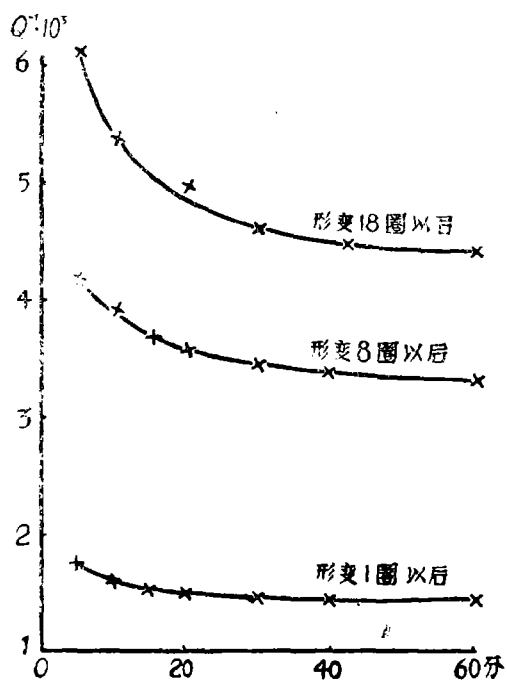


圖 5 室溫下形變後在室溫下恢復的曲線

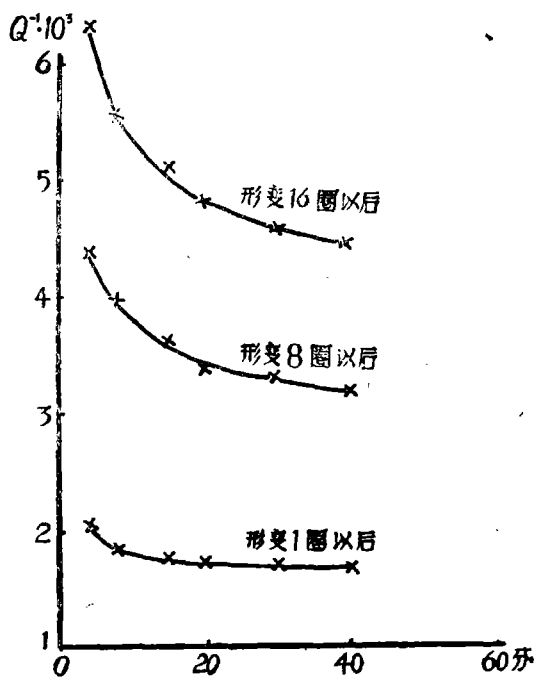


圖 6 50°C下形變後50°C保溫的恢復曲線

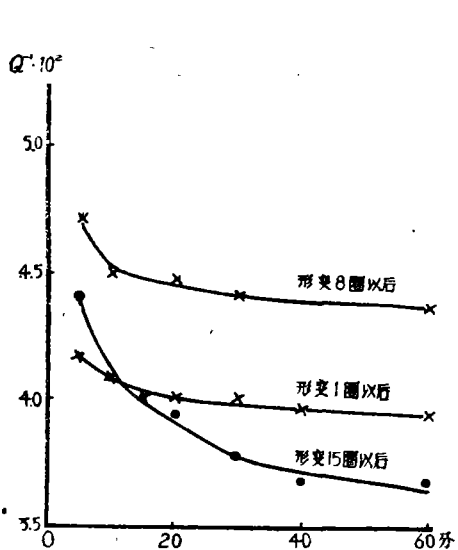


图 7 188°C 下形变后在 188°C 保温的恢复曲线

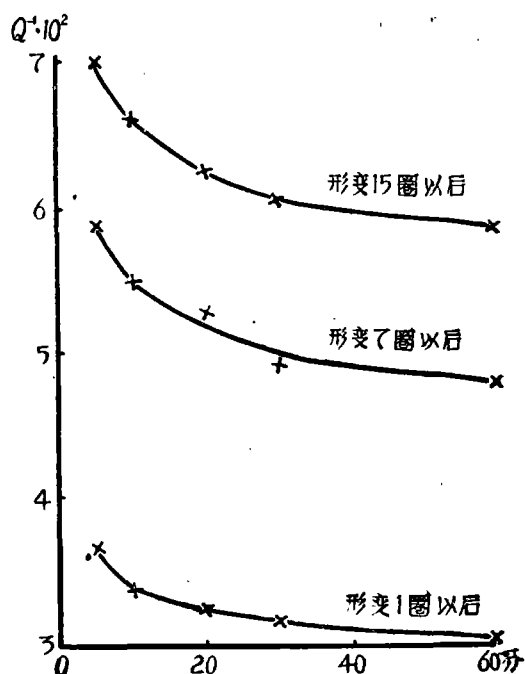


图 8 300°C 下形变后在 300°C 保温的恢复曲线

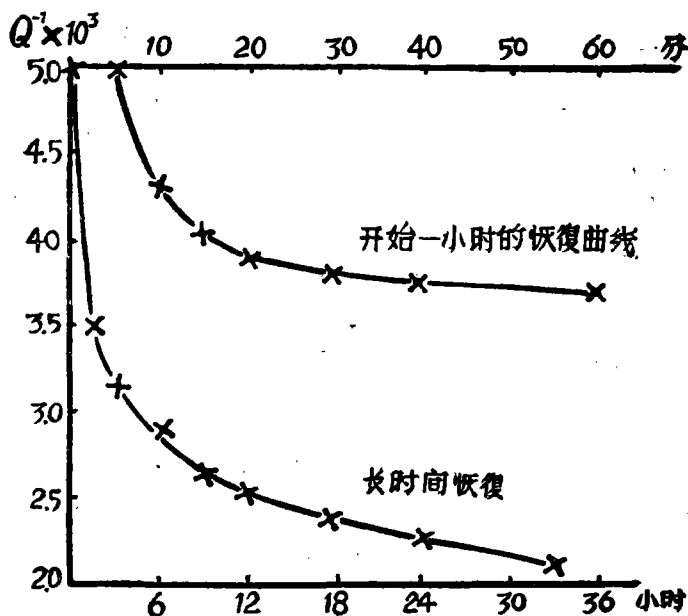


图 9 在室温下扭了十圈以后在室温下恢复的曲线

(3) 形变后内耗——温度曲线

图 10, 11, 12 是室温, 188°C, 300°C 形变后在炉中冷却至室温然后升温测量内耗——温度曲线。50°C 时的结果与室温下的结果无甚差别。

可以看出, 室温下形变的晶体在升温时内耗较退火状态高。在 188°C 形变时在 190°C 以下内耗较退火的试样还低。在 300°C 时形变的试样在不太高的温度时内耗与退火试样差不多, 有些温度下看来较低些, 但我们其

它几次的试验中有时稍高, 有时稍低, 看来与退火试样的结果差不多。

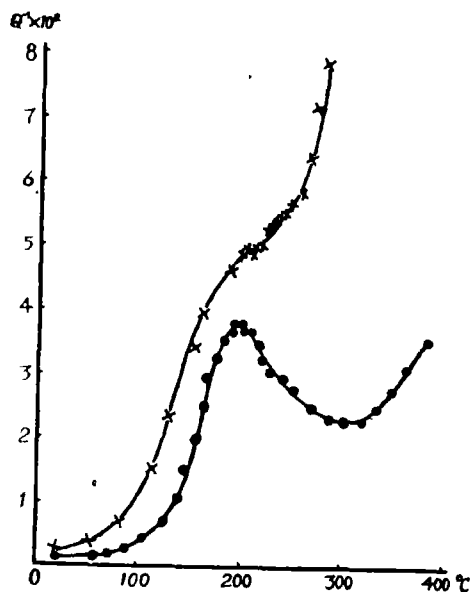


图10 室温下形变后及形变前内耗温度曲线

×: 形变后

●: 形变前退火状态

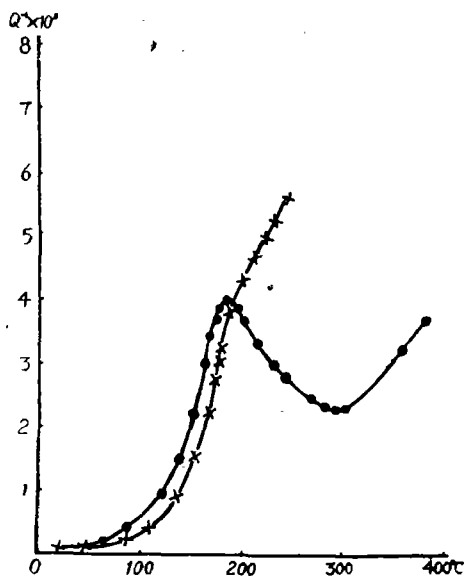


图11 188°C下形变后与形变前内耗

——温度曲线

×: 形变后 ●: 形变前退火状态

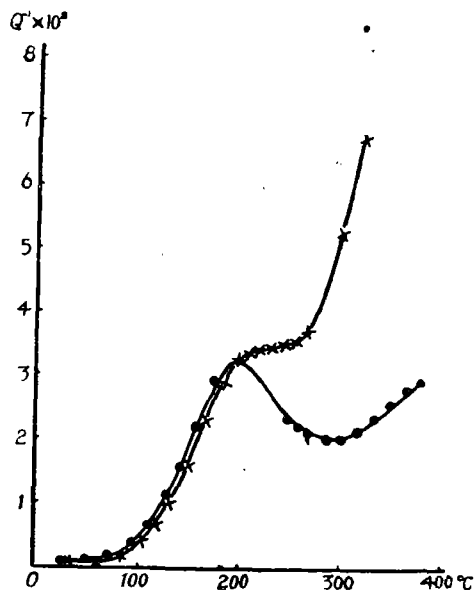


图12 300°C下形变后与形变前内

耗——温度曲线

×: 形变后

●: 形变前退火状态

四、討 論

(1) 在銅的研究中不少作者^(13,14,18)发现內耗——形变曲綫中有峰值。而且經過峰值以后內耗不再随形变度增加而上升。有些作者⁽¹²⁾在鋁的研究中沒有发现峰的存在，曲綫很像应力——形变曲綫，一直上升。在我們實驗中看来鋁在不同溫度下形变时它的內耗——形变曲綫基本上是單調上升的，虽然，在低溫时（室溫及 50°C ）曲綫有一个較平的区域，高溫时（ 300°C ）曲綫有一个峰，但过了峰或平的区域以后曲綫又繼續上升， 300°C 时这个峰的出现可能与再結晶有关。在形变度較大时再結晶发生得早因此，在形变后五分鐘測量的曲綫上峰在形变度較大处。在形变度小时再結晶孕育期較长，因此，形变后六十分鐘測定的曲綫峰值在形变較小处。

在 188°C 形变时內耗曲綫較复杂。这是因为在这个溫度时晶粒边界內耗的效应最大，而形变过程中晶粒边界的粘滯性受到影响。因此，我們甚至可以看到在形变度較大时內耗較退火的样品还小。

銅的內耗在形变度較大时反而减少的原因有些作者认为是形变大了位錯的流动性减少的缘故⁽³⁾

鋁形变较大时內耗为什么减少而是繼續增大呢？我們认为这可能与鋁的位錯性質有关。由于鋁的堆叠层錯（Stacking fault）能量較高，位錯呈擴張的形式（Extended dislocation）的可能性較小⁽¹⁷⁾。因此当位錯多时流动性还可以很大。

(2) 在恢复的測量中我們沒有看到內耗很快恢复到未形变以前的值，如像 Küster 等⁽¹⁵⁾在黃銅及低碳鋼中发现的那样。由曲綫形状看来很像一般力学性質的恢复那样⁽¹⁶⁾。可惜因为实验装置上必須改造，目前还没有能測到各种溫度形变后恢复的激活能。不然我們想它能告訴我們关于各种不同溫度下形变后结构变化的一些有意义的資料。

(3) 形变后晶体的內耗——溫度曲綫是很有趣的。低溫形变（室溫及 50°C ）的晶体表现出在各种不同溫度时內耗都較退火时大。这就是說低溫形变后引起內耗变化的结构上的变化在高溫时仍会引起內耗的变化。但在高溫（ 300°C ）形变的晶体內耗溫度曲綫在 200°C 以前基本上与退火晶体一样。这就是說高溫形变时引起內耗变化的结构上的变化在低溫时不引起內耗的明显的改变。这可能說明不同溫度下形变时形变机构是有明显区别的。

在 188°C 形变时边界的粘滯性受的影响較大，因此在 190°C 以前內耗溫度曲綫較退火样品反而低。

五、結 論

(1) 不同溫度形变时鋁多晶內耗随形变度增加而增加，高溫形变时再結晶对曲綫形状有影响。

(2) 在晶粒边界內耗峰的溫度处形变时，晶粒边界的粘滯性受到明显的影响。

(3) 鋁在各种不同溫度形变时內耗的恢复与力学性質恢复相似。

(4) 不同溫度形变时，形变机构有差别可以在內耗——溫度曲綫上得到反映。

六、感 謝

作者感謝劉顯芬同志在儀器按裝上所給予的協助。同時也感謝教研組內其他同志對本工作的關心與有益的討論。

參 考 文 獻

- (1) A. S. Nowick: Prog. met. phys. vol. 4 1 (1953)
- (2) Л. И. Васильев et al: ДАН СССР 114, 1228 (1958)
- (3) A. S. Darling: J. Inst. Met. 85, 489 (1957)
- (4) A. S. Nowick: J. Appl. Phys. 25, 1129 (1954)
- (5) Б. Я. Пинес И Ден Ге Сен: фММ 6, 1081 (1958)
- (6) А. Я. Самойлова и В. С. Постников: фММ 6, 1081 (1958)
- (7) 張 翼, 孔庆平: 金属学报 5, 93 (1960)
- (8) P. B. Hirsch: Prog. Met. Phys. Vol. 6 236 (1956)
- (9) A. H. Sully: Prog. Met. Phys Vol. 6 135 (1956)
- (10) A. F. Brown: J. Inst. Met. 80, 115 (1951)
- (11) В. Д. Кузнецов: физика Твёрдого Тела 431 (1940)
- (12) T. S. Ke: Phys. Rev. 72, 41 (1947)
- (13) A. W. Lawson: Phys. Rev. 60, 330 (1941)
- (14) R. Hasiguti & T. Hirai: J. Appl. Phys. 22, 1084 (1951)
- (15) A. Seeger: Defects in crystalline solids 328 (1955)
- (16) A. H. Cottrell et. al. : J. Inst. Met. 77, 389 (1950)

THE CHANGE OF INTERNAL FRICTION OF POLYCRYSTAL ALUMINUM AFTER PLASTIC DEFORMATION

Li Shih-Chun Tung Yung-Wei

abstract

Using Kés torsion pendulum method we have measured the internal friction of polycrystal Al after torsional deformation. The internal friction vs. deformation curves are carried out at different temperature. Like other authors measured on Al after deformation of other mode, the internal friction after deformation increases with the increasing of deformation, although somewhat deviation has been occurred at some amount of deformation.

The effect of annealing at deformation temperature has been measured. The change of internal friction during annealing does not stop even after a long period of annealing.

The internal friction vs. temperature curves also have been measured. When measurement is carried out at the process of rising temperature, the curves obtained from specimens, which deformed at different temperature, show differently.

The form of internal friction vs. deformation curves of Al has been discussed. It seems that the character of the form is intimately related to the character of dislocation in Al.

Basing on our experimental data, the structure of deformed Al has been discussed.