

杜拉鋁在新鮮沾火狀態下的變形條件對

時效後機械性能的影響

本試驗資料討論杜拉鋁在介穩定狀態下變形速度和程度對自然時效和人工時效後機械性能影響的某些特性，且提出了解釋所觀察到的規律性之見解。

大家知道，隨著變形速度的降低，金屬和合金的變形阻力會減小，這是由於提高了軟化（恢復）的作用而降低了冷作硬化的效應〔1—3〕。合金在介穩定狀態（例如過飽和固溶體狀態）變形時，由於時效的結果能夠引起速度對變形阻力的相反影響，而時效過程決定於本身變形過程的參數。時效能引起機械性能的提高，外應力作用的時間愈長，也就是變形速度愈小，則這種程度表現得愈大，因此，在一定的變形溫度和速度範圍下時效效應能夠超過軟化（恢復）效應，而速度的變化對變形阻力會引起相反的影響〔4—5〕。

許多研究者的著作里都同樣制定：在過飽和固溶體狀態下（新鮮沾火狀態）杜拉鋁的變形對時效後的機械性能引起了不良的影響，沾火後變形然後時效的杜拉鋁比在時效後進行同樣變形程度的杜拉鋁具有更低的硬度〔7, 8〕和較低的強度〔5, 6, 7〕。

對於鋁基合金（Al+6—8% Zn）在沾火狀態變形後接着時效的硬度，同樣比只時效的要低些〔7〕。

我們最初的試驗證明，在新鮮沾火狀態下，對上述杜拉鋁由於變形而引起機械性能的降低有着顯著影響的就是變形速度。

在實際條件下，介穩定狀態的合金常常進行塑性變形（鉚釘的鉚接，制件沾火時的彎曲矯直等），這些制件在經過時效後的狀態下使用，因而，研究變形條件（程度和速度）對杜拉鋁在時效後性能的影響有着很明顯的實際意義，而且，在研究這些問題時還能弄清介穩定

狀態的金屬在塑性變形時發生變化的實質。

為了研究用杜拉鋁 Д1 制成的圓柱形試樣，其直徑為 7.00 ± 0.01 公厘，高度為 11.00 ± 0.01 公厘，經過 1 小時加熱至 $500^\circ\text{C} \pm 3^\circ$ ，在加熱溫度下保持 1 小時後將試樣在水中冷卻，試樣在新鮮沾火狀態下用下列機器進行壓縮變形達 5, 10, 20 和 30% 的變形率：

（а）平均綫速為 0.05 公厘/分（速度 v_1 ）的 ИМ-4А 型機器；

（б）平均綫速為 6 公厘/分（速度 v_2 ）的 ИМ-4А 型機器；

（в）平均綫速為 1 公尺/秒（速度 v_3 ）的垂直衝擊機。

為了防止變形前沾火試樣的時效，將它們放在保溫箱內（ -70°C ），在壓縮和接着進行 17 晝夜的自然時效後，所有的試樣在同一速度 v_1 下繼續變形，此外還有一批試樣在新鮮沾火狀態下沒有變形，而在自然時效後以速度 v_1 進行變形。

實際應力按下式計算：

$$\sigma = \frac{Ph}{V_0},$$

式中 P ——載荷，

h ——當時每個試樣的高度，

V_0 ——試樣的體積。

總之，按照一些試樣的平均斷口進行了計算，計算還根據了這種假設，即變形金屬的體積不變和試樣面上摩擦力的作用較小。

相對變形率 ϵ 一般按下式計算：

$$\epsilon = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100\%,$$

式中 Δh ——絕對變形率，

h_0 ——試樣在第一次變形前的原始高度。

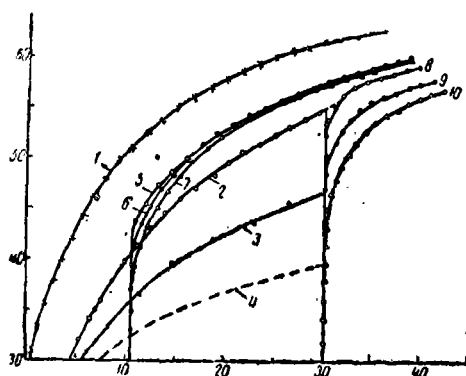


圖1 新鮮沾火杜拉鋁Д1 壓縮達10和30%，其速度為：

曲線2—— $v_1=0.05$ 公厘/分；曲線3—— $v_2=6$ 公厘/分；曲線4—— $v_3=1$ 公厘/秒。

曲線5, 6, 7相當於在速度 v_1, v_2, v_3 下預先壓縮達10%和自然时效後杜拉鋁在 v_1 速度下的二次壓縮；曲線8, 9, 10——壓縮達30%之後。曲線1為在新鮮沾火狀態下沒有預先變形时效後的 $v_1=0.05$ 公厘/分。

試驗結果示於圖1和部分地列於表1。

表1 在不同速度下預先變形和自然时效後杜拉鋁試樣以速度 v_1 的實際壓縮應力

預先變形速度， 公厘/分	預先變形速度， %	總變形(預先的與二次的) 時的應力，公斤/公厘 ²		
		達 $\epsilon=12\%$	達 $\epsilon=22\%$	達 $\epsilon=32\%$
—	—	52.6	59.0	62.3
0.05	10.5	45.6	54.2	58.2
6.0	10.5	44.5	54.2	58.4
動力	10.5	43.0	53.9	58.1
—	—	—	58.5	62.2
0.05	20.0	—	53.0	58.5
6.0	20.0	—	50.6	57.2
動力	20.0	—	46.9	55.7
—	—	—	—	62.3
0.05	30.0	—	—	56.7
6.0	30.0	—	—	53.3
動力	30.0	—	—	50.0

新鮮沾火狀態下來變形而經過17晝夜时效後以速度 v_1 變形的杜拉鋁試樣為曲線1，直接沾火後的壓縮速度 v_1, v_2, v_3 為路線2, 3, 4。假若沾火後以不同速度變形的試樣时效17晝夜，

然後以 v_1 速度進行二次壓縮時，在預先壓縮達10%的情況下，則得到曲線5, 6, 7；在預先壓縮達30%的情況下，則得曲線8, 9, 10。必須考慮到曲線5和8系沾火後以速度 v_1 (曲線2)變形的試樣，而曲線6和9、7和10為沾火後以相對應的速度 v_2 和 v_3 (曲線3和4)變形的試樣。

以上的結果證明：直接沾火後杜拉鋁試樣的變形能降低其时效後的機械性能，這可以從曲線1、5和8在變形速度恒定时(參看圖1)的比較中看出。預先變形的程度愈高(比較曲線5和8)及其變形速度愈大(曲線8, 9和10)，則這種降低也愈甚。

在預先變形程度很小的情況下(5和10%)，其變形速度對合金时效後機械性能的影響很小，即在新鮮沾火狀態下以不同速度變形的試樣當總的相對變形率為20~22%時，其二次壓縮的曲線就能聚集在一起(參看圖1的曲線5, 6, 7)。

當新鮮沾火試樣壓縮達20%和30%時(曲線8, 9, 10)，其时效後變形阻力降低的程度與沒有變形的試樣相比，會隨著第一次變形速度的增加而顯著地增加。對於在新鮮沾火狀態下動力壓縮達30%的試樣降低達16~17公斤/公厘²，即接近屈服極限的25%($\epsilon \sim 30.5\%$)，當試樣二次變形達 $\epsilon=40\%$ 時約為8公斤/公厘²。必須指出：在這種情況下二次壓縮曲線8, 9和10的走向沒有任何聚集的趨勢。

圖1的曲線同樣證明了杜拉鋁在變形後的时效本身能使機械性能有某些提高(比較圖1中二次變形開始時的曲線2, 3, 4與曲線5, 6, 7和曲線8, 9, 10)。但是預先壓縮的試樣在此時的變形阻力值畢竟較試樣在新鮮沾火狀態下未變形的性能低些。

預先壓縮的程度愈小和程度愈大，則时效過程引起二次變形在開始時的機械性能顯著提高的程度也表現得愈大。假若以速度 v_1 預先壓縮達10%的試樣由於时效的結果，屈服極限的提高約為2公斤/公厘²，那麼在以速度 $v_2 > v_1$

压缩达同样程度时,其提高约达5公斤/公厘²。若在新鮮沾火状态下以速度 v_2 不压缩达10%而达30%时,则屈服極限的增高仅约为2公斤/公厘²。

显然,变形试样时效时,屈服極限的变化决定于变形过程中过饱和固液体分解的程度,这段分解(低的速度和大的变形程度)愈多,则在时效时屈服極限的提高也愈少。

关于預先变形对时效后的性能的影响問題,在研究鋁合金Д-16和B-95的时效时,也获得了在性質上相似的数据。

假若降低上述变形试样的机械性能与过饱和固液体在变形过程中的分解、分解程度及其形状有关的話,則合金介稳定状态的减少应该表现在上述效应的减小。为了檢驗这种假設,曾进行过以下的試驗。杜拉鋁Д1试样在沾火后进行1, 2, 8, 16, 24小时的时效,之后,动力压缩达5%和20%,最后将所有的试样进行15晝夜的自然时效,且以速度 v_1 二次压缩达 $\varepsilon = 37 \sim 40\%$ 。圖2所示为二次压缩的曲綫,曲綫上示出了第一次变形前的时效時間。为了进行比较,作出了未进行中間变形且仅时效15天后压缩试样的压缩曲綫AB。

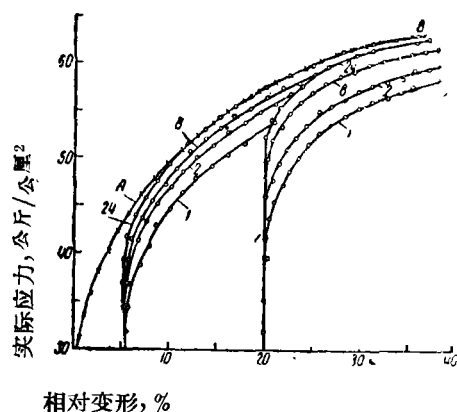


圖2 自然时效(15晝夜)的杜拉鋁Д1以速度 $v_1 = 0.05$ 公厘/分之压缩經過1, 2, 8, 24小时自然时效后(相应的曲綫1, 2, 8, 24)預先动力压缩达5和20%。曲綫AB——时效后未經預先压缩的压缩(速度 v_1)。

分析圖2的数据,便确切地証实了第一次

变形前的自然时效愈長和介稳定状态的程度愈小,則合金的性能更接近于仅在完全时效后变形试样的性能。

时效温度对上述效应的影响極为有趣。

杜拉鋁Д1试样在新鮮沾火状态下变形达相对变形率的10和30%,然后在100°C(一批)和150°C(另一批)下时效8小时,将沾火后未变形的试样和它們一起时效同样的時間。待所有的试样时效后以0.05公厘/分(v_1),的速度压缩达38~40%。試驗的数据示于圖3和圖4,曲綫的形状与圖1相同。

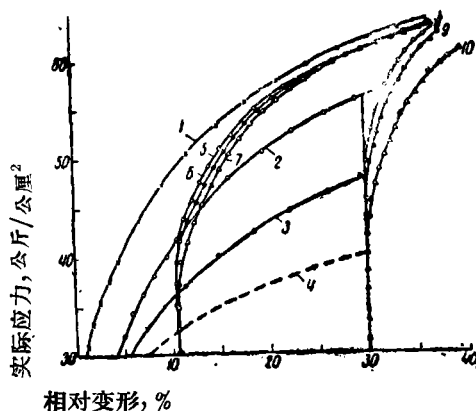


圖3 新熱沾火的杜拉鋁Д1以 v_1, v_2, v_3 的速度压缩达10%和30%;在100°C下时效,随后以 v_1 速度压缩。曲綫的符号仍与圖1相同。

正如所得数据証明的一样,随着时效温度的提高,压缩曲綫的相互位置保持与自然时效时相同,但是,在新鮮沾火状态下变形试样机械性能的降低較少。可是在20, 100, 150°C温度下經過上述時間时效后才变形的试样,其机械性能大致停留在同一水平綫上。在新鮮沾火状态下少許压缩过的试样的变形阻力,是随着时效温度的提高而不断地增加。在新鮮沾火状态下以速度 v_1 压缩达10%,然后在150°C时效之试样的性能,在二次变形时甚至能超过未变形试样的性能。預先变形达30%的试样,在压缩曲綫(圖3, 4的8, 9, 10)的走向中能清楚地發現与未变形试样的压缩曲綫(圖3, 4的1)有相交的趋势。

非常遺憾,我們在分析所得試驗数据时,

未能給予有足够根据的解釋。关于这个問題的資料还很少，因此我們所提出的推断，在很大程度上还是一种假設。

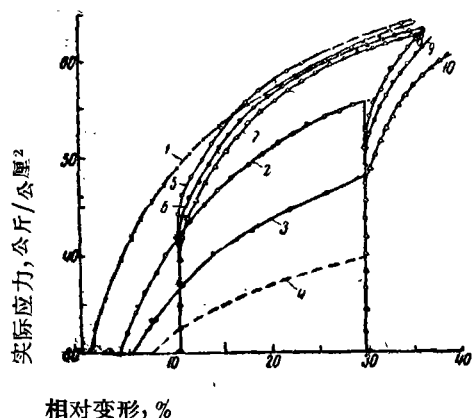


圖4 新鮮沾火的杜拉鋁D1以 v_1, v_2, v_3 的速度壓縮達10%和30%；在150°C下时效隨後以速度 v_1 壓縮。曲線的符号与圖1相同。

大家知道，固溶體的塑性變形能加速分解的過程，增加分解程度，為新相核心的形成創造條件和簡化其凝聚過程（9），假若使用自然时效時，在固溶體晶格上形成溶解元素的高濃度區的話，則在塑性變形時主要是它發生分解而形成新相的質點，並改變晶格參數（10）。可以設想變形金屬在时效時固溶體內的殘留物質，同樣在很大程度上是沿塑性變形時所形成的中心進行分解，此時便會形成大的新相質點。

由於塑性變形在金屬中所產生的應力，能促使定向擴散的形成，而擴散同樣也能使這些應力鬆弛。

上述沾火狀態變形試樣與未變形試樣相比，其機械性能引起下降的原因，顯然是由於上述二個過程的結果。自然，當變形程度增加時，塑性變形本身對分解程度和性質的影響也會增大，因為隨著壓縮的增加，大部分固溶體畢竟也會進行分解。

若外應力較小時，合金在高速下的變形比在低速下少些，這主要是固溶體不僅在變形過程中而且在變形後时效時的分解程度較小的原

因。此外，在高速下變形的歪扭顯然是不太穩定的（11~13），因此，由於擴散而引起的鬆弛應該起較大的作用。

結合上述原因，就能解釋在新鮮沾火狀態下高速變形試樣機械性能顯著降低的原因。

正如我們所認為的一樣，时效溫度的提高應是所觀察效應增加的結果（預先變形試樣機械性能的降低），因為隨著溫度的提高就加強了質點的凝聚，通常這種凝聚能引起機械性能的降低，而且在預先變形的試樣中應該進行得比較強烈些。

在不同时效溫度下試驗的資料證明情況相反，假若塑性變形時，固溶體的個別部分在一般的加速分解情況下，能產生促使這些部分穩定性提高的應力時，這就可以得到解釋。過渡到較高的时效溫度，能促使這些應力的消除和上述部分固溶體的分解。在加熱過程中，消除部分應力時所產生的塑性滑移同樣也能夠促使分解程度的提高和機械性能的增加。

我們仍然認為：时效溫度並非對所有时效合金都有同樣的影響，當質點的凝聚對機械性能的影響比“阻滯”過程劇烈一些時，很顯然，提高时效溫度將會促使新鮮沾火狀態變形試樣變形阻力的下降效應提高。

一系列的研究〔12~14〕證明，金屬塑性變形的條件，尤其是變形速度，能影響這些金屬在同一變形速度下二次變形時的機械性能。這種影響也常在這情況下出現，即在不同的速度下經第一變形達同一程度後的試樣由於二次變形前的鬆弛而出現相同的變形阻力時〔15〕。本試驗證明：塑性變形條件（速度和程度）同樣能影響时效合金的性能及接着變形时效後的機械性能。

作者對 M. A. 波里莎尼娜教授經常關心這一研究並參加結果的討論和草稿的審閱表示感謝。

陳林保譯 鐵浪校