

# 變動實驗條件對鋁合金拉伸試驗之影響

## The influences of the experimental conditions on the tensile test of alloyed aluminum specimens

呂理得

黎明技術學院 材料工程系

**Lee-Der Liu**

Department of Materials Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

劉如真

黎明技術學院 材料工程系

**Ju-Jen Liu**

Department of Materials Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

林本源

黎明技術學院 機械工程系

**Ben-Yuan Lin**

Department of Mechanical Engineering, Lee-Ming Institute of Technology

### 摘要

拉伸試驗是一種基本的機械性質試驗法，可測試材料的抗拉強度、降伏強度以及彈性模數等重要的機械性質，本文的目的在探討不同的應變速率以及試片之外形特徵對拉伸試驗結果的影響。結果顯示，本文中之 A6061-T6 鋁合金圓桿試片在拉伸速率介於 0.05 至 0.2 mm/sec 之間之實驗條件變化時，所測得之機械性質並無明顯的誤差，且抗拉強度及伸長率之實驗結果皆符合規範；但是拉伸試片的標準距離與試片直徑的比值(L/D)必須大於 3 以上，才可能測得合理的機械性質。

## ABSTRACT

Tensile test was a basic inspection on mechanical properties of materials. Tensile strength, yield strength and elasticity modulus can be obtained from tensile test. This article tried to discuss the influences of the tensile rates and specimen shapes characteristics on the alloyed aluminum A6061-T6 bar specimens by means of MTS 810 tensile machine. The results showed that neglected deviation was observed in experimental results on the tensile rates condition between 0.05 to 0.2 mm/sec. Meanwhile, some reasonable experimental results will be inspected when the ratio of gauge length and diameter of tensile specimens, (L/D) value, more than 3.

### 1.前言

拉伸試驗是一種基本的機械性質試驗法，可測試材料的抗拉強度、降伏強度以及彈性模數等重要的機械性質，並可測試材料的伸長率及斷面縮率等塑性指標[1]。

拉伸試驗過程中可能受下列因素影響：

(1)試驗條件：包括夾持方法、施力方式等；

(2)試片條件：包括試片取樣位置、試片取樣方位、試片表面狀況及均勻性等；

(3)環境條件：包括試驗溫度、腐蝕狀況等。

比較容易被忽略的因素有兩種，其一是施力過程的應變率是否合理，其二是試片形狀是否標準，本文的目的便在探討不同的應變率以及試片外形特徵對拉伸試驗結果的影響。

### 2.理論分析

#### 2.1 拉伸速率的影響

理論上，在拉伸試驗過程中，施力在試片上的速率必須儘量緩慢以滿足試片之靜態受力條件，並使試片有足夠的時間產生抵抗的應變，因此一般額定的應變率通常規定低於每秒 0.01 mm/mm [1]，但是在實際測試操作當中，為了能在要求的時間內完成測試，通常會在合理範圍內將拉伸速率酌量增加以提高效率，相對的，也造成某種程度的誤差。

對大多數材料而言，拉伸試驗中的應變率愈大，強度將會隨之增加，為了獲得理論的強度值，理想的試驗條件應為零應變率之方式實施，此種試驗方式乃是先以極小的應力維持施加在試片上，試片承受外力後開始發生內在抵抗而產生微小的塑性應變，同時慢慢的達到力平衡狀態；等到試片完成應變後，便會開始發生應力鬆弛現象，此時施加在試片上的應力便開始逐漸緩慢消失，如圖 1 中之 A 點，此時再疊加一極小的應力繼續施加在試片上，使試片發生應變及鬆弛現象，如圖 1 中之 B 點，重複此步驟，便可獲得一連串的應力平衡點及應力鬆弛點，連接各點之平滑曲線便是理想的應力-應變圖形。如果應變率提高

到每秒 0.1 以上時，降伏強度可能增加 10% 以上，但至多不會高過 20%[2]。

## 2.2 試片形狀特徵的影響

拉伸試片的標準距離與試片直徑的比值(L/D)將會影響伸長率及斷面縮率的實驗結果，一般而言，(L/D)值至少必須大於 2，實驗結果才不會差異太大，標準試片通常以(L/D)值等於 5 為宜。若是試片直徑上有溝槽或缺口，則可視為(L/D)值等於 0 之高度應力集中區，該溝槽或缺口之應力集中將會造成鄰近區域無法塑性變形，實驗結果的伸長率將會減少[3]。

## 3. 實驗方法

本文之試片材料為 A6061-T6 鋁合金棒材，原始直徑為 14.5mm，第一組拉伸試片乃針對不同拉伸速率的實驗而設計，此組拉伸試片之平行部直徑為 12mm，平行部長度為 37.5mm。

第二組拉伸試片乃針對不同(L/D)值的實驗而設計，此組拉伸試片之平行部直徑為 10mm，(L/D)值設計為從 1 至 4，以及在試片直徑上具有溝槽之(L/D)值為 0 之試片，溝槽底部直徑仍為 10mm，試片之示意圖如圖 2 所示。

本文使用 MTS 810 動態拉伸試驗機進行拉伸試驗以準確控制拉伸速率，首先將第一組拉伸試片分別以 0.05、0.1 以及 0.2 mm/sec 之拉伸速率對試片進行拉伸試驗至破斷；接著再將第二組之各種非標準拉伸試片分別以 0.05 以及 0.1 mm/sec 之拉伸速率進行拉伸試驗至破斷；最後將各組鋁合

金拉伸試片之數據分別繪成各種圖形以資分析。另以掃描式電子顯微鏡(JSM5600)觀察破斷面之特徵。

## 4. 結果與討論

### 4-1 不同拉伸速率的影響

從圖 3 可看出使用不同拉伸速率對試片進行拉伸試驗時之時間-伸長量之變化情形，曲線 A 係以 0.2mm/sec 之拉伸速率對試片進行拉伸試驗，僅需時 33 秒，曲線 B 及曲線 C 則是以 0.1mm/sec 及 0.05mm/sec 對試片進行拉伸試驗，試驗時間呈倍數增加，需時 66 秒及 132 秒。三者的試片變形量分別為 6.67、6.59 以及 6.68mm，平均值為 6.65，最大差異值為 0.09，約 1.3%。

從圖 4 則可看出使用不同拉伸速率對試片進行拉伸試驗時之時間-荷重之變化情形，從放大圖形中可看出，當拉伸速率加大時，試片承受之最大荷重有稍微增加的情形，但是增加的幅度相當有限，圖中括號內為各試片荷重之最大值，三種拉伸條件所得之最大荷重平均值為 36.79kN，最大差異值為 0.59kN，約 1.6%。

若將[荷重/原始斷面積]視為工程應力，[伸長量/原始平行部長度]視為工程應變，則可繪成應力-應變圖，如圖 5 所示。三種拉伸條件所得之最大應變值可分別從圖中之橫軸取得為 18、17.6 以及 17.8，平均值為 17.8，最大差異值為 0.2，約 1.1%。抗拉強度值則可分別從圖中之縱軸取得為 328、324 以及 323MPa，平均值為

325MPa，最大差異值為 3 MPa，約 0.9%。

從以上的實驗結果可看出，鋁合金試片(A6061-T6)對於拉伸速率介於 0.05 至 0.2 mm/sec 之間之變化，其機械性質並無明顯的誤差，若與規範中的機械性質比較，鋁合金(A6061-T6)在常溫時的抗拉強度規範應至少為 310 MPa，伸長率應至少為 17% [4]，本文的實驗結果皆可符合規範中之數據，因此在實際操作當中，應可酌以提高拉伸速率至 0.2 mm/sec，以期節省時間，提升效率。

#### 4-2 不同(L/D)值的影響

圖 6 為不同(L/D)值之試片之經由 0.05 mm/sec 之拉伸速率拉伸至破斷之實驗結果，圖中之上圖為荷重-伸長量圖，中圖為應力-應變圖，下圖則為應力-應變圖之放大圖。

從圖 6 中之上圖可看出(L/D)值為 0 (曲線 A)以及(L/D)值為 1 (曲線 B)的試片之最大荷重皆有異常升高的現象，文獻中多有提及溫度與應變率對機械強度皆有顯著之影響，在高溫時強度略為下降，而強度卻隨著應變率增加而提高，在較高的應變率或應力集中的形狀特徵條件下，延性材質會有脆性破壞之趨勢[5-10]。本文中設計的非標準試片具有高度應力集中之溝槽者，(L/D)值為 0，以及具有無法塑性變形的平行部者，(L/D)值為 1，兩者實驗結果的最大荷重異常升高超過正常值 20%以上，而伸長率異常減少僅及正常值之 20%。從圖 7 及圖 8 之破斷面外觀照片及顯微照片。亦可看出此類非標準試片之破斷面具有剪力

及脆性破壞之凹窩微觀特徵，且未觀察到頸縮變形的現象，顯然在此形狀特徵條件下無法測得合理的機械性質。

從圖 6 之應力-應變圖中可看出，曲線 C、D、E 之實驗結果中之抗拉強度皆大於 310 MPa，尚可符合規範中的機械性質，但只有曲線 D 以及曲線 E 之實驗結果之伸長率大於 17%，方可符合規範中的伸長率。由此可見，當拉伸試片之(L/D)值大於 3 以上，才可能測得合理的機械性質。

### 結論

由以上的實驗及討論，可以得到下列結論：

1. 本文中之 A6061-T6 鋁合金圓桿試片對於拉伸速率介於 0.05 至 0.2 mm/sec 之間之實驗條件變化，其機械性質並無明顯的誤差，抗拉強度及伸長率之實驗結果皆符合規範。
2. 本文中之鋁合金圓桿拉伸試片的標準距離與平行部直徑的比值(L/D)必須大於 3 以上，才可能測得合理的機械性質。

### 參考文獻

- [1]. Donald R. Askeland, Pradeep P. Phule, The science and engineering of materials, 4<sup>th</sup> edition, Thomson learning Inc., 232-250, 2005.
- [2]. ASTM Handbook, Volume 8, Mechanical Testing and Evaluation,

- The Materials Information Society, (2000), 124-142.
- [3]. Harmer E. Davis, George Earl Troxell and George F. W. Hauck, The Testing of Engineering Materials, Fourth Edition, McGraw-Hill Book Company, 140-146, 1990.
- [4]. ASTM Handbook, Volume 2, Properties and Selection : Nonferrous Alloys and Special - Purpose Materials, The Materials Information Society, (2000), 62-122.
- [5]. George C. Kaschner and Jeffery C. Gibeling, A study of the mechanisms of cyclic deformation in f.c.c. metals using strain rate change tests, Materials Science and Engineering A336 (2002), 170-176.
- [6]. G. E. Papakaliatakis, Effect of strain rate on crack growth in aluminum alloy 1100-0, Theoretical and Applied Fracture Mechanics 31 (1999) 131-139.
- [7]. Jorg F. Kalthoff and Andreas Burgel, Influence of loading rate on shear fracture toughness for failure mode transition, International Journal of Impact Engineering 30 (2004) 957-971.
- [8]. Woei-Shyan Lee, Wu-Chung Sue, Chi-Feng Lin and Chin-Jyi Wu, The strain rate and temperature dependence of the dynamic impact properties of 7075 aluminum alloy, Journal of Materials Processing Technology 100 (2000) 116-122.
- [9]. Pai-Chuan Lu, The FEM based calculation of crack-tip strain rate for determining the crack growth rate of 304 stainless steel in BWR environments, Nuclear Engineering and Design, 205 (2001) 227-240.
- [10]. C. M. Mcnie, D. C. Barton, E. Ingham, J. L. Fisher and M. H. Stone, The prediction of polyethylene wear rate and debris morphology produced by microscopic asperities on femoral heads, Journal of Materials Science: Materials in medicine 11 (2000), 163-174.

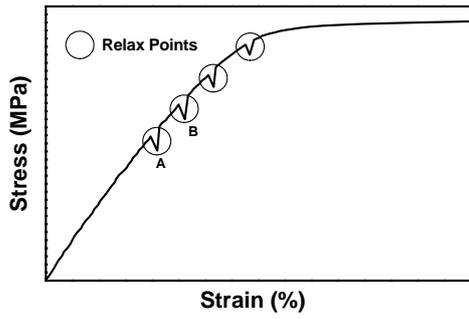


圖 1 零應變率之拉伸試驗示

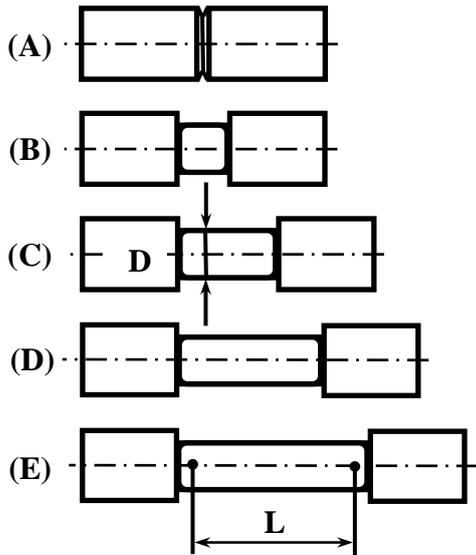


圖 2 不同(L/D)值之試片示意圖。  
其中(A) :  $L/D=0$  ; (B) :  $L/D=1$  ; (C) :  $L/D=2$  ; (D) :  $L/D=3$  ; (E) :  $L/D=4$  。

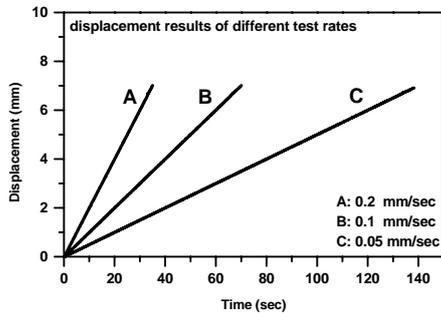


圖 3 以各種不同之拉伸速率對試片進行拉伸試驗之時間-伸長量圖形。

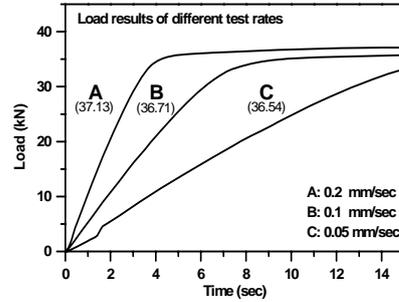
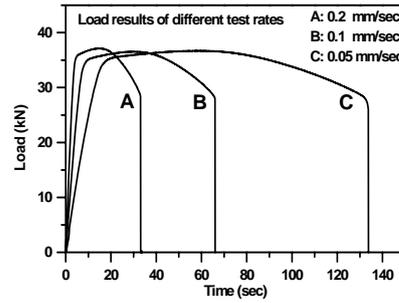


圖 4 以各種不同之拉伸速率對試片進行拉伸試驗之荷重-伸長量圖形。上圖為全部之圖形，下圖為彈性範圍內之放大圖形，括號內為各試片荷重之最大值。

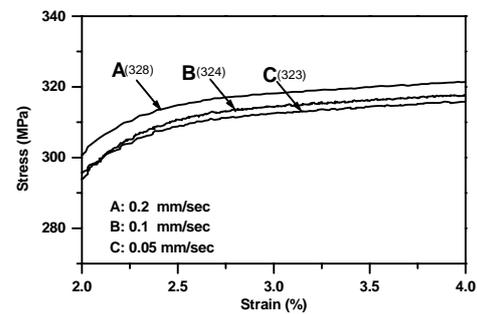
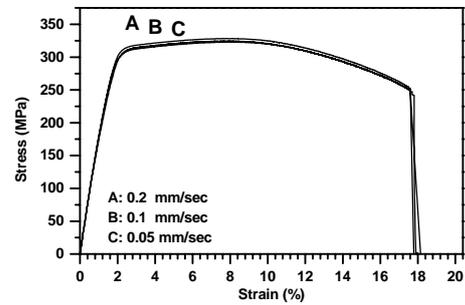


圖 5 以各種不同之拉伸速率對試片進行拉伸試驗之應力-應變圖形。上圖為全部之圖形，下圖為放大圖形，括號內為各試片之抗拉強度。

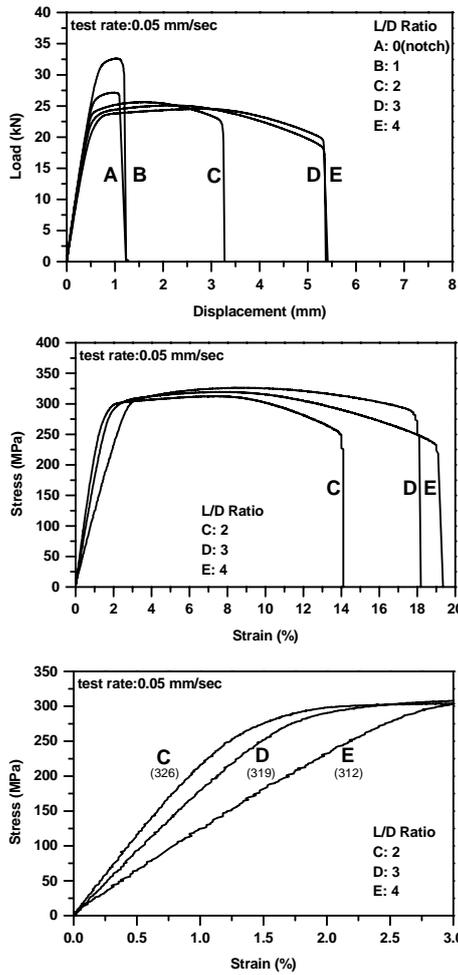


圖 6 不同(L/D)值之實驗結果，上圖為荷重-伸長量圖，中圖為應力-應變圖，下圖為應力-應變圖之放大圖。拉伸速率為 0.05 mm/sec。

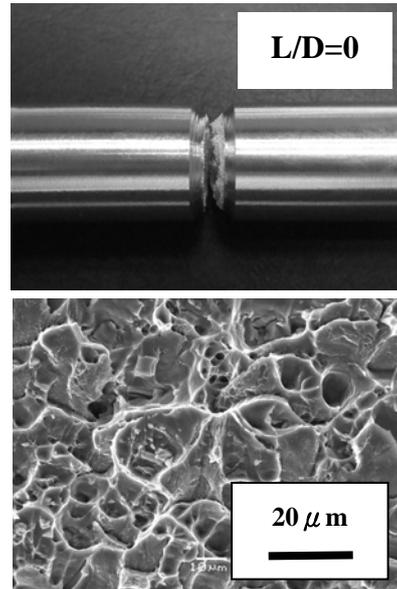


圖 7 L/D 值為 0 之試片破斷面照片及顯微照片。

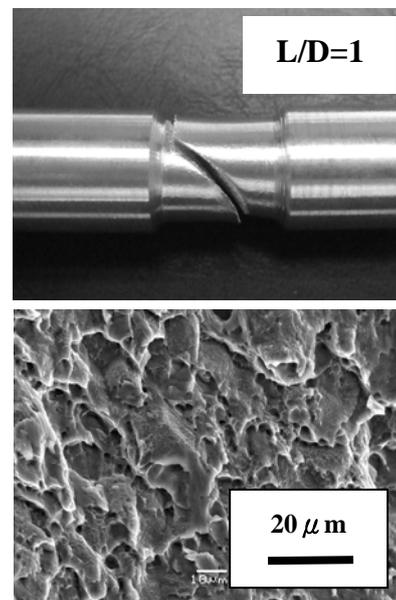


圖 8 L/D 值為 1 之試片破斷面照片及顯微照片。