研究ノート

1100-H18および-H24アルミニウム薄板のサイクル引張試験初期における弾性および塑性挙動

綱川 資成*・猪瀬 重行**・秋元佐知子*
五箇野茂樹*・一川 邦彦***

Elastic and plastic deformation behavior at initial stage of cyclic tensile test of 1100-H18 and -H24 aluminum alloy thin sheet

Sukenari TSUNAKAWA*, Shigeyuki INOSE**, Sachiko AKIMOTO*
Shigeki GOKANO* and Kunihiro ICHIKAWA***

1. 緒 言

純アルミニウム薄板の引張試験で、一般に弾性領域とされている範囲内での塑性変形の混在状態を検討した。非鉄金属とくにアルミニウムでは、引張試験で明確な降伏点を示さず、したがって0.2%の残留歪を生ずるときの応力を耐力とするなど低剛性材料特有の取扱いがなされている¹⁾。また、アルミニウム1100材の力学的特性の測定法についても、成形性試験値との関連において詳細な報告がある²⁾。しかし、微小な歪を与えたときの塑性歪、弾性歪の混在状態を詳細に検討した例は少ない。また、疲労試験としてのサイクルテストは主に合金系を対象にし、通常10⁴回以上の繰返しで行われている。そして、低サイクル疲労試験においても、破断までの繰返し数と歪、応力の関係を論じたものが一般である³⁾。サンドイッチ型積層複合材などでは、表面処理性、加工性の要求から純アルミニウム薄板を面材としており、また製品の寸法安定性などの実用面から、微小な変形が繰り返されるときのごく初期の力学的特性を把握することが重要であるため本研究に着手したものである。

歪制御サイクル引張試験を、平行部長さ65 mm の試

験片について微小変位すなわち0.1 mm (歪0.16%) から1.5 mm (歪2.3%) の範囲で行い、繰返回数に応じた上限荷重の変化を観測した。上限変位を一定に設定しても、繰返回数の増加に伴って、上限荷重が低下または増大することが知られているが⁴⁾本実験ではH18およびH24ともに荷重は徐々に低下する軟化現象を呈した。開始直後の応力低下はとくに著しく、また繰返回数の増加とともに試料に伸びが発生していることも確認され、このサイクルテストで塑性変形が同時に発生している。繰返回数を150回として、その間の荷重と歪の関係を詳細に検討し、上記変位の範囲でのH18およびH24材の弾性歪、塑性歪の割合についての知見を得ることを試みた。

2. 実験方法

引張試験機は、島津製作所製のオートグラフAG-5000Bである。サイクル引張試験のテスト条件は、クロスヘッドスピード0.05 mm/s (3 mm/min) で歪速度は7.7×10⁻⁴/s、変位の上限 (以下 $\Delta l_{\max}$ とする) は0.1 mm から1.5 mm までに設定した。まず試験片に $\Delta l_{\max}$ の変位を加えて所定の歪を与えたのち、除荷して荷重が

* 桐蔭学園横浜大学工学部 (横浜市)。Engineering Dept., Touin University of Yokohama. (Yokohama-shi, Kanagawa).

** 桐蔭学園横浜大学工学部 (横浜市) [現在: 古河アルミニウム工業(株) (小山市)]。Engineering Dept., Touin University of Yokohama. (Yokohama-shi, Kanagawa) [Present: Furukawa Aluminum Co. (Oyama-shi, Tochigi)].

*** アルポリック社開発部 (東京都)。Research and Development Div., ALPOLIC Co. (Shibuya-ku, Tokyo).

受理日: 平成4年7月6日

0 kgf になる位置を下限 (以下 $\Delta l_{\min}$ とする) とした。すなわち完全弾性体ならば $\Delta l_{\min}$ は 0 となるべき量である。この関係を試験片形状とともに Fig. 1 に図示する。上, 下限における停止時間はともに 1 s である。繰返回数 N の増加とともに, 荷重の上限値 ($\sigma_{\max}$ とする) は減少する。この減少の割合が一定になるまでサイクル試験を続行した。 N が 150 で終了とした。すなわち 1 テスト条件ごとに 1 つの $\Delta l_{\max}$ が設定されており, $\Delta l_{\min}$ と $\sigma_{\max}$ はその中で N に応じて変化するわけである。 N 回目における上限応力と下限の変位量を, それぞれ $\sigma_{\max}^N$ と $\Delta l_{\min}^N$ と書く。

試料は純アルミニウム, 1100-H18 および H24 で厚み 0.19 mm の薄板を使用した。試験片形状は JIS5 号に準じて, 全長 150 mm, 平行部分の長さ 65 mm で幅は 25 mm である。チャック部分の幅は 30 mm で肩部は半径 15 mm の円弧である。試験片が薄板であり, 標点間追尾装置を装着すると試料が変形してしまう。歪ゲージを使用し, また試験片表面に基盤目模様をつけての単純引張試験を行った結果では変位は平行部のみで発生していることが確認できた。

3. 結果と考察

試験開始直後の数サイクルは上限の荷重 $\sigma_{\max}^N$ が急速に低下する。とくに初回は大きな塑性変形を伴っているが, 2 回目以降は荷重と変位はほぼ直線関係と考えられる。サイクル試験のチャートを Fig. 2 に示す。初回の 1 サイクルでは特に所要時間すなわち変位量が大きく,

Fig. 1 Shape and size of repeated tensile tests specimen.

(a) Specimen in mm, (b) Shape at the maximum deformation, (c) Shape at the unloaded condition

激しい塑性変形を伴っていることが分かる。

$\Delta l_{\max}$ を増加させるに従って塑性変形量も大きくなり, 永久歪が発生して試料に伸びがでる。それにつれて $\Delta l_{\min}$ も上昇する。この値と軟化の程度とは相関があると予想され, 軟化が顕著なほどその値は大きくなるであろう。 $\Delta l_{\max}$ と $\Delta l_{\min}^{50}$ の関係をプロットした結果を Fig. 3 に示す。調質によってその結果に差がでることが予想されるが, H18 では $\Delta l_{\max}$ 0.6 mm (歪 0.92%) より 1.5 mm の範囲で直線関係がある。一方, H24 では 0.3 mm (歪 0.46%) より 1.5 mm の範囲で直線関係が認められた。その下限値 $\Delta l_{\min}$ は 0.1 mm 近傍を除いて $H24 > H18$ であり, 当然 H24 がより大きな塑性変形を含み激しい軟化を示している。

このグラフにおいて, H18 と H24 の直線部分の勾配は等しい。そしてまた, $\Delta l_{\max} = \Delta l_{\min}^{50}$ なる直線とも平行である。これは $N=150$ の繰返引張において, H18 では $\Delta l_{\max}$ が 0.6 mm (歪 0.92%) 以上, H24 では $\Delta l_{\max}$ が 0.3 mm (歪 0.46%) 以上においては, 一定の弾性変形と $\Delta l_{\max}$ に比例した塑性変形とが同時に起こっていること

Fig. 2 Typical autograph output chart of the repeated tensile tests. (H18: $\Delta l_{\max} = 0.9$ mm)

Fig. 3 Relation between maximum displacement and the minimum displacement at the unloaded position.

Fig. 4 Relation between maximum displacement and the percentage of the elastic deformation.

Fig. 5 Relation between load at the maximum deformation position and the number of cycles. Typical diagram of $\log \sigma_{\max}^N$ vs $\log N$. (H24: $\Delta l_{\max} = 0.6$ mm)

を示している。それぞれの直線部分を $\Delta l_{\max} = \Delta l_{\min}^{150}$ に一致させるための平行移動距離は、H18で0.38 mm, H24で0.19 mm であり、この値が弾性変形の変位量に相当し、それぞれの弾性歪は0.58%と0.29%である。

また、弾性変形の全変位に対する割合を示すものとして $(\Delta l_{\max} - \Delta l_{\min}^{150}) / \Delta l_{\max}$ をとり、これをパーセントで表して $\Delta l_{\max}$ に対してプロットしたのが Fig. 4 である。H18では上限が0.1 mm から0.4 mm までは上に凸、そこから1.5 mm までは下に凸の逆S字型の曲線となるが、H24ではほぼ全域にわたって下に凸の曲線である。すなわち純アルミニウムの場合、H18では歪が0~0.25%までの範囲では弾性変形の割合が90%以上でありほぼ弾性領域といえるが、H24では歪が0.16%以上になると歪の増大とともに塑性変形の増加が認められる。

このサイクル引張試験条件での σ と N との関係を実験式で表現することを試みた。試験機に内蔵されたプログラムによって荷重値をテスト中に直接読みとり、 N に対して両対数グラフにプロットした。このグラフによると

$$\log \sigma_{\max}^N = -a \log N + b \quad (1)$$

Fig. 6 Relation between a_1 , a_2 and N . a_1 and a_2 correspond to the softening behavior of $N \leq 3$ and $4 \leq N \leq 150$ respectively.

すなわち、

$$\sigma_{\max}^N N^a = 10^b \quad (2)$$

なる関係が成立する。この a と b は材質とテスト条件によって特有の値を持つが、H18, H24それぞれについてすべてのテスト条件における(1)のグラフを作った。その1例を Fig. 5 に示す。それを直線で近似しておのにおける a, b を求める。この繰返回数と荷重減少の挙動はその加工軟化の程度を示しているが、Fig. 5 に示すごとく、初期塑性変形が著しい領域 ($N \leq 3$) と、それ以外 ($N > 3$) の二つの部分に分けて考えることができる。それぞれの領域に対応する実験式の定数 a, b を、 a_1, b_1 および a_2, b_2 とし、これらを0.1 mm きざみでの $\Delta l_{\max}$ に対して求めた。そのうちの a_1, a_2 の値と $\Delta l_{\max}$ との関係を Fig. 6 に示す。H24においては a_1, a_2 とともに $\Delta l_{\max}$ が0.4 (歪0.62%) まで急激に増加し、のちほぼ一定値を保つ。一方、H18においては a_1 は $\Delta l_{\max}$ が0.6 mm (歪0.92%) まで急激な増加を示すが、それ以上でも引き続き上昇の傾向にある。

これらを面材としたポリエチレンシートとの複合板についても同様のサイクルテストを実施しているが、初期の $\sigma_{\max}^N$ の減少、つまり塑性変形量が面材のみの場合に比べて極端に少ないことが確認されている。こうした実験から、複合効果を評価することが可能になると思われる。今後は、種々のサンドイッチ型複合材についても詳細に検討していく計画である。

4. 結 言

1100アルミニウム薄板 H18 および H24 について歪制御サイクル引張試験を行い、その初期の150サイクルについての変形挙動を検討し次の結論を得た。

(1) 最初の3サイクルで激しい塑性変形が見られ、それ以降は最大変位に比例した塑性変形と一定の弾性変形が重ね合わさった状態になる。

(2) H18は歪が0~0.25%の範囲では、弾性変形の割合が90%以上である。しかし、H24では歪0.16%以上から塑性変形の増加がみとめられる。

(3) サイクル回数が増すごとに最大変位に対する荷重が減少していくが、横軸に回数、縦軸に荷重のそれぞれ対数をとってその勾配を求めた。その値を最大変位に対してプロットすると、H24では歪0.62%以上ではほぼ一定となるが、H18では歪1.6%にいたっても引き続き

増加の傾向を示す。

参 考 文 献

- 1) たとえば、材料試験：河本 実，朝倉書店，p. 15 など。
- 2) A1100板の成形性，軽金属学会，研究委員会・金属成形部会，(1982)。
- 3) 竹内勝治：アルミニウム合金の疲労強度，軽金属溶接構造協会，(1990)。
- 4) たとえば，材料強度学：井形直弘，培風館，p. 182 など。