

アルミニウム合金 A5052 の張出し成形性

Stretch-formability of aluminum alloy 5052

加藤 伸和

Nobukazu KATO

指導教員 大澤 泰明

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

The purpose of this paper is to study the stretch-formability of aluminum alloy 5052. Accordingly the sheet aluminum alloy(A5052-O) specimens of several geometries were stretched in in-plane with the biaxial testing apparatus and in out-of-plane with the deep drawing machine. As a result, strain paths, yield surfaces and forming limit curves(FLC) for in-plane and out-of-plane were calculated, then comparison between in-plane and out-of-plane stretch-formability was drawn and considered.

Key Words: in-plain, out-of-plain, strain path, yield surface, forming limit curve

1. 緒言

地球環境問題への対応の観点から、自動車業界は車体の軽量化、リサイクル性が重要視されるなか、アルミニウム合金が鋼材の代替材として自動車部位に使用され、今後も需要拡大が予測されている。大抵の自動車ボディシートはプレス加工で成形され、その中でも張出し変形を受け製品になる割合が多い。今後さらなる使用に際し、その張出し成形性に関して把握し、基礎データを集積することが重要である。また実際のプレス加工は面外変形で加工されるが、面内変形に対して展開されている塑性力学の不安定、FLD理論が便宜的に適用されており、面内及び面外変形の差異について理解することも重要である。

本研究ではA5052-O板材を用いて、面内張出し試験及び半球頭ポンチによる面外張出し試験を行い、面内及び面外張出し性を比較、考察する。

2. 実験

2.1 供試材

供試材は、多用途で使用されるアルミニウム合金 A5052-O(公称板厚 1mm)を使用した。JIS5 号単軸試験片を用い、クロスヘッド速度(C.H.S.)を 10mm/min、室温で単軸引張試験を行った。得られた機械的特性値を Table.1 に示す。

Table.1 Mechanical properties of A5052-O

Alloy	Direction	Y.S.(MPa)	U.T.S.(MPa)	Uniform Elongation	
A5052-O	0°	90	188	0.21	
	45°		184		
	90°		177		
Local Elongation		Total Elongation		n value	\bar{n}^*
0.07		0.28		0.26	0.26
				0.26	
				0.25	
r value	\bar{r}^*	Δr^{**}	F value(MPa)	\bar{F}^* (MPa)	
0.74	0.72	0.00	354	340	
0.72			340		
0.70			322		
$*\bar{x} = \frac{x_0 + 2x_{45} + x_{90}}{4}$		$**\Delta r = \frac{r_0 + r_{90} - 2r_{45}}{2}$		$***\dot{\epsilon}_0 = 6.67 \times 10^{-3} s^{-1}$	

2.2 面内張出し試験

試験片形状を Fig.1(a)(b)に示す。試験片中心部はひずみを集中させるため 33%NaOH 水溶液で腐食させ、中心部を薄くした。なお、各々の試験片にはひずみ計測のため、5mmの円と一辺5mmの正方格子のスクライブドサークルを印刷した。

試験は面内二軸試験機¹⁾を用い、5種類の公称ひずみ比($\epsilon_0=0.00, 0.33, 0.50, 0.67, 1.00$)になるように試験片のR.D.方向のC.H.S.を1.7~5.0mm/min、TD方向のC.H.S.を0.0~2.7mm/minに変化させ、試験片中心部周辺が破断するまで室温で行った。なお、

ひずみ計測のため試験中の様子をビデオカメラで撮影した。

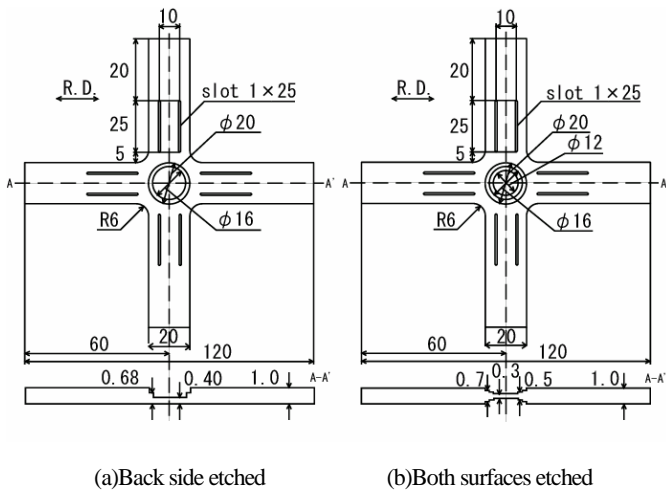


Fig.1 In-plane stretching specimens

2.3 面外張出し試験

試験片は Fig.2 (a) ~ (c) を用いた。Fig.2(b)(c)の中央部は、ポンチ底部での破断を誘発させるため 33%NaOH 水溶液で腐食した。なお、各々の試験片にはひずみ計測のため、スクライブドサークルを印刷した。

試験は自動万能深絞り試験機(東京試験機製作所)を用い半球頭ポンチを取り付け、しわ押さえ圧 2500kgf/m²、ポンチ速度 10mm/min、室温で行った。なお、ひずみ計測のため試験中の様子をビデオカメラで撮影した。

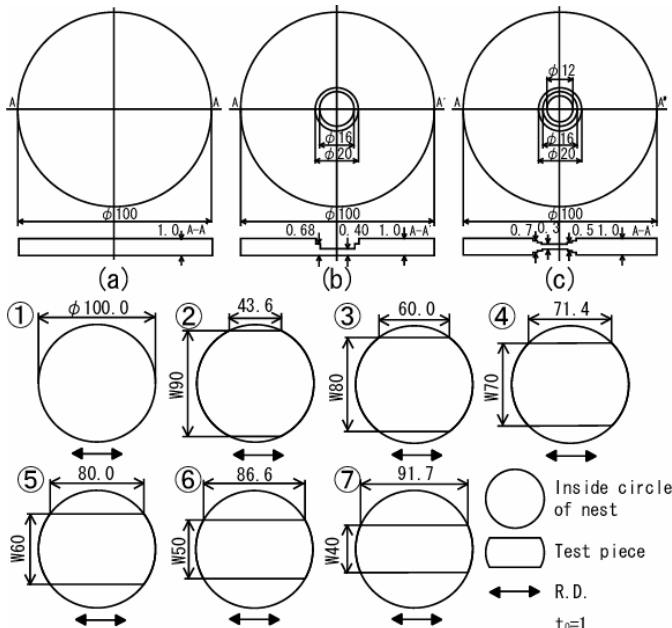


Fig.2 Out-of-plane stretching specimens

3. 実験結果

3.1 基礎式

・ひずみ比
$$\beta = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} = \frac{(1+r)\alpha - r}{(1+r) - r\alpha} \quad (1)$$

・応力比
$$\alpha = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{(1+r)\beta + r}{(1+r)\beta + (1+r)} \quad (2)$$

・相当ひずみ
$$\epsilon_{eq} = \frac{1+r}{\sqrt{1+r}} \left[\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2 + \frac{2r}{1+r} \epsilon_1 \epsilon_2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

・相当応力
$$\sigma_{eq} = \left(\sigma_1^2 + \sigma_2^2 - \frac{2r}{1+r} \sigma_1 \sigma_2 \right)^{1/2} \quad (4)$$

3.2 考察

面内及び面外のひずみ経路をFig.3, Fig.4, 後続の降伏曲面を Fig.5, Fig.6に示す。参考のためFig.3, Fig.4に均質・等方材に対するSwift, Hill, S-Rの成形限界を, Fig.3に実験から得られた面内におけるMg合金圧延材AZ31-Oの成形限界を併記した。ひずみ経路に関して、現在Al, Mgともに期待されている材料だが、Alの方が張出し性が優れていることがFig.3より明らかである。面内における成形限界は、Swift, Hill, S-Rの成形限界より小さくなった。Swift, Hill, S-Rの成形限界近くまで達しないことから、試験片形状に問題があると考えられる。また面外は面内と比べやや成形限界が大きいが、Swift, Hill, S-Rの成形限界より小さくなった。これは板厚方向の応力・ひずみ勾配の影響によるものだと考えられる。面外では板厚の異なる三種類の試験片を用いたが、板厚の影響より薄いものは、成形限界が小さくなるのがわかる。降伏曲面に関して、面内、面外の後続の降伏曲面は目立った違いはなかった。

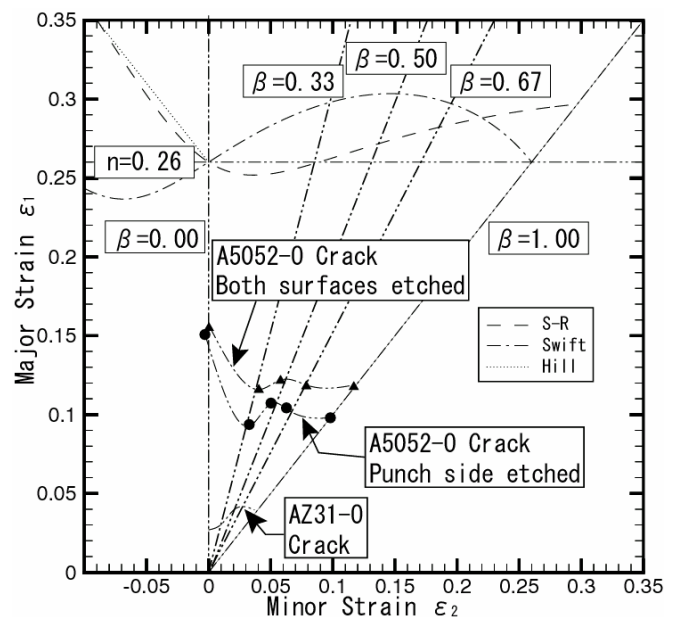


Fig.3 In-plane stretching ϵ_1 vs ϵ_2 (Back side and Both surfaces etched)

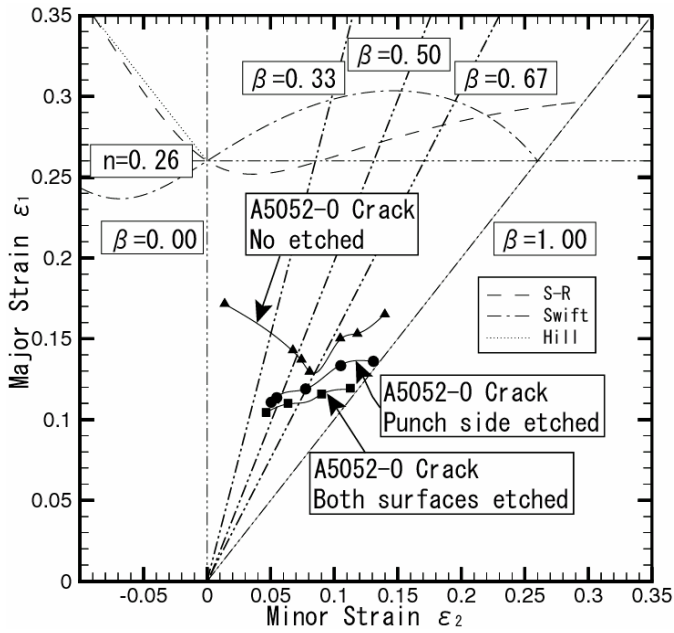


Fig.4 Out-of-plane stretching ϵ_1 vs ϵ_2
(No, Punch side and Both surfaces etched)

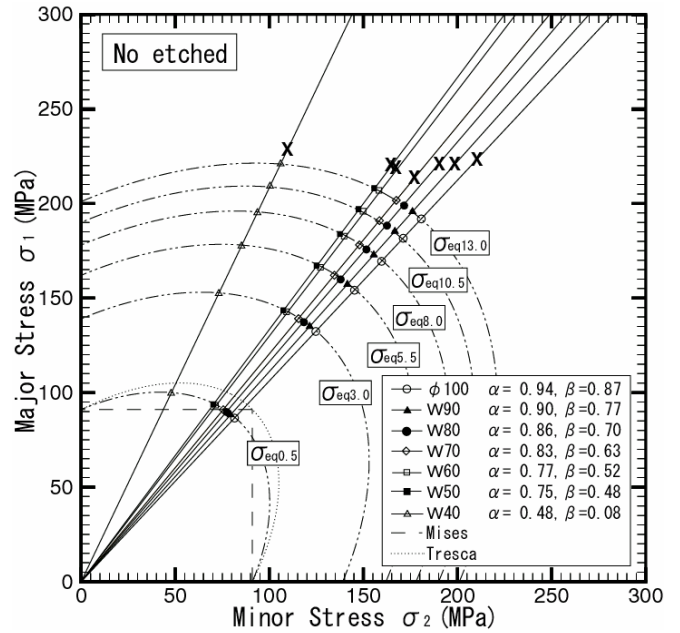


Fig.6 Out-of-plane stretching σ_1 vs σ_2 (No etched)

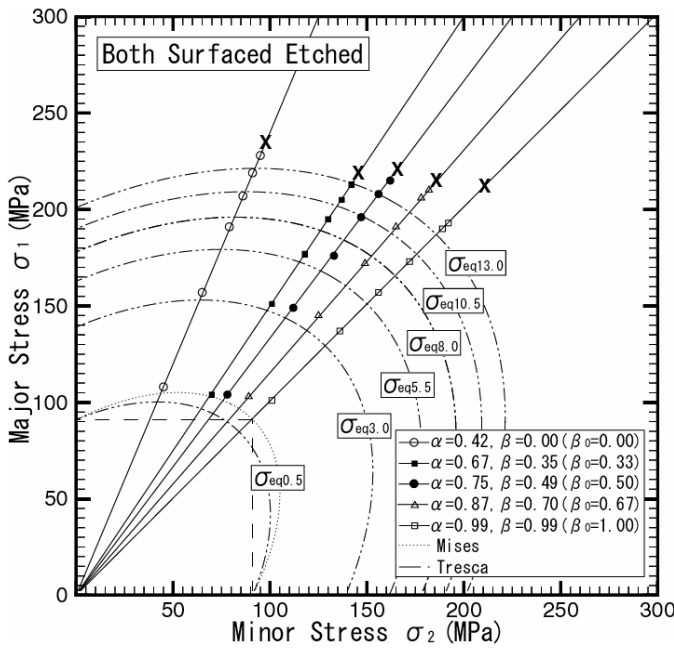


Fig.5 In-plane stretching σ_1 vs σ_2 (Both surfaces etched)

4. 結論

A5052-0の張出し性について、面内における成形限界が均質・等方材に対するSwift, Hill, S-Rの成形限界に近づいていないことから、今後面内張出し試験片の改良が望まれる。また面外での成形限界がSwift, Hill, S-Rの成形限界とかなりの差が生じた。このことにより面外変形における成形限界の確立が必要だと考える。

参考文献

- 1) 吉水源宏, 桑原俊彦, 磯野宏秋, 戸次洋一郎, 大澤泰明, 面内二軸引張応力下におけるアルミニウム合金板材の変形挙動, 軽金属, 53-7, pp.284-289, (2003).