

(技術資料)

自動車パネル用アルミニウム合金板材の伸びフランジ成形

Stretch Flange-ability in Aluminum Alloy Sheets for Automotive Body Panels



高木康夫*
Yasuo Takaki



増田哲也*
Tetsuya Masuda



松元和秀**
Kazuhide Matsumoto

Stretch flange-abilities in 5000 and 6000 series aluminum alloy sheets were investigated using the hole expansion test. The hole expansion limit () of 5000 series aluminum alloy sheets was directly affected by the piercing tool clearance and the work hardening behavior of the hole edge. The effect of cut off punching on in 5182 and 6022 alloy sheets was also investigated. For 6022 alloy sheets, the -value was improved by cut off punching, however there were no effects observed for 5182. Obviously, the work hardening behavior on the 2nd punched hole edges for 6022 and 5182 alloys are different.

まえがき = 近年、自動車ボディの軽量化のため、エンジンフードやトランクリッドなどのパネルへのアルミニウム合金板（以下アルミ合金板）の適用が増加しており、主として5000系（Al-Mg系）と6000系（Al-Mg-Si系）のアルミ合金が用いられている¹⁾²⁾。これらのアルミ合金板を自動車ボディ部品に成形加工する際には、鋼板と比較して成形性の劣ることが課題となる場合があり、特に鋼板との差異が大きい成形要素の一つに伸びフランジ性が挙げられる³⁾。

従来より鋼板では伸びフランジ性について詳細な調査が行われており、せん断（打抜き）型クリアランス等のフランジ端加工条件によって伸びフランジ性が大きく変化し、一般に切削加工の場合よりも成形限界が低下することが知られている。また、この伸びフランジ成形限界を向上させる技術として、削り抜き法⁴⁾や局部焼鈍⁵⁾が提案され、効果が検証されている。しかし、アルミ合金板においては伸びフランジ性についての報告例は少なく、打抜きクリアランスの影響は小さい³⁾との報告もあるが十分明確にはされていない。また、高温で穴広げ試験を行うことで伸びフランジ成形限界の向上を検討した例が報告されている⁶⁾ものの、前記の削り抜き法や焼鈍による効果を評価した例は見られない。鋼板において伸びフランジ性との相関が知られている極限変形能や加工硬化特性について、アルミ合金板と鋼板では大きく異なっており、またアルミ合金の種類や調質によっても差異が大きい。

本研究では、加熱による素材特性の変化が小さい5000系O材を用いて、伸びフランジ性に及ぼす打抜き型クリアランスの影響、および焼鈍による伸びフランジ性の向上効果を調査した。また、加工硬化特性の大きく異なる5182-O材および6022-T4材を用いて削り抜き法による伸びフランジ成形限界の向上効果を調査した。

1. 実験方法

1.1 供試材

自動車構造部品用として代表的な非熱処理型アルミ合金板である5052-O、5154-O、5182-Oの2.5mm厚材を、打抜きクリアランスの影響試験および打抜き後焼鈍する試験に用いた。また、5182-Oと、自動車パネル部品用途として代表的な熱処理型アルミ合金である6022-T4の各2.0mm厚材を削り抜き法の試験に用いた。表1に供試材の機械的性質を示す。

1.2 初期穴加工

打抜き穴加工条件の影響を調査するため、表2左欄に示す通常のパンチおよびダイを用いて、クリアランスを供試材板厚の5～40%となる条件で穴径20mmの初期穴加工を行った。また、表2右欄に示す段付きパンチ(図1)

表1 供試材の機械的性質

Table 1 Mechanical properties of specimens

Alloy	Temper	Thickness (mm)	Mechanical properties		
			TS (MPa)	YS (MPa)	El. (%)
5052	O	2.5	209	85	26
5154	O	2.5	241	113	25
5182	O	2.5	283	155	28
5182	O	2.0	280	135	30
6022	T4	2.0	235	130	28

表2 初期穴加工に用いた工具条件

Table 2 Tool conditions of piercing and cut-off punching (mm)

Conventional piercing		Cut-off punching		
Punch	Die	1st Punch	2nd Punch	Die
20	20.25	19.2	20	20.25
	~ 21	19.6	20	20.25

*アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 アルミ板研究部 **アルミ・銅カンパニー 真岡製造所 技術部

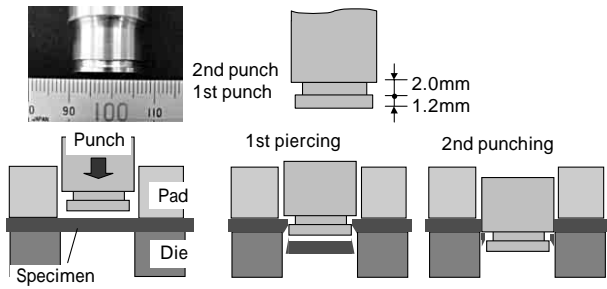


図1 削り抜きパンチと削り抜き法の模式図
Fig. 1 Schematic figures of one stroke cut-off punching

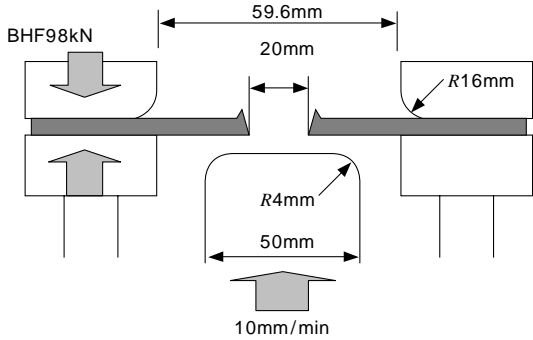


図2 穴広げ試験条件
Fig. 2 Tool dimensions of hole expanding test

を用いて1ストロークで削り抜きを行う方法⁴⁾により、同様に穴径20mmの初期穴加工を行った。さらに比較として機械切削加工による試験片も作成した。これらの穴加工試験片について、穴端部の外観および断面観察を行った。

1.3 穴広げ試験

初期穴加工を行った各試験片を用いて穴広げ試験により伸びフランジ性を評価した。穴広げ試験には図2に示す工具を用い、かえりをダイス側とし、一般の洗浄防錆油をパンチ接触部のみに塗布して、しわ押え圧を98kNとする条件で行った。伸びフランジ性の評価は穴縁で板厚を貫通する割れが発生した時点の穴径を D 、初期穴径を D_0 として(1)式により限界穴広げ率を算出し、これを伸びフランジ性の指標とした。なお、穴径の測定は圧延方向に対して 0° 、および 90° 方向で測定し、この平均値とした。

$$=(D - D_0) / D_0 \times 100 (\%) \dots \dots \dots (1)$$

1.4 硬度測定

打抜き後の穴端近傍での加工硬化を調査するため、圧延方向に平行に試験片を切り出し、穴縁近傍の断面にて硬度測定を行った。硬度は、荷重を1.96Nとしてマイクロピッカース硬度計を用いて測定した。

2. 実験結果

2.1 穴広げ率に及ぼす打抜きクリアランスの影響

板厚 t 2.5mmの5052-O, 5154-O, および5182-O材を用いて打抜きクリアランス (C) を変えた場合の限界穴広げ率の変化を図3に示す。いずれの打抜き条件においても、5052が最も高く、次いで5154, 5182の順となった。また、打抜きクリアランスが20~25%の条件では最大値を示し、これよりも大きい条件では低下し

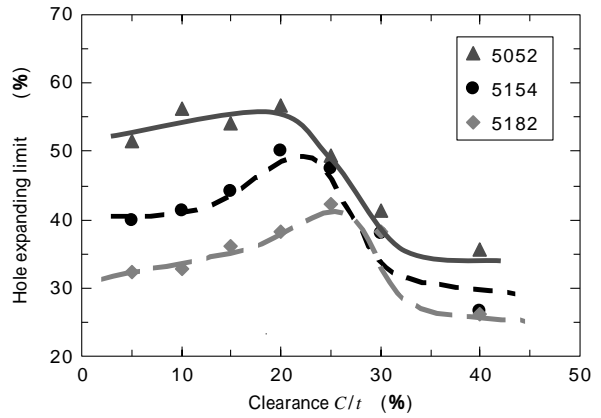


図3 限界穴広げ率に及ぼす打抜きクリアランスの影響
Fig. 3 Effect of clearance on hole expanding limit

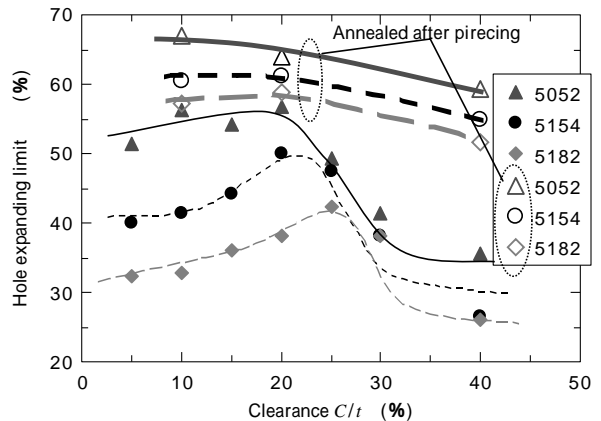


図4 打抜き後の焼鈍による限界穴広げ率の変化
Fig. 4 Variation of hole expanding by annealing after piercing

た。打抜きクリアランスが20~25%よりも小さい条件でも低下するが、この傾向は合金によって異なり、5182と5154では明確に見られるが、5052では小さい。

2.2 穴広げ率に及ぼす打抜き後焼鈍の効果

前項と同じ板厚2.5mmの5052-O, 5154-O, および5182-O材を用いて、穴打抜き後に350 x 2hの焼鈍処理を行い、穴広げ試験を行った場合の限界穴広げ率の変化を図4に示す。焼鈍処理により、いずれの合金および打抜きクリアランスの条件でも向上し、特に焼鈍無しの条件での低下が見られた打抜きクリアランスが大きい条件(40%)および小さい条件(10%)での向上が顕著であった。この結果、焼鈍無しの場合と比較して、打抜きクリアランスが20~25%で極大値を示す傾向は同様であるものの、クリアランスによる差異は非常に小さくなった。また、合金間の差異についても焼鈍無しの場合と順位は同様であるが差異が縮小される傾向が見られた。

2.3 穴広げ率に及ぼす削り抜きの効果

板厚2.0mmの5182-Oおよび6022-T4材を用いて削り抜きパンチを用いた穴加工と、穴広げ試験を行った。表2および図1に示すように、今回の試験に用いた2種類の削り抜きパンチでは、1段目に19.6mm, 19.2mmのパンチでそれぞれクリアランス16.3%, 26.3%に相当する条件での穴打抜きを行い、この穴端部を20.0mmの2段目パンチで削り取ることで最終的に20mmの穴加工を行う。この際、2段目パンチで削り取る取り代

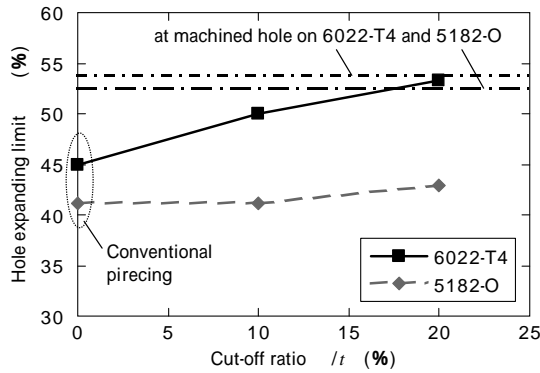


図5 限界穴広げ率に及ぼす削り率の影響
Fig. 5 Effect of cut-off ratio on hole expanding limit

を板厚比で表した指標を削り率とし、今回の実験ではそれぞれ10%、20%とした。また、比較として通常打抜き穴および機械加工穴についても同様に穴広げ試験を行った。この際、比較の通常パンチは削り抜きパンチで2段目の削り時と同じクリアランス6.3%となる条件とした。

削り率がに及ぼす影響を、通常打抜きおよび機械加工との比較も併せて図5に示す。今回の実験条件において、6022材では削り率が大きい程が向上し、削り率20%では機械切削加工穴の場合とほぼ同等となった。一方、5182材においては、いずれの削り率条件においてもの向上効果は見られず、ほぼ同じ値となった。

3. 考察

3.1 打抜きクリアランスおよび焼鈍による穴端性状の変化

打抜きクリアランスによる限界穴広げ率の変化は、図4の結果より打抜き時に生じる穴端部の加工硬化による影響が大きいと示されたことから、打抜きクリアランスによる加工硬化挙動を調査した。穴端面から0.25mm部位にて測定した断面硬度の結果を図6に示す。ここでは、図中模式図の通り端面形状に沿った0.25mm部位でダレ側表面から0.25mmピッチで全板厚にわたり9点測定した平均値を用いた。打抜き後の断面硬度はクリアランスの増加に伴って表面からほぼ直線的に増加しており、図3の穴広げ試験に見られたようなクリアランス20~25%で極大を示す傾向とは対応しない。一方、打抜き穴加工端面の観察結果から、図7に示すように5154-Oおよび5182-Oではせん断面の比率がクリアランス約20%で極小となる傾向があり、図3のとほぼ逆の相関関係が見られる。これは、5052-Oではクリアランス20%以下の小さい条件で、の低下およびせん断面比率の増加が明確には見られない点でも同様である。図8に5052-Oと5182-Oについて、クリアランス10%条件でのせん断加工後および焼鈍後の穴端近傍の断面組織を示す。せん断加工後でもメタルフローがわずかに見られるが、焼鈍後では明確に結晶粒の粗大化が見られ、この部位でせん断加工時にひずみが加わっていることが分かる。この粗大化部位はせん断面下部で最も大きく、5052-Oと比較してせん断面比率がより大きい5182-Oの方がより広い範囲で顕著に生じている。また、粗大化部位は

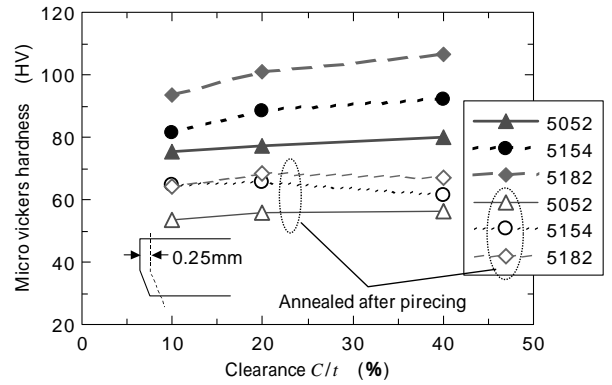


図6 穴端近傍の断面硬度に及ぼす打抜きクリアランスの影響
Fig. 6 Effect of clearance on cross sectional hardness near edge of hole

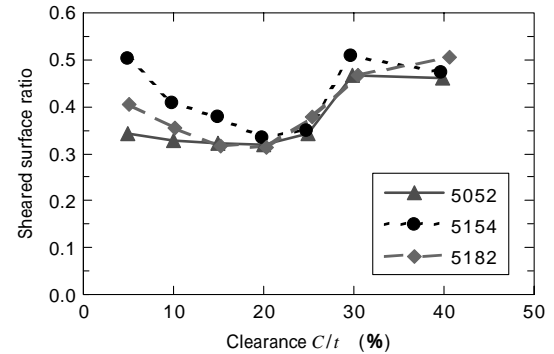


図7 せん断面比率に及ぼす打抜きクリアランスの影響
Fig. 7 Effect of clearance on sheared surface ratio

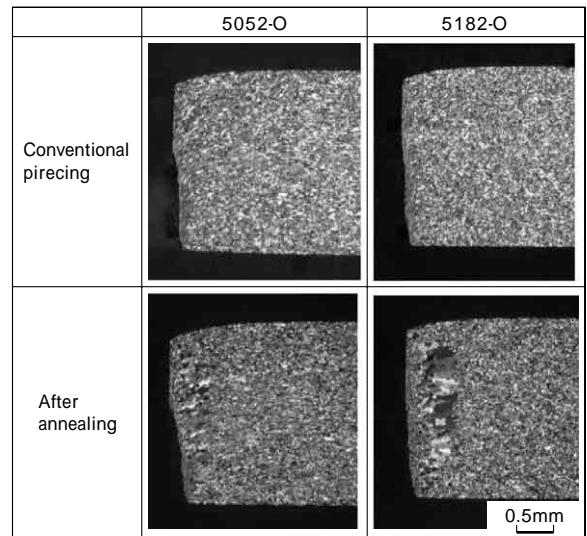


図8 打抜き加工後および焼鈍後の穴端近傍の断面組織
Fig. 8 Cross sectional microstructures near the edge of hole after piercing and after annealing

せん断端からわずかに離れた位置で生じているが、これはせん断端のごく近傍ではさらに大きなひずみが加わった結果、微細な再結晶組織となっているためであり、この部位も5182-Oの方がより大きい。合金間で加工硬化および再結晶の挙動も異なることから単純に比較はできないものの、クリアランスが小さい条件ではせん断面比率が大きいくほど端面近傍の加工硬化の程度および範囲が大きくなると推測される。このため、5182-Oおよび5154-Oではクリアランスが小さい条件でせん断面比率と逆相関して限界穴広げ率が低下したものと考えられる。

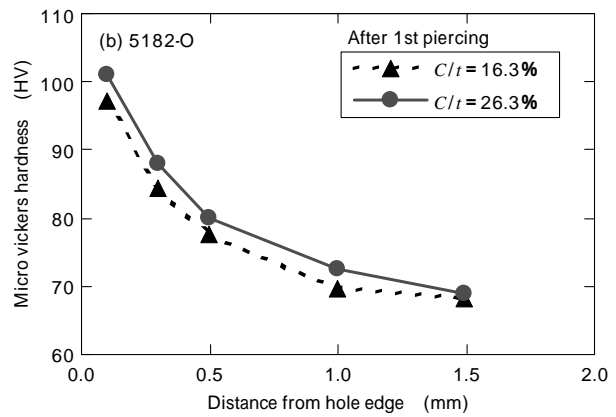
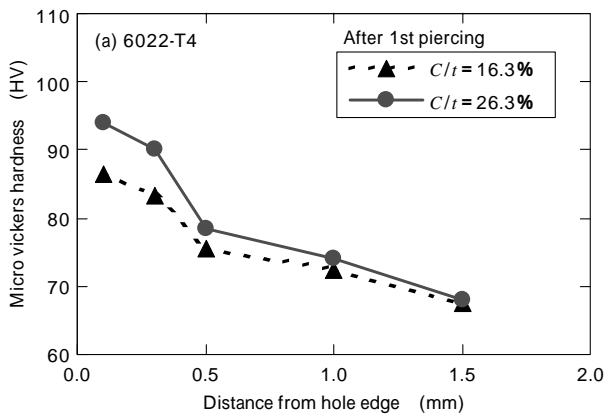


図9 1 段目打抜き後の断面硬度分布 (a) 6022-T4, (b) 5182-O
Fig. 9 Hardness on cross section after 1st piercing in cut off punching

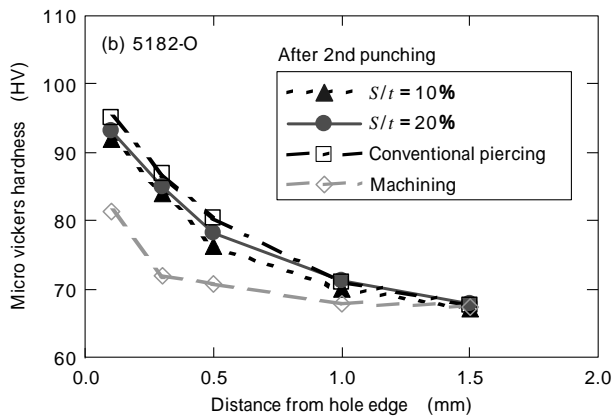
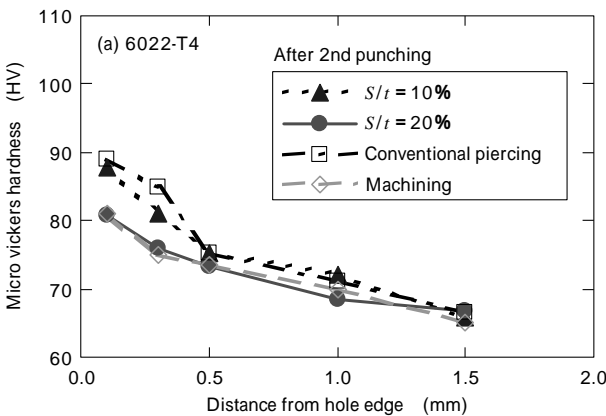


図10 2 段目削り抜き後の断面硬度分布 (a) 6022-T4, (b) 5182-O
Fig.10 Hardness on cross section after 2nd punching in cut off punching

3.2 削り抜き法による穴端性状の変化

削り抜きパンチによる穴加工での向上が得られた6022-T4と向上効果が見られなかった5182-Oについて、穴端近傍の断面硬度測定および穴加工時の組織観察を行った。図9に削り抜きパンチを用いて1 段目打抜きを行った後の試験片にて、穴端から0.1~1.5mmの範囲で断面硬度分布を測定した結果を示す。ここでは、穴端からの各測定位置にて板厚を4等分する3点で測定を行い、この平均値を用いた。1 段目打抜きの条件は通常パンチでクリアランスが16.3%、26.3%の条件に相当し、前項の結果と同様にクリアランスがより大きい条件で加工硬化が大きくなっている。また、5182-Oと比較して6022-T4では穴端近傍での加工硬化がより小さい。この1 段目の打抜き後、2 段目の削り抜きを行った後の試験片にて断面硬度分布を測定した結果を図10に示す。また、図中には比較の通常パンチを用いて打抜き加工を行った場合と機械切削加工を行った場合の硬度分布も併せて示す。6022 材では削り抜きにより穴端近傍の加工硬化が小さくなり、削り率20%の条件でほぼ機械切削加工と同等となる。一方、5182 材では削り抜きにより硬度が小さくなるものの、2 段目と同じクリアランス条件の通常パンチを用いた場合よりもわずかに小さい程度で、機械切削加工の場合よりも明確に大きな値であった。

図11に削り率20%条件の削り抜きにおいて、2 段目加工途中の断面組織を示す。6022-T4では取り代部に圧縮

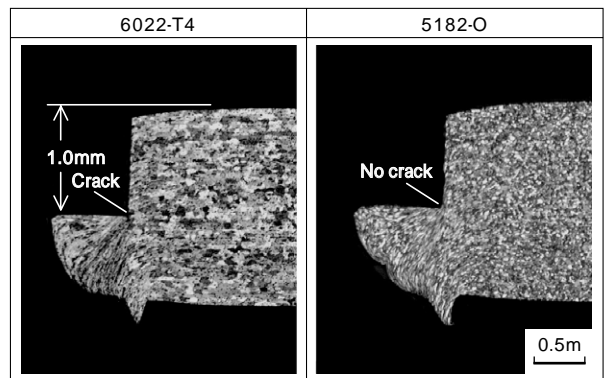


図11 2 段目削り抜き加工途中の断面組織
Fig.11 Cross sectional microstructures of 6022-T4 and 5182-O in halfway of 2nd punching

ひずみが集中し、2 段目パンチの1.0mm 食込み時にき裂が発生している。これに対し、5182-Oでは穴端から取り代部へのせん断変形がより強く生じており、また同じ1.0mm 食込み時でき裂の発生も見られないことから、6022-T4と比較して穴端部での加工硬化がより大きいことが分かる。

これらの結果から、6022-T4においては削り抜きにより向上したのに対し、5182-Oでは向上効果が認められなかったのは、削り抜き穴端部の加工硬化状態が異なっていたことに起因すると考えられる。ただし、今回の実験では削り率を2水準のみとした結果であり、穴端近

傍の加工硬化部を低減する適正な条件を選択することにより、5182-Oでもの向上は可能と推測される。

むすび = 5000系アルミ合金のO材を用いて、伸びフランジ性に及ぼす打抜き型クリアランスの影響、および焼鈍による伸びフランジ性の向上効果を調査した。また、5182-O材および6022-T4材を用いて削り抜き法による伸びフランジ成形限界の向上効果を調査し、以下の知見を得た。

- (1) 5000系アルミ合金のO材において、穴広げ率は打抜きクリアランス20~25%で極大値を示した。この極大となるクリアランス条件は合金により若干異なっており、せん断面比率との相関が認められた。
- (2) 5000系アルミ合金のO材において、打抜き加工後焼鈍を行うことによりは大きく向上した。このことから、クリアランス条件による伸びフランジ性の変

化は主として打抜き時の加工硬化によるものと考えられた。

- (3) 削り抜きにより6022-T4ではが向上し、削り率20%の条件で機械切削加工の場合とほぼ同等のが得られた。しかし、5182-Oにおいては今回試験を行った削り率10%、20%の条件では向上効果が得られなかった。合金間による差異は穴加工時の加工効果状態の違いによるものと考えられた。

参考文献

- 1) 林央：軽金属，Vol.55, No.8 (2005) p.371.
- 2) 稲葉 隆ほか：R&D 神戸製鋼技報，Vol.55, No.2 (2005) p.66.
- 3) 斎藤 洋ほか：軽金属学会第84回春季大会概要集 (1993) p.311.
- 4) 中川威雄ほか：塑性と加工，Vol.10, No.104 (1969) p.665.
- 5) 町田輝史ほか：塑性と加工，Vol.16, No.172 (1975) p.365.
- 6) 菅又 信ほか：塑性と加工，Vol.39, No.446 (1998) p.237.