アルミニウム圧延板の深しぼりにおよぼす Mg および熱処理の影響について

高橋 恒夫* 柴田 喜三** 中村 修***

Effects of magnesium and heat treatment on ears in deep

drawing of rolled 2S aluminum sheets

UDC 669.71-12 : 621.983

TAKAHASHI Tsuneo* · SHIBATA Kizo** · NAKAMURA Osamu***

It was found that production of ears in deep drawing of rolled sheets depended upon directional properties of the sheets and the orange peel effect of cup depended upon the effects of additional elements and grain size. The directional properties of rolled sheets depended upon many factors such as additional elements, reduction ratio, intermediate annealing, final annealing, etc.

The authors investigated the relation between ears and orange peel effect or heat treatment on rolled 2S sheets containing magnesium.

The results obtained were summarized as follows.

(1) In the specimen containing 0.20% of Mg, grain size was larger and orange peel effect was observed. On the other hand, in the specimen containing 0.57% of Mg, the height of ears was less in both directions of 45° and 0-90°.

(2) In the specimen which had been treated and held for a long time at higher soaking temperature, ears had a tendency to be produced in 45° direction. On the contrary, in the specimen which had been treated and held for a shorter time at lower soaking temperature, it had a tendency of orange peel effect.

(3) In the specimen which had intermediately been annealed at higher draft in hot working (draft of 99.8%), higher ears were produced in 0-90° direction with orange peel effect. However, in the specimen which had not intermediately been annealed, ears produced in 45° direction were higher with no orange peel effect. These results corresponded well with those of pole figures.

(4) When the reduction ratio in cold working was larger, the ears produced in 45° direction were higher and when the reduction ratio was smaller, orange peel effect was observed.

(Received June 21. 1967)

1. は し が き

アルミニウム圧延板の深絞りする際に問題となるのは耳の発生と肌荒れである。前者は圧延板の方向性に大きく左右され¹⁾²⁾、後者は組成や結晶粒度、または均熱温度、中間焼鈍などに関係する³⁾⁴⁾。そして圧延板の方向性は組成、加工度、圧延過程の中間焼鈍、最終焼鈍などの多くの因子により変化する。

森永らは方向性の消去、調節の観点から、アルミニウムにMgを1.0~3.5%添加させ、スーブ比により検討しているが⁵⁾、従来より2Sアルミニウムへの微量のMg添加はその方向性を消失させ、深絞り性を向上させることが認められている。

本報では2SアルミニウムにMgを添加し、熱間圧延前

の均熱温度とその保持時間、さらに中間焼鈍までの熱延加工度、また最終焼鈍温度についての諸条件における耳発生および肌荒れと集合組織との関係について検討した

2. 実験試料と実験方法

使用した材料は0.2%と0.6%のMgを添加した2S程度アルミニウム合金で、その化学分析値をTable 1に示す。

Photo. 1 (a)に0.57%Mgを含む鋳造材の顕微鏡写真を示す。Photo. 1 (b)は(a)の材料を490℃で10hr均熱処理したもので、均熱温度が高くその保持時間が長くなると介在物は大きく成長する傾向にあった。

この2種類の合金について、Table 2に示すような工程で厚さ180mmのスラブを作り、片面3mmずつの面

* 東京工業大学 Tokyo Institute of Technology (東京 Megro-ku, Tokyo)

** ホクセイアルミニウム株式会社 Hokusei Aluminium Co., Ltd. (高岡市 Takaoka shi)

*** 東京工業大学大学院 Graduate Student, Tokyo Institute of Technology (東京 Megro-ku, Tokyo)

削をした。均熱温度を 490, 520, 550℃ としその保持間を 10, 20hr の 2 種類をとった。均熱処理後引き続いてその温度でおおの圧下率 96% と 98.8% の熱間圧延を行なった。その熱間圧延板について 450℃ で 1hr の中間焼鈍したものと同焼鈍を行なわないものとをさらに冷間圧延した。冷間圧延後の最終板厚は 0.7 および 0.5mm である。

冷間圧延板は 355, 390, 430℃ および連続焼鈍 (ふん囲気は 580℃ で、板厚 0.55mm の場合通過速度が 4.4/min, 0.7mm の板については 3.7m/min である。) で、バッチ式のときは 1hr の最終焼鈍を行なった。

これら圧延板について肌荒れ, 耳発生, 集合組織をしらべた。

深絞りを用いたブランクは直径 150mm である。また集合組織については X 線デフラクトメータによる (111) 極点図を描いてしらべた。X 線を用いた試料は電解研磨 (電解液はリン酸: 50cc, 寒天: 1g, カ性ソーダ: 0.5g) により 0.1~0.2mm にしたものである。

3. 実験結果および考察

3.1 深絞り試験

深絞りにより円筒型のカップを作り, その際縁に発生した耳の山と谷の高さをそれぞれ h_e , h_t とし, 深絞りカップの展開図の Fig. 1 にしたがって測定し, 下の式より耳の発生割合 e を求めた。(測定にあたっては同一条件の試料 4 個の値の平均値をとった。)

$$e(\%) = \frac{h_e - h_t}{h_t} \times 100$$

Table 1 Chemical composition of specimens

Specimen	Si(%)	Fe(%)	Mg(%)	Al(%)
1	0.09	0.29	0.20	Bal.
2	0.09	0.27	0.57	Bal.

×50

(a)

(b) ×600

Photo. 1 Microstructure of Slab Containing 0.57% Mg (a) as cast (b) soaking at 490℃ for 10 hr.

Fig. 2・Fig. 3 に耳発生と最終焼鈍の関係について示した。Fig. 2 は最終板厚が 0.55mm の試料で, Fig. 3 は最終板厚が 0.7mm の試料について示したものである。Fig. 2 の (a) および (b) はスラブの均熱時間が 10 hr, Fig. 2 (c), (d) は 20hr の試料であつて (a), (c) は Mg 含有量 0.20%, (b), (d) は 0.57% である。同様に Fig. 3 の (a), (b) はスラブの均熱時間 10hr, (c), (d) は 20hr で, (a), (c) は Mg 含有量 0.2%, (b), (d) は 0.57% である。

中間焼鈍をどのような加工度のところで行なうかによって耳の発生に非常に異なってくるのがわかる。すなわち, 中間焼鈍をしない試料は最終焼鈍に関係なく 45° 方向に耳発生をみせており, その程度は最終焼鈍として連続焼鈍した場合が最も大きい。また 7mm で中間焼鈍した試料と 2mm で中間焼鈍した試料とは 0°~90° 方向に耳発生をみせているがその割合は 7mm で中間焼鈍した試料より 2mm で中間焼鈍した試料の方が耳発生が大きい傾向を示し, 最終焼鈍として連続焼鈍を行なった場合に 0°~90° 耳の発生は小さくなっている。

Mg 含有量の違いによる影響については, Mg 含有量が多くなると 45° 方向耳, 0°~90° 方向耳の両者ともに耳

$$h_e = h_1 + h_3 + h_5 + h_7 / 4$$

$$h_t = h_2 + h_4 + h_6 + h_8 / 4$$

$$e(\%) = h_e - h_t / h_t \times 100$$

Fig. 1 Measurement of height in ear.

Table 2 Procedure schedule of specimens.

発生が小さくなる傾向を持っている。7 mm で中間焼鈍した試料は Mg 含有量が多くなると $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向耳から 45° 方向耳へと移行する傾向を持っている。

最終焼鈍温度による影響では中間焼鈍のない試料すなわち 45° 方向に耳発生する試料は連続焼鈍の時に最も高く、温度が高くなるにしたがって耳発生は低くなる傾向を示す。それに対して $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向に耳発生があらわれ

に示すように Mg が 0.2% の試料の場合、温度が高くなるにしたがって耳発生が高く、その逆に、**Fig. 2 (b) (d)** と **Fig. (b) (d)** に示すように温度が高くなると耳発生は低くなり、そのうち 7 mm で焼鈍したものではほとんど耳発生がない。

均熱処理温度についてはその温度が高くなると、 45° 方向耳の発生する試料の場合高くなり、 $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向耳の発生する試料の場合は低くなる傾向を示している。

Fig. 2 The earing-dependence of rolled sheets with each intermediate anneal on final anneal. (rolled sheets is finally 0.7 mm thick)

(a),(b): soaking time for 10 hrs.

(c), (d): soaking time for 20 hrs.

これらの結果をまとめれば、Table 3 のようになる。2mm で中間焼鈍した試料は Mg 含有量、最終焼鈍、平均熱温度にほとんど関係なく 3 % 以上の耳の発生が認められる。また、Mg 含有量 0.57% の場合 7mm で中間焼鈍した試料はほとんどが 1.5% 以下の耳発生を示した。

3.2 集合組織

X線ディフラクトメータによる (111) 極点図の結果から、均熱処理温度 490°C、10hr の試料で Mg 含有量が

0.2% および 0.57% の試料をそれぞれ Fig. 4 と Fig. 5 に示す。Fig. 4 と Fig. 5 は圧延のままの試料でそれらを 390°C で最終焼鈍した集合組織を Fig. 6 と Fig. 7 に示す。

Fig. 4 と Fig. 5 に示すように圧延のままの状態では面心立方金属の純金属型の集合組織であり、中間焼鈍を行なわない試料ではその強さが顕著である。Fig. 6 と Fig. 7 に示すように 390°C で焼鈍した場合、加工組織の

Fig. 3 The earing-dependence of rolled sheets with each intermediate anneal on final anneal. (rolled sheets is finally 0.7mm thick).

(a), (b): soaking time for 10 hrs.

(c), (d): soaking time for 20 hrs.

著しく存在していた試料は再結晶組織が強く現われてく ～90°方向耳と45°方向耳とが影響されることが報告され
る。再結晶組織中の cube texture の存在量によって 0° ている⁶⁾。このことから Fig. 6, Fig. 7 と Fig. 2 (a), (b)

Final thickness of sheet (mm)	Mg content (%)	Soaking time (hr)	Soaking temp. (°C)	Final anneal temp. (°C)	No intermediate anneal			Intermediate anneal at 96% reduction			Intermediate anneal at 98.9% reduction		
					10			20			10		
					490	520	550	490	520	550	490	520	550
0.55	0.20	Flash anneal			●	●	●	⊕	●	●	⊕	⊕	○
		355			●	●	●	⊕	●	●	⊕	●	●
		390			●	●	●	●	●	●	⊕	●	●
		430			●	●	●	●	●	●	⊕	●	●
	0.57	Flash anneal			●	●	●	⊕	●	●	○	○	○
		355			●	●	●	⊕	●	○	○	○	○
		390			●	●	●	⊕	●	○	○	○	○
		430			●	●	⊕	⊕	●	○	○	○	○
0.70	0.20	Flash anneal			●	⊕	●	○	⊕	●	⊕	⊕	⊕
		355			⊕	⊕	●	○	○	⊕	●	●	●
		390			⊕	⊕	⊕	○	○	⊕	●	●	●
		430			⊕	⊕	⊕	○	○	⊕	●	●	●
	0.57	Flash anneal			○	●	⊕	○	○	●	⊕	⊕	○
		355			○	●	⊕	○	○	⊕	○	○	○
		390			○	●	⊕	○	○	⊕	○	○	○
		430			○	●	○	○	○	⊕	○	○	○

● Ear more than 3.0%e ⊕ Ear 3.0%e to 1.5%e ○ Ear less than 1.5%e

Table 3 The dependence of heat treatment on earing in deep drawing.

Final thickness of sheet (mm)	Mg content (%)	Soaking time (hr)	Soaking temp. (°C)	Final anneal temp. (°C)	No intermediate anneal			Intermediate anneal at 96% reduction			Intermediate anneal at 98.9% reduction		
					10			20			10		
					490	520	550	490	520	550	490	520	550
0.55	0.20	Flash anneal			○	○	○	○	○	○	○	⊕	●
		355			○	○	○	○	○	○	⊕	●	⊕
		390			○	○	○	○	○	○	⊕	●	⊕
		430			○	○	○	○	○	○	⊕	●	⊕
	0.57	Flash anneal			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		355			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		390			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		430			○	○	○	○	○	○	⊕	⊕	○
0.70	0.20	Flash anneal			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		355			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		390			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		430			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
	0.57	Flash anneal			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		355			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		390			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○
		430			○	○	○	○	○	○	○	⊕	○

● Orange peel ⊕ Slight orange peel ○ No orange peel

Table 4 The dependence of heat treatment on orange peel in deep drawing.

■(100)[001] △(112)[11T] ▲(123)[121] ○(110)[1T2]

Fig. 4 (111) Pole-figures of rolled sheet containing 0.2% Mg, soaking at 490°C for 1 hr., final thickness 0.55mm. These pole figures show the change by hot rolling reduction.

- (a) no intermediate anneal
- (b) intermediate anneal at 96% reduction
- (c) intermediate anneal at 98.8% reduction

■(100)[001] △(112)[11T] ▲(123)[121] ○(110)[1T2]

Fig. 5 (111) Pole-figures of rolled sheet containing 0.57% Mg, soaking at 490°C for 1 hr., final thickness 0.55mm. These pole figures show the change by hot rolling reduction.

- (a) no intermediate anneal
- (b) intermediate anneal at 96% reduction
- (c) intermediate anneal at 98.8% reduction

■(100)[001] △(112)[111] ▲(123)[1̄21] ○(110)[1̄12]

Fig. 6 (111) Pole-figures of rolled sheet containing 0.2% Mg, soaking at 490°C for 1 hr., and finally annealing at 390°C, final thickness 0.55mm. These pole figures show the change by hot rolling reduction.

- (a) no intermediate anneal
- (b) intermediate anneal at 96% reduction
- (c) intermediate anneal at 98.8% reduction

■(100)[001] △(112)[111] ▲(123)[1̄21] ○(110)[1̄12]

Fig. 7 (111) Pole-figures of rolled sheet containing 0.57% Mg, soaking at 490°C for 1 hr., and finally annealing at 390°C, final thickness 0.55mm. These pole figures show the change by hot rolling reduction.

- (a) no intermediate anneal
- (b) intermediate anneal at 96% reduction
- (c) intermediate anneal at 98.8% reduction

とを比較すると **Fig. 7 (a)** の試料は 45° 方向耳をもっているが、cube texture は強いけれど加工組織も相当強いために 45° 方向に耳発生を示したと思われる。また **Fig. 7(b)** から耳発生はわずかに 45° 方向になることにも対応している。しかし **Fig. 6 (a)** についてみれば加工組織に対して cube texture が強いので耳発生は $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向になるはずであるが結果は 45° 方向に発生している。

3.3 肌荒れ

3.1 の深絞りカブプを使って肌荒れを肉眼で観察し、その結果をまとめると **Table 4** になる。

Mg 含有量が多くなると肌荒れの傾向が少なくなり、これは再結晶粒が小さくなる傾向と一致している。中間焼鈍の位置と肌荒れの関係についてはその位置が後になる程、すなわち熱間圧延の圧下率が大きくなるほど肌荒れの傾向が強くなってくる。最終焼鈍の温度はあまり肌荒れに影響しない。肌荒れが全く認められない条件は中間焼鈍を行なわない試料と Mg 含有量が 0.57% で 7 mm で中間焼鈍した試料の時である。

4. む す び

(1) Mg 含有量が少ないと結晶粒は大きくなる傾向を示し肌荒れが認められる。また Mg 含有量が多くなると 45° 方向と $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向耳がともに小さくなる傾向がある。

(2) 均熱温度が高く、時間が長い熱処理を行なった試料は 45° 方向に耳を発生する傾向が強く、これは最終焼鈍温度を高くしても消えない。それに対して均熱温度を低くし、時間を短かくすると肌荒れを示す。

(3) 熱間加工度の高い状態で (99.8%加工) 中間焼鈍を行なうと肌荒れを起し、 $0^\circ \sim 90^\circ$ 方向耳が大きくなり、それに対し中間焼鈍をしない場合は肌荒れは認められないが、 45° 方向耳が大きくなる傾向がある。これは集合組織の結果とよく対応している。

(4) 冷間加工度が大きくなると、 45° 方向耳が発生しやすくなり、小さいと肌荒れの傾向を示す。

なお、本研究を行なうにあたり費用の一部は軽金属奨学会研究助成金によった。

参 考 文 献

- 1) 麻田, 田中, 小池; 軽金属 1 (1951), 16.
- 2) K. T. Aust, F. R. Morral: J. of Metals 3 (1953) 431.
- 3) 池野, 財満, 柴田; 軽金属 13 (1963), 27.
- 4) 財満, 多々, 松下; 軽金属 13 (1963), 17.
- 5) 森永, 室町, 財満; 軽金属 11 (1961), 29.
- 6) M. Cook, T. L. L. Richards: J. Inst. of Metals 69 (1943) 201.

(70頁より)

験を開始するよう予定した。第1次試験では基準にもとづく指定切断面の作成, 機械加工, ビードオンテストを 1100-O, 20mmt を用いて試験することになった。

●X線検査委員会 (No. 51)

9月12日 (火) 午前 住友軽金属

1. LIS TW4 の原案作成に関連して, すみ肉継手の各角度よりの撮影結果ならびに実際作業状態などについて報告説明があった。

●(No. 52)

10月12日 (木) 午後 軽金属協会

1. 超音波試験について木村氏 (金材研) より講演があった。

●業作標準委員会 (No. 40)

9月13日 (水) 午前 軽金属協会

1. 電極線の経時変化についての実験計画について審議し, 材料の手配, 受入れ状況について報告があった。

●(No. 41)

10月25日 (水) 午前 軽金属協会

1. 電極線の経時変化の研究に供する試験材について確認した。

2. 第1回の溶接試験による溶接部のX線検査結果について報告があった。

3. ガス分析試験については, 再試験を行なってから報告されることになった。

4. 機械試験についてはX線検査の結果を参考に行なうことになった。

●溶接施工法委員会 (No. 7)

9月28日 (木) 午後 軽金属協会

1. アルミニウム溶接法試験方法案一板一を確認し, 引続いて一パイプについての試験方法について審議した。

●(No. 8)

10月16日 午後 古河アルミ

1. 先にとりまとめた「アルミニウム溶接施工承認試験方法(案)」について確認審議を行ない, パイプについては高圧ガス保安協会においても採用するよう申入ることを確認した。

●厚板溶接委員会 (No. 12)

9月30日 (土) 午前 軽金属協会

1. JIS Z3811 の改訂原案について。

(41頁へつづく)