アルミニウム焼鈍板の異方性に関する研究*

畑 榮一** 竹内 勝治**

Eiichi Hata and Katsuzi Takeuchi: Anisotropic Properties of Annealed Aluminium Sheets.

Aluminium sheets of commercial purity were cold-rolled from hot-rolled stocks without intermediate annealing. It was found that the anisotropy of annealed sheets was influenced by hot-rolling condition. During cupping test three types of earing property were observed; i.e., 45° ear, 90° ear and a mixture of 45° ear and 90° ear. The preferred orientation of annealed sheets was investigated by means of X-ray. The recrystallization texture consisted of a (123)-[121] type texture component and a cube texture component. It was found that the cube texture component increased with decreasing hot rolling-temperature. From the correlation of the results of cupping test and the recrystallization texture, it is assumed that an increase in cube texture component was the cause of 90° earing.

(Received January 27, 1954)

I. 緒 言

Al は圧延加工によつて(110)-[112] または (112)-[111] で代表される texture を形成し、それによつて諸性質に異方性が現われることは可なり以前から知られていたが、その焼鈍板の異方性あるいは texture については 1939 年ころまでの文献⁽¹⁾には餘り系統的な知識が得られなかつた。しかし Al は器物などの成形加工に用いられることが多く、その焼鈍板の異方性に関する知識を得ることは壓延板のそれ以上に實用的意義が大きいのである。この意味において最近急速に多數の研究が發表され、深絞り加工におけるいわゆる“耳”の形成条件や、その結晶學的意義が明瞭になつて來た。すなわち耳の形成については麻田⁽²⁾、山口⁽³⁾、前田⁽⁴⁾等の諸氏の研究によるとは、次のような結果が得られている。すなわち (1) 加工材または再結晶していない軟化材は壓延方向に對して 45° の位置に耳を發生する。(2) 再結晶完了材は一般に壓延方向に對して 0° および 90° 方向に耳を生ずる。(3) 特に強加工後焼鈍すると再結晶後も壓延方向に對して 45° の耳を生ずる。

また焼鈍板の texture については最近 Hu, Sperry, Beck⁽⁵⁾の研究が發表せられ、texture と耳との關係については Aust, Morrel⁽⁶⁾が Hill の theory の立場から耳の發生機構を論じている。

以上の研究においては加工の出発點として採用された試料は充分焼鈍された完全再結晶材を用いるのが普通であつて、最終焼鈍板の異方性を支配する因子は焼鈍前の加工度

と焼鈍条件に限られているわけである。このような場合に問題を限定することは實驗条件の明確を期するため好都合のものではあるが、工業的には以上の条件に合致しない製作条件の行われる場合があり得るので注意せねばならぬ。すなわち Al のような加工の容易な材料は熱間壓延後、中間焼鈍することなく、たゞちに冷間で強加工を行つて仕上げる場合も考えられるのである。この場合には後述するように一見意外な結果が得られるのであるが、このような製造方式の場合の研究は從來餘り行われておらず、E. E. Spillet⁽⁶⁾、H. J. Wallbaum⁽⁷⁾等の研究がこれに近い場合を取扱つているけれども、實際の製造過程における詳細を知るには必ずしも充分とはいへない。

著者等は工場における製造過程の研究から、從來注意されていなかった因子が最終焼鈍板の異方性に重要な影響を有することを指摘し、その現象についてやゝ詳細に記述したいと思う。

II. 試料と實驗方法

試料は 99.5% 程度の純度を有する Al の連續鑄造した 200 kg の ingot を表面切削を行つて厚さ 140 mm としたものを用い、直徑 30 吋のロールで 10 回のパスで 10 mm まで熱間壓延を行つた。熱間壓延板は目的に應じて中間處理を行い、または行わずに 0.8 mm をで冷間壓延し、最後に各種の溫度で焼鈍後、深絞り試験、抗張試験、X 線による検討等を行つた。深絞り試験装置は福井教授考案の conical dies を使用し、blank の徑は特に附記しない限り 36 mm として内徑 17.5 mm の cup に絞り(絞り率 0.486)、耳の高さとしては絞られた cup の周邊における山と谷との高さの差の平均を採用した。

III. 焼鈍板の異方性におよぼす熱間壓延溫度の影響

** 住友金屬工業株式會社仲銅所

* 1951 年 4 月本會東京大會および 11 月福岡大會に發表。

(1) G. Wassermann, *Texturen metallischer Werkstoffe*, (1939).

(2) 麻田, 田中, 小池, 輕金屬, (1951), No. 1, 16.

(3) 山口, 前田, 溝部, 輕金屬, (1952), No. 2, 56.

(4) 前田, 渡邊, 1951 年本會秋期大會講演概要。

(5) K. T. Aust, F. R. Morrel, *J. Metals*, **3** (1953), 431.

(6) E. E. Spillet, *J. Inst. Metals*, **69** (1943), 149.

(7) H. J. Wallbaum, *Z. Metallk.*, **42** (1951), 371.

種々の温度で壓延を開始した後、中間焼鈍を行うことなく、0.8 mm まで冷間壓延した板を 450°, 1 hr の焼鈍を行い、深絞り試験を行って発生する耳の高さを Fig. 1 に

Fig. 1 Effect of hot rolling temperature on the earing property of annealed 2S sheet.

a: Hot rolled at 530° b: Hot rolled at 475° c: Hot rolled at 450°
Fig. 2 Earing cups from 2S sheets (Effect of hot rolling temperature).

Fig. 3 Effect of final annealing temperature on the ear height of annealed 2S sheets given different hot rolling treatments.

示した。表示の方法としては縦軸に耳の高さを示してあるが、壓延方向に対して 45° の方向に 4 個の耳を生じた場合を (45° 耳と略稱する) 正側に、壓延方向およびそれと直角の方向に 4 個の耳を発生した場合 (90° 耳と略稱する) を負側に示した。圖

から判るように比較的高度で壓延したものは焼鈍後 45° 耳を低温度で壓したものは 90° 耳を生ずる傾向のあることが判り、またきわめてせまい温度範囲ではあるが、45° 耳から 90° 耳へ変化する途中で耳のきわめて低い焼鈍板の出来る事が判る。本実験ではこの温度範囲は 470° 附近であり、この種の試料は詳細にしらべると、90° 耳と 45° 耳とが混

合して現われ、結局 8 個の耳が発生していることが判る (Fig. 2 参照)。

次にこれらの代表的な試料について焼鈍温度の影響を示

Fig. 4 Effect of annealing temperature on the mechanical properties of annealed 2S sheet given different hot rolling treatments.

Table 1 Chemical composition and hot rolling treatments of the samples.

Mark of specimen	Hot rolling temperature range	Chemical composition (%)				
		Cu	Mn	Si	Fe	Al
A	530~390°	0.02	0.008	0.18	0.14	R
B	475~360°	0.03	0.007	0.13	0.12	"
C	450~325°	0.01	0.006	0.17	0.21	"

Fig. 5 Effect of intermediate annealing (450°) on the ear height of annealed 2S sheet given different hot rolling treatments.

推定できる。この温度では C 試料は 90° 耳を生じている。350° 以上ではいずれの試料も再結晶を完了しているが、550° 附近まで A- 試料は 45° 耳を、C 試料は 90° 耳を発生している。これに反して B 試料は 90° と 45° の

したのが Fig. 3, Fig. 4 である。使用した試料の壓延条件および化学分析値は Table 1 に示してある。焼鈍は電気炉中に 1 hr 保持後空冷し

たものである。Fig. 3 に見られるようにいずれの試料も 250° の焼鈍後は 45° 耳を生じている。この温度の焼鈍では未だ再結晶が始まっていない。300° では B, C 両試料は軟化が完了しているが、A 試料は未だ再結晶が完了していない。この事は X 線的にも確かめているが Fig. 4 の機械的性質の軟化曲線からも

(111) pole figure of rolled A-sheet.

Fig. 6 A

(200) pole figure of rolled A-sheet.

Fig. 6 B

(111) pole figure of rolled C-sheet.

Fig. 7 A

この點は中間焼鈍の溫度などにも左右されるであろうから改めて検討したいと思う。

兩種の耳が混合しており焼鈍溫度が高くなるとわづかではあるが、90° 耳が優位を占めるようである。しかしこの B 試料は概して耳低く、實用的にはいわゆる non-earring sheet と考えて差支えない。

IV. 中間焼鈍の効果

前節で使用した A, B, C 3 種の 10mm 熱間壓延板について 450° で 1 hr 中間焼鈍を行つて 0.8 mm まで冷間壓延後、各種の溫度で 1 hr づつ焼鈍して深絞り試験を行つた。その結果は Fig. 5 に示したようにいづれの試料も再結晶後 90° 耳を生じた。しかし耳の高さは C > B > A の順に低くなつており、壓延溫度の影響は若干残っているように見える。

V. 結晶學的考察

(200) pole figure of rolled C-sheet.

Fig. 7 B

(111) pole figure of annealed A-sheet.

Fig. 8 A

(200) pole figure of annealed A-sheet.

Fig. 8 B

づつ傾斜を變じて撮影した。軟化材は各位置において約 5° の振巾で鉛直軸のまわりに振動させた。X線は Cu K_α (フィルターを用いない) を用い、フィルム黒化の程度を

前節までの実験によると熱間壓延溫度の影響によつて同一の冷間壓延を行つた板でも焼鈍後、異なる異方性の現われることがわかつた。緒言で述べた諸研究の結果によると、深絞り試験における耳の挙動は試料の texture によつて定まるものと考えられるから、本節では中間焼鈍を行わない冷間壓延板および焼鈍板について X線によつて pole-figure を求めて比較を行うこととした。試料は III. に使用した A, C 兩試料の 0.8 mm 壓延材および 450° の軟化材で、板の両面より etching を行い約 0.2 mm としたもの、X線入射方向に對して壓延方向または直角方向を軸として 10°

(111) pole figure of annealed C-sheet

Fig. 9 A
R. D.

(200) pole figure of annealed C-sheet

Fig. 9 B
R. D.

Comparison of (111)-pole figure between rolled and annealed A-sheet.

Fig. 10 A

2. 焼鈍板の Texture

450° 1 hr 焼鈍を行った A, C 兩試料の pole-figure は

(8) F. v. Göler, G. Sachs, Z. phys. **41** (1927), 873, 56 (1929), 477.

(9) H. Hu, P. R. Sperry, P. A. Beck, J. Metals, **4** (1952), 76.

肉眼で観察し評価しこれをウルフ面に記入して pole-figure を製作した。

1. 壓延板の Texture

Fig. 6 A, Fig. 6 B に A 試料の, Fig. 7 A, Fig. 7 B, C に試料の pole-figure を示した。兩試料間には餘り大きな差は認められず、

現在までに發表せられている F. v. Göler, G. Sachs⁽⁸⁾, Beck, Hu⁽⁹⁾ の結果と定性的に一致している。代表方位としては Göler, Sachs は (110)–[11 $\bar{2}$] または (112)–[11 $\bar{1}$] を採用しているが, Beck, Hu は (123) [1 $\bar{2}$ 1] に近い方位がより適當であると主張している。Fig. 6 A, B および Fig. 7 A, B に Δ で記入したのは後者の位置である。

それぞれ Fig. 8A, Fig. 8B Fig. 9A, Fig. 9B に示してある。これによると A (530° 壓延), C (450° 壓延) の兩試料とも壓延材と同様の (123) [1 $\bar{2}$ 1] で代表される第一方位以外に、壓延材には見られなかった第二方位のものが現われており、A, C 兩試料の差はこの第二方位のものの強度において見られる。Fig. 8A, B, Fig. 9A, B において Δ で示したのは (123) [1 $\bar{2}$ 1] 方位であり、 $\square$ で示したのは再結晶で出来た第二方位、(100)–[001] 方位を示している。

Comparison of (200)-pole figure between rolled and annealed A-sheet.

Fig. 10 B
R. D.

Comparison of (111)-pole figure between rolled and annealed C-sheet.

Fig. 11 A
R. D.

Comparison of (200)-pole figure between rolled and annealed C-sheet.

Fig. 11 B

3. 壓延板の Texture と 焼鈍板 Texture との比較

Fig. 10 A, Fig. 10 B および Fig. 11 A, Fig. 11 B は A, C 兩試料について壓延板および焼鈍板の pole-figure を重ね合せ、最も密度の高い領域のみを比較したものである。これからわかるように、兩試料とも壓延板に現

われている pole-figure の高密度領域が近似的には焼鈍板においても保存されていることが判る。しかしそれ以外に

前節で指摘したように焼鈍によつて新しく (100)-[001] 方位が現われるが、A, C 兩試料においてはこの新方位のものに強弱の差が認められるのである。すなわち 90° 耳を生ずる C 試料においては (100)-[001] 方位の結晶粒の数が多いものと考えられるのである。

VI. 考 察

Al 焼鈍板の texture については Hu, Sperry, Beck⁽⁹⁾ が最近 Geiger-counter を用いて詳細な研究を行い、また麻田、小池⁽¹⁰⁾も高純度 Al の一次再結晶材について報告している。いづれも rolling texture 型のものと (100)-[001] 型の混合したものが得られている。本報で得られた結果は上記の諸研究の結果と同様であるが、再結晶によつて形成される [000]-(101) 方位の結晶粒の数が板の製作条件によつて左右されているということが注意されねばならぬ。

一方 Aust, Morrel⁽⁶⁾ は焼鈍前の冷間圧延度を變化することによつて焼鈍板の深絞り試験において 45° 耳または 90° 耳が発生しうることを指摘し、(100)-[001] 型の結晶

(10) 麻田、小池、輕金屬, (1952) No. 5, 35.

粒の多い場合に 90° の耳を生ずる傾向の強いことを見出している。

本報で述べた深絞り加工の際の耳と texture の相關性もこれと同様であるが、再結晶後の texture または異方性を支配する因子は焼鈍前の冷間加工度のみでなく、熱間壓延の條件が大きな影響を有する場合のあることを指摘した次第である。

VII. 要 約

(1) 中間焼鈍を行うことなく、ingot から熱間および冷間壓延された Al 板の最終焼鈍後の異方性は熱間壓延温度で支配される。

(2) 上記の焼鈍板においては cupping test の結果によると、壓延温度の高低に應じて 45° 耳、90° 耳および兩者の混合の 3 種類の異方性を示す。

(3) 焼鈍板の texture は (123)-[121] で近似される rolling texture 型のものと、(100)-[001] 方位のものとかから成立する。

壓延温度の低い場合は後者の強度が大きく、深絞り加工に際して 90° 耳が発生する傾向がある。