アルミニウム圧延板に現われる方向性

室 町 繁 雄* 多 々 静 夫**

On the directional property of aluminium sheets

(UDC 539.417:669.718.5)

MUROMACHI Shigeo* TADA Shizuo**

The experiment was made for getting the directional property away from rolled aluminium sheets. The specimens were prepared from a c.c.p. ingot of 99.48%, with the thickness after scalped of 145 mm.

The directional property was examined mostly through cupping test, mechanical test and etching test, by use of 27 kinds of aluminium sheets rolled by defferent methods, as shown in Table No. 1.

The results of the experiment are summarized as follows :

(1) In the case of hard and $\frac{1}{2}$ hard sheets, the earing height appears in accordance with the degree of cold reduction, while in the case of annealed sheet, the earling height is least when it is worked to the exteut of by cold reduction.

(2) In the case of annealed sheet, most of the pits are of (100) and (110), many pits, a side of which points the direction of 45° against the rolling direction, are found in the sheets in which the earing height shows the angle of 45° against the rolling direction. Similarly, many pits, a side of which points the direction of 0° or 90° against the rolling direction, are found in the sheets in which the earing height shows the angle of $0^\circ \sim 90^\circ$ against the rolling direction.

The directional property can thus be examined.

(Received Oct. 4, 1958)

1. 緒 言

アルミニウム圧延板に方向性が存在すると深絞りを行った場合耳を生じ製品の歩留りを悪くする。本問題に関しては R. Funk¹⁾, K. T. Aust, F. R. Morral²⁾, J. Herenguel³⁾, R. E. Smallman⁴⁾, 麻田氏⁵⁾, 森永氏⁶⁾ 畑, 竹内氏⁷⁾等, 多くの研究者により報告がなされている。著者等も方向性に対し研究を行い既に 2, 3 の報告を出している。

以上の諸研究を要約するとアルミニウム板に現われる方向性は添加金属, 不純物の割合, 鑄造方法, 鑄塊の大小, 加熱温度および時間, 圧延方法等に影響されるが, 大綱は加工度と焼なまし温度を適当に選ぶことにより消失させることが可能であると云うことである。その理論的説明についてはX線試験, “etching pit”の現出により一応解決されている如くであるが充分とは云えない。本報では厚さ 145mm のスラブを圧延製板するさいの方向性を消失させる条件を見出すことに重点をおくことにし,

更に“etching pit”の現われ方と方向性との関係を求めた。

2. 試料の作製ならびに実験方法

面削後の厚さ145mmのスラブ (Al 99.48%, Fe 0.24% Si 0.14%, Cu 0.12%, Mn 0.02%) を 580° , 2 hr 加熱後熱間 9 パスで 6.5mm まで圧延し, 以後 Table 1 に示す 9 種の圧延方法により 1.0mm, 0.75mm, 0.40mm の都合 27 種の板を作製した。加工率は 1.0mm, 0.75mm, 0.40mm 板でそれぞれ 85%, 88%, 94% で (中間焼なまししないものはこれ以上と思われる), 2.5mm で中間焼なまししたものは 1.0mm, 0.75mm, 0.40mm 板でそれぞれ 60%, 75%, 84% であつた。これらの板をそれぞれまず“cupping test”用として 110mm 円板に 8 枚ずつ打抜き, 次に機械試験用として Fig. 1 の如く圧延方向に対し 0° , 22.5° , 45° , 67.5° , 90° 方向に試験片を採取 JIS 5 号試験片に仕上げ, 残りの板は硬度試験, “etching pit”現出用とした。110mm 円板はそれぞれの加工方法, 加工

* 富山大学工学部教授 工博 Prof. Toyama University Dr. Eng.

** 富山大学工学部 Toyama University.

Fig. 1

Fig. 2 Electro polishing apparatus.

度のものについて圧延のまま、200°, 280°, 300°, 320°, 350°, 400°, 500°に1時間焼なましし、“cupping test”をおこない、各試料につき焼なまし温度と耳高との関係を求めた。

圧延方向に対し 0°, 90°の個所の耳高…… h

圧延方向に対し 45°の個所の耳高…… h_1

$(h-h_1)/h \times 100 = \text{耳高\% (earing height \%)}$

これによると圧延方向に対し 45°方向に耳高が生じたときは(−)の値をとり、0°, 90°方向に耳高が生じたときは(+)の値をとることになる。引張試験は加工のままと320°1時間焼なまししたものにつきシヨツパーの引張試験機で抗張力、伸びを求めた。また“etching pit”の試験ではまず過塩素酸 20cc + 無水醋酸 60cc + H_2O

3滴の電解研磨液により Fig. 2 の装置で電流密度 3.6 A/dm^2 、極間距離10mm、液温10°一定の条件で研磨し、のちに Lacombe の腐蝕液で“etching pit”を現出させ、方向性の有無程度を説明しようとした。

3. 実験結果ならびに考察

Fig. 3 は圧延方法を異にした 8 種類 (9 番欠 Table 1 参照) の厚さ 1 mm 円板を用い焼なまし温度をいろいろ変えて“cupping test”をおこなった結果である。圧延

Table 1 Rolling process

		145mm(Scraped surface) hotroll 9 pass 580°C ~ 360°C → 6.5mm	
No.			
1	6.5mm	→	1.1 (1.0mm(85%)) 1.2 (0.35mm(88%)) 1.3 (0.40mm(94%))
2	6.5mm	intermediate anneal	→ 2.1 (1.0mm) 2.2 (0.75mm) 2.3 (0.40mm)
3	6.5mm	(61%) intermediate anneal	→ 3.1 (1.0mm(60%)) 3.2 (0.75mm(75%)) 3.3 (0.40mm(84%))
4	6.5mm	→ 2.5mm cross	→ 4.1 (1.0mm) 4.2 (0.75mm) 4.3 (0.40mm)
5	6.5mm	intermediate anneal → 2.5mm cross	→ 5.1 (1.0mm) 5.2 (0.75mm) 5.3 (0.40mm)
6	6.5mm	→ 2.5mm intermediate anneal cross	→ 6.1 (1.0mm) 6.2 (0.75mm) 6.3 (0.40mm)
7	6.5mm	cross	→ 7.1 (1.0mm) 7.2 (0.75mm) 7.3 (0.40mm)
8	6.5mm	intermediate anneal cross	→ 8.1 (1.0mm) 8.2 (0.75mm) 8.3 (0.40mm)
9	6.5mm	cross intermediate anneal cross	→ 9.2 (0.75mm) 9.3 (0.40mm)

Fig. 3 Relation between earing height and annealing temperature.

のままのH材および再結晶過程の $\frac{1}{2}$ H材はいずれも圧延方向に対し 45° の方向に耳が発生し、その耳高は中間焼なましなしのNo. 1, 7が非常に高く8%位で、2.5mmで中間焼なましをおこなったものは2, 3のばらつきはあるが大体低くNo. 3, 6のごとくなる。熱間圧延直後の6.5mmで中間焼なましをおこなったものは大体その中間に位することがわかる。再結晶後のいわゆるO材では中間焼なましをしないものはNo. 4のごとく依然として 45° 方向に耳が出るかまたはほとんど零に近くなっている。中間焼なましをおこなったものはいずれも $0^\circ, 90^\circ$ 方向に耳高が移行するが極くわずかで中でも6.5mmで中間焼なまししたNo. 2, 5, 8は耳高が少ない。すなわち中間焼なましをおこなわない1mm板(85%加工)でも焼なましすれば耳高は少なくなる。しかしH材や $\frac{1}{2}$ H材を深絞りするときは加工度の少ない2.5mmで中間焼なまししたものが耳高が少ない。また今回は冷間圧延のときのみその方向を変化させたものであるが一方圧延したNo. 1, 2が耳高が高く“cross”圧延したNo. 4, 5, 6では低い。

Fig. 4 は前と同じく圧延方法を異にした9種の厚さ0.75mm円板について焼なまし温度と耳高との関係を“cupping test”により求めたものである。これを見るに圧延のままおよび再結晶完了前の板はいずれも 45° の方向に耳が出て1mm板のときより3~4%程耳が高く出ている。またその耳高は中間焼なましをおこなわないものが最も高く、2.5mmで中間焼なましをおこなったものが低いことは前と同一傾向である。再結晶完了後の耳高は中間焼なましをおこなわないものは 45° 方向に耳が現われたがほとんど0に近い。中間焼なましをおこなったものは $0^\circ, 90^\circ$ 方向に耳高が著しく増している。すなわち0.75mm板(加工度88%以上)では中間焼なましせずに圧延

後焼なまししたO材の深絞りによる耳高は非常に少ないが、H材、 $\frac{1}{2}$ H材では2.5mmで中間焼なまししたものが耳高が少ないことがわかる。

Fig. 5 も圧延方法を異にした9種の厚さ0.4mm円板を用いた焼なまし温度と耳高との関係を“cupping test”により求めた結果である。圧延のままおよび再結晶完了前の板はいずれも圧延方向に対し 45° の方向に耳が発生しその高さは前二者より大きく中間焼なましをおこなわないNo. 1, 4, 7が最も高く、2.5mmで中間焼なましをおこなったNo. 3, 6, 9が低くなっている。この傾向は前二者と同様であるが、その耳高はかなり高く1mm板に比して約2倍、0.75mm板に比して4%高く現われている。再結晶完了後は中間焼なましをおこなわないものは依然として 45° 方向の耳が生じその高さは相当著しく現われ、6.5mmで中間焼なましをおこなったものはほとんど耳高は0に近く2.5mmで中間焼なましを行つたものは $0^\circ, 90^\circ$ 方向の耳高が著しく現われている。

各板厚について圧延方法の耳高におよぼす影響を見るに“cross”圧延のものが耳高は幾分少ないようであるが大した変化は認められなかった。

Fig. 6 は圧延方法を異にした9種の板の0.4mm板のみについて機械試験をおこなった結果である。Aは圧延のままの抗張力、伸を示したもので、No. 1, 4, 7は 45° 附近の抗張力がかかなり低く出ている。中間焼なましをおこなったものでも 45° 附近の抗張力は低目である。 0° 方向の抗張力を見るに中間焼なましなしのもので21~23kg/mm²、6.5mmで中間焼なましをおこなったものは19~20kg/mm²、2.5mmで中間焼なまししたものは18kg/mm²と加工度に応じ変化している。伸びはいずれも2~3%程度で著しい変化は認められない。Bは320 $^\circ$ 、1時間焼なましした板について同様試験した結果で抗張力はいずれ

Fig. 4 Relation between earing height and annealing temperature.

Fig. 5 Relation between earing height and annealing temperature.

Table 2 Number of grains of which a side of pits inclined 0°, 22.5°, 45° to the rolling direction.

			Number of 0°	0° %	Number of 22.5°	22.5° %	Number of 45°	45° %	Number of total grain
No. 1	1 mm		40	17.31	144	62.33	47	20.34	231
	0.75 mm		73	27.86	141	53.81	48	18.32	262
	0.4 mm		—	—	—	—	—	—	—
No. 2	1 mm		80	47.06	70	41.48	20	11.76	170
	0.75 mm		85	32.82	111	42.86	63	24.32	259
	0.4 mm		—	—	—	—	—	—	—
No. 3	1 mm		58	26.36	186	62.27	25	11.36	220
	0.75 mm		89	36.63	110	45.27	44	18.11	243
	0.4 mm		128	36.36	149	42.33	75	21.31	532
No. 4	1 mm		66	17.74	173	46.51	133	35.75	372
	0.75 mm		37	14.56	140	55.12	77	30.31	254
	0.4 mm		—	—	—	—	—	—	—
No. 5	1 mm		72	23.30	128	41.42	109	37.27	309
	0.75 mm		104	23.06	243	53.88	104	23.06	451
	0.4 mm		53	19.56	123	45.39	95	35.06	271
No. 6	1 mm		79	35.27	105	46.88	40	17.86	224
	0.75 mm		69	37.30	87	47.03	29	15.68	185
	0.4 mm		117	35.13	128	38.43	88	26.42	333
No. 7	1 mm		66	31.43	82	39.05	62	29.52	210
	0.75 mm		59	25.32	110	47.21	64	27.47	233
	0.4 mm		21	10.39	122	60.29	59	29.20	202
No. 8	1 mm		63	31.50	91	45.50	46	23.00	200
	0.75 mm		96	36.92	88	33.85	76	29.23	260
	0.4 mm		79	27.81	128	45.07	77	27.11	284
No. 9	1 mm								
	0.75 mm		109	43.95	106	42.74	33	13.31	248
	0.4 mm		102	29.32	158	45.27	65	18.62	349
500° C annealing No. 3 0.4 mm			125	40.98	139	45.57	41	13.44	305

Fig. 6 Relation between mechanical properties and rolling direction. Sheets thickness; 0.4 mm.

も 9.5 kg/mm^2 程度と低下し圧延方向による差異も少なくなっている。しかし 45° 方向の抗張力は幾分低いものが多い中でも中間焼なましをしないものが著しく、逆に伸びは幾分多いことを示しているが、これは依然として 45° 方向の耳の発生を示すものであるが、圧延のままに比較すれば耳高は僅かである。

Table 2 および **Fig. 7**, は圧延方法、加工度を異にした都合 27 枚の板を 350° に 1 hr 焼なましし電解研磨のち “pit” を現出させて試験した結果である。“pit” のは

とんどが (100) でわずかに (110) が認められた。一つの結晶粒内では “pit” の形状、傾斜は等しく、その一辺が圧延方向に平行に並んだものを 0° , 45° に傾斜して並んだものを 45° , その他の角度に傾斜したものを 22.5° に包括して再結晶粒の数を読み、その百分率を求めて示した*。この場合何れも 420 倍の顕微鏡写真を一つの試料から任意の 10 箇所を選び撮影し大体 300 個以上の再結晶粒

* (110) の pit の [001] と [110] は別に区別して測定はしていない。

Fig. 7 Relation between number of grains and angle of which a side of pits inclined to the rolling direction.

から測定算出した。**Fig. 7(A)**は1.0mm板につき“pit”の傾斜と結晶粒の数との関係を示したもので、**Fig. 3**において、No. 7の耳高の0に近いものは、0°と45°に傾いた“pit”を有する結晶粒数の差がほとんど無く曲線は水平で示され、No. 4のごとく0°、90°方向に約2%耳高を生じたものは45°方向に傾いた“pit”を有する結晶粒が17%ほど多く反対に45°方向に2%耳高を生じたものは15%ほど0°の方向に傾いた“pit”をもつ結晶粒が多く現われていることが判る。**Fig. 7(B)**も同様0.75mm板についての関係を示したもので耳高が0ないし0に近いものは曲線は水平に現われ、**Fig. 4** No. 4の如く45°方向に2%耳高が高く現われたものは15%ぐらい45°の“pit”をもつ結晶粒が多く、No. 3のごとく0°、90°方向に耳高の高く現われたものは0°、90°方向の“pit”をもつ結晶粒が17%ほど多く示されている。No. 9の0°、90°方向に4.5%耳高を生じたものは圧延方向に0°、90°傾いた“pit”を

もつ結晶粒が30%多く見られる。**Fig. 7(C)**も0.4mm板について同様“pit”の傾斜している角度と結晶粒数との関係を示したもので、これも前二者と同様耳高が0ないし0に近いものは曲線は水平に現われている。耳高が45°方向に5%現われたものは20%ほど45°に傾いた“pit”をもつ結晶粒が多く見られ0°、90°方向に5%耳高の出ているNo. 3では約14%0°、90°方向の“pit”をもつ結晶粒が多く現われている。

以上のことから云えることは耳高が0か0に近いものは大体において(100)、(110)の“pit”の一边が圧延方向に平行に並んでいる結晶粒の数と45°に傾いている結晶粒の数とはほぼ同数である。また45°方向に耳が出るということは(100)、(110)の“pit”が45°に傾斜している結晶粒の数が多く、反対に0°、90°方向に耳が高く出るのは(100)、(110)の“pit”の一边が圧延方向に並ぶ結晶粒の数が多くある場合と考えられる。

圧延したままの試料では結晶粒界と“pit”とを同時に現出できなかつたので傾斜を異にする“pit”の占める面積を求めることにした。45°方向に最も耳高の高い0.4mm板No. 1では420倍の顕微鏡写真840cm²のうち、約792.25cm²、約94.3%までが45°方向に傾斜した“pit”が現われ残りの5.7%の面積にも45°に近い傾斜を示していた。また45°方向に耳高が出て割合に低い1mm板No. 2について見るに総面積779.8cm²の中71.0%が45°に傾斜をし、22%が45°に近い傾斜を示し、その一边が圧延方向に平行に近いものは全面積のわずか7%にすぎなかつた。

Photo. 1, 2に鑄造のままのスラブの“pit”を示し、**Photo. 3**にNo. 1, 3の圧延のままでほとんど全部圧延方向に45°の傾斜を示している“pit”を示した。また**Photo. 4**は耳高の少ないNo. 7, 2のO材で圧延方向に対する“pit”の傾斜が45°、0°、90°のものがほぼ同数存在しているものを示した。**Photo. 5**は0°、90°方向に最も高い耳高を生じたNo. 3, 3の試料で圧延方向に0°、90°の傾斜をもつ“pit”の多いことを示し、**Photo. 6**は500°で焼なまししても依然として45°方向に耳高の生じたNo. 1, 3の試料で圧延方向に45°の傾斜をもつ“pit”の多いことを示した。これらはいずれも(100)、(110)の“pit”で先にも述べた如く一試料10ヶ所の写真から測定しているので、この写真のみから判定するわけにはいかない。

4. 総 括

以上の結果を総括すると次の諸項になる。

4.1. O材を深絞りした場合1mm板では中間焼なましをやらないものの中一方圧延および6.5mmから“cross”圧延したもの、0.75mm板では中間焼なましをせず一方圧延したものおよび6.5mmで中間焼なまししたもの、また

Photo. 1 As cast,
Upper of slab.

Photo. 2 As cast,
Side of slab,

Photo. 3 No. 1.3 As roll.

Photo. 4 No. 7.2
350° 1 hr anneal.

Photo. 5 No. 3.3
500° 1 hr anneal.

Photo. No. 6 No. 1.3
500° 1 hr anneal.

Photo. 1~6 Show the pits of specimens.

0.4mm板では6.5mmで中間焼なまししたものが最も耳高がすくない。

4.2. H材および $\frac{1}{2}$ H材を深絞りする場合は中間焼なましをおこなった加工度の少ないものの方が耳高は少ない。

4.3. 加工度94%, 88%, 85%, 以上および94%, 88%, 85%, 84%, 75%, 60%の9種のものについて見るに85~95%の加工度のものが焼なまし後の耳高が少ない。

4.4. 0.4mm板の抗張力は中間焼なましなしのものが21~23 kg/mm², 6.5mmで中間焼なまししたものが19~20 kg/mm², 2.5mmで中間焼なまししたものが18kg/mm²と差があるが焼なまし後はいずれも9.5kg/mm²と低下する。

4.5. 0°, 90°方向に耳の出るものは(100), (110)が圧延方向に平行な“pit”を示す結晶粒が多く, 45°に傾斜しているものは少ない。また45°方向に耳の出るものは(100), (110)が圧延方向に対し45°に傾斜している“pit”を現わす結晶粒が多く, 平行なものは少ない。

4.6. 耳の出ないものは圧延方向に“pit”が平行に並ぶ結晶粒の数と45°に傾斜している結晶粒の数がほぼ同数である。

4.7. これらの結晶粒の数の差が多ければ多いほどその数の大きなものの方に耳が余計高く現われる傾向にある。

4.8. ごくわずか(111)または不定形の“pit”が現われたが一応除外して考えた。

本実験を実施するに当り試料を提供していただいた山中軽金属工業株式会社, 更に圧延, “cupping test”を依頼した北陸軽金属工業株式会社に謝意を表する次第である。なお本研究は軽金属奨学会の研究資金の一部によった。記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) R. Funk, Z. Metallk 46 (1955) 180
- 2) K. T. Aust, F. R. Morral, J. of Metals 3 (1953) 431
- 3) J. Herenguel, J. of Metals, 4 (1952) 382
- 4) R. E. Smallman, J. Inst. Metals. 9 (1955) 10
- 5) 麻田, 田中, 小池 本誌 1 (1951) 16
- 6) 森永室町, 堀 日本金属学会誌 20 (1956) 202
- 7) 畑, 竹内 日本金属学会誌 18 (1954) 371
- 8) 室町, 多々 富山大学工学部紀要 8 (1957) 1