鋳塊加熱時間と異方性の関係

池野 尚志* 石野 俊昭**

EFFECT OF PREHEATING OF SLAB INGOT UPON THE ANISOTROPIC PROPERTIES OF ALUMINIUM SHEETS

TAKASHI IKENO* TOSHIAKI ISHINO*

Aluminium sheets of industrial purity were cold-rolled from hot-rolled stocks without intermediate annealing. It was found that the anisotropy of cold-rolled or annealed sheets was influenced by the duration of preheating before hot-rolling. The anisotropy before recrystallization decreases with an increase of the preheating duration, moreover by changing the cold-rolled direction across the hot-rolled. When the duration was too short, 45° ear was found after recrystallization.

(Received July 13, 1955)

1. 緒 言

著者の1人はかつて高温加工の影響を論じた場合に鋳塊加熱の時間がかかなり大きい影響を与えることを報告¹⁾しておいた。しかるに、潮田氏等²⁾によつて加熱時間が長いほど異方性が大きくなるという指摘を受けた。著者等は実際には異方性については調べていなかったため、鋳塊加熱時間の長短が仕上り圧延板の異方性にどんな影響を与えるかを別箇に検討してみた。

2. 試料の調製と実験方法

70×350×370mm 25 kg 鋳塊 (Fe 0.41%, Si 0.22%

および Cu 0.17%, 残 Al) を同一条件で鋳造し、小型電気マツフル炉で550°で種々の時間保持した。これらの鋳塊を常温まで冷却した後、再び現場の連続式鋳塊再加熱炉に装入し、全鋳塊を同一条件で再加熱して、熱間圧延にて5.5mm板とし、これを冷間で0.6mm板に圧延仕上げた。0.6mm板について各種の温度で1時間加熱して硬度、抗張力および伸の変化を測定すると共に、110mm円板を

ブランクとして60mmのダイスを有する深絞り試験機でプレスして、耳高と耳の発生箇所を測定比較して異方性の大小を決定した。なお、引張試験片には圧延方向に対して0°, 45° および90° 角度の板を採取して参考に供した。

3. 実験結果

3.1 硬度変化について

Fig. 1 は硬度変化を測定した結果である。全試料ともほぼ同一変化をしており、各試料についての差を指摘することは困難であつた。鋳塊加熱時間の差が硬度変化で認められないということは現場操業の連続再加熱炉にお

Fig. 1 Hardness Change

* 北陸軽金属工業株式会社工場次長、**同 所

* Hokuriku Light Metals Industrial Co., Ltd. ** ditto

Fig. 2
Heating
curve of
slab ingot

いて少くとも一様に500~550°で2時間以上の加熱を受けているので、そのために予備加熱による履歴の影響と（これに加熱時間0の試料についての論議であるが）が打ち消されているものと考えられる。ちなみに、電気マツフル炉で加熱した場合の温度上昇曲線（铸塊内部の実体温度）を示すと Fig.2 のようになり、580° 雰囲気炉中で550° になるのに4時間を要している。しかるに、連続式加熱炉では雰囲気中（燃料は重油で、加熱帯と保温帯に分れるが加熱帯域における）の温度は680~700°前後であるから、Fig.2 の関係から少くとも2時間以内に500~550° に達するものと考えられ、したがって装入から搬出まで4時間で作業している加熱炉であるから、保温帯域に保持される時間は2時間以上と推定される。

3.2 抗張力および伸の変化について

抗張力および伸の変化の例は Fig. 3~4 で硬度変化と同様各試料の間に明瞭な相違を見出すことは困難であつた。図には高温圧延方向と冷間圧延方向とを同一に圧延した板について圧延方向と平行に引張試験片を採取した場合の結果だけを示したが、45~90° 方向の試料さらに冷間で高温圧延方向を直角に圧延した板についても実験を行つたが、各試料間の差異を指摘することは困難であつた。

これら各種の試片について冷間圧延のままの状態と再結晶後の板についての実測値を求めてみると Table.2 のようになる。圧延方向と45° の角度で抗張力低く、伸が良くなる傾向は大体同様であるが、依然として加熱時間の長短による特別の傾向は明瞭に認められない。

ただし、ここに掲示した加熱時間0~25時間は予備加熱時間で、実際はこのほかに連続加熱炉で再加熱された2~3時間を加算しなければならないが、この時間は全試料に共通であるので省略した。したがって Fig.1~4

に記入してある時間も同様であるので附記しておく。

Fig. 3 Tensile strength change

Fig. 4 Elongation change

Table.1 Mechanical properties of sheets cold-rolled with equal direction to hot-rolling

Direction to Rolling	Mechanical Properties	σ_B kg/mm ²				δ %			
		Heating Hours of Ingot							
		0	4	10	25	0	4	10	25
As rolled	0°	21.4	22.2	20.6	21.4	3.6	3.0	4.0	4.6
	45°	19.3	19.9	19.7	19.5	3.8	3.2	4.0	4.0
	90°	19.9	20.0	20.0	20.2	4.0	4.0	4.5	4.4
After annealing	0°	11.0	10.6	10.7	10.5	24.0	26.0	25.5	27.5
	45°	10.5	10.3	10.4	10.3	28.0	29.5	30.0	30.5
	90°	10.8	10.7	10.6	10.5	25.0	25.5	29.0	29.0

Table. 2 Mechanical properties of sheets cold-rolled with crosswise to hot-rolling.

Direction to Rolling	Mechanical Properties	Heating Hours of Ingot	σ_B kg/mm ²				δ %			
			0	4	10	25	0	4	10	25
			0°	45°	90°	0°	45°	90°	0°	45°
As rolled		0°	21.6	21.7	21.8	22.4	3.5	3.5	3.4	4.0
		45°	20.2	20.4	20.6	21.8	3.5	3.5	3.7	3.5
		90°	21.6	21.7	21.4	22.1	3.0	3.5	3.8	3.5
After annealing		0°	11.1	11.0	10.9	11.2	21.0	19.0	25.0	27.5
		45°	10.7	10.8	10.5	11.2	24.0	26.0	27.5	27.8
		90°	11.3	11.0	10.8	11.2	23.0	23.0	27.5	27.5

3.3 異方性の変化について

Cupping Test を行い耳の発生状態と高低の差（山と谷の差）を測定した結果が Fig. 5~6 で、機械的性質の上では明瞭にされ得なかつた異方性の変化が明白になった。Fig. 5 は高温圧延方向と同一方向に冷間で圧延した板についての測定結果であるが、圧延状態においてもまた再結晶後においても予備加熱時間の長いものほど異方性が僅少となつてゐる。

再結晶前の圧延状態では45°方向に4コの耳が発生し、再結晶後には0°, 90° 耳に変化することが知られてい

る。また冷間加工度が大きくなると45°耳が再結晶後も引続いて残留し、その変向点がズレることが知られてゐる³⁾

本実験における冷間加工度は約89%であるが、再結晶後も完全に0°, 90° 耳に変化しないものがあり、ことに铸塊予備加熱時間の短いものでは僅かながら45°耳を継続し、加熱時間の長いものでは0°, 90° 耳に転向はしているが、その程度は極めて僅少で、ほとんど earless に近い状態を示している。

Fig. 6 は高温圧延方向と直角に冷間圧延した板について調査した結果で、再結晶前の耳の発生度合は Fig. 5 に比べてやや減少しているが、予備加熱時間の影響は同様の傾向を示している。また、再結晶後においては加熱時間の短いものでは Fig. 5 と同様45°耳が相当長期にわたつて残留しているが、加熱時間4時間以上のものでは再結晶後はわずかではあるが、0°, 90° 耳に転向する。

4. 実験結果に対する考察

本実験に使用した地金は Fe 0.41%, Si 0.22% および Cu 0.17% からなる 99.2% Al である。Cu 量は僅少であるので、Al-Fe-Si 3元系として取扱つてよいであろう。従つて、凝固過程は初晶として α 、 α 晶を取りまいて2元ないし3元化合物 FeAl₃ さらに α (Fe-Si) が存在していることが考えられる。（しかし、平衡状態の正規の組織では FeAl₃ だけのはずである）。他方 Al 隅における Fe, Si の溶解度は Jänecke⁴⁾ により Fig. 7 のように与えられている。铸造組織は平衡状態よりズレていることはいうまでもないが、しかし550°で加熱した場合には Fe は約0.04%, Si は全量固溶するが、Fe はいくら長く加熱してもそれ以上の固溶は起り得ない。これは地金組成の約10%以下に過ぎない。したがつて、铸塊予備加熱による Fe, Si の溶解度の変化は著しいものではなく、しかも加熱後一度空冷しているの、常温における Fe, Si の溶解度がきわめて少いという点からいつでも溶解度の変化だけで本実験結果を解釈しようとするのは不十分であると思われる。

Fig. 5 Effect of final annealing temperature on the ear height (one way rolling)

Fig. 6 Effect of final annealing temperature on the ear height (cross rolling)

Fig. 7 Solubility change

(a) After heating for 2 hours at 550° x50

(b) After heating for 10 hours at 550° x50

Photo. 1 Microstructure of slab ingot after heating

加熱空冷後の鑄塊組織の比較を示すと Photo.1 のようになり、腐蝕（腐蝕液 0.5% HF 水溶液）のされ方が相違するのは詳かでないが、結晶粒界に存在している化合物の形態は加熱によつて変化して来ることが認められる。すなわち、針状ないし棒状に長く延びて晶出していた化合物は加熱時間が長くなると、途中で切れ、その各々が粒状になろうとする傾向を示し、かつ尖つていた角が取れて丸味を帯びて来るようになる。この形態変化が加熱温度と時間に作用されると共に素材の加工性、さらに圧延工程における不純物の分散状態に影響を及ぼすことは充分考えられよう。これらの相違が圧延聚合組織の主方位^①はAl では (1,2,3) [1,2,1] といわれているが、その規整度に対して影響すると考えられ、これが 45° 耳の発生程度を支配する因子ではなからうか。

極端に鑄塊加熱時間が短い場合には Ingot の中央に接近するほど温度上昇に遅れを生ずるので、加熱温度が低い場合と同様の現象を呈することはあり得るわけである。たとえば Ingot の表面温度で測定した場合には前報告^②において取扱つたようにその限界時間にほぼ 2 時間以内にあるようである。これは内部においてはまだ上昇過程にあることから鑄塊平均温度が低く、しかも化合物の充分な形態変化が期待されず、従つて総体的に考えられる冷間加工度はより高くなり、これが圧延聚合組織の規整度を高めるので、鑄塊加熱時間が短いもので再結晶

後も引続き 45° 耳が僅かではあるが、残留するという結果を招来したものと考えられる。

高温圧延を終つた板を冷間でクロス方向に圧延すれば、再結晶するまでの異方性がやや減少する。このことは高温圧延時においてもある程度の圧延聚合組織が形成されるから、それを冷間で直角に圧延すれば最終仕上り板の主方位整列度が減少するので当然の現象であろう。しかし、鑄塊加熱時間がある限界以上になると再結晶後の異方性にはほとんど差がなくなる。このことは圧延時には不純物の形態変化による影響が圧延聚合組織に対してかなり優位に作用するが、この程度の相違では (100) [001] で代表される再結晶聚合組織に対しては著しい影響を与えないものと考えられる。（勿論、僅かではあるが再結晶後の異方性は加熱時間が長いほど減少し、また異方性減少の速度も速く、その上 0°, 90° 耳に早く移行する傾向はうかがわれる。これらの事実からも全然影響がないということはいえないし、またその影響が残留し得ることは否定出来ない）。

5. 総 括

鑄塊加熱時間と異方性との関連性を検討した。(1)加熱時間が長いほど冷間圧延、さらに再結晶後の Al 板の異方性を減少させる傾向があり、ことに再結晶するまでの影響が大きく、再結晶後のそれは微弱となる。(2)極端に加熱時間が短いと再結晶後も引き続いて 45° 耳が残留し、長いほど早く 0°, 90° 耳に転向する。(3)高温圧延と冷間圧延の方向をクロスする方が再結晶するまでは異方性を減少させるが、再結晶後の差異はほとんどなくなる。

文 献

- (1) 池野、日金誌、**17**(1953), 292
- (2) 日金誌、**18**(1954), 297
- (3) 麻田、田中、小池、本誌、(1951) No. 1, 16
山口、前田、溝部、本誌、(1952), No. 2, 156
- (4) W. Jänicke, Al-Archiv, **5**(1936), 9
- (5) H. Hu, P. R. Sperry, P. A. Beck, J. Metals **4**(1952), 76
畑、日金誌、**18**(1954), 371