工業用純 Al 板に現われる二三の現象について (第3報) 中 間 加 熱 の 影 響

池 野 尚 志*

Takashi Ikeno : Studies on Industrial Pure Al Sheets (III). On the Effect of Interval Heating on the Grain Size and Mechanical Properties of 2s Sheets.

The effect of the heating temperature after hot-rolling upon the recrystallization in cold-rolled 0.5 mm thick 2s sheets was studied. The results obtained may be summarised as follows : (1) The recrystallization grain after hot-rolling becomes finer in size with the increase of hot-rolling degree and the rise of interval heating temperature. (2) The recrystallization temperature becomes higher with the decrease of the degree of cold-rolling degree and the rise of the interval heating temperature even when the degree of cold-rolling is similar. (3) When the grain size of plates before cold-rolling is finer, the recrystallized grains also becomes finer. (4) As the degree of hot-rolling increase or that of cold-rolling decreases, the mechanical properties of recrystallized sheets becomes more isotropic.

(Received September 24, 1953)

I. 緒 言

著者は第1報⁽¹⁾において高温加工の條件が冷間加工板の再結晶現象に著しく影響することを明にした。本報告ではさらに深絞り用 Al 板に適する素板を作るという觀點に基いて高温加工終了時の板の厚さとそれ以後における冷間加工度の影響、さらに中間焼鈍の影響などについて検討した結果を取り扱う。

II. 実験方法

使用した試料は Fe 0.58 %, Si 0.15 % および Cu 0.07 % からなる 99.2 % Al で、鑄造前に Cl₂ 処理を行い、充分脱ガスした。鑄込温度 700° および金型温度 350° として tilting mould に鑄込み、厚さ 57 mm 14 kg のスラブとした。試料の調製方法は Table 1 に示すよう、同一厚さの仕上板を作る場合の熱間圧延板の厚さの變化と、これに中間焼鈍を施行した場合の仕上り板性能變化の模様を追求した。すなわち、Table 1 に示すような最終 0.5 mm 板の二三の性質について比較検討したわけである。

* 北陸輕金屬工業株式會社技術課

(1) 池野, 横本, 野原, 本誌, 17(1953), 292.

Table 1

No. of specimens	Original materials	Process							
		Hot roll		Plates*		Interval heating		Cold roll**	
		Temp: °C	hr	Thickness mm	Reduction %	Temp: °C	hr	Thickness mm	Reduction %
1	99.2 % Al 55×300×300 mm 14kg slab	500	4	8	85.5	—	—	0.5	93.75
2		"	"	"	"	400	4	"	"
3		"	"	"	"	500	"	"	"
4		"	"	"	"	550	"	"	"
5		"	"	6	87.0	—	—	"	91.66
6		"	"	"	"	400	4	"	"
7		"	"	"	"	500	"	"	"
8		"	"	"	"	550	"	"	"
9		"	"	4	92.7	—	—	"	87.50
10		"	"	"	"	400	4	"	"
11		"	"	"	"	500	"	"	"
12		"	"	"	"	550	"	"	"

* Temperature after hot-rolling; No. 1~4: 350°, No. 5~8: 330°, No. 9~12: 300°.

** Direction of cold rolling is crosswise for one of not-rolling.

III. 実験結果

1. 高温加工材について

鑄塊は同一の湯を使用して、同一条件で鑄造し、casting structure にも大差ないことを確認した後試料とした。

Fig. 1 Microhardness change of hot rolled plates.

火延板の厚いものほどその傾向が強くなり、全体としての硬度値は薄いものほど高くなっている。これらを 400~550° で焼鈍すると多少測定値にはあるが、ほぼ一定値に落付いている。また高温圧延板およびこれらを 400~550° で 4 時間加熱した後の顕微鏡組織を示すと Photo. 1 のようで、何れの場合にも 400° 以上で再結晶していて、その結晶粒の大きさは熱間加工度の高いほど、また加熱温度の高い方で微細になつていく。前者は板厚が薄くなるほど温度降下が大きく、冷間加工の影響をより多く受けるためと解され、後者は加熱速度に影響され、かつ加熱温度が再結晶温度に近いほど粗大となるという事実⁽²⁾から解釋される。(焼鈍はすべて空気浴で行い、豫め所定温度に維持した中に投入した) なお、Photo. 1 で高温加工度の小さい方で加工時再結晶(中心部)の傾向が見られるが、加工度が大きくなると温度降下が大きいため鍛錬されて組織は層状に流れている。Photo. 2 は化合物粒子と再結晶粒の相対的關係を示したもので、再結晶粒は壓延方向に沿って良く發

達し、壓延方向と直角な方向では線状に流れて連なっている第二相成分の位置で妨害されて、發達が止まり、粒状が細長くなっている模様が良く判る。この傾向は加工度の低い中心部において、さらに熱間加工度の低い範囲で顯著となる。400° 以上で再結晶することは、高温加工終了温度と考え合わせて従来の結果と矛盾しない。

2. 冷間壓延板について

前記 3 種の板厚の高温加工板を冷間で直角に壓延して、すべて 0.5 mm 厚さの板に仕上げた。それぞれについて、1 時間一定として種々の温度に加熱し、機械的性質の變化を測定すると、Fig. 2~4 に示すようになる。また、圖中には顕微鏡組織の觀察によつて、再結晶温度を調べた結果を矢印で記入してある。これを見ると中間加熱温度が高いほど、再結晶温度が高くなり、中間加熱温度が低い方で(中間加熱しないものではより一層)機械的性質回復の速度が早くなつていて、特に冷間加工度の小さい方で顯著である。伸の値は冷間加工度が小さい方で中間加熱温度の高い方で良くなつていくが、冷間加工度が大きく 90% 以上になると却つて悪くなつていく(Fig. 2~4)。しかるに、同圖中に示すエリクセン値は常に中間加熱温度が高い方でより高い値を示しているが、しかし、冷間加工度の大小によつてはその値に相違が見られない。なお、中間焼鈍条件の相違と再結晶温度との關係を圖示すると、Fig. 5 のようになり、冷間加工度が小さいほど、再結晶温度が高くなるのは當然であるが、中間加熱温度の影響は特異で、高温加工温度の影響⁽¹⁾と良く似ている。

3. 再結晶粒度について

350°~1 時間加熱後、再結晶粒度を調べてみると、Photo. 3 および Fig. 6 のようになり、冷間加工度が大きいほど再結晶粒度が小さくなるのは勿論であるが、Photo. 3 からわかるように、中間加熱を行わないものが最も微細(冷間加工度が大きくなるためであろう)となるが、中間加熱した場合には加熱温度が高い方でより微細となり、中間加熱時の再結晶粒が大きいほど、冷間加工後の再結晶粒も粗大となり、これはあたかも鑄塊組織の大小が再結晶粒

(2) 大日方、畑、本誌、6(1942)、258.

度におよぼす影響とその傾向を一にする⁽³⁾。高温加工板の再結晶粒度と冷間加工板のそれとの関係を示すと Fig. 6

78.5 % の線で異方性は減少しており、中間焼鈍温度が高いほど良好となっている。しかるに、冷間加工度が高くな

From left (at 8mm plates)
as rolled, 550°~4hrs
and 400°~4hrs

From left (at 6mm plates)
as rolled, 550°~4hrs
and 500°~4hrs

From left (at 4mm plates)
as rolled, 500°~4hrs
and 400°~4hrs

Photo. 1 Microstructures of hot rolled plates. $\times 50$

Photo. 2 Microstructure at center part of 8mm plates after heating at 500°. $\times 100$

のようになり、それらの関係は互に直線的に結ばれており、冷間加工度が大きいほど、直線は寝て来、その影響は緩徐に

なつて来ることを示しているが、それぞれの直線を延長して、高温加工板再結晶粒度 0 軸と交わる冷間加工板のそれが、中間焼鈍しない場合の値とほぼ一致しているのは面白い。しかし、冷間加工度 (f) の逆数と冷間加工板の再結晶粒度 (α) の対数との関係をとると Fig. 7 のようになり、冷間加工板の再結晶粒度は高加工度 (87~95 %) の範囲では冷間加工度の逆数と指数函数的関係にあることがわかる。

なお、以上の試料について実際に深絞作業を行い、その伸びを測定すると Fig. 8 のようになり、冷間加工度

Fig 2 Change of mechanical properties of 0.5 mm sheets upon cold reduction to 93.8%

ると、0° と 90° に earing が発生し、異方性が大きいことが、中間焼鈍温度の高い方で伸びが良好となっていることは、Fig. 2~4 のエリクセン値の変化と一致しており、引張試験時の伸の伸と一致しない。これは結晶粒の大小と方向性の影響によるものと考えられる。

熱間加工度が大きく、冷間加工度の小さいことは再結晶粒度を大きくするが、中間焼鈍を行わないか、あるいは高温で中間焼鈍すれば、實際製品の価値を害わない程度に

(3) 著者, 本誌, 17(1953), 579.

Fig. 3 Change of mechanical properties of 0.5mm sheets upon cold reduction to 91.7%.

Fig. 4 Change of mechanical properties at 0.5 mm sheets upon cold reduction to 87.5%.

Cold reduction 87.5% Cold reduction 91.7% Cold reduction 93.8%
Above=Non interval heating Under=Interval heating at 400°
Photo. 3 Recrystallized microstructure at 350°. $\times 100$

Fig. 5 Relation between the recrystallization temperature and the interval heating temperature.

Fig. 6 Relation between grain size of recrystallized sheets (0.5 mm) and that of hot rolled plates.

晶粒が小さくなることは本文でも述べたように、加熱速度が大きくなると、再結晶粒が再結晶温度に接近して加熱するほど粗大となるという従来の結果から説明出来る。

粒度を持つて行くことが出来、しかも異方性が少ないことは却つて深絞り用板としては好ましいといえよう。

IV. 実験結果の考察

中間焼鈍温度が高いほど、熱間加工後の再結

Fig. 7 Relation between $\log \alpha$ and $1/f$.

しかし、冷間加工前の結晶粒が大きいくほど、冷間加工後の再結晶粒が大きくなり、またその時の再結晶温度が低下するということは簡単に説明することは出来ないかも知れない。ただし、Photo. 1を見ればわかるように(殊に熱間加工度の低い No. 1~4 で極めて明瞭に識別される)、中間加熱温度が高いほど第二相成分化合物が擴散によつて均一に分散されるということにも一つの原因があるよ

うに思われる。すなわち、第二相成分の均一分散は加工歪蓄積に對して均一度を高めることになり、従つて再結晶

Fig. 8 Change of elongation by deep drawing test.

他方、中間加熱によつて冷間加工の影響が完全に消失し、同一状態に到達 (Fig. 1 の結果がこのことと對應すると考えられる) するものとすれば、冷間加工後に得られる機械的性質もほぼ同程度の値を示すのが本當であらう。しかし、Fig. 2~4 からわかるようにそれらの値には可成りの相違があり、中間加熱温度の高い場合の抗張力が低くなつてゐる。このことは従つて (熱間加工時の加工歪の影響が残つていないと考えられる故) 材料内部の組織的相違に原因していることを示している。勿論、結晶粒が大きいほど冷間加工による加工歪の分布が粗になり、その高低の差も大きくなることは當然であるから、再

結晶現象は自然その一次的影響を大きく受けることは首肯されよう。従つてこの場合には第二相成分分散状態の相違は二次的作用を與えるものとするのが至當であらう。

V. 總 括

工業用純 Al について中間加熱の冷間加工板の再結晶現象におよぼす影響を検討した。

(1) 熱間加工度が小さいほど、熱間加工後における板の再結晶粒度が大きくなる。(2) 熱間加工後の再結晶粒度は加熱温度が高いほど微細となる。これは加熱速度の影響と加熱温度が再結晶温度に近いほど粗大となるということから説明されるとした。(3) 冷間加工度が大きいほど、再結晶温度は低温となるが、同一加工度の場合には中間加熱温度が高い方で再結晶温度が高くなる。(4) 冷間加工前の結晶粒度が細かい方が再結晶粒度を微細にし、また高加工度の範囲では再結晶粒度は冷間加工度の逆数と指數函數的關係にある。(5) 熱間加工度が大きく、冷間加工度の小さい方が異方性が少い。また、引張りによる伸とエリクセン値とは必ずしも一致せず、エセクセン値におよぼす結晶粒度の影響も見逃せない。(6) 冷間加工度が大きいほど、中間加熱温度の再結晶粒度におよぼす影響が緩徐となる。

終りに、本實驗を熱心に遂行した野原修君の勞に對して感謝の意を表します。