

## アルミニウム圧延板における表面集合組織

上城太一\* 関根和喜\* 久芳征一郎\* 竹内敏郎\*

Taichi Kamiyo, Kazuyoshi Sekine, Seiichiro Kuba and Toshiro Takeuchi : Surface Textures in Rolled Aluminium Sheets. The factors that affect the formation of surface textures, friction between rolls and sheet, one pass reduction, total reduction and the rolling sequence have been studied. Under conditions of very high friction and low one pass reduction, the (001) [110] surface texture is markedly developed with increasing total rolling reduction, whereas the (001) [110] component is only to some extent formed for high one pass reduction. Under low friction conditions, the (001) [110] surface texture is gradually converted to the pure metal type rolling texture with increasing rolling reduction. For a range of sheet thickness from 12 to 0.5 mm, the influence of sheet thickness on the formation of the (001) [110] surface texture is not observed.

(Received September 13, 1971)

### I. 緒 言

Vargha と Wassermann<sup>(1)</sup> は、冷間圧延した厚さ 5 mm のアルミニウム板には、表面から 1.2 mm の内部まで (001) [110] 方位と記述される圧延集合組織が存在するが、厚さ 1 mm あるいはそれより薄い板では内部集合組織と類似のそれが得られると報告した。それに対し、Hu, Sperry と Beck<sup>(2)</sup> は、1 pass ごとに板の圧延方向を逆転して往復圧延を行えば、表面集合組織が形成されるが、一方向に圧延した場合には内部集合組織を横方向のまわりに約 5° 回転したものになることを見出し、表面集合組織の発達は

板厚よりは圧延のやり方に依存すると指摘した。一方、Dillamore と Roberts<sup>(3)</sup> は広範囲に表面集合組織の発達する条件を調べ、ロールと素材の間の摩擦、圧延の温度、draught すなわち 1 回の板厚減少量などの影響について明らかにした。しかし報告された極点図においては等高線が相当ゆがんでおり、表面集合組織は発達していない。その原因としては彼等が 1 pass ごとの板厚減少率を一定として圧延しなかったことが考えられる。そこで本研究では 1 回の圧下率を一定とし、それを 10, 20 または 30% と定めて全圧下率 95% まで冷間圧延した。また全圧下率が高くなるのに伴って表面集合組織がどのように発達するかを調

\* 横浜国立大学工学部 (Faculty of Engineering, Yokohama National University, Yokohama)

(1) G. von Vargha und G. Wassermann : Metallwirtschaft, 12 (1933), 511.

(2) H. Hu, P. R. Sperry and P. A. Beck : Trans. AIME, 194 (1952), 76.

(3) I. L. Dillamore and W. T. Roberts : J. Inst. Metals, 92 (1964), 193.

べた報告はほとんどないので、圧下率 40, 60, 80, 90 および 95% の各段階で極点図を決定し、表面集合組織の発達に及ぼす 1 回の圧下率ならびに全圧下率の影響について検討した。さらにロール径は大略等しいが表面状態の非常に異なる 2 種のロールに対し、無潤滑と油潤滑という二つの条件を与え、4 種の組み合わせを作って表面に作用する摩擦力の影響について調べると同時に、一方向圧延と往復圧延の相違についても検討した。

II. 実験方法

99.99% のアルミニウム地金を抵抗炉で溶解し、黒鉛の鋳型 (30×60×200 mm) に鋳込んだ。それを巾 50 mm, 厚さ 14 mm に冷間鍛造してから、400°C にて 30 min 真空焼鈍し、さらに 10 mm まで冷間圧延した後 450°C にて 30 min 真空焼鈍して素材とした。

圧延は良く研磨した表面平滑な直径 280 mm のロールと熱間圧延用の表面の粗い直径 250 mm のロールを有する 2 種の 2 段圧延機によって行なった。無潤滑圧延のさいには、圧延作業前およびその途中にしばしばロール表面をアセトンで洗滌して脱脂した。全圧下率は 40, 60, 80, 90 および 95% とし、1 回の圧下率をそれぞれ大略 10 および 20% とした。また 1 回の圧下率 30% の試料では全圧下率を 50, 75 および 95% とした。(111) ならびに (200) 極点図の決定は CoK $\alpha$  特性 X 線を用い、Schulz の反射法によって行なった。そのさい、極点図の中心より 60° の範囲だけを測定した。また (001) [110] 方位成分の量と全圧下率の関係は (111) 極点図の中心から 55° の位置にあるピークの値の平均値より求めた。

III. 実験結果

1. 表面の粗いロールを用い無潤滑で冷間圧延した場合

Fig. 1 は 1 回の圧下率を 10% とし、往復圧延によってそれぞれ、全圧下率 60, 80 および 90% 冷間圧延した試料の部分的 (111) 極点図である。表面層の圧延集合組織は (001) [110] 方位と記述されるが、(1 $\bar{1}1$ ) 面が板面に平行に配列した方位が副成分として存在している。後者の圧延方向の指数は、極点図の外周部を測定しなかったため、決定できないが、集積が中心から横軸に沿って (001) [110] 方位まで連なっていることから、[110] であろうと考えられる。このような表面集合組織は圧下率 40% においてすでに認められたが、圧下率が小さい場合には分散が大きく、圧下率が高くなるにしたがって、非常に発達することがわかった。圧下率 95% の試料の (111) 極点図は Fig. 1 (c) に極めて類似しており、この試料の板厚は 0.5 mm であるので、板厚 1 mm 以下においても表面集合組織が発達することが明らかになった。Fig. 2 は 1 回の圧下率を 10% とし、一方向圧延によって 90% 冷延した試料の (111) 極点図である。

Fig. 2 は一方向圧延によっても表面集合組織が非常に発達することを示しているが、発達の度合は往復圧延の場合と

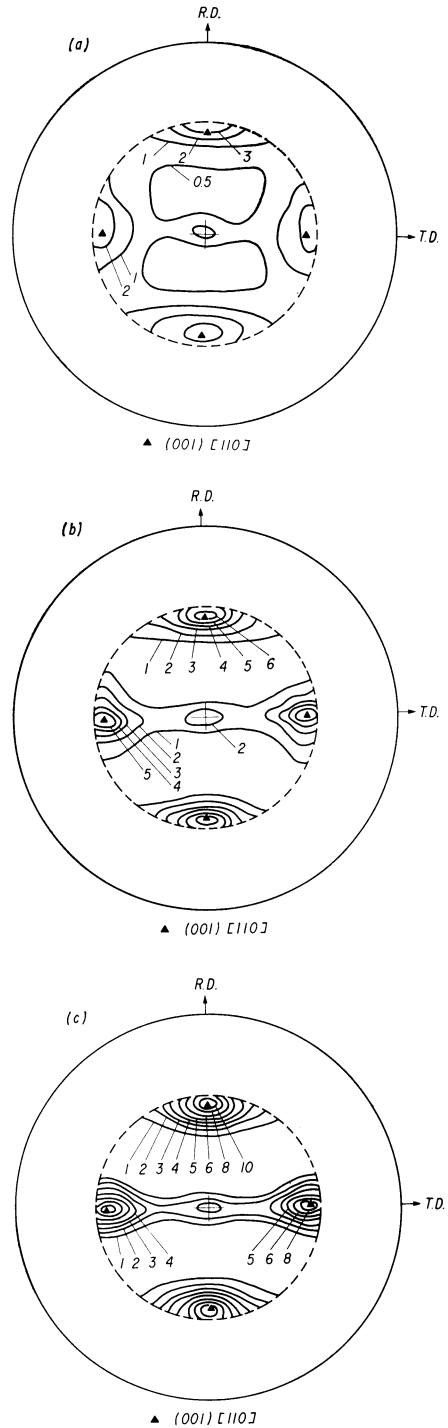
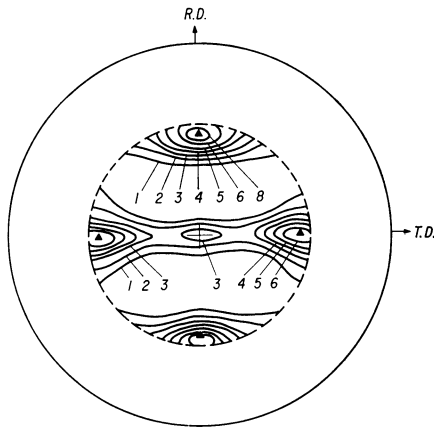
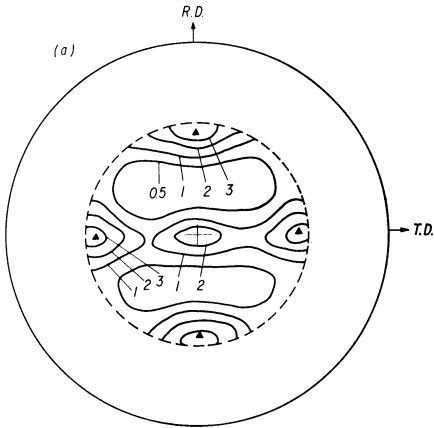


Fig. 1 Partial (111) pole figures for the surface textures of aluminium sheets rolled 60 pct (a), 80 pct (b), and 90 pct (c), reversely between passes, reducing 10 pct in each pass, with degreased rolls having a rough surface

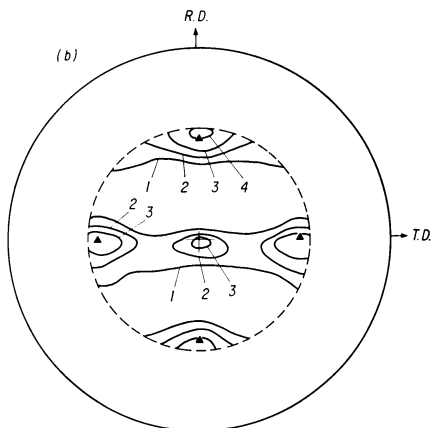


▲ (001) [110] J

Fig.2 Partial (111) pole figure for the surface texture of aluminium sheet rolled 90 pct unidirectionally, reducing 10 pct in each pass, with degreased rolls having a rough surface



▲ (001) [110] J



▲ (001) [110] J

Fig.3 Partial (111) pole figures for the surface textures of aluminium sheets rolled 50 pct (a), and 90 pct (b), reducing 30 pct in each pass, with degreased rolls having a rough surface

同様圧下率に依存している。Fig.3は1回の圧下率を30%とし、往復圧延によって50と90%冷延した試料の(111)極点図である。両図とも表面集合組織を示しているが、あまり鮮鋭ではない。また1回の圧下率30%で一方向に圧延した場合も同様の結果が得られた。Fig.4は全圧下率の増加による(001) [110]方位成分の発達の模様を示すグラフである。1回の圧下率が10%の場合には(001) [110]方位成分は圧下率が高くなるにつれて増加するが、一方向圧延よりは往復圧延のほうがすべての全圧下率において僅かながら多い。1回の圧下率が30%の場合には表面集合組織は低圧下率から存在するが圧下率が高くなってもほとんど発達していない。

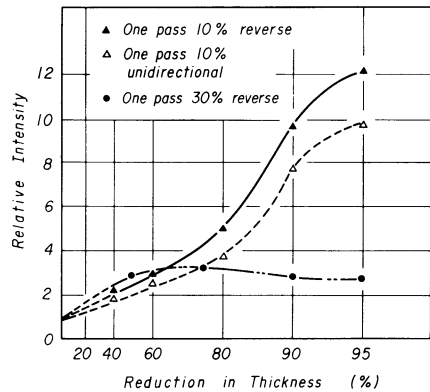


Fig.4 Variation of X-ray intensity reflected from (001) [110] component. One pass reduction : 10 pct or 30 pct

### 2. 表面平滑なロールを用い無潤滑で往復圧延した場合

Fig.5は1回の圧下率を10%とし、それぞれ80および95%冷延した試料の(111)極点図である。圧下率40%ではほとんど不規則方位であったが、圧下率が増すにつれて表面集合組織は発達した。しかし、Fig.5(a)から明らかなく、圧下率80%においても等高線がゆがんでおり、鮮鋭な集合組織とはなっていない。圧下率が90%になると内部集合組織が現われはじめ、さらに95%では表面集合組織はこん跡をとどめるばかりに減少している。1回の圧下率が20%の場合には、全圧下率40%ではかなり表面集合組織が存在していたが、60%でそれが減少して内部集合組織と共存した形態となり、さらに圧下率が高くなると内部集合組織のみになった。

### 3. その他

表面平滑なロールを用い機械油潤滑の状態では1回の圧下率を10%として冷間圧延した場合は、全圧下率80および95%の試料の(111)極点図をFig.6に示すごとく、表面集合組織はまったく形成されず、たんに圧下率が増すにつれて内部集合組織が発達しただけであった。ところが、油潤滑であっても表面の粗いロールを用い、1回の圧下率を

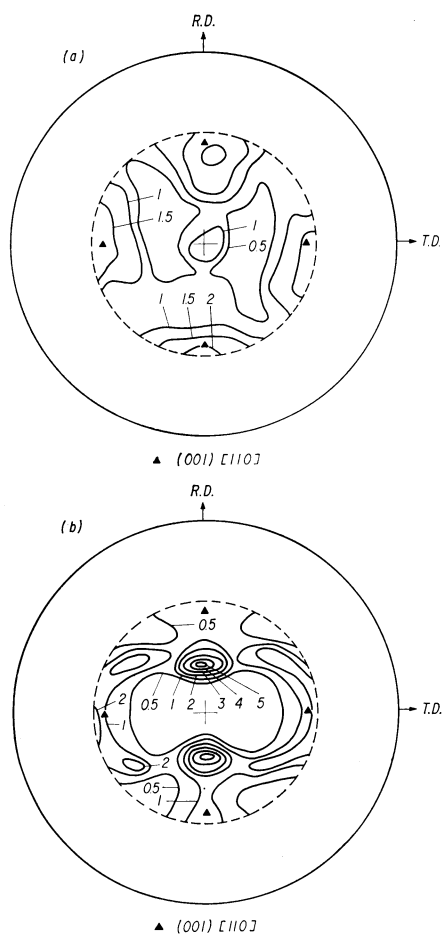


Fig.5 Partial (111) pole figures for the surface textures of aluminium sheets rolled 80 pct (a), and 95 pct (b), reversely between passes, reducing 10 pct in each pass, with degreased rolls having smooth surface

20%とした場合には、圧下率40%から表面集合組織が現われ、圧下率の上昇とともに発達した。Fig.7に圧下率80%の試料の(111)極点図を示す。しかし、圧下率がさらにますと内部集合組織が混在するようになった。Table 1は圧延方法と表面集合組織の発達の状況を示すものである。円の数の多いものほど表面集合組織が発達していることを示しており、また*i*と*r*はそれぞれ内部集合組織と不規則方位であることの表示である。

#### IV. 考 察

前節に述べた結果から表面集合組織の形成に関して次の事実が明らかとなった。すなわち、

(1) ロールと素材の間に作用する摩擦力が最も重要な因子であって、表面集合組織は摩擦力が非常に大きい場合に極めて顕著に発達する。

(2) 1回の圧下率は次に重要な因子であって、これが小さい場合には全圧下率の増加とともに表面集合組織は発達

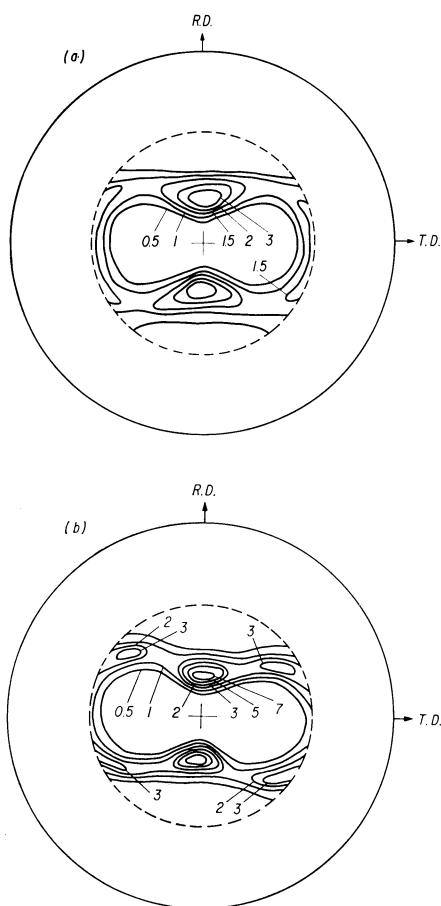


Fig.6 Partial (111) pole figures for the surface textures of aluminium sheets rolled 80 pct (a), and 95 pct (b), reversely between passes, reducing 10 pct in each pass, with lubricated rolls having a smooth surface

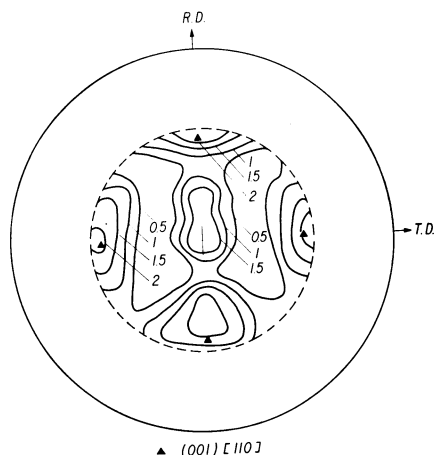


Fig.7 Partial (111) pole figure for the surface texture of aluminium sheet rolled 80 pct reversely between passes, reducing 20 pct in each pass, with lubricated rolls having a rough surface

Table 1 Variabls examined

| Lubrication               |          | Degreased |    |    |    |        |     | Oil applied |        |
|---------------------------|----------|-----------|----|----|----|--------|-----|-------------|--------|
| Roll surface              |          | Rough     |    |    |    | Smooth |     | Rough       | Smooth |
| One pass reduction (%)    |          | 10        |    | 30 |    | 10     | 20  | 20          | 10     |
| Unidirectional or reverse |          | R         | U  | R  | U  | R      | R   | R           | R      |
| Total reduction (%)       | 40       | ◎         | ◎  |    |    | r      | ◎   | ○           | i      |
|                           | 60 or 50 | ◎*        | ◎  | ◎* | ◎* | ○      | ○+i | ○           | i      |
|                           | 80 or 75 | ◎*        | ◎  | ◎  | ◎  | ◎*     | i   | ◎           | i*     |
|                           | 90       | ◎*        | ◎* | ◎* | ◎* | ◎+i    | i   | ◎+i         | i      |
|                           | 95       | ◎         | ◎  | ◎  | ◎  | i      |     |             | i*     |

Degree of development of surface texture is indicated by ◎~○  
 \* indicates that (111) pole figure is shown in the text  
 i indicates that inner texture is developed  
 r indicates random texture

するが、これが大きい場合にはある程度以上には発達しない。

(3) 全圧下率も重要な因子であって、摩擦係数が高く、1回の圧下率が小さいという条件のもとでは、それが高いほど表面集合組織を発達させるが、摩擦係数が十分大きくない場合には全圧下率が非常に高くなると表面集合組織はしだいに内部集合組織に遷移する。

(4) 板厚の影響は0.5mm程度まで認められない。

(5) 一方向圧延と往復圧延の相違はほとんど影響を及ぼさないが、僅かに往復圧延のほうがよく発達している。

(1) に示したごとく表面集合組織を発達させるためには、第一にロールと素材との間に作用する摩擦力を高める必要がある。これには単にロール表面を脱脂するだけでは不十分で、Dillamore と Roberts が試みたように摩擦係数を高めるようなものを表面に塗布するか、表面の粗いロールまたは摩擦係数の大きなロールを使用しなければならない。

表面集合組織がアルミニウムにおいては顕著な発達をみせるのに対し、銅においては圧延温度を高めなにかぎりあまりそれが形成されない原因としては、第1に積層欠陥エネルギーの大きさの違いによる交差すべりの起こり易さの相違があげられている。これは交差すべりによって結晶が(001)[110]方位に向かってすべり回転すると考えるものである。しかし、アルミニウムと銅では内部集合組織にはそれほど大きな相違がみられないことから、アルミニウムにおいてのみ表面集合組織が顕著に発達するという事実は交差すべり説では十分説明できない。第2にアルミニウムは銅に比べて軟らかいため、素材が粗いロール表面によくなじんで見かけ上の摩擦係数を非常に高めることがあげられる。このように考えれば、油潤滑を行なったにもかかわらず、表面の粗いロールを用いて80%以上冷延したとき表面集合組織が形成されたという結果は、1回の圧下率が

20%のため、摩擦力が大きかったからであるとして説明できる。

また表面の平滑なロールを用いて無潤滑で圧延した場合で全圧下率が高くなると表面集合組織から内部集合組織に遷移したのは、素材の加工硬化によって見かけ上の摩擦係数が減少したためと考えられる。Vergha と Wassermann はこの遷移を板厚の減少によるとみなしたが、これは板厚の影響ではない。さらに軟らかい鉛においては表面集合組織が形成されるのに対し、硬い黄銅においてはそれがほとんど現われないこと、ならびに1回の圧下率が20%の場合脱脂し無潤滑で圧延するよりも粗いロールを使用したほうが有効であることも見かけ上の摩擦係数の相違

によるものであると理解できる。

本実験の結果は1回の圧下率が低いほうが表面集合組織が発達することを示したが、Dillamore と Roberts の実験結果では逆に1回の板厚減少量が大きい場合にそれが発達した。このような相違の生じた原因は本実験では表面の粗いロールを用いたために、見かけ上の摩擦係数が極めて高かったからであると解される。ロールと素材の間に大きな摩擦力が作用する場合には、圧延のさい表面層は板厚の減少および圧延方向の伸びを同時に中立点を境として入口側と出口側で逆向きの大きなせん断変形を受ける。表面集合組織は垂直ひずみとせん断ひずみの合成された変形に対して安定な方位であるから、摩擦力が減少すると板厚の減少と圧延方向への伸びによって生ずる結晶回転によって内部集合組織に遷移することになる。Dillamore と Roberts はまた1回の板厚減少量の増加につれて入口側の変形量の増すことを見出し、1回の板厚減少量の増加が表面集合組織の発達をもたらすと述べているが、これは摩擦係数が十分大きくない場合のみ真であると考えられる。(001)[110]方位は横方向に関して対称な方位であるが、入口側と出口側における変形量が異なるときには集合組織は対称性を失い、横方向のまわりに少し回転した形となる。往復圧延の場合には入口側と出口側の変形量の違いは打ち消される。またそれが等価であれば一方向圧延と往復圧延の差異はなくなる。

次に摩擦係数が極めて大きく1回の圧下率が30%の場合に、表面集合組織の発達の度合いが1回の圧下率10%の場合に比べて劣る理由について考察しよう。Dillamore と Roberts が指摘したごとく、表面層では圧縮応力軸は板面に垂直な方向から傾いており、傾角の大きさは摩擦力の大きさによって変化するから、1回の圧下率に依存すること

になる。(001) [110] 方位が内部集合組織中の (112) [111] 方位成分を横方向のまわりに  $35^\circ$  回転したものであると仮定すると、摩擦力が小さい場合には傾角は  $35^\circ$  より小さくなり、また大きすぎる場合にはそれより大となるから、その結果いずれも (001) [110] 方位からの分散を増加させることになる。すなわち、1 回の圧下率が 30% の場合には摩擦力が大きすぎるために、全圧下率が高くなっても表面集合組織が sharp にならなかったと考えられる。

一方 Dillamore と Roberts の場合には板厚減少量を 1 mm にしており、試料の最終板厚が 1 mm であるので最終 pass の圧下率は 50% である。したがって彼等が報告した極点図に鮮鋭な表面集合組織がみられない原因の第 1 は

1 pass 圧下率を一定とせず draught を一定としたために摩擦力が変化したためであり、第 2 は 1 pass 圧下率が板厚が薄くなった場合には大きすぎたためであると考えられる。

## V. 結 論

アルミニウム圧延板における表面集合組織は副成分として (111) [110] 方位を伴った (001) [110] 方位と記述され、表面の粗いロールを脱脂し、摩擦係数の大きな条件のもとで冷間圧延した場合には、1 回の圧下率を 10% 程度とし、全圧下率を 90% 以上に高くしたときに最も発達する。板厚の影響は 0.5 mm まで極端に薄くないかぎり認められず、また一方向圧延か往復圧延かは重要な因子ではない。