Al 結晶の變形に對する罫畫線の影響について*

辛 島 誠 一**

Seiichi Karashima: On the Effect of Scratched Lines on the Deformation of Aluminium Single Crystals.

When the author investigated the plastic deformation of coarse-grained aluminium specimens on which the index lines were scratched for measuring strains, it was found that in some grains lines parallel to the index lines were observed on the other side of the specimens after certain extensions were given. This phenomenon was studied in detail by means of back reflection Laue photographs, microphotographs, etc., and its cause was attributed to the fact that the state somewhat similar to polycrystalline one was produced near the index lines by scratching and then slips were prohibited.

(Received October 8, 1951)

I. 緒 言

結晶内や粒界附近の歪の分布などを調べるために、試料に標線をかいてその間の伸びを測定する方法があるが、この方法では變形に伴つて現われる表面の凹凸などのため、最初にある程度以上強い線を入れておかなければならない。ところでこのような試料を用いて實驗を行つているとき、引張加工に伴つてこれらの標線に平行な線が試料の裏面にみえてくるのを偶然認めた。そこでこの現象に關して背面ラウエ寫眞、顯微鏡寫眞、腐蝕線との比較による若干の實驗を行つてその成因を明らかにした。

II. 實 驗

先ず壓延および焼鈍状態の Al (99.7%) の多結晶板状試料 (厚さ 1 mm) の表面に、蓄音器針を用いて 100~

250 g の種々の荷重で引張方向に直角な線をかいて實驗したが、上記の現象は認められなかつた。次に歪焼鈍法によつてつくつた方位の Al (99.7%) 單結晶または二、三の粗大結晶からできている板状試料について同様の實驗を行つたところ、Table 1 に示す結果がえられた。これからこの現象を示すのは變形にあたつて主として厚さを減ずるような方位にある結晶粒で、しかもそれ等の結晶粒においても、厚さに對してある程度以上の荷重による罫畫線に對してのみ、この現象が現われるという見當がえられたので、さらに多くの試料 (厚さ 1 mm) に 250 g の荷重で線をかいて確めた結果を Fig. 1 に示す。この圖は各結晶粒の方位を示すステレオ投影で、このように引張りに對する回り面の極を中心とし、回り方向を水平方向にとつて描くと各結晶粒の引張軸の方向は一つの球面三角形内の點として現わすことができる⁽¹⁾。實驗によると罫畫線に對してこの現象を示さないものと、1 本の線に對して裏面に線が

** 大阪大學産業科學研究所

* 1951 年 10 月本會神戸大會に發表

1 本現われるもの、および2本現われるものがあることがわかつたが、このことに對して各結晶粒の引張軸の方向には何等の規則性がみられない。しかしこの投影圖に試料

表面への法線の方角を同時に描くと、これには明らかに規則性がみられる。すなわち、法線の位置と投影の中心とを結ぶ線分と回り方向とのなす角を φ とすれば、この角は

Table 1 Results Obtained from Some Specimens Showing Surface Bending.

Specimen No.	Initial thickness in mm	Initial breadth in mm	Final thickness in mm	Final breadth in mm	Lines scratched on the surface	Lines showing surface bending
31	1	20	0.95	19.5	100, 150, 180, 210, 230, 250 g lines	180, 210, 230, 250 g lines
32	1	20	0.95	19.3	"	"
33	1	20	0.80	19.6	"	150, 180, 210, 230, 250 g lines
105	2	20	1.10	19.6	"	230, 250 gr lines

Final thickness and final breadth mean the thickness and the breadth measured after the fracture of specimen respectively.

●Grains showing two surface bendings clearly.

●Grains showing the first bendings clearly and the second one faintly.

○Grains showing the first bending only.

×Grains showing no bending.

(Figures mean specimen numbers and alphabets grain numbers).

Fig. 1 Stereographic Projection Showing Orientation of Various Aluminium Crystals in Relation to the Axis of Tension and the Normal to Top Surface. (The projection is perpendicular to the slip plane).

SP: Slip plane,
OD: Slip direction,
ON: Normal to slip plane,
OP: Specimen axis,
OQ: Normal to top surface,
OR: Projection of OQ.

Fig. 2 Meaning of Angle φ .

Magnification Longitudinal $\times 1000$
Lateral $\times 50$

Fig. 3 Profile of Bending Surface Measured by the Finished Surface Tester (Nippon Kogaku Kikai).

Fig. 2 に示すように、試料表面への法線 OQ の回り面上の投影 OR と回り方向 OD とのなす角で、 φ が小さいということは引張變形に對して主として厚さを減ずるような方位をもつ結晶粒であるということに他ならないが、上記の現象を示す結晶粒の法線は大體回り方向と 45° をなす 2 本の黒線内にある。しかも、2 本の線がみられるものはその内でも φ が小さいものであることがわかる。裏面にみられるこれらの線は、ある方向からは光つてみえ、他の方向からは黒ずんでみえるところから、試料面の屈曲であると考えられるが、實際、日本光學製の仕上面検査器で調べてみたところ、Fig. 3 のように面が屈曲していることが認められた。

次に、これが切欠き形状の影響であるかどうかを確かめる

Photo. 1 Slip Lines Induced by Scratching. Photo. 2 Back Reflection Laue Photograph at the Region of Scratched Line. ($d=18$ mm)

ため、試料面をパラフィンで蔽い針で線をかき、これを硝酸 (47)、鹽酸 (50)、弗酸 (3) の混合液中に數分浸して、上記の野畫線と同程度の深さおよび幅をもつた腐蝕溝をつくつて比較したが、腐蝕線に對しては結晶方位如何にかゝらずこの現象がみられなかつた。そこでこの原因を探究

するため電解研磨した試料面に 250 g の荷重で線をかいて、その附近の顕微鏡寫眞をとつてみると、Photo. 1 に示すようにすでにじり線が現われており、またこの部分の背面ラウエ寫眞の各斑點は Photo. 2 のように相當亂れていて、この部分が單結晶の状態から相當變化しているこ

Photo. 3 Slipless Region After Extension Under the Scratched Line.

Photo. 4 Deformation Band Under the Scratched Line Showing Flexure of the First Slip Lines and the Presence of the Second Slip.

とがわかつたが、Orowan⁽²⁾などが述べているときデバイ環は認められなかつた。

さてこの試料をもう一度電解研磨して上記のじり線を消した後引張ると、Photo. 3 の側面顕微鏡寫眞が示すように溝の底部にじり線がない部分があり、裏面に現われる屈曲部はこの部分のじり線に沿う延長方向にあること、および二つの屈曲がみられる試料においてはさらに溝の底部から他の屈曲部に向つて、一次じり線が湾曲し、あるいは二次じりが現われている部分が、相當幅が廣く帶狀に存在していることが認められた。Photo. 4 は 20% 程度の變形を與えた試料を電解研磨し直し、再び若干引張加工したときの側面寫眞でこの部分を示している。なおこの現象は罫畫線の方にも関係があるようで、表面のじり線に直角に近く引いた線に對しては、 ρ の小さい結晶粒においてもこの現象がみられなかつた。

III. 考 察

前項に述べたように、罫畫線の部分の背面ラウエ寫眞にはデバイ環はみられなかつたが、この附近は Orowan など⁽²⁾が述べているように多結晶またはそれに近い状態になつていて、Miller⁽³⁾が多結晶と隣合っている Zn 單結晶に認めたと同様この部分では結晶のじりおよびそれに伴う回轉が阻止されるために、Fig. 4 (a) に模型的に示すように屈曲を生じたものと考えられる。このことは裏面の屈曲の位置が表面の線からじり線の方へにずれていることを説明するとともに、 ρ の大きな結晶粒においてはこのような屈曲を示さないこと、および ρ の小さい結晶粒において

も表面のじり線と直角に近く交わる線に對してこの現象が現われないことも矛盾しないようである。すなわち Fig. 4 (a) でもわかるように、紙面に直角な方向に多結晶状態が線狀に存在するときじり方向が紙面に近ければ、

(a) The first bending.

(b) The second bending.

Fig. 4 Schematic Diagrams Showing Generation of Bending Surfaces.

いゝかえれば ρ が小さければ、回轉の遅れによる屈曲が圖のように現われ易く、 ρ が大きくなつてじり方向が紙面から遠ざかるに従つてこのような屈曲が現われにくくなる。また ρ が小さい結晶粒においても、表面のじり線に直角に近く引いた線は、じり方向の試料表面上の投影と平行に近くなるため、この現象を示さないものと考えられる。

次にもう一つの屈曲であるが、Barrett などが⁽⁴⁾ Zn 單結晶の壓縮試験の際に認めた ring band が時として對になつて現われることがあつたのと同じく、第一の屈曲によつて生じた曲げモーメントのために、Photo. 4 に示されるような相當幅の廣い deformation band が生じ、このために Fig. 4(b) の模型圖のような面の屈曲がおこるものと考えられる。このことは第二の屈曲の位置が溝の底部から通常の deformation band の方向にずれているという實驗事實とも一致する。また Fig. 3 から大體見當がつくように、面の屈曲はせいぜい $1 \sim 2^\circ$ であつて、この deformation band 内のじり線のずれもこの程度と豫想しても差支えないと思われるが、實際、Photo. 4 に認められる band 内の一次じり線は matrix のそれに對して約 1° 程度の傾きをもっているようである。たゞ、以上のような成因によつてできると考えられる第二の屈曲が、結晶方位によつて肉眼的に認められる程度に現われたり現われなかつたりするのは、その結晶粒が第一の屈曲をおこし易い方位にあるかどうかによると考えられる。そして第二の屈曲が比較的明らかに認められるのは、 ρ が小さい上に試料表面のじり線が引張方向に直角に近いような結晶粒であるが、このような方位の結晶粒では第一の屈曲も大きいと同時に、試料が同軸性を保つために、それを打消す方向に第二の屈曲が起り易いと考えられるのも無理ではないと思われる。この第二の

(1) たとえば山口圭次、理研彙報、7 (1928), 363.

(2) E. A. Orowan and Y. H. Liu, J. Inst. Metals, 78 (1950), 93.

(3) R. F. Miller, Trans. A. I. M. E., 111 (1934), 135.

(4) J. B. Hess and C. S. Barrett, J. Metals, 1 (1949), 599.

屈曲が現われるところが、他の位置でなく罫畫線の近くであることは、dislocation の移動がこのような表面の欠陥のところで停止されて、そこに band を生ずると考える Barrett 等の見解⁽⁴⁾によく一致するようである。

なおこれらの見解からすれば、同様な屈曲が表面にも線となつて現われるはずであるが、これが餘りはつきり認められないのは、線を引いた時のまくれなどの凹凸のためであらうと思われる。

IV. 結 言

(1) ある範圍の方位にある Al 結晶粒表面に罫畫線を入れて引張ると、裏面に相當はつきりした線が1本乃至2本みえてくる。

(2) これは線の強さにも關係し、餘り小さい荷重の線においてはこの現象を示さない。

(3) 裏面にみえる線は面の屈曲によるもので、第一の屈曲は罫畫線によつて亂された部分の迂り回轉が阻止されるために生じ、第二の屈曲は第一の屈曲が發生したために生じた曲げモーメントによつて、第一の屈曲を打消す方向に生ずる。

(5) 結晶粒界附近の歪の分布を罫畫線⁽⁵⁾、および硬度計による壓痕（荷重 1 kg）⁽⁶⁾ などによつて測定する場合にも、當然このような影響を考えに入れなければならないと思われる。

最後に本研究は文部省科學研究費による研究の一部であること、および仕上面検査器に關しては阪大工學部田中義信教授の御配慮をえたことを附記して謝意を表する。

(5) 山口桂次, 理研彙報, 5 (1926), 748,

(6) W. Boas and M. E. Hargreaves, Proc. Roy. Soc., A-193 (1948), 89.