純 Al 押出棒の焼鈍軟化について (第2報) 軟化におよぼす押出条件の影響*

細 井 吉 一**

Yoshikazu Hosoi: Softening due to Annealing of Pure Al Extruded Rods (2).
On the Effect of Extruding Conditions on Softening Phenomena. In this paper, the effect of extruding conditions, which are the billet length, the extruding velocity, the die angle and the reduction %, on the softening of pure Al extruded rods upon annealing is described. The results obtained are as follows: (1) When 99.995% Al rods were extruded at about 400° by the same reduction %, in short billets the softening temperature, probably the recrystallization temperature, is raised more than in long billets and the higher the extrusion rate, the faster the softening. (2) A large die angle and a low reduction % raise the temperature described above. (3) 99.85% Al rods extruded at relatively higher temperature (about 510°) are hardened by 400° annealing. This hardening is remarkable at the tail and the surrounding part of the section in rods extruded by relatively low reduction %. When the reduction rate is raised, the hardening becomes weaker and the annealing temperature is lowered.

(Received April 30, 1966)

I. 緒 言

頭部から尾部へ一様に硬化した各種温度押出棒材は、焼鈍加熱により不均一軟化をおこすが、高温加工材でも再結晶能力があるため⁽¹⁾、この軟化現象は再結晶と関係のあることを推定し、押出温度の上昇とともに軟化温度が高温側にずれることを前報⁽²⁾で述べた。

一般に押出棒材は押出温度のみならず、その他の押出条件も棒材の硬度分布に影響をあたえ⁽³⁾、かかる棒材が熱処理のための加熱により、如何なる軟化現象をおこすかを検討した。

本報告ではビレットの長さ、押出速度、ダイス角、加工率などをことにして押出された棒状の軟化現象について報告する。

II. 実験方法と試料

試料作成のための押出装置およびこれに使用したダイスなどについては前報で詳細に報告⁽²⁾し、押出方法、ビレットの作成、測定方法なども前報と同様であるため省略する。

III. 実験結果と考察

1. ビレット長さをこととした棒材の焼鈍軟化

押出のためのビレットは、通常その直径の1~5倍とされ、4倍の長さが普通のものである。

ビレットが短ければ棒材の均一度がなく、2倍以上のビレット使用によりはじめて均一度のある棒材がえられることは、すでに著者らはたしかめえた⁽³⁾が、これら棒材が焼鈍により如何なる軟化をおこすかを検討した。

試料は99.995% Alで、60 mm (直径の2倍)と40 mm (直径の1½倍)の2種のビレットを作成し、400°, 正六角形ダイス(R%, 73.4)25 mm/minの速度で押出した棒材から作成した。

** 金澤大學工学部機械工学科

* 1956年4月本會東京大會に發表

(1) 大日方, 畑, 本誌, 6(1942), 258.

(2) 細井, 本誌, 20(195), 439.

(3) 森永, 細井, 輕金屬, 15(1955-5), 44.

押出したままの状態では 40 mm ビレットでは頭部から尾部へ、一様に硬化するが、60 mm ビレットでは棒材中間部から尾部へ、均一度のあるほぼ一定硬度の棒材がえられる。これら棒材の棒方向について各断面、各部分の硬度を測定し、低温から繰返し 30 min 焼鈍を行い軟化過程を測定した。

Fig. 1 The effect of annealing temperature on V.H.N. of 99.995 % Al extruded at 400° by hexagon die (R%, 73.4). Billet length : 40 mm.

同図によれば棒材各断面は低温とともに急軟化し、ついで僅少の硬化後は軟化は停滞し、250~300° 加熱で急軟化がおこる。この僅少の硬化は棒材頭部断面中心部附近において顕著となり、再結晶に原因すると思われる尾部の軟化点は頭部より低温側にずれることがわかる。

60 mm ビレットより作成された棒材の頭部断面隅の硬度についても Fig. 1 に類似の軟化傾向をしめすが、押出状態で硬度がほぼ一定の均一断面では低温における微弱硬化はなく、同一の軟化過程

Fig. 2 The effect of billet length on softening temp. of 99.995% Al extruded at 400° by hexagon die (R%, 73.4). Measured at surrounding point.

Fig 1 は 40 mm ビレットから製作された棒材の隅の硬度について測定し、焼鈍による軟化状況をしめたものである。

レットの短い場合は、硬度の不均一部が長く焼鈍軟化過程にも相違をおこし、ビレットが長くなれば均一部長く、したがって軟化過程も同一傾向となる。

低温焼鈍による微弱な硬化は、棒材頭部におこり押出による加工のうけ方が不十分で鑄造状態の加熱による暴動かもしれない。

2. 押出速度のことなる棒材の焼鈍軟化

試料は 99.995 % Al で 30 mm×40 mm ビレットを作成し、円形ダイス (R%, 74.6) により 350, 400° の 2 種の温度で、それぞれ 15 mm/min, 27 mm/min の速度で押出した棒材から製作した。

Fig 3 は 350° 押出棒の特定断面 3 箇所について、断面外周硬度について測定した結果である。

焼鈍ははじめ 150°, 340 min 行い軟化時間曲線をもとめ、つぎに 250° の軟化時間曲線、最後に軟化温度曲線をもとめたが同図 (a), (b), (c) はこれを示す。

軟化の傾向は、押出速度にかかわらず同一傾向を示し、150° 焼鈍により歪の除去に原因すると思われる軟化につづいて微少硬化がある。この現象は時間曲線では棒材の各

Fig. 3 The effect of annealing time and temperature on V.H.N. of 99.995% Al extruded at 350° by circle die (R%, 74.6).

をたどり、40 mm ビレットの場合と同様尾部の軟化点は低温に移動する。しかし Fig 2 によればこれら軟化点は 40 mm ビレットの場合に比較し、全體的に低温に移り、棒中央から尾部へ軟化温度の低下率が小さいことがわかる。

以上の如く、ビ

断面にあらわれ頭部は尾部より短時間であらわれ、また高速押出では低速のものより短時間であらわれる。(a)の……はこれを示す。(b), (c) 曲線では押出速度による軟化傾向には顕著な相違はないが、高速押出材の尾部の軟化が先行するようである。

400° 押出では 350° とほぼ同一傾向を示し、150° 焼鈍の微弱硬化の現象は短時間側に移動する。

本実験の各種条件は前実験とほぼ同一条件であり、焼鈍過程を詳細検討したため低温焼鈍による微少硬化が明瞭にあらわれたものと思われる。

この硬化は棒材各断面にあらわれ尾部において顕著な傾向がうかがえるから、前実験における頭部微少硬化とことなるものであり、銅合金などに顕著にあらわれる異常硬化現象に類するものでなかろうか。

3. ダイス角のことなる棒材の焼鈍軟化

ダイス角により所要壓力は變化し、棒材硬度にも影響をあたえる。G. Sachs⁽⁴⁾ は Pb, Sn はダイス角 45° で最低壓力を示すと報告しているが、押出条件により最低を示すダイス角は變化し、著者らの結果によれば Al, 510° 押出では約 75° である。またダイス角が大になれば棒材の硬度は低下する。

以上の如くダイス角の影響をうけた棒材の焼鈍による軟化過程を、99.80% Al, 押出速度 25 mm/min, 520° 押出棒について検討した。

使用ダイスは前報の如くで孔徑は 10 mm ϕ のものである。

ダイス角を異にしたこれら棒材の、各断面各部の焼鈍軟化傾向はいずれも同一傾向を示す。

Fig. 4 (a) は棒材中央断面(頭部より 110 mm 断面)、外周硬度を測定し、ダイス角ごとに軟化曲線を圖示したものである。

Fig. 4 (a) V. H. N. - temperature and (b) softening temperature-die angle curves of 99.80% Al extruded at 520°. (Measured at surrounding point of 110 mm part from head).

Fig. 5 Relation between V. H. N., die angle and annealing temperature of 99.80% Al extruded at 520°. (Measured at surrounding point of 190 mm part from head).

すなわちダイス角の増加により軟化點は次第に上昇することがわかる。Fig. 5 はダイス角をこととした棒材の尾部断面外周硬度が焼鈍により軟化する傾向を圖示したものである。

4. 加工率のことなる棒材の焼鈍軟化

押出棒は加工率の増加につれて押出流動がことなり硬度

も上昇するが、加工率 75% からは硬化率も大になる。このような棒材を焼鈍すれば、その軟化現象にも相違があるものと思われる。

試料は 99.85% Al, ダイスは円形で、押出温度 510° の棒材から作成した。

Fig. 6 は加工率のことなつた棒材の數断面について、外周ならびに中心附近の硬度を測定し、軟化曲線をもとめたものである。

圖中の測定部の數字は棒材は加工率により長短ができ、

Fig. 6 The effect of annealing temperature on V. H. N. of 99.85% Al extruded at 510°.

硬度變化の比較が困難なため、棒材がビレット先端から一様に押出されたものと假定して、棒材頭部から測定断面までの距離をダイス面からのビレット長さに換算して示したものである。

同圖(a)より 150° 焼鈍でいずれも軟化し、300° まで軟化することなく 400° で硬化、さらに高温で急軟化することがわかる。

この 400° 硬化は外周および中心部ともに棒材尾部において顯著であり、外周は中心部より硬化が大である。

しかし、棒材頭部では硬化はほとんどなく、軟化開始點は高温側にずれる傾向がある。

加工率の増加により軟化傾向は變化し、400° 硬化は微弱となり、硬化温度は低温に移るとともに冷間加工材のそれと類似する。

また再結晶によると思われる軟化點は、加工率小なときは 400° 硬化により明瞭ではないが、加工率の増大にともない低温にうつる傾向のあることは Fig. 6(b) と比較すれば明らかである。

Fig. 7 は 99.85% Al, 510° 押出棒の頭部断面について、軟化點と加工率の關係を示したものである。

以上の如く押出条件により再結晶によると思われる軟化点はピレットが長く、ダイス角が小で、加工率が大の場合

Fig. 7 Softening temperature-reduction % curves of 99.85 % Al extruded at 510°. (Measured at head of rods).

硬化は 99.85 % Al についてであり、加工率、棒材の方向、断面の位置などにより左右されるから、高温における押出加工による素材の変形機構に原因する押出後の結晶粒などの組織状態によるものと思われるが、今後の研究としたい。

低温に移動し、押出速度が早ければ軟化が先行する傾向がある。

本実験における 400° 焼鈍

IV. 総 括

押出棒は加工条件により硬度分布に相違が生じ、これら棒材の焼鈍軟化にも影響するものと考え、ピレット長さ、押出速度、ダイス角および加工率をことにした棒材の焼鈍軟化をしらべたがこれらを總括すれば次の如くである。

(1) 99.995 % Al を使用し、350~400° 押出、ほぼ同一の加工率の棒材についてピレットの長さ、押出速度の影響をしらべたが、ピレットが長ければ再結晶によると思われる軟化点は低下し押出速度が早ければ軟化が先行する。

(2) ダイス角が小さく、加工率大なる場合は前記軟化点は低温にうつる。

(3) 99.85 % Al を使用し、510° 押出の場合、400° 焼鈍により硬化する。この硬化は比較的低加工率でおこり棒材尾部断面外周部において顕著にあらわれ、加工率の増加とともに微弱となり低温に移動する。

終に本研究遂行にあたり御激励御鞭撻いただいた東京工大教授森永博士に深謝するとともに、実験に協力された湯川 守君に厚くお禮申し上げます。