Al 合金の鑄造偏析に関する研究 (第 4 報)* 連 續 鑄 造 に つ い て

室 町 繁 雄** 堀 茂 徳**

Shigeo Muromachi and Shigenori Hori : On the Casting Segregation in Aluminium Alloys (4th Reports). Study on Semi-continuous Casting. Using our continuous casting apparatus, Al-Cu (4 %) slabs were made under various conditions, and we investigated the segregation that appeared in the slabs obtained. The results are as follows: The degree of segregation is very low when the conditions of casting — casting velocity, casting temperature, descending velocity and cooling velocity — are suitable. The structure of the slabs is shown in photo.3; in the photographs we see fine granular structure only as was expected from our diagram (Fig. 1).

(Received April 19, 1954)

I. 緒 言

前報⁽¹⁾まで主として Al 合金に現れる逆偏析の機構について研究して来た。その結論として Fig. 1 で本機構が充

Fig. 1 Schematic diagram of the segregation.

** 富山大學工學部

* 1953 年 10 月本會仙台大會に発表.

(1) 室町, 本誌, 17 (1953), 397.

分説明出来ること、これから逆偏析の最も少い鑄造法は層一層と凝固する連續鑄造法以外にあり得ないこと、さらにこの方法による鑄塊の組織は過冷層、柱狀晶層、樹枝狀晶層の中何れか一層の組織のみからなること、押湯を必要とせず收縮孔を生じないことなどが推定されることを指摘しておいた。

今回は以上の結論から誘導される諸點が、連續鑄造による鑄塊において果して具備されているや否やを検討し、逆偏析の機構を再吟味するのが目的である。あわせて連續鑄造の諸條件を決定することにした。

さて連續鑄造に関する歴史は古く、H. Bessemer⁽²⁾は 1857 年既に鋼を直接熔體から板にする方法を述べている。これによく似た直接製板法が Hazelett により實用化されようとした。これらは熔湯を直接ロール間に注入して連續的に板を得ようとするもので、幾多の難點があるようである。これに對し鑄型に熔湯を注入し底部から引出すことにより連續的に長い鑄塊を得ようとする方法に W. I. Ennori⁽³⁾法, Eldred 法, Poland-Lindner 法, Williams 法, Junghaus 法などがある。現在米國、獨乙における Al, Mg, Brass の連續鑄造は Junghaus 法が主で I. G. Scotti

(2) A. v. Zeerleder, *Aluminium*, 3(1939), 192.

Co. で工業化されている。この方法は冷却槽を持つた銅板製上型が 1' 位静かに降下し次に急激に上昇するという運動を繰返し凝固した鑄塊を降下させるものである。潤滑剤および酸化防止剤として燕油を用いている。W. T. Ennor 法は型に直接水を吹付けて冷却し、内壁は直接熔湯に觸れるのを防ぐ目的でグリースやワックスをぬつている。鑄塊の降下速度は 25~175mm/min である。Eldred 法は黒鉛製鑄型を使用している。黒鉛は熱傳導はよく、それ自體潤滑性を有しているが、冷却効果は金屬製におよばない。従つて鑄造速度が遅くまた型の消耗が甚しい。William 法は型は薄板で作られ外周は水冷している。

連續鑄造による鑄塊の偏析現象に関しては Zeerleder⁽⁴⁾ の報告がある。同氏は Junghaus-Wieland 法により Avional 合金鑄塊を熔製し、その中心、中央、外周部の 3 點から分析試料を採取して Cu の偏析現象を調査し、連續鑄造によつても逆偏析は防止出来ないと報告している。G. Siebel⁽⁵⁾, D. Altenpohl, H. M. Cohen 等は連續鑄造による Al 合金鑄塊では偏析が周期的に生ずることを指摘している。また鑄造條件として湯口の形狀を種々挙げ、注湯を開始してから下型を下げ始めるまでに要する時間、いい換えれば金型中に常に存在している湯の高さが偏析に影響することを述べている。さらに鑄塊が金型に接する附近の凝固過程を検討している。B. H. C. Waters⁽⁶⁾ は連續鑄造による鑄塊にしばしば氣孔が出来ることがあるがこれは鑄造の時、ブリッジが出來た時、凝固の時ガスが発生しそのガスと金屬が反應した時、鑄造の際機械的にガスが混入された時などで、また鑄造速度に原因するがこれは下型に注がれた湯の高さが低いほど氣孔は出來にくいと報告している。R. T. Staples⁽⁷⁾, H. J. Hurst は連續鑄造を正確に實施するためには (1) 鑄造温度を一定に維持すること、(2) 冷却水の温度を $\pm 1 \sim 2^\circ$ 範圍に保つこと、(3) 鑄造温度

を測定し得ること、(4) 型の中に注入された金屬の高さを一定にすることなどが必要條件であると述べている。わが國でも連結鑄造法が一部採用されているが恐らく Junghaus および William 法を改良したものと思われるが一般に公開されず詳細の不明なことは遺憾である。著者等は Staples, Hurst, Wilkinson の方法を参考にし、さらに著者等の提唱する偏析の機構から豫想される偏析防止という點を考慮して Fig. 2 の如き装置を考案作製した。これを用い断面 60×230 mm, Al-Cu (4%) 合金鑄塊を熔製試料に供した。

II. 實驗裝置および作業條件の決定

1. 實驗裝置

鐵坩堝式電氣爐で毎回 93.6% の Al 20 kg を熔解 Al: Cu=1:1 の母合金を配合して Al-Cu (4%) 合金を熔製し取鍋に汲取り鑄造した。本實驗に用いた鑄造裝置は Fig. 2 に示す如く半連續鑄造裝置である。すなわち A は上型で材質はラウタル (Cu 4%, Si 3% 残 Al) で結晶粒微細化の目的で 0.05% の Ti を添加し、乾燥砂型(中子の粘結劑としてボパール使用)に鑄込み焼鈍後機械仕上げを施し厚さ 60 mm, 巾 230 mm の鑄塊が出来るようにした。内面のテーパは 1/60 とした。冷却槽の底部に 4 mm 直径のシャワー孔を 2 段に 25 mm 間隔に内部に 45° の角変に開けてある。冷却槽の兩端から 3/4" パイプで送られた冷却水は上型を冷却しさらにシャワーとなつて降下して來る鑄塊を水冷することになる。下型 B は膨脹係數を考慮して鑄鐵製にし、底部には冷却槽を設けた。これは降下して來る鑄塊が水槽に入るまでの期間出来るだけ底部からの冷却を効果的にする目的である。C はベベルギヤーで砲金製にした。D はキー溝を有する角ネジを切つたシャフトで、E なるハンドルを廻轉することにより靜かに上下する如く考案されてある。ハンドル 1 回轉で下型は 15 mm 上昇あるいは下降する。水槽の水位は F で鑄塊はこの位置に來るまでに上型の水冷、2 段のシャワー、下型の水冷および G なる位置のシャワーにより冷却されこの位置に來てさらに水冷されることになる。冷却に用いられた水は H なる流出口から流れ出るが冷却速度は各パイプにつけたバルブにより加減出来るが一應この流出口出る水量をもつて表すことにした。

まず各部の冷却水を調節し、下型を圖の位置においてから上下型の内面に種油をぬり鑄造を開始する。取鍋から流れ出た湯は 2 段の湯溜を通して兩側から垂直に落下する如く出來ている。上型に約 1/2~2/3 程度湯が溜ると靜かにハンドルを廻して下型を下げれば、注湯は凝固しながら自重で下型に着いて降下することになる。

2 作業條件の決定

冷却方法は前述の通りであるが、最初上型のシャワーを 1 段のみとしたが注入後下型を下げる際熔湯が凝固した薄肉の部分を再熔解し水槽中に流出する機会が多いため 2 段

Fig. 2 Profile of the semi-continuous casting apparatus.

- (3) 森永, 輕金屬時代, (1935), 227. p. 25.
- (5) G. Siebel, D. Altenpohl, H. M. Cohen, Z. Metallk., 55 (1953), 173.
- (6) B. H. C. Waters, Metal Treatment, 1(1953), 3.
- (7) R. T. Staples, H. J. Hurst, J. Inst. Metals, 8 (1953), 1452.

に追加した。また水槽と上型底部との距離も次第に短縮し 20~30 mm に選ぶことにより好結果が得られた。従つて C 部のシャワーは降下する鑄塊を直接水冷するというよりむしろ降下する鑄塊附近の加熱された水を攪拌する役目を果たす程度になり、取去つても大して影響はないものと思われ

Fig. 3 Metal reservoir.

る。事實 brass の試験には取去つて実施したが差支えなかった。冷却速度は 1~1.5 L/sec の範囲ならほとんど水蒸気の発生も認められず何れも好い結果が得られた。鑄込温度、鑄込速度を適當に選ぶことは重要な點である。次に取鍋から湯溜を通して鑄型に注入する場合の湯溜の形状、下型に注湯が落下する位置に注意する必要がある。湯溜の形状としては種々考案されているが Al の場合は Fig. 3 (a), (b) のもので好結果が得られたが、brass の場合には (c) に示す如きストッパー付湯溜を用いたが流速さえ決ればこの方が酸化も少く流速が一定であるから作業の

Fig. 4 Schematic diagram of the solidification process.

安定性が得られる利點がある。各種の條件が揃えば降下速度は 10~20 cm/min の範圍で好結果が得られた。Fig. 4 は鑄型内で注湯の凝固する有様を a, b, c の三つに分けて示した。a は鑄込温度、鑄込速度が適當でしかも底部からの冷却効果が大きくほとんど水平に凝固が繼續していく場合であり、c は鑄込速度が大きく鑄込温度の高い場合

および上型の冷却効果の大きい場合で當然偏析の生ずることが想像される。a の如き條件を選んで鑄造することが望ましいことは勿論である。上型のテーパは 1/60 としたが、定速で降下する場合は鑄塊の厚さの變化はほとんど認められなかつた。

次に比較的好結果を得た條件を示すと次の通りである。

	(1)	(2)
鑄込温度	700°	690°
冷却速度	1.2 L/sec	1.44/sec
降下速度	12 cm/min	19 cm/min

III. 實驗結果ならびに考察

前述 (1), (2) の條件で熔製した鑄塊について化學分析、

(a) Casted by the condition (1).

(b) Casted by the condition (2).

Photo. 1 The appearance of the slabs which were casted in the semi-continuous casting mould.

Photo. 2 The sweat on the surface of slab which were casted in the semi-continuous casting mould.

検鏡、micro 硬度試験などにより偏析の程度を調べた結果は次のようである。Photo. 1 は鑄塊の外観で a は (1) なる條件 b は (2) なる條件のもので前者の比較的冷却速度の小さい降下速度の遅い場合は表面が少しく荒れているが後者の速い場合は比較的平滑である。何れも横に數本のすじが見られるがこれは鑄込速度が小→大に急變したために現れた一種の皺で 1 mm 以内の面削で完全に除去し得るものである。たゞこの皺の直下に Photo. 2 に示す如き膨れが認められた。この膨れは鑄込速度が急に大きくなつた時注湯した表皮の酸化皮膜乃至凝固しかゝつた皮膜が破れ新しい湯が鑄塊の外部に流出することに原因するものと思われる。本法では別に押湯をしないがその必要のないことも伺われる。Photo. 3 は鑄塊中央斷面の macro 組織で底部以外はのように各部とも非常に緻密なほぼ同一組織を示している。a なる緩冷の場合の

度

断面は外周、中心各部共同様な組織を示しているに反し、b なる急冷の場合は非常に緻密ではあるが外周部と中心部

(a)

(b)

(a) Macrostructure of the slab which casted by the condition(1).

(b) Macrostructure of the slab which casted by the condition(2)

Photo. 3 Macrostructure of the Al-Cu(4%)slabs which were casted in the semicontinuous casting mould.

の中央断面の外周から中心部への Cu % および micro 硬度変化を示したものである。図が示す如く (1) なる条件の鑄塊は偏析の度合極めて少なく外周 1 mm 位の範囲を除けば大體 $\pm 0.15\%$ Cu 内に納つている。圖中下部の曲線は鑄塊の底部中央から上部への Cu % の変化を示したもので、この部分では Cu % の変化が認められるが前報の結果に比べれば全體として偏析の度合は極めて少いといえよう。

Fig. 5 Change of the copper percentage and hardness of the Al-Cu (4%) slabs which were casted in the semi-continuous casting mould.

IV. 総 括

以上の結果を要約すると次のようになる。

(1) 冷却槽を持つ金属製上型および下型を組合せ鑄塊の自重で下型と μ もに降下する半連続鑄造装置で充分その目的を達すること

(a)

(b)

(c)

を確めた。下型の降下機構は速度調整が出来、振動せず静かに降下することが必要であつて油圧、水圧、ウィッチ式何れでも差支えない。

(2) 60×230 mm 断面の鑄塊の場合は上型のテーパー 1/60、冷却速度は 1~1.4 L/sec、降下速度は 10~20 cm/min が適當であつた。また注湯は型内に 1/2~2/3 常に一定量存在する如く鑄込速度を調節する必要がある。

(8) 組織上から見るに底部の一部を除いては鑄塊の中心、外周とも均一にして、大小の粒状組織の混合であり、従来の鑄造法による鑄塊の

(a) Large and fine granular structure.

(b) Magnified large granular structure. (c) Magnified fine granular structure.

Photo. 4 Microstructure of the Al-Cu (4%) slab which was casted in the semi-continuous casting mould.

如く過冷層、柱状晶層、異状樹枝状晶層、樹枝状晶層なる 4 層の變化過程をとらない。これは第 3 報の總括から推定された點で著者の偏析機構から充分説明し得るものである。

(4) 本法で得られた鑄塊は底部の一部と外周 1 mm 以内を除けば非常に偏析の度合が少い。これは上型、下型の冷却、シャワーによる冷却、鑄込速度、降下速度などを適當に調節してはじめて好結果が得られるもので、連続鑄造による鑄塊は必ず偏析の度合が少いと考えことは早計である。

本實驗を遂行するに當り種々御便宜を與えていただいた北陸輕金屬工業株式會社に感謝するとともに、本研究は文部省科學研究費によつたものであることを記して謝意を表する次第であります。