

アルミニウム合金連続铸造铸塊に現われる周期的偏析 について

室 町 繁 雄
多 々 静 夫

On the periodic segregation of aluminium and its alloy slabs cast
by continuous casting apparatus.

Shigeo MUROMACHI
Shizuo TADA

Using the continuous casting apparatus, aluminium and its alloy slabs were made under various conditions, and the authors investigated the periodic segregation that appeared in the slabs obtained.

The segregation was investigated by micro and macro structure, and results on chemical analysis of periodical segregated samples, and it was tested by micro-hardness.

From these results, the mechanism of the periodic segregation can be explained by using our schematic diagram of the segregation.

I. 緒 言

近年我が国に於ても Al およびその合金の铸塊溶製法として、連続铸造法が広く採用される様になった。この方法の特徴は得られた铸塊の組織が均一で細かく、押湯不用、偏析が少ない等幾多の利点があるが、その反面連続铸造铸塊には周期的偏析と云う特有の偏析現象の現われる事が 1953年 Siebel, Altenpohl などにより発表されて以来、斯界の注目する所となり我が国でも潮田氏川島氏等幾多報告が見られるようになった。本実験は铸造条件を変えて、2S, 63S, 52S, Al-Cu (4%) 合金を溶製し、偏析部の Micro, Macro 組織の調査、分析、Micro 硬度試験などを行い、これらの結果から周期的偏析の機構について、著者の一人が先に発表した偏析に関する説明図を用いて説明考察した事を報告する。

II. 実験試料の溶製および実験方法

実験試料の溶製には 2S, 63S, 52S, Al-Cu (4%) 合金等成分形状は幾分異なるがいずれも第 1 図の如き装置を用いた。即ち a は炉から出て来る湯を流す樋で湯は湯溜り b に入る。b では 2 台同時操業する時の湯の配分をなし湯溜り c に送る。c は一定量の湯を一定の速さで铸込む為装置した。d は連続铸造機上型でジャケットになつて常に水で冷却され下部からシャワーとなつて更に铸塊を冷却する。出来た铸塊の大きさは 70×400×1600mm 約 100kg で、これを縦に切断し研磨の後塩酸+第二

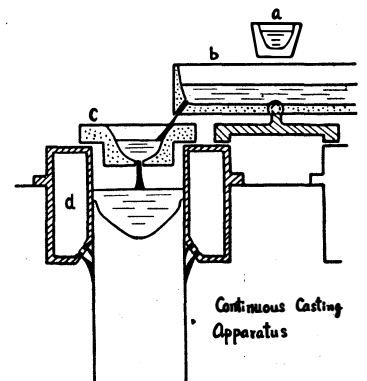
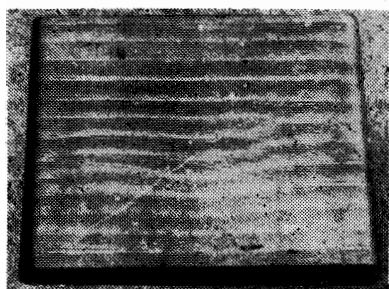


図-1

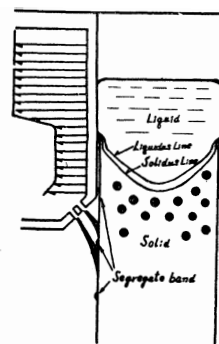
塩化鉄にて腐蝕して Macro 組織，一方小型に切断したものを磷酸+硫酸または過塩素酸+無水酢酸により電解研磨し Micro 組織を調べ Micro 硬度を測定した。また鑄塊表面より中心へ同一部分を 1, 2, 3, 4, 6, 10mm と約 30mm まで切削し各々の深さに於ける切削屑を分析しその結果を比較した。なお上型は厚さ 8mm の 2SA1 板を熔接し内面を綺麗に研磨して用いている。

Ⅲ. 実験結果および考察



写真一

写真1は 2S 連続鑄造鑄塊の外観で周期的偏析が現われている様子を示した。これは次の如き理由で現われるものと考えられる。即ち第2図で示す如く，Al 溶湯が連続鑄造される過程に於て上型側面より急冷され収縮をする。すると型から離れ冷却効果が減少する。一方溶湯は連続的に注入される



Schematic Diagram of the Solidification Process

図-2

るので Solidus line と Liquidus line が鑄塊外周近くに移動するものと考えられる。このとき鑄塊外周に生じた柱状晶の凝固収縮，更には溶湯の圧加により，濃厚融液が鑄塊外周に所謂汗となつて押出される。すると再び上型に接するので急冷され収縮を初める。これが周期的に繰返される為であるとされている。

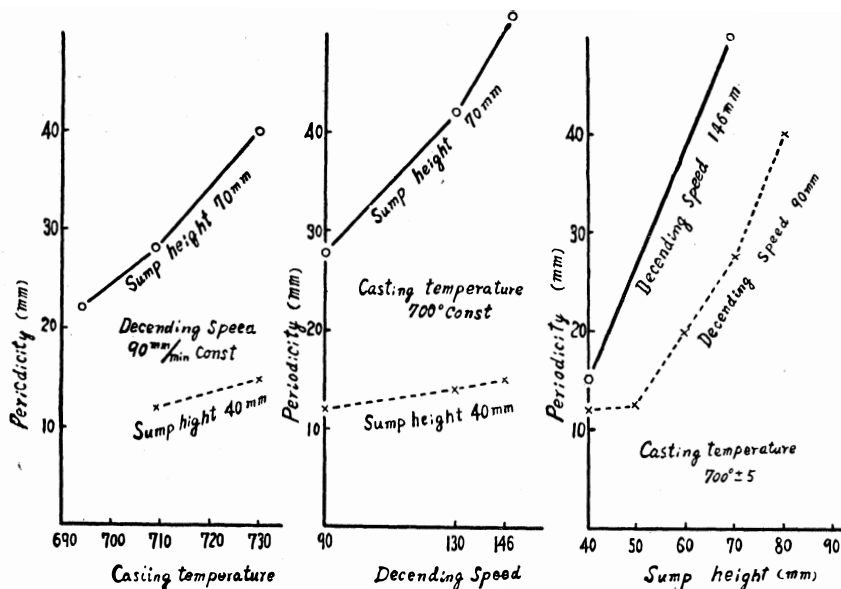
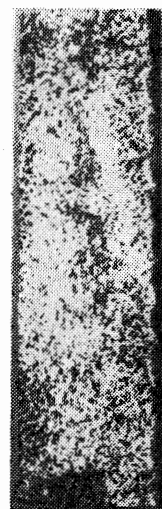


図 - 3

この周期的偏析におよぼす鑄造条件は第3図に示す如くである。即ち Casting temp, Sump height が高ければ高い程，また Descending Speed が速ければ速い程，偏析部の周期は大きくなり偏析部が増大する事が判る。特に Sump height の影響が強く現われている。写真2は Casting temp 685°C Casting speed 130mm/min, Sump height 70mm, Cooling speed 8L/kg/min の条件で鑄込んだ鑄塊の中心部の縦断面の偏析帯を示したもので，この偏析帯の深さが 3~4mm である。写真



写真二



写真-3



写真-4



写真-5



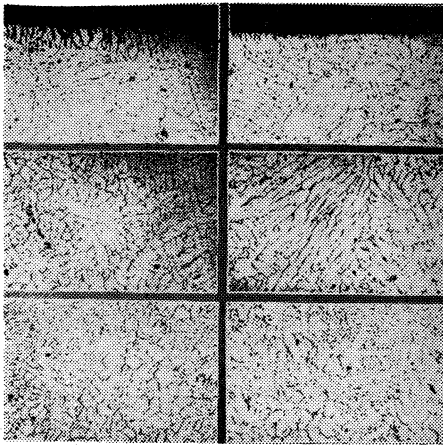
写真-6

3 は Casting temp, Casting speed, Sump height は前の通りであるが冷却を二段にして冷却速度を大にしたもので、偏析帯の深さが前よりも深く、7~8 mm位に入り込んでいる。その周期の長さは大体 25~30mm である。写真4 は二段冷却のものを 475°C で約20時間焼鈍したもので、これによると偏析帯は拡散の影響によるものか、ほそく、約 1 mm 位の中になる事が判るがその周期や表面からの深さは写真3のものと同じ。これらの腐蝕液は塩酸+塩化第二鉄で、外周に冷却速度の変化にもとづく周期的な偏析帯の生じている事が判る。そして Siebel の示している写真と殆んど変わらない。

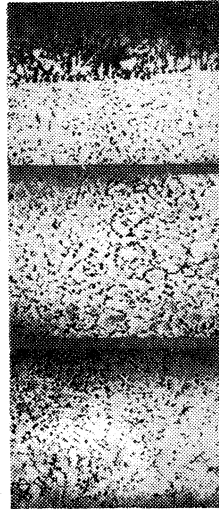
写真5 は同一蝕腐液で 2S 鋳塊表面を腐蝕したもので、写真1 で示した偏析部分が腐蝕さ

れ、最初は黒く優先腐蝕され腐蝕が進むとこの部分が剥離されてくる。この状態を示したもので、写真6 は同じく 52S で縦にすじが見えるのは、この溶湯は上型内壁に附着する性質を持っているのでこれに原因するものと考えられる。

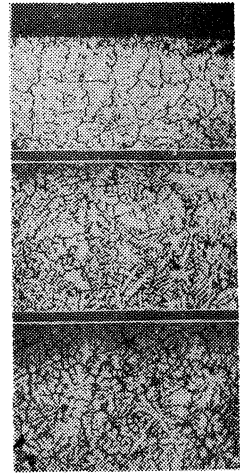
写真7 は 2S 縦断面の Micro 組織を示したもので、上の方から外周部、次が外周より約 4mm 内側で下は外周から 15~20mm の部分である。また左側の一列は周期的偏析の外周に現われている部分、右は現われていない部分である。これで見ると偏析部の断面には $FeAl_3 + Al$ の共晶が多く Fe の多い事が認められる。この範囲は 0.2~0.8mm 位の僅かの部分であり、この偏析部に続いて鋳塊中心部に向い柱状晶が現われ、より中心部へいくと自由粒状晶となる。写真8 は 52S の Micro 組織で 2S では偏析帯が鋳塊表面に出ている所と出していない所があつたが、52S では偏析帯が外周に連続して存在する事が判る。写真9 は 56S の Micro 組織で外周に偏析帯は幾分認められるが 2S, 52S 程顕著ではない。しかもこの鋳塊は 70×70mm の角状ピレットである。写真10 は鋳塊の断面 60×220mm の Al-Cu(4%)合金のもので、56S 同様周期的偏析はあまり認められない。第4図は著者の一人が先に Al 合金鋳塊に現われる逆偏析現象に関し発表説明した説明図で、横軸は鋳塊外周から中心への距離、縦軸は第2成分、硬度を示したもので、これから判る如く鋳塊には A, B, C, D, と夫々二つの逆偏析現象が存在している。AB 間に現われる第一の逆偏析は過冷説で説明し、



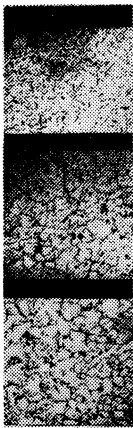
写真一七



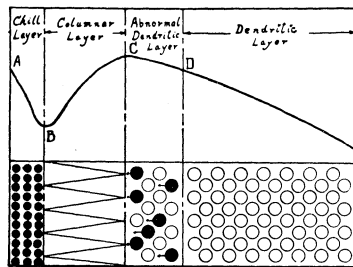
写真一八



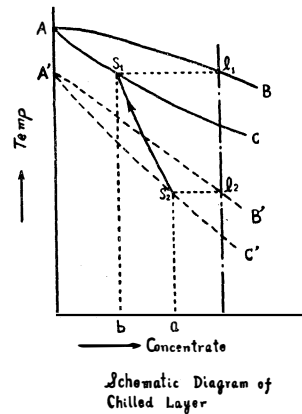
写真一九



写真一〇



図一四



図一五

第二の逆偏析を凝固収縮説で説明した。図中第二の山 C 点は鑄塊外周の凝固収縮により中心部の濃度の高い融液の逆流をうながす。逆流した濃厚融液が丁度柱状晶の所に沈晶したものと思はれる。この逆流をうながす力としては更に溶湯の圧力、毛細管現象などが考えられる。第一の山は過冷説で説明出来る。即ち第 5 図の ABC の状態のものを急冷すると A'B'C' の状態に移動すると考えられる。即ち過冷された A'B'C' に於ては a の濃度のものが晶出するが、徐冷されると ABC の状態で b の濃度のものが晶出する。故に濃度は a 即ち S_2 から b 即ち S_1 に移動する事が判り、外周過冷却された部分は濃度が高い事になる。

これらの説からこの 2S, 52S, 63S, の分析, また 2S, 52S, の Micro 硬度試験の結果を考えると 2S の分析結果では第 6 図の如き分布を示す。即ち実線は外周に偏析帯が出ている部分, 点線は出ていない部分で, 先づ Fe の実線の方は第 4 図の C 点に相当すると考えられる。それは外周の冷却が上型から離れた為に徐冷される事になり, 外周から直接柱状晶が現われ, この凝固収縮により内部の濃厚融液が外周に押出されると思はれる。従つて偏析帯が表面に出て第二成分の濃度が高く出て来る。次に一度下つて再び山を作るがこれは Seibel, 潮田氏等の分析結果にも現われているがこれの原因にはふれていないようである。この過程は非常に複雑な為今後実験を続けたいと思つてい

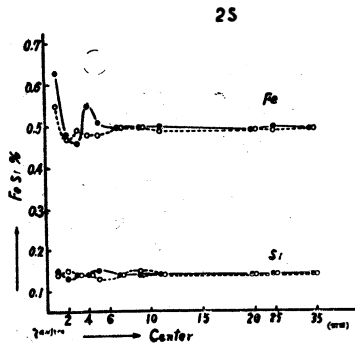


図-6

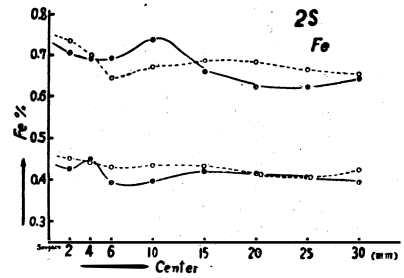


図-7

るが、結局これは一部濃厚融液が表面へ出て来る途中で沈晶したものと思われる。次に点線の方は最初の点は過冷による逆偏析で高く現われ、次に一度下ってから第二の偏析 C が現われると考えられる。Si の方はあまり変化は見られない。第7図も 2S の Fe について分析した結果で上の図は冷却速度が早く、下の図は遅く、また実線は偏析帯が外周に現われている部分、点線は現われていない部分の状態を示す。冷却速度の早いものでは遅いものに比して実線の C 点が長く中心へ向って続き点線の方は6図と大差ない。これは写真 2~4 に示したものと一致する。鑄塊表面は冷却速度が早いと綺麗であるが偏析範囲が増大し、また Fe の多い方が平滑で少ない方が表面が粗となる。

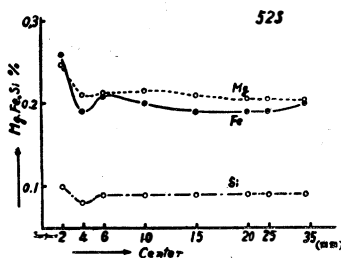


図-8

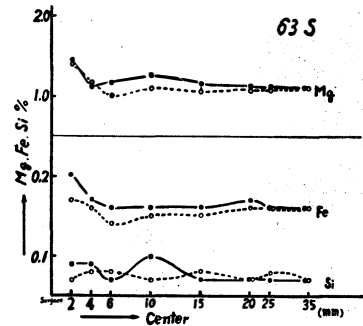


図-9

第8図は 52S の分析結果で 52S では前にも述べた如く全体が大体この様になるのは上型に付着する性質がある為、冷却効果が大体一定した熱伝導度が悪い為 C 点が表面全体に出ているものと考えられる。第9図は 63S の場合で実線は偏析が外周に出ている所、点線は出していない所で Fe, Mg では同じ様な曲線になり、また偏析が出ている所でも出していない所でも同じ曲線になる。これは熱伝導が悪い為周期的温度変化に鈍感な為と思われる。又写真9では 2S 52S に比しあまり顕著に現われていないのは外周と内部との Fe の量の差が少いからと考えられる。写真11は 2S の外周から内部に向って連続的に写した Micro 組織の写真で、外周と内部との変化の多い事を示した。これに反し写真12は Al-Cu(4%)のもので外周部と内部とのあまり変化が無いもの一例で 63S の場合とほぼ同様である。写真13は先に凝固収縮説の説明で述べた如く、結晶粒の枝間をぬって内部の濃度の高い融液が外周に移動する過程であろうと考えられる状態の組織で 2S の表面である。

次にこれらの Micro 硬度を測定した結果は次の通りである。即ち第10図は 2S の冷却速度を変化させたもので、上から冷却速度 8L/kg/min 次が 15L/kg/min 下が 2段に冷却したものの、偏析帯が外周に出ている部分を比較した図である。これで判る如く、分析結果とほぼ同様な曲線を示し、前に述べた様に冷却速度の速いもの程 C 点が中心に向って長く入り込んで来る。第11図は第10図のも

この偏析帯が外周に出ていない部分の Micro 硬度で表面は過冷説による逆偏析で次の山が C 点であろうと思われる。そしてこの C 点も冷却が速ければ速い程中心部へ入り込んで来る事が判る。第12図は 52S の Micro 硬度で、上が偏析帯の出ている部分、下が出ていない部分で、分析結果の曲線と似ている。第13図も同様 56S の Micro 硬度を示し、偏析帯の出ている部分が硬度が高く、分析結果と同じ傾向を示す事は 52S の場合と全様である。

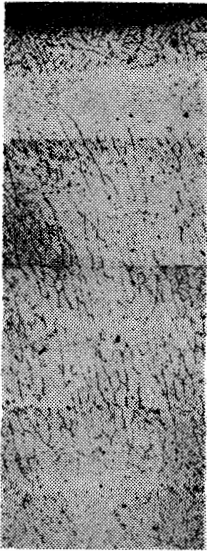


写真-11

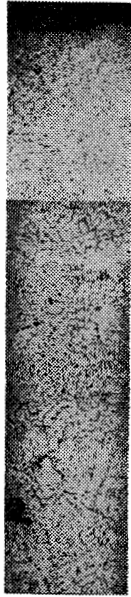


写真-12

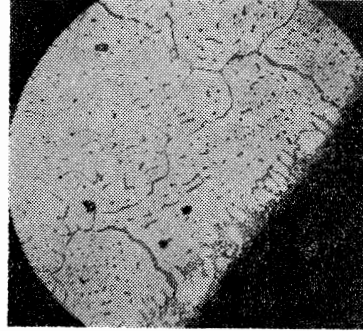


写真-13

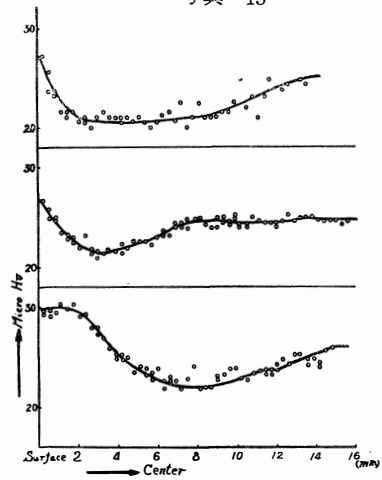


図-10

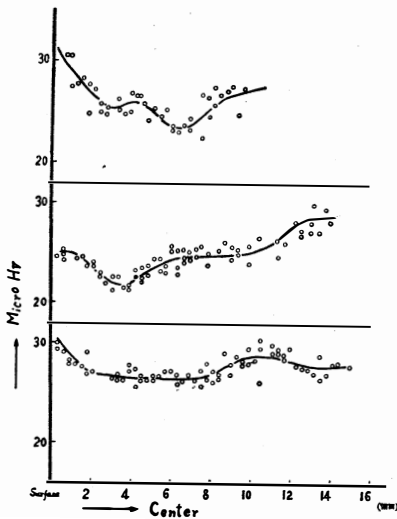


図-11

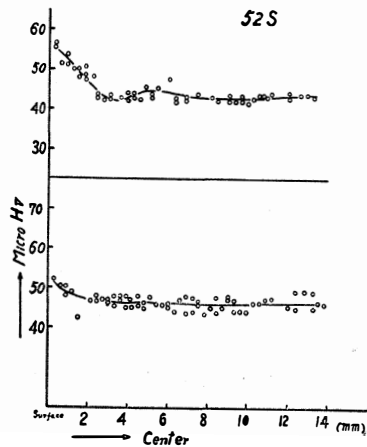
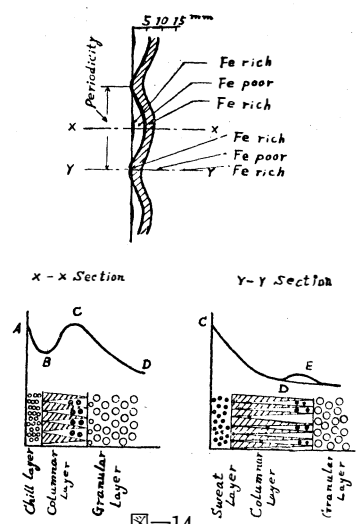


図-12

Ⅳ. 総 括

連続铸造した Al および Al 合金铸塊に現われる周期的偏析を Macro 組織, Micro 組織, 分析結果, Micro 硬度試験を行い, その成因を先に発表した偏析に関する説明図で説明した。これを総括すると,

(1) 先に述べた如く連続铸造铸塊は冷却速度が周期的に変化する為, 偏析の様子もまた周期的に変つて来る。この周期的偏析は一種の逆偏析現象であり従つてその成因も矢張り第14図で示す様に過冷説と凝固収縮説で説明出来ると思われる。即ち図中



図—14

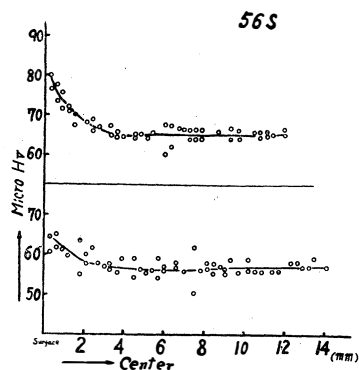
冷却速度の早い×—×の Section では, 铸塊外周に現われる逆偏析は下図左の AB 間に当り, 過冷説により説明出来る。そしてその後は Fe が少く再び Fe が多くなる所は C 点で, これは溶融金属の凝固に伴う収縮により中心部の濃厚融液の逆流をうながし, 逆流した濃厚融液は途中で沈晶した為と考えられる。この逆流を促進させる因子として Casting temp, Descending speed, Sump height, Cooling speed, 型の材質, 湯の流動性, 注入溶湯の動揺等多々あるが, 特に Sump height を考慮する必要がある。また一方铸塊外周に偏析帯が出る部分は冷却速度の遅い, y—y Section で下図右の如く表面から柱状晶となる。これは型から離れ除冷される事によるもので, これが凝固収縮により内部の濃厚融液が汗となつて外部に押出されたものと考えられる。そして全体としては上図の如く偏析帯が冷却速度に左右されながら外周または内部へと周期的に変化し, 冷却速度が早い場合は内部10mm位まで入り, 遅いと铸塊外周に現われると思われる。

(2) 連続铸造材では铸塊外周に第2成分が汗となり浸出した場合でも, 未だ第2成分に富んだ部分が铸塊の内部に残存する事が応々にして認められる。

(3) 周期的偏析を少くするには先に述べた様に幾多の条件を合せ考へて作業する必要があるが, 外周表面に出た偏析帯は 0.2~0.8mm の如く微少なもので面削により楽に除去されるが, 過冷層のある部分で偏析帯が奥深く入つた場合は面削で無くする事は経済上出来ないと思われる。普通 2S の場合はそれ程板の性質を害さない事が潮田氏により報告されているが, その他の場合は铸造条件を選ぶ事によつて偏析帯を外周近くまで接近させ, 面削により除去出来る範囲にまでもつて来る事が可能であると考えられる。尚本研究は軽金属奨学資金の一部によつた。記して感謝の意を表する次第である。

文 献

- 1) 室町, 堀, 金属学会誌 18 (1954) 555
- 2) G. Siebel; D. Altenpohl; H. M. Cohen. Z. Metallk. 55 (1953) 173
- 3) J. L. Outtman. J. Inst. Metals. 4 (1954) 414
- 4) D. M. Lewis. J. Inst. Meta's. 4 (1954) 395
- 5) 川島, 中村, 軽金属 13 (1954) 20
- 6) 潮田, 軽金属 19 (1956) 8



図—13