Al の 鑄 造 に 關 する 研 究 (第2報) 再 び Casting Crack について

池 野 尙 志*

Takashi Ikeno : Investigation on Casting of Aluminium (II). On Casting Cracks (Continued). The effect of Mn or Cu present in the melt upon the development of cracks was investigated by measuring the shrinkage or the cracks which appeared upon casting aluminium in the same metal moulds used in the experiment reported previously. The following results were obtained: There is a relationship of casting and mould temperature within a limited range which favors prevention of cracking, varying according to the kind and the content of the impurities. The shrinkage of the Al ingot increases with the rise in Cu contents, so that opportunities for cracking are multiplied but the effect of Cu is much smaller than that of Si. On the other hand, the shrinkage scarcely increases with the rise in Mn content. In this experiment, the cause of cracking was assumed, in a general way, to lie in the stress due to the disparity of the solidification range of the alloy, but in practical operation, the tendency to cracking is to a marked degree affected by other factors for example, the casting technique.

(Received January 17, 1953)

I. 緒 言

曩に報告した Fe および Si の舉動に引續いて、普通作業時不純物として混入して来る可能性のある Cu および Mn を 99.61 % (Fe 0.18, Si 0.20 および Cu 0.01 %) の工業用純 Al に添加し、前報⁽¹⁾と同様の方法によつて鑄割れ傾向を追求した。さらにこれら諸實驗において得られた結果を擴張して、實際の鑄塊割れ現象に對して二三の考察を試みた。

II. 實 驗 結 果

本實驗に使用した金型および實驗方法については前報告の場合と全く同様であるので省略する。

1. Cu の 影 響

鑄込温度を 710° 一定として金型温度に對する收縮率の變化を調べた結果が Fig. 1~2 である。Cu を 0.2~1.0 % 添加した場合にも、長さ方向における收縮率 α_l は金型

温度に對して Fe あるいは Si を添加した場合と同様の變化をするが、それらの値は全般に可成り高く收縮割れを助

Fig. 1 Effect of Cu Upon Shrinkage α_l .

長する傾向を示している。極小の谷の値は 0.2~0.5 % の添加範囲で著しい變化はないが、金型温度は高温にずれ 1 % になると逆に低温側に移行する。直徑方向における收縮率 α_d は長さ方向 α_l の極小の谷に相當する位置で極大となり、それらの傾向もまた Fe あるいは Si 添加の場合

* 北陸輕金屬工業株式會社技術課

(1) 著者、1953 年 4 月本會東京大會に發表。

と大體同様である。以上の變化を纏めて Cu 量と對應して調べてみると Cu 0.2~1.0% 添加によつて收縮率はほぼ

Fig. 2 Effect of Cu Upon Shrinkage α_d .

Fig. 3 Effect of Cu Upon Tensile Strength.

Fig. 4 Effect of Cu Upon Elongation.

抗張力の變化と同様の傾向を示しているが、その値は全般的に著しく低い。また引張試験後における切斷箇所を見ると、99.61% のもの α 金型温度に對する變化に比べて、Cu

同程度の増加を示し、これらの間には著しい差はないようである。ただしその影響は Al-Si 系の場合ほど顯著でない。更に收縮率試験後の試料について見掛の抗張力および伸の變化を測定し、龜裂發生の程度を比較すると Fig. 3~4 のようになる。

高純度のものの龜裂は微細で抗張力の低下は著しくない。Cu を添加すると金型温度の適當範圍を外れると龜裂は著しく大きくなり、特に Cu 0.5% 添加のものでは中央部分で徑の約半分以上すでに破斷しているようである。伸の變化、Fig. 4 を見ると

0.2~0.5% 範圍で特異な傾向を示す。すなわち切斷箇所はほとんど中央部分はより下方に多く、99.61% が中央より上方に集中的に發生しているのに反して全く對蹠的である。Cu 量が多く 1% にもなると却つて高純度のもの α 變化に近似してくる。金型温度が低い場合に外部より觀察される龜裂が上方の太い箇所へ移行する neck に多いにも拘らず、こゝで切斷しないのはたとえ多少の龜裂が入つていても、こゝが中央部分より太いために却て強くなつてゐることによつて理解される。また金型温度が高くなると龜裂が中央部分に發生し、こゝで切斷することは Al-Si 系と良く似た現象と考えられる。以上の變化から、Cu 0.2~0.5% の添加は凝固割れを助長すると結論される。

2. Mn の影響

Mn を添加して鑄込温度 710° 一定として、收縮率を測定した結果が Fig. 5~6 である。Mn 0.24% 程度では

Fig. 5 Effect of Mn Upon Shrinkage α_d .

Fig. 6 Effect of Mn Upon Shrinkage α_l .

ている。ただし實驗誤差を考慮に入れると、ほとんど影響を與えないといつて良いであらうか。しかるに Mn 0.5~1.0% になると最適金型温度は低温側へ移行し、全體としての變化の度合も大きくなる。これらの變化を總括して Mn 量と對比して考察してみると α_l における極小の谷の値は Mn が增加するほど大きくなる傾向を示しているが、Cu の場合ほど著しくない。しかし平均値は Mn 0.5% まで急増して鑄塊割れを助長する傾向が窺われ、0.5% を越すと再び減少している。以上の試料について引張試験を行い見掛の抗張力および伸の變化を見ると Fig. 7~8 のようになり、その變化は 99.61% のものに比べて可成り大きい。Cu 添加の場合ほどのことはない。發生する龜

裂は 99.61 % に比して大き目で、鑄塊割れに對して好ましい添加元素ではないが、しかし Cu あるいは Si の場合

Fig. 7 Effect of Mn Upon Tensile Strength.

Fig. 8 Effect of Mn Upon Elongation.

が高い場合にも中央附近に龜裂が入つておらず、その傾向はむしろ Fe 添加の場合に似ている。

3. 添加元素の挙動に對する考察

普通作業時に混入する機會の最も多い Fe, Si, Cu および Mn 4 元素の鑄割れ傾向に對する挙動を總括すると、鑄割れ傾向を抑制するものは Fe のみで Si および Cu は助長する。ことに Si の作用は顯著でそれに比べると Cu は可成り緩徐であるといえる。Mn は幾分助長する傾向にあるが、前二者に比較すると著しく微弱でまづ影響を與えないと考えても良い程度である。以上 4 元素について Al 側平衡状態圖⁽²⁾を調べてみると、Fig. 9 のようになり、凝固割れを著しく助長する Si および Cu の凝固温度範圍は極めて廣く、特に Si は飛抜けている。また比較的凝固割れに對して影響を與えない Mn および却つて抑制する傾向のある Fe の凝固温度區域は極めて狭い。次に本實驗に使用した Al-Cu および Al-Mn 系列の試料について熱分析を行い、Fig. 10 の結果を得た。この Cu および Mn を添加した場合の凝固開始および終了温度を Fig. 9 の状態圖の中に記入してみると、凝固温度範圍の長さが Fe, Mn, Cu および Si の順になつていて Al-Cu 系ではほ

んど差異はないが、Mn 添加の場合には從來の Al-Mn 系状態圖とは可成り相違している。Al-Mn に Si が 0.15

Fig. 9 Equilibrium Diagrams.

Fig. 10 Cooling Curves at Thermal Analysis.

Fig. 11 Temperature Inclination in Longitudinal Direction of Slabs.

合には 99.61 % のものと同じく抗張力變化の極大前に極小の谷が現われていて大體同様の経過を示しているにも拘らず、Fe を添加した場合には極大の山があるばかりで極小の谷は發生していない。従つて伸にもその相違が現われている。更に Fe は收縮率を減少させ、Mn はその程度は微弱であるが却つて増加させる。これらの相違は添加元素固有の影響とも考えられ、晶出状態の相違すなわち晶出粒子の分散形態の相違による影響の問題を併せ考える必要があると思われる。

III. 鑄塊に現われる龜裂現象への擴張

(2) 金屬便覧より引用した。

(3) Boshard, Alluminis, 1(1952).

以上の実験によつて自由な収縮が妨害された場合に起る龜裂に対する各添加元素特有の傾向、更に金型および鑄込温度の相對的關係によつて、ある程度収縮割れに對して効果的な範囲があることも明らかにされた。さて slab 上の一點 O を中心にして隣接する 2 點 A および B 間に起り得る温度勾配には Fig. 11 に示す (a)~(c) の三通りの場合が考えられる。(a) の場合は普通 layer by layer に凝固が進行する理想的凝固過程で龜裂は入り難い筈である。(c) は本実験の場合の凝固過程であるが、普通の場合にはこのような温度分布は一考考えられない。(b) は傾倒式による slab 凝固経過中に最もしばしば起り得る可能性がある。どんな凝固過程をとるにしても、何處も自由に収縮することが出来れば凝固割れは起らないであろう。不均一な収縮が起つたり、自由な収縮が妨げられるような場合に初めて龜裂が発生する。その場合の妨げられた収縮によつて発生する張力と、その温度において材料が有する強度との相對的關係によつて、龜裂が入つたりあるいは入らなかつたりするわけである。この意味から金型壁との接觸摩擦あるいはその他の條件に應じて必然的に應力が発生する確率の大きいのは (b) あるいは (c) のような場合で、特に (b) の場合には凝固層が両端に先行して生成し、その間に挟まれた部分が遅れて凝固することになり、このような部分には張力発生機会が多く、従つて龜裂発生確率も大きいことが判る。それらは温度分布の不均一度が大いほど、顯著になるものと思考される。その他温度分布の不均一によつて惹起される現象として凝固収縮に對する収縮孔の生成、更に収縮孔への熔金補充という問題も随伴

Fig. 12 Relation between the Ratio of Si/Fe and Casting Cracks in Practical Casting.

して起り、龜裂現象への解釋を益々複雑ならしめる可能性がある。2S の鑄造においては Fe および Si の比は必ずしも一定しない。Si/Fe の比と對應して ($\text{Fe} + \text{Si} \div 0.90\%$, $\text{Cu} = 0.08\%$), 實際の slab 鑄塊に現われる crack の關係を連續 1 ヶ月間の操業結果に照合してみると Fig. 12 のようになり、割れは必ずしも Si/Fe 比とは一致しない(總計 3169 枚の slab についての結果)。これは成分的な問題よりも、作業技術の問題が更に大きいことを示すもの

と考えられる。

他方 Photo. 1 に slab 断面の肉眼組織の一例を示すように、外側に crack が発生していないものでも、内部の柱状晶の附近に引け割れが見出され、これが高温延時に

Photo. 1 Macrostructure of Casting Slab at Vertical Direction.

口を開けることもある。これは明らかに凝固収縮の隙間に對する熔金補充の不足という問題と關連しており、これらの問題については、實際のものについての詳細な測定が必要である。すでにその一部の結果については發表⁽⁴⁾したが、詳細は稿を改めて報告したい。たゞ本報告においては鑄塊割れを支配する条件の一つとしての成分的影響を追求した結果を取扱い、その他の現象については指摘するだけに止める。

IV. 總 括

(1) Cu は Si はど著しい影響を與えないが、相當顯著に収縮割れを助長するようである。収縮割れに對して有利な金型温度は 0.5% までは高温側にずれ、それより多量になると低温にした方がよい。

(2) Mn は極めて微弱ながら、収縮割れを助成する傾向があるが、Si および Cu の影響に比較すると、實際問題として影響を與えないと考えてもよい程度である。金型温度は Mn 量に比例して低温にした方が良く、Fe の添加の場合の変化と良く似ている。

(3) Fe, Si, Cu および Mn の Al 側二元状態圖(更に、實際の熱分析結果)を比較して、収縮割れを支配するものは(使用した地金中の Fe および Si の存在を考慮すれば、3~4 元系として取扱わねばならないが)凝固温度範囲が一義的に作用するとして良いと考えた。ただし、Al-Mn 系については熱分析結果が Al-Mn 系状態圖と一致しないが、Si 0.15% 程度の共存によつて、共晶温度が低下するという事實より解釋した。

(4) 鑄塊龜裂の發生する原因を温度分布の不均一に基く収縮應力の發生に求めるべきことを推定し、それが發生すべき温度分布の可能性および實際作業においては成分的影響だけでなく、その他にも種々の鑄造上の問題があることを示した。

(4) 著者、1952 年 4 月本會東京大會に發表