アルミニウム合金のダイカスト製品に発生する 偏析によるハードスポットの研究 (第3報)

発生機構について

植 原 寅 蔵*

Study on hard-spot of segregation in aluminium alloy die casting (3rd Report)

(UDC 621.746.58:669.715)

On the mechanism for the occurrence of hard-spots

UEHARA Torazo*

The hard-spot which often appears on the overflow side of Al alloy pressure die castings, has a chilled Al alloy structure.

The purpose of this report is to explain the mechanism for the occurrence of hard-spots, by examining the structure of the various parts of pressure die castings, under the assumption that there is a close relation between the structure of hard spots and that of die castings, after comparing the microscopic structure of pressure die castings with that of "Isolite" castings.

The results obtained from gravity die castings and this research are as follows:

1. Hard spots appeared again on the remelted and recast products which had previously had hard spots.
2. The microscopic structure of pressure die castings was very subtle with fine contained particles. α -Al crystals were ill balanced to form a unique structure.
3. In 150 times enlarged photographs under a microscope, the structure of die castings was more fine in the nearer part to the overflow side or the other side of the gate, where the components were partially concentrated to form their blocks. When these blocks come out apparently distinct from the other parts, they are called hard spots. In 600 times enlarged microscopic pictures, the particles of the contained elements were also more fine in the nearer part to the overflow side, where the particles of Si were granulated.

The conclusion reached through the above-mentioned results would be as follows:

In the manufacture of pressure die castings with complicated shapes, the molten metal injected into the dies, hits the inside wall of the dies and scatters. The scattered molten metal hits the inside wall and scatters again. The molten metal is cast and solidified in this process of repeated scattering. The components of the alloy which has been cooled down in this process, are segregated as groups by such mechanical actions as centrifugal separation.

(Received May 19, 1962)

1. 概 説

偏析によるハードスポットの発生状況, 組織, カタサ成分などの性質を本研究第1報¹⁾, 第2報²⁾において明らかにし, またその発生機構についてもある程度の考察を行なった。本研究においてはこのハードスポットの発生機構について, ダイカスト組織をしらべるなど基本的研究を行ない, このようなハードスポットがいかんして

できるかしらべた。

そして次のごとき順序に従って研究を進めた。

(1) 偏析によるハードスポットの発生した製品を再溶解して, 再びダイカスト, 金型鋳物, イソライト型鋳物に鋳造し, このハードスポットの有無および組織を比較した。

(2) 一般的なダイカストの組織はいかなる組織をしているか, またダイカストの湯先部にこのハードスポット

* 古河鋳造株式会社 Furukawa Chuzo Co., Ltd.

が発生することから、ダイカストの各部の組織を湯口部から湯先部までしらべてみた。

(3) 鑄造条件を変えて鑄造し、このハードスポットの発生数をしらべた。

これらの研究を行なうことによつてダイカスト製品の顕微鏡組織、性質など明らかにし、かつこのハードスポットの性質、発生原因をしらべたものである。

本研究においても試料は第1報、第2報に用いた Cu 3~3.5%, Si 8~8.5%のAl-Cu-Si 系合金を用い、主に小型エンジンのクランクケースについて実験を行なつた。

2. ダイカスト, 金型鑄物, イソライト型鑄物の顕微鏡組織の比較

概説に述べた Al-3%Cu-8%Si合金のダイカスト製品を再溶解して、その溶湯を用いダイカスト、金型鑄物、イソライト型鑄物を鑄造し、試料をつくつて顕微鏡組織をしらべた。

この実験はダイカストの正常部の組織は砂型鑄物の組織より微細であつて、そのなかに含まれている粒子も細かいことはたしかであるが、このダイカストの正常部の組織がダイカストの一般的組織であるか、またこれを再溶解して鑄造すれば、金型鑄造、イソライト型鑄物は文

献にあるような組織を示すものであるか、偏析によるハードスポットを発生した製品を再溶解し、ふたたび鑄造してもこのハードスポットが発生するかどうかしらべるために行なつたものである。

この実験結果から得た写真を次に示す。Photo. 1~4にそれぞれダイカストの600倍、金型鑄物の150倍、イソライト型鑄物の150倍と600倍の顕微鏡組織を示す。ダイカストの150倍の組織はいかなる組織を示しているか判明し難いため600倍の写真を示した。したがつて比較のためイソライト型鑄物の600倍の写真も示した。金型、イソライト型の鑄物の寸法は巾×高さ×長さで15×15×70mmの鑄型に鑄造したものであり、その再溶解温度700°Cで鑄込温度はダイカストの場合も含めて615°Cであつた。

ダイカストの150倍の組織ではSi, Al_2Cu などの粒子が判別し難いが、600倍の組織では明瞭にこれらの粒子が区別され、おのおの微細な粒子となつている。そしてアルミニウムの α -晶の大きさがほぼ一定でなく、大きなものと小さいものが含まれ、その粒界におのおの粒子が析出している。金型、イソライト型鑄物の組織は一般に文献に示されている組織を示している。そしてイソライト型鑄物ではSiの針状結晶と Al_2Cu の集合結晶が典形

Photo. 1 Micro-structure of die castings.
×600×6.5/7.5

Photo. 2 Micro-structure of gravity castings
×150×6.5/7.5

Photo. 3 Micro-structure of "Isolite" castings
×150×6.5/7.5

Photo. 4 Micro-structure of "Isolite" casting
×600×6.5/7.5

的な形をなしている。一般に金型鑄物、イソライト型鑄物においてはケイ素は針状で、 Al_2Cu の粒子は集合状に存在してアルミニウムの α -晶の大きさもほぼ一定であるが、ダイカストにおいては一般にケイ素は粒状で、 Al_2Cu の粒子は分散している。したがってダイカストの組織は特別の組織をしており、凝固のときの状態が異なっているものと思われる。(あるいは凝固、凝固寸前まで流動している。)ダイカスト組織についてはなお検討することにする。

また再溶解してダイカストした製品にも偏析によるハードスポットが発生していた。そして鑄込温度を 700°C に上げて鑄造したが、いくつかのこの種のハードスポットが発生した。しかるに金型、イソライト型鑄物においては、このハードスポットが全然みとめられなかった。

したがってダイカストにおいては鑄造のとき湯口から噴射され、急冷され凝固するまでの間における溶湯の冷却と機械的作用(機械的攪拌作用、流動作用)が問題である。

3. ダイカスト組織

本研究第1報、第2報に示した顕微鏡組織および本研究の **Photo. 1** などの顕微鏡組織においてダイカストの組織に種々の形状の組織がみられるので、ダイカストの組織(ダイカスト組織)を詳細に知る必要があり、また偏析によるハードスポットの発生原因をしらべるにもダイカスト組織をさらにしらべる必要がある。

偏析によるハードスポットは湯口部にほとんど発生することなく、湯先部に発生することから湯口部から順次に湯先部についてダイカストの顕微鏡組織をしらべた。

Fig. 1 に示す断面を有する小型エンジンのクランクケ

Fig. 1 Section of die casting

ースの断面1~6および6'の部分の顕微鏡組織を観察した。 $\approx 1''$ 部は湯口の直前で湯口に最も近く、ここから噴射された合金は2, 3, 4, 5, 6の部分を経て数回金型の壁にあたつて6'部に充填される。そして6'部が湯先部となる。したがって示した数字が大きくなるほど金型の壁にあたる回数、壁にあたつて飛散する回数が多くなっている。それゆえ合金が急冷される度合、合金内成分が機械的に分離される度合は数字が大きくなるほど大である。

Photo. 1~10にそれぞれ1~6部の150倍の顕微鏡組織を示し、**Photo. 11~17**にそれぞれ1~6および6'部の600倍の顕微鏡組織を示す。

Photo. 5~10の組織から $\approx 1''$ 部に近いものはケイ素、 Al_2Cu などの含有成分が均一に分布されている状態にあるが、4, 5, 6に近づくほど含有成分が極端的に集合して集団をなしていることがわかる。すなわち6部になると含有成分の密集した集団がところどころにみられている。

また**Photo. 11~17**の組織から $\approx 1''$ 部近くはケイ素が針状結晶しているが、6'部に近づくにしたがつて粒状化している。かつケイ素、 Al_2Cu などの粒子も $\approx 1''$ 部より $\approx 6''$ 部に近づくにしたがつて小さくなっている。そして特に6'部の**Photo. 17**においては粒状化した含有成分の粒子が集団化している。そしてこの集団は相当大きい。

とりまなおさず、この集団が偏析によるハードスポットとなりうる。

このように微細化され集団的に分離されて、含有成分が多量に存するところが、劇然と地の部分と異なつて存在するとき、本研究第2報に示したようにカタサが地の部分より高く、偏析によるハードスポットとなる。そしてこのハードスポット内のケイ素などの粒子が粒状化しているものが多いことがわかる。

このようにダイカストの組織は湯口から湯先になるにしたがつて異なり、湯口部の組織は金型鑄物の組織に近くなっているが、湯先部になるにしたがつて、それらの組織と異なつた組織となり、特殊な組織を示している。

そして湯先部においては含有されている成分が集団化していることから、ダイカストにおいて湯口から溶湯が噴射されるとき、溶湯が飛散する。そして金属の壁にあたればさらに飛散し金型内を高速で流動して金型内に充填される。その充填の途中で合金は急冷される。そして合金は凝固しはじめている。この凝固しはじめた合金がそのなかに含まれている合金成分の比重の差などにより、含有成分の種類により飛散する度合が異なり、遠心的な機械的分離作用によつて分離するものと思われる。

そしてこのハードスポットがダイカストの湯先部に発生する場合と発生しない場合があるが、一般にはダイカ

Photo. 5 Micro-structure of position "1"
 $\times 150 \times 6.5/7.5$

Photo. 11 Micro-structure of position "1"
 $\times 600 \times 6.5/7.5$

Photo. 6 Micro-structure of position "2"
 $\times 150 \times 6.5/7.5$

Photo. 12 Micro-structure of position "2"
 $\times 600 \times 6.5/7.5$

Photo. 7 Micro-structure of position "3"
 $\times 150 \times 6.5/7.5$

Photo. 13 Micro-structure of position "3"
 $\times 600 \times 6.5/7.5$

Photo. 8 Micro-structure of position "4"
 $\times 150 \times 6.5/7.5$

Photo. 14 Micro-structure of position "4"
 $\times 600 \times 6.5/7.5$

Photo. 9 Micro-structure of position "5"
×150×6.5/7.5

Photo. 10 Micro-structure of position "6"
×150×6.5/7.5

ストの形状によつて異なり、初期に金型内に噴射された合金が飛散する度合の少ないような製品には発生し難く、**Fig. 1** に示したような初期に噴射された合金が飛散する度合の多い製品に発生しやすい。

そしてこの金型空洞に衝突して飛散する回数は一般には3回以上の場合の湯先部に発生しやすい。

またダイカスト組織は製品の肉厚、製品の大きさなどによつて異なるが、これは代表的なものを示したものでこの場合の鑄造条件は鑄込温度 640°C 、金型温度 270°C

Photo. 15 Micro-structure of position "5"
×600×6.5/7.5

Photo. 16 Micro-structure of position "6"
×600×6.5/7.5

Photo. 17 Micro-structure of position "6"
×600×6.5/7.5

Photo. 5~Photo. 17 Micro-structure of each
Al-3%Cu-8%Si alloy die castings

の時のものである。そして鑄造条件によつてもこれらの関係は多少異なる。そして冷却の程度の大なるもの、すなわち鑄込温度が低く、金型温度が低いものほどケイ素などの粒子の粒状化、微細化が大である。したがつて一般にはこれらの温度が低いほど偏析によるハードスポットは発生しやすいが、必ずしもこれらの条件によつてのみ発生するとはきまつていない。このハードスポットの発生については金型の壁に衝突する回数の影響が大である。

Photo. 18 Photograph of cutting surface of die castings which appears hard-spot.

このような理由によつて偏析によるハードスポットが発生するとすれば他のダイカストにも発生するはずであるので、数回金型の壁に衝突して充填されるようなダイカスト製品の湯先部を機械加工したところ、このハードスポットが発生していた。その写真を **Photo. 3** に示した。写真の部分の湯口より最初に噴射された溶湯が位置する部分であるが、製品の最も縁部にあたるところより多少製品の内側の位置であつた。

4. 偏析によるハードスポットの発生に対する鑄造条件の影響

ダイカスト組織はその冷却が急激であるので、その組織は微細であるが、鑄造条件によつてどの程度偏析によるハードスポットの発生状況が異なるかしらべた。

Fig. 1 に示すダイカストにおいて実験し、合金は Al-3% Cu-8% Si 合金を用いた。

ダイカストにおいては鑄造中にその金型温度は鑄造ショット数、鑄込温度などによつて異なるので、金型温度を一定にすることは困難である。また鑄込温度を極端にかえると良好なダイカストを得ることができない。したがつて実際のダイカスト作業中に鑄造条件をかえて試料を採取した。

そしてその湯先部を切削加工して、その加工面に発生した偏析によるハードスポットの数を比較した。

4.1 金型温度鑄込温度の影響

ダイカストした製品を鑄造順序により番号を付し、その金型温度、鑄込温度を測定し、そのなかからそれらの温度の異なるものを抜取り、切削して加工面上のハードスポットの数を数えた。

Table 1 Number of hard-spot which appeared on cutting surface of die castings.

Sample number	Die temp. (°C)		Casting temp. (°C)	Number of hard-spot
	Fixed die	Movable die		
1	235	215	610	91
2	305	295	620	85
3	245	275	610	96
4	235	255	620	63
5	245	265	600	84
6	275	315	630	59
7	245	275	600	64
8	235	305	600	77

そのハードスポットの数を数えた結果を **Table 1** に示す。

ハードスポットの数に対する金型温度、鑄込温度の影響はあまり明瞭でない。しかしながら鑄込温度の低いほ

ど発生数が多く、高いほど少ないようである。そして金型温度の変化が少ないために、その影響は明らかでない。しかしながら鑄造条件を変えることができれば、これらの差異はさらに明瞭にあらわれるものと思われる。

4.2 合金中の含有ガスの影響

合金を塩化亜鉛で脱酸し、塩素で脱ガスしてイソライト煉瓦に鑄造し、その冷却過程において全然気泡を発生しなくなつた程度に脱ガスした合金と、木片で溶融合金をかきまわし合金にガスを吸収させ、イソライト煉瓦に鑄造し、その冷却過程において多数の気泡を発生する状態の合金をそれぞれ 630°C においてダイカストし、前述と同様に湯先部を加工し、ハードスポットの発生数をしらべた。

この場合ガス量は分析しなかつたが、イソライト煉瓦に鑄造してガス量を測定する方法は現場的に行なわれている方法で、ガス量の目安をつける方法である。そしてイソライト煉瓦に鑄造して、その冷却過程で気泡を発生しない程度のガス量は多くの報告³⁾によつても非常に少ないことはあきらかである。

そしてイソライト煉瓦の型に鑄造して、気泡が発生しない場合と気泡が多数発生する場合とではそこに含まれているガス量は非常に異なる。

この両者の場合測定結果を **Table 2** に示す。

Table 2 Number of hard-spot which appeared on cutting surface of die casting.

Sample		Number of hard-spot
Condition	No.	
Before degassing	1	98
	2	106
	3	83
	Mean	95.7
After degassing	1	43
	2	64
	3	53
	Mean	53.3
Before degas.	1	87
After degas.	1	31

この結果脱ガスした場合はダイカストの湯先に発生するハードスポットの数は少なく、ガスを多量に含んだ場合はハードスポットの数が多いことがわかつた。

このことは Al-3% Cu-8% Si 合金においてもケイ素を多量に含んでおり、そのケイ素が微細化している状態

がこのハードスポットに多いので、微細化が促進されるほどこのハードスポットが発生しやすいと考えたからであり、合金中に含有されているガスがダイカスト鑄造のとき発生して、ケイ素の微細化をたすけ、かつ偏析をたすけるものと考えたからである。

5. 総 括

偏析によるハードスポットの発生した製品を再溶解し、ダイカスト、金型鑄物、イソライト型鑄物をつくりその組織を比較し、またダイカスト組織をしらべたことによつて、ダイカスト組織および偏析によるハードスポットの発生機構について次の結果を得た。

(1) 偏析によるハードスポットの発生した製品を再溶解して、ふたたび鑄造しても偏析によるハードスポットが湯先部に発生した。

(2) ダイカスト組織、金型鑄物およびイソライト型鑄物の組織を比較すると、ダイカスト組織は微細であり、含まれている粒子は小さく粒状化している場合が多く、アルミニウムの α -晶の大きさが均一でない(結晶粒の大きさが均一でない)特殊な組織をしている。

(3) ダイカスト組織を詳細にしらべると、湯口部の組織は割合に粗大であつて、湯先部に近いほど組織はち密である。そしてその組織内に含有されている粒子は湯口部は大きく、かつ針状の結晶もあるが、湯先部に近いほど粒子は微細化している。そして数回金型の壁に衝突して鑄込まれるような製品の湯先部においては、湯先部に近いほど合金中の含有成分はところどころに集団的に集っている。湯先部においてはこの集団が大きくなつていく。すなわちところどころに合金成分が偏析して集団が発生している。

この集団が地の合金部と明瞭に区別されるものが偏析によるハードスポットとなる。

(4) 上記の結果またダイカスト組織は肉厚の薄い製品ほど粒子は小さく、組織は細かであることが観察されること、この偏析する現象は金型の壁に噴射された合金が衝突する回数が多いものに発生しやすく、衝突する回数の少ない形状の製品の湯先部に発生し難いこと、さらに偏析によるハードスポットは切削加工面を良好にし、美麗に切削しなければ認め難いこと、また本研究第1報、第2報に示した組織、カタサ、分析値の関係などによつて、このハードスポットの発生機構は、たびたび考察したごとく次のように考えられる。ダイカストするとき湯口から噴射された合金が、金型空洞の壁に衝突し飛散しながら金型内に充填するが、合金が急冷され凝固しはじめているので、その飛散し充填されときの遠心的機械的作用によつて、偏析するものであると考えられる。

(5) このように発生機構を明らかにしたことによつてその発生に影響を与えらると思われる鑄造条件などをかえて、このハードスポットの発生数をしらべたが、この現象から説明できるような結果が得られた。

それは鑄込温度が高いほどその発生数は少なく、また合金中に含有されているガス量の少なくないものほどこのハードスポットの発生数が少なかつた。

終りに本研究に御指導を載しました東北大学大日方一司教授ならびに東京大学麻田宏教授に厚く感謝致します。

また実験に協力して下さいました塚原睦郎君に深く感謝の意を表す次第であります。

参 考 文 献

- 1) 植原：軽金属，No. 52，(1962-March)，62
- 2) 植原：軽金属，No. 53，(1962-May)55
- 3) 池野：軽金属，No. 18，(1956-Ⅲ)，59

潮田，吉村，増山：軽金属，No. 12，(1954~Ⅷ)，