アルミニウム合金のダイカスト製品に発生 するハードスポットについて* (第1報)

菅野友信** 植原寅蔵*** 斎藤正郎**** 青木 正*****

Hard spots appearing in the die-cast products of
aluminium alloys* (1st Report)

(UDC 620.185.5:669.71)

KANNO Tomonobu** UEHARA Torazo***
SAITO Masaro**** AOKI Tadashi*****

This report has been prepared on the basis of the statistical data on hard spots in die-cast products of aluminium alloy for the past several years.

Their external appearance was observed and compared with their microscopic structures and hardness obtained through the experimental works. As the result of the above-said study, it was found out that the hard spots could be classified into some types from their external appearances.

Besides the above, chemical analysis was also made on the non-metallic hard spots, alloy slags (oxides) and altered bricks. With respect to the non-metallic hard spots, the following results were obtained.

1) The major components of the non-metallic hard spots are Al_2O_3 , SiO_2 and Fe_2O_3 and Na_2O , MgO , TiO_2 , Cu and some others are also contained through slightly.

2) The composition of the hard spots made of altered brick (which is made by being attacked by molten aluminium alloy) and of aluminium alloy slags are different from that of the non-metallic hard spots in the quantity of the contents of the major components.

3) Accordingly, the non-metallic hard spots are not the altered brick alloy slags themselves, although it is considered that they may be one of the factors for the formation of non-metallic hard spots.

(Received Aug. 19, 1959)

1. 緒 言

アルミニウム合金ダイカストにあらわれるハードスポットについては大日方博士の研究によつてその性質および分類がなされ、かつその対策が発表されている。ダイカストにおいてはその生産速度が大であるので、ただちに対策がとられなければならない。従つて切削加工面に発生したハードスポットの発生状況によつて、ただちにその種類が判定できれば、その対策を考えることができる。

それ故ハードスポットの切削加工面における発生時の

確認と同時に、切削加工時に簡単にハードスポットの種類判定ができるかどうか、その外観、顕微鏡組織および硬度によりハードスポットの判定を試みた。

さらに今回多量に発生した非鉄金属性ハードスポットについてその分析を行い組成および発生経過原因追究を行った。

2. 切削加工面におけるハードスポットの発生状況

切削加工面に発生するハードスポットをその外観より系統的に発生状況を観察すると、その種類によつて発生

* 本会16回大会(34-6)に発表

** 古河鑄造株式会社専務取締役

*** 古河鑄造株式会社

**** 昭和電工株式会社軽金属生産課

***** 昭和電工株式会社中央研究所

Furukawa Chuzo Co., Ltd. Director

Furukawa Chuzo Co., Ltd.

Showa Denko Co., Ltd.

Showa Denko Co., Ltd. Institute of Center Research

状況を異にする。切削加工面も工具、切削条件などによつて滑らかに削られている場合とない場合とで、その外観を多少異にすることがあるが外観によつて次のように区別ができる。

1) ハードスポットが切削面より高く浮出して見え、手で触れると一段高い。また切削工具の先端が折れたためかハードスポットのところより以後に加工された面が高くなっている場合もある。

2) 切削面が削づられにくく、一面に“キラキラ”光っている。

3) ハードスポットが切削面より極端に浮出して見えない。そして手で触れても高低は認められない。しかし切削工具の先端が折れたためか、その部分より切削面が高くなっていることもある。

このうち2)の場合はハードスポットと云い得ないかも知れないが、切削加工工場よりハードスポットで切削不能として返品されるので一応ハードスポットのなかに入れておいた。一般には0.1mm以上の硬い点がハードスポットと云われているが、これとは多少異なるかも知れない。

しかしこの場合でもその硬い点が肉眼で認められる場

合もある。

また色、光沢については次の3とおりに大別される。

- a. 黒色、光沢なし
- b. 黒色、多少光沢があるようである。
- c. 金属光沢を有する。

この形状は大小さまざまである。

しかしながらハードスポットの発生状況を総合すると次のような組合せの場合が多い。

1) ハードスポットが切削面より浮出して見え、発生数は極めて稀であり金属光沢を有す。

2) 切削加工面が“キラキラ”光り、ロット全数がそのような状態となる。肉眼では各々の粒子は認められない場合が多い。

3) ハードスポットが切削加工面上に多少浮出して見える。また硬い粒子が切削加工面に相当発生する。金属光沢を有する。

4) ハードスポットが切削加工面に浮出して見える場合もあり、また浮出していない場合もある。金属光沢がなく黒色である。切削面に数個発生する場合もあるが割合少ない場合が多い。

Photo. 1 Hard spot on the cut surface.

Photo. 2 View of hard spots on the cut surface.

$\times 150 \times 7/10$

Photo. 3 Microscopic view of hard spot.

$\times 600 \times 7/10$

Photo. 4 Microscopic view of hard spot.

3. 予 備 実 験

(切削加工面上における肉眼による
観察と顕微鏡組織、硬度との比較)

2. で観察したハードスポットの主なものについてその顕微鏡組織、硬度を測定して、そのハードスポットが如何なる種類のものであるかを検べた。

3.1 ケ イ 素

切削面より高く極端に浮出していて稀に発生するハードスポットについて、その外観を **Photo. 1** に示し、更に拡大して **Photo. 2** に示す。この硬度をマイクロビツカーズ硬度計で測定すると、その硬度は1,300~1,400位であつた。さらに顕微鏡組織で約150倍および600倍の組織を示すと **Photo. 3, 4** のごとくなつた。それ故このハードスポットは **Table 1** に示す大日方博士のケイ素の硬度結果1,320よりみてケイ素である。この大きな塊状のケイ素の発生についてはシルミン溶製のときに残留したケイ素であるか、初晶のケイ素であるか判明しにくい。また発生する率は少く、かつ他に発生した場合において、その周囲が直線の組合せたものでなく丸みをおびていて大塊であるところが特徴である。ときに直径2mm位のものもあつた。

3.2 初晶ケイ素

肉眼において「キラキラ」切削面が光り、ハードスポットの発生したロツトは全数発生する。ハードスポットについて、その切削面を肉眼で見ると **Photo. 5** のごとくである。さらに拡大すると **Photo. 6** のごとき形状を示す。ハードスポットのマイクロビツカーズ硬度は1,300~1,400位であつた。またこれを顕微鏡で約150倍および600倍で見ると **Photo. 7, 8** となる。さら電子顕微鏡で4,000倍でその形状を見ると **Photo. 9** のごとく

なつた。これらよりこのハードスポットはアルミニウム合金中に含まれているケイ素が初晶として析出したものであつて、切削面に全面的に分布していることがわかる。しかも初晶の発達が大きて相当大きくなっている。ときには肉眼でもわかる位のものもある。ある場合には、この初晶が集散的に所々に集つていることもある。ここ

Photo. 5 Hard spots on the cut surface.

Photo. 6 View of hard spots on the cut surface.

Table 1 Metallic hard constituents which may appear in the aluminium alloy systems. (Obinata)

Alloy system	Metallic hard constituent					Composition limit of primary crystallization
	Sorts or notation	Molecular formula	Hardness VHN	Specific gravity	Melting point	
Al-Fe	FeAl ₃ or θ	FeAl ₃	960	3.81	1,158	Fe>1.7%
Al-Mn	Al ₆ Mn	Al ₆ Mn	540	3.09	710(P)	Mn>1.95%
Al-Si	Si	Si	1,320	2.4*	1,410	Si>11.7%
Al-Si-Fe	α (FeSi) or K ₅	Al ₃ Fe ₂ Si	—	3.71*	—	Fe>1.5% Si>4%
"	β (FeSi) or K ₆	Al ₄ FeSi	578	3.31*	—	Fe>0.8% Si>7.5%
"	γ (FeSi) or K ₄	Al ₄ FeSi ₂	—	3.78	—	Fe>1.7% Si>1.4%
Al-Fe-Mn	(FeAl ₃ -Mn)	—	—	—	—	Fe>1.5%
"	(Al ₆ Mn-Fe)	—	514*	3.09	—	Mn>0.75%
Al-Si-Mn	α (MnSi) or W	Al ₁₀ Mn ₂ Si	958	3.68*	—	Si>2% Mn<1.2%
Al-Si-Fe-Mn	α (FeSiMn)	Al ₃ MnFeSi	—	3.77*	—	Fe+Mn>2%

* Measured by present writer

に見られるものはアルミニウムの初晶が大きく発達しているところから半固溶状態に長時間おいて鋳造したものと思われる。

3.3 金属間化合物

ハードスポットが切削加工面上に多少浮出しに見えるが、手で触れて、それ程高く感じないもので金属光沢を有し、切削加工面に相当発生するハードスポットのあるものの肉眼写真と拡大した写真を **Photo. 10, Photo. 11**

$\times 150 \times 7/10$

Photo. 7 Microscopic view of hard spot.

$\times 600 \times 7/10$

Photo. 8 Microscopic view of hard spot.

$\times 4,000 \times 7/10$

Photo. 9 Electro-microscopic view of hard spot.

に示す。これは研磨してあるので針状に見えるが、実際加工面においては針状とは明瞭にはわからなかつた。このマイクロビツカース硬度は811であつた。その顕微鏡で約150倍、および600倍の写真を **Photo. 12, 13** に示す。この写真からわかるように金属間化合物であると認められるが、大日方博士の測定せる硬度結果と対照した場合、これに適合する化合物はないが、ケイ素の硬度が1320、Al-Fe系がで987あつたので三元(例えばAl-Si-Fe系)またはそれ以上の金属間化合物であると思われる。

Photo. 10 Hard spot on the cut surface.

Photo. 11 View of hard spot on the cut surface.

$\times 150 \times 7/10$

Photo. 12 Microscopic view of hard spot.

3.4 非金属性ハードスポット

一般に金属光沢がなく黒色のハードスポットについてその外観写真を **Photo. 14** に示す。**Photo. 14** の尺度の入っているところが切削加工した面で尺度の所にあるのがハードスポットである。さらに拡大すると **Photo. 15** である。このようなものの約150倍および600倍の顕微鏡写真を **Photo. 16, 17** に示す。

この顕微鏡写真からその状態は判定できないが均一の組成、組織ではないようである。このように研磨して顕微鏡写真が撮れるようなもののいくつかをとり、マイク

$\times 600 \times \frac{7}{10}$

Photo. 13 Microscopic view of hard spot.

Photo. 14 Hard spot on the cut surface.

Photo. 15 View of hard spot on the cut surface.

ロピツカース硬度を測定すると250~300程度で硬度は低い。しかしながら黒色をしているハードスポットにおいても切削加工面より高く浮出しているものがあり、それらは非常に硬く研磨しても、研磨面が平滑にならず研磨面より塊状に浮出してきて研磨できない。

そのようなものの外観写真を **Photo. 18**, または拡大したものを **Photo. 19** に示す。表面は平滑でなく顕微鏡写真も撮れない。しかし大体 **Photo. 17** のごとき状態を呈している。これをマイクロピツカース硬度計で測定す

$\times 150 \times \frac{7}{10}$

Photo. 16 Microscopic view of hard spots.

$\times 600 \times \frac{7}{10}$

Photo. 17 Microscopic view of hard spots.

Photo. 18 Non-metallic hard spot on the cut surface.

Photo. 19 View of non-metallic hard spot on the cut surface.

ると、荷重50gにおいては圧痕がでない。

硬度250~300程度のものでも100gの荷重を掛けないと圧痕がでない。荷重を300gに増して始めて硬度905を得たものと荷重500gに増して始めて硬度716を得たものがある。このことはハードスポットが地金の中に沈み正確な硬度は測定されず、かつ非金属性ハードスポットが混合物であるとすれば、軟かいものの硬度、あるいは結合剤のごときものの硬度の影響がでていると思われる。また非金属性ハードスポットも硬いものは切削加工面においてやや金属光沢をおびている場合がある。

Table 2 にそれらハードスポットの硬度を示す。

4. 外観とハードスポットの種類(予備実験結果)

以上ここ数年間に当工場において発生したハードスポットをその発生状況および切削加工面の観察より、次の

Table 2 Microvickers hardness of hard spots.

Type of hard spot	Hardness			Load (g)	Remarks
	1	2	Average		
Si	1,253	1,422.5	1,337	50	
Al-Si-Fe	821	800	811	50	
Al-Fe	970	1,004.5	987	50	
Non-metallic hard spot	A	256	225	241	Under a load up to 50g no scratches can be produced.
	B	278	257	268	
	C	905	—	905	
	D	716	—	716	

4種類に大別することができた。

その結果を **Table 3** に示す。

Table 3 によつてハードスポットの種類は切削加工時にただちに判別できるが、時には判定し難いこともある。しかし馴ればほとんど判定を間違ふことはない。

5. 非金属性ハードスポットの分析

非金属性ハードスポットはあまり多く発生することはないが、たまたま熱膨張の少い煉瓦(組成 Al_2O_3 34%, SiO_2 64%, Fe_2O_3 2.5%)を使用したところ多く発生したので、これを地金の部分より掘り出すことができた。使用した合金は Si 7.5~9.5%, Cu 2.5~3.5%であり、合金中の主な不純物は Fe 約0.8%, Mg 約0.2%, Zn 0.3%である。溶解は反射炉を保熱炉として使用した。反射炉溶解では大日方博士の言われるごとく炉材との反応が考えられ、事実使用した煉瓦の溶湯と接していた部分が黒色に変質していたのでこの部分の分析も行った。

また表面に発生する酸化物もハードスポットと考えられるので表面の滓も分析した。

Table 3 General aspect of hard spots.

Type of hard spot	Condition in which hard spots appear when machined	Size	Shape	Color
Si	The spot is so hard as to cause breakage of the blade tip. It is visible as projecting from the cut surface.	Diameter 1~0.2m/m	Lumpy crystals	Lustrous
Si (Primary crystal)	The entire area is difficult to machine where a large number of hard spots appear. The blade tip wears very rapidly.	Considerably small and invisible with the naked eye.	Crystalline	The cut surface produces brightness.
Intermetallic compound (Al-Si-Fe etc.)	The blade tip wears appreciably. It is visible as projecting from the cut surface.	Length 1m/m Most of the spots are not substantially large.	Needle-like crystals	Lustrous
Non-metallic hard spots	The blade tip is readily broken and the tip end is often damaged. Once encountered in machining the hard spot makes the blade tip unusable.	Diameter 3~0.2m/m	Amorphous Lumpy	Black

Fig.1 Method of chemical analysis. (No.1)

Remarks : Molecular formula

Name

Ammonium oxalate

Calcium oxalate

Ammonium magnesium phosphate

Magnesium pyrophosphate

Ammonium persulfate

Citric acid

Sodium diethyl dithiocarbamate

Hydroxylamine hydrochloride

Orth-phenanthroline

Sodium acetate

Brom cresol green

Fig. 2 Method of chemical analysis (No. 2)

5.1 化学分析方法

化学的に簡単な予備実験を行ない、その組織をしらべ **Fig. 1, 2**, のごとき化学分析法を考案した。

本分析方法是金属と酸化物が分離定量できるように考えたが、もちろん完全な方法とはいえない。しかしながら、このハードスポットおよび煉瓦材質測定のための適用できるものとする。

5.2 分析結果

ハードスポット、変質せる煉瓦、炉底にあつた塊状の変質せる煉瓦と思われるもの、炉の溶湯上に浮んでいる溶解中に溶融合金と空気中の酸素により酸化してできた酸化物(滓)の分析を行つた。その結果を **Table 4** に示す。

表中の A, B, C, D, は同時に試料を採取したものであり、E, F はそれ以後 1 カ月後に採取したものである。D と F が、ハードスポット、C, E は溶融合金の滓 S は元の煉瓦 A が変質せる煉瓦であり、B が炉底にあつた変質せる煉瓦と思われるものである。

Si と SiO_2 については溶融合金の滓は Si とみなし、その他のものについては SiO_2 と考えた。

この結果より見るとハードスポットと変質せる煉瓦においてはその SiO_2 の含有量が非常に異なり、ハードスポットと滓においては、アルミニウムおよびアルミナの含有量が異なっているのがわかる。

Table 4 Results of chemical analysis. (%)

	S	A	B	C	D	E	F
Al	Non-analysis	2.98	9.56	85.64	11.25	88.10	13.57
SiO_2	63.50	24.98	4.48	—	7.52	—	7.58
Al_2O_3	34.00	67.16	79.46	5.01	70.31	4.16	66.48
Si	Non-analysis	—	—	6.23	—	5.26	—
Cu	"	0.23	0.45	1.19	0.52	1.26	0.22
TiO_2	"	0.27	0.05	—	0.17	—	0.08
Mn	"	Trace	Trace	0.02	Trace	0.01	Trace
Na_2O	"	0.89	0.53	0.32	1.18	0.54	1.70
MgO	"	0.83	1.12	0.76	2.21	0.69	3.29
Fe_2O_3	2.50	1.34	3.22	1.77	4.15	1.13	7.87
Ca	Non-analysis	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace	Trace

Remarks :

- S. Original brick (Don't analyzed impurities)
- A. Side brick altered by contact with the bath
- B. Bottom brick altered by contact with the bath
- C. Slag on top of the bath (Experiment 1)
- D. Hard spots (Experiment 1)
- E. Slag on top of the bath (Experiment 2)
- F. Hard spots (Experiment 2)

6. 化学分析結果の考察

Table 4 を図表にすると **Fig. 3** のごとくなる。この図表より次のことが想定される。

- 1) 非金属性ハードスポットには炉材およびメタル組成よりも、 Na_2O , MgO , Fe_2O_3 が増加している。
- 2) 元の煉瓦組成と変質煉瓦組成が非常に変化しており、明らかに Al により SiO_2 の還元が考えられる。
- 3) 炉上滓は溶融合金と共に採取されるため Al および Cu がでている。その形態については化学分析ではしるべにくい。

7. 結 論

第 1 報としては前述せるごとく現場において発生するハードスポットの外観的な観察による分類法およびその処置方法を過去数年にわたる系統的データーより研究し、これを大日方博士のハードスポットの防止対策と対照してすみやかに作業の改善を講ずることを目的とした。これが現場における作業上の指針として役立てば幸いである。

非金属性ハードスポットについては前述せるごとく変質せる煉瓦片が溶湯中に混入したものでもなく、またその滓そのものでもない。化学分析結果に見られるごとく非金属性ハードスポットの主なる組成は Al_2O_3 と SiO_2 に Fe_2O_3 で他に Na_2O , MgO , Cu が含まれている。

最後に本研究に対し多大の御指導ならびに御協力戴いた協同軽金属株式会社藤勝次氏および中央軽金属大坂工場岡沢係長に厚く感謝の意を表する。

Fig. 3 A comparative diagram of the composition of bricks and hard spots.

参 考 文 献

- 1) 大日方一司 No. 12 (1954. 8)
- 2) 大日方一司 No. 18 (1956. 3)
- 3) 津村善重 ダイカスチング 第 4 巻 第 3 号