

アルミニウムおよびその合金の水中造塊法 (S.A.C. Process) について (第 2 報 S A.C. 法による鑄塊の諸性質)

大日方一司* 栗原健助*
竹内庸* 川西六郎*

Ichiji Obinata, Kensuke Kurihara, Yô Takeuchi and Rokuro Kawanishi: Sub-aquatic Casting Process of Aluminium and its Alloys (2nd Report). Properties of Ingots Obtained by S. A. C. Process. Physical, chemical and mechanical properties of the ingots of aluminium as well as of its alloys obtained by S. A. C. process have been measured and compared with those obtained by chill casting. Results obtained may be summarized as follows: S. A. C. ingots have always finer grain-structure and smaller tendency for dendritic crystallization than chill ingots, especially in the case of pure aluminium. No marked difference in the specific gravity and electrical resistance have been detected between S. A. C. and chill ingots. Attenuation of ultrasonic waves of S. A. C. aluminium ingot showed smaller value than the chill ingot, showing the soundness of the former. Contents of hydrogen, alumina and magnesium in S. A. C. ingots were almost equal to those in chill ingots and the tendency for inverse segregation of copper in S. A. C. ingot was not conspicuous. S. A. C. 2 S ingots showed larger tensile strength, elongation and resistance to deformation than chill ingots, though the difference was not marked in the case of aluminium alloys.

(Received November 21, 1950)

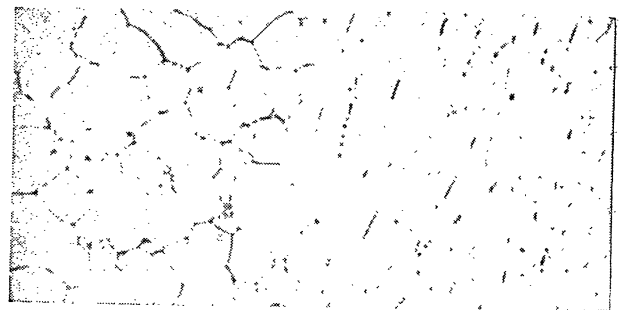
I. 緒 言

第 1 報⁽¹⁾では水中造塊法 (S. A. C. process) への発展経路とその原理を述べ、鑄造条件を変えた場合の主として鑄塊のマクロ組織について報告した。第 2 報は S. A. C. 法によつて得られたアルミニウムおよびその合金の諸性質を調べた結果で、普通の金型鑄塊のそれと比較する。

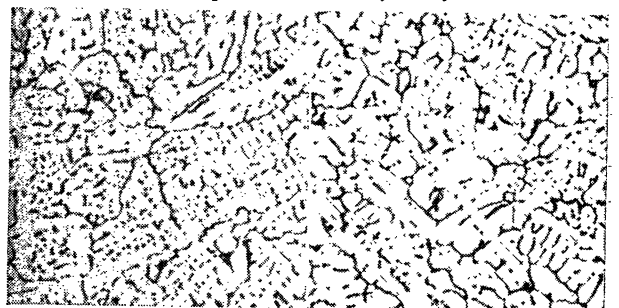
II. 顕 微 鏡 組 織

Photo 1 (a)~(d) には S. A. C. 法による 2 S および 24 S 鑄塊の顕微鏡組織を同じ合金の金型鑄塊のそれと比較して示した。各鑄塊の鑄造条件は Table 1 に示す通りである。

Photo. 1 から明らかに、いずれの合金の場合にも S. A. C. 法による鑄塊の組織は金型鑄塊のそれに較べて小さい。特に 2 S の場合には第 1 報で述べたように、金型鑄塊には柱状晶が発達しているに反し、S. A. C. 法による鑄塊は等軸結晶の集合体となるから、両者の顕微鏡組織も Photo. 1 (a) (b) に示されているような差異がみられる。



(a) S. A. C. $\times 100$ (b) Chill $\times 100$
25 S : polished electrolytically



(c) S. A. C. $\times 100$ (d) chill $\times 100$
24 S : etchant : 2% NaOH.

Photo. 1 Microstructures of aluminium alloy ingots obtained by S. A. C. process and by chill casting under the condition shown in Table 1

* 東北大学金属材料研究所

Table 1 Casting conditions of aluminium alloy ingots shown in Photo. 1(a)~(d).

Mark in Photo. 1	Alloy	Casting method	Casting condition		
			Pouring temperature(°C)	Diameter of tapping hole(mm)	Temperature of water or mould(°C)
(a) (b)	2S	S. A. C. chill	680 "	6 —	75 room temp
(c) (d)	24S	S. A. C. chill	680 "	6 —	70 room temp.

Size of mould for S. A. C process: 45mmφ×200mm (thickness 2 mm, Copper plate)

Size of chill mould: 40 mmφ×300 mm (thickness 30 mm, cast iron).

24S の場合にも、金型鑄塊 (d) の組織にはアルミニウム側固溶体の初晶が樹枝状に発達し、その間に残液が凝固しているが、S. A. C. 法による鑄塊 (c) の場合には初晶の樹枝状の発達は比較的顕著でない。

III. 物理的性質

I 比重

アルミニウム、Al-5%Cu および Al-5%Mg 合金を Table 1 に示した鑄型を用い、Table 2 に示した鑄造条件で S. A. C 法による鑄塊並びに金型鑄塊とした。各鑄塊の上部、中部、下部から 1 cm 角の試料 3 個宛を切り出し、化学天秤を用いて、空气中並びに蒸留水中の重量を測定して比重を求めた。

Table 2 Physical and chemical properties of the ingots of aluminium and its alloys obtained by S. A. C. process and by chill cast.

Ingots				Physical properties		Chemical analysis		
Material	Casting * method	Pouring temperature (°C)	Temperature of water or mould (°C)	Specific ** gravity	Electric ** resistance (×10 ⁻⁶ Ωcm)	H ₂ (cc/100g)	Al ₂ O ₃ (wt %)	Mg (wt %)
Al-99.5 %	S. A. C. chill	700	75	2.718	3.089	2.2	0.003 ₄	—
	"	"	room temp.	2.714	3.093	3.3	0.006 ₁	—
	S. A. C. chill	750	75	2.693	3.118	3.3	0.002 ₆	—
	"	"	room temp.	2.700	3.127	3.3	0.003 ₈	—
Al-5%Cu	S. A. C. chill	680 "	80 room temp.	2.760	—	—	—	—
				2.753	—	—	—	—
Al-5%Mg	S. A. C. chill	680 "	70 room temp.	2.623	—	—	—	5.63
				2.635	—	—	—	5.53

* Chill cast mould: thickness 30 mm inner diameter 40 mm, length, 300 mm; cast iron.

S. A. C. mould: thickness 2 mm, inner diameter 45 mm, length, 200 mm; copper.

** Mean value of measurements on three specimens.

3 個の測定値の平均は Table 2 に示す通りである。この結果では、合金の如何を問わず、S. A. C. 法によるものと金型鑄塊との間に殆んど差違はみられない。

A. J. Swain⁽²⁾は Al-Mg 合金を試料とし、重クロム酸カリ中でその合金の固液両相区間の適当な温度に加熱後その密度を測定し、処理前の密度と比較する事により、試料中に存在した空隙と合金との比を測定することが出来、これ

を試料中の水素量として現わすことが出来ることを示した。著者等はこの方法を Table 1 の Al-5%Mg 合金鑄塊に応用し Table 3 の結果を得た。

各試料は先の比重測定試料と同様で、重クロム酸カリ中の加熱は 620°, 10 min 間であつた。

Cavity: metal ratio の測定値の平均は表示のように、S. A. C. 法鑄塊の場合は 1.86×10^{-2} 、金型の場合は 1.62×10^{-2} で大差なく、これを Swain の測定結果を用いて水素量に換算すると、S. A. C. 法の場合は 0.23 cc/100 g、

Table 3 Density of Al-5%Mg alloys before and after treated in potassium dichromate bath at 620° for 10 min.

Ingots*	Density (g/cc)		Cavity: Metal ratio
	Before test	After test	
By chill cast	2.624	2.600	0.92×10^{-2}
	2.604	2.573	1.16×10^{-2}
	2.632	2.569	2.45×10^{-2}
Mean	2.623	2.581	1.62×10^{-2}
Standard deviation			$\pm 0.42 \times 10^{-2}$
By S. A. C. process	2.637	2.628	0.19×10^{-2}
	2.647	2.586	2.35×10^{-2}
	2.621	2.547	2.90×10^{-2}
Mean	2.635	2.587	1.86×10^{-2}
Standard deviation			$\pm 0.52 \times 10^{-2}$

* Casting conditions are shown in Table 2.

金型の場合は 0.22cc/100 g となり、いずれもかなり健全な鑄塊であることがわかる。

2. 電気抵抗

Table 2 に示した S. A. C. 法および金型によるアルミニウム鑄塊を、縦方向に 3 分して径 5 mm、長さ凡そ 150 mm の丸棒に仕上げ、標点距離を 100 mm として電気抵抗を測定した。測定結果は Table 2 に示した通りで、兩種鑄塊に著しい差違は認められない。

(2) A. J. Swain, J. I. M., 75(1949), 863.

3. 超音波探傷試験

超音波探傷試験に供した S. A. C. 法および金型アルミニウム 鋳塊の横断面のマクロ組織は Photo 2 である。鋳型の寸法は Table 1 に示したものと同様で、いずれの場合も注湯温度は 700°, S. A. C. 法の場合の水温は 80°, 金型は常温である。

いずれの試料も底部に近い方から長さ 100 mm に切り、両面を丁寧に仕上げた。使用した超音波の振動数は 2,5 および 12 Mc/sec で、反射波の強さから減衰率を求め

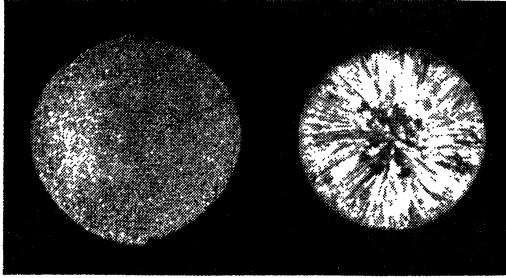


Photo. 2 Macrostructure of the crosssection of aluminium ingots (99.5%) obtained by S. A. C. process (a) and by chill cast (b), etched with aqua regia. $\times 2/3$

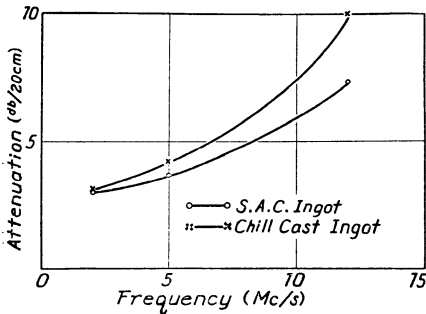


Fig. 1 Attenuation of ultrasonic waves in aluminium ingots (99.5%) obtained by S. A. C. process and by chill cast, shown in Photo. 2.

IV. 化学的性質

1. 水素、アルミナおよびマグネシウム含有量

Table 2 に示した S. A. C. 法および金型アルミニウム 鋳塊中の水素およびアルミナの定量を行い、さらに Al-5% Mg 合金については Mg の定量を行った。ただし S. A. C. 法は凝固に先だち水と接触するから、水素の吸収、アルミナの増量が懸念され、またマグネシウムの如き活性な合金元素の減量を起す恐れがあると考えられるからである。

水素定量用の試料は III の 2 項で述べた電気抵抗測定用試料を 20~30 mm に切断し、真空抽出 Micro-Orsat 法によつた。アルミナの定量は温度の上昇を警戒しつつドリルによつて切り出した錐屑を用い、塩酸法によつてアルミナを分離した。マグネシウムの定量は普通の定量法である。

試験の結果は Table 2 に示す通りで、水素含有量は III の 1 項で述べた Swain 法による値より 1 桁大きいけれども、この場合にも鋳造法の相違による水素含有量の差異はほとんど認められない。アルミナおよびマグネシウム定量結果についても同様である。

2. 銅の偏析

含銅-アルミニウム合金の鋳塊には逆偏析の現象があつて、早期に凝固した部分に銅濃度が増大することはよく知られている⁽³⁾。S. A. C. 法では比較的均等な凝固が行われると考えられるから、果して偏析を生ずるかどうかがこの点を確かめるために次の実験を行った。

S. A. C. 法用鋳型としては、径 75 mm、長さ 300 mm、肉厚 2 mm の銅板製のものを用い、普通金型には同じ寸法で肉厚 70 mm の鋳鉄製のものを使用した。注湯温度はいずれも 680° で、S. A. C. 法の場合の水温は 70°、金型は常温である。合金としては Cu 3% を目標にしたが、分析の結果は平均 2.5% 程度であつた。これらの鋳塊はそれぞれ旋盤にかけて表面から 1 mm 宛切削し、各部分を分析試料として銅の定量を行った。

Fig. 2 は測定結果である。金型鋳塊の場合には明かに外周に銅が濃縮されているが、S. A. C. 法の場合には著しい偏析はみられない。

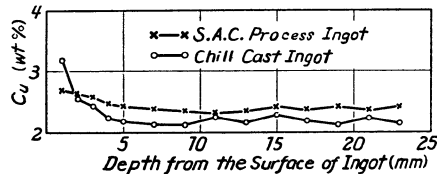


Fig. 2 Measured distribution of copper in the Al-Cu ingot obtained by S. A. C. process and by chill cast.

V. 機械的性質

1. 引張試験

Table 4 は S. A. C. 法による鋳塊と類似の条件で铸造した金型鋳塊から切削した試験片の引張試験の結果を示す。鋳型の寸法は Table 1 に示したものと同様で、各種合金の鋳造条件は Table 4 に示した通りである。引張り試験片は太さ 7 mm の JIS 4 号試験片で、同一鋳塊から各 4 本を切り出し、表示の数値はいずれも 4 回の平均値である。なお Table 4 には硬度の測定値をも附記しておいた。

これらの結果をみると、各種合金の場合には兩種鋳造法の差違による機械的性質の差違は顕著でないが、アルミニウムの場合には明瞭な差異があり、S. A. C. 法による鋳塊の抗張力および伸びは、金型鋳塊のそれに較べて明らかに大きい。たゞし硬度はほとんど変わらない。Fig. 3 はアルミニウムの鋳塊の抗張力と伸びの数値のばらつきを示したもので、兩種鋳造法の差違による抗張力および伸びの相違が明瞭に見られる。

(3) 例えば D. E. Adams, J. I. M., 75(1949), 809.

Table 4 Mechanical properties of aluminium ingots obtained by S. A. C. process and by chill casting.

Ingots				Mechanical properties		
Material	Casting method	Casting temperature (°C)	Temperature of water or mould (°C)	Tensile* strength (kg/mm ²)	Elongation* (%)	Hardness (V. H. N.)
Al-99.9%	S. A. C.	680	92	6.67	55.5	20.7
	S. A. C.	"	71	6.20	53.0	—
	chill	"	room temp.	5.02**	50.5**	20.8
Al-99.5%	S. A. C.	680	90	7.73	38.3	25.4
	S. A. C.	"	73	8.47	37.6	—
	chill	"	room temp.	7.36**	33.2**	26.0
Al-99.0%	S. A. C.	700	70	10.70	32.3	—
	chill	"	room temp.	9.70	31.0	—
3S	S. A. C.	900	75	10.9	34.2	37.0
	chill	"	room temp.	10.8	31.7	37.4
24S	S. A. C.	680	70	18.7	3.0	—
	chill	"	room temp.	18.0	3.9	—
56S	S. A. C.	680	70	23.1	13.5	—
	chill	"	room temp.	21.6	14.3	—
75S	S. A. C.	680	70	26.3	2.8	—
	chill	"	room temp.	26.0	2.8	—
Al-5%Cu	S. A. C.	680	80	—	—	57.2
	chill	"	room temp.	—	—	58.0
Al-5%Mg	S. A. C.	680	70	—	—	73.5
	chill	"	room temp.	—	—	73.2

* Mean value of measurement on four specimens.
 ** Mean value of measurement eight specimens.

2. 鍛造性

兩種鑄造法による鑄塊の鍛造性を比較するために、99.5% および 99.9% のアルミニウムを試料として S. A. C.

している。このことは II 項で述べた組織の相違および前項でのべた抗張力の相違などと関聯があるものと思われる。

VI. 総括

S. A. C. 法による鑄塊の物理的、化学的、機械的諸性質を調べて普通の金型鑄塊のそれと比較した。

(1) S. A. C. 法によるアルミニウムおよびその合金鑄塊の顕微鏡組織は、金型鑄塊のそれに比較し、いずれも微細で、初晶の樹枝状晶の発達が少ない。特に純アルミニウムではその傾向が著しい。

(2) S. A. C. 法による鑄塊の比重および電気抵抗値は普通金型鑄塊のそれらと大差なく、超音波探傷試験の結果では、S. A. C. 法による鑄塊の方が金型鑄塊に比べて減衰率は小さい。

(3) S. A. C. 法では凝固に先立ち、アルミニウム熔湯が温水と接触するから、反応により水素、アルミナの増量、マグネシウムのような活性な元素の減量が予測されるが、これらの定量を行つた結果では、金型鑄塊のそれと殆んど差異を認め得ない。

銅の偏析を調べた結果、S. A. C. 法による鑄塊には銅逆偏析の傾向が少い。

(4) 引張り試験の結果では鑄造法の相違による

法および金型鑄塊をつくり、これから 10 mm 径の小試験片多数を削り出して種々なる温度で落下槌試験を行つた。S. A. C. 法用鑄型は径 30 mm、高さ 200 mm、肉厚 2 mm の銅板製、金型は肉厚 30 mm の同じ寸法の鑄鉄製である。鑄込み温度はいずれの場合にも 680°, S. A. C. 法の場合の水温は 70°, 金型は常温である。落下槌の重量は 5.85 kg で、落下距離は 40 cm、従つて仕事量は 23.4 kg/cm である。鍛造前後の高さの比から変形量を求め、各試料の平均変形抵抗として温度軸に対する関係を示すと Fig 4 のようになる。

これらの結果をみると、99.9% Al の場合には兩種鑄造法の差異による変形抵抗の差異は殆んどないが、99.5% Al の場合には、S. A. C. 法による鑄塊の方が金型のそれより幾分大きな変形抵抗を示し

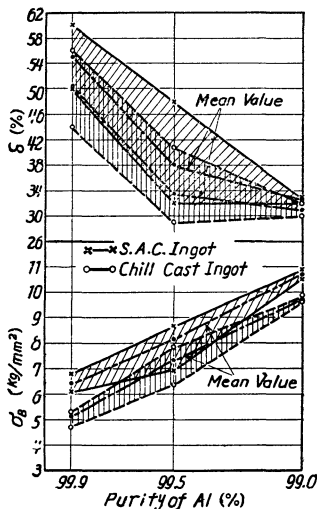


Fig 3 Tensile strength and elongation of the aluminium ingots (99.9%, 99.5%, 99.0%) obtained by S. A. C. process and by chill cast.

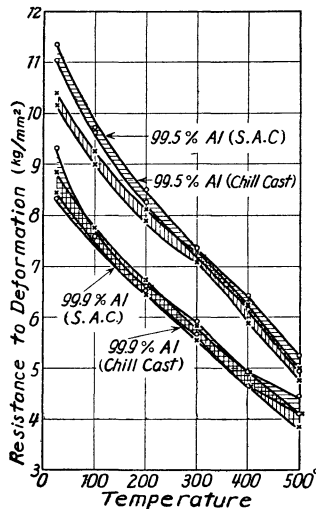


Fig 4 Resistance to deformation at various temperatures of aluminium ingots obtained by S. A. C. process and by chill cast.

差異は、合金の場合には比較的少ないが、2S の場合には S. A. C. 法による鑄塊は抗張力、伸び共に大きく現われる。

鍛造試験の結果では、S. A. C. 法、2S 鑄塊の変形抵抗

は金型鑄塊のそれにくらべて若干大きい。

この研究の遂行に当つて種々なる援助を与えられた古河電気工業株式会社、小松原、田中両博士並びに分析試験を担当された東北大学後藤教授に対し感謝の意を表す。
