Fig. 19. Tempered 2 hrs at 230°.

Fig. 20. Tempered 2 hrs at 300°.

Fig. 21. Tempered 2 hrs at 400°.

れないが、Al8%以上を含むものは焼入焼戻に依つてよく硬化し、焼戻温度 230°の場合に最大硬度を示した。この焼戻硬化性は Mn 及 Al の添加と共に次第に増加するが、Mn に依る影響に比し Al に依る影響が著しく、Mn 約 1.5%、Al10%を含むものが最も硬度が高い。

3) Mg-Mn-Al 三元合金鑄造試料の水道水、食鹽水、海水に對する耐蝕性は Mn 約 1%、Al2%のものに於て

最も良好であつた。

4) 熱處理と耐蝕性との關係に就ては 170°以下の焼戻は耐蝕性に影響しないが、230°で焼戻すると腐蝕度最大となり、それ以上に於ては再び耐蝕性は良好となる。

最後に本研究は日本學術振興會の援助に依て行ひし事を記し感謝の意を表す。

合金の凝固の際に起る容積變化に就て (第 6 報)

アルミニウム合金に關する研究 (I)

高 瀬 孝 夫*

Takao Takase : On the Volume Changes of Pure Aluminium, Al-Cu and Al-Si Alloys during Solidification. The volume changes of pure aluminium (99.74%), Al-Cu and Al-Si alloys during solidification have been studied by using the KCl+LiCl bath. The main results of the present investigation are as follows :-

(1) The specific volume (specific gravity) of the molten Al at 750~659° agrees with the result obtained by Edwards and Moorman, the volume shrinkages during solidification being 0.0260 cc or 6.21%.

The linear shrinkages from 750° to 21.5° from 750° to 650° (solid) and from 650° (solid) to 21.5° (solid) are respectively 4.32%, 2.58% and 1.85%. The latter value (1.85%) nearly agrees with those obtained by extensometer by the previous investigators.

(2) In the volume shrinkage vs composition curve of the Al-Cu system, alloy of 94.3% Al (max. solidification interval) has the max. shrinkage and then it gradually decreases to 0.0140 cc or 4.44%, at eutectic (Cu 33%) and to 0.0085 cc, or 3.12%, at the composition of CuAl₂ (Cu 54.1%).

In the CuAl₂ side, there is no max. point, because the effects of the solid (CuAl₂) and liquid contractions during solidification are negligibly small compared with the shrinkage of the primary CuAl₂ on solidification.

(3) In the volume shrinkage vs composition curve of the Al-Si system, a max. point of shrinkage exists at 1.7%

* 大阪帝國大學金屬工業研究所。

Si (max. solidification interval) and then it rapidly decreases to 0.0140 cc or 3.39% at 12% Si (Silumin) and to zero at 25.5% Si; the alloys over 25.5% Si, on the contrary, expands during solidification. This rapid effect of decreasing shrinkage by the Si is attributed to the expansion of the Si during solidification which fact has been observed first by the present author.

(4) Among the volume shrinkage of pure aluminium, Al 90 Cu 10%, Al 97% Si 3%, and Al 88% Si 12% (Silumin) alloys, Silumin has the smallest value and also it has the simplest shrinkage curve during solidification.

The specific gravity of pure aluminium decreases by addition of Si in the solid state but increases in the liquid state.

This phenomenon is attributed, as already stated, to the expansion of Si during solidification.

(5) The expansion of Si during solidification at 577° (the eutectic temp. of the Al-Si system) has been calculated by the mixture rule from the bases of shrinkage of Silumin. From this calculation, the expansion of Si at 577° was found to be 0.066 cc or 13.6% which is quite noticeably larger than the other metals.

(Received September 3, 1937)

I. 緒 言

Al 及び Al 合金は鑄造合金として極めて重要であるから、凝固に際して起る容積変化は多くの人々に依り、種々の方法で測定されて居る。その主なるものとしては、既に第 1 報で述べた如く、Edwards⁽⁴⁴⁾, Pascal, Joniax⁽⁴⁵⁾, Edwards Moorman⁽⁴⁶⁾, 遠藤博士⁽²⁾, Losana⁽¹⁰⁾ 及び Stott⁽¹²⁾ 等による研究である。

上記の研究は、主として Al 及び有用 Al 合金に就て、あつて、Al の凝固収縮率は Al の純度にもよるが 6~6.7% であり、Al に Cu 及び Si を加へると収縮率を減少し、特に Si を加へる事による減少は著しく、Stott⁽¹²⁾ の凝固収縮率と成分との関係曲線に於て、その急減する様子を大體窺知する事が出来る。斯く Si の急減効果に對し、Edwards は Si が凝固の際膨脹するためだらうと想像したが、これに對し何等首肯し得る確證がない。又 Al に Si を加へるとき、Edwards の結果を見ると、固體では比重が減少するに反し、融體では増加して居る事に氣付く。この點、奇異に感ずるが何等首肯し得る説明がない。

而して、今日迄の研究を見ると、Al 合金の凝固變化量と状態圖乃至成分との関係、及び合金の凝固が進行しつつある時の容積の變化する有様を明瞭に示した研究がない。

依つて著者は、上記の諸問題を明らかにする目的で、先づ Al, Al-Cu 系 (Cu 54.1% 迄), 及び Al-Si 系 (Si 22% 迄) の凝固變容量を KCl (60%) + LiCl (40%) 媒液を用ひて測定した。

その結果、Al の凝固収縮率として 6.21% を得た。而して Al の融體に於ける各温度の比容 (比重) をも明らかにした。

Al に Cu が加はると Cu 5.7% (固溶限度) 迄は収縮量が増加するが、それ以上 Cu が加はると漸次減少して Cu 54.1% で 3.12% となる。共晶を挟んで Al 側に極大値

の存在するのは凝固範囲の爲であるが CuAl₂ 側の固溶限度に極大値のないのは、CuAl₂ 初晶の凝固収縮に比し、凝固中の融體及び固體の収縮による影響が少ない爲である。

Al に Si が加はると Si 1.7% (固溶限度) に収縮量の極大値が存在するが、以後 Si が増加すると急減して約 Si 25.5% で零になり、それ以上 Si が加はれば反つて膨脹する。而して、合金の凝固が進行しつつある時の容積變化の有様をよく現はし得た結果、Al に Si を加へる事による凝固収縮率の急減効果は、Si の凝固膨脹に基因する事を著者によつて始めて證明し得た。Al-Si 系が鑄造用アルミニウム合金として優秀なるは、Si の膨脹が一大原因をなすものと考えて差支へなく、且 Edwards の結果の如く、Al に Si を加へると、固體の比重は減少するが融體で逆に増加するのは、Si の膨脹に基因するものである。

II. 實 験 方 法

實驗方法は第 1 報に詳述したものと同様であるが、アルミニウムは熔融點が高いので、媒液その他に就て以下述べる様に第 1 報の場合と多少異なる點がある。

(1) 媒 液 の 密 度

媒液としては、第 1 報のパラフィンの代りに極めて純度の高いメルク製 KCl (重量 %, 60%) + LiCl (40%) を用ひた。而してこの媒液の密度と温度 (780~480°) との

Fig. 77.

關係を求むると Fig. 77 の如く直線的關係を有する。密度測定及び計算は第 1 報のパラフィンの場合と殆んど同様であるが、只石英容器容積の温度に對する補正を行つた點が相違する。

温度測定は、Alumel-Chromel を用ひ、高温計の目盛から、5° 迄正確に読み得るが 2.5° 迄必要に応じて

(44) Edwards, Chem. Met. Eng., 28 (1923), 165.

(45) Pascal, Joniax, Rev. Met., 2 (1913), 1069.

(46) Edwards, Moorman, Chem. Met. Eng., 24 (1921), 61.

目分量で讀んだ。測定に用いた電気爐は Fig. 78 の温度分布圖の如く均一であり、冷却速度は $780 \sim 480^\circ$ 間に

3.5 時間を要し、以後の合金の測定の場合も同一速度を用ひなければならぬ事は、既に第 1 報で詳述した通りである。媒液の密度測定は 3~4 回毎に測定を行つたがその差は極めて少ない。媒液は時々補給して出来る限り一定量にした。

(2) 試料

實驗に用いた Al, Cu 及び Si は次の如きものである。

Al 99.74% (他に Fe 0.19%, Si 0.08%)

Cu 住友電線株式會社製銅電線

Si 98.49% (他に Al 0.58%, Ca 0.40%, Fe 0.36%, Mg 0.17%)

最初、クリプトル爐で相當多量合金したものから、少量取て $\frac{1}{100}$ mm Hg 程度の真空爐中で含有瓦斯を除去する目的で、タンマン管に入れて再溶解し少々急に凝固させ(この際、Al のみは Langmuir diffusion pump の高度真空中で溶解した。) 斯るものから、凝固収縮測定用と分析用との試料を採つた。次に、媒液-試料-石英間の腐蝕程度を明かにする目的で、Al, Al 50%, Cu 50% 合金, Al 88%, Si 12% (Silumin) を夫々 800° 、一定量の媒液中に石英容器に入れて約 3 時間保ち、徐々に試料を凝固させた後、媒液中の Al, Cu, Si の定性分析を行つたが、認められなく、且石英容器及び試料の實驗前後に於ける重さの變化率は極めて小さく實驗誤差的範囲内であつた。

(3) 試料の比重測定

凝固収縮量測定前後に於ける比重を測定して、測定前後に於ける比重の差の實驗誤差的範囲内の試料の凝固収縮測定結果のみ採用した。比重測定方法は第 1 報と殆んど同様であるが、この際は、空氣の補正を行はなかつた。試料に附着した媒液は完全に除去し、よく乾燥して比重測定に供した。

III. 實驗結果並びに考察

(1) 純アルミニウム

Fig. 79 は高度真空にて溶解した Al 試料の測定結果で、Table 52 は 750° 以下に於ける液、固兩相の各温度に於ける比容及び比重の實測値である。勿論この數値は 2 回實測による平均値である。(以下の合金に於ても 2~3 回實測による平均値である。) これ等の結果より、純アル

ミニウムの凝固収縮率は 6.21% で、今日迄の他の測定者による 6~6.7% の略々中位である。而して、Al の液相及び固相の比容(比重)は Edwards, Moorman⁽⁴⁶⁾ の結果

Fig. 76.

Table 52. The Specific Volume (Specific Gravity) of Pure Aluminium.

Temperature	Specific Volume	Specific Gravity
750 (Liquid)	0.4256	2.350
740 (")	0.4249	2.353
730 (")	0.4243	2.357
720 (")	0.4235	2.361
710 (")	0.4225	2.367
700 (")	0.4220	2.370
690 (")	0.4212	2.374
680 (")	0.4207	2.377
670 (")	0.4196	2.383
659 (")	0.4187	2.388
659 (Solid)	0.3927	2.546
21.5 (")	0.3705	2.699

に良く一致する。 659° (凝固點)に於ける固體 Al の比容は 0.3927 で、Al の平均線膨脹係數を 31.5×10^{-6} ⁽⁴⁷⁾ としての計算値 0.3928 に極めて近い。勿論この際 21.5° の比容は著者の測定値 0.3705 を用いた。

(2) Al-Cu 系

本系の状態圖⁽⁴⁶⁾は Cu 54.1% 迄は Al 固溶體と CuAl_2 固溶體との單一共晶型に屬する。而して、共晶成分、共晶温度は夫々 Al 67%, Cu 33%, 548° である。著者は Cu 54.1% 迄の合金に就き凝固収縮量を測定した。以下その結果に就て述べる。

(i) 共晶合金, (Al 67%, Cu 33%)

Fig. 80 は測定結果で、上部の温度-尺度の読み、及び下部の凝固収縮曲線は純金屬の場合と全く同様である。

(47) Hidnert, Bur. Standards Sci. Paper, **497** (1925).

(48) 本多, 菊池, 東北帝大理科報告, **21** (1932), 575. 参照

而して、この数値は遠藤博士⁽²⁾の4.81%に略々近い。

(ii) 凝固範囲を有する合金

Fig. 81 は Al 90%, Cu 10% 合金の結果で、この合金

Fig. 80.

Fig. 81.

成分附近は鑄造用アルミニウム合金として重用されて居る。圖より判る様に初晶として Al 固溶體を晶出する事により容積が急減し、再び共晶の晶出によつて一定温度548°で急減して所謂容積の2段變化を生じ、凝固中容積の變化する有様をよく窺知する事が出来る。勿論この收縮量を初晶によるものと共晶によるものとに2別して考へた。次に、初晶として CuAl₂ を晶出する、共晶より CuAl₂ 側合金の凝固中容積の收縮する有様は Fig. 81 の場合に類似するので此處に略する。但し、CuAl₂ は合金の成分に應じて、2.5~5°の過冷をなすので、この點を考慮に入れて收縮量を求めた事は第1報の Sn 及び Bi の場合と全く同様である。而して、CuAl₂ は柱狀に晶出してその柱狀間を共晶が埋めて居る。この場合、柱狀結晶の交叉によつて CuAl₂ の凝固收縮を埋め得るだけの給湯が行はれ難い時は、收縮巢の原因を作り、見掛け上、凝固收縮を減ずる理になるが⁽⁴⁹⁾、著者の實驗に於ては、試料が極めて少量なのと、徐冷のため、試料の斷面を顯微鏡で調しても、かゝる傾向は認められなかつた。

(iii) 比重測定結果

凝固收縮測定前後に於ける比重測定結果は Table 53

(49) この現象に就ては齋藤豊三氏の詳しい研究がある。(鑄物, 9 (1937), 798)

に示す通りで、これより實驗中試料の比容に變化を及ぼす外部影響なきものと云へる。而して、比容と成分との

Table 53. The Specific Volume of the Al-Cu Alloys.

Alloys Al %	Specific Volume before Observation	Specific Volume after Observation
100	0.3705 (21.5°)	0.3705 (21.5°)
89.97	0.3468 (12.5°)	0.3470 (12.6°)
80.01	0.3200 (")	0.3201 (")
74.05	0.3065 (")	0.3066 (13.0°)
60.05	0.2653 (")	0.2652 (12.8°)
50.02	0.2441 (")	0.2440 (")
46.50	0.2320 (")	0.2320 (")

關係は、Fig. 82 の如く直線的で、同圖の著者の熱天秤によつて測定した548° (共晶點) の

固體の比容と並行してゐる。

(iv) 凝固收縮量と成分乃至狀態圖との關係

凝固に際しての比容收縮量、收縮率と成分乃至狀態圖との關係を求むると Cu 54.1% 迄の範圍内では、Table 54, Fig. 83 及び Fig. 84 の如くなる。圖より判る様に曲線の傾向は第1~

Fig. 82.

3報の單一共晶型合金系の場合に類似するが、共晶を挟んで CuAl₂ 側の固溶限度成分に收縮量の極大値の存在しないのは、CuAl₂ 初晶の凝固收縮に比して、融體及び固體の收縮の影響の小さい爲であつて、斯る凝固收縮量一

Table 54. The Volume Change of the Al-Cu Alloys during Solidification.

Alloys Al %	Specific Vol. at Liquidus Temp.	Specific Vol. at Solidus Temp.	Volume Change during Solidification					
			Vol. Change by Primary		Vol. Change by Eutectic		Total Vol. Change	
			Specific Vol. Change	Change %	Specific Vol. Change	Change %	Specific Vol. Change	Change %
100	0.4187	0.3927 (659°)	0	0	0	0	0.0260	6.21
94.40	0.4048	0.3782 (548°)	0.0260	6.57	0	0	0.0266	6.57
89.97	0.3920	0.3670 (")	0.0230	5.88	0.0020	0.49	0.0250	6.37
80.01	0.3660	0.3640 (")	0.0130	3.55	0.0070	1.91	0.0200	5.46
74.05	0.3432	0.3260 (")	0.0072	2.10	0.0100	2.91	0.0172	5.01
66.23 (Eutectic)	0.3155	0.3015 (")	0	0	0.0140	4.44	0.0140	4.44
60.05	0.3025	0.2900 (")	0.0030	0.99	0.0095	3.14	0.0125	4.13
55.13	0.2855	0.2745 (")	0.0055	1.93	0.0055	1.93	0.0110	3.86
50.02	0.2740	0.2645 (")	0.0070	2.55	0.0025	0.92	0.0095	3.47
45.91 (CuAl ₂)	0.2756	0.2670 (590°)	0.0086	3.12	0	0	0.0086	3.12

* The eutectic temp of the Al-Cu system is 548°.

成分曲線が單一共晶型合金系に存在し得る事は第3報に詳述した通りである。

(3) Al-Si 系

本合金系は単一共晶型合金系に屬し、共晶溫度、共晶成分は、夫々 577° , 11.7% Si である⁽¹⁶⁾既に緒言で詳述した如く、Al に Si を加へるとその凝固收縮率を急減する

が、その原因は明らかでない。
著者は Si 22 %

Fig. 83.

Fig. 84.

であつて、Si 自體は膨脹して居るに不拘、Al の收縮量が大きいので、收縮を示す事となる。此處に Si が膨脹する事實は著者によつて始めて證明し得た譯である。共晶を挾んで Al 側即ち初晶として Al 固溶體を晶出する合金の凝固收縮曲線は Fig. 81 の Al 90 %, Cu 10 % 合金のそれに類似するので此處に略する。

(ii) 共晶合金 (Silumin)

Fig. 87.

Fig. 87 は實測結果で、從來の測定者による結果とよく一致し、凝固收縮量が極めて少ない。Fig. 87 の結果

迄の合金につき、凝固收縮量を測定し、種々重要な結果を得た。以下その結果に就て述べる。

(i) 凝固範囲を有する Al 80 %, Si 20 % 及び Al 86 %, Si 14 % 合金。

兩合金とも、初晶として Si を晶出する合金で、Fig. 85 及び Fig. 86 の實測結果の如く、初晶 Si の晶出によつて、容積の膨脹が起る事は興味ある事實である。而して合金の溫度が降下するにつれて Si の凝固膨脹と固體 Si 及び融體の收縮の相互關係による比容を保ちつゝ共晶點に至り、急に收縮が起る。勿論、共晶の收縮量は Al の收縮量と Si の膨脹量との代數和

Fig. 85.

Fig. 86.

兩合金とも、初晶として Si を晶出する合金で、Fig. 85 及び Fig. 86 の實測結果の如く、初晶 Si の晶出によつて、容積の膨脹が起る事は興味ある事實である。而して合金の溫度が降下するにつれて Si の凝固膨脹と固體 Si 及び融體の收縮の相互關係による比容を保ちつゝ共晶點に至り、急に收縮が起る。勿論、共晶の收縮量は Al の收縮量と Si の膨脹量との代數和

Photo. 1. Silumin (modify) $\times 100$ Photo. 2. Silumin Structure after Observation. $\times 100$

は Modify しない合金であるが、Modify したもので (Photo.1) 測定後は Photo. 2 の如く Modify しないものと同一組織を示し、且又凝固收縮量には差異を認める事が出来なかつた。

(iii) 比重測定結果

Table 55 は測定前後に於ける比重 (比容) 測定結果でその差は實驗誤差的範圍である。

Al-Si 系では、Si

が凝固の際膨脹する事が知られたので、特に比重測定に注意し、この膨脹が瓦斯の影響によらざる事は、比重測定結果より考へ得る。常溫及び共晶點の比容とは Fig. 88 の如く

Table 55. The Specific Volume of the Al-Si Alloys.

Alloys Al %	Specific Volume before Observation	Specific Volume after Observation
100	0.3705 (21.5°)	0.3705 (21.5°)
96.94	0.3725 (11.0°)	0.3728 (11.0°)
93.91	0.3767 (")	0.3770 (12.3°)
90.00	0.3780 (")	0.3782 (")
85.94	0.3798 (")	0.3798 (")
79.43	0.3829 (")	0.3830 (")

成分とともに略々並行曲線に的に変化する。

(iv) 凝固変容量と成分乃至状態圖との關係

Table 56, Fig. 89 及び Fig. 90 は Si 22% 迄の測定結

Fig. 88.

果である。圖より、共晶を挟んで Al 側は固溶限度成分 1.7% Si に收縮量の極大値が存在する事は Stott⁽¹²⁾ の豫想した通りである。共晶より Si 側は初晶 Si の晶出よつて膨脹し、この結果、約 Si 25.5% 以上の合金は、凝固に際して反つて膨脹する。而して、Si 14% の初晶 Si の膨脹量は零になつて居るが、これは Si

の晶出による膨脹量と融體及び固體 Si の共晶點迄の收縮量とが相等しい爲である事は、前述の Fig. 86 の下部の圖でよく判る。

これ等の結果を前記 Al-Cu 系の結果と比較して見ると、凝固收縮量は Al-Si 系の方が Si の膨脹のため著しく少ない事が判る。

(4) 鑄造有用合金の凝固收縮の比較

前記, Al, Al 90% Cu 10%, Al 97% Si 3%, Al 88% Si 12% (Silumin) 合金の結果を採つて、凝固收縮の有様を圖示比較すると Fig. 91 の如く特に Silumin が凝固收縮量小にして、且又その凝固收縮曲線が Al 90% Cu 10%, Al 97% Si 3% 合金に比して簡單である。

而して、固體の比容は Al-Si, Al, Al-Cu の順に大きい、融體では、Al-Si 系合金は固體の場合と反對に比容が Al より小さい。即ち換言すれば、Al に Si を加へると固體では比重を小さくするが、一度融體になれば比重

が大きくなる。この事實は、Al-Cu 系と相違する點で、Edwards も同様な現象を見出して居る。この原因は Si の凝固膨脹にある事は容易に考へ得る。

(5) 577° に於ける Si の凝固膨脹量の計算

著者は既に詳述した如く、Si の凝固膨脹性と Silumin (Si 12%) の凝固收縮量を知つたので、Silumin が一定共晶點 577° で凝固する事から、本合金に液固兩相とも混合の

法則が適用出来るものと假定して、既に第 2 報で述べた方法によつて Si 100% の 577° に於ける膨脹量を計算して見た。

Fig. 89.

Fig. 90.

Fig. 91.

* The eutectic temp of the Al-Si system is 577°.

今 Al の融體の平均膨脹係數……

$$\dots\dots 0.000120(659-1100)^{(50)}$$

Al の固體の平均線膨脹係數 …… 0.0000315⁽⁴⁷⁾

Al の凝固點の固液兩相の比容 … $\begin{cases} V_s=0.3927 \\ V_l=0.4187 \end{cases}$

とすれば、計算により、Al の 577° の固液兩相の比容は夫々 $V_{s577}=0.3897$ cc $V_{l577}=0.4146$ cc となるので、凝固收縮量 $\partial V_{577}=0.0249$ cc となる。

よつて Silumin の凝固收縮にあづかる Al の收縮量は、 $0.0249 \times \frac{88}{100} = 0.0219$ cc (Silumin 中には Al 88% を含む) となる。

而して、Silumin の凝固收縮量は著者の實測値によれば 0.0140 cc であるから 577° の Si 12% による凝固變化量は、

$0.0140 \text{ cc} - 0.0219 \text{ cc} = -0.0079 \text{ cc}$ 即ち膨脹しなければならぬ理になる。よつて、Si 100% の 577° に於ける凝固膨脹量は $-0.0079 \text{ cc} \times \frac{100}{12} = -0.066 \text{ cc} (\partial v_{577})$ となる。而して、Si の固體の 577° に於ける比容は Si の常溫の比容及び固體の平均線膨脹係數を夫々 0.416(20°), 7.8×10^{-6} として計算すれば 0.421 cc となるから 577° の融體の比容は $0.421 + 0.066 = 0.487 \text{ cc} (v_{l577})$ 、よつて、凝固膨脹率 $\frac{\partial v_{577}}{v_{l577}} \times 100\% = 13.6\%$ となる。

以上の如く、Si の膨脹量は極めて大きい。元來 Si は黒鉛と類似な性質を有するので、鑄鐵の黒鉛化が容積の膨脹を起すので、Si の膨脹も想像し得る事である。而して此處に、Si が融體より晶出する際膨脹する事が知られたので、黒鉛との類似性が更に強化された感がする。

IV. 總 括

Al, Al-Cu 系 (Cu 54.1% 迄)、及び Al-Si 系 (Si 22% 迄) の合金に就き、KCl+LiCl 媒液を使用して凝固に際しての容積變化を測定し大略次の結果を得た。

(1) Al(99.74%) の 750~659° の融體に於ける比容 (比重) は Edwards, Moorman の結果とよく一致する。凝固に際しての收縮量は 0.0260 cc, 6.21% で從來の數多

の測定値 6~6.7% の略々中位にある。而して 750° から常溫迄、750° から凝固終了後 (659°) 迄、及び凝固後常溫迄 (659°~21.5°)、の線收縮は夫々 4.32%, 2.58% 及び 1.85% で、1.85% の固體の線收縮は Extensometer による今日迄の測定値に近い。

(2) Al-Cu 系の凝固收縮量は、Al に Cu が加はるにつれ、共晶より Al 側は 5.7% Cu の固溶限度成分に極大値を有するが、更に Cu が増加すればその收縮量を減じ、共晶成分 (Cu 33%) で 0.0140 cc, 4.44%, Cu Al₂ (Cu 54.1%) で 0.0085 cc, 3.12% になる。共晶より Cu Al₂ 側の固溶限度成分に極大値の存在しないのは、初晶 Cu Al₂ の晶出による收縮量に比して、固體 Cu Al₂ 及び融體の共晶點迄の收縮量の影響が小さい爲である。

而して共晶による收縮量と成分とは直線的に變化するが、初晶によるものは曲線に近い。

(3) Al-Si 系の凝固收縮量は、Al に Si が加はるにつれて、共晶より Si 側は 1.7% Si の固溶限度に Stott の豫想した如く收縮量の極大値が存在するが、更に Si が加はるにつれて、急に減少し Si 12% (Silumin) で、0.0140 cc, 3.39%, Si 25.5% 以上になると反つて膨脹する。斯くの如き、Si の増加による凝固收縮量の急減効果は、Si の凝固の際膨脹する事に基因する事を著者によつて始めて定性的に確證し得た。而して、Al-Si 系合金が鑄造用合金として重用されるのは、Si の膨脹性が一大原因をなすと考へられる。

(4) Al, Al 90% Cu 10%, Al 97% Si 3%, Al 88% Si 12% (Silumin) の各合金に就き凝固收縮の有様を比較圖示した。而して、Silumin が他の合金に比して收縮量極めて少なく、凝固の際の收縮曲線も極めて簡單なる事をよく窺知する事が出來た。又 Al に Si が加はると固體に於ては、Al より比重が減少するが、融體になれば反つて Al より増加する事實を見出し、これは Si の膨脹性に基因する事を知つた。

(5) Al-Si 系の凝固收縮に混合の法則が適用出来るものとして、Silumin の凝固收縮量測定結果を基礎に、577° (共晶溫度) に於ける Si 100% の凝固膨脹量を計算し、0.066 cc, 13.6% を得、その膨脹量の極めて大なる事を知つた。

(50) Edwards, Moorman⁽⁴⁶⁾ の比容實測値より著者が計算したもの。