耐熱軽合金の研究*

新鍛造用ピストン材 SA2-P に就て

小崎正秀** 故小川邦雄**

Masahide Kosaki and the late Kunio Ogawa: A Study on the Heat-Resisting Light Alloys. On the New Forging Piston Alloy SA2-P. To eliminate nickel from forging aluminium piston alloys, the authors carried out some experiments with alloys of Al-Mg series of binary, ternary and quaternary systems. The existing piston alloys, e. g., Y alloy or RR 59 etc. are apt to be weakened in prolonged use at high temperatures, but the properties of the alloys newly developed are not so much harmed in such condition.

An alloy named SA2-P was selected for new forging piston, which has the following nominal composition:

Mg 5%, Cu 1%, Mn 0.5%, Al Remainder.

Test manufacture was made and several properties were examined on it.

(Received June 14, 1941)

I. 緒 言

現在鍛造ピストン用 Al 合金として實用さるゝものは Y 合金シルトン並びに RR 59 系統のものであり、いづれも耐熱性向上に効果ありとして Ni を添加してゐる。Ni の添加による効果の如何に係らず、現下の國際情勢は Ni の使用を極度に節減するの止むなきに到らしめてゐる。この點に鑑み、新たな視野にたち、在來使用されたものと別種の系統による Al 合金鍛造ピストン材料の探究に志した。

II. 豫 備 實 験

豫備として次の如き實驗を行つた。在來の材料は熱處理によつて硬化せしめて使用するものであり、高温長時間の使用によつては添加元素の固溶體よりの析出凝集による性能低下が避け得られない。この事實は最近ピストンの使用温度の上昇の傾向と共に甚だしくなるものと思考される。この意味に於て不熱處理材でもつて高温に於て軟化が進行し難い材料があれば望ましい。従つて先づ Al に Mn, Mg, Fe, Ni, Cr, Si, Cu 等の第二元素を種々の割合で添加した板材を、300, 350, 400, 450° に 20 h 宛保持、爐冷して常温に於ける抗張性をしらべた結果、Mg の添加は斷然他を壓して優秀なものであることを確かめ得た。Mn の添加はこれに次ぐ。Al-Mg 系を基本にした高温用合金についての文献は種々あり、最近にも Meyer-Rässler⁽¹⁾ は種々文献を集め、實驗結果を録してゐるが、長期間の繼續加熱によつて本合金の特長たる高

温度の耐久性をしらべた資料は乏しいので、著者はこの點を明らかにしてその特色を強調せんとし、先づ Al-Mg 二元系についての實驗から着手した。

III. Al-Mg 二元系について

(A) 高温硬度試験

本多佐藤式高温硬度試験機⁽²⁾を用ひ、Mg 2~9% の Al 二元合金を作り、鍛造材から作つた試片を 400° 1 h 空冷後

Fig. 1 Cold and Hot Hardness of Al-Mg alloys of several Mg content.

常温から 400° 迄 1°/min の速度で加熱しつゝ 50~25° おきに硬度を測定した結果を Mg 量に對して Plot すると Fig. 1 に示す通りで、(こゝに H. H. N. は高温硬度値を示す) Mg 量と共に高温硬度は順次上昇してゐる。即ち Mg 量は 9% 迄はその量の多い程高温に於ける強度を増大しようと認められるが一方鍛造性を考

慮すれば自らその添加量にも限度があるものと考えられるので、ついで高温抗張試験を行つた。

(B) Al-Mg 系の高温抗張試験

Mg 1, 3, 5, 7, 9% の 3mm 厚の板から高温抗張試片を作つてその 2 枚宛を 250, 300, 350° に 2 h 保持後空冷、それぞれの温度に再加熱後その温度で抗張試験を行つた。そのときの保持時間は 10 min である。その結果は Fig. 2 の如く、高温強度は Mg 量と共に増大するも、伸

** 住友金屬工業株式會社仲銅所

* この研究は昭和 15 年 10 月本會第 8 回京都會で講演した。

(1) Meyer-Rässler, Metallwirtsch., 19 (1940), 713.

(2) 佐藤清吉, 金屬の研究, 1 (1924), 741.

は7%を超えれば激減する。即ちこれは高温鍛造性がMg 5%を境として急變することを示すものと認められる。従つて一應Mgは5%を抑へることに定める。

IV. Al-Mg 5% を基とせる三元系

(A) Al-Mg-Cu, Al-Mg-Ni

三元系については高温硬度試験によつて比較を行つた。Al-Mg 5% 並びにCu, Niを別々に0.5, 1, 2% 添加したものを前章同様にして試験した結果はFig. 3の如く、Ni添加の場合はその添加量と共に高温硬度は上昇し、Cuでは1% 迄上がるが2% になると1% より下る傾向がある。而してCu 1% 添加のものは高温度に於てはNi 2% 添加のものを凌駕する様に見られる。この関係からするとCu 1% を以てNi添加に代用し得ると考えられる。

Fig. 2 Tensile Properties of Al-Mg alloys at High Temperatures.

Niを別々に0.5, 1, 2% 添加したものを前章同様にして試験した結果はFig. 3の如く、Ni添加の場合はその添加量と共に高温硬度は上昇し、Cuでは1% 迄上がるが2% になると1% より下る傾向がある。而してCu 1% 添加のものは高温度に於てはNi 2% 添加のものを凌駕する様に見られる。この関係からするとCu 1% を以てNi添加に代用し得ると考えられる。

Fig. 3 Hot-Hardness of Al-Mg 5% and Al-Mg 5-Cu 1 series alloys.

(B) Al-Mg-Mn, Al-Mg-Zn

Al-Mg 5% にMn添加の影響をみる実験は同様高温硬度試験機を用ひたが試験の都合上方法をかへて200, 300, 350, 400° の各温度に30min 保持して試験することにした。前記の試験結果と対照する爲に先に試験を行つたAl-Mg 5% 並びにAl-Mg 5-Cu 1系を並行に試験した。即ちAl-Mg 5% にMn 0.5, 1, 2% を加へた試料で

Fig. 4 Hot-Hardness of Al-Mg 5% and Al-Mg 5-Cu 1 series alloys.

Zn量の増すと共に高温硬度は上りはするが前記諸元素の場合に比して低く、その絶対値に於て格段の差違が認められて問題にならない。数値は省略する。

これらの結果と資源関係からにらみ合せてAl-Mg 5% にCu, Mnの添加は有望と思はれる。ピストン材に対するMnの添加は熱傳導性を低下させるから嫌はれるのであるが、たとへその爲に多少の温度上昇があつても強度の點で救はれれば捨てゝ顧ないといふことはあるべきでない。使用の可能性は實體の運轉試験の結果による判断に任せらるべきである。そこでCuは1%を抑へてMn, Ni, Feの添加の影響をしらべてみた。

V. Al-Mg 5%-Cu 1% を基とせる四元系

Al-Mg 5%-Cu 1% に對してFe 0.8, 1.2, 1.6%, Ni 0.5, 1.0, 1.5%, Mn 0.5, 1.0, 1.5% を添加したる鍛造材より試片をとり400° 1h 空冷の状態デブリネル硬度を測つてFig. 5の結果を得、更に200, 300, 350, 400° に30min 宛保つたときのそれぞれの温度での高温硬度を測定してMn, Ni添加の試片についてFig. 6の結果を得た。Fe添加のものは凡てNi, Mnの結果より低値であつてこゝに問題とする

Fig. 5 B.H.N. of Al-Mg 5-Cu 1 series alloys at their annealed state.

Fig. 6 Hot-Hardness of Al-Mg 5-Cu 1-Mn series alloys.

に足らないので省略した。これからみてMn 0.5% は既にNi 1.5% 添加の場合に匹敵し、高温硬度甚だ優秀である。而してMn量と共に更に上昇する。

VI. Al-Mg 5% を基とせる合金並びに種々實用合金の300°長時間保持後の高温抗張試験

以上の試験から導かれた3合金並びにデュラルミン、超デュラルミン、RR 59, Y合金、シルトン等について300°に於ける耐熱性をしらべてみた。合金成分はTable 1の如し。Al-Mg 5% を基とせるものは400° 1h 空冷、D2は510° 1h 水冷時効、SDは495° 1h 水冷時効、Y、シルトン、RR 59は520° 1h 水冷160° 20h 焼戻したもの及びそれらを300°に20h以上3週間迄の繼續加熱を行つた後一旦空冷、更に300°に10分保持後その温度で抗張試験を行つた。その結果はTable 2の如し。この結果からみてD2, SD等は論外であるがY合金乃至RR 59

シルトン等在來のピストン材は凡て最初の強度に比して
高温度保持時間の延長と共にその低下度合甚だしく、こ

Table 1 Chemical Composition of the Samples,
by which Tensile Tests at High-Temperature
were Carried on.

Sample No.	Mg	Ni	Mn	Cr	Cu	Fe	Ti	Si	Al
1	5	—	—	—	—	—	—	—	R
2	5	0.5	—	—	—	—	—	—	"
5	5	2.0	—	—	—	—	—	—	"
7	5	—	1.0	—	—	—	—	—	"
10	5	—	—	0.5	—	—	—	—	"
20	5	—	—	—	1.0	—	—	—	"
21	5	—	—	—	2.0	—	—	—	"
22	5	0.5	—	—	1.0	—	—	—	"
23	5	—	0.5	—	1.0	—	—	—	"
Y	1.5	2.0	—	—	4.0	—	—	—	"
R	1.60	1.30	—	—	2.25	1.40	0.10	0.50	"
S	1.0	0.8	—	—	0.8	—	—	12	"
D2	0.5	—	0.5	—	3.8	—	—	—	"
SD	1.5	—	0.6	—	4.2	—	—	—	"

れに比してAl-Mg 5%系は全部を通じて長期耐熱性といふ點で優秀な性質を發揮してゐる。それらのうちいづれを選んでも高温強度の點で大差ある様には見られないが、前記高温硬度の結果と併せ考へれば、多少高温抗張力ば低く出たとしてもAl-Mg 5%にCu 1%を加へたものを採用する方が理由があると考へられ、Mn添加も亦高温硬度を上げるといふ點で考慮に値し、熱傳導を餘り害しないといふ範圍をとつてこれは0.5%あたりを抑へることがよい様に思はれる。偕以上の實驗で300°といふ温度をとつたのは次の様な理由による。ピストンの使用温度は最高點で250°前後であるといふことである。然し發動機のover loadに際しては300°になる場合も偶にはある由であるから、安全性を見越して300°で試験を行つたものである。然し一方耐熱温度は高いに越したことはないが、300°で強い材料も250°で甚だしく弱くては使用價値に乏しいといはねばならぬ。

Al-Mg 5%系のその意味での實力を問はんとして次

Table 2 Tensile Properties of several Alloys, shown in Table 1, at 300° after
pre-heating for 0~20 days at Same Temperature.

Sample No.	Pre-heating period at 300°											
	0		40 hours		5 days		9 days		13 days		20 days	
	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	T. S.	El.	T. S.	El.	T. S.	El.	T. S.	El.	T. S.	El.
1			{ 10.2 11.7	14 —	{ 11.5 11.4	32 32	{ 11.4 —	30 —	{ 11.1 11.7	36 34		
2			{ 11.4 11.5	52 30	{ 11.6 11.7	28 —	{ 12.4 12.6	32 28	{ 12.1 12.2	36 37		
5			{ 11.3 11.8	32 81	{ 11.7 12.5	42 46	{ 12.6 12.5	55 60	{ 12.8 12.9	27 45		
7			{ 13.1 11.8	44 68	{ 13.7 12.9	41 64	{ 12.3 11.6	34 50	{ 13.5 12.4	46 43		
10			{ 12.9 13.1	28 22	{ 12.1 12.1	34 18	{ 12.7 10.7	23 16	{ 13.1 13.2	27 26		
20	{ 13.2 12.2	32 40	{ 11.4 11.0	38 58	{ 11.8 11.3	54 74	{ 11.8 12.0	83 72	{ 12.1 12.1	63 68		
21	{ 11.5 11.5	43 45	{ 10.9 11.0	72 71	{ 11.6 11.1	68 53	{ 10.9 11.0	96 61	{ 10.9 11.0	77 84		
22	{ 11.7 11.5	47 56	{ 11.5 11.7	70 76	{ 11.1 11.6	74 89	{ 11.6 11.0	92 88	{ 11.2 11.8	86 86		
23	{ 12.3 12.3	41 68	{ 12.0 12.0	65 59	{ 12.1 11.8	52 52	{ 11.6 11.4	98 100	{ 11.9 11.7	62 99		
Y			{ 12.0 11.6	24 22	{ 9.5 9.7	28 30	{ 9.5 9.2	24 26	{ 8.9 9.2	28 36		
R	{ 18.7 18.4	10 10							{ 11.3 11.0	27 27	{ 11.0 11.2	28 30
S	{ 14.7 14.1	8 7			{ 6.5 6.3	28 32			{ 6.1 6.1	31 42		
D2			{ 8.2	28	{ 8.2 8.1	27 28			{ 7.6 7.6	29 29		
SD			{ 10.9 11.7	20 22	{ 11.0 11.0	25 25			{ 10.1 9.8	22 25		

の實驗を行つた。

VII. 現用ピストン材と Al-Mg 5% 系の 250° 長時間保持後の高温抗張試験

試験した合金は Table 1 の Y, R, S, 並びに 7, 23 である。これらを 7, 23 は 400° 1h 空冷, 他は前章同様熱処理したもの並びにそれらを 250° に 20h~3週間の加熱を行つたものを一旦空冷後 250° に 10min 保持してその温度で抗張試験を行つた。その結果は Table 3 の如し。

Table 3 Tensile Properties of Several Alloys, Shown in Table 1, at 250° after pre-heating for 0~21 days at Same Temperature.

Sample No.	Pre-heating period at 250°									
	0		20 hr		2 days		5 days		21 days	
	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	T.S.	El.	T.S.	El.	T.S.	El.	T.S.	El.
7	18.3	22			18.0	42	17.7	34	17.7	42
	18.9	26			18.0	45	17.7	49	17.2	45
23	19.3	42			17.3	51	17.4	44	16.4	42
	19.6	26			17.8	44	17.5	46	16.4	45
Y	26.9	5			18.9	8	18.0	7	14.5	13
	26.3	4			19.5	7	18.1	10	14.0	14
R	27.5	9	21.1	12					15.5	20
	27.1	10	21.4	15					15.5	25
S	20.4	7			10.4	22	9.5	26	8.5	32
	20.2	4			10.5	18	9.7	24	8.5	32

Y を標準にとれば短時間では割に強いが 150h も使用すれば大體 Al-Mg 5% 系に近いものとなり, それ以上は稍劣弱化してくるものと見られる。

若しその使用中に over load による過熱が起ることがあればこの傾向は更に助長されるものたるやいふ迄もなからう。

VIII. 新ピストン材 SA2-P

(A) 命名 以上の實驗結果を綜合して Al-Mg 5% に Cu 1, Mn 0.5% を添加したるものを一應新たな鍛造用ピストン材として擬定する。

本邦に於ては Al-Mg 系は SA2 の名を以て廣く使用されてゐる合金であるが, 本合金も亦この系から發展したピストン材といふ意味に於て以下 SA2-P の名を以て呼ぶことにする。

(B) SA2-P と Y 合金の諸性質の比較

標準成分の SA2-P (Mg 5, Cu 1, Mn 0.5, Al R) と Y 合金 (Cu 4, Mg 1.5, Ni 2.0 Al R) の物理的性質を比べると Table 4 の様になる。

鍛造性は Mg が多いから Y 合金に比しては稍劣るがピストンの形にする操作に甚だしい困難はない。参考の

Table 4 Comparison of Physical Properties of two Alloys, SA2-P and Y Alloy.

Alloys	Specific Weight	Lineal Expansion Coefficient ($\times 10^{-6}$)			Heat Conductivity Calculated from electric Conductivity (C.G.S. Unit)
		Temperature Range			
		30-100°	30-200°	30-300°	
SAZ-P	2.68	23.4	25.0	26.2	0.30
Y	2.83	23.3	24.3	25.0	0.32

爲に高温度に於ける延伸率を測定した結果を圖示すれば

Fig. 7 の様である。

Fig. 7 Elongation of SA2-P and Y alloys in their Hot Tensile Test.

(c) SA2-P によるピストンの試作試験

SA2-P によるピストンの試作を行い, その實體試験を施行した。

Photo. 1 Macro-Structure of SA2-P Piston.

Photo. 2 Micro-Structure of SA2-P Piston. ($\times 100$)

Photo. 1 はその断面の肉眼組織で, Photo. 2 は顯微鏡組織である。化學的成分は Table 5 の通り, 比重は 2.68, 400° 1h 空冷後の機械的性質は Table 6 の様である。

Table 5 Chemical Composition of SA2-P Piston.

Mg	Cu	Mn	Fe	Si	Al
4.65-4.78	0.90-0.93	0.49-0.50	0.30-0.32	0.11-0.12	R

Table 6 Mechanical Properties of SA2-P Piston.

Position Sample taken	Yield Point (0.2%) (kg/mm ²)	Tensile Strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	B. H. N.
Skirt	12.5-15.0	29.2-31.6	13-20	68.6-74.6
Top	13.3-13.9	29.5-30.5	21-25	—

IX. 總 括

Ni を使はないピストン材といふものを求める旁ら獨

自の立場から高温度で鈍され難い材料といふ意味で Al-Mg 系に着眼し、この系に於ける適當なる添加元素として Cu, Mn をえらんだ。而して在來のピストン材と本系統のものとを長時間高温度に保持せる後の高温抗張試験を行ひ、本系統のものは最初は稍弱いがある時間使用後は却つてその優秀なる耐熱性を發揮して性能は在來のものを凌駕するに到ることを知つた。その結果 Al-Mg 5-Cu 1-Mn 0.5, なる合金をえらんでこれを SA2-P と命名しこれについて種々性質をしらべ、ピストンの試作試験を行つた結果を述べた。

焼入後加工せるデュラルミンの Rückbildung 現象の研究*

幸 田 成 康** 郭 大 弘**

Sigeyasu Kôda and Taikô Kwaku: "Rückbildung" Phenomena in Duralumin Cold-worked after Quenching. For five kinds of duralumin wires (diameter 2 mm.), which were cold-worked after quenching and aged at the room temperature for a long time (see Table 1), the authors examined their "Rückbildung" phenomena by their tensile properties. The heat treatment was conducted at a temperature of 150~250° for 2~60 min. The results are shown in Figs. 1~5, where it is seen that: (1) cold-working promotes the segregation of compounds from the supersaturated solid solution; (2) the severer the cold-working, the less decrement of the tensile strength, and the narrower optimum temperature-time range; and (3) the heat treatment for "Rückbildung" invariably improves the elongation reduced by cold-working.

(Received June 30, 1941)

I. 緒 言

デュラルミンは大體 350° を境として、上では一相の固溶體、下では化合物の析出した状態が安定であるため、例へば 500° から焼入すれば過飽和固溶體となり、内在する安定化への傾向が溶質原子の移動、局部的集合(析出はせず)、その結果たる格子歪を生じ、所謂常溫時効硬化を起す。この常溫時効硬化したデュラルミンを 200~220° で數分間加熱(一種の焼戻處理)すると、略焼入直後の硬度に迄軟化し(所謂 Rückbildung)、且つ常溫放置に依つて再び硬化する能力を得る。この現象はデュラルミンのみに限らず Al を主體とせる Al-Cu 合金⁽¹⁾ Al-Mg-Zn 合金⁽²⁾ 等にもあり、常溫時効硬化を起す合金(適切に言

へば溶質原子の移動に依り格子歪を生ずる合金)の總てに現はれる特性を想像される。

デュラルミンに関する Rückbildung 現象は、1939 年 Dreyer⁽³⁾ に依り、又 1940 年朝倉氏⁽⁴⁾ に依り、相當詳細に研究された。然し、焼入後加工したデュラルミンに関しては、Dreyer が僅かに硬度變化に依つて實驗したのみ故、我々は本現象考察の一助として焼入後加工したデュラルミン線に就き、抗張試験に依つて Rückbildung に及ぼす加工の影響を調査してみた。

II. 試料及び實驗方法

試料としては、成分の差異に依る影響を避けるため、同じ鑄塊からの荒引線から Table 1 の工程で 2mm 線に仕上げ、充分常溫に放置して常溫時効硬化したものをを用ひた。

** 古河理化学研究所

* この研究は昭和 16 年 4 月本會第 9 回東京大會で講演したものの中である。

(1) Hartnagel: Die Kalt-aushärtung von Al-Cu Legierungen. Z. Metallk., **30** (1938), 81~86.(2) Durer und Köster: Beitrag zur Frage der Kalt- und Warmaushärtung auf Grund thermoelectrischer Untersuchung. Z. Metallk., **30** (1938), 311~319.(3) Dreyer: Über die Rückbildung der Kaltaushärtung von Duralumin. Z. Metallk., **31** (1939), 147~150.(4) 朝倉: デュラルミン系合金の常溫時効硬化と焼戻硬化との區別並に第二次常溫時効硬化について、本誌, **4** (1940), 137.