Al-Mg 3~5% 展伸材の性能に及ぼす Mn, Cr の効果

(第1報) 板 材 の 抗 張 性†

河 内 利 平*

The effect of manganese and chromium on the performance of
Al-Mg 2-5% wrought alloys (UDC 669.715.721 : 669.74 : 669.26)

Report I Mechanical properties of Sheet. †

KAWAUCHI Rihei*

Studies of the mechanical properties of Al 3~5%-Mg alloy sheets in connection with Mn and Cr contents as well as manufacturing conditions were done in detail, especially in view of a fact that, because of the superior corrosion-resistivity and powerful mechanical properties after welding, these alloy series have been attracting wide attention recently.

Experimental results make it clear that Mn and Cr act very effectively. The mechanical properties of the alloys are apt to be influenced by the manufacturing conditions, especially when Mn or Cr content is increased.

(Received Dec. 13, 1957)

1. 緒 言

Mg を 3~5% 含むアルミニウム合金は強度もかなりあり、かつ耐食性がすぐれている上にその性能が溶接によつてもそこなわれることが少ないので、この数年来船舶用を始めとして各方面に多く使用されるようになってきた。すでに軽金属協会から詳細な解説がなされているように¹⁾ 現在諸国において使用されている本系合金の規格は細部の点でかなりの相違がある。我国では米国同様 2.5% Mg を含む 52S と 5.2% Mg を含む 56S の 2 種類が JIS に採用されて来ている。²⁾

最近 Mg が多いものでは大板の製造が困難になる事や³⁾ 応力腐食割れに対しても敏感になつてゆく傾向のある事⁴⁾ より、今までは余り作られていなかった Mg 4% 前後のものが各国で注目をあびて実用に供され始めた。すなわち英国の N5/6⁵⁾、米国の 5154⁶⁾、5083⁷⁾、5086⁸⁾ あるいは X55S⁹⁾ 等がこれである。勿論フランスのごとく Mg 5-Mn 0.5-Al 残の合金¹⁰⁾ を今なお造船を始めとして各種の用途に多量使用している所もあれば¹¹⁾ ドイツのごとく更に Mg の多いものでも製造と検査に充分注意をすれば実用出来るとして、この種高 Mg 合金の実用性を強調する人達¹²⁾ の居る所もある。近年我国においても 56S より Mg 4% 系合金への移行が問題になつて来

ており、既に実用に供され始めている。¹³⁾ Mg を含むアルミニウム合金は合金としては相当に古いものであり、種々の観点から多くの研究、実験が行われて居るが、¹⁴⁾ 規格制定の見地から細かい数値も問題にする事となると必ずしも分明なものと言えぬように思える。特に Mn, Cr を共存させた場合の Al-Mg 系に関する性能の詳細についてはなお検討の余地があるように考えられる。よつて筆者がおもに Al-Mg-Mn-Cr 4 元系として問題をとりあげて諸性能を検討する事とした。

2. Al-Mg-Mn, Al-Mg-Cr 3 元系の成分と抗張性

4 元系に入る前にまず Mg 3.5~5% Mn 又は Cr 0~0.7% の範囲で成分と抗張性の関係を確めた。

1) 試材の製作要領 99.5% 公称純度のアルミニウムと 99.9up のマグネシウム、10% Mn-Al, 5% Cr-Al の母合金を用いて約 720°C 溶解、680°C 鑄込、型温約 100°C 塩素処理で脱ガス、30mm 厚、150mm 巾、180mm 長さの金型インゴットを作り両面を切削仕上げ後 450°C 3hr → 500°C 24 hr 炉冷の予熱処理を行う。420°C 2hr 加熱後 15mm 迄熱間鍛造をし、更に 420°C 1hr 加熱後 6mm まで熱間圧延し、次いで 350°C 1hr 空冷後 4mm 迄冷間圧延し、更に 350°C 1hr の中間軟化後 2.4mm 迄冷間圧延をした。仕上り冷間圧延度は 40% である。なお Mg

* 住友金属、伸銅所、研究課

† 昭和 31 年 4 月第 38 回日本金属学会 (於東京) に発表

* Sumitomo Met. Co. Copper Works, Research Section.

† Addressed at the 38th convention of the Japan Institute of Metals, April 1956 (at Tokyo).

4%-Al 合金に対し Mn 或は Cr を添加した成分のものは同時にインゴットを2ヶ作り、1ヶは予熱処理を全く行わず、その他の製作条件は同様にした試料を作り後述するインゴットの予熱処理の効果の検討用とした。試材全部について分析を行い、配合にはほぼ一致しておる事を確めた。不純分としては Cu 0.02, Fe 0.28~0.34, Si 0.19~0.25, Zn tr~0.01% が検出された。

2) 試験要領 前記の2.4mm板を350°Cおよび400°Cで1hr加熱空冷後の抗張性を確めた。抗張試験は同一状態のものを繰り返し2回行い、試片は平行部の巾18mm、標点距離50mmのものであり、引張り方向はロール方向に直角方向である。

3) 試験結果 全体に350°C軟化のものと400°Cのそれとはほとんど同一性能であるので両者を合せて同1図に示す事とする。

(i) Al-Mg-Mn 3元系の等抗張性曲線図を Fig. 1に示す。抗張力、耐力は Mg, Mn の増加で高まるが、伸びと成分の関係は強さの場合程は明瞭でない。強度に関しては Mg 0.5%の増加は Mn 0.3% 程度の増加と類似し抗張力、耐力を約1.5 kg/mm² 高める。伸びは Mn の増加につれ少しく減少するが Mg の増加はかえつて少しく伸びを増している。

(ii) Al-Mg-Cr 3元系の等抗張性曲線図を Fig. 2に示す。全体の傾向としては Cr の効果は Mn のそれと類似であるが、その効果は Mg, Cr の増すにつれ小さくなるようである。

(iii) 今回のデータでは Mg4-Mn or Cr 0.5%-Al 合金の性能はほぼ次のようである。

		耐 力 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 び %
Mn	0.5%	13.0	26	26
Cr	0.5%	13.5	27	24

3. Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0~0.5% 4元系の成分と抗張性の関係

1) 試材の製作要領 Mg を多量に含む Al 合金の溶解鑄造を容易にし、インゴットの Soundness を増させるいみから最近実施されて来ている Be の微量添加¹⁵⁾を行う事とし 5% Be-Al の母合金を用い約 0.001% Be を今回の実験試料全部に添加した。Be 添加の効果は顕著にみられ、インゴットの製作は容易になつた。またアルミニウムは99.8%純度のものを使用した。このため不純物たる Fe は 0.10~0.20%, Si は 0.10~0.2% 程度のもとなつた。これらの点を除いては 2.4mm 板にするまでの要領は前記の3元系の場合と同一である。なお今回は 2.4mm の 350°C 1hr 空冷板を 2.1mm (仕上り圧延度13%) にしたものおよび 4mm 軟化材を 1.2mm (仕

上り圧延度70%) のものも作つた。さらに耐食性の検討にそなえて仕上り冷間圧延度約37%の0.5mm板も作つた。なお前章の場合同様 Mg 4% 系のものについては同時に2ヶのインゴットを作り、1ヶはインゴットの予熱処理なしでの圧延板を作つたが、これについての成果は後述する。今回の試料の圧延に際しては Mg の増す程圧延性が劣つて来て割れが生じやすくなるのがみられたが Mn, Cr の効果は Mg に比べると極めて小さかつた。

インゴットの予熱が圧延性の向上に顕著な効果のあるのも認められた。

2) 試験要領 2.4mm 板については 350°C 1hr 空冷及び 400°C 1hr 空冷状態、2.1および1.2mm 板については 350°C 1hr 空冷状態、0.5mm 板については 150°C 1hr 空冷の安定化処理状態と 350°C 1hr 空冷の軟化状態の抗張性を3元系の場合と同要領で調べた。

3) 試験結果

(a) 2.4mm 板、350°C、400°C 軟化材の等抗張性曲線図を Fig. 3~5 に示す。これらは同一 Cr 量に関するものである。これらより抗張力、耐力が Mg, Mn, Cr の増加につれ高まる様子がよくわかる。伸びに関しては Mg の効果はほとんどなく、Mn, Cr は伸びを減少さす。なお Mn, Cr が多くなるとこれらの効果は僅少となる点も観取される。Fig. 6~9 は等 Mn の場合にかきかへたものであり Fig. 3~9 を通覧すると Mn の効果と Cr のその程度がよく比較できる。Mn と Cr の効果は大略類似といえよう。今回の成績中 Al-Mg-Mn あるいは Al-Mg-Cr 3元系である Fig. 3 および 6 を第2章の3元系合金のときの成績と比べるとかなり良く合っている。

(b) 仕上り圧延度13%の2.1mm板の350°C軟化状態の成績を成分と関係づけたのが Fig. 10~12 である。この図形は 2.4mm の場合の Fig. 3~5 とかなり相違しているが、これは加工度が低いため350°Cの軟化では成分によつては充分でなく、なお軟化途中であるために強かつたり、あるいは逆に粗大な結晶のものとなつて弱化したるためと考えられる。Cr が 0.2% をこえているものは 2.4mm の板の場合よりもかなり強く伸びが小さいが、これは上記のうちの前者(軟化不充分)の場合であり、Cr 0 の場合、耐力において 2.4mm のときより弱いものが生じているのは後者の場合のように考えられる。

(c) 70% 圧延度の 1.2mm 板の軟化材の性能を Fig. 13~15 に示す。大体の傾向は40%圧延度の2.4mm板の場合と類似であるが、総体に 0.5~1.5 kg/mm² 程耐力抗張力が高まつており、伸びはほとんど変化しない。この強度の増加は強加工による結晶微細化によるものと考えられる。各加工度の場合の代表値として Mg4-Mn0.5-Cr-0.2-Al 残の軟化材の性能をみるとほぼ次のようであ

Fig. 1(L.) Tensile properties of Al-Mg 35~5-Mn 0~0.75-Cr, 0 alloys sheet, 2.4mm thickness. Annealed temper.

{ Above figures are the properties of 350°C lhr A. C. condition }
 { Under " }

Fig. 2(R.) Tensile properties of Al-Mg 3.5~5-Cr, 0~0.7-Mn, 0 Alloys sheet, 2.4 mm thickness. Annealed Temper.

{ Above figures are the properties of 350°C lhr A. C. condition. }
 { Under " }

Fig. 3(L.) Tensile Properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr, 0 alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.

{ Above figures are the properties of 350°C lhr A. C. Condition. }
 { Under " }

Fig. 4(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr Alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.

{ Above figures are the properties of 350°C lhr A. C. condition. }
 { Under " }

Fig. 5 (L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.4 alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.
 { Above figures are the properties of 350°C/1hr A.C. condition. }
 { Under " " " " " 400°C " " " " }

Fig. 6 (R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Cr 0~0.4-Mn 0 alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.
 { Above figures are the properties of 350°C/1hr A.C. condition. }
 { Under " " " " " 400°C " " " " }

Fig. 7 (L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Cr 0~0.4-Mn 0.25 alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.
 { Above figures are the properties of 350°C/1hr A.C. condition. }
 { Under " " " " " 400°C " " " " }

Fig. 8 (R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Cr, 0~0.4-Mn 0.5 alloys sheet 2.4mm thickness. Annealed temper.
 { Above figures are the properties of 350°C/1hr A.C. condition. }
 { Under " " " " " 400°C " " " " }

Fig. 12(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.4 alloys sheet. 2.1 mm thickness. 13% reduction. 350°C 1 hr A.C. condition.

Fig. 13(L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0 alloy sheet, 1.2 mm thickness, 70% reduction, 350°C/1 hr A.C. condition.

Fig. 14(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.2 alloy sheet, 1.2 mm thickness, 70% reduction, 350°C/1 hr A.C. condition.

Fig. 15(L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.4 alloy sheet, 1.2 mm thickness, 70% reduction, 350°C/1 hr A.C. condition.

Fig. 16(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0 alloy sheet, 0.5 mm thickness, 350°C 1 hr A.C. condition.

Fig. 17(L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.2 alloy sheet. 0.5 mm thickness 350°C 1 hr A. C. condition.

Fig. 18(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.4 alloy sheet. 0.5 mm thickness. 350°C 1 hr A. C. condition.

Fig. 19(L.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0 alloy sheet. 0.5 mm thickness. 150°C 1 hr A. C. stabilized.

Fig. 20(R.) Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0 alloy sheet. 0.5 mm thickness. 150°C 1 hr A. C. stabilized.

る。

圧 延 度 %	耐 力 kg/mm ²	抗 張 力 kg/mm ²	伸 び %
13	16.5	29	21
40	14.0	27.5	25
70	15.5	28	24

(d) 70%の冷間圧延材について圧延時の耳ワレ発生状況を成分と関係づけてみると、余り明瞭ではないが Mg がふえると耳ワレもひどくなる。Mn がふえても更に耳ワレがひどくなる。Cr の効果はほとんどなかった。

(e) 0.5mm 板（仕上り圧延度37%）の 350°C 軟化材の性能を **Fig. 16~18** に示す。2.4mm（仕上り圧延度はほぼ同じ）板の成績と比べると絶対値において多少の相違はあるがほぼ類似であり、成分による効果の傾向はよく一致している。伸びの点で 0.5mm の方が全体に少しく劣るのは厚さの効果と考えられる。

(f) 0.5mm 板の 150°C 1hr 空冷安定化処理材の抗張性を **Fig. 19~21** に示す。傾向としては Mg の効果が大

きく Mn の効果は Cr 0 の場合かなりみられるが、Cr が増すとその効果は僅少となる。伸びは 5~10%程度の間で変化しており、大きな変化ではないが Mg の多い方が伸びが多く、Mn が多くなると減少する。Cr の効果はこの点では余りないようである。

4. 不純物の影響

1) Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2-Al 残合金に対する Fe, Si, Zn, Cu の効果……その 1

Fe 0.2~0.8% (Si は約 0.15% に一定) Si 0.2~0.8% (Fe は約 0.2% に一定) Zn 0.01~0.4% Cu tr~0.2% の夫々単独添加の影響を調べた。上記使用地金の点以外、試材の製作および試験の要領等は第 2 章の場合と類似である。試験結果は **Fig. 22** に示す如くである。すなわち Fe は抗張力にほとんど効果なく、耐力をやや高め伸びを少しく減少さす。Si は抗張力、耐力を相当大きく減少させている。伸びの減少は少ない。Zn はほとんど効果はなく Cu は伸びを幾分か下げる。

2) Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2-Al 残合金に対する Fe, Si, Cu, Ti, Zn の効果……その 2

(1)の結果を更に確認すると共に Zn についてはより多量の添加の場合を明らかにせんとした。今回の試料の製作および試験の要領は第 III 章の場合と同様であり、特記せぬ限り Si 約 0.15 Fe 約 0.18% ならびに Be (配合量) 約 0.001 % を含んでいる。

(a) 2.4mm 板の 350°C および 400°C 1hr 軟化状態の抗張性を **Fig. 23~24** に示す。Fe は多い所で抗張力をわずかに伸びをやや大きく下げている。耐力は多少向上する。Si の効果は伸びの減少が大きく現われている以外 **Fig. 22** の場合とよく一致している。Cu はやや強くして伸びを下げる。Ti は伸びを下げる事少なく強度をかなり向上させる。Zn の効果については今回は 3.5% という多量の所まで調べたが、伸びを低下さす事は割合に少なく強さを相当高める。Zn が多くなると 400°C 空冷材は 350°C 軟化材よりもかなり強くなる。これは Zn が MgZn₂ の如き形となり、焼入硬化現象が現われて来たためと考えられ、適当な軟化温度は Zn の多い場合低くなつて来てるものと考えられる。

(b) 0.5mm 板の 350°C 軟化材及び 150°C 1hr 安定化処理材の抗張性を **Fig. 25~27** に示す。軟化材についての不純物の効果は、傾向としては 2.4mm 板の場合に類似である。安定化処理材でも大略の傾向は類似であるが伸びに関する Cu, Ti の効果はほとんどないか、あるいはかえつて良くなっている。

5. インゴットの予熱の効果について

1) Al-Mg 4-Mn 0~0.75, Al-Mg 4-Cr 0~0.6% 3 元素のインゴットの予熱が製品の性能に及ぼす効果 第 2 章の実験の試料作成の所でふれたインゴットの予

Fig. 21 Tensile properties of Al-Mg 3~5-Mn 0~0.75-Cr 0.4 alloy sheet, 0.5 mm thickness 150°C 1 hr A. C. stabilized.

Fig. 22 Effect of impurities on the tensile properties of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet 2.4 mm thickness.

Fig. 23 Effect of impurities on the tensile properties of Al-Mg (in the case of Ti, Mg 4.5) -Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet, 2.4 mm thickness.

Fig. 24 Effect of zinc on the tensile properties of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet.

Fig. 25 Effect of impurities on the tensile properties of Al-Mg 4 (in the case of Ti, Mg 4.5) -Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet 0.5 mm thickness 350°C 1hr A. C. condition.

Fig. 26 Effect of impurities on the tensile properties of Al-Mg 4 (in the case of Ti, Mg 4.5%)-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet 0.5 mm thickness 150°C 1 hr A.C. stabilized.

Fig. 27 Effect of zinc on the tensile properties of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy sheet 0.5mm thickness.

Fig. 28 Effect of preheating of ingot on the tensile properties of Al-Mg 4-Mn 0~0.6 alloy sheet 2.4 mm thickness.

Fig. 29 Effect of preheating of ingot on the tensile properties of Al-Mg 4-Cr 0~0.6 alloy sheet, 2.4 mm thickness.

Fig. 30 Effect of preheating of ingot on the tensile property of Al-Mg₄-Mn 0~1.0-Cr 0~0.8 alloys, 2.4 mm thickness.

Fig. 31 Effect of preheating of ingot on the tensile properties of Al-Mg₄-Mn 0~1.0-Cr 0~0.8 alloys sheet, 0.5 mm thickness, 350°C 1 hr A. C. condition.

Fig. 32 Effect of preheating of ingot on the tensile properties of Al-Mg₄-Mn 0~1.0-Cr 0~0.8 alloys 0.5 mm thickness, 150°C 1 hr A. C. stabilized.

熱をせずに作った板の性能と予熱したものの比較をFig. 28~29に示す。いずれも予熱せぬものはしたものに比べ少しく強くMnあるいはCrが特に多い場合にはこの差が幾分か大きくなるかにみえる。しかしその差はMn 0.75%またはCr 0.6%のときに耐力で1~2 kg/mm²でありあまり大きなものでない。伸びについての効果はほとんどない。

2) Al-Mg 4-Mn-Cr 4元系の場合

第3章にのべた要領でインゴットの予熱をした場合とせぬ場合の比較を行つた。インゴットの状態で500°C 24 hr 炉冷の予熱をしたものの成績は第3章の結果を再掲することになる。今度の実験に新たに追加したCr > 0.4%, Mn > 0.75%, の成分のものは地金の都合で不純物のFeは0.26, Siは0.20%とやや多くなっている。

(a) 2.4mmの350°C, 400°C軟化材の成績をFig. 30に示す。

これよりMn, Crが共存するとインゴットを予熱する事が軟化板の強度低下と伸びの向上に極めて有効となるのが認められる。またMnやCrを多く含み、インゴットの予熱をせぬものでは350°Cの軟化と400°C軟化材とでかなりの性能の差がみられる。350°Cではまだ軟化不十分であるのがわかる。Mn > 0.75, Cr > 0.4%のようにMn, Crの共存量の多くなると予熱せぬ製品の性能においてかなりの低下のあるのが注目されるが、このものには前記の如くFe, Siも幾分多い。3Sの場合Mnの効果はFeにより減殺される事が知られているので¹⁶⁾おそらく今回の場合もこれら不純物が幾分か関係あるかの如く考えられる。なおCr 0で高MnおよびMn 0で高Crのデータが(1)の場合と一致せず、今回の方が予熱のききが大きいが、これもFe, Si等の多少(1)の場合の方がやや不純物が多い)やインゴットの凝固速度や熱間加工時の温度等の多少の相違のためと考えられる。後者の効果については後にふれる。

(b) 0.5mm板の350°C軟化材及び150°C 1 hr安定化処理材の成績はFig. 31, 32のようである。軟化材にあつては、(a)の場合の成果と類似である。安定化処理材についてみるにMn, Crの多い所では予熱せぬものがやや強く、伸びの点では差がないがMnかCrかが少ない場合には予熱をせぬものの方がやや強く伸びが少しく大きい。

(c) 仕上り圧延度13%および70%の板を350°Cで軟化したものの成績をFig. 33に示す。13%圧延度のものは、40%圧延度(2.4mm)のものの350°C軟化材とかなり似ておるが概して今回の方が強い。特にCr 0系においても予熱の効果が相当に認められる点が相違している。70%圧延度のものは40%圧延度(2.4mm)の400°C軟化材の場合(Fig. 30参照)と全体の姿は極めて類似である

Fig. 35 Effect of preheating of ingot on the annealing characteristics of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy.

Fig. 36 Effect of Preheating of ingot and Mn, Cr on the annealing characteristic of Al-Mg 4% alloy.

が概して今回の方が少しく強い。

3) 冷間加工硬化曲線の形状と成分およびインゴットの予熱の効果 Mn, Crを種々の程度含む Al-Mg 4%合金4種類の2.4mm板を350°Cあるいは500°Cで1 hr加熱空冷をしておき、これを80%までの冷間圧延を施して硬度を測定しいわゆる加工硬化曲線を求めその形状とインゴットの予熱の関係をみた。その結果はFig.

34 ように 350°C 1 hr 空冷材を加工したものではインゴットの予熱の効果は Mn 0.5, Cr 0.4% のものが最も大きく、Mn 0.75% のものがこれにつき、次いで Cr 0.4% であり、Mn, Cr を含まぬものには全然予熱の効果は出ていない。500°C 1 hr 空冷材を圧延する場合には Mn 0.5, Cr 0.4% を含むもののみならず予熱の効果がみられるのみで、他のものにはみられない。予熱による硬度差は軟化した最初の状態において最も大きく出ており加工度と共にこの差は小さく行きて30~40%の圧延度以上ではほとんどなくなってしまう。

4) Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.25-Al 残部材の仕上り冷間圧延度を異にするものの軟化曲線と予熱 第2章の実験と同要領で作った 2.4mm の 350°C 1hr 空冷材を15, 40, 70%の冷間圧延をした後 525°C 迄の各温度で 1 hr 加熱空冷の場合の硬度を調べ、いわゆる軟化曲線を求めた。試材の成分は

Mg	Mn	Cr	Fe	Si	Cu	Al%
4.08	0.56	0.27	0.25	0.18	0.03	残

であり、インゴットの予熱をしたものを A, せざるもの

Fig. 37 Influence of Be on the effect of preheating of the ingot of Al-Mg4-Mn 0.5-Cr0.2 alloy. (Sheet of 2.4mm thickness)

を B とし、更に B より生れた 2.4mm 板を特に 500°C 2 hr 空冷したものを C とした。これら A, B, C 材の軟化曲線は Fig. 35 のようである。すなわちインゴットの予熱は軟化温度を下げている事、2.4mm 厚きの所での 500°C 2 hr 空冷の処理はインゴットの予熱と類似の傾向をもつが、インゴットのときの 500°C 24 hr 予熱の効果と同様の効果をうるにはなお不充分である事がわかる。

5) Mn, Cr を異にする Mg 4% 系合金の 4 種類について 40% 圧延度の 2.4mm 板を 350°C で軟化する場合の加熱時間と硬度の関係をみた結果は Fig. 36 の如くである。(試材製法は第3章と同じ)

予熱の効果は Mn, Cr を共存するもの、Mn0.79% のもの、Cr 0.39% のものの順で小さくなり、Mn, Cr を含まぬものでは予熱の効果はみられない。予熱をしたものでは何れも約 30 秒~1 分の加熱で大体安定した硬度に下るが、Mn や Cr を含んで予熱せぬものでは更に長時間まで徐々に軟化がつづく。しかしこれらも 10~30 秒と云う短時間の所での軟化が大きくその後の変化は大きくない。

6) 予熱の有無と軟化温度が抗張性におよぼす効果に

Fig. 38 Influence of Be on the effect of preheating of ingot of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy. (Sheet of 0.5mm thickness).

Table 1 The effects of preheating of ingot and final annealing temperature on the mechanical properties.
(Sheet of 2.4 mm thickness, final reduction 40%)

Chemical analysis %*			Preheating treatment	300°C×1 hr A.C.			350°C×1 hr A.C.			400°C×1 hr A.C.			500°C×1 hr A.C.		
Mg	Mn	Cr		$\sigma_{0.2}$ kg/mm ²	σ_B kg/mm ²	δ %	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ	$\sigma_{0.2}$	σ_B	δ
4.08	0.56	0.28	No.	23.0	33.4	13	20.1	31.2	16	16.6	29.5	18	14.0	28.0	18
			500°C×5hr	19.1	30.2	16	14.2	28.1	19	13.5	27.5	22	13.0	27.5	22
			500°C×24hr	14.5	29.6	22	13.6	28.2	23	13.5	28.3	23	13.0	28.0	22
4.70	0.80	0.25	No.	25.9	37.0	15	22.1	34.8	16	19.4	33.0	17	15.6	31.8	18
			500°C×24hr	15.7	31.0	17	15.6	30.8	20	14.9	30.6	19	15.1	31.1	20

* Impurity; Fe 0.35 Si 0.20 Cu 0.05%

ついて Mn 0.5~0.8-Cr 約0.25%-Al 合金について 500°Cでの予熱の時間を二、三かえた場合の抗張性を調べた。試材の製作および試験の要領は第2章の場合と同じであるが、2.4mm 板についての軟化温度を500°Cまで広げた。この結果は **Table 1** のように、予熱したものでは軟化温度による性能変化は僅少であるが、これに

反し予熱せざるものでは、軟化温度と共に強度の低下と伸び向上がつづく。しかし500°Cの軟化ではほとんど予熱の有無による差はなくなる。

7) 予熱の効果に対する Be, Zr の少量添加の影響
Be 0~0.02, Zr 0~0.2% を夫々単独に添加せる Mg4-Mn 0.5-Cr 0.2%Al 残の性能を調べた。試材の製作並び

Fig. 39 Influence of zirconium on the effect of preheating of ingot Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy. (Sheet of 2.4 mm thickness.)

Fig. 40 Influence of zirconium on the effect of preheating of the ingot of Al-Mg 4-Mn 0.5-Cr 0.2 alloy. (Sheet of 0.5mm thickness.)

に試験の要領は前述第3章の場合と同様である。Be, Zrの添加には米国製の Al-Be 5%, Mg-Zr 8% 中間合金をもつてした。

(a) Be の効果 2.4mm 板についての抗張試験結果を Fig. 37 に示す。予熱したものでは性能に及ぼす Be の効果はほとんどみられぬが、予熱せざるものでは、Be の増加は多少強度を高める。0.5mm 材についての結果は Fig. 38 のようであり、軟化材については 2.4mm の場合とほぼ類似であるが、安定化処理材についての Be の効果は小さい。

(b) Zr の効果 2.4mm 板についての抗張性を Fig. 39 に示す。0.22% Zr のものが少しく強くなっているのが目立つが、予熱の効果に対する Zr の影響はないようである。0.5mm 板については Fig. 40 に成績を示す。軟化材の予熱せざりしものの伸びの低下が Zr の添加で大きくなるのが注目されるが、全体として予熱の効果が Zr で影響をうける事は小さいといえよう。

6. 熱間圧延温度の効果

(1) 実験要領 Mg 4.5-Mn 0.5-Cr 0.2-Al 残の合金を用いインゴットの予熱をしたもの、せぬものにつき熱間加工時の温度（熱間鍛造及び熱間圧延のときの加熱及び加工開始の温度）を 350°C, 420°C, 480°C とした場合

Fig. 41 Effect of hot working temperature and preheating of ingot on the tensile properties of Al-Mg 4.5-Mn 0.5-Cr 0.2% alloy sheet, 2.4mm thickness.

Fig. 42 Effect of hot working temperature and preheating of ingot on the properties of Al-Mg 4.5-Mn 0.5-Cr 0.2% alloy sheet, 0.5mm thickness.

を検討した。この他の製造並びに試験の要領は第3章の場合と同様である。

(2) 試験結果

(a) 2.4mm 板の 350°C, 400°C 軟化材の性能は Fig. 41 のように予熱をしたものでは熱間加工温度による性能変化はほとんどなく、かつ、350°C 軟化材と 400°C 軟化材の性能もほぼ同一であるが、予熱をせざるものでは、加工温度の上昇と共に軟化後の性能は軟質となつている。また 350°C 軟化材は 400°C 軟化のものより相当かたい。この差は加工温度が高まるとかなり小さくなる。熱間加工温度をあげる事は傾向としてインゴットを予熱するのと類似であるが、その効果の程度において差があるといえよう。

(b) 0.5mm 板の 350°C 軟化材及び 150°C 1hr 空冷の安定化処理材の性能を Fig. 42 に示す。軟化材については 2.4mm 板とほぼ同一結果であり、安定化処理材については 420°C 加工のものがそれより低温あるいは高温の加工のものに比べ多少強く伸びが少ないようであるが、この変化は大きくなくインゴットの予熱は行なつたものも行なわなかつたものの差は僅少である。

2. 成分を異にする数種合金の仕上り圧延度、軟化温度と抗張性

第3章において使用した試材のうち、主に Mg 4.5%

Fig. 43 Relation-ship among rolling reduction, annealing temperature and tensile properties of Al-Mg 3~4.5% alloy Series.

系の Mn, Cr を異にするものの抗張性を500°C迄軟化温度を高めて調査し Fig. 43 を得た。(インゴットの予熱は全部行なつてある 試材である) 13% 加工度のものは Mn や Cr を多く含むにつれ焼鈍温度が高温に至るも、なお軟化がつづいておる事がわかる。加工度が高まるにつれ今回の軟化温度の範囲では安定なものとなる。13% 加工度の350°Cあたりの加熱という不完全軟化の部分を除けば、加工度は大なるものが性能は良く、特に耐力においてかかる点が明瞭である。

8. 代表的本系合金の性能

今回取り扱っている Al-Mg 系合金の代表的なものとして52S, 56S, A54S (以上米国の Alcoa の商品名) 及び B54S (英国 Northern. Al. Co. の商品名) および我国で試用されている ANP (防衛庁マーク) の5種類につき同一の多量生産要領で作った場合の大板の性能、および加工度と軟化温度による性能変化の様子を比較検討した。

(a) 大板の製作要領 約 100mm 厚×400mm 巾の断面をもつ半連続铸造インゴットを予熱(500°C×24 hr) 表面切削後 8mm 迄熱間圧延(約440°Cで開始) し、ついで軟化-3.3mm-軟化(但し軟化は約 380°C 1hr 空冷) の要領で 2mm×1,000×2,000mm の軟化板を作った。

(b) 試材の成分と実験要領

試材の成分を Table 2 に示す。いずれもほとんど代

Table 2 Chemical composition of specimen.

Alloy	Chemical composition %	Mg	Mn	Cr	Cu	Fe	Si	Zn	Ti
52S	Nominal	2.5		0.25					
	Analysis	2.59	0.01	0.22	0.03	0.23	0.10	tr	0.01
56S	Nominal	5.2	0.1	0.1					
	Analysis	5.29	0.14	0.09	0.02	0.22	0.08	tr	0.01
A54S	Nominal	3.5		0.25					
	Analysis	3.59	0.02	0.28	0.02	0.23	0.08	tr	0.01
B54S	Nominal	4.25	0.6						
	Analysis	4.25	0.66	tr	0.03	0.28	0.11	tr	0.01
A.N.P	Nominal	4.0	0.5	0.2					
	Analysis	4.07	0.55	0.22	0.01	0.25	0.11	tr	0.01

表値に近いものである。2mm 軟質板を更に長手方向に 5, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 70% (ただし 56S は 70% の加工は無理であるので除く) の各段階の圧延をし、これについて 500°C までの各温度で 1 hr 加熱空冷の処理を加えた後、ヨコ板の抗張性を確かめた。なお圧延のまま、150°C 1 hr 空冷の安定化処理材については 90° と

Fig. 44 Relation-ship among tensile properties, annealing temp. (1hr A.C.) and rolling reduction.

180° のまげ試験を 25mm 巾のヨコ板について行つた。
まげ試験法は JIS によつた。

(c) 試驗結果

i) 圧延度軟化温度抗張性の関係

Fig. 44~48 に結果を示す。細部の点ではかなりの相違がみられるが、いずれの合金も加工と熱処理による性能変化の傾向は類似である。性能が大きく変化するのは加工度に関してみるといずれも20%までの所であり、これ以上の圧延度の効果はこれまでの加工度に比べると小さくなる。軟化温度についてみると275~350℃の間での強度低下と伸びの向上が著しい。強加工度のもの程低温で軟化し軟化終了の所で比べてみると、加工度の大きいものの方が強度は多少強い。軟化温度による強度の変化という点では ANP の弱加工のものは鈍感である。56S では加工度0のものと50および60%加工度のものが500℃軟化で強度が大きく低下しているが、これは顕微

Fig. 45 Relation-ship among tensile properties, annealing temp. (1hr A.C.) and rolling reduction.

Fig. 46 Relationship among tensile properties, annealing temp. ($\times 1$ hr A. C.) and rolling reduction.

鏡組織から結晶粒子が非常に大きなものとなつておるためである事が知られた。

ii) まげ加工性 **Fig. 49~53** に結果を図示する。まげ半径は板厚の倍率をもつて示したが、これで板厚の影響が無視出来るものとは考えにくく、仕上りの板厚を一定にするような実験が好ましいが合金相互の比較、安定化処理の効果等をみるには、これでも充分と考えられる。52S が最もまげ半径は小さくでき、A54S がこれにつき、B54S と A. N. P. とはほとんど差がなく56S が最

Fig. 47 Relationship among tensile properties, annealing temp. ($\times 1$ hr A. C.) and rolling reduction.

も加工性が悪い。安定化処理の効果はいずれの合金についてもかなりみられ、かつ、この効果は強圧延度の部分に大きく、前記の抗張性の成績によく対応している。90度まげと180度まげの相違はほとんどなく、90度まで曲れば180度迄大体まがる事がわかる。

9. Mg 4.5-Mn 0.6-Cr 0.2% Al 残合金大板の製造

以上の諸成績に基き高性能の Al-Mg 合金として上記

Fig. 48 Relation-ship among tensile properties, annealing temp. (1 hr A.C.) and rolling reduction.

の成分を選び、仕上り冷間圧延度を約13%とし、約380°C × 1 hr 空冷の軟化の要領で各種厚さの 1m × 2m 大板を製造した。これについての抗張試験の結果は **Table 3** のように極めて強靱のものであり、耐力 17 kg/mm²、抗張力 32 kg/mm²、伸び22%を示す事が明らかとなった。

ちなみに上記試材製造時の熱間圧延のまま（インゴットは約 200mm 厚さのもの、これを約 470°C で熱間圧延）のものと350°, 440°C で 1.5 hr の軟化をしたものの抗張性を確かめた所 **Table 4** の如く熱間圧延のままの

もので、耐力 20 kg/mm² 以上、抗張力 30 kg/mm² 以上伸び15%以上を示しはなはだすぐれたものである。

Fig. 49 Bending properties of 52S sheet.

Fig. 50 Bending properties of 56S sheet.

Fig. 51 Bending properties of A54S sheet.

Table 3 Examples of the mechanical properties of the sheet and plate produced in commercial scale.

Chemical composition %		Mg 4.5	Mn 0.6	Cr 0.2	Al R
Size of sheet and plate		1m×2m			
Thickness mm	Yield strength kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation (in 50mm) %		
1	16.5	31.4	24		
1	17.0	31.4	22		
1	15.7	32.1	23		
1	16.1	31.9	22		
3	16.2	31.4	24		
3	17.4	32.0	23		
3	17.3	31.8	23		
3	16.5	32.2	23		
3	17.4	31.5	22		
5	16.6	31.9	23		
5	16.2	31.4	22		
5	17.6	32.6	21		
5	17.5	32.4	23		
5	17.7	32.3	20		
5	17.6	31.5	21		
8	17.3	33.4	20		
8	16.8	32.8	23		
10	16.5	33.2	22		
10	16.2	33.3	20		

Table 4 Examples of the mechanical properties of the hot rolled plate produced in commercial scale.

Chemical composition %		Mg 4.5	Mn 0.6	Cr 0.2	Al R
Thickness mm	Temper.	Yield strength kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation (in 50mm) (%)	
6.5	As hot rolled	23.4	33.4	18	
		23.4	33.5	18	
	350°C×1.5 hr A. C.	15.6	32.3	21	
		15.5	32.1	23	
	400°C×1.5 hr A. C.	14.5	32.0	23	
		14.4	31.9	21	
8.0	As hot rolled	25.8	34.8	20	
		25.6	34.9	16	
	350°C×1.5 hr A. C.	16.1	33.0	22	
		16.1	33.2	22	
	400°C×1.5 hr A. C.	14.9	32.8	25	
		14.8	32.4	24	
8.8	As hot rolled	22.0	34.1	20	
		22.0	33.4	18	
	350°C×1.5 hr A. C.	16.4	33.1	23	
		16.5	33.2	22	
	400°C×1.5 hr A. C.	15.4	32.3	23	
		15.4	32.7	23

Fig. 52 Bending properties of B54S sheet.

Fig. 53 Bending properties of ANP sheet.

10. Conclusion

In recent years, because of superior corrosion-resistivity, good mechanical properties after welding, and good manufacturability, Al 4%-Mg alloy series have attracted the world's attention, coming into practical use in various fields including shipbuilding and pressure vessel manufacturing.

To keep up with the trends, the study of performance of the Al-3~5% Mg wrought alloys, in connection with manganese and chromium content, as well as rolling conditions, has been made.

Present report is a part of such studies, covering the experimental results regarding

the mechanical properties of Al-3~5% Mg sheets.

Principally, the test were made for the sheets of annealed temper, 2.4mm or 0.5mm in thickness, and for the sheets of stabilized temper having a thickness of 0.5mm, all rolled from 3 kg ingots of 30mm in thickness. In complement of these tests, the tests on a production scale were carried out for sample sheets of 1m×2m with various thickness.

The results obtained are as follows:

(A) Compositional Effects

(a) main element

1) Mg. increases the strength considerably and the elongation to a certain degree, but impairs the hot-workability.

2) Mn. increases the strength, but decreases the elongation, and impairs the cold-rolling properties.

3) Cr. has an effect resembling to that of Mn on the mechanical properties. At the lower reduction of cold rolling, a small amount of Cr. added is remarkably effective to strengthen the sheet in annealed temper. Additional Mn. is not so prominently effective as Cr. The effect of Cr. on the rolling properties is small.

4) When Mn. and Cr. are co-existing, their effects decrease as their contents increase.

(b) Impurities:

The effects of impurities on the mechanical properties of 4~4.5 Mg.-0.5 Mn.-0.2 Cr.-Al. alloys were observed as follows:

1) Fe (up to 0.8%) increases the yielding strength, and decreases the elongation, to a slight degree in each case.

2) Si (up to 0.9%) impairs the properties, particularly the strength.

3) Cu (up to 0.2%) increases the strength, and decreases the elongation, to some degree in each case.

4) Ti (up to 0.2%) increases the strength.

5) Zn (up to 3%) shows no effect up to 1%. When over 1%, it increases the strength, and decreases the elongation.

(B) Effects of Rolling Conditions:

(a) The more Mn. or Cr. is contained, the more effect of preheating of ingot is seen.

The preheating makes the softening temperature lower, decreasing the strength but increasing the elongation after annealing treatment. Such effects become weaker in case of highly cold-rolled sheet.

No effect of preheating is observed for the alloys without Mn. and Cr.

(b) When ingots are preheated, there is no effect of hot-rolling temperature on the properties of the finished sheet. But when not pre-heated, in proportion to the elevation of hot rolling temperature, an effect similar to that which is seen when the ingots are pre-heated appears.

(C) Of the five typical commercial alloys of Al-Mg series, e. g., 52S (U.S.) 56S (U.S.) A54S (U.S.) B54S (U.K.) and A. N. P. (Japan), the relations among the cold-reduction, annealing temperature and tensile properties, and further those between the bending properties of as-rolled or stabilized sheet and cold reduction were clarified for the sheets of 2mm×1m×2m manufactured on a commercial scale.

(D) A large number of various kinds of 4.5 Mg-0.6 Mn-0.2% Cr-Al. alloy sheet, 1m by 2m with various thickness, manufactured on a commercial scale, were tested. The results obtained confirm that the sheets have superb properties as follows; yield strength≈17kg/mm² Tensile strength≈32 kg/mm² Elongation≈22%.

引用文献

- 1) 船舶軽金属委員会 第5回報告書 p.183(1954).
- 2) 56Sは米国においては鋳、線、棒のみが作られ、板、管、型材等は製造されていないが、JISではかかる形状のものをも含めている (JIS H4143, 4164, 4172).
- 3) E. C. B. Corllett. 氏は Met. Ind. **80**(1952)162 に 5%Mg-Al 合金は熱間加工割れが出来やすいので大寸法の板が要求されるようになってくると適当なものでなくなる事を指摘している。
- 4) G. J. Metcalfe 氏は J. Inst. Met. **72** (1946) 487 に 5% Mg-Al 鋳の事故例をあげている。

北原氏は〔金属学会誌 **4**(1940)343〕は Al-Mg 2元系では Mg5% 以上は時期割れのおそれある事、Mn等の添加は時期割れ防止にはなはだ有効な事を述べている。山口氏等〔軽金属 **12**(1954) 64〕は Mn, Cr を多少含んでも Mg 5% 以上は時期割れの危惧ありとして実用合金

は Mg 5% 以下とすべき事を提唱している。軽金属ロール会社が1955年秋 Alcoa 社の Wentz 氏を通じて同社の研究所の Dix 氏の見解をきいた所では、軟質材を使用する限り56S (Mg 5.2%) は時期割れの心配はないと考えているとの事である。

5) BS No. 1477(1955年度) Mg3.5~5.5%, Cr<0.5, Mn<1.0, Cu<0.10, Fe<0.7, Si<0.6, Ti<0.20, Zn<0.10, Al 残

6) Mg 3.5-Cr 0.25%-Al 残 (Alcoa の旧 A54S 及び ASTM の B 178-54T の GR 40 A 材) 性能は Alcoa Hand Book (1956年) 及び Weld. J. **33**(1954) 68S に紹介されている。

7) Mg 4-Mn 0.5%-Al 残 (Kaiser Al. & Chem. Co. の旧 LK 183, 及び ASTM B 178-54 T の GM40A 材) 性能は Weld. J. **34**(1955) 112 に紹介されている。

8) Mg 4.5-Mn 0.7%-Al 残 (Kaiser Al. & Chem. Co. の旧 K 186) 性能は Weld. J. **34**(1955) 112 に紹介されている。

9) Mg 4.0~5.0, Mn 0.3~0.8, Cr<0.25, Cu<0.25, Si<0.30, Fe<0.70, Zn<0.25, Al 残の合金で Reynolds Metal Co. の Al-Hand Book 1954年版に

成分のみ記載。

10) 当社が1930年頃より市販していた SA-2 合金に相当する。

11) この数年来の Rev. Al. に数多くの使用例あり、(多くは軽金属協会より出されている軽金属資料に邦訳されている)

12) P. Brenner 及び W. Roth, J. Inst. Met. **74** (1948) 159.

13) 1955年防衛庁規格(案)に AN. 合金として Mg 3.0~4.7% 合金が採用された。

14) 五十嵐 鉄と鋼 **19**(1933)815.

三ヶ島 日本金属学会誌 **6** (1942)598, **7**(1943) および M. Whitaker, Met. Ind. **80**(1952)247 にこれ以前の文献はほとんど紹介されている。

なお軽金属研究会 第4回分科会資料(1957年6月…軽金属協会)にも参考文献が多く紹介されている。

15) L. David, Light Metals **18**(1955)15.

E. A. Smith and E. A. Giessen, Metall, **9** (1955) 198.

潮田、吉村、増山 軽金属 **27**(1957)29.

16) 畑、竹内 住友金属 **9**(1957)85.

訂 正 表 No. 27

★ 純アルミニウムの凝固の研究 (第5報)

中 尾 善 信

頁	行	誤	正
5	左下より13	赤井氏…	寺井氏…
"	左下より11	99.99~99.3%アルミニウ	99.99~99.3%のアルミニウ
6	右上より4	G=0.15 (探法	G=0.15 (探針法
"	Photo. 5	99.999%Al	99.99%Al
8	左上より4	粒状晶…	柱状晶…
9	左上より4	720°Cに保持したものは、	720°Cに2 hr. 保持したものは、
"	Photo. 28	900°C×2 hr.	900°C×8 hr.
10	右下より14	組織…	組織…
"	右下より12	0.02, 0.04%添加…	0.04, 0.08%添加…
"	右下より11	0.03, 0.07%添加…	0.01, 0.03%添加…
"	右下より6	数例を Fig. 3…	数例を Fig. 3…
11	右下より6	99.5%アルミニウム…	99.9%アルミニウム…
14	右上より9	組織に及ぼす…	組織に及ぼす…