アルミニウム—マグネシウム合金板の研究

麻 田 宏* 青木顕一郎** 田中英八郎***

Study on Al-2~8%Mg Alloy Sheets

(UDC 669.715.2)

ASADA Hiroshi* AOKI Kenichiro** TANAKA Eihachiro***

It is said that the cold-rolled Al-Mg alloy sheets decrease their tensile strength during ageing. In this paper, the result of study on various effects of ageing on Al-2~8% Mg alloy sheets is reported.

The decrease of hardness and tensile strength of Al-2~8% Mg alloy sheets was recognized from the preliminary experiment.

In order to prevent the decrease of hardness and tensile strength, the authors studied two methods of (1) heat treatment, and (2) addition of the third element.

The results obtained were as follows.

- (1) The annealing of 100°C×1 hr. stabilized tensile strength of these alloy sheets, and reduced the rate of increase of elongation.
- (2) The addition of 1.0% Cr and 1.0% Mn seemed to repress somewhat the decrease of tensile strength and the increase of elongation.

(Received July 20, 1958)

1. 緒 言

Al-Mg 合金板の時効硬化に関しては、近来多くの研究結果が発表されている。^{1) 2) 3)} しかしながら、この種の合金は時間と共に機械的性質が低下するといわれているので、本報告はこの機械的性質の低下を実証する実験を示し、またこれに対する安定化処理についての研究を記す。

2. 硬度および引張試験

2.1 試 料

硬度測定用試料は Table 1 に示すごとく、2, 5, 8% の Mg を含む Al-Mg 合金のほか、少量の Mn, Cr を添加した Al-Mg 合金も含まれている。また、引張強サ、伸びの測定用試料は Table 2 に示すごとく、2, 5, 8% Mg を含む Al-Mg 合金板である。これらの試料の溶解には理研 A₁ フラックスを用いた。鋳造したインゴットの大きさは約 124×100×27 mm である。このインゴットは 450°C×24 hr. 均質加熱処理を行い、450°C で熱間圧延して 10mm の厚みまでおとし、以後 350°C×1 hr. の中間焼なましを行いながら 5 mm まで冷間圧延した。この 5 mm の板厚をもつ試料の一部は硬度測定用試料で、450°C×3 hr. 加熱後水焼入れ、空冷、

Table 1 Chemical composition of samples.

Sample	Compositions				
	Mg %	Cr %	Mn %	Si %	Al %
A	2.47	—	—	—	r.
B	5.39	—	—	—	r.
C	8.32	—	—	—	r.
AC	2.02	0.54	—	—	r.
BC	5.25	0.41	—	—	r.
CC	9.01	0.29	—	—	r.
AM	2.12	—	0.18	—	r.
BM	4.68	—	0.30	—	r.
CM	8.39	—	0.28	0.18	r.

Table 2 Chemical composition of alloy sheets.

Mark of alloy sheets	Mg %	Si %	Fe %	Al %
2A, 2W	3.46	0.13	0.12	r.
5A, 5W	6.49	0.10	0.12	r.
8A, 8W	8.82	0.09	0.12	r.

A : 80% cold rolled after air cooling from 450°C.

W : 80% cold rolled after water quenching from 450°C.

* 東京大学航空研究所 教授工博 Prof. Aeronautical Research Inst. Univ. of Tokyo. Dr. Eng.

** 同 上 研究生 Research Student. Ditto.

*** 東北大学金属材料研究所 助教授 Assist. Prof. Research Institute of Iron, Steel & Other Metals, Tohoku Univ.

化を測定した。この結果もまた Fig. 6, 7 の②に示す。すなわち Fig. 6 は Al-Mg 合金板の軟化現象を引張強サの変化を以て示したもので、 $100^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ の熱処理が軟化過程にどのような変化をもたらすかを示している。引張強サ自体は熱処理によつて低下するが、熱処理後の時効による変化はほとんど起らない。合金板の多くは引張強サをやや増加する傾向さえ示している。また、Fig. 7 は Al-Mg 合金板の軟化現象を伸びの変化で示したもので、 $100^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ の熱処理が軟化過程にどのような変化をもたらすかをしめしている。伸び自体は増加するが、熱処理後の軟化過程で伸びの増加率は減少している。なお軟化過程の各合金板はデシケーター中に密閉して屋外に放置した。

引張強サおよび伸びの試験結果をまとめると、Al-Mg 合金板は最終加工直後に $100^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ 焼なましをすることにより、その機械的性質は相当に安定化するというであろう。

3.2 第3元素添加による安定化

第3元素としては Mn, Cr 等が考えられる。なお予備実験で Mn, Cr の微量の添加が行われているので、今回は添加量を増加した。まず Al-Mn, Al-Cr の母合金を作り、各母合金の分析値から算定して、Al-5% Mg, Al-8% Mg の2種の合金に Mn, Cr を0.5, 1.0%を添加した3元合金を作製した。すなわち、Al-5.0% Mg-0.5% Mn, Al-5.0% Mg-1.0% Mn, Al-5.0% Mg-0.5% Cr, Al-5.0% Mg-1.0% Cr の4合金板である。溶解、鑄造、均質加熱処理等は2.1試料作成の場合と同様である。熱間圧延は 430°C で行い、約22 mm のインゴットを10 mm の厚さまで圧延した。さらに $400^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ の中間焼なましを行い、5 mm まで冷間圧延し、再び $400^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ 加熱後、空冷して、80%の圧延加工をおこなった。最終の板厚は1 mm である。

第3元素添加による機械的性質の安定化をしらべる前に、Cr, Mn を添加した4種の3元合金板と、Cr, Mn を含まない Al-5.0% Mg の2元合金板の、各焼なまし温度におけるピツカース硬度を測定した。その結果を Fig. 8 で示す。すなわち第3元素の添加により、一般に硬度は高くなるが、軟化温度には大きな変化はないようである。また同じ添加量の場合には Cr より Mn のほうが硬度は高い。

Al-5.0% Mg の2元合金板と第3元素 Cr, Mn を添加した3元合金板の引張強サと伸びの値が、 $100^{\circ}\text{C} \times 1\text{ hr.}$ 加熱することによつてどのように変化するかを調べた。その結果を Fig. 9 に示す。すなわち第3元素添加により引張強サの減少率がやや低下し、伸びの増加率もまた低下をしめた。さらには綿密な方法で第3元素添加による影響を検討する必要があるに認められるが、

Fig. 8 Influence of heating on V.H.N. of cold rolled Al-5% Mg alloy sheets.

- Al-5% Mg-1.0% Cr alloy sheet.
- Al-5% Mg alloy sheet.
- × Al-5% Mg-1.0% Mn alloy sheet.

Fig. 9 Influence of heating on mechanical properties of Al-5% Mg alloy sheets.

Fig. 9 の結果からも一応第3元素の添加により Al-Mg 合金板の幾分抑制されると考えてよいと思う。

4. 総 括

Al-Mg 合金板は時効によつてその機械的性質を変化させる。その実例として Al-8% Mg 合金板は加工直後のものは引張強サが約 54 kg/mm^2 、伸びは4%であつたが、デシケーター中屋外に放置(582日)したものは引張強サ、 43.6 kg/mm^2 、伸び12%と軟化した。これは引張強サについては18%弱の低下で、伸びについては3倍の増加である。また Al-5% Mg 合金板では引張強サは約24%の低下、伸びは2.5倍の増加、Al-2% Mg 合金板で

● — ● Air-cooled from 450°C
 × — × Water-quenched from 450°C

- ① These Al-Mg alloy sheets were cold-rolled immediately after water quenching or air cooling from 450°C.
 ② These Al-Mg alloy sheets were annealed at 100°C for one hour after cold rolling.

Fig. 6 Effect of heat treatment on stability of cold-rolled Al-Mg alloy sheets. (On strength)

- ① These Al-Mg alloy sheets were cold-rolled immediately after water quenching or air cooling from 450°C.
 ② These Al-Mg alloy sheets were annealed at 100°C for one hour after cold rolling.

Fig. 7 Effects of heat treatment on stability of cold-rolled Al-Mg alloy sheets. (On elongation).

400°Cにて熱間圧延を行い、15 mm まで圧延した。15 mm の板は 350°C × 1 hr. の中間焼なましを行いながら、5 mm まで冷間圧延した。この 5 mm の板材を 450°C × 13 hr. 加熱後、水焼入れ、および空冷し、ただちに80%の冷間圧延を行って最終 1 mm の板とした。続いて、これらの板から圧延方向に平行な 5 号引張試験片を速かに採取した (80%圧延加工から試験片採取まで 10 時間以内)。引張試験を行う合金板の種類は 2, 5, 8 % Mg を含み、それぞれ焼入れ材と空冷材の 2 種類で合計 6 種類である。

一方、標準試料 (長時間に亘って機械的性質の変化しないもの) を作製し、長期軟化現象の測定基準とした。この基準となる試料は予備実験と同様 7/3 真鍮の焼なまし材を使用した。標準試料の作成は次の順序に従った。

4 mm → (冷間圧延) → 1 mm (75%加工) → 600°C × 1 hr. 焼なまし (ただし光輝焼なまし) 後、圧延方向に平行な 5 号引張試験片採取。

3.1.2 実験方法および実験結果

5 号引張試験片採取後ただちに引張試体を行って、引張強さおよび伸びを測定した。この測定値をもって加工直後の値とし、35~52日後の引張強さおよび伸びの変化を測定した。この結果を **Fig. 6, 7** の①しめす。また同じ試験片を引張試験前に 100°C × 1 hr. の熱処理を行ってから引張強さおよび伸びを測定し、この値をもって熱処理直後の値とし、52日後の引張強さ、および、伸びの変

Table 3 Changes of mechanical properties for long periods.

		as 80% cold-rolled			after 52 days ^②		after 582 days ^③		
		Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Vickers Hardness Numbers	Tensile strength (kg/mm ²) (^⑤)	Elongation (%) (^⑥)	Tensile strength (kg/mm ²) (^⑤)	Elongation (%) (^⑥)	Vickers Hardness Numbers
Al-2% Mg	A ^①	26.0	3.5	78.4	24.8(4.6%)	7.6(117%)	17.3(33%)	7.0(100%)	74.0
	W ^②	26.5	3.8	77.9	24.9(6.0%)	8.2(116%)	15.8(40%)	8.0(110%)	73.6
Al-5% Mg	A	41.5	4.2	117.0	39.8(4.0%)	9.2(119%)	32.0(23%)	10.6(150%)	111.0
	W	41.3	4.4	117.0	38.1(7.0%)	10.2(132%)	30.8(25%)	9.4(112%)	113.0
Al-8% Mg	A	53.4	3.9	150.0	50.3(5.8%)	11.6(197%)	43.6(18%)	12.0(208%)	138.0
	W	53.2	4.6	145.0	49.1(7.7%)	12.0(160%)			
Standard	④	36.2	58.0		36.4(0.6%)	58 (0%)	36.0(0.6%)	60 (0.3%)	

① A-80% cold-rolled after air cooling from 450°C.

② W-80% cold-rolled after water quenching from 450°C.

③ In a decicator under the open sky.

④ 7/3 Brass.

⑤ Percentage of decrease.

⑥ Percentage of increase.

Table 4 Intensity of lines of X-Ray Photo.

	State of Specimens	Intensity of Lines d/h		
		(422) _α	(420) _α	(331) _α
Al-2% Mg	after A. C. from 450°C.	0.38	0.32	—
	80% C. R. after A. C.	0.48	0.43	0.37
	582 days after 80% C. R.	0.34	0.31	0.32
Al-5% Mg	after A. C. from 450°C.	0.26	0.18	0.26
	80% C. R. after A. C.	0.74	0.40	0.58
	582 days after 80% C. R.	0.40	0.34	0.49
Al-8% Mg	after A. C. from 450°C.	0.36	0.39	0.24
	80% C. R. after A. C.	0.56	0.49	0.57
	582 days after 80% C. R.	0.47	0.43	0.47

A. C.; Air-cooling. C. R.; cold-rolled

加工後、12時間以内で採取し、ただちに引張強サ、および伸びを 2 ton の万能試験機（レバー式）を用いて測定した。その後 50 日間経過したもの、582 日間経過したものについても同様の引張試験を行った。**Table 3** はこの測定結果である。ただし試験片は腐食が起らないように各試料共デシケーター中に密閉して、日光の直射を受けるように屋外に放置した。また屋外放置が長時間に亘るので、標準となるべき試料には 7/3 真鍮の焼なまし材を選んだ。この引張強サと伸びの値も **Table 3** に附記しておく。

Table 3 の結果は、この種の合金の引張強サ、および伸びの軟化を示してある。就中、582 日目の引張強サ、伸びの値は驚くべき低下と云わざるを得ない。硬度の低

下が硬度試験に比して、やや少ないのは多少ギモンの余地もある。

2.4 X 線的研究

Al-Mg 系合金中、Mg 量 2, 5, 8% のものについてその長期に亘る軟化現象の機構を研究するつもりで、450°C × 1 hr. 加熱から空冷後ただちに加工した X 線写真の各回折線と、582 日後の各回折線の Intensity を測定した。各回折線は (422)_α, (420)_α, (331)_α である。この結果を **Table 4** に示す。表中の d は回折線の高さの 1/2 に於ける巾で、h は回折線の高さである。数多くの繰返し実験によれば、d/h の値は変化が 15 % 以下の時は測定誤差と見做され、以上になれば結晶構造に何等かの変化があると見做される。この結果からみると多少おかしい数値も見られるが、大体軟化現象は加工歪の除去によるものと考えられる。

3. 安定化処理

以上の実験結果からこの Al-Mg 系合金板は冷間加工のままでは著しい機械的性質の軟化が起ることがわかつたので、とくにこの軟化の著しい試料の機械的性質の安定化を考え、次の 2 つの方法を試みた。

[1] 熱処理による安定化。

[2] 第 3 元素添加による安定化。

3.1 熱処理による安定化

3.1.1 試料

アルミニウム地金、マグネシウム地金の純度および溶解、鑄造、均質加熱処理は前実験の試料と全く同じで、旋盤による面取り後の厚みは 25~26 mm である。その後

Fig. 1 Change of hardness by cold-rolling.

Fig. 2 Hardness change of Al-2~8% Mg alloy sheets at room temperature.

Fig. 3 Hardness change of Al-2~8% Mg alloy sheets at 100°C.

炉冷し、ただちに50%および90%の圧延加工をほどこしたものである。また他の一部は引張強サ、伸ビの試料で450°C×13 hr. 加熱後、水焼入れ、および空冷し、ただちに80%の圧延加工を行つて、板材としたものである。

2.2 試料硬度試験結果

Table 1 にしめた各試料について、450°C×30hr. 加熱後、水焼入れ、空冷、炉冷したままのもの、および、さらに50%、90%の圧延加工を分えたもののビッカース硬度をただちに測定した。Fig. 1 はその結果である。ま

Fig. 4 Hardness change of cold rolled Al-2~8% Mg alloy sheets at room temperature.

Fig. 5 Hardness change of cold rolled Al-2~8% Mg alloy sheets at 100°C.

た Fig. 2, 3, 4, 5 は Table 1 の各試料の常温および100°Cに於ける30~60日間の変化をビッカース硬度で示したもので、水焼入れ、空冷、炉冷したままのもの、および50%圧延加工したものを示した。90%加工のものも測定を行つたが、傾向は50%加工したものと同様であるため、ここでは図表を省略する。

硬度測定結果は40~60日間の硬度変化であるが、2, 5, 8% Mg を含む各種材料の硬度の変化の曲線 (Fig. 2, 3, 4, 5 参照) は常温において水焼入れしたものは、初期に硬化を認めるようであるが、空冷、炉冷したものには表はれないようである。この硬化は文献¹⁾にのべられている時効硬化曲線の第1の山に相当するようにも思われるが、何分にも測定のインターバルが長いので断言できない。また Fig. 5 の5%および8% Mg を含むものは、加工硬化による歪の回復と解釈される。一般に常温よりも100°Cに於ける硬度変化の方が軟化量が多い。Cr, Mn の少量の添加は硬度の上昇がやや認められる。

2.3 引張試験結果

80%の圧延加工板から圧延方向に平行に5号試験片を

は引張強さは約33%の低下、伸びは2倍の増加である。このように変化する機械的性質の安定化には2つの方法が行われたが、熱処理による安定化としては $100^{\circ}\text{C} \times 1$ hr. 焼なましを行えば、引張強さの低下は起らず、伸びの変化も少ない。また第3元素添加による安定化としては、Mn, Cr 各1.0%を添加すると、引張強さと伸びの変化が幾分抑制されるように思われる。

本研究の一部は材料委員会(1953—7—10)、他の一部は日本金属学会(1951—10)の秋期講演会で発表した。都合によって印刷を遅らせたものである。その後Al-Mg合金板に関する報告も種々あるが、本報告はこ

の種の合金板の長期間に亘る軟化現象に関するものである。

参 考 文 献

- 1) 三島; ヒドロナリウム合金の時効硬化、軽金属、No.17 (1955) p.36.
- 2) E. C. W. Perryman, G. B. Brook; Mechanism of Precipitation in Al-Mg Alloys, J. Inst. Metals, 78 (1950) p.19~34.
- 3) O. Dahl, K. Detert; Über die Aushärtung von Al-Mg-Legierungen, Z. Metallk, 46 (1955), No. 2.

(21頁より)

時析出相には方向性があまりはつきりしない。

4) 強制固溶体を圧延後焼きなましによつて第2相が析出する場合、 Ag_3Al では方向性が明瞭であるが CuAl_2 ではほとんど方向性がない。

5) 加工材を温度を上げてゆくとまず析出が始まり次に再結晶が始まる。再結晶が始まっても析出物は急には消えない。

以上の事実によつて添加元素はおのの別々の影響を示すもので、他の添加物についても細かく調べて見なければ一般的な結論は得られないであろう。また再結晶温度範囲の大小は製品の結晶粒の均一性に影響するであろうからその辺のこともなお検討を要する。

本報先は財団法人軽金属奨学会の補助を受けて行つたものでここに有難く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) W. Bungardt, E. Osswald; Z. Metallkde. Vol. 30,

(1938), 202.

G. Bassi; Metallforschung Vol. 2 (1947), 191.

C. Petersen; Metallforschung Vol. 2 (1947), 289.

A. E. van Arkel; Rev. d. Met. Vol. 33 (1936), 117.

C. S. Barrett, Trans; A. I. M. E. Vol. 137 (1940), 128.

P. A. Beck, Hsun Hu; J. Metals, Vol. 1 (1949), 627. Vol. 2 (1950), 1214.

P. A. Beck, P. R. Sperry, Hsun Hu; J. Appl. Phys, Vol. 21 (1950), 420.

W. Köster, F. Braumann; Z. Metallkde. Vol. 43 (1952), 193.

2) G. Masing, K. Lücke, P. Nolting; Z. Metallkde, Vol. 47 (1956), 64.

3) J. J. Smith, A. A. Smart; Met. Abstr. Vol. 9 (1942), 301.

4) G. Ziegler; Z. Metallkde, Vol. 43 (1952), 213.

アルミニウム・ジュラルミンの
パイプ類なら天野へ!!

古河電気工業

KK 特約販売店

天 野 辰 雄 商 店

東京都台東区上野南大門町12番地

電話 下谷 (83) 5921・6246・3033

軽金属研究会入会手続

軽金属研究会は軽金属(アルミニウム、マグネシウム、チタニウム等)事業に関係又は関係ある個人は誰でも入会できます。会員は「軽金属」に投稿し無償頒布を受け各種会合催し物にも出席出来ます。

御希望の方は、(1)氏名、(2)生年月日、(3)自宅、(4)勤務先の住所名称地位、(5)主な学歴(最終卒業年月日)学位称号、(6)主な職歴を記入した入会申込書(様式適宜)に会費600円を添えて御送付下さい。会費は小為替又は振替口座(東京118744番)軽金属協会を御利用下さい。