アルミニウム-マンガン合金鋳物の被削性について*

財満 鎮雄**・広野 雅道***

Some considerations on the turning of aluminum-manganese cast alloys*

UDC 69.715'74-14:621.9.011

ZAIMA Shigeo**・HIRONO Masamichi***

Solubility of manganese in aluminum decreases with the drop in temperature; for example, it is 1.82% at eutectic point of 685°C, and 0.36% at 500°C. However, it is known to be independent of the effects of heat treatment. It is expected that the addition of manganese, having low solubility in aluminum, will improve machinability, since the addition of lead, which is insoluble in aluminum, improves machinability of wrought aluminum alloy such as 11S. In these studies, 3 sorts of aluminum-manganese alloy castings were produced, according to Mn content in the range of 1.5~5.5% for conducting turning tests. The relation between Mn content and machinability was examined by the observation of cutting resistance, roughness of surface, built-up edge, chip treatment, etc. The results obtained were as follows. Cutting resistance was much lower than that of pure aluminum at the addition of 1.5% of Mn, but gradually decreased with the higher content of Mn. However, surface roughness was more deteriorated and the growth of built-up edge was more active when Mn content was higher than 1.5%. Accordingly, satisfactory effects of higher contents of Mn were not observed in the results of machinability, even when mixed phase of $\alpha + \beta$ of Mn was contained in the alloy.

(Received Nov. 22, 1966)

1. 緒 言

アルミニウム合金の機械加工に関する研究が各方面で実施されてきつつあるが、まだ解決すべき問題も少なくない。一般にアルミニウムおよびその合金の切削に関しては鉄鋼に比べ切削抵抗も小さく、工具摩耗も少なく、問題点もあまりないと考えられていた。しかし、合金の種類によってはたとえば11Sなどの展伸材のように良好な被削性を示すものもあるものの、合金によつては工具寿命の点ではなんら問題はないが構成刃先の生成が旺盛で良好な切削仕上面がえられにくいもの¹⁾も少なくない。そのため構成刃先の生成を少なくして良好な仕上面をうるためにも出来るだけ高速切削がよいとされてきたが、アルジル²⁾、ローエックス³⁾などのように激しい工具摩耗をていするものもあり、とくに高速切削になるほど工具摩耗も著しい。このようにアルミニウム合金はその種類によって切削の際の挙動が非常に異なることもあるので、著者らは合金成分が被削性におよぼす影響を検討しているが、さきに合金成分として重要な元素のうちケイ素⁴⁾、銅⁵⁾およびマグネシウム⁶⁾などが被削性におよぼす添加効果について求めてきた。また、アルミニウム合金板の切削過渡特性を検討した際、3S板では低速2

次元切削において他の合金板で認められたような安定する構成刃先の生成がみられなかつた⁷⁾ので、マンガンが合金の被削性におよぼす効果に興味もたれた。よつて、本報ではアルミニウム合金成分としてマンガンが合金の被削性におよぼす添加効果について、主として切削抵抗、仕上面あらさ、切くず処理などの見地から検討するを目的とした。

Fig. 1 Al-Mn system diagram.

* 本報は軽金属学会第31回秋期大会(41-11-9)にて一部発表

** 静岡大学工学部教授 Prof. Faculty of Engineering, Shizuoka University, Dr. Eng.

*** 静岡大学工業短期大学部助教授 Assist. Prof. Junior College of Engineering Shizuoka University

2. 試 料

アルミニウムに対するマンガンの固溶度は **Fig. 1** のアルミニウム-マンガン系状態図にもみるように共晶温度658.5℃において1.82%，500℃で0.36%と温度の降下につれて減少しているが，熱処理効果は期待できないことが知られている。本系の実用合金としては1.0～1.5%マンガン程度の添加で強さ，耐食性，溶接性を向上させた3Sおよびこれにさらにマグネシウムを約1.0%添加した4Sなどの展伸材があるが，これらの合金の被削性はあまり良好とはいわれていない。しかし，アルミニウムに固溶しない鉛の添加が11Sのように被削性を向上させることを考えると，固溶度の少ないマンガン添加も被削性に好影響を与えるとの期待ももつことができる。

本報では新塊高純度アルミニウム（1S）を原材料としてシリコニット炉で720℃に溶解し，適当量のマンガンを添加し0～5.5%マンガンの範囲で **Table 1** のように3種類のアルミニウム-マンガン合金鋳物を溶製した。この際切削試料として用いたものは直径55mmφ，高さ約120mmの円柱状金型鋳造鋳物である。これらの試料の顕微鏡組織は **Photo. 1** のようになり，いずれも

Table 1 Used specimens.

No. of specimen	Nominal manganese percentage	Chemical composition (%)			
		Mn	Fe	Si	Al
1	0(1S)				99.8
2	1.5	1.34	0.14	0.09	R
3	3.0	3.04	0.14	0.07	R
4	5.5	5.50	0.14	0.06	R

($\alpha + \beta$)相であるがマンガン含有量に応じて β 相が微細な状態から大きい組織に変化しているのが認められる。また，これらの試料のビツカースかたさ H_v およびせん断強さ τ は **Table 2** のようになる。このうち，かたさについては **Photo. 1** のようにアルミニウムの α 地に β 相 Al_6Mn が大きく析出してくるので，詳しくみれば基地のかたさは微小かたさ（荷重20g）で $H_v \approx 39$ 程度に対し β 相の付近は $H_v \approx 258$ と比較的にかたい微小な組織が散在した試料である。したがって，マンガンが多くなってくるとアルジル，ローエツクスと同型式の工具摩耗がある程度予想される³⁾と見てよい。

3. 実験要項

使用機械はOKK-RAMO型高速精密旋盤（主軸回転数55～2,500rpm），使用工具は刃先形状0-θ-7-7-7-0-0の高速度鋼製（SKH4）片刃バイトで，このうち横すくい角を $\theta = 0 \sim 30^\circ$ の範囲で4種類に変化した。

切削条件は切削速度を $V = 40 \sim 400 \text{m/min}$ ，送りを $f = 0.06 \sim 0.26 \text{mm/rev}$ ，切込みを $t = 0.13 \sim 2.0 \text{mm}$ の範囲においてそれぞれ変化して条件を変化した乾式切削である。

切削抵抗の測定には従来までに著者が使用している工

Table 2 Vickers hardness and shearing strength.

Alloy	Vickers hardness (H_v)	Shearing strength τ (kg/mm^2)
1.5%Mn alloy	33.8	10.0
3.0%Mn alloy	40.9	10.2
5.5%Mn alloy	49.9	10.1

Al-1.5% Mn alloy

Al-3.0% Mn alloy

Al-5.5% Mn alloy

Photo. 1 Microscopic structure of Al-Mn alloy ($\times 100$)

具動力計²⁾ (軟鋼製円板状バイト保持器にひずみゲージをのり付けてピックアップとした) により自動平衡式記録計に記録した。片刃バイトを使用したので切削抵抗としては主分力 T と送り分力 F の2分力を測定した。

4. 切削抵抗

従来の結果からみればアルミニウム合金の切削において本実験の切削速度範囲では、 $V=40\text{m/min}$ 程度の低速切削で切削抵抗がやや高く切削速度が上昇すればほぼ一定の値の切削抵抗を保ち、切削抵抗に切削速度依存性が見出せない領域があるようになった⁸⁾が、ここで切削速度 V と切削抵抗の関係を求めればたとえば横すくい角 $\theta=10$ および 30° の場合 Fig. 2 のようになる。マンガ含有量による差は明瞭ではないが、主分力 T 、送り分力 F ともに切削速度にかかわらずほぼ一定の値であり、ここでも $V=40\sim 400\text{m/min}$ の切削速度範囲では切削速度依存性が認められないとみてよく、したがって後述するようにこの範囲内で一定の切削速度での結果で検討を行なっても差支えないことになる。つぎに、切削速度 $V=80\text{m/min}$ 、送り $f=0.13\text{mm/rev}$ 、横すくい角 $\theta=30^\circ$ 一定として切込み t と切削抵抗の関係を求めれば Fig. 3 のよ

Fig. 2 Relation between cutting speed and cutting resistance.

Fig. 3 Effect of depth of cut on cutting resistance.

うになる。切込みの小さいところでは切削抵抗の増加が著しいが、 $t=0.3\text{mm}$ 以上ではほぼ直線的に変化している。ここでもみるようにマンガ含有量による差は明らかではないが、送り分力は主分力の50%程度の値をとるようであった。なお、切込み t と送り f の割合を変化させた場合の影響をみるため、たとえば切削面積を $\alpha=f \cdot t=0.125$ および 0.250mm^2 一定として切削試験を実施した。切込みと送りの比、すなわち t/f と切削抵抗の関係を横すくい角 $\theta=10^\circ$ および 30° の場合について Fig. 4 をうる。これからみれば切削面積 $\alpha=0.250\text{mm}^2$ のように大きくなると実験範囲の $t/f=1\sim 40$ の領域で凹型の変化をとるようにもみられるが、 $\alpha=0.125\text{mm}^2$ の場合には切削面積が一定ならば切削抵抗もほぼ一定の値を示すものとみてよく、送り分力は主分力のほぼ50%の値を示している。

したがって、単位体積の切くずを切削するに要する馬力、すなわち正味切削馬力 U (HP) は次式¹⁾にしたがって
$$V=T \cdot V / (75 \cdot V \cdot f \cdot t)=T / (75 \cdot f \cdot t) \cdots \cdots (1)$$
ここで T : 主分力 (kg). 正味切削馬力は切削面積 $\alpha=$

Fig. 4 Relation between ratio of (t/f) and cutting resistance.

Fig. 5 Relation between ratio of (t/f) and unit net horsepower.

0.125 および 0.250mm² 一定の場合において横すくい角が大きくなると漸次減少して **Fig. 5** のようになる。

Fig. 6 は切削速度 $V=60\text{m/min}$ の場合に切込みを $t=1.0$ および 2.0mm として、マンガン量と切削抵抗の関係を求めたものである。多少の不揃いはあるが、マンガン量が増加すればわずかではあるが切削抵抗は減少するとみてよく、送りが大きいほど、横すくい角が小さいほど、また切込みの大きい方がこの傾向は顕著である。

本実験の場合と同一切削条件におけるアルミニウム合金切削の際の切削抵抗をみれば、切削速度依存性のみられない領域でたとえば **Table 3** のようになる。これからみれば 11S, 61S などにはおよぶべくもないが、2S, 17S などに比べればかなり低い切削抵抗を示すことがわかる。

5. 構成刃先および切くず生成

Photo. 2 は 1.5% マンガン材の外周に幅 $b=1.0\text{mm}$ の環状部をのこした試料を高速度鋼バイトで 切削速度、

Table 3 Comparison of tangential force of aluminum alloy.

Alloy	Tangential force (kg)		Cutting speed (V) (m/min)
	Side rake angle $\theta=10^\circ$	Side rake angle $\theta=30^\circ$	
2S-F	12~28	9~16	54~590
11S-T4	6~9	6~8	84~184
17S-T4	16~18	12~13	45~330
24S-F	10~12	8~10	47~74
56S-F	12~14	8~10	37~330
61S-F	9~11	6~8	52~100
Al-4% Cu alloy	9~12	8~10	100~300
Al-12% Si alloy	15~21	10~14	100~300
Al-Si-Cu (ADC 12)	9~10	8~9	75
Al-4% Mg alloy	8~12	7~9	100~600
Al-1.5% Mn alloy	13~15	9~10	50~400
Al-3.0% Mn alloy	12~15	9~10	50~400
Al-5.5% Mn alloy	12~15	9~10	50~400

Fig. 6 Relation between manganese content and cutting resistance.

Photo. 2. Built-up edge in the case of orthogonal cutting of 1.5% Mn alloy by SKH4-tool under various rake angles, cutting speed $V=60\text{m/min}$, depth of cut $t=0.13\text{mm}$ and width of cut $b=1.0\text{mm}$

$V=60\text{m/min}$, 切込み $t=0.13\text{mm}$ で 2 次元切削を実施した場合、切削途中で切削を急停止してバイトすくい面に付着した構成刃先を示したものである。すくい角が小さい $\theta=0\sim 10^\circ$ では構成刃先の生成量が大きく、 $\theta=30^\circ$ とすくい角が大きくなると構成刃先の生成量は小さい。この場合にはすくい面上に構成刃先が付着して切削に関与するので、構成刃先の付着による見掛け上のバイトすくい角はいずれの場合もほぼ 28° 程度のほぼ一定の値を示しているのがわかる。すなわち、バイトすくい角が小さい場合には構成刃先は生成しやすいといえる。また、**Photo. 3** は本実験における切削途中でバイトすくい面に付着した構成刃先の状況を示す。写真にみるように切削速度が遅いほどバイト刃先への付着量は多く、また、1.5%マンガン材より 3.0%マンガン材の方が付着が大きかったが、これは **Photo. 1** にもみるように前者の方は β 相が細かく分散しているが後者では比較的大きい β 相で

Photo. 3 Aspects of tool tips in the case of SKH4-tool, side rake angle $\theta=10^\circ$, feed $f=0.13\text{ mm/rev}$ and depth of cut $t=1.0\text{mm}$.

Side rake angle	Mn Cutting speed % mm/min	Built-up edge			Chip form		
		1.5	3.0	5.5	1.5	3.0	5.5
10°	36	●	●	●	⊕	⊕	○
	107	●	●	●	○	⊕	⊗
	205	●	●	●	⊖	⊕	⊗
	315	●	●	●	⊖	⊗	⊗
	394	●	●	●	⊖	⊖	⊗
30°	36	●	●	●	⊖	⊖	⊗
	107	●	●	●	⊖	⊗	⊗
	205	●	●	●	○	⊖	⊗
	315	●	●	●	○	⊖	⊗
	394	●	●	●	⊖	⊖	⊗
Remark		● Adhere in great quantities ● in small ● in medium ● in slight			⊖ Straight ⊗ Twist ⊕ Coil ○ Curl ⊗ Deviated type		

Fig. 7 Observations of built-up edge and chip form.

基地の α の効果が大きいのかも知れない。

実際に構成刃先のバイトに付着状況をまとめると **Fig. 7** のようになる。切削速度が遅い構成刃先の発生は多く、マンガン含有量の多いほど発生もやや多いようなのは前述のとおりである。

切くず発生状況の観察結果も **Fig. 7** に例示したようになる。マンガン量が少ない方が連続型切くずの傾向をとり、横すくい角が大きい方が連続型になりやすい。マンガン量が多く切削速度が高いと切くず処理としては容易な分断型がみられるようになる。

6. 切削仕上面

切削条件、マンガン量などによって構成刃先生成の状況、切くず生成などに変化がみられることは、切削条件、マンガン量などによって仕上面状況にも変化がみられることを示している。一般に切込みを増加すれば切くず生成状況は連続型より分断型に移行するといわれるので、切削速度 $V=80\text{m/min}$, 送り $f=0.13\text{mm/rev}$, 横すくい角 $\theta=30^\circ$ の場合に切込みを $t=0.1\sim 2.0\text{mm}$ の範囲で変化して、大越式表面あらさ試験機で仕上面あらさ H_0 を最大あらさ表示方式で求めれば **Fig. 8** のようになり、**Photo. 4** はその 1 例である。写真にもみるように 1.5%マンガン材では良好な切断面とはいえないが、規則正しい送りマークは認められ、マンガン量が多くなるとむしれたようにあらい面となり **Fig. 8** の傾向と一致する。しかし、この程度の切込みでは仕上面あらさにおよぼす切込みの影響は顕著ではない。

また、従来アルミニウム合金の切削では一般に切削速度が上昇すれば仕上面あらさは向上するといわれる⁹⁾ ので、切削速度 $V=40\sim 400\text{m/min}$ の範囲で仕上面あらさ H_0 を求めれば **Fig. 9** のようになり、横すくい角が $\theta=10^\circ$ と小さい場合には $V=100\text{m/min}$ 以下では仕上面

Fig. 8 Effect of depth of cut on surface roughness.

あらさは悪いが、それ以上の切削速度になると仕上面あらさは向上し切削速度にかかわらずほぼ一定の値となる。細かくみれば、切削速度が高くなると仕上面あらさは再び劣化する傾向にあるが、 $\theta=30^\circ$ と横すくい角が大きくなると前者の場合と同様に $V=100\text{m/min}$ 程度で仕上面は向上し、 $V=300\text{m/min}$ をこえたところで仕上面あらさは明らかに再び劣化しているのが認められる。その1例を **Photo. 5** に示すが、切削速度が上昇するとかなりの切削温度上昇が考えられ、¹⁰⁾ マンガン量の少ない1.5%程度の試料では表面に切くずの一部が溶着したような外観をていすることもあ。あまり切削速度を上昇させてはかえってパイトすくい面上の付着物も増加し³⁾、仕上面あらさは劣化することがわかる。

Fig. 10 はマンガン量と仕上面あらさ H_o の関係を示すが、横すくい角が $\theta=30^\circ$ と大きい場合には明らかではなく、 $\theta=0\sim10^\circ$ と小さくなるとマンガン1.5%に比べマンガン3.0~5.5%と増加すると仕上面あらさは悪くなり、送りが大きくなるほどその傾向は著しい。

Photo. 4 Cut surfaces of specimens in the case of side rake angle $\theta=30^\circ$, cutting speed $V=80\text{m/min}$, feed $f=0.13\text{mm/rev}$ and depth of cut $t=1.5\text{mm}$.

Fig. 9 Relation between cutting speed and surface roughness.

7. 総 括

以上要約すれば、1.5%~5.5%マンガン範囲の3種類のアルミニウム-マンガン合金鋳物を溶製し、旋削試験によつて主として切削抵抗、構成刃先、切くず生成、仕上面あらさなどの点より被削性を検討した。その結果、

1) 実験結果ではマンガン1.5%添加によつて切削抵抗は純アルミニウムよりかなり低下し、それ以上に添加量が増加すればわずかではあるが切削抵抗は減少する。この傾向は送りが大きいほど、横すくい角が小さいほど、切込みが大きいほど著しい。

Cutting speed
 $V=210\text{m/min}$

$V=320\text{m/min}$

$V=400\text{m/min}$

Photo. 5 Cut surfaces under various cutting speed in the case of 1.5% Mn alloy, side rake angle $\theta=30^\circ$, feed $f=0.13\text{mm/rev}$ and depth of cut $t=1.0\text{mm}$.

Fig. 10 Relation between manganese content and surface roughness.

2) しかし、切削仕上面は逆にマンガン量が増加すれば仕上面はあらかなり、送りが大きいほどその傾向は著しい。

3) マンガン量の増加とともに仕上面あらさが劣化するのに応じて、構成刃先の生成量も多く、切削の際にバイト刃先のすくい面に付着する量も多くなる。

4) したがって、マンガン量を3~5%と多くして($\alpha + \beta$)相の混合組織にしても切削抵抗は比較的小さいが、被削性から考えて特別な効果が見出せるとはいえなかった。

本報の実施に当り、費用の一部は文部省科学研究費(各個研究)、一部は日本総合鋳物センター委託研究費によった。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) S. Zaima: Proc. 7th Japan Cong. Test. Mat., (1964), 75.

- 2) 森永, 財満, 飯尾: 日本金属学会誌, **30**, 5 (1966), 463.
- 3) 財満, 飯尾: 日本金属学会 No. 59 尼崎大会講演概要 (1966-10), 152.
- 4) S. Zaima: Proc. 8th Japan Cong. Test. Mat., (1965), 84.
- 5) S. Zaima: Proc. 9th Japan Cong. Test. Mat., (1966), 25.
- 6) 財満, 小山, 村本: 日本金属学会誌, **30**, 8 (1966), 788.
- 7) 財満, 岡崎: 日本機械学会・精機学会連合諏訪地方講演会講演概要 (1966-10), 17.
- 8) 財満: 軽金属情報, 426 (1965), 49 および同, 427 (1965), 62.
- 9) O. W. Boston, W. W. Gilbert: Trans. of ASME, **79**, 4 (1957), 909.
- 10) 栗原, 菊地, 江田: 軽金属学会 No. 31 秋期大会講演概要 (1966), 48.

(P. 26 よりつづく)

- * Some calculations relating to the thermodynamic properties of the aluminium-calcium system and their applications. W. S. Cheng. Acta Met. Sinica, **9** (2), 167-175, 1965. (In Russian). (Abstracted in Metall. Abstr., **1** (8), 1172, Aug., 1966). (Contd)
- * Diffuse electron scattering in polycrystalline aluminium foils. M. Horstmann. Z. Physik, **188** (5), 412-422, 1965. (Abstracted in Metall. Abstr., **1** (8), 1172, Aug., 1966).
- * Absolute intensities of electrons scattered elastically in polycrystalline aluminium foils at different temperatures. M. Horstmann. Z. Physik, **188** (2), 124-138, 1965. (Abstracted in Metall. Abstr., **1** (8), 1172, Aug., 1966).
- * The effect of precipitates on the strength behaviour of 99.7% pure aluminium. E. A. Attia and G. A. Hassan. Br. J. appl. phys., **17** (6), 757-760, Jun., 1966. (Abstracted in Bull. Br. non-ferr. Metals Res. Ass., **46** (446), 390, Sep., 1966).
- * The effect of stress system on the workability of metals. D. J. Latham and M. G. Cockcroft. NEL Rep. No. 216, 31pp., Feb., 1966.
- * The effect of thermal treatments on the material damping and fatigue properties of 2024 aluminium alloy. C. E. Archie. AD-635381. 84pp., Mar., 1966. (Abstracted in U.S. Govt Res. Dev. Rep., **41** (16), 58, Aug. 25, 1966).

- * Corrosion fatigue and stress corrosion cracking of an aluminium-5% magnesium-4% zinc alloy totally immersed in 3% NaCl and other corrodents. P. J. E. Forsyth and E. G. F. Sampson. AD-478909. 43pp., Aug., 1965. (Abstracted in U.S. Govt Res. Dev. Rep., **41** (18), 115, Sep. 25, 1966).
- * Thermodynamic functions by e.m.f. measurements on solid galvanic cells in non-stationary conditions: system Al+Al₂O₃. G. B. Barbi. Trans. Farad. Soc., **62** (522), 1589-1595, Jun., 1966.

CHEMICAL BEHAVIOUR

- * The Rehinder effect: influence of surface active agents and electrolytes on the mechanical properties of metals. A. Lemogne. Metaux Corros. Inds., **41** (488), 147-161, 1966. (Abstracted in Metal finish. Abstr., **8** (4), 220, Jul.-Aug., 1966).
- * Mechanism of corrosion of 2024 alloy as revealed by electron microscopy. M. S. Hunter, G. R. Frank and D. L. Robinson. 2nd internat. congress on metallic corrosion, 1963. 102-108, 1966. (Abstracted in Metall. Abstr., **1** (9), 1424, Sep., 1966).

ANALYSIS

- * Rapid qualitative paper-chromatographic analysis of aluminium alloys. G. Ackermann and G. Schlosser. Z. Chemie, Lpz., **5** (2), 66, 1965. (Abstracted in Analyt. Abstr., **13** (6), 2883, Jun., 1966).

(P. 49 へつづく)