鑄造合金 AC3A の湿式切削について*

鈴木 康夫**・財満 鎮雄**・家雲 高秀***

On the wet cutting of Al-Si castings AC3A*

UDC 669. 715' 782-14:621.9.011

Yasuo SUZUKI**, Shigeo ZAIMA** and Takahide IEKUMO***

Effects of such cutting fluids as spindle and machine oils were investigated in orthogonal cutting and turning of AC3A. In orthogonal cutting, when the cutting fluid is applied to the work surface, the cutting resistances and the coefficient of friction on tool face slightly decrease, and the cutting ratio increases. When the work piece is immersed in the cutting fluid, the cutting resistances and the coefficient of friction greatly decrease, the cutting ratio increases and the roughness of cut surface is improved. In turning, these facts almost the same are found. The cut surface in wet cutting is good at slow cutting speeds. It is further improved in wet and dry cutting at faster cutting speeds. The cutting fluid up to a certain amount ($5 \text{ cm}^3/\text{sec}$ in this work) leads to decrease in the cutting resistance, the coefficient of friction and the cutting temperature, increase in the cutting ratio, and improvement of the cut surface. Spindle oil is superior to machine oil.

(Received September 4, 1978)

1. 緒 言

切削油剤の機能として滑潤性と冷却性が重要視されているが、ある切削油がある被削材に対してはたしてどちらの機能が大きく作用するか、あるいはすべきであるかについては十分明らかにされていない。とくに、アルミニウム材料に関しての切削油剤についての研究はほとんどみられず、その機能は不明であるといえる。鉄鋼系材料では切削温度の上昇に伴う工具摩耗の対策としての冷却が望まれるのに対し、アルミニウム材料では一般に熱膨張係数が鉄鋼系のそれらの約3倍であり、加工精度の点から冷却が要求され、また、Al-Si系など一部のアルミニウム鑄造材では鉄鋼系材料にもみられないような激しい工具摩耗を伴うので、潤滑の観点から切削油剤が考えられるのは当然である。よつて、本報では難削アルミニウムとされる鑄造合金（いわゆるシルミン）について、二次元切削ならびに旋削における切削油の使用効果を検討し、アルミニウム合金湿式切削の考察の緒を求めるを目的とした。

2. 供試試料ならびに使用切削油剤

実験に供した試料はTable 1に示す化学成分の直径80 mm、長さ約180 mmの金型鑄造材シルミン（AC3A）

で、その機械的性質はTable 2のようである。

また、実験に使用した切削油剤は市販のスピンドル油とマシン油で、それらの動粘性係数を測定すればFig. 1のように後者の粘度が前者よりも大きい。本報における切削油剤の温度は二次元切削の場合 $10 \sim 15^\circ\text{C}$ であるが、旋削実験では油槽内で $25 \sim 35^\circ\text{C}$ であるものの、切削油剤を循環させて使用するため、切削部ではそれよりやや高い温度にあるものと思われる。なお、旋削の場合にはすくい面上方より切削部に切削油剤を注油する方式をとつた。

3. 切 削 条 件

二次元切削では前述のシルミン鑄造材より厚さ6 mmの $150 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$ の板状試料を切り出し、フライス盤テーブル上の動力計に固定し、テーブル横送りによつて削り速度を、上下送りによつて切込みを与える平削り方式をとつた。すくい角 $\alpha = 20^\circ$ 、逃げ角 $\gamma = 6^\circ$ の高速鋼（SKH 4）製平バイトを使用し、削り速度は $V = 0.005$

Table 1 Chemical compositions of specimen.

Element	Si(%)	Fe(%)	Na(%)	Al(%)
Material				
AC3A	12.8	0.15	0.02	bal

* 本報は軽金属学会第54回春期大会（53-6-1）に発表した。

** 静岡大学工学部（浜松市）。Faculty of Engineering, Shizuoka University. (Hamamatsu).

*** 静岡大学大学院（浜松市）。Graduate School of Shizuoka University. (Hamamatsu).

Table 2 Mechanical properties of specimen.

Prop.	Tensile Strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness Hv
Material				
AC3A-F	148	78	4.0	48.9

Fig. 1 Relations between kinematic coefficient of viscosity and temperature in wet cutting.

m/s 一定として、切込みを $t_1 = 10 \sim 150 \mu\text{m}$ の範囲で適宜変化した。切削油剤の適用は試料表面に塗布するのみの場合と、試料全体を切削油剤に浸漬した状態での二次元切削を実施する場合を検討した。

旋削では刃先諸元 $0-\theta-6-6-6-0-0$ (ここで、横すくい角を $\theta = 0, 10, 20$ および 30° に変化した) の高速度鋼 (SKH 4) 製片刃バイトを使用し、切込みを $t_1 = 1 \text{ mm}$ 一定とし、削り速度を $v = 0.2 \sim 2.5 \text{ m/s}$ 、送りを $f = 0.06 \sim 0.1 \text{ mm/rev}$ の範囲で適宜変化した。流量 $Q = 0 \sim 30 \text{ cm}^3/\text{s}$ に変化して切削油剤を使用する湿式切削を切削油剤を試料表面に塗布するのみの場合と、切削油剤を使用しない乾式切削の場合と比較した。

4. 乾式および湿式二次元切削

二次元切削における切削抵抗 (主分力 F_N および背分力 F_T) と切込み t_1 の関係を求めれば **Fig. 2** のようになる。試料表面に切削油剤を塗布するだけで乾式切削の場合よりバイトのくい付きが滑らかになり、切屑流出も流れ形で滑らかで切削抵抗は小さくなり、さらに試料全体を切削油剤中に浸漬して切削すれば切削抵抗は約1/2程度に低下する。また、マシン油を用いた場合よりスピンドル油を用いた方が切削抵抗の低下がやや大きい。この場合の切削比 r_c (= 切込み t_1 /切屑厚さ t_2) を求めれば **Fig. 3** のようになり、乾式切削の場合に比べ切削油剤を

Fig. 2 Relations between cutting resistances (principal force and transverse force) and depth of cut in orthogonal cutting. **Fig. 3** Relations between cutting ratio and depth of cut in orthogonal cutting.

試料表面塗布、切削油剤に浸漬の順に切削比が大きくなっている。切削比が増加することは切屑厚さの減少、すなわちせん断角の増加、切屑流れの拘束の減少を意味し、切削が容易に進行することを示している。

いま、二次元切削を **Fig. 4** のように単一せん断面モデルに近似すれば工具すくい面に作用する力 $F = F_T \cos \alpha + F_H \sin \alpha$ とすくい面に垂直な力 $N = F_H \cos \alpha - F_T \sin \alpha$ からいわゆるすくい面上の摩擦係数 μ は次式で与えられる。

$$\mu = F/N \quad (1)$$

Fig. 5 は(1)式より求めたいわゆる摩擦係数の変化を示すが、この場合摩擦係数が1を越えることもあるもの

の、切削油剤の減摩性の程度を知る手がかりとして求めた。これからみれば、切込み $t_1=30\ \mu\text{m}$ 以上ではいわゆる摩擦係数は試料面に切削油剤を塗布しただけでは乾式切削とあまり差がないが、試料を切削油剤に浸漬すれば摩擦係数はかなり小さくなっており、切込み $t_1=150\ \mu\text{m}$ ではスピンドル油浸漬の場合小さい値を示した。切込み $t_1=150\ \mu\text{m}$ の場合の切削面状況を示せば **Photo 1** のよ

Fig. 4 Illustration of orthogonal cutting model.

Fig. 5 Relations between coefficient of friction on tool face and depth of cut in orthogonal cutting.

うになる。乾式切削および切削油剤を試料表面に塗布した場合には切削面かなりの凹凸がみられるが、切削油剤に浸漬した場合には切削面の凹凸は少なくなり、かつスピンドル油の場合には光沢面も現われるのがみられる。

5. 乾式および湿式旋削

いま、横すくい角 $\theta=10^\circ$ 、切込み $t_1=1\text{ mm}$ 、送り $f=0.1\text{ mm/rev}$ の場合に切削抵抗(主分力 P_c および送り分力 P_L)と削り速度 v の関係を求めれば **Fig. 6** のようになる。乾式切削の場合に比べて試料面に切削油剤を塗布したのみでも切削抵抗は減少するが、とくに湿式切削では切削抵抗の減少が著しい。かつ、 $v=1\text{ m/s}$ 以下の低削り速度域で切削油剤の効果が大きく認められる。そして

Rake Angle $\alpha=20^\circ$, Depth of Cut $t_1=150\ \mu\text{m}$ Cutting Speed $V=0.005\text{ m/s}$	
Dry Cutting	
Applied Spindle Oil to Surface	
Dipped in Spindle Oil	
Applied Machine Oil to Surface	
Dipped in Machine Oil	
Cutting Distance	30 60 90 110 (mm)

Photo 1 Cut surfaces under various orthogonal cutting systems.

Fig. 6 Changes of cutting resistances (principal force and transverse force) under various turning systems.

全体としてみればスピンドル油使用の場合がマシン油使用より切削抵抗は小さい。また、 $Q = 5 \text{ cm}^3/\text{s}$ と $30 \text{ cm}^3/\text{s}$ の注油量の差は切削抵抗にあまり大きな差となっていない。なお、削り速度域が上昇すれば乾式、湿式いずれの切削方式においても、削り速度の変化による切削抵抗の変化はあまり認められないようになる。

本報では、片刃バイトを使用したので、送りに対して切込みが十分大きければ二次元切削に近似できる²⁾ので、切込み $t_1 = 1 \text{ mm}$ 、送り $f = 0.09 \text{ mm/rev}$ の場合に送り方向の切屑厚さを求めて送りとの比をとれば、前述の切削比 r_c に相当する。その結果は Fig. 7 のようになり、湿式切削では乾式切削の場合に比べて切削比は大きくなり、とくに注油すればかなり大きな切削比となつて前述の二次元切削の場合と同様になる。また、同様にしてその場合のいわゆる摩擦係数 μ を求めれば Fig. 8 のようになり、乾式切削の場合に比べてスピンドル油注油では全体的に摩擦係数は小さくなり、とくに $v = 1 \text{ m/s}$ 以下の低削り速度域ではかなり小さくなっている。しかし、マシン油の場合には乾式と湿式切削の差はあまりなく、前述の切削抵抗と併せ考えればスピンドル油注油の場合がマシン油注油より、とくに低削り速度域における減摩効果の大きいことが推察される。その理由の1つと

Fig. 7 Changes of cutting ratio under various turning systems.

Fig. 8 Changes of coefficient of friction under various turning system.

しては低削り速度域では Fig. 1 のように粘性係数の小さいスピンドル油がバイトすくい面に沿って浸入しやすいためではないかと考えられる。

Fig. 9 は切削温度 T と削り速度 v の関係を求めたものであるが、これからみれば $v = 0.7 \sim 1.5 \text{ m/s}$ の速度域での冷却効果の大きいことがわかり、マシン油よりもスピンドル油の方がやや冷却効果が大きい。冷却効果のある速度域 $0.7 \sim 1.5 \text{ m/s}$ より低削り速度域では切削温度は冷却効果があらわれるほど上昇しないためであり、その速度域より高速域では高速、高温のため冷却効果が追いつかないためと思われる。

また、切削仕上面あらさ（最大高さあらさ） R_{max} と削り速度 v の関係は Fig. 10 となり、高速切削になるほど切削仕上面は良好となり、湿式切削の場合が乾式切削より良好である。Photo 2 は横すくい角 $\theta = 10^\circ$ 、送り $f = 0.1 \text{ mm/rev}$ の場合の仕上面状況例であるが、乾式切

		Low Cutting Speed	Median Cutting Speed	High Cutting Speed
Dry Cutting				
Spindle Oil	Flow Quantity $Q = 5 \text{ cm}^3/\text{s}$			
	$Q = 30 \text{ cm}^3/\text{s}$			
Machine Oil	$Q = 5 \text{ cm}^3/\text{s}$			
	$Q = 30 \text{ cm}^3/\text{s}$			

Rake Angle $\alpha = 10^\circ$, Depth of Cut $t_1 = 1 \text{ mm}$
Feed $f = 0.1 \text{ mm/rev}$

Photo 2 Cut surfaces under various turning systems.

Fig. 9 Relations between cutting temperature and cutting speed under various turning systems.

Fig. 10 Influences of cutting speed on roughness of cut surface under various turning systems.

削ではあまりはつきりとは認められない送りマークが湿式切削では鮮明に認められ、かつ高速になるほど鮮やかである。

6. 切削油剤の流量

横すくい角 $\theta=10^\circ$ 、送り $f=0.1$ mm/rev、削り速度 $v=1$ m/sの旋削において、切削油剤の流量 Q を変化させたときの切削抵抗（主分力 P_c および送り分力 P_L ）を求めれば Fig. 11 のようになる。スピンドル油を使用した場合がマシン油の場合より切削抵抗はやや低く、どちらの切削油剤でも流量が $Q=5$ cm³/s をこえると切削抵抗はほぼ一定の値となる。この場合、切削比 r_c および摩擦係数 μ を求めれば Fig. 12 のようになり、流量 $Q=5$ cm³/s を越えれば両者の値も切削抵抗の場合と同様にほぼ一定となっている。そして、スピンドル油使用の方が切削比は大きく、摩擦係数は小さくなっている。また、切削温度は Fig. 13 のようになり、流量 $Q=1$ cm³/s 以上ではほぼ一定の切削温度まで低下し、スピンドル油使用の方が切削温度は低くなっている。すなわち、スピンドル油がマシン油に比べて減摩および冷却効果が大い

Fig. 11 Influences of flow quantities of cutting fluid on cutting resistances in wet turning.

Fig. 12 Influences of flow quantities of cutting fluid on cutting ratio and coefficient of friction in wet turning.

Fig. 13 Influences of flow quantities of cutting fluid on roughness of cut surface and cutting temperature in wet turning.

	Flow Quantity Q (cm^3/s)			
	0	1	5	20
Spindle Oil (Cutting Speed $v=0.97 \text{ m/s}$)
Machine Oil ($v=1.02 \text{ m/s}$)

Rake Angle $\alpha=10^\circ$, Depth of Cut $t=1 \text{ mm}$, Feed $f=0.075 \text{ mm/rev}$

Photo 3 Aspects of cut surface under various flow quantities of cutting fluid.

ことを示している。

切削仕上面あらさ $R_{\max}$ に及ぼす流量 Q の影響は Fig. 13 のようになり、スピンドル油使用では流量 $Q=1 \text{ cm}^3/\text{s}$ を越えると良好な仕上面に向上するが、マシン油ではいくぶん仕上面あらさが低下するもののあまり注油効果は認められないようである。**Photo 3** は横すくい角 $\theta=10^\circ$ 、切込み $t_1=1 \text{ mm}$ 、送り $f=0.075 \text{ mm/rev}$ の場合の切削面状況を示すが、スピンドル油使用で流量 $Q=5 \text{ cm}^3/\text{s}$ とくに $20 \text{ cm}^3/\text{s}$ で送りマークが鮮明に認められている。

7. 結 言

以上、良好な切削仕上面が得られにくいといわれるアルミニウム鑄造合金シルミン (AC 3 A) について、二次元切削および旋削における切削油剤適用の効果をスピンドル油およびマシン油を用いて検討した。その結果、

(1) 二次元切削において、試料面に切削油剤を塗布して切削すれば乾式切削に比べて切削抵抗はわずかに減少し、切削比はわずかに増し、いわゆる摩擦係数は減少し、切削仕上面もやや良好になり、すなわち切削性はやや向上するが、試料を切削油剤中に浸漬すれば切削性の向上はさらに著しい。

(2) 旋削では、試料面に切削油剤を塗布した場合に乾式切削に比べ切削抵抗の低下、切削比の増加、いわゆる摩擦係数の減少はそれぞれわずかで切削性の向上はわずかであるが、切削部に切削油剤を注油すればとくに低削り

速度域での切削性の向上は著しかった。なお、切削仕上面は低削り速度域では湿式切削の方が良好であるが、削り速度が上昇すれば乾式、湿式切削いずれの場合も仕上面は良好となった。

(3) 湿式切削において切削油剤の供給流量を変化させれば、切削油剤を適用するとともに切削抵抗、いわゆる摩擦係数、切削温度などは減少し、切削比は増加し、切削仕上面あらさも向上するが、一定の供給流量 (本報では $5 \text{ cm}^3/\text{s}$) 以上では流量変化に関係なくこれらの値はほぼ一定になり、これらの値の変化は $0 \sim$ 数 cm^3/s の流量間で著しく変化するものである。

(4) 動粘性係数の大きいマシン油の場合に比べその値の小さいスピンドル油使用の方が切削抵抗の減少も大きく、切削比の増加はやや大きく、いわゆる摩擦係数の減少も大きく、切削仕上面も良好になる。したがって、スピンドル油の方がマシン油より減摩および冷却効果が大きいといえる。

本報の実施に当り、その費用の一部は(財)軽金属奨学会の研究資金により、試料入手には㈱日本軽金属総合研究所磯部俊夫氏外各位の御好意に負うところが大きかった。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 例えば, P. H. Black: *Theory of Metal Cutting*, (McGraw-Hill, Inc., 1961), 54.
- 2) 財満: 軽金属, **28**, 7(1978), 363.