アルジルの被削性について*

森永卓一** 財満鎮雄*** 飯尾政次***

Takuichi Morinaga, Shigeo Zaima and Masatsugu Iio: On the Turn-Machinability of Alusil. Modified aluminium-silicon cast alloy containing about 20% Si, which is called "Alusil" and is not yet standardized in JIS, has been recently exploited and has gradually come to be used for piston or cylinder material. There seems to be some trouble in machining the alusil, because fine plate-like silicon crystals are dispersed within the matrix and therefore their hardness is very high. The cast pistons made of alusil (about 102 mm in diameter) were turned by lathe under the flowing conditions; cutting speed of 100~300 m/min, depth of cut of 1.0 mm, feed of 0.06~0.25 mm/rev and various side rake angles of tools were chosen. While the side tool made of sintered hard metal was mainly used, the high speed steel tool was also used. The results obtained are as follows. The tangential component of cutting resistance decreased with the increase in side rake angle. The decreament, however, was comparatively small with in creasing cutting speed and especially so in the case of large side rake angle. The traversing force was equal to or larger than the tangential force in the case of small side rake angle and was not so changeable at the cutting speed of about 400 m/min. At a high cutting speed of 800 m/min, however, it increased rapidly, increasing more distinctly with the rise of side rake angle. The tangential forces for alusil was not so large compared with other aluminium alloys, but the wear of the tool was large, becoming more distinct with the rise of cutting speed. Therefore, very slow cutting speed must be chosen in the case of high speed steel tool. On the other hand, there seems to exist no troubles in connection with cut surface and chip formation.

(Received December 1, 1965)

I. 緒 言

珪素 20% を含む高珪素 アルミニウム 合金鋳物はいわゆるアルジルと称され、最近開発されてきた新しい鋳物材料である。アルミニウム合金鋳物の JIS 規格の改訂の際にも新設合金として提案されたが、時期早々とする判断によつて次回まで持越されはしたものの、現在のところ年間約 38 t の使用量が推定されるように需要が次第に大きくなつてきている⁽¹⁾。すなわち、アルミニウム合金中で熱膨張係数が最も低いものの一つであること、耐摩耗性が十分であることおよび高温強度がかなり大きいことなどの特徴もあり、ピストン、シリンダー・ブロック、ブレーキ・ドラム

などに使用されつつある。したがつて、その特性についても各方面で検討されており、各種鋳造条件が機械的性質におよぼす影響も次第に明らかにされてきた⁽²⁾。しかし、本合金鋳物の機械加工性についてはまだ十分な資料もなく、しかも加工現場では種々問題があるようにもきいている。著者らはさきに珪素 1~30% 範囲のアルミニウム-珪素合金鋳物について旋削被削性⁽³⁾および孔明け被削性⁽⁴⁾を検討し、加工性におよぼす珪素の影響として珪素添加量が増加するにしたがつて切削抵抗は次第に減少し珪素量 10~30% ではほぼ一定の切削抵抗になることを示した⁽⁵⁾が、津田、小野は高珪素合金鋳物でも改良処理を施したものでは

** (社)軽金属協会 (Japan Light Metals Society, Tokyo)

*** 静岡大学工学部機械工学科 (Department of Mechanical Science, Faculty of Engineering, Shizuoka University, Hamamatsu)

* 1965 年 10 月本会九州大会に発表

(1) 森永: 鋳物, **37**, 5 (1965), 442.

(2) 森永: 新しいアルミニウム合金鋳物講習会テキスト (軽金属協会, 全日本総合鋳物センター), (1965), 99.

(3) 財満, 飯尾, 佐野: 鋳物, **37**, 1 (1965), 57.

(4) 財満, 加茂, 桜田: 鋳物, **37**, 2 (1965), 108.

(5) S. Zaima: Proc. 8th Japan Cong on Test. Mat. (1965), 84.

旋削の際にかえつて切削抵抗が大きく上昇することを報告している⁽⁶⁾。

本報においては現用の高珪素アルミニウム合金アルジルを対象として旋削試験を実施し、切削抵抗、工具摩耗、切削仕上げ面、切り屑状況などの諸点より被削性を検討したのでその大要を報告する。

II. 試 料

アルジルのピストン鑄造材 (直径約 102 mm ϕ) を T5 処理 (190°C 8 hr 保持) したものを切削試料とした。その化学成分は Table 1 のように珪素 22.5% を含む過共晶合金で、初晶珪素の微細化剤としてはニューアルミン No. 220

Table 1 Chemical compositions of specimen used.

	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mg (%)	Ni (%)	Cr (%)	Ti (%)	Al (%)
Alusil	22.5	0.56	2.25	0.48	0.28	0.54	0.42	bal

Photo.1 Microscopic structure. ($\times 500 \times 3$)

によつたもの⁽⁷⁾である。その顕微鏡組織は Photo.1 のように初晶珪素は板状に微細化しているが、微小硬さ (試験荷重 100 g) を求めてみれば板状珪素の部分はビッカース硬さ $H_v = 790 \text{ kg/mm}^2$ 、地の部分は (小さな珪素の結晶部分を含んでいるが) $H_v = 125 \text{ kg/mm}^2$ となり、柔かい基地に非常に硬さの高い微粒が多量散在した組織であることがわかる。このことが後述のような加工の際の種々の大きな困難を伴う原因となるものと考えられる。なお、マクロ的な普通の硬さ測定法によればビッカース硬さ (試験荷重 10 kg) $H_v = 130 \text{ kg/mm}^2$ となり、せん断強さは $\tau = 25 \text{ kg/mm}^2$ とアルミニウム合金としては比較的高い値を示している。

Table 2 Tool dimension.

Top rake angle	0°	Side cutting edge angle	0°
Side rake angle	0°, 10°, 20°, 30°	End cutting edge angle	8°
Front clearance angle	7°	Nose radius	0 mm
Side clearance angle	7°	Setting angle	90°

(6) 津田, 小野: 鑄物, 36, 9 (1964), 138.

(7) 商品名 (赤燐と微細化剤), 小木曾鑄材研.

III. 実 験 要 項

1. 使用機械および工具

OKK-RAMO 型高速精密旋盤 (主軸回転数 55~2500 rpm, ベット上の振り 370 mm, 5.5 kW) を使用し, 工具は Table 2 に示す諸元をもつ超硬合金 (G 2) 製片刃バイト (12 mm²) で横すくい角を 0~30° の間で変化した。またバイト材質をかえて同一諸元の高速度鋼 (SKH 4) 製片刃バイトも使用した。

2. 切 削 条 件

切削速度は超硬バイトの場合 $V = 100 \sim 800 \text{ m/min}$, 切り込み $t = 1.0 \text{ mm}$, 送り $f = 0.06 \sim 0.25 \text{ mm/rev}$ の範囲で適宜切削条件を変化した乾式切削によつた。高速度鋼バイトでは切削速度を $V = 40 \sim 100 \text{ m/min}$ とかなり落す必要があつた。

3. 切 削 抵 抗 の 測 定

切削抵抗の測定には Fig. 1 のようにひずみゲージを貼り付けた円板状バイト保持具に, バイトを取り付けた工具動

Fig.1 Tool dynamometer.

力計によつた。片刃バイトを使用したので切削抵抗は主として主分力と送り分力の 2 分力を測定した。

IV. 切 削 抵 抗

Fig. 2 は超硬バイトを使用した場合の切削抵抗に対するバイト横すくい角 θ , 切削速度 V および送り f の影響を示すものである。図中, 上段は主分力 T , 下段は送り分力 F の変化を示す。

これからみれば主分力は横すくい角が大きくなるにしたがつて低下するが, 切削速度の上昇に対してはその低下の割合は少なく, とくに横すくい角が大きい場合の低下はわ

ずかである。しかし, 送り分力はアルミニウム合金の切削でも普通には主分力の 30~50% 程度の値であるが, たと

例えばアルミニウム-珪素合金鋳物、アルミニウム-銅合金鋳物などで添加成分の少ない場合には主分力と四敵するかま

$t=1.0\text{ mm}$, $f=0.13\text{ mm/rev}$ で $\theta=10^\circ$ および 20° ではそれぞれ $T=12\text{ kg}$ および 10 kg 程度であつた⁽³⁾のに対し、

改良処理をした本実験では $T=8\text{ kg}$ および 6 kg と小さくなっている (ただしバイト諸元は等しいが、前者の場合高速度鋼バイト、後者では超硬バイト)。

つぎに、アルミニウム合金の被削性を検討する際の正味切削馬力を求める試み⁽¹⁰⁾にしたがつて、材料の単位体積当りの刃物にかかる正味切削馬力 $U\text{ HP/cm}^3$ を次式で求めてみた。すなわち、 T =主分力 kg , V =切削速度 m/min , f =送り mm/rev , t =切り込み mm とすれば

$$U = T \cdot V / (75 V \cdot f \cdot t) = T / (75 f \cdot t) \quad (1)$$

その結果は Fig.3 のようになり、切削速度が $V=100\sim 400\text{ m/min}$ と低い間は横すくい角が大きいほど正味切削馬力も少なくてすみ、かつ切削速度も大きい方が正味切削馬力も少ないが、 $V=800\text{ m/min}$ となれば横すくい角が $\theta=20^\circ\sim 30^\circ$ と大きい方が $\theta=0^\circ\sim 10^\circ$ と小さい場合に比べて正味切削馬力は大い。また、送りは大きい方が正味切削馬力は小さくなる。高速切削では横すくい角は $\theta=0^\circ\sim 10^\circ$ と小さい方がよく、低速切削の際は $\theta=20^\circ\sim 30^\circ$ と大きい横すくい角が有利であることを知る。

Fig.2 Influence of cutting conditions on cutting resistance in the case of G2 side tool.

たはそれ以上の値を示した⁽⁸⁾。ここでも横すくい角が小さい場合に送り分力は主分力と同等以上の大きさを示す。また、 $V=400\text{ m/min}$ 程度の切削速度までは切削速度による送り分力の変化は少ないが、 $V=800\text{ m/min}$ の高速切削になると送り分力の値は急激に上昇し横すくい角が大きいほどその変化は著しい。さきに行なつた実験によるとアルミニウム展伸材の切削で超硬バイトと高速度鋼バイトを比較した際にも、前者は後者に比べてとくに送り分力が大きくなる傾向をとつたこと⁽⁹⁾に矛盾しない。

アルミニウム合金展伸材では本実験範囲程度の切削速度、切り込み、送りでは切削速度にかかわらず切削抵抗とくに主分力はほぼ一定の値を示した⁽⁸⁾が、本実験では横すくい角 $\theta=0^\circ\sim 10^\circ$ で送りが大きい $f=0.13\sim 0.25\text{ mm/rev}$ では切削速度の上昇とともに多少主分力は減少するようであつた。しかしその程度も小さく、切削速度によつて主分力の変化が少なうすれば同一諸元のバイトで切り込み、送り、横すくい角を等しくして主分力の値を比べることが出来る。たとえば改良処理をしないアルミニウム-20%珪素合金の主分力は

Fig.3 Relation between unit net horsepower and feed in the case of G2 side tool.

V. 工 具 の 摩 耗

前述のようにアルジルは柔かい基地の部分にきわめて硬い微粒が混在する組織の状態をとるため、他のアルミニウム合金鋳物にはみられない困難が切削の際生ずる。すなわち、切り屑がすくい面にそつて排除される際、この硬い微粒粒子がバイトすくい面を高速度で擦過することにより工

(8) 財満：軽金属情報，427 (1965)，62.

(9) 財満，飯尾，加茂：軽金属，15,71 (1965)，170.

(10) O.W.Boston and W.W.Gilbert：Trans. ASME, 79,4 (1957), 909.

具摩耗がはなはだしくなる。たとえば **Photo. 2** にその実態を示す。写真は高速度バイト (SKH 4) および超硬バイト

あるかも知れない。

上述の片刃バイト以外の剣バイトでも溶着物様の異物が

Photo.2 Worn tool surface after continuous cutting.

(G 2) のそれぞれの切削速度における摩耗状況を示すが、それぞれ上段はすくい面摩耗、下段は逃げ面摩耗を示す。とくに超硬バイトでは逃げ面に溶着物様の異物が付着し、高速切削になるほどその状態がはなはだしくなるが、このことが送り分力の過大な増加の原因と考えられるかも知れない。

切削時間と工具摩耗状況を逃げ面摩耗幅で求めてみれば **Fig. 4** のようになる。切削速度が上昇すれば急激に工具摩耗が認められるようになり、超硬バイトでの $V=800$ m/min, 400 m/min 程度の切削速度は高速度鋼バイトではそれぞれ $V=100$ m/min, 70 m/min に相当する程度の摩耗状況を示すことがわかり、高速切削がアルジルでは工具寿命の点よりみて不利であることになる。なお、アルジルでは高速度鋼バイトの低速切削についての検討も有利な面が

Fig.4 Influences of cutting speeds on wear of tool.

刃先に付着することは **Photo.3** よりも知ることが出来る
(これは構成刃先の1種とも思われるが、構成刃先は切削

めらかな仕上げ面が得られたことになった。 **Photo.5** のよ
うに高速度鋼剣バイトを使用すれば超硬バイトの場合と切

Photo.3 Various aspects of tool tips after cutting.

に因与するので仕上げ面粗さの劣化をまねくはずである。
しかしここでは後述のように仕上げ面粗さはあまり悪くない)。

VI. 切 削 仕 上 げ 面 お よ び 切 り 屑 状 況

前述の改良処理を施さないアルミニウム-珪素合金鋳物では切削速度が遅いほど珪素量の多いものは良好な面が得られにくく、バイトの送りマークから求めた理論的粗さよりかなり大きな粗さを示した。しかし、アルジルではそれに比べ切削仕上げ面は全般的に良好であつたので、触針型の大越式表面粗さ試験機によらず NF 粗度計による粗さ測定を行なつた。NF 粗度と触針式の粗さ測定法による粗さ(最大粗さ) H_{max} との間には実験的に

$$(NF \text{ 粗度}) = 80 \cdot H_{max} \quad (2)$$

なる関係が与えられている⁽¹¹⁾ので、ここでは仕上げ面粗さ H_0 を $(NF \text{ 粗度})/80$ で表示して **Fig.5** を得た。工具形状より送りマークによる仕上げ面粗さを求めれば送り $f = 0.06, 0.13$ および 0.25 mm/rev に対して $H_{max} = 7.0, 16.0$ および 33.5μ 程度になるべきにもかかわらず図のように粗さの値はきわめて小さい。その表面状況をみればたとえばバイト横すくい角 $\theta = 20^\circ$ (超硬バイト) の場合の切削速度と送りの関係を示せば **Photo.4** のようになり、組織がきわめて硬さの高い珪素微粒子を多分に含むためであるか、あるいはバイト先端に付着する溶着物様の異物(1種の構成刃先*)のためか、バイトの送りマークの山頂が欠けたしかも擦過条痕が多く認められる。このため見掛け上な

Fig.5 Relation between surface roughness and cutting speed in the case of G 2 side tool.

* 普通、構成刃先は連続型切屑など発生する場合に多く発生し、非常に硬さの高い値を示し、かつ切削に因与するが、この場合、粉状のせん断切屑が発生した跡に溶着物様の不定形異物が付着した格好をとり、いわゆる酸化生成物[たとえば W. König: Maschinenmarkt., 71, 19 (1965), 23 など]ともみられる。この異物のため仕上げ面粗さが劣化するならば構成刃先に近いものであり、バイト先端の欠損のための面の劣化ならば酸化生成物と考えられるが、両者の混合したものともみたい。

(11) 福島: NF 粗度計, 19(1951), 理学電機。

Photo.4 Cut surfaces under various feeds and cutting speeds. (side rake angle: $\theta=20^\circ$)

Photo.5 Cut surfaces under various forms of tools.

Feed 0.25 mm/rev

Photo.6 Aspect of chip formation under various feeds and cutting speeds (side rake angle $\theta=20^\circ$)

削速度は異なるが、送りマークが明瞭にのこされるので仕上げ面粗さは比較的大きくなる（この場合も Photo.3 のように構成刃先とみられる溶着物様の異物は発生している。ただし、送り $f=0.13$ mm/rev, 切り込み $t=1.0$ mm）。

また、Photo.4 に対応した条件での切り屑状況を示せば Photo.6 のようになり、いずれの場合も細かく分断されたせん断型切り屑が得られ、切り屑処理にてこずるような連続型切り屑は認められなかった。

VII. 総 括

以上、アルジルのピストン材について主として超硬バイトを使用して旋削試験を実施した結果、

1. 切削抵抗のうち主分力は改良処理を施さないアルミニウム-珪素合金鋳物と同程度でアルミニウム合金中では比較的低い値を示し、切削速度の上昇に伴ない多少その値は低下する。しかし、送り分力は切削速度が比較的低い場合でも主分力と同程度に大きい値を示し、切削速度が

$V=800$ m/min と上昇すれば送り分力はきわめて大きい値を示す。

2. 正味切削馬力からみれば切削速度が $V=100\sim400$ m/min と低い間はバイト横すくい角は $\theta=30^\circ\sim40^\circ$ と大きい方がよく、 $V=800$ m/min と高速になれば $\theta=0^\circ\sim10^\circ$ と横すくい角は小さい方が有利であつた。

3. バイト逃げ面に溶着物様の 1 種の構成刃先が付着し、すくい面上での擦過による工具摩耗がはなはだしく、切削速度が上昇するにつれて一層はなはだしくなる。これに対し高速度鋼バイトを使用すれば可能な切削速度は超硬バイトに比べて極端に小さくなるが、 $V=40$ m/min のような低速切削を行なえば工具摩耗の度合は少ない。

4. 切削仕上げ面は比較的良好で問題は少ないようである。

5. 切り屑発生状況も細かく分断されたせん断型切り屑で処理に困難な連続型切り屑の発生は認められなかった。

本報はその費用の一部を文部省科学研究費(各個研究)によつた。付記して謝意を表する。