ローエックスの被削性について*

財満 鎮雄** 飯尾 政次**

Shigeo Zaima and Masaji Iio: On the Turn-Machinability of Lo-ex. It seems that there are many problems as to the machining of lo-ex which is an aluminium alloy developed as a piston material, because the alloy contains eutectic silicon which is effective to make small an expansion coefficient and nickel which is added to prevent softening at high temperatures. Therefore, the machinability of lo-ex is mainly discussed here in the light of cutting resistance, tool life, roughness of finished surface, built-up edge and chip treatment in turning. The results obtained are as follows. Lo-ex shows a dispersion of small hard crystals in the structure of soft matrix and is not so hard in appearance. In turning lo-ex the wear of the tool is unusually large and becomes more distinct with increase in cutting speed. But, compared with alusil in which much harder small crystals are dispersed than in the case of lo-ex, the wear of the tool is not so large. Using a carbide tool, the cutting resistance decreases with increase in cutting speed and, beyond some cutting speed, the cutting resistance shows constant values regardless of the cutting speed as can be observed for ordinary aluminium alloys. However, in case of the high speed steel tool, the cutting resistance shows a minimum value with rise in the cutting speed and then the cutting resistance increases again with a further increase in cutting speed. In this case, in the low speed cutting of the high speed steel tool, the built-up edge adheres largely on the tool face and the growth of built-up edge decreases with increasing cutting speed, augmenting adhesions like an oxidated deposit to the tool flank. And the surface roughness in the cutting resistance condition corresponds well to the change of cutting resistance, so the surface using a carbide tool is better than the surface using a high-speed steel tool.

(Received October 22, 1966)

I. 緒 言

ローエックスは周知のようにピストン材として発達したもので、アルミニウム合金のうちでは熱膨張係数が小さく、高温強度と耐摩耗性のあることがその特徴である。したがって、膨張係数の小さいことに有効に作用する共晶珪素、高温軟化防止のために添加されたニッケルなどを含有するため、その機械加工性については問題があるようである。さきに報告した普通鋼材にはみられないような激しい工具摩耗を示すアルジル⁽¹⁾に近い程度の工具摩耗を呈する材料であるとするものもあり、逆にアルジルに比べれば被

削性の点ではなんら問題とするにあたらないとするものもあり、巷の評価はまちまちで今のところその被削性については十分明らかではないといえる。

本報では主として旋削における被削性について切削抵抗、工具寿命、切削仕上げ、構成刃先の生成および切屑処理などの点よりローエックスの実態を検討するを目的とした研究の概要を述べる。

II. 試 料

外径 164 mm ϕ 、内径約 100 mm ϕ 、長さ 200 mm の円筒状に金型鑄造した Table 1 の化学成分をもつアルミニウム鋳物用合金 8 種 A (AC 8 A-F) 相当のローエックス材を切削試料とした。

試料のビッカース硬さ (10 kg 荷重) は Hv=77.3、剪断強さ $\tau=12.9$ kg/mm² とアルミニウム合金鋳物の中では普通

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

* 1966 年 10 月本会尼崎大会に発表

(1) 森永, 財満, 飯尾: 本誌, 30 (1966), 463.

程度の値を示すものであったが、20 g 荷重で微小硬さ測定を行なえば $H_v = 30 \sim 310$ の範囲にかなり大きい硬さのば

Table 1 Chemical composition of used specimen.

Cu (%)	Fe (%)	Si (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	Zn (%)	Al (%)
1.01	0.20	11.70	1.04	tr.	1.68	nil.	bal.

a. $H_v = 81.4$ b. $H_v = 100.1$ c. $H_v = 38.6$
d. $H_v = 72.5$ e. $H_K = 231.0$ f. $H_K = 69.3$
g. $H_K = 434.2$ h. $H_K = 122.5$ i. $H_K = 104.8$

Photo.1 Micro-hardness in Vickers hardness H_v (20 g) and Knoop hardness H_K (20 g).

らつきが認められた。よつて、その組織を検鏡しながら微小硬さ測定を実施したが、その実例を示すと **Photo.1** である。写真左はビッカース硬さ (20 g) H_v 、右はヌープ硬さ (20 g) H_K の測定圧痕を示すが、写真にみるように Al_3Ni のようなニッケル化合物と思われる g 部分では $H_K = 434.2$ とかなり高い硬さを示し、珪素がひつかかっているとみられる e 部分も $H_K = 231.0$ と硬く、 Al_3Ni あるいは Y (Al-Cu-Ni) などのようなニッケル化合物の混った組織では b 部分で $H_v = 100.1$ 、d 部分で $H_v = 72.5$ 、f 部分で $H_K = 69.3$ と場所によつて硬さも多少異なり、また、 Mg_2Si が多少混った a 部分で $H_v = 81.4$ 、h, i 部分などでも $H_K = 122.5 \sim 104.8$ などとなり、基地部分と思われる c では $H_v = 38.6$ と柔かい値を示している複雑な組織であることが判る。アルジルではこのような柔かい基地に微小な板状珪素が硬い組織として混在しているため、切削に際し高い切削抵抗、激しい工具摩耗を呈し、とくに高速切削でいちぢるしかつたが、ローエックスの場合も板状珪素ほど高い硬さではないにしても、柔かい基地に比較的硬い種々の微小組織が混在しているため見掛上はさほど硬くないにもかかわらず、切削とくに高速になると問題となることが予想される。

III. 実験要項

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、使用工具としては前報⁽¹⁾と同一諸元の刃先形状 0- θ -7-7-8-0-0 をもつ

高速度鋼 (SKH 4) 製片刃バイト (12 mm $\square$) および超硬合金 (G 2) 製片刃バイト (12 mm $\square$) を採用し、横すくい角を $\theta = 0^\circ \sim 30^\circ$ の範囲で 4 種類に変化した。

切削速度は $V = 115 \sim 1250$ m/min とかなり広い範囲に変化し、かつ高速の範囲まで採用したが、これはカイザーアルミニウム⁽²⁾などでアルミニウム合金の切削には切込みの少ないときは高速度鋼バイトでも $V = 1000$ m/min 程度の高速切削を推奨していることを考慮してである。送りは $f = 0.06 \sim 0.26$ mm/rev の範囲で 3 種類に変化し、切込みは $t = 1.0, 2.0$ mm とした。これらの条件を適宜組合せて切削条件を変化した乾式切削である。切削抵抗の測定には前報でも用いた円板状バイト保持具にバイトを取付けた工具動力計⁽¹⁾により、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

切削速度 V と切削抵抗 (主分力 T , 送り分力 F) の関係は切込み $t = 1.0$ mm の場合 高速度鋼バイトでは **Fig.1**, 超硬

Fig.1 Relation between cutting speed and cutting resistance in the case of SKH4-tool.

合金バイトでは **Fig.2** のようになる。従来のデータからみれば、アルミニウム合金では展伸材でも鋳造材でも切削速度が遅い場合には切削速度の上昇とともに切削抵抗は低速

(2) *Machining Kaiser Aluminium*, Kaiser Aluminium & Chemical Sales, Inc., (1955).

下し、切削度が $V=100\sim 200$ m/min 以上になると切削速度のいかにかわらず切削抵抗はほぼ一定の値を示し、

Fig.2 Relation between cutting speed and cutting resistance in the case of G2-tool.

切削抵抗に切削速度依存性がなくなる領域があることを知った⁽³⁾が、本報では高速度鋼バイトの場合には必ずしもそのようにはならず送り、バイト横すくい角にかかわらず切削速度の上昇にともない $V=450$ m/min 付近で切削抵抗は極小値を示した後、切削速度の上昇に応じ再び切削抵抗は上昇し、その上昇の度合は送りが大きいほどとくに送り分力の増加が著しい。 $V=800$ m/min 以上の高速切削になると送り分力が主分力と同等あるいはそれ以上の値となる。しかし、超合金バイトでは送り、横すくい角にかかわらず $V=450$ m/min 程度までは切削速度の上昇とともに切削抵抗は次第に減少し、それ以上の切削速度ではほぼ一定値をとって切削抵抗に切削速度依存性が認められないようになり、従来の傾向と一致した。ただし、詳しくみれば送りが $f=0.26$ mm/rev と大きい場合高速切削で切削抵抗にやや上昇気配が観察されないでもない。そして高速度鋼バイトでそれぞれの場合極小値をとった $V=450$ m/min 付近の

(3) たとえば、財満：軽金属情報，426(1965)，49；427(1965)，2.

切削抵抗の値と、超合金バイトの場合の一定の切削抵抗値とは対応した値となつている。また、両バイトを通じて送りが大きくなるにつれて横すくい角の影響も現われ、横すくい角が小さい場合ほど切削抵抗は大きい。

ここで横すくい角 $\theta=0^\circ$ の高速度鋼バイトでたとえば切削速度 $V=2000$ m/min，送り $f=0.26$ mm/rev，切込み $t=2.0$ mm の高速切削を実施した後のバイト刃先を示せば Photo. 2 のようになる。すくい面上に構成刃先のような付着物のほか、すくい面ととくに逃げ面に酸化物のような付着物⁽⁴⁾が付着しているのが認められる。このような現象は前述の Fig. 1~2 の場合にも認められ、まとめると Fig. 3 のようになる。すなわち、明らかに構成刃先と認められるものは切削速度の低い場合にすくい面上で明瞭で、とくに超合金バイトの場合が高速度鋼バイトの場合より構成刃先の生成も顕著であるが、両者の場合ともに構成刃先の生

Cutting speed $V=2000$ m/min
Feed $f=0.26$ mm/rev
Depth of cut $t=2.0$ mm

Photo.2 Aspects of SKH 4-tool tip after high speed cutting.

Side rake angle (deg)	Feed	SKH4-tool				Cutting speed V (m/min)				G2-tool			
		0	300	600	900	1200	0	300	600	900	1200	0	1200
0°	0.06mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.13mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.26mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
10°	0.06mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.13mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.26mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
20°	0.06mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.13mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.26mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
30°	0.06mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.13mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.26mm/rev	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Remark	Built-up edge on tool face												
	Deposit material on tool flank												

Fig.3 Observation of built-up edge and deposit material.

成が認められる。切削速度が上昇し $V=500\sim 600$ m/min になると、両者の場合とも構成刃先の生成はほとんど認められなくなるが、それ以上の切削速度になると高速度鋼バ

(4) たとえば、W.König: Maschinenmarkt., 71, (1965), 23 などではこのような付着物を酸化生成物としている。

イトでは逃げ面に酸化物よりの付着物がつきはじめ、さらに $V=1250$ m/min と高速になると再びすくい面上に構成刃先と酸化物よりの付着物の混合したものが付着しはじめる。一方、超硬合金バイトでは $V=600$ m/min 以上の切削速度でも逃げ面にもすくい面にもなら付着物は認められず、 $V=1250$ m/min の高速切削になつて逃げ面およびすくい面にわずかの付着物が認められるようになる。これらの現象は Fig.1~2 の切削抵抗の変化と対応し、バイトに付着物の出現が切削抵抗の上昇と関連しているように思われる。

V. 切 削 仕 上 面

大越式表面粗さ試験機(触針式, 横 50 倍, 縦 500 倍に拡大)を使用して前述の Fig.1~2 の切削条件における表面粗さ H_0 を求めれば, 最大粗さ表示方式⁽⁵⁾にしたがつて Fig.4 を得た。触針の先端半径 (10 μ) を考慮しても, バイトの

Fig.4 Relation between cutting speed and surface roughness.

角は小さな方が仕上面によい。また, 高速度鋼バイトでは大域的にみると切削速度 $V=400\sim600$ m/min と切削抵抗の低い領域で仕上面粗さ H_0 は比較的良好で, 切削速度がそれ以上に上昇すると仕上面粗さは再び劣化する。超硬合金バイトでは切削抵抗に切削速度依存性が認められなくなる $V=400\sim600$ m/min 以上では仕上面粗さも良好ではば変化しない。以上のように切削抵抗の変化傾向と対応し, 切削抵抗の小さい領域で仕上面粗さはよく, 切削抵抗の大きいところで仕上面も劣っている。Galloway によればアルミニウム合金鋳物を超硬合金バイトで切削する際 $V=600\sim1200$ m/min の範囲で仕上面は良好で, それより遅い切削速度でも速い場合でも仕上面は悪くなるとした⁽⁶⁾が, この場合高速度鋼バイトで良好な結果を得る切削速度範囲が狭いが同じ傾向をとり, 超硬合金バイトでは実験条件の切削速度範囲も 1500 m/min まではいかなかつたためか, 明確な傾向はつかめなかつた。

VI. 工 具 摩 耗

Photo.1 のように軟かい基地に硬い微小組織が分散していることを考えれば, 前報のアルジルの例を見てもとくに高速切削の際の工具摩耗が無視できないことが予想できるので, 工具摩耗について検討を行なつた。Photo.3 は高速度鋼バイト(横すくい角 $\theta=0^\circ$) で切込み $t=2.0$ mm, 送り $f=0.26$ mm/rev の下に切削速度を $V=400\sim1250$ m/min の範囲で連続切削した場合のすくい面および逃げ面の摩耗状況を示す。

このようなバイトの摩耗状況をすくい面の摩耗巾 b_0 および逃げ面の摩耗巾 b で表示して, それぞれの横すくい角についてまとめると Fig.5 のようになる。これからみれば横すくい角が大きくなると, すくい面摩耗も逃げ面摩耗もやややくなり, 切削速度が比較的遅いときにはすくい面

Cutting speed	1250 m/min	950 m/min	700m/ min	600 m/min	400 m/min
Cutting time	0.5 min	1.0 min	3.0 min	4.5 min	11.8 min
(Worn surface) Face					
(Worn surface) Flank					

SKH 4 side tool, side rake angle $\theta=0^\circ$. Feed $f=0.26$ mm/rev, depth of cut $t=2.0$ mm.

Photo.3 Worn tool surface after continuous cutting.

送りマークより求めた表面粗さは送り $f=0.06, 0.13$ および 0.26 mm/rev に対し $H_{\max}=7.0, 16.0$ および 34.0μ 程度になるべきであるが, 高速度鋼バイトでは送り $f=0.06\sim0.13$ mm/rev のとき横すくい角が $\theta=30^\circ$ と大きいとかなり粗い面が得られているようで, 全般的にみて横すくい

摩耗が逃げ面摩耗より著しいが, 切削速度が上昇すれば逆に逃げ面摩耗が盛んになるようである。よつて, すくい面摩耗巾 b_0 あるいは逃げ面摩耗巾 b がそれぞれ 0.6 mm に

(6) K. Krekeler: *Zerspanbarkeit der metallischen und nichtmetallischen Werkstoffe*, (Springer - Verlag, 1951), 48.

(5) 日本工業規格 (JIS B 0601) による。

なるまでの切削時間を工具寿命 T_f として、たとえば切込み $t=2.0$ mm, 横すくい角 $\theta=0^\circ$ の高速度鋼バイトにつ

Fig. 5 Relation between tool wear and cutting time in the case of SKH 4-tool.

Fig. 6 Relation between cutting speed, tool life and chip amount in the case of SKH 4-tool.

いて切削速度 V との関係を求めれば Fig. 6 のようになり、すくい面摩耗および逃げ面摩耗についてそれぞれ次式が成立する。すなわち、

$$V \cdot T_f^{0.35} = 971 \quad (1)$$

$$V \cdot T_f^{0.37} = 1040 \quad (2)$$

また、すくい面摩耗巾 $b_0=0.6$ mm になるまでの切屑量 A (kg) でバイトの切削能率を表わすとすれば Fig. 6 のように

$$V \cdot A^{0.49} = 1082 \quad (3)$$

が成立した。

以上のように切削時間の経過とともに工具摩耗が生ずるので、摩耗の進行とともに切削抵抗も次第に変化を受けるのは当然で、Fig. 1~2 に示したような安定した値を最早や示さないようになる。たとえば高速度鋼バイトでの一例を Fig. 7 に示すが、図中各標点の傍に記した時間は連続切削時間であり、横すくい角にかかわらず切削時間の経過と

ともに切削抵抗は次第に増加し、とくに送り分力の増大がはなはだしいことが多い。超硬合金バイトではこの例ほど甚だしくはないが、切削時間によつてすなわち工具摩耗の進行によつてやはり切削抵抗の増加が認められた。

つぎに、ローエックスの工具摩耗状況がアルジルに比べてどの程度にあるかをみるため、アルジルの場合の切削条件と同一条件、すなわち横すくい角 0° の超硬合金バイトを使用し、切込み $t=1.0$ mm での逃げ面摩耗巾 b を求めれば Fig. 8 のようになる。図にみるように、ローエックスは切削速度 $V=1250$ m/min の高速切削の場合でもアルジルの $V=200$ m/min の低速切削の場合に比べて工具摩耗ははるかに少なく、アルジルほどには激しい工具摩耗を呈する材料ではないことが判る。

Side rake angle θ	SKH 4-tool, feed $f=0.26$ mm/rev, depth of cut $t=2.0$ mm	Tangential force T (kg)	Traversing force F (kg)
0°	∞ 41 sec 60 sec 435 sec	Cutting speed 1200 m/min 700 "	41 sec 60 sec 435 sec
10°	41 sec 191 sec 398 sec	41 sec 700 "	41 sec 191 sec 398 sec
20°	41 sec 193 sec 386 sec	41 sec 700 "	41 sec 193 sec 386 sec
30°	41 sec 189 sec 395 sec	41 sec 700 "	41 sec 189 sec 395 sec

Fig. 7 Change of cutting resistance in continuous cutting in the case of SKH 4-tool.

Fig. 8 Comparison of tool wear between alusil and lo-ex.

VII. 切 屑 状 況

切屑状況をみればたとえば超硬合金バイトでは Photo. 4 のようになり、 $V=115$ m/min の低速切削では連続状のコイル型切屑であるが、切削速度が上昇すれば細かい分断型となり、 $V=1250$ m/min のような高速切削でも分断型のままで、アルミニウム展伸材の高速切削の場合のように連続型切屑とはならず、切屑処理の点ではほとんど問題となることは認められなかつた。高速度鋼バイトの場合もこれ

とほとんど大差なく、前者に比べてやや細かい分断型といえる程度であった。

Chip form G 2-tool, depth of cut $t=2.0$ mm, feed $f=0.13$ mm/rev.							
Cutting speed Side rake angle	115 m/min	120 m/min	440 m/min	640 m/min	780 m/min	980 m/min	1250 m/min
0°							
10°							
20°							
30°							

Photo.4 Chip form in the case of G2-tool.

VIII. 総 括

以上、アルミニウム 鋳物合金の 8 種 A (AC 8 A-F) 相当合金のローエックスの被削性について、旋削における切削抵抗、工具寿命、切削仕上面、切屑状況などの見地から検討した。その結果、

(1) 切削速度と切削抵抗の関係は普通のアルミニウム合金では切削速度の上昇に応じて切削抵抗は減少し、ある切削速度以上では切削抵抗はほぼ一定の値をとる傾向を示すが、本合金では超硬合金バイトではそのような一般的傾向と一致したものの、高速度鋼バイトの場合には切削速度の

上昇とともに一旦切削抵抗は低下し、その後切削速度の上昇に応じて切削抵抗は再び上昇し、中間の切削速度に切削抵抗からみた最適条件が見出せた。

(2) 切削抵抗の変化と対応して遅い切削速度ではバイトすくい面に構成刃先の生成付着が著しいが、切削速度の上昇とともに構成刃先が減少しやがて認められなくなる。しかし、さらに切削速度の上昇とともにとくに逃げ面に酸化物のような付着物が多くなり、すくい面にもそのような付着物や構成刃先のようなものが再び付着するようになる。この傾向は超硬合金バイトよりむしろ高速度鋼バイトで著しいことであつた。

(3) 仕上面状況も切削抵抗の変化と対応し、換言すれば切削速度の上昇による構成刃先の減少とともに仕上面は向上するが、工具逃げ面およびすくい面に付着物が生成されるようになると再び劣化する。この傾向は前項と同じく高速度鋼バイトで著しかつた。

(4) ローエックスは軟かい基地に硬い組織が細かく分散しており見掛け上はあまり硬い材料とはいえないが、普通のアルミニウム合金には認められないような工具摩耗を呈し、高速切削になるほど摩耗も盛んである。しかし、アルジルに比べればその程度ははなはだしくない。

(5) 切屑生成からみては分断型の 剪断切屑が多く発生し、切屑処理上問題点はない。

本報の実施に当たり試料の入手その他に社団法人軽金属協会アルミニウム科学振興委員会 切削性研究グループ (委員長森永卓一博士) の御好意に預るところ大きく、またその費用の一部は日本総合鋳物 センター 委託研究費によつた。付記して深甚なる謝意を表する。