AC5A の被削性について*

財満 鎮雄** ・ 南 立作*** ・ 山田 茂***
水谷 秀行**** ・ 鈴木 雅弘*****

On the machinability of AC5A*

UDC:669.715:539.12

Shigeo ZAIMA**, Rissaku MINAMI***, Shigeru YAMADA***,
Hideyuki MIZUTANI**** and Masahiro SUZUKI*****

In this study, it was examined that the machinability of Al-4Cu-2Ni alloy (AC5A) in turning, Ni content in the alloys was changed to three varieties within the limits of JIS (Al-1.7% to 2.3%Ni). To avoid the effects by the contents of Si and Fe in the work materials on the machinability, they were kept 0.06%Si and 0.14%Fe. Result obtained are as follows:

Cutting force was not changed by difference of Ni content in the alloys which were used in this tests and its grade was similar to the case of 7075-T6 cutting. Moreover the various tool materials made no great difference in the cutting. In the low-speed and lowfeed cutting, cutting temperature was in the range of 450K to 500K, in the high-speed cutting, however, the temperature approximately 700K regardless of the feed. It was found that the differences of tool wear aspects depend on various tool materials, namely the tool wears of SKH4 and SKH57 were relatively small, and K10 tool wear was still smaller. Also, in the low-speed cutting, built-up edge grew actively and cut surfaces were inferior, but in the high-speed cutting, the built-up edge disappeared and the cut surfaces became satisfactory. In general, chip disposal was found rather easy.

(Received May 30, 1983)

1. 緒 言

AC 5A (Al-4Cu-2Ni 合金) は耐熱性がよい Y 合金として大型のディーゼル機関用ピストン材, シリンダヘッドなどに用いられているが, 最近ビデオディスク部品のように小形, 軽量で耐摩耗性を必要とする場合に各方面で使用されてきている。しかし, その被削性に関してはほとんど知られていないようで, ニッケルを含有するため工具摩耗が激しいとするもの, 切削は容易で美しい切削面が得られるとするものなど巷の評価はまちまちである。本報では, JIS 規格の範囲内でニッケル含有量を 3 種類に変えた AC 5A について, 高速度鋼工具ならびに超硬合金工具を使用して, 旋削における被削性を切削抵抗, 切削仕上面あらさ, 切屑処理などの諸点から検討

し, Y 合金切削に関する基礎資料を得るのを目的とした。

2. 実験要項

実験に供した試料は JIS 規格 (1.7~2.3%Ni) を参考にして溶製した **Table 1** に示す 3 種類の化学成分の直径 96 mm, 長さ約 200 mm の円筒状金型鑄造材で, T6 熱処理 (793K, 4h 加熱後水冷, 473K, 5h 保持) を施したものである。AC 5A の化学成分中の不純物で切削抵抗, 工具寿命など被削性に大きい影響を及ぼすと予想されるものは鉄およびとくにけい素であり, 今回はこれら不純物の影響を除いて検討するためけい素 0.06%, 鉄 0.14% に抑えた。それらの 2~3 の機械的性質は **Table 2** に示す通りである。**Photo 1** は顕微鏡組織を示すが,

* 軽金属学会 No. 64 春期大会 (58-5-19) にて発表。

** 文化女子大学家政学部 (東京都)。Department of Domestic Science, Bunka Women's University, (Tokyo).

*** 富山大学工学部 (高岡市)。Faculty of Engineering, Toyama University, (Takaoka).

**** 中部工業大学 (春日井市)。Chubu Institute of Technology, (Kasugai).

***** 中部工業大学大学院 (春日井市)。Graduate School of Chubu Institute of Technology (Kasugai).

Table 1 Chemical compositions of specimens.

Material	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Ti (%)	Mn (%)	Mg (%)	Ni (%)	Zn (%)	Al (%)
AC5A-1	0.06	0.14	3.40	0.01	—	1.01	1.65	0.01	bal
AC5A-2	0.06	0.14	3.96	0.01	—	1.40	2.02	0.01	bal
AC5A-3	0.06	0.14	4.42	0.01	—	1.74	2.24	0.02	bal
AC5A (JIS)	0.6>	0.8>	3.5 4.5	0.2>	0.3>	1.2 1.8	1.7 2.3	0.1>	bal

Table 2 Mechanical properties of specimens.

Material	Tensile strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness Hv
AC5A-1	313.8	256.9	2.4	117
AC5A-2	348.1	300.1	1.4	124
AC5A-3	358.9	323.6	1.0	130
7075-T6	570.0	483.0	11.0	142

Specimen No. 1

Specimen No. 2

Specimen No. 3

10 μm 25 μm

Photo 1 Microscopic structures of specimens.

苛性ソーダで腐食したため“Y”は認められにくい
が、ニッケル含有量に応じて明灰色棒状の NiAl_3 や明灰色骸骨状の Ni_2Al_3 などが多くなっているのが認められる。
刃先諸元 $0-\theta-\pi/30-\pi/30-\pi/30-0-0$ (ここで、横すく

Fig. 1 Relation between cutting speed and cutting force in the case of AC5A-2 cutting.

い角 θ を、 $0, \pi/18$ および $\pi/9$ に変化した) を有する 4 種類の高速度鋼 (SKH 4, SKH 51, SKH 55 および SKH 57) 工具と超硬合金 (K 10) 工具を使用し、切込み $t_1=1.0 \text{ mm}$ 一定として、削り速度を $V=1, 2$ および 5 m/s の 3 種類、送り $f=0.078, 0.131$ および 0.261

Fig. 2 Comparisons of cutting force between tool classifications in the case of AC5A and 7075-T6 cutting.

Fig. 3 Relation between cutting speed and cutting temperature in the case of SKH57 tool.

mm/rev の3種類に変化し、これらの条件を適宜組合せた乾式切削を実施した。

また、アルミニウム合金のうちでは展伸材 7075-T6、鋳造材 AC 3A など難削材とみられ¹⁾、切削抵抗も比較的大きく、工具摩耗も相当に激しいので、本報では AC 5A の被削性を随時 7075-T6 材のそれと比較した。

3. 切削抵抗と切削温度

Fig. 1 は AC 5A-2 について切削条件を変えて切削抵抗 (主分力 T および送り分力 F) の変化を求めたものであるが、横すくい角 θ 、送り f と削り速度 V の関係をみれば、 θ, f, V の増加とともに T, F ともに同傾向をとり減少している。図にみるように、工具材種によって切削抵抗に差が認められ、SKH 4, SKH 57 でやや大きく、SKH 51, K10 で比較的小さい。化学成分が異なる工具で工具摩耗の進行状況も異なる²⁾ ことから考えても、切削抵抗、切削温度、切削仕上面などに差が認められることはうなずけることである。実験条件について3種類の AC 5A と 7075-T6 材の切削抵抗を各工具材毎にまとめれば Fig. 2 となり、 V の増加に対して各試料とも同傾向で切削抵抗は次第に減少し、ニッケル量が多い AC 5A-3 でやや大きい抵抗を示しているものの、この程度のニッケル量変化では切削抵抗に大きい差はみられ

Fig. 4 Relation between cutting time and flank wear.

ないとみてよい。そして、7075-T6 材の場合も AC 5A とほぼ等しい程度の切削抵抗であった。なお、顕著ではないが全般的にみてモリブデン高速度鋼系の SKH 51,

Fig. 5 Relation between cutting speed and tool life.

55で切削抵抗はやや低い傾向にあるが、Fig. 1にもみられたようにK10工具では必ずしも切削抵抗が低くみられるとは限らなかった。

工具一切屑熱電対法³⁾によってAC5A-1およびAC5A-3について切削温度 T_c を求めれば、例えばSKH 57工具の場合Fig. 3となる。 V, f の増加とともに T_c は上昇するが、 $V = 5 \text{ m/s}$ 程度になれば f の値に拘わらずほぼ700K付近の値をとるようになることがわかる。 V, f がともに小さいときには T_c は低い、 V は小さくとも f の増加とともに T_c は上昇し、 V の増加に対する T_c の上昇勾配は次第に小さくなる。また、低速切削ではニッケル量が多いAC5A-3の方がAC5A-1よりやや高い温度をとるが、 V が増加すればニッケル量に拘わらずほぼ同程度の温度を示すようになる。

4. 工具寿命

Fig. 4は各工具材を用いて $V = 5 \text{ m/s}$ 、 $f = 0.131 \text{ mm/rev}$ において切削時間 t_c と逃げ面摩耗の関係を求めたものである。逃げ面摩耗としては図中の付図に示すように、逃げ面先端の最大摩耗幅 V_B と逃げ面の平均摩耗幅 b の両者で示したが、当然の事ながら $V_B > b$ となっている。各工具材について両者の場合にほぼ似た傾向を示しているが、詳しくみれば多少異なり、AC5A-1では V_B, b ともSKH 51が最も大きい、 V_B ではSKH 4が小さい。

Fig. 6 Comparisons of surface roughness between tool classifications in the case of side rake angle $\theta = \pi/18$.

く、SKH 55, 57はその中間にあり、 b ではSKH 57が小さいようで、他はその中間にある。一方、ニッケル量の多いAC5A-3では V_B, b ともにSKH 55で大きい、 V_B ではSKH 4が小さい方で、 b ではSKH 57が比較的小さい。いずれの試料でもK10工具は非常に小さい値で、工具摩耗に対してじょうぶであることを示している。

非常に膨大な量の切削試料を必要とするため、完全な形のいわゆる $V-T_f$ 曲線はとれなかったが、実験範囲で $\theta = \pi/30$ の場合の切削時間の経過による工具寿命 T_f (この場合、 $b = 0.04 \text{ mm}$ をもって工具寿命とした)を求めればFig. 5となる。AC5A-1, AC5A-3ともに大差なく、SKH 57工具に比べてK10工具は極めて T_f が大きく、SKH 51工具では極めて T_f が小さいことが示されている。

5. 切削仕上面と構成刃先

実験条件のうち $\theta = \pi/18$ の場合に、各試料の切削仕上面あらさを最大あらさ R_{max} で表示すればFig. 6となる。各工具材種によつて同一試料でも R_{max} が異なつて

Fig. 7 Relation between cutting speed and surface roughness, optical micrographs and profiles of cut surfaces under cutting speed $V=5 \text{ m/s}$ for SKH57 tool and K10 tool.

いる。一般にアルミニウム合金では V が上昇すれば R_{max} の値は低下し、 V がある値になれば工具刃先形状から求めた理論的仕上面あらさ R_{theo} に近づき一定の値をとるといわれているが⁴⁾、Fig. 6 ではむしろ逆に V の上昇とともに R_{max} の値は増大の傾向にある。この場合、工具刃先形状から求めた理論的仕上面あらさは $f=0.078, 0.131$ および 0.261 mm/rev の場合についてそれぞれ $R_{\text{theo}}=9.6, 16.1$ および $32.0 \mu\text{m}$ 程度である。比較的 R_{max} の値の大きい部類の K10 工具と小さい値の部類の SKH 57 工具について、 V の上昇に伴う R_{max} の変化と $V=5 \text{ m/s}$ のときの切断面の実態写真、それに対応する小坂式触針式あらさ試験機によって求めた仕上面あらさプロファイル (横方向倍率 $\times 20$ 、縦方向倍率 $\times 500$) を示せば Fig. 7 となり、 R_{max} にみられたほどの差が実態写真にはみられない。すなわち、工具材種によつて一見良好な切断面とみられる R_{max} の値が小さい場合でも、工具の送りマークの山がつぶれたり、欠けたりして金属光沢も認められず、必ずしも良好な切断面とはいえないこと、むしろ R_{max} の値は大きくとも送りマークもはつきりとし、金属光沢もあつて良好な切断面といえることもあることがわかる。従つてこの場合のように仕上面の良否を R_{max} のみで取り扱うことが適切でないこともある。いま、あらさ係数 $\eta_s = R_{\text{max}}/R_{\text{theo}}$ を考えれば、 η_s が

Fig. 8 Coefficient of roughness in the case of SKH4 tool and K10 tool.

Photo 2 Quick stopped observation of built-up edge in orthogonal cutting.

1 に近い値を示す場合ほど実際の切削仕上面あらさが理論的あらさに近い良好な切削状態にあり、1 より小さい値を示す場合ほど送りマークの山がつぶれたり、欠けたりしていることを示す。Fig. 8 は K10 工具と SKH 4 工具の場合を示すが、全般的に K10 工具の方が 1 に近い値をとり、仕上面が良好なことがわかる。

工具材種によつて同一刃先形状の工具を用いても、切削仕上面あらさが異なるのは被削材と工具材の接触面における親和力に差があり、摩擦係数も異なることが大き

Fig. 9 Relation between cutting speed and surface roughness and observation of built-up edge.

Fig. 10 Optical micrographs and profiles of cut surfaces under various cutting speeds.

Material	Tool		K 10												SKH 57												
	Cutting speed	Side rake angle	1 m/s				2 m/s				5 m/s				1 m/s				2 m/s				5 m/s				
			0		$\pi/18$ $\pi/9$		0		$\pi/18$ $\pi/9$		0		$\pi/18$ $\pi/9$		0		$\pi/18$ $\pi/9$		0		$\pi/18$ $\pi/9$		0		$\pi/18$ $\pi/9$		
			Feed																								
AC 5A - 1	0.078 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.131 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.261 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AC 5A - 2	0.078 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.131 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.261 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
AC 5A - 3	0.078 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.131 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.261 mm/rev	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●

○ None ⊖ Small ⊕ Medium ● Large

Fig. 11 Observation of built-up edge for SKH57 tool and K10 tool.

Material	Side rake angle $\theta = \pi/18$									Feed $f = 0.131$ mm/rev								
	SKH 4 tool			SKH 51 tool			K 10 tool			SKH 4 tool			SKH 51 tool			K 10 tool		
	Cutting speed (m/s)			Cutting speed (m/s)			Cutting speed (m/s)			Cutting speed (m/s)			Cutting speed (m/s)			Cutting speed (m/s)		
	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5	1	2	5
AC5A-1																		
AC5A-2																		
AC5A-3																		
7075-T6																		

20mm

Photo 3 Chip form in the case of SKH4 tool, SKH51 tool and K10 tool.

Material	Tool		K 10												SKH 57																							
	Cutting speed		1 m/s						2 m/s						5 m/s						1 m/s						2 m/s						5 m/s					
	Side rake angle		0			$\pi/18$			$\pi/9$			0			$\pi/18$			$\pi/9$			0			$\pi/18$			$\pi/9$			0			$\pi/18$			$\pi/9$		
	Feed																																					
AC5A-1	0.078 mm/rev		●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.131 mm/rev		●	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.261 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
AC5A-2	0.078 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.131 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.261 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
AC5A-3	0.078 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.131 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			
	0.261 mm/rev		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			

○ Good ⊕ Suitable ● Inferior

Fig. 12 Chip disposal in the case of SKH57 tool and K10 tool.

く影響すると思われる。従つて、例えば構成刃先の生成状況にも差が認められ、例えば AC 5A-3 と 7075-T6 材の低速二次元切削の際の構成刃先生成状況を示す **Photo 2** にみるように、7075-T6 材にはほとんど認められていない構成刃先が AC 5A-3 では工具材種によつて異なつた形状の構成刃先が発生している。**Fig. 9** は AC 5A-2 で V の上昇に伴う $R_{\max}$ の変化とその場合の構成刃先の生成状況を示すが、 V の小さい領域では構成刃先の生成が旺盛で $R_{\max}$ の値も小さく、 V が上昇すれば $R_{\max}$ の値も増加して R_{theo} の値に近づき、構成刃先の発生も認められない。(ただし、 $f=0.078 \text{ mm/rev}$ と小さい送りでははつきりしていない) その実態を示せば **Fig. 10** のように K10 工具では V が上昇して $V=5 \text{ m/s}$ となれば送りマークも整然とし、極めて美しい切削面であるが、 $V=1 \text{ m/s}$ と低速切削では構成刃先のため切削面プロフィールには送りマークにかなりの乱れが入つて、切削面もよくないことがわかる。いま、各試料について構成刃先状況をまとめれば、K10 工具と SKH 57 工具の場合 **Fig. 11** となり、前述の V が上昇すると構成刃先が発生しないことがはつきり現れ、例えば K10 工具の方が SKH57 工具の場合より構成刃先の生成もやや少なく、工具材種によつて差があることもわかる。

6. 切 削 処 理

実用金属ではとくに切屑処理性が被削性を総合判定する際に重要な要因となることも多い。**Photo 3** は切屑形状の実態を示す例であるが、比較的低速切削では切屑が長く連なつて被削材、工具などからみつき、処理困難な場合も少なくないものの、 V の上昇に伴つて細かく分断され処理容易な切屑となるようである。いま、西ドイツ切削情報センタ (INFOS) の切屑形状分類^{5), 6)} を参考にして K10 工具、SKH 57 工具の場合に実験条件における切屑形状を分類すれば **Fig. 12** となる。ここで、図中切屑処理上よくない切屑として形状分類(1), (2), (3)のものを●印、(6), (7), (8)をとくに処理容易な切屑として○印、そのほかの(4), (5), (9), (10)を処理容易なものとして●印で表示したものである (ただし、本報での処理区分は前報⁵⁾ の場合とちがつて INFOS の区分に従つた)。これからみれば AC 5A の切屑処理は全般的にみて比較的良好であること、SKH 57 工具による場合より K10 工具による方が処理容易であることがわかる。

7. 総 括

以上、JIS 規格 (1.7~2.3%Ni) を参考にしてニッケル量を変化した 3 種類の AC 5A について、旋削における被削性を検討した。この場合、被削性に及ぼす不純物鉄とくにけい素の影響 (規格の許容値はそれぞれ 0.6%

以下) を避けるため けい素 0.06%, 鉄 0.14% に抑えた (規格範囲内でのけい素量の影響については目下検討中である)。結果を要約すれば、

(1) ニッケル量が多い場合にやや大きい切削抵抗を示すが、この程度のニッケル量の差では切削抵抗にはあまり大きい差はみられないとみてよく、大体において 7075-T6 材切削の場合と同程度であつた。また、全般的にみてモリブデン高速度鋼系の SKH 51, 55 の切削抵抗がやや低いようであつたが、工具材種による切削抵抗の差もあまり大きくはなかつた。

(2) 低速切削で送りも小さいときには 450~500K 程度の切削温度であるが、5 m/s 程度の高速度切削になれば送りに拘わらず切削温度は約 700K に上昇した。

(3) 工具材種によつて工具摩耗の程度に差が認められ、高速度鋼工具では高級高速度鋼 SKH 4 や高バナジウム高速度鋼系の SKH 57 に比べ、モリブデン高速度鋼系の SKH 55 とくに SKH 51 は比較的 tools 摩耗は大きい。他方、超硬合金工具 K10 はそれらに比べて極めて工具摩耗に対してじょうぶであつた。

(4) 比較的低速切削では構成刃先の生成が旺盛で切削面の $R_{\max}$ の値は低いが、送りマークの山が欠けたり、つぶれたりして良好な切削仕上面あらさとはいえない。削り速度の増加とともに構成刃先はなくなり、 $R_{\max}$ の値は大きくなつて工具刃先形状から求めた理論のあらさに近づくが、送りマークは整然とした良好な切削面となる。一般に高速度鋼工具の場合に比べて超硬合金工具による方が構成刃先の生成もやや少なく、切削面状況も良好のようであつた。

(5) 切屑処理性は全般に比較的良好で、問題とするに当らなかつたが、この場合も超硬合金工具の方がやや切屑処理性は良好であつた。

本報の実施に当り、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ご好意に負うところが大きかつた。また、中部工業大学副学長徳廣龍男教授、同学務部長稲月光氏には多大のご便宜とご激励をいただいた。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満鎮雄, 鈴木康夫, 奥島裕樹, 山田茂: 軽金属, **31**, 5 (1981), 341.
- 2) 財満鎮雄, 高辻雄三, 水谷秀行, 鈴木雅弘: 軽金属学会 No. 64 大会講演予稿集, (1983) **77**.
- 3) 財満鎮雄, 岡崎忠雄: 日本機械学会論文集, **35**, 277 (1969), 1945.
- 4) 例えば, 財満鎮雄: 軽金属, **28**, 7 (1978), 363.
- 5) 例えば, 財満鎮雄, 飯尾政次, 黄盈智, 新井浩三, 佃市三: 軽金属, **32**, 1 (1982), 3.
- 6) 例えば, 奥島啓式: マシナビリティ, **11**, 1 (1973), 1.