AC8A の被削性におよぼす Na, P の影響について

高橋 恒夫*・嵯峨 常生**・三森 友彦***

Effects of Na and P on machinability of JIS AC8A aluminum alloy.

UDC 669.715'782'5'24-14:621.9.011

TAKAHASHI Tsuneo*, SAGA Tsuneo** and MITSUMORI Tomohiko***

Turning test were conducted on JIS AC8A aluminum alloy casting to study the effects of Na and P on its machinability.

The results obtained were summarized as follows:

- (1) The cutting resistance of the specimen treated by Na was slightly higher than that of the specimen treated by P.
- (2) The roughness of the finished surface was nearly under the same conditions between the both specimens treated by Na and P. Remarkably irregular surface was found in the range of low cutting speed owing to the adhesion of built-up edge on the tool rake face and the rising of machined surface during cutting. However, the built-up edge disappeared with the increase of cutting speed and the roughness of machined surface approximated to the theoretical roughness.
- (3) The chip forms and chip treatments were nearly under the same conditions between the both specimens treated by Na and P.
- (4) The tool life for the specimen treated by P was much shorter than that for the specimen treated by Na with the increase of cutting speed.

(Received Oct. 7. 1970)

1. 緒 言

耐熱用アルミニウム合金鋳物 8 種 A (AC8A) は主として自動車用ピストンとして使用され、またディーゼル機関用ピストンにも広く用いられている。この合金は熱膨張係数の小さいこと、高温強度を有することなどが特徴で、その方面の研究は多くなされているが、被削性に関する報告^{1),2)}は比較的すくない。本研究は被削材として AC8A 合金の金型鋳造材を用い、改良処理としては現在広く採用されている Na および P による共晶微細化処理を行ない、これら Na および P が AC8A の被削性にいかなる影響をおよぼすかについて組織観察、切削抵抗、仕上面あらさ、切くず処理および工具寿命などの見地より検討した。

2. 供試試料について

試料の改良処理として Na および P の添加はそれぞれフラックスで行なった。Na 処理は市販 AF No. 21 (AF No.20 併用) を溶湯重量の 1%, P 処理では AF No.15

を溶湯重量の 0.2% 添加し、一定時間鎮静後あらかじめ 220~260℃ に予熱した金型に鋳込温度約 720℃ で鋳込み作製した。試料形状は外径 166φ, 内径 120φ, 長さ 270mm の中空円筒で、中子には CO₂ 中子を使用した。**Table 1** には試料の分析結果および AC8A と類似合金外国規格を示す。

3. 実験方法

切削試験は ML-40A 型高速精密旋盤を使用し、**Table 2** に示す刃先諸元をもつ超硬合金製バイトを用い、**Table 3** に示す切削条件のもとで乾式切削を行なった。

4. 実験結果および考察

4.1 被削材の機械的性質および組織観察

Fig. 1 に Na および P 処理材の JIS 4 号試験片による機械的性質を示す。これより機械的性質はいずれもほとんど差異は認められない。しかしかたさにおいて P 処理材の方が Na 処理材にくらべて大きな値を示している。これは処理剤の差異により、初晶 Si の晶出のしかたが

* 東京工業大学工学部 (東京都) Tokyo Institute of Technology (Tokyo)

** 東京都立工業高等専門学校 (東京都) Tokyo Metropolitan Technical College (Tokyo)

*** 東京都立大学工学部 (東京都) Tokyo Metropolitan University (Tokyo)

Table 1 Chemical compositions of specimens

	Results of analysis (wt%)							
	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Na	P	Al
Na treated	11.8	0.40	1.00	1.34	1.90	0.007	—	Bal.
P treated	11.8	0.39	1.00	1.34	1.89	—	0.004	Bal.

Chemical compositions of AC8A and similar alloys of foreign standard

Mark	Chemical comosition (wt%)									
	Si	Fe	Cu	Mg	Ni	Mn	Ti	Cr	Zn	Al
AC8A	11.0~13.0	<0.8	0.8 ~1.3	0.7~1.3	1.0~2.5	<0.1	<0.2	—	<0.1	Bal
Alcoa A132	11.0~13.0	<1.0	0.50~1.5	0.9~1.3	2.0~3.0	<0.10	<0.20	—	<0.10	Bal
SAE 321	11.0~13.0	<1.3	0.50~1.5	0.7~1.3	2.0~3.0	<0.35	<0.25	—	<0.35	Bal

影響しているものと思われる。Photo. 1 (a) および (b) はそれぞれ Na 処理および P 処理した試料の顕微鏡写真を示す。Na 処理材では共晶 Si は微細化され、Al の初晶はデンドライト状に晶出している。一方 P 処理材では Na 処理の場合よりも共晶 Si は大きく、初晶 Si が残存するが、Si および生成化合物は全面に分散する。このような初晶 Si の存在、共晶 Si および生成化合物の分散が被削性とくに工具寿命に大きな影響をおよぼすと考えられる。Photo. 2 はマイクロアナライザにより成分元素の存在を調べたもので Photo. 2(a) には Na 処理材、

Table 2 Tool dimension.

Back rake angle	0°
Side rake angle	0° 6° 12°
Back clearance angle	6°
Side clearance angle	6°
Side cutting edge angle	15°
End cutting edge angle	15°
Nose radius	0.5mm
Setting angle	90°

Fig. 1 Mechanical properties of workpieces.

(a) Na treated

(b) P treated

Photo. 1 Microstructures of specimens

Photo. 2 (b) にはP処理材を示す (撮影条件: 20 kV,

Table 3 Cutting Conditions.

Cutting speed	100. 200. 300 m/min
Depth of cut	1.0 mm
Feed	mm/rev. 0.045, 0.089, 0.178
Cutting fluid	None

0.021 μ A, $\times 400$). これらの写真より Al-Cu-Ni, Al-Fe-Ni, Cu-Ni-Mg, Al-Ni, Mg-Si などの化合物の存在が明らかである。しかしながら Na, P の添加量は微少ないため、これらの元素との化合物は明らかにすることはできなかった。

4.2 切削抵抗

切削抵抗の測定には AST 式工具動力計, ストレインメータ, ビジグラフを使用し切削抵抗は主分力と送り分

(a) Na treated

(b) P treated

Photo. 2 Electron scattering images of specimens.

力の2分力を測定した。**Fig. 2**には切削抵抗と切削速度との関係を示し、**Fig. 3**には切りくずの単位面積あたりの切削抵抗すなわち比切削抵抗と切削速度との関係を示す。これより Na, P 処理材とも切削抵抗は送りが 0.178 mm/rev のときは切削速度の増加につれて減少し、送りが 0.045, 0.089 mm/rev のときは切削速度が 100~200 m/min の間で増加の傾向を示し、200~300 m/min の間では送りが 0.089 mm/rev のとき減少し、0.045 mm/rev の場合はほぼ一定となる。なお切削抵抗（主分力および送り分力）はわずかながら Na 処理材の方が P 処理材よりも大きい。これは基質のかたさに依存しているものと考えられる。**Fig. 4**は切削抵抗と送りの関係を示

す。切削抵抗と送りの関係は両処理材ともほぼ直線関係にあることがわかる。なお切削速度が大になるほど切削抵抗は減少し、すくい角の大きいものほど切削抵抗は小さい。**Fig. 5**は切削抵抗とすくい角との関係を示し、切削速度が 100 m/min で送りが 0.178 mm/rev のとき両処理材とも他の条件のものに比べてすくい角依存性が強くあらわれている。一般にすくい角の増加による切削抵抗の減少はせん断面におけるせん断角の増加が影響をおよぼしているのである。

4.3 仕上面あらさ

仕上面あらさの形成におよぼす要因のうち主なものは、切削時の工具面への構成刃先の付着、切削時の被削

Fig. 2 Relation between cutting resistance and cutting speed.

Fig. 3 Relation between specific cutting resistance and cutting speed.

材表面のもり上がり, 工具摩耗による工具刃先形状の変化, 振動によるあらさの乱れなどが考えられる³⁾。本実験においては仕上面あらさ測定にはタリサーフあらさ試

験機(触針式, 横100倍, 縦1,000倍に拡大, 針: ダイヤモンド針, 先端半径 $R = 2.5 \mu$ 測定圧 0.1 g) を使用して測定した。工具形状は (0-6-6-6-15-15-0.5) の標準

Fig. 4 Relation between cutting resistance and feed.

Fig. 5 Relation between cutting resistance and side rake.

超硬バイトを用いた。Na および P 処理材の切削速度と仕上面あらさの関係についてえられた結果を **Fig. 6** および **Fig. 7** に示す。これより Na および P 処理材の切削仕上面あらさを比較すると P 処理材の方が低速域 ($V = 100, 200 \text{ m/min}$) では Na 処理材にくらべて仕上面状態は良好である。これは処理材のかたさの違いによる構成刃先、切削中の表面における材料のもり上がりによるものと考えられる。切削速度が $V = 300 \sim 400 \text{ m/min}$ の時には両処理材ともほぼ等しく、 $V = 400 \text{ m/min}$ では近似的に理論あらさに等しくなる。これらのことより両処理材とも構成刃先の消滅する臨界切削速度は切削速度が $V = 300 \text{ m/min}$ 以上である。

4.4 切りくず形状と切削加工状態

切りくず処理の難易は排出される切りくずの形状によ

るものであり、処理しやすいということは適当に分断された切りくずが最もよいのである。これらのことを考慮し、切りくず処理の難易を定量的に表示する一つの方法として容積係数がある。すなわち容積係数 $R = (\text{切りくずの容積}) / (\text{切りくずとなった被削材の容積})$ によつて表示され、 R が小さいほど処理が容易であるといえる。

Photo. 3 に切りくず形状を示す。これより Na, P 処理材とも容積係数より見れば、一部切削条件により排出されるコイル形、連続形の切りくずをのぞき適当に分断されているので、切りくず処理は比較的容易である。つぎに切りくずの切削加工状態について検討した結果から切削加工されて硬化した切りくずは切削速度が増すにつれて温度が上昇し、もしも回復、再結晶が認められれば、このような熱回復を生じるような条件下では構成刃先は

Fig. 6 Relation between surface roughness and cutting speed of Na treated workpiece.

Tool dimension: (0-6-6-6-15-15-0.5)

Fig. 7 Relation between surface roughness and cutting speed of P treated workpiece.

Tool dimension: (0-6-6-6-15-15-0.5)

できなくなると考えられる。したがって構成刃先の消滅する臨界切削速度を求めるための一手段としてX線回折写真より再結晶過程を究明することとした。**Photo. 4**

T.P Cutting speed (m/min) Feed (mm/rev) Rake angle	P Treated			Na Treated		
	100			100		
	0.045	0.089	0.178	0.045	0.089	0.178
0°						
6°						
12°						

は各種切削条件での切りくずのX線透過写真である。これより切削時のせん断による強加工にくらべ温度上昇の影響の方が小さいために再結晶はなされていないことがわかる。したがってこれらの結果からは構成刃先の消滅する臨界切削速度を求めるための解析ができなかつた。

4.5 工具寿命

工具形状 (0-6-6-6-15-15-0.5) の標準超硬バイトを使用し Na, P 処理材ともに $V = 200, 300$ m/min の場合は 10 min 毎に 60 min まで, $V = 400$ m/min のときは 30 min まで試験を行ない, フランク摩耗幅 (w_f) を測定し, Na および P の工具寿命におよぼす影響について検討を行なった。フランク摩耗幅測定に際しては古市⁴⁾らの報告にある刃先の付着物のみを溶解し, 超硬合金には影響を与えない溶剤としてメタノール100cc に Br 5 g の

T.P Cutting speed (m/min) Feed (mm/rev) Rake angle	P Treated			Na Treated		
	200			200		
	0.045	0.089	0.178	0.045	0.089	0.178
0°						
6°						
12°						

T.P Cutting speed (m/min) Feed (mm/rev) Rake angle	P Treated			Na Treated		
	300			300		
	0.045	0.089	0.178	0.045	0.089	0.178
0°						
6°						
12°						

Photo. 3 Chip forms under various cutting conditions

Photo. 4 X-Ray diffraction patterns of chips. (a) Ha treated (b) treated
Tool dimension: (0-6-6-6-15-15-0.5) Depth of cut: 1.0 mm, Feed: 0.089 mm/rev

割合にて溶解したものを使用した。実験結果より $V = 200, 300 \text{ m/min}$ のときは両処理材とも V_{60} のときの ω_B を比べてもほとんど変わらず (Na 処理材 $\omega_B = 0.06 \text{ mm}$, P 処理材 $\omega_B = 0.07 \text{ mm}$) わずかながら P 処理材の方が ω_B は大きい。しかしながら $V = 400 \text{ m/min}$ と切削速度が大になると ω_B は著しく増加し, V_{30} のときの ω_B を比較すると Na 処理材 ($\omega_B = 0.07 \text{ mm}$) にくらべ P 処理材 ($\omega_B = 0.2 \text{ mm}$) の方が約 3 倍の値を示した。

5. 総 括

AC8A の改良処理剤として添加される Na および P が被削性におよぼす影響について検討した結果を要約すると

- (1) 切削抵抗の面からは Na 処理を施した試料の方がわずかながら P 処理を施した試料よりも切削抵抗は大きい。

- (2) 仕上面あらさは Na, P 処理材ともほぼ同様の傾向を示した。すなわち切削中の工具面への構成刃先の付着, 切削中における材料のもり上がりなどの影響により低速域では非常に不規則な表面形状を示し, 切削速度が大となると構成刃先は消滅し, 仕上面あらさが理論あらさに近づく。
- (3) 切くずの形状および切くず処理の難易などの面からは Na, P 処理材ともにほぼ同じである。
- (4) 工具寿命は P 処理材と Na 処理材とでは, 前者の方が切削速度が大きくなるにつれて著しく短くなる。

参 考 文 献

- 1) 財満, 飯尾: 日本金属学会誌, **31** (1967), 569
- 2) 財満, 高辻: 軽金属, **19** (1969), 199
- 3) 大越, 佐田: 科学研究所報告, **33** (1957), 295
- 4) 古市, 玉村: 精密機械, **32** (1966) 558