5056合金の被削性に及ぼす鉄，けい素量の影響*

高辻 雄三**・山田 茂**
水谷 秀行***・佃 市三****

Effect of Fe, Si content on the machinability of 5056 alloy*

Yuzo TAKATSUJI**, Shigeru YAMADA**
Hideyuki MIZUTANI*** and Ichizo TSUKUDA****

Dry cutting tests of 5056 alloys which were added Fe (0.014~0.19 wt%) and Si (0.006~0.07 wt%) were made using high speed steel (SKH4) and sintered carbide tool (K10). Effect of these elements on the machinability was studied from the viewpoints of cutting resistance, built up edge, cut surface roughness, tool wear and chip disposal.

(1) Under a low cutting speed, machined surface of all specimens were rough and scaly for forming of built up edge. However, under a high cutting speed, feed marks on machined surface appeared clearly and its roughness value was low. Especially the finished surface of alloy which contains less Fe and Si approximated to the theoretical value.

(2) Following the increase of Si content which formed metallic compound Mg_2Si in this alloy, the tool wear rates on flank and rake face were rapid. In increasing Fe content which formed metallic compound Al-Fe, the rake face wear progressed rapidly. But, it was less affected with the flank wear rates.

Keywords: 5056, machinability, Fe, Si, built up edge

(Received October 16, 1985)

1. 緒 言

5056合金は2011合金に比べ耐食性，表面処理性では優れているが被削性は劣っている。とくに切りくず処理性に難点があり，工具摩耗も2011合金に比べ大きい。この工具摩耗の原因は5056合金中に不純物として含まれる鉄，けい素が組織中で Mg_2Si ，Al-Fe系金属間化合物を形成し，これらの硬質粒子による工具への引つきき作用によるもの，また工具と被削材および切りくずとの間に生じる熱的拡散によるものが考えられた¹⁾。また，ここでは鉄含有量の違いにより工具逃げ面部のアルミニウム付着状態が異なつたことから推定して，切削抵抗，仕上面あらさなども異なるものと考えられる。そこで本実験においては5056合金中に地金不純物として含まれる鉄，けい素量を変え，超硬合金工具と高速度鋼工具を用いた乾式切削を実施し，被削性への影響を調べた。

2. 実験方法

実験に供した試料の化学組成をTable 1に示す。直径200 mmに連続鋳造後500°C，4 hrの均質化処理を行い，直径80 mmに押出し，切削用試料とした。これら合金の機械的性質をTable 2に示す。鉄，けい素の含有量が多くなるにつれて，引張り強さ，硬さとも若干増大し，伸びは減少している。切削は刃先諸元0-10-6-6-6-0-0の超硬合金工具K10と高速度鋼工具SKH4を用い，乾式で行った。切削条件としては切削速度 V を60, 120, 480 m/minの3種類，送り f を0.08, 0.13 mm/revの2種類に変化させ，切込み t_1 を1.0 mmとし，切削抵抗，構成刃先の生成状況，仕上面あらさ，切りくず形状について調べた。また， $V=400$ m/min, $f=0.13$ mm/rev, $t_1=1.0$ mmの条件で，それぞれの工具とも2,000 secあまり切削を行い，一定時間ごとに工具逃げ面の平均摩耗幅 V_B を測定した。実験終了後，すくい面形状を表面あらさ計を用いて測定した。また，EPMAですくい面の観

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

*** 中部大学工学部（春日井市）。Faculty of Engineereng, Chubu University (Kasugai).

**** 昭和アルミニウム(株)（堺市）。Showa Aluminum Corporation (Sakai).

Table 1 Chemical composition of specimens (wt.%)

No.	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Ti	Al
0	0.006	0.014	0.04	4.38	0.05	0.01	bal
1	0.03	0.06	0.05	4.42	0.05	0.01	bal
2	0.04	0.19	0.05	4.40	0.05	0.01	bal
3	0.07	0.18	0.05	4.47	0.05	0.01	bal

Table 2 Mechanical properties of specimens

Material No.	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers Hardness (98N)
0	225	44	61
1	236	43	65
2	243	38	66
3	244	38	66

察を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 切削抵抗および構成刃先の生成状況

切削抵抗および構成刃先の生成に及ぼす5056合金中の

鉄，けい素の影響を調べた結果を Fig. 1 に示す。これより，合金，工具の種類による違いはほとんど認められない。切削速度による影響については構成刃先の生成と関係して切削抵抗は複雑に変化している。すなわち，切削速度が大きくなるにつれて切削抵抗が小さくなるべきところ^{2),3)}， $V=60$ m/min において構成刃先が生じたことによつて切削抵抗が減少している。

Fig. 2 Comparisons of cut surface roughness changed with tool and cutting condition.

Fig. 1 Effect of Fe, Si content on the cutting force and built up edge.

Fig. 3 Typical cut surface of No. 3 alloy at $f=0.13$ mm/rev.

Fig. 4 Typical cut surface of the specimens at $V=480$ m/min, $f=0.08$ mm/rev.

3.2 切削仕上面

超硬合金工具と高速度鋼工具を用いた各種切削条件における切削仕上面あらさ $R_{\max}$ を求めると Fig. 2 のようになる。仕上面あらさは合金および工具の種類による違いに比べて、切削速度による影響が大きい。 $V=60$, 120 m/min では構成刃先の生成による表面あらさの変

動が大きく、送りの影響はとくにみられない。しかし、 $V=480$ m/min においては仕上面あらさは小さく、送りが小さくなると仕上面あらさも小さくなっている。その表面あらさは理論表面あらさに近く、切削状態は良好である。Fig. 3 は No. 3 合金の各切削速度別の仕上面状態を示す。つぎに最も良い仕上面を示した $V=480$ m/min, $f=0.08$ mm/rev における各合金の仕上面の比較を Fig. 4 に示す。No. 0 合金の送りマークが最も明りように認められる。他の合金は表面に溶着痕があり、とくに No. 3 合金に多く認められ、鉄、けい素の含有量が多くなると仕上面状態が悪くなることが分かる。

3.3 工具摩耗

Fig. 5, 6 は各合金を K10, SKH4 工具を用いて切削したときの工具逃げ面平均摩耗幅 V_B と切削時間 t_c の関係を示している。K10 工具ではいずれの合金の場合も工具摩耗は少なく正確には評価できないが、けい素量の多い No. 3 合金の摩耗量が他の合金の場合よりも大きい。SKH4 工具では鉄、けい素量の少ない No. 0 合金の場合が最も摩耗量が少なく、けい素量あまり変わらず、鉄

Fig. 5 Relations between mean width of flank wear and cutting time in 5056 alloys cutting with K10 tool.

Fig. 6 Relations between mean width of flank wear and cutting time in 5056 alloys cutting with SKH4 tool.

Fig. 7 Profile of crater wear of K10 and SKH4 tools.

量の異なる No. 1, 2 合金の場合の摩耗量は同程度であり, No. 2 合金に比べけい素量が多い No. 3 合金が最も摩耗量が多い。以上のことからけい素量が多くなると逃げ面摩耗は大きくなるが, 鉄量が多くなっても大きくなる。これは鉄を添加することにより, 被削材中の鉄固溶濃度が高くなり, 切削中に工具主成分の鉄が被削材中へ熱的に拡散しにくくなるため摩耗が防止されると考えられた¹⁾。

Fig. 7 は各工具の合金別すくい面摩耗形状を示している。K10 工具においてはクレーターは形成されず刃先先端からすぐに摩耗が進行し, その度合は鉄, けい素量が多くなるほど大きい。SKH4 工具のクレーター幅はいずれも 0.8 mm 程度で差はないが, クレーター深さは各合金によつて異なり, No. 0 合金の場合が最も浅く, 刃先先端部もあまり摩耗していない。しかし, 鉄, けい素量の増加につれてクレーターは深くなり, 刃先先端部の摩耗が認められるようになる。このことは逃げ面摩耗はけい素量が多くなると大きくなり, 鉄量については多くなっても必ずしも大きくなかなかつたことと異なっており, 逃げ面とすくい面とでは摩耗の現象が異なっている。

Fig. 8 は各合金を SKH4 工具で切削したときのすくい面摩耗部を SEM で観察したものである。最上段の No. 0 合金の場合は刃先先端部に沿つて一定幅の摩耗していない部分が認められるが, その他の合金の場合には刃先先端部に摩耗が認められる。また, すくい面での摩耗部には切りくず流出に伴う擦過痕が明りように認められる。右側の図は左側写真の説明であつて, 以後①は切刃部, ②はクレーター中央部, ③はクレーター終端部を示し, それぞれの部分について詳細に調べた。

Fig. 9 は No. 0 合金を切削した後の工具すくい面各部

Fig. 8 General views of tool wear of SKH4 tool.

をさらに拡大し, EPMA にて分析したものである。写真①は切刃部ならびにクレーター開始部を示す。切刃部の約 $30 \mu\text{m}$ の幅の部分ではタングステン炭化物粒子は工具母材中に埋まり, また切りくず流出方向とは直角な石の研削条痕がそのまま残っていることによりほとんど摩耗していない。しかし, クレーター開始部では被削材中の硬質粒子の擦過により工具母材金属は取り去られ, 硬いタングステン炭化物粒子が浮き出ている^{4), 5)}。写真②はクレーター中央部を示すが, クレーター開始部と同様に工具母材金属部分がタングステン炭化物粒子に先立つて取り去られている。また, 写真③のクレーター終端部も同様である。EPMA 観察前に NaOH 液で付着物のアルミニウムを除去しているため, 元素分析からはアルミニウムはほとんど認められないが, 被削材構成元素であるマグネシウム, けい素が認められる。このことから, クレーター摩耗は切りくず流出に伴い硬質粒子 Mg_2Si , Al-Fe 系晶出物による引っかけ作用によるものと考えられる。Fig. 10 は No. 3 合金の場合であるが, 刃先先端部にも摩耗が認められる以外は No. 0 合金と摩耗形態はほとんど同じであり, 元素分析から, マグネシウム, けい素が認められる。したがつて No. 3 合金の場合

Fig. 9 Secondary electron and characteristic X-ray micrographs of tool wear in No. 0 alloy.
① Start of crater, ② Middle of crater, ③ End of crater

Fig. 11 Characteristic X-ray intensity on the part of SKH4 tool face.

Fig. 10 Secondary electron and characteristic X-ray micrographs of tool wear in No. 3 alloy.

① Start of crater, ② Middle of crater, ③ End of crater

合も No. 0 合金と摩耗機構は同じであると考えられる。

Fig. 11 は切刃部、クレーター中央部、クレーター終端部の線分析を行った結果を示したものである。合金中に鉄、けい素量が多くなるほどマグネシウム、けい素が多く認められ、とくにクレーター中央部、クレーター終端部に Mg_2Si , Mg_2Al_3 が多く付着しているものと考えられる。

3.4 切りくず形状

ここでは切りくず処理性の評価を西ドイツ切削情報センター (INFOS) の切りくず形状分類⁶⁾に従って検討することにした。INFOS の形状分類中、処理困難なものを●印、とくに処理容易なものを○印、そして比較的処理容易なものを○印でそれぞれ表すことにする。本実験で得られた切りくずの実態を Fig. 12 に示し、これらを前述の分類に従って整理したのが Fig. 13 である。図で見られるように切りくず処理性について鉄、けい素量に

よる影響はほとんど見られないが、SKH4 工具よりは K10 工具の方がやや良い傾向を示している。これは K10 工具の方が SKH4 工具よりも切りくずとの摩擦係数が小さいことから切りくずの流出が容易になったためと考えられる。

4. 結 言

5056 合金において、鉄 (0.014~0.19 wt%), けい素 (0.006~0.07 wt%) を種々変化させ、高速度鋼工具と超硬合金工具を用いて切削抵抗、構成刃先の生成状況、切削仕上面、工具摩耗、切りくず処理性への影響を調べた。

(1) 切削速度 60, 120 m/min では、切削仕上面は鉄、けい素量に関係なく、構成刃先の生成によって粗悪な面となる。切削速度 480 m/min になるといずれの合金も送りマークが明りように認められるようになり、とくに

Side rake angle $\theta=10^\circ$					$t_r=1.0\text{mm}$	
Material NO.	V m/min	f=0.08 mm/rev		f=0.13 mm/rev		
		K 10	SKH 4	K 10	SKH 4	
0	60					
	120					
	480					
1	60					
	120					
	480					
2	60					
	120					
	480					
3	60					
	120					
	480					

Fig. 12 General views of chips.

鉄，けい素量の最も少ない合金が良好である。

(2) けい素量が多くなると Mg_2Si 晶出物が増し，逃

Material NO.	Tool		SKH4			K 10		
	V	m/min	60	120	480	60	120	480
	θ, t_r							
	f	mm/rev	$\theta=10^\circ, t_r=1\text{mm}$					
0	0.08		●	●	●	●	●	●
	0.13		●	●	●	●	●	●
1	0.08		●	●	●	●	●	●
	0.13		●	●	●	●	●	●
2	0.08		●	●	●	●	●	●
	0.13		●	●	●	●	●	●
3	0.08		●	●	●	●	●	●
	0.13		●	●	●	●	●	●

○Good ●Suitable ●Inferior

Fig. 13 Chips disposal.

げ面摩耗とすくい面摩耗が増大する。鉄量が多くなると Al-Fe 系晶出物が増し，すくい面摩耗が増大する。しかし，逃げ面摩耗は増大しない。

参 考 文 献

1) 財満鎮雄，新井浩三，大塚良達，谷本繁美，佃市三：軽金属，35 (1985)，92.
2) O. W. Bortom and W. W. Gilbert: *Trans. of ASME*, 79 (1957), 909.
3) K. J. Trigger and B. F. ron Tunkovich: *Trans. of ASME*, 85 (1963), 365.
4) 財満鎮雄，鈴木康夫，奥島裕樹，山田茂：軽金属，31 (1981)，341.
5) 財満鎮雄，高辻雄三，奥島裕樹，山田茂：軽金属，31 (1981)，378.
6) たとえば，奥島啓式：マシナビリティ，11 (1973)，1.