研究論文

7075アルミニウム合金切削における 各種高速度鋼工具の摩耗

山田 茂*・能登谷久公*・高辻 雄三*
佃 市三**・水谷 秀行***

Wear of various high speed steel tools in
machining 7075 aluminum alloy

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

Tool wear of four different grades of high speed steel (SKH4, SKH51, SKH55, SKH57) in machining 7075 aluminum alloy given T6 treatment were examined. In order to know the wearing process, the worn rake faces were probed by EP-MA after measuring the flank wear. SKH57 tool provides the best performance in the four tools. In the case of SKH4, SKH51 and SKH55 tool, the wear of the cutting edges and plateau part progress by delamination of deposits due to diffusion and adhesion between the work and tool materials at this area, while the crater wear is caused by abrasive action of chip flow containing hard metallic compounds. The wear of SKH57 tool due to diffusion and adhesion at plateau part is the smallest, therefore, the edge remains clearly. It is found that larger carbide grains containing tungsten in high speed steel resist the progress of abrasive wear induced by chip flow.

Keywords: 7075 aluminum alloy, high speed steel tool, wear mechanism, diffusion wear, abrasive wear

(Received June 4, 1990)

1. 緒 言

7075アルミニウム合金はアルミニウム合金の中では高力合金の部類に属し、航空機部品等に多用され¹⁾、切削、穴明け等の機械加工を施して供用されることも多い。この合金のT6処理材は Mg_2Si 、 $CuAl_2$ 、 $FeAl_3$ 等のかたい金属間化合物粒子を含み、機械加工の際に、これら硬質粒子の引掻き作用による工具摩耗の大きい材料とされている。

近年、アルミニウム合金の旋削およびフライス加工の際に、耐摩耗性に優れる焼結ダイヤモンド工具が使用されることも多くなっている²⁾。また、穴明け加工では工具先端に焼結ダイヤモンドのチップを取付けたものもあ

るが、工具摩耗が小さい³⁾反面、取付け方法および切りくず排除に難点があるため、靱性が高く、安価な高速度鋼工具が依然として多用されている。

通常、旋削作業に使用される工具の大半は耐摩耗性のあるSKH4系の工具であるが、穴明け作業用の工具には靱性の高いモリブデン系の高速度鋼が使用されている。これらの工具の摩耗状況に及ぼす工具材種の影響を検討することは、今後の工具設計において必要な事柄と考えられる。

本研究においては、7075アルミニウム合金のT6処理材について、穴明けによる工具摩耗に換えて4種類の高速度鋼工具による旋削を行い、工具の摩耗状況を観察し、工具摩耗に及ぼす工具材種の影響を調べ、併せて工

* 富山大学工学部生産機械工学科 (富山市)。Production Engineering, Faculty of Engineering, Toyama University (Toyama-shi, Toyama).

** 昭和アルミニウム(株)堺製造所 (堺市)。Sakai Plant, Showa Aluminum Co., Ltd. (Sakai-shi, Osaka).

*** 中部大学工学部機械工学科 (春日井市)。Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chubu University (Kasugai-shi, Aichi).

Table 1 Chemical compositions of 7075 alloy used

Material	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Ti (%)	Mn (%)	Mg (%)	Ni (%)	Zn (%)	Al (%)
7075 (T6)	0.50	0.70	1.60	0.20	0.30	2.10	—	5.60	bal

Table 2 Mechanical properties of 7075-T6 treatment alloy

Material	Tensile strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness HV
7075 (T6)	570.0	483.0	11.0	142

Table 3 Chemical compositions of HSS cutting tools used

Tool	C (%)	Cr (%)	Ni (%)	Mo (%)	W (%)	V (%)	Co (%)	Al (%)	Fe (%)
SKH4	0.79	4.10	0.08	0.40	17.99	1.32	9.53	0.010	bal
SKH51	0.90	4.10	0.20	4.95	5.93	1.82	0.76	0.011	bal
SKH55	0.90	4.12	0.16	4.96	5.99	2.02	4.93	0.022	bal
SKH57	1.39	4.29	0.19	3.39	8.35	3.51	10.01	0.023	bal

具の摩耗機構について検討することを目的とするものである。

2. 実験方法

Table 1 に示す化学組成を有する 7075 合金の連続鋳造材を、外径 60 mm の丸棒に押出加工後、T6 処理を施して旋削用試料とした。この合金の機械的性質は **Table 2** に示すごとくで、他のアルミニウム合金に比べて強度的に優れている。けい素添加量は特に多くはないが、内在する硬質粒子として Mg_2Si 、 $CuAl_2$ および $FeAl_3$ 等があり、これらが合金の基地を強化するものと考えられるが、切削加工の際にこれら粒子の引掻き作用が工具摩耗の増大をもたらすとも考えられる。

切削に使用した工具は SKH4、SKH51、SKH55 および SKH57 の 4 種類の高速度鋼で、その化学組成は **Table 3** に示すごとくであり、その特徴を以下に要約する⁴⁾。まず SKH4 工具ではタングステンとコバルトが多く添加され、高硬度で引掻き摩耗に強いとされている。

SKH51 工具は SKH4 に比べてタングステンおよびコバルトは少量であるが、モリブデンが多く添加されるため靱性が高いとされている。SKH55 工具は SKH51 工具よりコバルトが多く添加されており、耐熱性に優れている。

SKH57 工具は、タングステン添加量は SKH4 工具よ

り少ないが、炭素、コバルトおよびバナジウムが多く添加され、炭化バナジウムの形成により耐摩耗性が良いといわれている。

これらの工具の刃先形状はいずれも 0-6-6-6-6-0-0 である。切削条件としては上記 4 種類の工具を用い、切削速度 (V): 5 m/s、送り (S): 0.13 mm/rev、切込み深さ (a): 1.0 mm の条件による 7075-T6 材の乾式丸削りの方法で、各種高速度鋼の工具摩耗の特徴を把握するため、比較的大きい速度で切削を行った。工具摩耗は所定長さの切削ごとに、工具逃げ面の平均摩耗幅を工具顕微鏡で測定したものである。工具すくい面の観察と切れ刃の断面形状の測定は、所定長さ切削後、工具付着物を水酸化ナトリウム水溶液で充分除去し、断面形状はあらさ計 (タリサーフ 4 型) を用い、工具すくい面の摩耗状況および付着物の分析は EPMA によるものである。

3. 結果と考察

4 種類の高速度鋼工具を用いて 7075-T6 材を、切削速度 5 m/s、送り 0.13 mm/rev、切込み深さ 1.0 mm で切削した場合の切削時間と工具逃げ面摩耗幅の関係は **Fig. 1** に示すごとくである。同図によれば SKH57 工具の摩耗が最も小さく、つぎに SKH4、SKH55、SKH51 の順に大きくなっている。この被削材は数種の硬質金属間化合物粒子を含有するため、これら硬質粒子による引掻き摩耗に対しては SKH57 工具が最も優れていることがわかる。

Fig. 2 は 240 秒切削後の SKH4 工具のすくい面摩耗の状態と、その拡大写真およびすくい面中央部の 2 次電子線像を示すものである。また、上段右側の工具すくい面の形状は表面あらさ計を用いて、説明図の切りくず流れの逆方向に触針を移動させて測定したクレータの断面形状を示している。この場合、最初の摩耗していない状態よりも横切れ刃が約 5 μm 、クレータ中央部で約 10 μm 削り取られている。すくい面全体の拡大写真をみると、すくい面摩耗域は横切れ刃に平行に約 0.23 mm の幅で、切りくず流出に伴う擦過痕が流出方向にほぼ一様に生じているのが認められる。しかし、切削している横切れ刃の稜線と、切込み終端部の右側、すなわち切削に関与していない横切れ刃の稜線との高さにはほとんど差がないことより、横切れ刃の後退量はごくわずかであることが知られる。**Fig. 2 ①**は位置説明図における①の部分の拡大写真である。刃先観察の際に工具付着物を水酸化ナトリウム水溶液で除去したため、この写真では明らかではないが、写真中央より若干下の部分まで被削材の付着が認められた。この部分は横切れ刃に平行に形成されるプラト一部であり⁵⁾、以後の切削において切りくずが直接擦過することがないと考えられる部分である。このプラト

Fig. 1 Comparison of flank wear results in turning 7075-T6 alloy with high speed steel tools.

一部の幅は約 $30\mu\text{m}$ 程度で、この部分を過ぎると切りくずが工具面を直接擦過することによるクレタの形成が認められる。このプラトー部は比較的平らであり、 $10\mu\text{m}$ 前後のタングステン炭化物の粒子の形状も明瞭である⁶⁾。SKH4 工具は他の工具に比してタングステン添加量が2~3 倍程度多く、その粒径も最も大きくなっている。このタングステン炭化物粒子（これらは正確な意味でのタングステンカーバイトではないので、以後W:C 粒子という）をさらに拡大したものを①に示す。W:C 粒子にはクレタ部にみられるような切りくずによる擦過痕はないが、細かい割れ目がみられる。また、工具の基地の部分はかたい針状のマルテンサイト組織と軟質のフェライトより構成されるが、軟質であるフェライトは被削材付着物の持去りによって失われている。このようにプラトー部では切りくずの擦過による摩耗は生じないが、大きい切削力および高い切削温度のため、工具と付着物との間に凝着もしくは拡散が生じることが考えられる⁷⁾。そして、刃先前方のせん断領域におけるせん断角の変化等によって切削力が変動した場合、プラトー部上の付着滞留物に移動もしくは脱落を生じ、この際、工具成分の一部が付着物によって持ち去られる摩耗機構が作用することが考えられる。Fig. 2 ②および③は切りくず流出方向に沿って、切りくずに含まれる硬質粒子による擦過痕が明瞭に認められるクレタ部分を示すものである。図②の部分では図③の部分より激しい擦過痕が認められ、クレタの最大深さは約 $10\mu\text{m}$ であった。高速度鋼の基地の部分は切りくず中の硬質粒子より軟質である

Fig. 2 Micrograph of worn rake face SKH4 tool by cutting 7075-T6 alloy.

ため、このクレタを生じている領域では針状で高硬度のマルテンサイト組織をも含めて溝状に削りとられていることが示される。

また、工具中の最も軟質であるフェライトはプラトー部と同様に削り取られて、高硬度のマルテンサイト組織およびW:C 粒子が残存している。この残存したW:C 粒子は切りくず中の最もかたい粒子である FeAl_3 より常温では硬質のはずであるが、図②および図③にみられるようにW:C 粒子に細かい擦過傷がみられることから、W:C 粒子も削りとられることが知られる。しかし、これらの粒子は基地に比べて摩耗が少ないため、基地より若干突出しており、また削り取られた溝がW:C 粒子のところで止まっていることにより、W:C 粒子は切削工具の摩耗に対して大きな抵抗となっていることが知られる。図④はクレタ痕を過ぎた部分であり、こ

Fig. 3 Micrograph of worn rake face of SKH51 tool by cutting 7075-T6 alloy.

こには工具を成形した研削条痕がみられ、切りくずの流出に伴う擦過条痕はほとんどみられないようである。

図①～図③と図④を比較すると、被削材が付着もしくは擦過した図①～図③ではフェライト組織が工具表面より内部まで持たれている。また、クレータ部②および③ではマルテンサイト組織が大きく削りとられている。これに対し、図④では工具成分はほとんど削られていないようである。

工具の摩耗機構としては、プラトー部では被削材の工具面への凝着もしくは工具成分の付着物中への拡散とその離脱による工具成分の持ち去りが主たる原因と考えられる。一方、クレータ部においては切りくずの引掻き作用が工具摩耗の主たる原因であり、凝着もしくは拡散による摩耗は副次的機構であると考えられる。

Fig. 3は最大の逃げ面摩耗幅を示したSKH51工具のすくい面の摩耗状態である。すくい面の摩耗幅は0.23 mmで、他の工具とはほぼ同程度であるが、切れ刃の後退量は約10 μm、クレータ深さは約17 μmと大きい。また、工具先端部分には、だれに近い損傷がみられる。

Fig. 4 Micrograph of worn rake face of SKH55 tool by cutting 7075-T6 alloy.

Fig. 3①にみられるように、一応プラトー部は形成されているが、表面から13 μm程度も低下しており、激しい工具摩耗が生じていることが示される。図②および図③に示したクレータ部分では工具表面は切りくず流れにそって溝状に削られ、W:C粒子の粒径が小さいので、SKH4工具でみられたような引掻き溝の進展を阻止する機能はほとんどみられない。また、コバルト添加量が他の工具に比べて少ないため、熱処理上の問題があり、基地のマルテンサイト組織は強化されず、フェライト組織と共に削りとられている。これらを総合すると、SKH51工具は高温強度の点からは耐熱性に欠け、工具の基地強度の点からは耐擦過性に劣ることが本工具の摩耗を大きくする原因と考えられる。

Fig. 4はSKH55工具の摩耗状態を示すものである。工具すくい面のプロファイル曲線によれば、クレータは全体になめらかな状態となっており、Fig. 3のSKH51工具にみられたプラトー部の急激な摩耗の進行はみられず、全体的な摩耗量は小さい。しかし、すくい面におけるクレータ等の摩耗形態はSKH51工具の場合と類似し

Fig. 5 Micrograph of worn rake face of SKH57 tool by cutting 7075-T6 alloy.

ている。SKH55鋼とSKH51鋼の違いはTable 3にみられるように、コバルト量の差であり、コバルト量の多いSKH51工具の方が耐熱性に優れるため、全体的な工具摩耗はSKH55工具のものより少なくなったと考えられる。

Fig. 5はSKH57工具のすくい面の摩耗状態を示すもので、この摩耗形態はSKH4工具の場合と類似しているが、クレータ内部の凹凸は大きいようである。すなわち、切りくずの擦過によって工具基地の組織が除去されない部分が残存することが知られる。平均的なプロフィール曲線によれば、クレータ中央部における摩耗深さは5 μm 程度であり、これはSKH4工具の場合の約1/2である。

また、タングステンを含む炭化物粒子はSKH55およびSKH51のものより細かく、かつ多量に分散していることが示される。

SKH57工具ではTable 3にみられるように、他の工具よりバナジウム添加量が多いため工具基地の粒成長が抑制され⁴⁾、炭化物粒径も相対的に細かく、SKH4工具

Fig. 6 EPMA images of cut depth part of worn rake face of SKH57 tool by cutting 7075-T6 alloy.

の摩耗面に観察されたプラトー部における炭化物粒子の割れ等は認められない。また、他の工具にみられたマルテンサイト中のフェライトが除去されたような痕跡はみられないが、これは炭素添加量が多く、軟質のフェライトが少ないことによると考えられる。SKH57工具の場合も他の工具と同様に被削材の一部は工具に付着するが、凝着および拡散によると考えられる摩耗は少なく、したがって切れ刃の稜線を含むプラトー部の損耗は少ないようである。

この工具の摩耗の際のもう一つの特徴は、EPMAによる観察のため、水酸化ナトリウム溶液で付着物を一応除去したにも関わらず、Fig. 6にみられるように工具の切込み終端部に、銅、マグネシウム、アルミニウム等が混在して付着していることである。なお、アルミニウムは被削材組成からみればごく少なく、成分中のニッケルはほとんど観察されなかった。また写真では不明瞭であるが、マグネシウムに重なるように酸素の存在も認められた。このような現象は他の高速度鋼工具にはみられないが、超硬工具P10およびK10を用いて7075-T6処理材を切削した場合にみられたものである³⁾。

4. 結 言

4種類の高速度鋼工具を用いて7075-T6処理材を切削し、工具摩耗の状態を詳細に観察し、切削性に及ぼす工具の影響について検討を行った結果、次のことが、明らかにになった。

(1) 高速度鋼 SKH4, SKH51および SKH55工具の摩耗状況は、横切れ刃からプラトー部へかけて、高温状態における被削材の凝着もしくは工具成分の拡散による摩耗が考えられる。

(2) SKH57工具においてはプラトー部の摩耗は小さく、横切れ刃稜は比較的是っきり残存している。

(3) SKH4 および SKH57工具のクレータ部において、工具材中の大きいタングステンを含む炭化物粒子は明らかに切りくず擦過による工具基地の削りとりを抑制し、耐摩耗性の機能を果たしている。

(4) 横切れ刃稜の残存およびクレータ部の摩耗の少ないことを考慮すると、本合金の切削工具としては SKH57工具が適していること等が知られた。

参 考 文 献

- 1) 馬場義雄：軽金属, **39** (1989), 378.
- 2) David. K. Aspinwall: 1st International Material Removal Conf., Society of Manufacturing Engineers, May 3-5 (1983).
- 3) David. K. Aspinwall, G. Myatt: Proc. Int. Mach. Tool Des. Res. Conf., **23** (1983), 183.
- 4) 高橋尚郎：京都大学学位論文 (1976).
- 5) 財満鎮雄, 高辻雄三, 奥島裕樹, 山田 茂：軽金属, **31** (1981), 378.
- 6) 竹山秀彦, 村田良司：精密機械, **27** (1961), 33.
- 7) 財満鎮雄, 高辻雄三, 山田 茂, 奥島裕樹：日本金属学会誌, **46** (1982), 108.
- 8) 財満鎮雄, 高辻雄三, 水谷秀行, 鈴木雅弘：軽金属, **34** (1984), 190.