

## Machinability of Aluminum Alloys

Tadahiro WADA, Kazuki HIRO, Junsuke FUJIWARA\*, Shinsaku HANASAKI\*  
Shinji YOSHIHARA\*\* and Tomohito SASAYAMA

PRECISION ENGINEERING, (2003/04), 191-198.

As a 6061 aluminum alloy has both high strength-to-weight ratio and good corrosion resistance, it is used for automobile parts or motorbike parts. In finish cutting at small feed rate, it has a bad influence on the cutting operation because of the continuous chips. Usually, Pb and Bi are added in order to break the continuous chips. The chips become brittle because Pb or Bi, which has the low melting point, is dissolved by cutting heat, and the chips are broken easily. Therefore, free-machining aluminum alloys such as a 6262 aluminum alloy, contains 0.4~0.7mass percent Pb and Bi, are widely used. However, from the standpoint of the environmental protection on the earth, it is necessary to improve the chip breakability without adding Pb. In order to clarify the influence of Si contents added to the 6061 aluminum alloy, on the chip control performance, the aluminum alloys which have the different Si contents, namely 2 mass%, 4 mass%, 6 mass% Si, were drilled by high speed steel drill. As a result, it is reported that Si addition increases the chip breaking performance [1]. However, it was considered that the tool wear increases because of adding Si. Recently, the dry cutting is desired from the viewpoint of the protection of the global environment. The cutting temperature rises if the cutting fluid isn't used. The chips become flexible, and don't break easily.

In this study, the aluminum alloys, which have the different Si contents, were turned under the dry cutting, the chip configurations, surface roughness, cutting forces and tool wear are investigated experimentally.

The chemical compositions of main elements and the mechanical properties of the aluminum alloys are shown in Table 1 and Table 2.

Table 1 Chemical compositions of main elements(mass %).

Alloy	Si	Fe	Cu
6061	0.67	0.19	0.24
2%Si	2.16	0.20	0.26
3%Si	3.17	0.22	0.26
4%Si	3.90	0.20	0.26
6%Si	6.15	0.16	0.28

The main results obtained are as follows:

- (1) The feed rate limit, which can be obtained the desirable chip configurations for the chip control, decreased with the increase of the Si contents of the aluminum alloys.
- (2) The cutting forces decreased with the increase of the Si contents of the aluminum alloys. Particularly, the decrease of the feed force was remarkably large.
- (3) In case of the high speed steel tool, the tool wear increased with the increase of the Si contents. However, in case of the cemented carbide tool, there was little influence of the Si contents on the tool wear.

Table 2 Mechanical properties.

Alloy	Tensile Strength MPa	Elongation %	Hardness HRB
6061	301	20.3	62
2%Si	318	18.0	64
3%Si	326	16.7	65
4%Si	330	16.1	65
6%Si	339	11.2	68

The tool materials used were Mo-V-Co high-speed steel (1.4% C) and cemented carbide K10. The configuration of the tool insert was TNGG160404R-P. This insert had a parallel groove type chip-breaker, and the width of the chip-breaker is 2.5 mm. This insert was attached on the tool holder MTGNR2525M16. In this case, the tool geometry was (-6, -6, 6, 6, 30, 0, 0.4 mm).

The turning tests were carried out on a CNC lathe (Type TSL-360CNC, TAKISAWA MACHINE TOOL Co. Ltd.) with adding variable-speed drive. This lathe has the driving power 2.2 / 3.7 kW and the maximum rotational speed is 2000 rpm.

### References

- [1] YOSHIHARA S, HIRANO M and ETO T, Effect of Si particles on chipping characteristics of Al-Mg-Si alloys during drilling operation, Journal of JILM, Vol.51, No.4(2001), 238-241. (in Japanese)

\* Osaka University

\*\* KOBE STEEL, LTD.

## アルミニウム合金の被削性

和田 任弘 廣 和樹 吉原 伸二\*

Machinability of Aluminum Alloys

Tadahiro WADA, Kazuki HIRO and Shinji YOSHIHARA

粉体および粉末冶金 51巻, 9号, (2001), 199-205.

6061アルミニウム合金は、比強度、耐食性とも良好なため、プレーキマスターシリンダー用ピストンやアンチロックプレーキシステムのハウジングなど自動車・二輪車用部材として多く使用されているが、良好な仕上げ面品位を得るために、送りを小さくして仕上げ旋削を行うと、切りくずが連続しやすくなって、切削作業に悪影響を及ぼす。そこで、通常、切りくず処理性を高めるために、低融点金属のPb, Biが添加されている。含まれているPb, Biは切削熱によって熔融し脆化するため、切りくずは脆くなり、折れやすくなる<sup>1)</sup>。快削アルミニウム合金の6262には、Pb, Biがそれぞれ0.4~0.7 mass%ずつ添加されている。しかし、近年Pbの有害性が指摘されているので、Pbを添加しないで切りくず処理性を向上させる必要がある。吉原ら<sup>2)</sup>は、6061アルミニウム合金にSiを2%, 4%および6%添加した押出し材の切りくず折断性能を調べるために、高速度鋼ドリルによる穴あけを行った結果、Siの添加が切りくず折断に有効であることを示した。しかし、添加Si量が工具摩耗に及ぼす影響は明らかにされていない。さらに、最近、地球環境への保護の観点から、切削油剤を使用しない乾式切削が望まれている。切削油剤を使用しない場合、切削温度が上昇するため、切りくずは柔軟になり折れにくくなる。

本研究では、アルミニウム合金における添加Si量が被削性に及ぼす影響を明らかにするために、Siの添加量を変化させたアルミニウム合金の乾式切削を行い、切りくず形状、仕上げ面粗さ、切削抵抗ならびに工具摩耗を調べた。

被削材の化学成分は、6061アルミニウム合金(0.7mass%Si)を基準とし、この6061アルミニウム合金の添加Si量を、2, 3, 4, 6mass%に変化させた。

なお、いずれのアルミニウム合金も、熱間押し後、溶体化処理(530℃×1hr)、水冷、その後、時効処理(170℃×6hr)を行った。5種類のアルミニウム合金を比較すると、添加Si量が多くなるにつれ、引張り強さ、硬さ

ともにやや高くなるが伸びは小さくなる。

使用工具材は、Mo-V-Co系高速度鋼(C: 1.37~1.43 mass%, Mo: 3.25~ 3.75 mass%, V: 3.70~ 4.10 mass%, Co: 11.50~12.50 mass%)<sup>3)</sup>、および超硬合金K10種である。□25mm×25mmバイトホルダに、TNGG160404R型チップを取付け使用した。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) 処理性の良い切りくずが生成される限界送りは、Si量の増加につれ低くすることができる。また、切削速度が高いほど、限界送りも高くなる。
- (2) 切削抵抗は、6061アルミニウム合金が最も大きい。特に、送り分力においては、その差は顕著になる。また、切削速度が高いほど切削抵抗は小さくなる。
- (3) 高速度鋼の工具摩耗は、6%Siアルミニウム合金が最も大きく、6061アルミニウム合金が最も小さい。すなわち、工具摩耗は、Si量の増加につれ大きくなった。また、超硬合金K10種の場合、6061, 2%Si, 3%Si, 4%Siアルミニウム合金切削における工具摩耗は、いずれも大差なかった。

(参考文献)

- 1) H. Yaguchi: "Effects of soft additives (Pb/Bi) on machinability of low carbon resulphurised free machining steels", Materials Science and Technology, 5(1989)255-269.
- 2) 吉原伸二, 平野正和, 江藤武比古: "Al-Mg-Si系合金の切りくず折断性に及ぼすSi粒子の影響", 軽金属, 51(2001)238-241.
- 3) 日本金属学会: 金属便覧, 丸善(2000)566.

## Stagnations of increasing trends in negative pressure with repeated cavitation in water/metal Berthelot tubes as a result of mechanical sealing

Kazuki HIRO, Yoshihito OHDE\* and Yasutoshi TANZAWA\*

Journal of Physics D: Applied Physics, 36(2003) 592-597

Studies of liquids under negative pressure have been of basic importance in applied physics, chemistry and mechanical engineering [1-3]. In order to facilitate experimental studies for flammable organics including polymer solutions under measured negative pressure, authors have adopted a Berthelot technique using a metal tube having a built-in pressure transducer [4].

By observing trends in negative pressure for water/stainless steel tube sealed with poly-crystalline metal plug Berthelot systems, authors disclosed 1) negative pressures increased with the number of temperature cycles (cavitation history effect), though scattered wide, 2) the effect was interpreted by a gas-trapping crevice model supplemented with a gas-supply assumption (gas-being-replenished crevice model) and 3) degassing pre-treatments for plugs were effective to raise negative pressures higher than their surface pre-treatments alone, though maximum negative pressures were achieved only after several thousands of temperature cycles [4]. A physical aspect of the time consumption and the wide scattered negative pressures was grasped by comparing single- and poly-crystalline molybdenum tubes sealed with single-crystalline copper plugs, respectively [4]. The results indicated that the two drawbacks would be a natural result of 1) rather slow impurity gas transports in metals, and 2) high cavitation probability of super-expanded liquids.

Both a tube and a plug were made of a special product of type 316L stainless steel (NKK, Clean Z) [4]. After heating of the steel under vacuum, its out-gassing rate of hydrogen, which was a main specie from the steel, was reduced to ca. 1% of those in ordinary products of the same grade. They attributed the reduction to the minimization of nonmetallic inclusions in the steel. Accordingly authors degassed the both degassed at 850°C for 1h under vacuum of  $5 \times 10^{-4}$ Pa after their machining.

The tube consisted of a top cap for sealing, a specimen chamber part and a bottom cap for waterproof of the sensors. They were held by eight pairs of bolts and nuts through holes symmetrically drilled on the out-skirts of their flanges. The four pairs fixed the top cap and the chamber part through the holes angled by  $\pi/2$  radian each other. The other four pairs did the chamber and the bottom.

The volume of the specimen chamber was ca. 47mm<sup>3</sup>. The bottom of the chamber was a diaphragm of ca. 2.5mm in thick. Metal-film strain gauges (Kyowa

Dengyo Co., KFG) were cemented on the outside to form a built-in pressure-transducer. A thermocouple, copper-constantan, was also fixed nearby the transducer for monitoring liquid's temperature.

The pressure transducer was calibrated by applying nitrogen gas of known positive pressure from outside of the diaphragm [4]. Its linearity against pressure was assured to ca. +15MPa at every 10°C in 20-70°C. The temperature dependence of its linear coefficient was ca. 0.02%/°C. Since authors had known a bad effect of direct exposure of nitrogen gas from inside of the diaphragm, authors returned to the previous method for calibration.

The steel plug had a tapered and truncated part. Upon sealing the tapered part was compressed to a sharp edge of the specimen chamber's opening by a stainless steel screw rod with a pitch of 1 mm per turn supported by the top cap. The area of the chamber walls and that of the plug in contact with the specimen was ca. 73mm<sup>2</sup> and ca. 9mm<sup>2</sup> respectively.

Authors first carried out two 1800-cycle runs and the third 3300-cycle run for water in the all-stainless-steel tube, and then tested the same steel tube sealed with Ag plugs in turn by operating one-bath ATCR.

In the latter trials, authors controlled amount of sealing distortion of each Ag plug by the rotating angle of the screw rod. It was assured by inspecting protrusions indented on each plate surface after the run.

Negative pressure was raised to ca. -18.5MPa, which is the highest level ever reported for water in a metal tube. A metallurgical mechanism of a gas-being-replenished crevice model is proposed: distorted parts of metals undergo heat-treatment during runs of temperature cycles, and the heat-treatment enhances the rates of impurity gas transports to crevices on the metal surface where cavitation occurs, and the transports causes the stagnation for cycles during which the rates are still high.

### References

- [1] Trevena D H 1987 Cavitation in Liquids (Bristol: Hilger)
- [2] Henderson S J and Speedy R J 1980 J. Phys. E 13 778-82
- [3] Poole P H, Francesco S, Ulrich E and Stanley H E 1992 Nature. 360 324-8
- [4] Ohde Y and Tanzawa Y 2002 Liquids Under Negative Pressure. A.R.Imre, H.J. Maris, R.P. Williams. (Dordrecht:Kluwer)

\* Nagoya Institute of Technology

## (Ti,B)N膜コーテッド超硬合金の工具摩耗

和田 任弘

Tool Wear of (Ti,B)N Coated Carbides

Tadahiro Wada

粉体および粉末冶金 50巻, 9号, (2003), 674-679.

超硬合金を母材とし、これにセラミックス層をコーティングしたコーテッド超硬合金は、超硬合金の耐欠損性とセラミックスの耐摩耗性を兼備している。このため、切削加工の高能率化などを背景に、日本国内におけるスローアウェイチップの生産量に占めるコーテッド超硬合金の比率は年々高まっている<sup>1)</sup>。セラミックス膜を母材へコーティングする方法として、PVD法とCVD法が一般的であり、それぞれ切削方法によって使い分けられている。PVD法は、CVD法に比べ低温処理のため密着性にやや劣るものの、被膜に圧縮応力を付加できるため強度低下が少ないなどの理由により、耐欠損性が要求される超硬ドリルや超硬エンドミルのコーティング処理に多く用いられている。切削工具へのPVD法によるコーティングは、TiN、TiC系膜で開始され、Ti(C,N)、(Ti,Al)N膜をコーティングした超硬ドリルや超硬エンドミルが高い切削性能を示している<sup>2)</sup>。最近、高硬度で、耐アブレシブ摩耗性に優れた(Ti,B)N膜がプラスチック射出成形金型用被膜として使用され始めた。しかし、切削工具用被膜として(Ti,B)N膜を使用した場合、この膜の切削性能を調べた研究は見当たらない。

そこで本研究では、超硬合金K10種を母材とし、(Ti,B)N膜をPVD法によりコーティングしたコーテッド超硬合金の被膜特性、および工具摩耗を調べた。さらに、(Ti,B)Nが切削工具用被膜として使用可能かどうかについて検討を加えた。なお、その基準は、現在多く使用されているTiN膜PVDコーテッド超硬合金の工具摩耗と比較することによって行った。すなわち、超硬合金

K10種を母材とした(Ti,B)N膜PVDコーテッド超硬工具について、この工具の被膜特性、SCr420H、および焼結鋼切削における工具摩耗を調べ、TiN膜PVDコーテッド超硬工具の場合と比較した。さらに、(Ti,B)N膜が切削工具用被膜として使用可能かどうかについて検討を加えた。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) (Ti,B)N膜の硬度は、TiN膜に比べ高かった。さらに、(Ti,B)N膜の密着強度も、TiN膜に比べ高かった。
- (2) SCr420H切削においては、(Ti,B)N膜は、TiN膜に比べやや耐摩耗性に優れていた。
- (3) 焼結鋼の切削においては、(Ti,B)N膜とTiN膜の耐摩耗性に大差なかった。(Ti,B)N膜PVDコーテッド超硬工具の摩耗進行は、切削速度の上昇につれ急速になった。

以上のことから、(Ti,B)Nは切削工具用被膜として使用できることが分った。

## 謝 辞

被削材焼結鋼を提供していただきました三菱マテリアル株式会社に深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 山懸和夫, 北川信行, 伊藤 実: “CVDコーテッド超硬合金”, 機械技術, 45(1997)18-22.
- 2) 山田保之, 池田 孜: “コーテッド工具 ミドリル・エンドミル”, 精密工学会誌, 61(1995)778-782.

## 焼結鍛造材切削における工具摩耗

和田任弘, 藤原順介\*, 花崎伸作\*

Tool Wear in Cutting of Forged Sintered Material

Tadahiro Wada, Junsuke Fujiwara\* and Shinsaku Hanasaki\*

粉体および粉末冶金 51巻, 5号, (2004), 330-335.

焼結材料は、複雑な形状部品を高精度に大量生産でき、しかも材料設計の自由度が大きいなどの特徴があるが、製品の耐衝撃性がやや劣るという欠点がある。このような欠点を補うために、焼結後に熱間鍛造を施し焼結密度を上げ、機械的性質を改善した焼結鍛造材が使われ始めている。焼結鍛造材は、耐衝撃性ととも耐摩耗性が要求される部品に使用されているが、成形の制約から最終製品形状を得るために、焼結後に機械加工を施さなければならぬ場合も数多くあり、製品コストに占める機械加工費の比率が高くなっている。この場合、機械加工としては切削加工が多いが、このような焼結鍛造材の切削時における工具摩耗を調べた研究はほとんど見あたらない。そこで似たような材料として、焼結鋼を切削した研究結果を調べると、つぎのようなものがある。鳴瀧らは、2種類の還元鉄粉の焼結鋼と2種類のアトマイズ鉄粉の焼結鋼(計4種類の焼結鋼)を旋削し、各種工具の寿命線図を求めた。この寿命線図から、焼結鋼の切削にはコーテッド超硬工具が適していることが分かる。このことから、焼結鍛造材の切削にもコーテッド超硬工具が適用できると考えられる。

コーテッド超硬工具は、超硬合金表面にセラミックス膜をコーティングすることにより、セラミックスの耐摩耗性と超硬合金の耐欠損性を兼備えた工具である。超硬合金表面へのセラミックス膜のコーティング法として、PVD法とCVD法とがある。PVD法はCVD法に比べて、コーティング処理温度がかなり低く、母材の強度劣化が少ない。さらにCVD法で超硬工具にコーティングする場合には、被膜-母材界面に脱炭層が生じ、強度を弱めるが、PVD法ではいかなる変質層も生じない。そのため耐チップング性が要求される超硬ドリルや超硬エンドミル

のコーティング処理にも適用できるという利点がある。さらに、被膜の種類としては、従来、TiNが主体であったが、その後、(Ti,V)N、VNなど各種の被膜が開発されてきた。たとえばO.Knotekらは、炭素鋼の旋削において、(Ti,V)Nコーテッド工具がTiNコーテッド工具よりも優れていると報告している。最近では、(Ti,Al)N被膜の工具も使用されている。

焼結鍛造材と似た高強度焼結鋼の高速旋削においては、汎用工具材(コーテッド超硬工具ならびにサーメット工具を含む)の中では、TiCを多く含む $Al_2O_3$ -TiCセラミックスが有効な工具材であったという報告もある。

そこで本研究では、(Ti,V)N、TiN、(Ti,Al)Nコーテッド超硬工具とセラミック工具を用いて、焼結鍛造材を切削し、そのときの工具摩耗の進行状態を詳細に調べた。さらに耐摩耗性に優れた工具については、工具の摩耗機構を明らかにするために、工具摩耗面のSEM観察ならびにEDS分析も行った。

得られた主な結果は、次の通りである。

- (1) いずれのPVDコーテッド工具も、コーティング層の主な摩耗形態は、アブレイブ摩耗である。
  - (2) Ti75V25N膜のPVDコーテッド工具の摩耗進行が最も遅い。これは、Ti75V25N膜の硬度およびスクラッチテストによる臨界荷重が、Ti50V50N、TiN、(Ti,Al)N膜に比べいずれも高いためである。
  - (3) セラミック工具の中では、(30% $Al_2O_3$ -70%TiC)セラミック工具の摩耗進行が最も遅い。しかし、(30% $Al_2O_3$ -70%TiC)セラミック工具の摩耗進行は、Ti75V25N膜のPVDコーテッド工具に比べれば速い。
- 最後に、被削材焼結鍛造材をご提供いただきました三菱マテリアル株式会社に深く感謝の意を表します。