速 報

鉄系焼結材の軽切削*

杉 田 忠 彰**, 田 中 三 義***

Tadaaki Sugita and Miyoshi Tanaka: Light Machining of Sintered Iron Compact.

The machining performances of three types of cutting tools in light machining of the sintered iron compacts, which are sintered alumina containing titanium carbide, cemented carbide and cermet, have been discussed in this short note. Also, the performance of each tool was evaluated in the continuous cutting condition by turning and in the intermittent cutting condition by face milling. Consequently, the experimental results have indicated that the sintered alumina containing titanium carbide was superior to the other tools from the viewpoint of tool life.

(Received November 20, 1975)

I 緒 言

かなり高精度に成形、焼成されるので、従来から機械加工を必要としないとされることが多かった粉末冶金製品も、時代とともに、形状の複雑化および材質の高品質化にともなう、より高精度を要求されるようになり、切削加工とか研削加工の必要性が高まってきた。もっとも、古くから成形不能個所の機械加工という問題は不可避であったのも事実であるが、ところが焼結材の機械加工について研究されたことはまことに少なくわずかに2, 3の断片的な報告にとどまる¹⁻⁴⁾。ただ、このように関心の薄い中で、大森らは、焼結材の切削の必要性を早くから見通し、それに関して系統的な研究を行なっている。これはこの種の基礎的な研究として唯一のものと高く評価される⁵⁻⁸⁾。ただ残念なことに、その後の工具材料の進歩が著しく、古い研究成果がそのまま実用的な情報として利用し得ないことである。たとえば、これまでサーメット工具で切削した報告はなく、わずかに1, 2にすぎない^{9,10)}。また、セラミック工具については、コールドプレスチップに関しての報告⁸⁾が一つあって、よくない結果が報告されている。しかし、これも近年、製法がホットプレスにかかわって飛躍的に性能向上をみせ、その上、最近になってカーバイド系セラミック工具の安定なものが出るにおよんで、かつてのセラミック工具の様相は一変している。したがって、このような現状から再び、断片的であっても、最近の工具性能についての情報は是非必要となってくる。

そこで、本報告ではセラミック、サーメット、超硬合金の各工具の切削性能について二、三の結果を述べる。

焼結材を切削することは、他の材料の切削とは異なり、常に高精度加工をしなければならないという目的から、当然、仕上面あらさが問題となるが、それを良い状態にもっていくためには、何よりもまず、工具が耐摩耗性にすぐれていなければならない。すなわち、長時間の工具寿命を保証できるものでなければならない。その観点で、ここでは、まず、工具寿命の問題だけを取り扱うことにする。また、切削形態としては、焼結材のように一般に複雑形状をとることの多い場合には、連続切削と変わらないぐらいの比率で断続切削が必要となるので、両切削形態についての工具性能を比較してみる。

II 実験方法

連続切削として旋削丸削りを乾式で行なった。このときに用いた試験旋盤は西部電機の10,000 r.p.m.のものである。工具材質は、超硬合金 P10、サーメット、セラミック（カーバイド系）で、工具形状は -5° , -6° , 5° , 6° , 15° , 0° , $0.8 R$ であるが、一部すくい角を変えてその影響をも検討した。切削条件は、仕上軽切削として、送り 0.1 mm/rev . 切込みを 0.3 mm とし切削速度は $100 \sim 400 \text{ m/min}$ とした。

断続切削は正面フライス削りを乾式で行なった。使用機械は、日立精機 No.3 堅フライスである。使用カッタは住友マイスタンダードタイプ8インチであって、1本刃とした。工具形状はラジアルレーキ -5° , アキシアルレーキ -6° でエンゲージアングルは $15^\circ \sim 24^\circ$ である。

* 昭和50年11月20日受理

** 金沢大学工学部 〒920 金沢市小立野2丁目40-20

*** 日本タングステン(株) 〒815 福岡市南区塩原字山王

Fig. 1. Shape of cutting edge.

工具寿命は連続切削、断続切削ともに $V_B=0.4$ mm のときとした。また、チップの切削部には、Fig. 1 に示すように 0.1 mm 幅のランドをすくい面に 30° 傾けている。被削材は Fe-C-1%Cu 系の焼結材で、 100ϕ 直径 $\times$ 10厚さのものを多数枚重ねてクランプし、棒状に構成して切削に供した。

Ⅲ 実験結果と検討

Ⅲ-1 連続切削の工具寿命

はじめに工具の切削性能によって影響の大きい工具形状のうち、すくい角の影響について検討してみる。Fig. 2 はカーバイド系セラミック工具のすくい角をかえて、それと工具寿命との関係を求めたものである。図に示すように、正のすくい角から負のすくい角に変化するにつれて工具寿命は長くなる。一般的には、切れ味の問題とか切削熱の問題から正のすくい角の方が工具の形状としては有利なことが多いが、この場合にはその逆の結果を示している。セラミック工具のように高温での化学的安定性にすぐれ、高温強さ、硬さが低下しにくく¹¹⁾、しかも耐摩耗性に富む¹¹⁾ 場合には、切刃の切削熱による軟化、変形とか単純な機械的摩耗とか熱的摩耗に対する抵抗が大きい。これに対して、ぜい性であるために切刃の微視的破壊(マイクロチップング)が発生しやすく¹²⁾、それが工具摩耗を間接的に促進することが考えられる。このような場合には、切刃を補強する必要があり、負のすくい角をとったり、切刃稜をチャンファしてランドを設ける

と著しい効果がある。Fig. 2 はそのような場合に相当する。

このような考え方で、これまでセラミック工具には切刃にランドがつけられてきたが、そのランド幅をどれだけにとるかが問題である。少なくとも、送り量をこえるような大きなランドは必要がないばかりではなく、むしろ精密加工の立場からみて有害である。たとえば、ここで採用した工具形状のように、すくい面に対して -30° の角度をもったランドをつけ、 -5° のすくい角をとったとし、切削がランド幅内でのみ行なわれたとすると、 -35° のすくい角をとったことになって、工具自体にとったすくい角の意味がなくなる。その結果、悪い切れ味の工具で削ることになって仕上面あらさは劣化する¹³⁾。したがって、ランド幅は、切刃を補強する役割を果たす最小限の寸法でなければならない¹²⁾。衝撃を伴う苛酷な断続切削の場合にでも、ランド幅は送り量の 0.8~0.85 位で十分であった¹⁴⁾ ことからみて、連続切削では 0.6~0.8 位でよいと思われる。すくい面での切くず接触幅が送り量の 1.5~2 倍¹²⁾ であるので、この場合には切刃の補強と切れ味の回復をもたらす 2 段すくい角の状態になり好ましい結果となるであろう。

Fig. 3 は連続切削の V-T 線図を示す。比較のために川崎製鉄で行なわれたもの⁹⁾ も示す。これによると、超硬材種としては、K 種よりも P 種が適当である。またサーメットは意外にも高い切削性能を示さない。ただし、この場合に材質的にみて、適当なサーメットが使用されたかどうかの点に若干の問題もあり、この結果だけでサーメットを不適当と判断することはできない。たとえば、川鉄での実験結果と筆者のその間に約 10 倍もの工具寿命のちがいがあことに注目しなければならない。

いずれにしても、カーバイド系セラミックのもっとも安定してしかも高い切削性能を有している。すなわち、従来のセラミックのように低速域においてチップングを

Fig. 2. Effects of rake angle on cutting performance of ceramic tool. Tool material; Al_2O_3 ceramic containing TiC carbide.

Feed: 0.1 mm/rev. Depth of cut: 0.3 mm. Flank wear at tool life: 0.4 mm

Two angles in each curve are front and side rake angles respectively.

Fig. 3. Relationship between cutting speed and tool life for three types of tool in continuous cutting.

Feed : 0.1 mm/rev. Depth of cut : 0.3 mm. Flank wear at tool life : 0.4 mm.

発生することなく、高い耐摩耗性を有し、高速では、他の工具材質にはみられない長時間の寿命が得られる。低速域での安定な切削性能は主として添加されている TiC の効果的な作用にもとづくものであり、高速切削が可能なのは、 Al_2O_3 の役割に負うところが大きい¹¹⁾。安定していて、しかも広範囲の速度領域での切削が可能であるとすれば、鉄系焼結材料のように大量生産されるものの自動盤による加工に、もっとも適しているといえる。

Ⅲ-2 断続切削の工具寿命

典型的な断続切削として正面フライス削りを行なった。このフライス削りの場合は、連続切削の場合とは異なり、カッタの回転時間と正味切削時間とはかなり相違することになる。カッタ 1 回転中の正味切削時間はカッタ径と被削材幅および切削速度によって異なる。実用的には、カッタ回転時間を工具寿命時間として採用する方が便利であるが、それでは連続切削と断続切削における切削性能を正確に比較することができない。そこで、断続切削でも正味切削時間をとった。連続切削では、もちろん工具が常に切削に関与しており、その時間が正味切削時間となる。

非常に興味深いことは、断続切削を行なったことにより、工具摩耗とか損傷が特に著しい、ということがみられないことである。Fig. 4 は、断続切削における各工具の寿命を示している。連続切削のデータは Fig. 3 から再プロットしたものである。断続切削では、被削材の量が不足したという理由で 100 m/min 附近での工具寿命を求めなかったが、図でみるかぎり、カーバイド系セラミックと超硬の工具寿命は断続切削と連続切削ではほとんど差が認められない。サーメットはむしろ断続切削の方が長い工具寿命となるが、これもさしたる差はないとみるべきであろう。このように、両切削方式に寿命の差がみられないということは、いずれの工具材料ともに、耐機械的衝撃抵抗にすぐれていることを物語るものである。そして、断続切削を連続切削と同一視してよいことがわかる。したがって、このような場合に、断続切削に特有の配慮というものは、とり立てて必要がないようである。考慮するとすれば、前節に述べたように、くり返し衝撃による疲れ強度の低下を防止するために、切刃稜に設けるランド幅を連続切削の場合よりも 10~20% ぐらい広くとることであろう。

Fig. 4. Relationship between cutting speed and tool life for three types of tool in intermittent cutting (face-milling).

Feed : 0.1 mm/tooth.

Depth of cut : 0.3 mm.

Number of cutter blade : single blade.

Cutting width : 50~82 mm.

Flank wear at tool life : 0.4 mm.

cemented carbide P 10

V=100 m/min
T=30 min

V=300 m/min
T=3 min

cermet

V=100 m/min
T=5 min

V=300 m/min
T=1.5 min

 Al_2O_3 ceramic containing TiC carbide

V=100 m/min
T=70 min

V=300 m/min
T=5.5 min

0.5mm

Photo. 1. Wear marks and damages observed on three types of cutting tool in continuous cutting.

V : Cutting speed T : Machining time

とくに注目すべきは、カーバイド系セラミックである。従来のセラミックが、鋳鉄の断続切削のみ可能であった^{13,14)}ことからすると、鋼材の断続切削が可能になったことは著しい進歩であるといわねばならない。その上、これまで鉄系焼結材料の切削にセラミックが不向きである⁸⁾とされていたことが、逆にカーバイド系セラミックによって、もっとも適している工具材質になったことにも注目すべきであろう。

III-3 工具損傷

次に、連続切削および断続切削における工具の摩耗状態を含めた損傷について触れておきたい。

Photo. 1 は、連続切削における3種類の工具の摩耗と損傷を切削速度と切削時間の関係で示している。超硬 P 10 とカーバイド系セラミックの摩耗痕から、この両者は、比較的安定した切削を行なったことをうかがうことができる。これに対して、サーメットにおいては、逃げ面摩耗痕からわかるように、凝着物の離脱によると思

われるような、おう突のはげしい摩耗痕を呈する。ただ、この原因が熱的なものであるか機械的なものであるかを明言することはできない。もし熱的な原因とすれば、すくい面も逃げ面と同様にはげしく摩耗されねばならない。ただ、ここで一般的に切くずの生成状態とその形状をみて、それが連続流れ形を呈しながらも比較的細かく切断されて排出されることからみて、すくい面には、さほどの大きな機械的応力はかからなかったであろうと考えられる。すなわち、主分力が低めに測定される場合に相当すると考えられる。したがって、工具材料固有の高温での熱的な材料学的特性（たとえば相手材との溶着性とか耐酸化性など）と機械的な材料学的特性（たとえば破壊とか変形）の両者からきまってくるものであるとみられる。

通常、アルミナ単味のセラミック工具は、鋼材に対する場合に切削速度が 100 m/min あたりになると低速性の欠損を生じやすいことがよく知られている。ところが

Photo. 2. Flank wear marks observed on three types of cutting tool in intermittent cutting.

V : Cutting speed T : Rotation time of cutter

カーバイド系セラミックは 100 m/min においても非常に安定した切削が可能であったし、巨視的にも微視的にも欠損を生じなかった。これは、前節にも述べたように添加された TiC の効果が低速で発揮されたとみることができる。このような TiC の効果は、摩耗試験において明確にみられた¹¹⁾。

Photo. 2 は Photo. 1 と同様に断続切削における逃げ面の工具摩耗を示す。400 m/min をこえるような高速切削においては、その高い切削温度に耐えられず超硬とサーメットは切刃部で軟化変形（だれ）を生じ、同時にはげしい機械的摩耗を生じるようになる。カーバイド系セラミックの摩耗痕からは、高温で極端に強度低下したことによるとみられるような状況は観察されない。しかし、通常の摩耗試験の結果からすると、400~500 m/min 以上ではもはや TiC 添加の効果がみられなくなり、これに代って Al_2O_3 が耐摩耗性を発揮するようになる¹¹⁾。超硬とサーメットは 185 m/min の切削速度においても、すでに耐熱性にとばしい状況になっていると推察されるのである。

IV 結 言

以上の結果を総括すると、次のようになる。

- 1) 工具すくい角は、負にとるのがよく、しかも切刃稜をチャンファしてランドを設けるのがよい。そのランド幅は、送り量をこえない程度で、2 段すくい角になるようにすべきである。
- 2) 連続切削において、カーバイド系セラミックが工

具寿命および工具損傷のいずれの点でもっとも良好な結果を示した。その実用的な切削速度は 100~200 m/min である。

3) 正面フライス削りにおける断続切削でも、カーバイド系セラミックの工具寿命がもっとも長い。そして、カーバイド系セラミックと超硬の寿命時間は連続切削におけるそれにほぼ等しく、断続切削が工具摩耗にとくに悪い影響をもたらさなかったことがわかった。また、実用的な切削速度は 150 m/min 以下にあるといえる。

終わりに実験用被削材について種々御配慮いただいた俣豊田中央研究所木村尚氏に厚く御礼申し上げる次第である。

文 献

- 1) 林：名古屋工業試験所報告, **5**, (1965) 11.
- 2) Roy, S. Farnison, & E. Geijer : Fifth Annual Meeting General Session on Powder Metallurgy April, 1959.
- 3) Höganäs Sponge Iron Corporation
- 4) R. Huseby : American Machinist, **112**, (1968) 43.
- 5) 田中, 津和, 大森：精密機械, **31**, (1965) 100.
- 6) 田中, 大森：昭和43年度精機学会秋季大会前刷 p. 103
- 7) 田中, 津和, 大森：精密機械, **32**, (1966) 703.
- 8) 大森：学位論文, 大阪大学, 昭和45年.
- 9) 川崎製鉄：粉末冶金用鉄粉 KIP 技術資料 (3) p. 90.
- 10) 杉田：マシニスト, **17**, (1973) 3.
- 11) 杉田：粉体および粉末冶金, **21** (1975) 213.
- 12) 杉田：姫路工業大学研究報告 No. 19A (1966) 87.
- 13) 杉田：学位論文, 大阪大学, 昭和40年.
- 14) T. Sugita : Reports of Himeji Institute of Technology No. 16A (1963) 71.