鑄造用アルミニウム合金の被削性に及ぼす 工具-切くず接触長さの減少効果*

山田 始**・田中 他喜男**

Effect of decreasing the tool-chip contact length on the
machinability of casting aluminum alloys*

UDC: 669.715-14:621.9.01

Hajime YAMADA** and Takio TANAKA**

The tool-chip contact length was artificially decreased by decreasing the width of first rake surface of double rake tool to examine its effect on the machinability of aluminum casting alloys. Decreasing the tool-chip contact length has a remarkable effect to improve the finished surface and to reduce the cutting force in machining such alloys as Al-5%Cu and Al-12%Si alloys having long natural tool-chip contact length. It is not so noticeable in machining such alloys as Al-Zn-Mg alloys having short natural tool-chip contact length. The tool wear is also reduced with shortening the tool-chip contact length.

(Received December 12, 1978)

1. 緒 言

工具すくい面と切くずとの接触長さ(工具-切くず接触長さ)は、被削性を支配する重要な因子で、この長さを減少することは、被削性の向上に対して非常に有効であるといわれている^{1)~6)}。しかし、これらの結果は、主として被削性の比較的良好な炭素鋼、銅および黄銅などに対する結果であつて、これらの被削性にくらべると構成刃先なども著しく、総じて良好な切削仕上面が得られにくいアルミニウム合金に対する工具-切くず接触長さの減少効果については、ほとんど明らかにされていない。

このため本報は、拘束工具(restricted contact tool)を用い、人為的に切くず接触長さを減少することにより、鑄造用アルミニウム合金の被削性に及ぼす工具-切くず接触長さの減少効果について調べた。この結果、工具-切くず接触長さの減少は、鑄造用アルミニウム合金の切削仕上面の向上、切削力、工具摩耗の軽減に対して有効であるが、その効果は、切くず自然接触長さの長い合金に対して顕著であることが明らかとなつた。次にこの結果について報告する。

2. 試料および実験方法

実験に供した鑄造用アルミニウム合金は、Al-5%Cu

(AC1A)、Al-12%Si(AC3A)、Al-5%Mg(AC7A)およびAl-4%Zn-2%Mg合金の砂型鑄造材で、試料の形状は、直径40mmの丸棒および肉厚1.5mmの中空円筒である。Table 1はこれら試料の分析結果を示す。

用いた拘束工具は、Fig. 1に示す2段すくい角の形状のSKH4の片刃バイトで、第2すくい角を極端に大きくとり、切くずが第2すくい角に接触しないようにしたものである。したがつて、工具と切くずとの接触長さは、第1すくい面の幅、すなわちランド幅Wによつて拘束され、ランド幅を短くすることにより、人為的に工具-切くず接触長さを減少するものである。ランド幅Wは最低0.1mmまで種々変化させた。第1すくい角 α は、 10° (第2すくい角 $\beta=30^\circ$)と 0° (第2すくい角 45°)の2種類とした。また比較のため用いた普通工具は、拘束工具と同じ刃先諸元のシングルレーキバイトである。

切削仕上面、切削力、工具摩耗は前記試料の外周削りによつた。また、切くずの自然接触長さ、摩擦係数、せん断角は、円筒端面削りによる2次元切削より求めた。このうち摩擦係数は、切削力をすくい面に沿う接線力とすくい面に垂直方向に働く法線力に分解することによつて算出した。なお、円筒端面の2次元切削の場合の切込み送り(t_f)は0.05mm/revとした。

切削仕上面あらさは、10点平均あらさ(Hz)で測定し、基準長さは2.5mmとした。

* 軽金属学会第55回秋期大会(53-11)にて発表した。

** 滋賀県立短期大学(彦根市)。Shiga Prefectural Junior College(Hikone)。

3. 実験結果

3.1 切削仕上面に対する効果

Photo 1 は、端面削りによる2次元切削の場合の AC1A, AC3A, AC7A および Al-4%Zn-2%Mg 合金の工具と切くずとの自然接触長さを急停止装置により調べたものである。これより各合金の切くず自然接触長さを求めると、AC1A および AC3A の切くず自然接触長さは約0.6 mm となり、試料合金のなかでは最も長い。これに対して、鋳造用アルミニウム合金のなかでは最も被削性のよい部類に属する AC7A の切くず自然接触長さは約0.4 mm で、AC1A, 3A にくらべるとかなり短い。しかし、Al-4%Zn-2%Mg 合金の切くず自然接触長さ

Table 1 Chemical composition of specimens(wt%).

Alloy	Cu	Si	Mg	Zn	Fe
Al-5%Cu	4.58	0.06	0.07	0.03	0.17
Al-12%Si	0.05	11.72	0.02	0.02	0.21
Al-5%Mg	0.03	0.06	5.10	0.04	0.16
Al-4%Zn-2%Mg	0.07	0.07	2.25	4.20	0.12

Fig. 1 Shape of restricted contact tool used.

Photo 1 Difference of tool-chip contact length of Al-5%Cu, Al-12%Si, Al-5%Mg and Al-4%Zn-2%Mg alloys. (V: 100 m/min, t_r : 0.05 mm/rev, side rake angle α : 10°)

はさらに短く、0.3 mm 程度の非常に短いものである。

次に、AC1A および AC3A の切削仕上面に及ぼす工具のランド幅の影響を **Fig. 2, 3** に示す。AC1A, 3A とほとんど同じような傾向が見られ、0.6 mm 近辺のランド幅より、ランド幅が減少するに従って切削仕上面は顕著に良好となる。この0.6 mm 付近は、前述のAC1A, 3A の工具-切くず自然接触長さとはほぼ一致するので、0.6 mm 近辺のランド幅より、工具と切くずの接触長さは拘束されるようになり、ランド幅に対応して、工具-切くず接触長さは減少しているものとみられる。

しかし、切削仕上面の向上に対しては、工具-切くず接触長さの減少効果のほかに、構成刃先の減少効果あるいは2段すくい角工具に対する構成刃先の影響⁷⁾も考えられる。このため、**Photo 2** に0.1 mm と0.5 mm のランド幅の拘束工具の切削後の刃先状況を示すが、構成刃先

Fig. 2 Effect of width of cutting land on the roughness of finished surface of Al-5%Cu alloy. (feed: f 0.05 mm/rev)

もかなり著しく、このままの状態では、切削仕上面の向上が工具-切くず接触長さの減少効果によるものか、あるいは構成刃先の影響によるものか推定がつかない。このため、構成刃先をできるだけ少なくするため、工具刃先に切削油剤を注いだ (2 l/min) 場合の刃先状況を **Photo 3** に、また、この場合の切削仕上面に対するランド幅の減少効果をそれぞれ Fig. 2, 3 に併せて示す。切削油剤を用いた場合には、構成刃先は減少し、AC1A, 3A による刃先状況の相違もほとんど認められないので、Photo 3 は AC1A の場合だけを示したが、ランド幅 0.1 mm と 0.5 mm の間には構成刃先の顕著な相違は認められない。しかし、乾式切削の場合と同じように、ランド幅の減少による切削仕上面の向上が認められる。

さらに **Photo 4** は、ランド幅 0.1 mm の拘束工具と普通工具との切削状況を AC1A の端面切削の場合につい

Fig. 3 Effect of width of cutting land on the roughness of finished surface of Al-12%Si alloy. ($f: 0.05\text{ mm/rev}$)

Photo 2 Aspects of built-up edge depend on the width of cutting land. (Cutting condition is same as $V=50\text{ m/min}$ shown in Fig. 2 and 3)

て、急停止装置によつて調べた結果であるが、この瞬間においては、いずれも構成刃先の残留は認められない。しかし、切くず厚さには両者の間に相違が認められ、ランド幅 0.1 mm の拘束工具のほうが切くず厚さは薄く、

Photo 3 Aspects of built-up edge depend on the width of cutting land when used cutting fluid. (Cutting condition is same as $V=50\text{ m/min}$ shown in Fig. 2)

Photo 4 Comparison of chip-forming process by restricted contact tool and conventional tool. ($V: 100\text{ m/min}$, $t_f: 0.05\text{ mm/min}$, $\alpha: 10^\circ$)

Fig. 4 Effect of width of cutting land on the roughness of finished surface of Al-5%Mg alloy. (f : 0.05 mm/rev)

Fig. 5 Effect of width of cutting land on the roughness of finished surface of Al-4%Zn-2%Mg alloy. (f : 0.05 mm/rev)

したがって、せん断角が大きく、良好な切削仕上面が得られることが認められる。

以上の結果より、ランド幅の減少による切削仕上面の向上は、構成刃先による影響も多少はあると思われるが、主な原因は工具-切くず接触長さの減少効果によるものと見られる。

Fig. 4 は AC7A の切削仕上面に及ぼすランド幅の影響を示す。AC7A の場合には、約0.4 mm 以下のランド幅より切削仕上面が向上するが、0.4 mm 近辺は前述の AC7A の切くず自然接触長さに相当するので、これ以下のランド幅においては、工具-切くず接触長さは拘束され、減少しているものとみられる。しかし、工具-切くず接触長さの減少による切削仕上面の向上は、AC1A、3A よりも少なくなる傾向が見られる。

Fig. 5 は、さらに切くず自然接触長さの短い Al-4% Zn-2%Mg 合金の切削仕上面に及ぼすランド幅の影響を示すが、この合金ではランド幅の減少、すなわち工具-切くず接触長さの減少による切削仕上面の向上は、ほとんど認められなくなる。

この結果、切削仕上面に対する工具-切くず接触長さ

Fig. 6 Effect of tool-chip contact length on the coefficient of friction on the rake surface. (V : 100 mm/min, t_r : 0.05 mm/rev, α : 10°)

Fig. 7 Effect of tool-chip contact length on the shear angle. (V : 100 m/min, t_r : 0.05 mm/rev, α : 10°)

の減少効果は、切くず自然接触長さの長い合金に対しては顕著な効果を有するが、切くず接触長さが短く、良好な切削仕上面が得られる合金に対しては、その効果は少ないものとみられる。

工具-切くず接触長さの減少によって、切削仕上面が向上する理由として、**Fig. 6** に工具-切くず接触長さの減少による摩擦係数の変化を示すが、切くず自然接触長さの短い Al-4%Zn-2%Mg 合金を除けば、工具-切くず接触長さの減少によって、摩擦係数が減少することが認められる。摩擦係数が減少すると、せん断角が増加することは明らかであるが、さらに **Fig. 7** は、切くず厚さから求めた、せん断角の変化を示す。せん断角の測定においても **Fig. 6** と同じような結果が得られ、工具-切くず接触長さの減少によって、せん断角が増加することが認められる。すなわち、工具-切くず接触長さの減少によって、せん断角が増加するので、切削仕上面が向上す

Fig. 8 Effect of width of cutting land on the cutting forces in turning of Al-5% Cu, Al-12%Si, Al-5% Mg and Al-4%Zn-2%Mg alloys. (V :150 m/min, t :1.5 mm, f :0.05 mm/rev, α :10°)

ることが明らかである。

3.2 切削力および工具摩耗に対する効果

Fig. 8 は切削力に対する工具-切くず接触長さの減少効果について示す。工具-切くず接触長さの減少は、鋳造用アルミニウム合金の切削力の軽減に対しても有効であることが明らかである。しかし切削力においても、切くず自然接触長さの長い合金に対しては効果が大きい、Al-4%Zn-2%Mg 合金のように、切くず接触長さの短い合金では、その効果は非常に少なくなる。

次に、工具摩耗に対する工具-切くず接触長さの影響を工具摩耗の比較的著しい AC3A について調べた。

Fig. 9 はランド幅 0.1 mm、すなわち工具-切くず接触長さ 0.1 mm の拘束工具と普通工具との工具寿命の相違を示す。なお工具寿命 (T) は、フランク摩耗の最大幅が 0.2 mm に達するまでの時間とした。

工具寿命は、切くず接触長さを減少することにより増加することが明らかであり、工具寿命方程式 $VT^n = C$ の n および C の値を図より求めると、切くず接触長さを拘束しない普通工具では $n=0.48$, $C=68$, これに対して、切くず接触長さを 0.1 mm に拘束した場合には $n=0.47$, $C=100$ となった。

工具-切くず接触長さの減少によって、工具摩耗が減少する理由については、工具-切くず接触長さが減少すると工具すくい面の摩擦熱が減少する。さらにまた、工具-切くず接触長さの減少によってせん断角が増加し、せん断面積が減少するので、せん断による熱発生も少なくなる。このため工具刃先の発生熱が少なくなるので、工具摩耗が減少するものと考えられる。

Fig. 9 Difference of tool life between conventional tool and the tool with restricted contact length of 0.1 mm in turning of Al-12%Si alloy. (t :1.5 mm, f :0.05 mm/rev, α :10°)

以上のように、工具-切くず接触長さを減少させることは、Al-Zn-Mg 合金などのように、切くず接触長さの非常に短い合金を除けば、鋳造用アルミニウム合金の被削性の向上に対して有効である。一般に、切くず自然接触長さの長い合金は被削性がよくないが、工具-切くず接触長さの減少効果は、このような切くず接触長さの長い合金に対して、とくに顕著な効果が見られた。したがって、このような合金の被削性の向上に対して、工具-切くず接触長さの減少は、非常に有効と認められる。

4. 総 括

以上の結果を総括すると

(1) 工具-切くず接触長さの減少は、鋳造用アルミニウム合金の切削仕上面の向上、切削力の軽減に対して有効であるが、その効果は切くず自然接触長さの長い合金、たとえば AC1A, AC3A などに対しては非常に顕著である。しかし Al-4%Zn-2%Mg 合金のように、切くず自然接触長さの非常に短い合金に対しては、効果はきわめて少ない。

(2) 工具摩耗の軽減に対しても、工具-切くず接触長さの減少は有効である。

終わりに、本研究は滋賀県の依託研究費によることを付記し、深甚なる感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 竹山：精密機械, **22** (1956), 108.
- 2) 竹山：精密機械, **22** (1956), 224.
- 3) 竹山：精密機械, **23** (1957), 66.
- 4) R. T. Chao, K. J. Trigger: *Trans. ASME*, **81** (1959), 139.
- 5) E. Usui, K. Kikuchi, K. Hoshi: *Trans. ASME*, **84** (1962), 89.
- 6) 中沢, 三瓶：精密機械, **43** (1977), 463.
- 7) 財満, 鈴木, 塩川：軽金属, **28** (1978), 186.