非金属物質添加快削焼結材の開発研究*

(第3報, 添加物の作用)

山口勝美^{*1}, 中本 剛^{*2}, 木村篤良^{*3}

The Development of Free Machining Sintered Metal Including Non-metal Additives

(3rd Report, Action of Additives)

Katsumi YAMAGUCHI, Takeshi NAKAMOTO, and Atsuyoshi KIMURA

Mixtures of ferrous metal powders (pure iron, austenitic stainless steel, ferritic stainless steel) and non-metal additives (glass, talc, boron nitride) are sintered and those materials are cut. Then, the progress of tool wear during cutting is examined, and the differences of tool life between the sintered materials are examined. Next, in order to clarify the reason why tool wear decreases with the addition of non-metal materials, the relief face after cutting is examined with an Electron Probe Microanalyzer. The conclusions obtained are as follows: (1) Tool life is prolonged by the action of additives in pure iron and austenitic stainless steel, but it is not prolonged in ferritic stainless steel. (2) Glass in the sintered metal acts as a lubricant on the relief face.

Key Words: Cutting, Tool Life, Additive, Free Machining, Tool Wear, Sintered Material, Electron Probe Microanalyzer

1. 緒 言

被削性を向上させるいわゆる快削添加物と呼ばれている元素にはイオウ、鉛などがあげられ、それらを添加した代表的な快削材として、イオウ快削鋼、鉛快削鋼などがある。また、鋼中に含まれる非金属介在物の働きを利用して、工具摩耗を抑制するような快削鋼も広く使用されてきている⁽¹⁾。

著者らはこれまで介在物としていろいろな物質を添加し、これらの物質によって工具寿命がどの程度改善することができるかということを調べてきた⁽²⁾⁽³⁾。その研究においては金属粉に非金属物質を添加した焼結材を作ってこれを切削実験し、どのような物質が工具摩耗を抑制するかを調べる方法を用い、最も効果的な物質を明らかにしてきた。その結果、純鉄粉、オーステナイト系ステンレス粉においては窒化ほう素、ガラス、タルクを添加すると工具寿命が大幅に改善されることが明らかにされた。

また、これらの非金属物質を添加した焼結材の引張

試験や衝撃試験を行い、機械的な強度がほとんど低下しないことも確かめた。

本研究では3種類の異なる被削材(純鉄, オーステナイト系ステンレス, フェライト系ステンレス)を切削し、非金属物質の添加による工具寿命の改善効果の違いを比較するとともに、電子プローブ微量分析(Electron Probe Microanalyzer)によって工具面付着物を分析することから添加物の作用機構について検討したものである。

2. 切 削 実 験

2・1 切削実験の方法 本実験で用いた焼結体の母材は純鉄粉(神戸製鋼製, アトマイズ鉄粉アトメル300 M), オーステナイト系ステンレス粉(大同特殊鋼製, DAP 304 L)ならびにフェライト系ステンレス粉(大同特殊鋼製, DAP 410 L-B)である。表1(a)に純鉄粉, (b)にオーステナイト系ステンレス粉, (c)にフェライト系ステンレス粉の化学成分を示す。

また、添加する非金属物質としては著者らのこれまでの研究⁽²⁾⁽³⁾から窒化ほう素、ガラス粉、タルクが良いことが確かめられているので、この3種類を用いた。これらの添加物を表2にまとめた。

焼結材の作製方法はこれらの3種類の母材粉末にそ

* 昭和62年3月16日 東海支部第36期総会講演会において講演, 原稿受付 昭和61年7月18日。

^{*1} 正員, 名古屋大学工学部 (〒464 名古屋市千種区不老町)。

^{*2} 正員, 名古屋大学大学院。

^{*3} (株)大同特殊鋼 (〒457 名古屋市南区大同町2-20)。

表1 母材の種類

(a) 純鉄粉の成分

Chemical composition (%)				
C	Si	Mn	P	S
~ 0.001	~ 0.01	~ 0.20	~ 0.008	~ 0.012

(b) オーステナイト系ステンレス粉の成分

Chemical composition (%)						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
~ 0.030	~ 1.50	~ 0.30	~ 0.040	~ 0.030	9.00 ~ 13.00	18.00 ~ 20.00

(c) フェライト系ステンレス粉の成分

Chemical composition (%)						
C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
~ 0.030	~ 1.50	~ 0.40	~ 0.040	~ 0.030	~ 0.60	11.50 ~ 13.50

表2 添加物の種類

Additives	Density (g/cm ³)	Melting point (°C)	Mean diameter (μm)
BN	2.34	3000	8
Glass	2.50	—	40
Talc	2.75	—	5

表3 使用工具および切削条件

Type of tool		
K10, P20, Cermet		
Shape of Tool		
(-5, -6, 5, 6, 15, 15, 0.4)		
Cutting condition		
Cutting speed (m/min)	Depth of cut (mm)	Feed per revolution (mm/rev)
100 ~ 350	1.0	0.05

それぞれ非金属材料を少量加えて約2時間、混合し、595 MPaで圧縮成形した後、1200°Cで約2時間、焼結した。その具体的な混合方法、焼結方法は前報と同じである。

次にこれらの焼結材を切削実験し、工具逃げ面摩耗幅が0.2 mmに達するまで切削した時間を工具寿命とした。このときの使用工具および切削条件を表3に

示す。

2・2 切削実験の結果 2・1節の方法で作製した焼結材をK10, P20, サーメット工具で切削し、工具寿命を求めた結果のいくつかを図1~3に示す。ここでデータの一部は前報で報告した結果の一部を用いた。なお、図中Baseと記したデータが無添加の場合の工具寿命曲線である。また、添加率は体積含有率で示した。

掲載されたデータは純鉄粉焼結材、オーステナイト系ステンレス粉焼結材、フェライト系ステンレス粉焼結材で多少異なった条件のものになっている。たとえば純鉄粉焼結材やオーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合には切削速度が100~200 m/minの範囲で実験したが、フェライト系ステンレス粉焼結材の場合には200~350 m/minの範囲で実験した。これは図1~3からわかるように、フェライト系ステンレス粉焼結材は無添加の場合でも工具寿命が長い純鉄粉焼結材やオーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合に実験した切削速度域では工具寿命がたいへんに長くなってしまうので、切削実験を行うことができないからである。また、各金属粉で添加物による効果が異なるとともに最も効果的な添加率も異なっている。さらに使用工具によってもその効果に差があるために、3種の被削材の添加物の効果を一律に同じ条件で比較しても必ずしも意味があるとは限らない。

しかし図1~3よりわかるように全体として見た場合、以下のようなことがいえる。被削材が純鉄粉焼結

材やオーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合には非金属物質を添加することにより、かなりの工具寿命の改善効果がみられた。一方、フェライト系ステンレス粉焼結材の場合には、図3(a)、(b)からは工具寿命の改善効果は現れないかむしろ無添加の場合と比べて工具寿命が低下するようにみられる。しかし、図3

(c)に示すように添加率によってやや改善される場合もあり、本質的に純鉄粉焼結材やオーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合と異なるというほどでもないようで、程度の差の違いと考えてよいのではないかと考えられる。フェライト系ステンレス粉焼結材の場合にはオーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合と比べ

(a) K10 工具の場合

(a) K10 工具の場合

(a) K10 工具の場合

(b) P20 工具の場合

(b) P20 工具の場合

(b) P20 工具の場合

(c) ガラスの体積含有率と工具寿命

図1 純鉄粉焼結材の工具寿命

(c) ガラスの体積含有率と工具寿命

図2 オーステナイト系ステンレス粉焼結材の工具寿命

(c) ガラスの体積含有率と工具寿命

図3 フェライト系ステンレス粉焼結材の工具寿命

表4 ガラス粉の成分

Chemical composition (%)						
SiO ₂	Na ₂ O	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	K ₂ O	Fe ₂ O ₃
70.6	14.5	8.5	2.0	1.1	0.55	0.18

表5 EPMAを行った試料

No.	Material	Additive	Tool
1	Iron	—	K10
2		Glass 3%	
3	Austenitic Stainless Steel	Glass 3%	P20
4	Ferritic Stainless Steel	Glass 3%	Cermet

でもともと無添加でも1けたほど工具寿命が長いので添加物の効果が現れにくいものと考えられる。

以上のように3種類の金属粉において、添加物の効果の程度はそれぞれ異なるものの、それぞれの寿命曲線が特に異なったものにならないので、工具寿命が改善される機構は同じようなものであることが予想される。この点については以下の分析で調べることにする。

3. 電子プローブ微量分析

これまで述べたように非金属物質添加による工具寿命の改善効果の原因は、被削材中の非金属物質が潤滑剤ないしは保護膜として働くことにありと思われる。そこでその作用機構を検討するために切削後の工具逃げ面における付着物の分析を行った。使用した手法は電子プローブ微量分析 (Electron Probe Microanalyzer, 以下、EPMA と呼ぶ) 法である。

ところで本研究で用いた添加物のうち、窒化ほう素の場合には、その構成元素である窒素とほう素はともに原子番号が小さく、EPMA によっては検出されにくい。また、タルクは一部を除いて工具寿命を改善する効果が小さい。これに対してガラス粉は添加率による効果が大きいので、この焼結材について EPMA を行った。ここで本研究で添加物として用いたガラスの成分を表4に示す。また、本研究では何種類もの被削材と工具の組合せについて分析を行ったが、ここで述べる分析に用いた組合せを表5にまとめて示す。

3・1 定性分析 まず最初に逃げ面にどのような元素が存在するか定性分析した。その一例を図4に示す。図は純鉄粉にガラスを3%添加した焼結材をK10工具で切削速度200 m/min, 16 min 切削した後の工

母材 : 純鉄粉焼結材
 添加物 : ガラス3%
 工具 : K10
 切削速度 : 200 m/min

図4 定性分析の結果

具逃げ面を分析した結果である。図より被削材の主成分である鉄や、工具の主成分であるタングステンばかりでなく、ガラスの成分であるカルシウムやけい素も検出されていることがわかる。このような分析により、検出しやすいある特定の成分を取り上げ、その成分の逃げ面上の分布を調べた。

3・2 定量分析 まず、工具逃げ面の電子顕微鏡写真を図5に示す。写真の右側面が逃げ面で、白い縦すじ状部分が摩耗した面であり、その下側に付着物が観察される。

切削後の工具逃げ面の概略図を図6(a)に示す。定量分析の分析箇所は刃先から0.5 mmの位置で、すくい面と垂直に逃げ面に沿って走査した。この走査線で切断した断面図が図6(b)である。走査した領域は図に示す四つの領域に分けることができる。すなわちAはすくい面もしくはチャンファに被削材がたい積して

図5 切削後の工具逃げ面の電子顕微鏡写真

(a) 切削後の工具逃げ面の概略図

(b) a-b断面図とEPMAの分析領域

図6 切削後の工具の概略図

図7 母材の分析

(a) 逃げ面の定量分析

(b) 工具寿命

図8 ガラス添加の純鉄粉焼結材の分析

いる領域、Bは工具逃げ面が摩耗して工具面が露出しているように見える領域、Cは逃げ面に被削材がたい積している領域であり、Dはそれより先の工具の逃げ面である。

次に分析結果を示す。図7は無添加の純鉄粉を切削した場合の分析をした結果である。条件は使用工具 K 10, 切削速度 200 m/min, 13 min 切削したものである。

図7よりAの領域で鉄の濃度が高く、刃先に被削材がたい積していることがわかる。Bの領域では鉄はほとんど検出されず、タングステンが検出され、工具材が露出していることがわかる。それに続くCの領域ではまた鉄が検出され、被削材の物質が摩耗した面の

後方にたい積していることがわかる。この場合、被削材は無添加なので、例えばカルシウムについてその分布を調べてみると、図7のようにその成分はほとんど検出されない。

図8(a)は純鉄粉にガラスを3%添加した焼結材を切削した結果である。切削条件は同じく K 10 工具で切削速度 200 m/min で16分間、切削したものである。図7と同様にBの領域ではほとんどタングステンのみが検出されているが、Cの領域では刃先に近い箇所ではカルシウムとけい素が多量に検出される。その先では鉄が多く検出される。カルシウムやけい素は被削母材中にはそれぞれ鉄に対する割合では0.06, 0.3%しか添加していないにもかかわらず、C領域ではそれぞれ10, 53%と多量に検出された。これは両成分ともに約170倍も多く検出されたことになる。また、カルシウムとけい素の分布状態は同じような形をしてい

(a) 逃げ面の定量分析

(a) 逃げ面の定量分析

(b) 工具寿命

(b) 工具寿命

母材 : オーステナイト系ステンレス粉焼結材
添加物 : ガラス3%
工具 : P20
切削速度 : 150 m/min

図9 ガラス添加のオーステナイト系ステンレス粉焼結材の分析

母材 : フェライト系ステンレス粉焼結材
添加物 : ガラス3%
工具 : サーメット
切削速度 : 250 m/min

図10 ガラス添加のフェライト系ステンレス粉焼結材の分析

て、その成分比はガラス中のそれとほぼ等しいことから、これらのカルシウムとけい素元素は添加物中のガラスに含まれていたもので、ガラスがこの位置に選択的にたい積したものと見える。結局この場所でのガラスの濃度は約170倍濃くなっていることがわかった。また、同図(b)にはこの切削速度における工具寿命を無添加の場合と比べて示した。この場合、工具寿命は20倍以上改善された。

第2にオーステナイト系ステンレス粉にガラスを3%添加した焼結材を分析した例を図9(a)に示す。条件はP20工具で切削速度150 m/min, 5 min 切削したものである。この際も逃げ面の摩耗域よりも先にカルシウム、ナトリウム(この場合はケイ素の代わりにナトリウムについて調べた。)が検出される。C領域では、ガラスは被削材中の約60倍、検出された。この場合の工具寿命を無添加の場合と比較して図9(b)に示す。工具寿命は約6倍、改善された。

第3にフェライト系ステンレス粉にガラスを3%添加した焼結材をサーメット工具で切削速度250 m/minで5 min, 切削した場合の工具逃げ面の分析例を図10(a)に示す。この場合もガラスは70倍程度検出された。しかし、工具寿命は同図(b)に示すように約2倍ほどしか改善されなかった。この原因は先に述べたように、無添加でも、もともと工具寿命が長く、添加の効果があまり現れないからであると考えられる。

以上の結果から、ガラスを添加した焼結材を切削した場合、被削母材や工具にかかわらず、逃げ面の摩耗域の後方〔図6(b)のC領域〕にガラス中の元素が被削材中に含まれている時の数十倍から200倍近い濃度でたい積していることが確認された。また、工具の摩耗域ではほとんど工具の構成元素だけが検出され、添加物成分はあまり検出されなかった。被削材中の介在物による工具寿命の改善の原因として、ベラーグ層の形成による工具面保護作用が考えられている⁽¹⁾。しかし、本研究の結果から、そのようなものは明確には検出されなかった。その代わり、摩耗領域の後方に非金

属添加物が選択的に多量に検出された。これは添加物が逃げ面上で潤滑作用をしたと解釈したほうがよいように考えられる。すくい面の摩耗係数の測定⁽⁴⁾からも添加物は摩耗係数を下げる働きがあることが示されており、この点を併せて考えると潤滑作用が工具寿命を伸ばす原因の一つとなっていると考えてよさそうである。

4. 結 論

非金属物質を純鉄粉、オーステナイト系ステンレス粉、フェライト系ステンレス粉に添加して焼結材を作製して切削実験を行い、さらに切削後の工具逃げ面を分析して次の結論を得た。

(1) 純鉄粉焼結材、オーステナイト系ステンレス粉焼結材の場合には非金属物質を添加することにより大幅に工具寿命を改善することができた。しかしフェライト系ステンレス粉焼結材は非金属物質を添加しても工具寿命の改善効果は小さい。これは無添加の場合でも工具寿命がもともと長いからであると考えられる。

(2) ガラスを添加した焼結材を切削した後の工具逃げ面の後方にはガラス中に含まれていた元素がかなりの濃度で付着していることが確認された。

(3) 焼結材に添加された非金属物質のガラスは工具逃げ面と被削材の間で潤滑作用をすることが工具寿命を大幅に延ばす原因の一つであると判断された。

文 献

- (1) Opitz, H., *International Research in Production Engineering*, (1963), 107 ASME.
- (2) 山口・中本・水野・大道, 非金属物質添加快削焼結材の開発研究 (第1報, 純鉄粉焼結材), 機論, 53-485, C (昭62), 235.
- (3) 山口・中本・西島, 非金属物質添加快削焼結材の開発研究 (第2報, ステンレス粉焼結材), 機論, 53-485, C (昭62), 243.
- (4) 山口・中本, 金属切削における非金属介在物の潤滑効果について, 機論, 53-486, C (昭62), 420.

討 論

〔質問〕 榊田 勝実〔秋田大学鉱山学部〕

添加物質の潤滑効果は、工具材質にも依存するような感じを受けた。例えば図2(c)でP20, K10の超硬系工具に対しては、ガラス含有率3%付近で最大効果が得られているが、サーメットではそのような極値が実験範囲では現れていない。したがって、ガラスの潤

滑作用だとは思われるが、その機構に若干の相違があるように感じられる。もちろん、論文の議論の展開から見て、本質問は図2になじむものではないことは承知しているが、潤滑機構の違いに対するご知見が得られていたら、ご教示いただければ幸いです。

〔回答〕 図1~3のそれぞれ(a)~(c)のグラフ

で示される結果がそれぞれ図で示されるような傾向を示すことは実験的に得られたものである。それぞれの結果がなぜそのような傾向を示すかということはよくわからない。特にご指摘の K 10, P 20 の傾向, サーマットの傾向がなぜ違うかについて工具面の付着物の分析を行ったが, その原因を示唆する明確なデータは得られていなかったのもので, 本文ではあえて言及しなかった。

〔質問〕 赤 沢 正 久

〔新日本製鉄(株)第二技術研究所〕

(1) 精機学会切削性専門委員会で行われた 13 Cr 鋼についての実験では, カルシウム脱酸を行っても被削性が改善されなかった(付1)。貴実験でもそのような結果が得られている。これは, ガラス物質無添加でも, もともと工具寿命が長いからといえるかどうか疑問である。もともと被削性の良い軟鋼でも, 快削性元素である硫黄とか鉛を添加してその被削性, 例えば, 工具寿命を大幅に延長することができることは周知である。

フェライト系ステンレス鋼で, なぜ改善が見られないのか, その機構を解明していただきたい。

(2) K 10 の工具では, 純鉄粉焼結材にガラスを

添加しても工具寿命が延長せず, むしろ短くなっているが, その原因は何か。

〔回答〕 (1), (2) オーステナイト系ステンレスを K 10 で切削した場合, 最も効果的な窒化ほう素を添加したとき, 約 20 倍ほど工具寿命が伸びるのに対し(切削速度 150 m/min で比較) フェライト系ステンレスではもともと無添加でオーステナイト系ステンレスより 50 倍ほど(同速度で比較) 工具寿命が長い。このような切削しやすい材料では添加物の効果は現れにくいと考えられる。ご指摘のようにこのことのみが効果の現れない原因ではないと思う。工具寿命改善の効果は工具材質, 被削材質, 添加物, 切削条件など組合せによってある場合にはより多く工具寿命が改善され, 他の場合にはかえって悪くなることがある。これらの理由を簡単に説明できるとは思われないし, また理由を個々, 明らかにするのが本論文の目的ではない。したがってご質問(1), (2)に関しそれぞれなぜこのようになるかについてはよくわからないと言わざるをえない。

(付1) 精機学会切削専門委員会, 13 Cr 鋼カルシウム脱酸鋼の被削性, 42 (昭51), 120.