

(論文)

# 被削性改善添加剤「KSX」

## KSX Free-machining Agent



古田智之\*  
Satoshi Furuta



赤城宣明\*  
Nobuaki Akagi



橋本康宏\*  
Yasuhiro Hashimoto



田中浩之\*\*  
Hiroyuki Tanaka

A newly developed free-machining agent called KSX is a fine powder that contains complex oxides includes calcium. KSX generates an oxide film on the tool surface during machining which prevent tool wear. KSX also improves machining efficiency at higher cutting speeds and cutting temperatures. KSX are now being expanded to heavy machining applications such as variable valve timing systems, and connecting-rods.

まえがき = 粉末冶金法は複雑形状で高精度を得るための有効な方法として、特に自動車部品用に年々適用が拡大している。しかし、プレスでは成形困難な形状や、機械加工を施さないと需要家の要求する精度へ対応できないなどの理由で、多くの部品に何らかの機械加工が施されているのが現状である。焼結部品は、空孔が存在するため熱伝導が悪く、また、工具に断続的な応力がかかるために、溶製材と比較して被削性が悪いことが知られている。

これまで焼結部品の被削性を改善するために、低融点金属、硫化物、酸化物などさまざまな添加剤が報告されている<sup>1)</sup>。これらの中で、MnS 粉が他の被削性改善添加剤と比べ粉末冶金用としての特性とコストとのバランスがより良いことから、被削性改善添加剤として多用されている。しかし、MnS 粉は焼結雰囲気での脱硫による有害ガスの発生、機械強度の悪化あるいは焼結体表面の汚れなどの問題がある。

このような状況で、MnS 粉に代替可能な新しい被削性改善添加剤 KSX を開発した<sup>2)</sup>。KSX はカルシウムを含有する複合酸化物からなり、従来の被削性改善添加剤が持つ粉末冶金プロセス上の問題がなく、被削性を改善することができる。

本稿では、KSX と一般的に使用される MnS 粉の機械的特性及び被削性について報告する。

### 1. 実験方法

被削性改善添加剤を評価するにあたり、Fe-Cu-C 系の配合として FC0205 を、Fe-Ni-Cu-Mo-C 系の配合として FD0405 を選定し、FC0205 配合では焼結体と鍛造体、FD0405 配合では焼結体について評価を行った。それぞれ、被削性改善剤添加なし、0.3~0.5wt%MnS 粉添加及び0.1wt%KSX 添加の比較を行った。使用した MnS 粉は

市販のものを使用した。MnS 粉の添加量は、焼結用では 0.5wt%、鍛造用では 0.3wt%とした。本実験に使用した MnS 粉と KSX のレーザ回折・散乱式粒度分布測定装置による粒度分布測定結果を、表 1 に示す。

原料粉は、純鉄粉としてアトメル 300M を、部分拡散型合金鋼粉として 4800DF-C を選定した。銅粉、黒鉛粉は市販のアトマイズ銅粉、天然黒鉛粉を使用した。配合の詳細を表 2 に示す。また、各配合において、潤滑剤として市販のステアリン酸亜鉛を 0.75wt%添加し、混合した。

FC0205 配合は、成形体密度 6.90g/cm<sup>3</sup> で成形し、次に 10vol%水素 - 窒素雰囲気にて 1 120 にて 30 分保持し焼結体を作製した。その後 1 050 に再度加熱し、1 078MPa で鍛造をし、鍛造体を作製した。FD0405 配合は、成形体密度 7.10g/cm<sup>3</sup> で成形し、次に 10vol%水素 - 窒素雰囲気

表 1 被削性改善添加剤の粒度  
Table 1 Particle size of free-machining agents

Free-machining agent	(μm)	
	KSX	MnS
D50	2.2	4.9
D90	5.1	9.0
D99	9.3	11.9

表 2 配合表  
Table 2 Mix composition

Base powder	Composition (wt%)	Free-machining agent (wt%)
300M (Pure)	Fe-2Cu-0.6Gr (FC0205)	No addition
		0.3MnS(PF) 0.5MnS(PM)
		0.1KSX
4800DF-C (Diffusion type)	Fe-4Ni-1.5Cu -0.5Mo-0.6Gr (FD0405)	No addition
		0.5MnS
		0.1KSX

\* 鉄鋼部門 鉄粉本部 鉄粉工場 \*\* 鉄鋼部門 鉄粉本部 鉄粉営業部

表3 被削性評価条件

Table 3 Evaluation conditions for machinability

Methods	Tool materials	Cutting speed (m/min)	Depth of cut / Dia. (mm)	Feed per revolution (mm/rev.)	Coolant
Turning	Carbide (K10)	100 ~ 120	0.5	0.1	None
	Carbide (P10)	100 ~ 200			
	Cermet (P20)	100 ~ 120			
	cBN	400		0.07	
Boring	Cermet (P10)	180	0.1	0.05	Aqueous coolant
Drilling	HSS (HS 6-5-2)	< 100	5 (Dia.)	0.1	None
	(Ti-Al)N coated carbide (K20)	110			

表4 被削性評価材料の機械的特性

Table 4 Mechanical properties of specimen for machinability evaluation

Composition		ID No.	Density (g/cm <sup>3</sup> )	Apparent hardness (HRB)	Radial crushing strength (MPa)	Tensile strength (MPa)	Fatigue strength (MPa)
FC0205 for sintered parts GD = 6.9(g/cm <sup>3</sup> )	No addition	A-1	6.79	63.4	666	-	-
	0.5MnS	B-1	6.79	63.8	655	-	-
	0.1KSX	C-1	6.79	66.5	693	-	-
FC0205 for forged parts	No addition	A-2	7.86	98.3	-	758	333
	0.3MnS	B-2	7.84	96.5	-	698	323
	0.1KSX	C-2	7.85	97.7	-	759	327
FD0405 for sintered parts GD = 7.1(g/cm <sup>3</sup> )	No addition	1	7.15	95.4	1 339	-	-
	0.5MnS	2	7.13	103.4	1 336	-	-
	0.1KSX	3	7.19	99.3	1 337	-	-

で1250にて30分保持し焼結体を作製した。

被削性評価に使用した工具及び切削条件を表3に示す。旋削とボーリング加工は、所定の切削時間または距離での工具逃げ面摩耗量を測定することにより評価した。ドリル加工は、切削不能となるまでの切削距離、及び所定の切削距離での工具逃げ面摩耗量を測定することにより評価した。

## 2. 結果と考察

### 2.1 機械的特性

被削性評価材料の機械的特性を表4に示す。いずれの配合においても、KSX添加材は無添加材と同等の機械的特性を示している。MnS粉添加材では、鍛造体引張強度が低下していることが分かる。

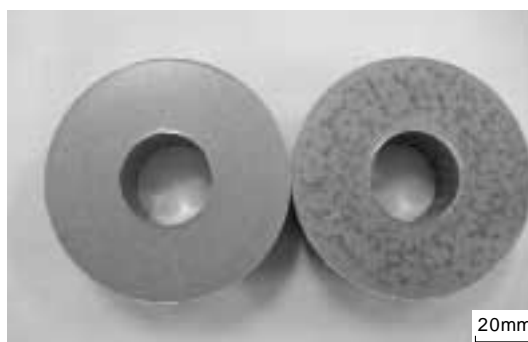
写真1にFC0205配合の焼結体表面を示す。MnS粉添加材には焼結体表面に汚れが発生しているが、KSX添加材では見られない。蛍光X線分析の結果、焼結後もKSXはそのままの組成で存在していることを確認した。このことから、一般的な焼結雰囲気ではKSXは安定であり有害なガスは発生しない。

### 2.2 被削性

#### 2.2.1 FC0205 焼結体

FC0205配合の焼結体(表4のA-1, B-1, C-1)の、旋削加工とドリル加工による被削性評価結果を、図1に示す。

旋削加工において、切削速度120mm/分では(図1(a)(b)(c))では、KSX添加材(C-1)は工具種類に関係なくMnS添加材(B-1)と同等の摩耗量を示した。しかし、切削速度が200~400m/分へ上昇すると(図1(d)(e))、KSX添加材の摩耗量はMnS添加材と比べ少なくなっている。一方、MnS添加材は切削速度の上昇に伴



KSX

MnS powder

写真1 FC0205 配合の焼結体表面

Photo 1 Surface of FC0205 sintered specimen

い、無添加材(A-1)との摩耗量の差が小さくなっている。工具寿命の判定を、仕上切削での逃げ面摩耗量の寿命判定基準である0.2mmとすると、KSX添加材はMnS添加材に比べて、切削速度200m/分では5倍、400m/分では7倍以上となる(図1(d)(e))。

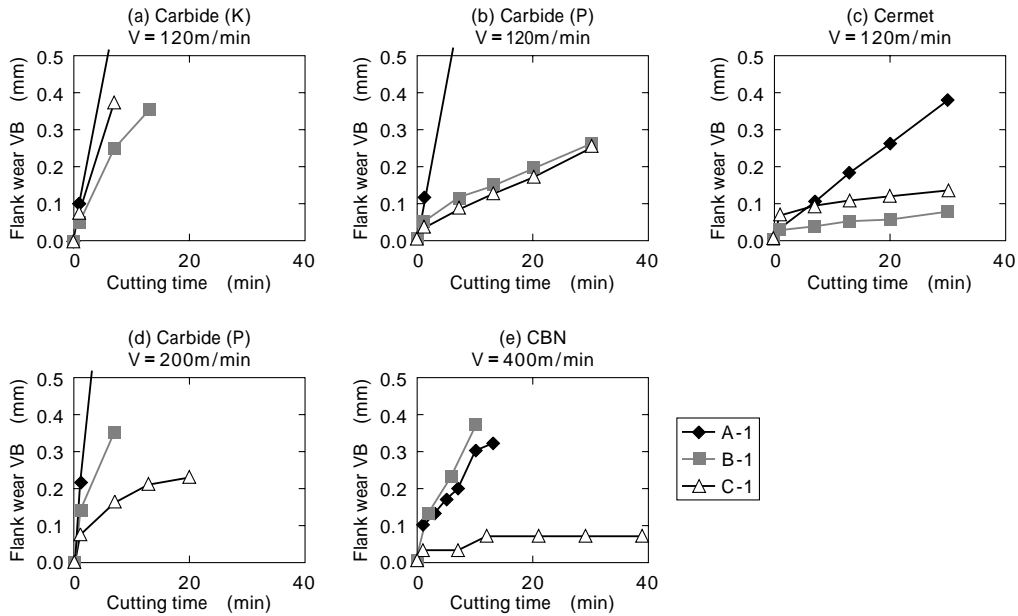
次にドリル加工においては、高速度鋼を用いた切削速度50m/分前後の低速度では(図1(f))KXS添加材の工具寿命はMnS添加材と比べて短い。しかし、コーティング超硬ドリルを使用し、110m/分まで切削速度を上げていくと(図1(g))KXS添加材のほうがMnS添加材より摩耗量が減少しており、MnS添加材に対して摩耗量0.2mmでの工具寿命は4倍程度に向上する。

旋削、ドリル加工ともに切削速度が速いほどKXS添加材が効果的で、MnS粉添加の効果が少なくなっていく傾向が見られた。

#### 2.2.2 FC0205 鍛造体

FC0205鍛造体のボーリング加工における被削性評価結果を図2に示す。摩耗量はKXS添加材(表4のC-2)

Turning : No-coolant ; (a)-(e)



Drilling : No-coolant ; (f), (g)

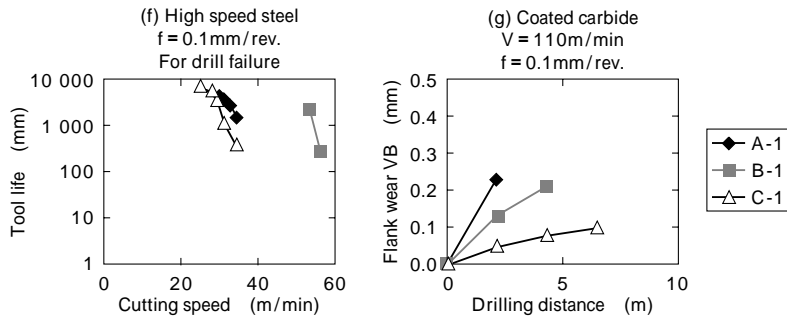


図1 FC0205 配合の被削性

Fig. 1 Machinability of sintered parts of FC0205 composition

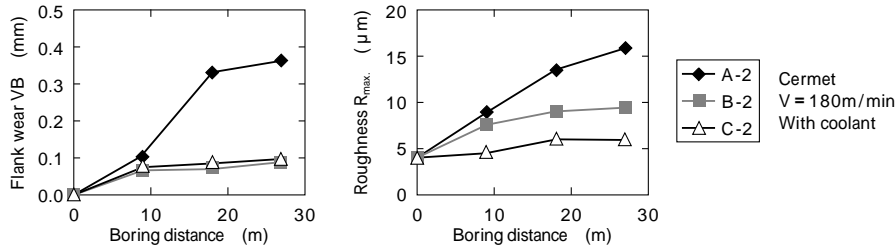


図2 FC0205 配合鍛造体のボーリング加工での被削性

Fig. 2 Boring machinability of forged parts of FC0205 composition

と MnS 粉添加材(B-2)との間に差は見られないが, KSX 添加材の方が被削材の表面粗度は小さい結果となった。これは, 冷却剤の使用により切削時の工具温度が低下し, MnS 粉添加材においては構成刃先が付着し, その結果表面粗度が悪化したものと考えられる。

### 2.2.3 FD0405 焼結体

FD0405 配合の旋削加工における各種工具材種に対する被削性評価結果を, 図3に示す。K種超硬の場合(図3(a)), いずれの材料も同等の摩耗量を示した。P種超硬(図3(b))及びサーメット(図3(c))の場合, MnS 添加材と比べ KSX 添加材の摩耗量は低減し, 摩耗量 0.2mm での工具寿命は5~6倍となった。FC0205 配合の同様の切削条件では, KSX 添加材は MnS 添加材と同等の摩耗

量を示した(図1(a)(b)(c))が, FD0405 配合の硬い材料では摩耗量の低減効果が見られた。

図4に, 切削抵抗の各種工具材種に対する比較を示す。MnS 添加材は工具材種に関係なく切削抵抗が低減している。一方, KSX 添加材の切削抵抗は無添加材と変わらないことから, 工具, 切屑間への潤滑効果はないと考えられる。

### 2.3 考察

切削速度 110m/分の試験に用いたコーティング超硬ドリルの逃げ面への付着物を蛍光X線分析した結果を図5に示す。無添加材では Fe, Al, Si が, MnS 添加材では Mn と S が, KSX 添加材では Ca が主要な元素として検出された。また, 他の摩耗量が少なかった場合の工具に

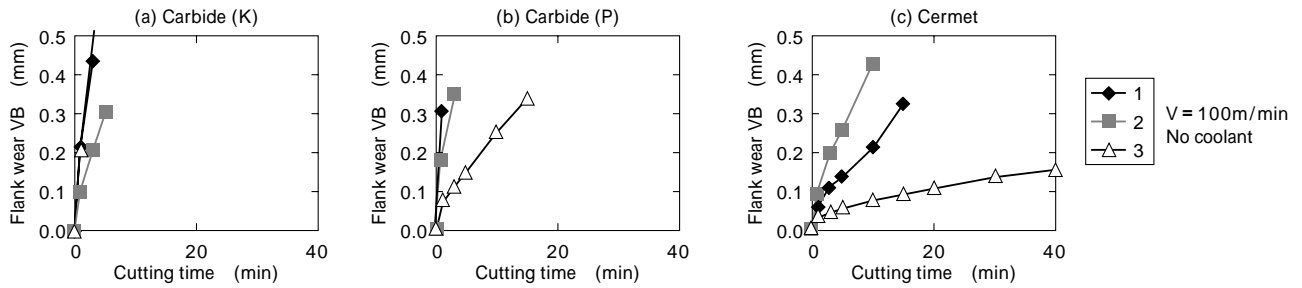


図3 FD0405 配合での旋削加工での被削性  
Fig. 3 Turning machinability of FD0405 composition

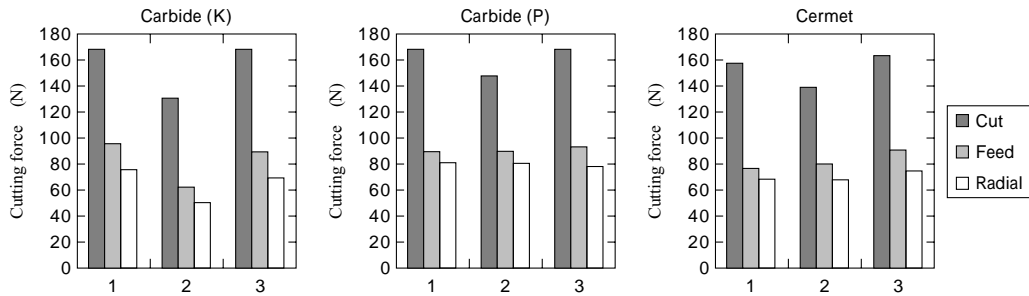


図4 FD0405 配合の切削抵抗  
Fig. 4 Cutting forces in FD0405 composition

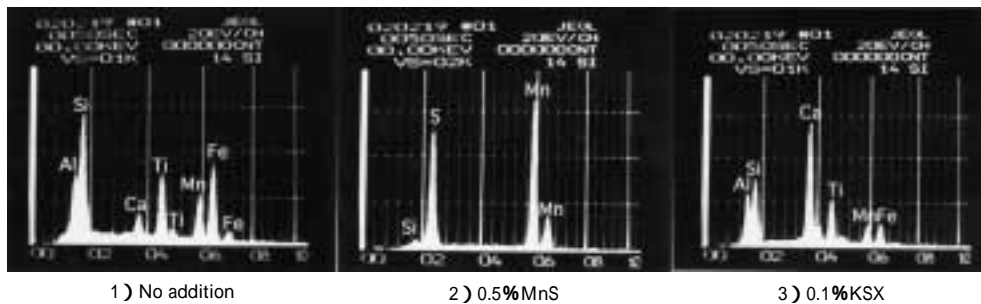


図5 (Ti-Al)N コートドリル逃げ面のX線スペクトル  
Fig. 5 X-ray spectrum on flank wear of (Ti-Al)N coated drill

においても、カルシウムを含む同様の付着物が観察された。これは、切削中の温度や圧力によってKXSが軟化、あるいは溶融し工具に付着、保護したものである。

KXS添加材で観察された工具付着物は、一般的にベラーク(belag)と呼ばれるもので、鉄の工具中への拡散を防止する効果がある。ベラークは工具中にTiCやTaCを多く含有するほど、また切削温度が上昇するほど工具に付着しやすいことが知られている<sup>3)</sup>。このことがTiCやTaCを多く含有するP種超硬、及びそれ以上の高級工具での切削、または切削温度上昇を引起す高速切削や硬い材料での切削でKXSが効果的である理由である。

一方、MnSは低速切削のときは潤滑作用を有するが、高速切削になると鉄の工具中への拡散が防止できない。MnSは工具表面に二層からなる層を形成するに十分な変形能を有するなどの理由から、構成刃先を生成しやすいとの報告がある<sup>4)</sup>。しかしながら、高速切削の場合は構成刃先が生成しにくくなるためにMnSは効果的でなくなる<sup>5)</sup>。

むすび = 新しい被削性改善添加剤KXSを開発した。実験結果より、KXSの特徴は以下のようにまとめられる。

1) KXSは少量で被削性改善効果があり、機械的特性の

悪化、焼結体表面の汚れあるいは焼結中の有害ガスの発生を引起こさない。

2) KXSは、切削温度が上昇する高速切削や硬い材料での切削、あるいはP種超硬以上のTiCやTaCを多く含有する高級工具での切削において、工具寿命の延長に寄与する。また、切削温度が低い低速切削では被削材の表面粗度を小さくする。

3) KXSの工具寿命延長のメカニズムは潤滑効果ではなく、工具表面にベラークと呼ばれる保護膜が付着することによって、鉄の工具中への拡散を防止する効果が大きい。

今後も自動車部品を中心に高強度化、高精度化のニーズはますます拡大していくものと予想される。特に、強度と被削性は相反する特性であり、この両立を目指して今後も開発を進めていく所存である。

#### 参考文献

- 1) 石井 啓ほか：電気製鋼，Vol.74, No.4 (2003) p.247.
- 2) S. Furuta et al. : PM2004 Conference Proceedings, Vol.2 (2004) p.339.
- 3) 鉄鋼便覧：Vol.4, No.4 (2002) p.66.
- 4) 片山 昌：機械技術，Vol.45, No.7 (1997) p.97.
- 5) 片山 昌：機械技術，Vol.45, No.1 (1997) p.106.