新超々快削鋼“SFC 3 FTS”について

木村篤良*, 中村貞行*

New Super Free-Machining Steel “SFC 3 FTS”

Atsuyoshi Kimura and Sadayuki Nakamura

Synopsis

A new super free-machining steel “SFC 3 FTS” which has the best machinability among steels has been developed. This bulletin describes the engineering characteristics of SFC 3 FTS, such as machinability, mechanical properties, cold forgeability, and case hardenability.

1. ま え が き

低炭素高硫黄系の快削鋼は JIS をはじめとする公的規格に定められており、生産量も快削鋼の中では最も多い。JIS では硫黄だけを含有する鋼種と、一部リンもしくは鉛を硫黄と複合して含有する鋼種が規格化されている。当社では、これらの快削鋼に加え、約20年にわたり硫黄と鉛、テルルを複合添加した“超々快削鋼・SFC 3 FT”を生産している。これらの鋼は主として自動盤により加工されるが、SFC 3 FT はとくに被削性にすぐれ、快削黄銅に近い被削性をもっているため OA 機器、家庭電気製品、カメラをはじめとする精密部品に加工されており、加工能率向上や切りくず処理性向上に役立っている。しかし、近年の OA 機器や VTR 機器分野の成長により、精密小物部品の生産量が増加し、SFC 3 FT よりさらに優れた被削性を有する快削鋼の開発が望まれるようになった。とくに、自動盤での高速切削が可能で、しかも切りくず破砕性に優れた快削鋼が望まれている。

る。著者らはこの要望に応えるべく、新しい超々快削鋼“SFC 3 FTS”を開発した(特許申請中)ので、以下にその概要を紹介する。

2. SFC 3 FTS の化学成分とミクロ組織

SFC 3 FTS の代表的な化学成分を Table 1 に示す。SFC 3 FTS は、通常、溶解、造塊、圧延の工程で製造され、二次加工を経て自動盤で部品に加工されるが、C 量が低いため、熱間圧延後の熱処理は省略される。Photo. 1 に代表的な介在物およびミクロ組織を示す。硫化物は Te を含有するため、ほぼ球状になっている。

3. SFC 3 FTS の被削性

3.1 試 験 方 法

前述のように、SFC 3 FTS は自動盤で加工され

Table 1. Typical chemical compositions of SFC 3 FTS.

C	Mn	P	S	Pb	Te	Special element
0.09	1.20	0.06	0.28	0.20	0.04	Added

昭和59年4月27日 受付

*大同特殊鋼㈱中央研究所

ることが多い。また、自動盤で加工する場合、工作機械の種類により、外周をハイス総形工具で加工するものと、超硬外削工具で加工するものがある。ASTM¹⁾では、ハイス総形工具を用いて試験する方法を規定しており、米国では多く実施されている。しかし、OA 機器や VTR 機器用の部品は直径 8mm 前後の細物が多く、スイス型自動盤で超硬工具を用いて切削する場合が極めて多い。この場合には工具寿命や仕上面あらさはもちろんのことながら、切りくず破砕性も重要な要素となる。そこで、ハイス総形加工と超硬外削加工の両方を同時に試験できるよう、Fig. 1 に示すような試験加工を行ない、工具摩耗、加工物寸法変化、仕上面あらさ、切りくず形状などを測定した。この場合の切削条件を Table 2 に示す。なお、試験に用いた材料は $\phi 12\text{mm}$ の熱間圧延コイルを $\phi 11\text{mm}$ に引抜き、直棒に加工したものである。

3.2 工具寿命

Fig. 2 に SFC 3 FTS と SFC 3 FT (12L14Te

Photo. 1. Typical microstructure of SFC 3 FTS.

相当) の超硬外削工具摩耗曲線を示す。SFC 3 FTS は SFC 3 FT に比べて工具摩耗が著るしく

Fig. 1. Schematic diagram of machinability test by the automatic screw machine.

Fig. 2. Side flank wear curves of carbide single point tool in turning.

Table 2. Cutting conditions for machinability test by the automatic screw machine.

	Single point tool	Formed tool	Drill	Cut-off tool
Tool	K 10(carbide) -5, -5, 5, 5, 15, 15, 0.4R Breaker-G	SKH 51(HSS) Rake angl. 6° End relief 6° Side relief 6°	SKH 51(HSS) Dia. 5mm Pnt. angl. 118°	K 10(carbide) Rake angl. 6° End relief 6° Side relief 6°
Feed(mm/rev)	0.10	0.045	0.10	0.06
Depth of cut(mm)	1.0	1.0	16	5.5
Length of cut(mm)	20	5	18	3
Speed(m/min)	150	150	82	150~0
Cutting fluid	Cutting oil JIS type-2, no.-3			

小さく、摩耗の増加速度も小さい。工具摩耗0.15mmになる時点で工具寿命を判定すると、SFC 3 FTSの工具寿命は約9 000個となり、SFC 3 FTの約1 500個に比べ約6倍である。Fig. 3にハイス総形工具の摩耗曲線を示す。ハイス総形工具の摩耗もSFC 3 FTより小さく、0.15mmの工具摩耗で工具寿命とすると、SFC 3 FTSの工具寿命はSFC 3 FTSの約3倍になっている。自動盤で加工された部品の寸法の変化は、構成刃先が大きな影響を与えないような場合には、工具の摩耗とはば対応している。本実験の場合にも、Fig. 4に示すように切削個数が増すと寸法が太くなっている。SFC 3 FTSはSFC 3 FTに比べて寸法変化が小さく、同一寸法変化で比較するとSFC 3 FTの3倍の加工個数になっており、工具摩耗で判定した工具寿命の比率と一致している。

Fig. 5は切削速度150m/minで得られた工具摩耗推移図Fig. 2, Fig. 3から工具摩耗0.15mmを寿命基準として寿命(個数)を読みとり、切削

速度200m/min(他の条件はFig. 2, Fig. 3と同じ)の時の工具摩耗推移図から同様に工具摩耗0.15mmの寿命基準で求めた寿命を切削速度-寿命線図(いわゆるV-T線図)である。図から、これより、SFC 3 FTSはSFC 3 FTに比べて、工具寿命を低下することなく、切削速度を20~30%上昇することが可能である。

3.3 切 削 力

Fig. 6に切削力測定結果を示す。自動盤による切削力測定は困難なため、普通旋盤によりTable 3の切削条件下で測定した。SFC 3 FTSはSFC 3 FTに比べて切削抵抗が小さく、とくに送り分力が小さい。これらの値より工具すくい面上での摩擦係数を計算するとSFC 3 FTSは0.22, SFC 3 FTは0.30となり、SFC 3 FTSはSFC 3 FTに比べ摩擦係数が小さく、潤滑作用の大きい材料であることを示している。切削力の小さいことは細長い部品を加工する場合の寸法精度に対して有利である。

Fig. 3. End flank wear curves of HSS formed tool.

Fig. 5. Tool life curves for carbide tool and HSS formed tool.

Fig. 4. Diameter increment curves in forming.

Fig. 6. Cutting force in turning with carbide single point tool.

3.4 切りくず破碎性

切りくず状態は切削条件に著るしく左右される。とくに自動盤加工では切込み、送りが小さいため被削材条件が同じでも不利となることは良く知られている。

Photo. 2 は切りくずの状態を示したものである

Table 3. Cutting conditions for cutting force test.

Tool	Carbide P10
	0, 6, 6, 6, 6, 0, 0R
Feed	0.10mm/rev
Depth of cut	1.0mm
Cutting speed	70m/min
Cutting fluid	Non

る。切削条件は切削速度、送りを数水準にとり、他は Table 2 と同一である。SFC 3FTS は SFC 3FT に比べて全般に切りくず破碎性に優れているが、特に送りが 0.03~0.15m/min ではその差が顕著である。自動盤はその名の示すように、無人で部品を加工する機械であるが、長く伸びた切りくずは、工具や加工物にからまり、仕上面を傷つけたり、工具のチップングを誘発したりするばかりでなく、最悪の場合には切削を中断させるなどの障害を惹起するため、作業者が監視することが必要になる。

また、自動盤加工は、棒材から直接完成部品を加工するため、部品の要求品質（寸法・仕上面あらさ）を満足させるためには切削条件の変更にも限界がある。したがって、自動盤加工においては、被削材の切りくず破碎性が能率向上や完全無人化

SFC 3FTS

Cutting speed (m/min)			
	100	150	200
Feed (mm/rev)			
0.01			
0.02			
0.03			
0.05			
0.10			
0.15			

SFC 3FT

Cutting speed (m/min)			
	100	150	200
Feed (mm/rev)			
0.01			
0.02			
0.03			
0.05			
0.10			
0.15			

Photo 2. Typical chips in machining with the automatic screw machine.

のための必須条件とも言える。このため、自動盤加工においては、ほとんど全て快削鋼が採用されているわけであるが、SFC 3 FTS はさらに完璧にこの要求に応えることができる。

3.5 仕上面あらさ

Table 4 は切削速度、送りを種々に変えて自動盤加工を行い、超硬外削部分 (Fig. 1 参照) の仕上面あらさを測定した結果を示したものである。表からわかるように仕上面あらさについては SFC 3 FTS と SFC 3 FT の間に顕著な差は認められず、送りの大きさの影響が大きい。しかし、前述のように SFC 3 FTS は SFC 3 FT より切削速度を高くすることができるので、加工能率と工具寿命を一定とすると、切削速度を高め、送りを小さくすることにより、優れた仕上面が得られる切削条件を選ぶことが可能である。

4. SFC 3 FTS の機械的性質

Table 5 に SFC 3 FTS と SFC 3 FT の機械的

性質を示す。両者間に顕著な差は認められず、SFC 3 FT をはじめ、SFC 3 F(12L14)、SUM23(1213) など低炭素高硫黄系の快削鋼の使用されている部品にそのまま適用することが可能である事を示している。

5. SFC 3 FTS の冷間加工性

SFC 3 FTS は Photo. 1 に示したように硫化物が球状であるので、延性の異方性の小さいことが十分予想される。同様に、硫化物が球状である SFC 3 FT は 12L14 や 1213 に比べて冷間鍛造性やかしめ性に優れていることが知られており、この特性を利用する目的で採用されている部品も多い。Fig. 7 は冷間アプセット時のすくい込み率と割れ発生率の関係を示したもので、SFC 3 FT と同等の冷鍛性を有していることが理解される。したがって、S 系や S+Pb 系にくらべ冷間鍛造やかしめ加工の加工度を大きくとることが可能である。

Table 4. Finished surface roughness in turning by carbide single point tool.

SFC 3 FTS (μm)				SFC 3 FT (μm)			
Cutting speed m/min	100	150	200	Cutting speed m/min	100	150	200
Feed mm/rev				Feed mm/rev			
0.01	1.5	1.5	1.5	0.01	1.5	2	2
0.02	2	2	2	0.02	2	2.5	2
0.03	3	2.5	2.5	0.03	3	2.5	3
0.05	5	7	6	0.05	6	7	9
0.10	8	8	6	0.10	11	8	8
0.15	12	9	/	0.15	14	10	/

Table 5. Typical mechanical properties of SFC 3 FTS.

Grade	Tensile strength (kgf/mm^2)	Elongation, GL=100mm (%)	Elongation, GL=200mm (%)	Reduction of area (%)
SFC 3 FTS	59.6	9.9	7.6	49.4
	60.4	11.2	7.7	48.8
SFC 3 FT	58.5	9.8	6.6	49.6
	57.5	11.1	7.0	50.3

Fig. 7. Influence of upset ratio on frequency of crack initiation.

Fig. 8. Hardness distribution of carburized specimens.

Photo. 3. Microstructure on the cross-sections of gas soft nitrided specimens (590°C × 5hr).

6. SFC 3 FTS の表面硬化処理性

低炭素高硫黄系の快削鋼は高強度部材として使用されることは稀であるが、耐摩耗性向上のために、浸炭処理や窒化処理をして使用されることがしばしばある。Fig. 8は浸炭処理後のかたさ分布を示す。SFC 3 FTSはSFC 3 FTと同様な曲線を示しており、Hv=550で判定した硬化深さはともに約0.35mmである。Photo. 3はガス軟窒化処理材の窒化層を拡大したものである。両鋼種とも同程度の窒化層が生成している。

7. SFC 3 FTS の用途

SFC 3 FTSはOA機器、家庭用電気機器、カメラ、時計、自動車をはじめとする各種分野の精密小物部品への適用が可能であり、自動盤加工に最も好適な快削鋼である。黄銅に匹敵する被削性を

有しているので、黄銅では強度が不足する部品にも適用が可能である。

8. ま と め

従来鋼の中で最高の被削性を有していたSFC 3 FTよりさらに被削性の優れた新しい超々快削鋼SFC 3 FTSを開発した。SFC 3 FTSは優れた被削性を持ち、とくに工具寿命が長く、高速切削に耐え、また優れた切りくず破砕性を有する。さらに、冷間加工やかしめ加工も可能であり、精密小物部品用素材として好適であり、たとえば軽薄短小を指向するOA機器部などへの適用拡大が期待される。

(文 献)

- 1) ASTM E618-77T.