高 V-Mo 高速度鋼におよぼす硫黄添加の影響*

近 藤 正 男** 大 沢 真 澄**
新 井 透*** 熊 谷 真 一 郎**

Masao Kondo, Masumi Osawa, Toru Arai and Shin-ichiro Kumagai: On Sulphurized High Vanadium-Molybdenum High-Speed Steel. Since the machinability of sulphurized steel is known to be better than ordinary steel, the high sulphur high-speed steel is in demand of machine shops. The steel containing over 0.2% sulphur is damaged when hot forged, so that bishier sulphur in the high-speed steel fixed to be under 0.2%. The grindability of the high carbon-high vanadium-cobalt high-speed steel is low and often used as cast or built-up welded. Therefore, it is desired that investigations be made to increase the sulphur content. In this research, the chemical composition of the specimens used is 6% W, 4% Mo, 4% Cr, 4% V, 5% Co containing up to 0.5% sulphur, prepared by the Union Melt Welder. Sulphide in the specimens forms very small particles up to 5μ , independent of the sulphur content, and its amount increases with the sulphur content. The volumetric content of sulphide is 2.0% in the 0.5% sulphur high-speed steel.

The hardness of the specimens obtained by quenching and tempering under various conditions has no relation to the sulphur content, being over HRC 66. The durability of the sulphurized high-speed steel increases with the sulphur content under an abrupt cutting of the easy-machinability carbon steel and under a continuous cutting of the hard special Cr-Mo steel.

The grindability of the sulphurized high-speed steel is superior, and the grindability ratio sulphur, can be expressed by

$$S = \frac{\text{Ground volume of the work}}{\text{Worn volume of the grinder}},$$

where $S=7.3$ at 0.023% sulphur, $S=12$ at 0.36% sulphur, and $S=19$ at 0.49% sulphur.

The surface roughness (S) of the ground surface is also improved to $S=2.0s$ at 0.023% S and $0.9s$ at 0.49% sulphur. This shows that the smoothness of the ground surface increases with the sulphur content.

(Received July 21, 1965)

I. 緒 言

高速度鋼に含まれるバナジウム量が多く、またコバルト量が多いと、工具として使用中に鈍化した切刃を再研摩するとき著しい困難を生ずるので、その改良が要望せられていた。従来、硫黄添加の高速度鋼が用いられていたが、硫黄を添加すると熱間加工性が悪くなり鍛造中に亀裂を生じやすいと、機械的性質も低下すると予想されて、従来 0.2% 以下に硫黄量を押えている⁽¹⁾。普通 S 0.10~0.15% が用いられている⁽²⁾。

しかし、高速度鋼は鍛造工具・盛金工具としても使用されており、その高性能が賞用せられているが、それらは鍛造のままであるから、硫黄添加が熱間鍛造性を悪くしても、機械的性質の程度によつては、十分被研削性の向上が償つて余りあるものと予想されるので、その点を確認しようとするものである。したがって今回はとくに被研削性の悪い高速度鋼として 6% W, 4% Mo, 4% Cr, 5% V, 5% Co

についての研究結果を報告したい。

II. 試 料 の 作 成 と 実 験 方 法

1. 試 料 と そ の 作 成 法

鍛造組織の高速度鋼試料を作成するのに盛金方法を用いた。その方法は S 45 C 鋼材 (50×25×200 mm 角) の長手の一側面に深さ 7 mm, 幅 10 mm (長さ 200 mm) の溝を切り、その中へ原料粉末をグリセリンでねつて、ペースト状にしたものを充填し、炉中で乾燥後、軟鉄線 (径約 3 mm) を電極として、ユニオンメルト溶接機を用いてその充填粉末を溶融し、そのまま凝固させた。凝固後焼鈍をして、高速度鋼の部分を実験に供したが、試料は炭素鋼台材 (S 45 C) に接している幅 0.5 mm の部分以外は、化学組成からも顕微鏡組織においても均一として差支えなかつた。原料粉末は微粉にしたフェロタングステン、フェロクロム、フェロモリブデン、フェロバナジン、金属コバルト、FeAl および MoS_2 粉末であつた。

このようにして作成した試料の化学組成を Table 1 に示した。

2. 熱 処 理 試 験

焼鈍試片を用いて、1225°, 1265°C に各 3 min 保つて油焼入、焼戻は 540°, 555°, 570°C に各 1 hr 保ち 2 回焼戻

** 株式会社不二越、技術研究所 (Technical Research Laboratory, Fujikoshi Co. Ltd., Toyama)

*** 株式会社豊田中央研究所 (Toyota Central Research and Development Laboratories, Inc., Nagoya)

* 1964 年 4 月本会東京大会に発表; 硫黄添加高速度鋼の研究 (1)

(1) K. I. B. Wolfe: Met. Treat, **13** (1946), 79.

(2) P. Payson: *The Metallurgy of Tool Steels*, (1962), 195.

を繰返した。熱処理をした各試片のカタサをロックウェル硬度計ではかり、また顕微鏡組織を検した。

材を切削したときは、いずれも端面を削り終つたら、バイトの二番摩耗をはかつて、その摩耗量を比較した。また

Table 1 The chemical analysis of specimens (%).

No.	Chemical composition (%)							Nominal S (%)
	C	W	Mo	Cr	V	Co	S	
270 A	1.56	5.67	3.52	4.21	5.30	4.55	0.023	0
270 D	1.58	5.53	3.82	4.34	5.15	4.80	0.108	0.1
261 A	1.71*	5.82	3.65	4.22	5.11	5.04	0.118	0.1
271 A	1.54	5.05	3.96	3.91	4.67	4.60	0.356	0.4
262 A	1.57	5.55	3.80	4.15	5.07	4.75	0.386	0.4
271 D	1.56	5.45	4.53	4.03	4.90	4.68	0.488	0.5
Mean Deviation	1.56 ±0.02 (except*)	5.44 ±0.39	4.02 ±0.51	4.13 ±0.22	4.98 ±0.32	4.80 ±0.24	0~0.5	0~0.5

* No.261A is marked if necessary in this report.

3. 硫化物量の測定

試料中の硫化物量の測定は、焼鈍試片について行なつた。すなわち、バフ磨きをしたまま(エッチングしない)面を観察し、そこに認められる硫化物によつて占められた格子点の数を求め、下式で硫化物数 d を求めた。

$$d = \frac{n}{p \times f} \times 100$$

n : 硫化物によつて占められた格子点の数, p : 視野内の総格子点の数, f : 視野数

検鏡倍率 375 倍, 視野数 10, この倍率で一つの硫化物が二つ以上の格子点を占めることはなかつた。

4. 切削試験

上記熱処理の結果から $8 \times 8 \times 30$ mm のバイトをつくり、Table 2 の熱処理条件で熱処理をした試片について Table 3 の切削試験条件で切削試験を行なつた。試験はいずれも

S 55 C では中心を通る幅 5 mm の溝をつくり、被削材が 1 回転する間にバイトは 2 回衝撃を受けるような状態で切削し、バイトが寿命にきたときのバイトの位置を、棒材の中心からの距離の 2 倍(直径)であらわした。

5. 被研削性測定方法

高さ 4 mm, 幅 7 mm, 長さ 200 mm の被研削性試験片を

Table 2 Heat treatment and hardness of cutting test specimens.

No.	Heat treatment		Hardness (HRC)
	Quenching	Tempering	
270 A	1265°C×3 min, oil	540°C×1 hr×2	66.4
270 D	1265°C×3 min, oil	540°C×1 hr×2	67.0
261 A	1255°C×3 min, oil	555°C×1 hr×2	66.6
271 A	1265°C×3 min, oil	540°C×1 hr×2	66.3
262 A	1255°C×3 min, oil	570°C×1 hr×2	65.2
271 A	1265°C×3 min, oil	540°C×1 hr×2	66.4

Table 3 Cutting test conditions.

		Interrupted cutting method	High speed cutting method	Low speed cutting method
Cutting speed at outer dia., m/min		96.0	64.0	9.5
Depth of cut, mm		1.0	1.0	0.5
Feed, mm/rev		0.38	0.16	0.06
Material to be cut	Composition type & grade	0.55%C carbon steel (JIS S 55 C)	Cr-Mo steel (0.45%C, 1.1% Cr, 0.2% Mo) (JIS SCM 5)	
	Hardness H_B	152	320	320
	Outer dia., mm	225	110	110
	Inner dia., mm	40	52	52
Cutting reagent		Dry	Dry	Dry
Form of bite		(0,0,8,6,0,60,0)	(0,0,8,6,0,60,0)	(0,0,8,6,0,60,0)

Machine tool: Warner and Swasey Tarret Lathe.

Remark: S 55 C disk has a groove in 5 mm width through its centre.

被削材棒材の端面で、内径部分から削りはじめて、外周方向へバイトを移動してゆき、端面削りを行なつた。SCM 5

試料から切り出した。この熱処理条件とカタサとを Table 4 に示した。砥石は 60 K のビトリファイド砥石で、平面

研削盤を用いて 10 回研削し、砥石の減量と被研削物の減量をはかり、次式で研削比 S を求めた。

Table 4 Heat treatment and hardness of grindability test specimens.

No.	Heat treatment		Hardness (HRC)
	Quenching	Tempering	
270 A	1265°C × 3 min, oil	540°C × 1 hr × 2	63.6
270 D			64.0
271 A			63.9
271 D			63.0

$$\text{研削比 } S = \frac{\text{被研削物の減量(容積)}}{\text{砥石の減量(容積)}}$$

被研削材を取かえる度に、砥石を新しくドレッシングした。このドレッシング量は 0.02 mm であった。

6. 仕上面のアラサの測定

切込 0.02 mm で研削した後小坂式触針法で行なった。

上記 5. 6. の試験条件は下記の通りである。研削盤：平面研削盤（レンブラ型），砥石：WA 60 K ビトリファイド，寸法形状：205 × 13 × 38.1 mm（平型），砥石回転数：3620 rpm，周速度：6.9 m/min，送り速度：6900 m/min，横送り速度：0.7 mm/ストローク，砥石の切込み：研削比を求めるとき 0.04 mm，仕上面粗さをはかるとき 0.02 mm。

III. 実験結果

1. 硫化物量の測定結果

バフ磨きをしたままエッチングをしない面で、硫化物は灰色に認められる (Photo. 1 (a))。また硝酸でエッチングした面にも灰色に認められる (Photo. 1 (b))。硫化物量をエッチングしない面ではかつた結果を Fig. 1 に示したが、S 0.5 % の添加で硫化物量は約 2.0 % であった。

Photo. 1 Specimen 270 D (0.1% S)

硫化物の形状や大きさと S 添加量との間には、あまり明瞭な関係は認められなかった。その大きさの大半が約 5 μm 未満である。そしてそれらは鍛造によつて伸ばされていないので球形に近い形をしている。また硫化物は、複炭化物とオーステナイトとの共晶の一部として凝固するために、硫化

物は炭化物と境を接しているといわれているが、本実験ではその点の確認は出来なかった。

Fig. 1 Relation between sulphide ratio and sulphur content.

Fig. 2 Quenched hardness of specimens.

2. 熱処理カタサ

Fig. 2 は焼入温度と焼入カタサとの関係、Fig. 3 は焼戻温度と焼戻カタサとの関係を示しているが、いずれも S 含有量との関係は認められなかった。また焼鈍、焼戻した試片の顕微鏡組織を Photo. 1, Photo. 2 に示した。S が増せば硫化物は増すが、顕微鏡組織の他の部分にはほとんど影響がない。また焼鈍材と焼入材（写真省略）には樹

枝状晶が明瞭に見られるが、焼戻材にはそれが不明瞭になつている。

3. 切削試験

Fig. 4 は切削試験の結果である。1265°C 焼入、540°C 焼

戻のものでは焼入焼戻カタサがほぼ同じ HRC 66.5 であるから、試験結果が試料によつて異なっているのは、含有硫

もに減少して S=0.5% 添加でその約 1/2 の 0.2 mm を示した。また SCM 5 を高速で連続切削したときの差はあま

Fig. 3(a) Hardness of quenched and tempered specimens. (1255°C quenched)

Fig. 3(b) Hardness of quenched and tempered specimens. (1265°C quenched)

黄の影響であると思われる。S 含有量が増すにしたがつて各試験ともに切削性能の向上が認められる。すなわち、

Fig. 4 Comparative cutting test data of specimens on S 55 C and SCM 5.

り多くないが、S 含有量が多いと摩耗はやや少なくなっている。断続切削では S 添加しないときはバイトが寿命にきた位置 (に相当する直径) は 180 mm であつたが、0.5% S では 210 mm と長くなっている。

炭素含有量のやや高い No. 261 A が Fig. 4 で 270 A とほぼ同様の結果を示しているのは、その熱処理カタサがほとんど同一であつたからであろう。また No. 262 A は熱処理カタサが低く、断続切削と高速切削ではよい成績を示しているが、SCM 5 低速切削では摩耗が大きくなっている。

4. 被研削性試験

Fig. 5 は研削比と硫黄含有量との関係を示したものである。研削比は砥石の損耗量に対する被加工物の加工量であるから、研削比の大きいほど研削しやすいことを示す。S 含有量 0.023 % で研削比 7.3, 0.49% S で 19.2 と被研削性は S の添加によつて著しく良好になる。

(a) Annealed (no etching)

(b) Annealed (nital etching)

(c) 1265°C 3 min oil quenched, 540°C 1 hr double tempered (nital etching) HRC 66.3 (×400)

Photo. 2 Specimen 271 D (0.4% S)

Fig. 4 の SCM 5 を低速で切削した場合のバイト摩耗量は S 添加しないとき 0.35 mm, それが、添加 S 量の増加とと

Fig. 6 は研削面アラサを粗度計でとつた凹凸と、ミクロンであらわした仕上面粗度とを示したもので、S 含有量が

増すほど研削した面の凹凸が少なくなっていることがよくわかる。

Fig.5 Grindability ratio of sulphurized HSS.

Fig.6 Surface roughness of ground heat-treated specimens. (Magnification of vertical direction is 3000 and horizontal 40)

IV. 考 察

従来鋼材に硫黄を添加すれば、被切削性・被研削性ともに向上することが知られているが、その難点とするところは

(1) 熱間加工性が減少して、鍛造中に割れが生じやすい。この割れは高速度鋼に 0.27% S を添加して鍛造したときに生じたことがある。

(2) 機械的性質が悪くなりやすい。そのため S を多く添加すると、切削耐久力が減少する場合がある。

(3) S.G.Fletcher: Metal Progress, 65 (1954), 161.

(4) 近藤, 新井: 本誌, 30 (1966), 112.

(3) 多量に S を添加すると偏析が著しくなりやすい。被切削性・鍛造性・機械的性質・切削性能を組合せてみて、鋼材として最もよいのは S=0.08~0.20% であるといわれており、実際 S 含有量 0.1% のものが市販されている⁽³⁾。

これに対して、本研究では 0.5% S でも被研削性が良好なばかりでなく、切削性能が向上したのは下記のような特徴があるからと考えられる。

(1) 鑄造組織のままで使われるので、熱間加工性についての考慮がいらない。

(2) 凝固速度が大きいため硫化物が微粒で均一に分布している (この凝固速度については、既報チタン高速度鋼の MC 型炭化物について⁽⁴⁾を参照されたい)。

(3) とくに被研削性の悪い高 V-Co 添加のモリブデン高速度鋼に S を添加したので、その効果がよくあらわれたと思う。

(4) この試片の硫化物は丸い粒状であつたことが、従来の圧延した高速度鋼に見られる細長くのびた硫化物と異なつて、切削性能をよくしたと思われる。

V. 結 論

粉末原料を用いて、ユニオンメルト溶接機を利用して作った盛金高速度鋼において、硫黄を 0~0.5% 含有した 6-4-5-5 高速度鋼について、主として切削性試験と被研削性試験を行ない、下記の結果を得た。

(1) 焼鈍状態で含有される硫化物は球状でほとんど径 5 ミクロン以下、その大きさは S 含有量にほとんど無関係である。硫化物量は S 含有量とともに増加して、0.5% S 添加で 2.0% に達している。

(2) S 量と熱処理カタサとの関係は明らかでないが、いずれも焼入焼戻カタサはロックウェル C 66 以上を得ることが出来る。

(3) S 添加量 0.5% まで切削性能は向上した。硬鋼 (ブリネルカタサ 152) 断続切削の場合、寿命直径は 180 mm から 210 mm に増し、SCM 5 (ブリネルカタサ 320) 切削の場合、端面連続切削後の摩耗量 0.35 mm から 0.20 mm に減少した。

(4) S の添加によつて被研削性は著しく向上した。研削比は 0.023% S のとき 7.3 に対し、0.49% S で 19.2 と上昇した。