研 究

粉末冶金製 SKH 51 および SKH 10 の切削工具特性に 及ぼす窒素および炭素当量の影響*

河 合 伸 泰**, 平 野 稔**
本 間 克 彦**, 立 野 常 男**

Nobuyasu Kawai, Minoru Hirano, Katsuhiko Honma and Tsuneo Tatsuno: Effect of Nitrogen and Carbon Equivalent on Cutting Performance of Powder Metallurgical High Speed Steel SKH51 and SKH10.

The aim of this study was to determine the optimum nitrogen and carbon content in P/M high-speed steels by evaluating cutting performance.

P/M high-speed steels SKH 51 (AISI M2) and SKH 10 (AISI T15) with various content of nitrogen and carbon were prepared by Hip'ing gas atomized powders. Nitrogen was added to steels by heat treating the powders in nitrogen gas before Hip'ing.

The results of cutting tests indicated that in cutting SNCM439, tools containing higher nitrogen have significantly good cutting performance, and

- 1) 0.5% nitrogen and 0.8~1.0% nitrogen were the optimum content in SKH 51 and SKH 10, respectively.
- 2) The optimum carbon equivalent of SKH 51 and SKH 10 was 0.9% and 1.5%, respectively.

But in case of work materials which includes abrasive carbides, the steels containing nitrogen were found to have the inferior cutting performance to the nitrogen-free steels.

(Received November 25, 1985)

I 結 言

今までの研究^{1~4)}から高速度鋼(以下 H. S. S. と略す)中において N は C とやや異なる働きをしていることが判明した。本報告は切削工具の性能に与える N および C 当量の効果を把握するため、汎用鋼種である SKH 51 および難削材用鋼種である SKH 10 をとり上げ、旋盤による連続および断続切削を行った結果である。

II 実験方法

2.1 試験材の作製と材料特性

15 kg/charge の大気誘導溶解炉により C 量を調整した SKH 51 系および SKH 10 系 H. S. S. を溶製し、N₂ ガス噴霧法で供試粉末を作製した。これらの粉末を -80 Mesh (-177 μm) にふるい分けした後、充填、脱気、密封、HIP、焼なまし、鍛造、焼なましを行って工具素材を作製した。また、N 添加材は上記の脱気後に窒化工程を追加して、N₂ ガスから N を H. S. S. 粉末に吸収させた。詳細なプロセス条件は前報に記述したのと全く同じである。Table 1 に切削工具として供試する SKH 51 系および SKH 10 系材料の化学組成および熱処理条件

を示す。SKH 51 系および SKH 10 系の目標 C 当量(C_{eq})はそれぞれ 0.9%, 1.1%, 1.3%, および 1.5%, 1.8% とし、それぞれに C_{eq} が 0.9% と 1.5% の従来鍛造材(I/M 材と略す)を比較材として供した。Fig. 1 は供試材のサンプル記号と C 量, N 量の関係を示す図である。

また Photo. 1 には供試材の析出物分布状態を示す。Fig. 2 は供試材 SKH 51 系および SKH 10 系の C 量, N 量と熱処理後の焼もどし硬さを図示したものである。焼もどし硬さが SKH 51 シリーズは LZ が M (I/M 材) より高く, SKH 10 シリーズでは H (I/M 材) が TZ より高い。これは C_{eq} が SKH 51 シリーズでは LZ, SKH 10 シリーズでは H が高いことに起因すると考えられる。

Fig. 3 は同じ供試材の C 量, N 量と曲げ強さの関係を図示したものである。I/M 材に比べていずれの材料も高い強さを示している。

2.2 切削試験

上記の材料から 12.7 mm 角のスローアウェイチップ

* 昭和60年11月25日受理。

** (株)神戸製鋼所材料研究所, 〒651 神戸市中央区脇浜町1-3-18.

Table 1(a) Chemical compositions of SKH 51 series.

Sample	C	N	W	Mo	Cr	V	Ceq	Austenitizing Temp. (°C)	Tempering Temp (°C)	Tempering Times
JZ	1.31	0.01	5.80	5.06	4.14	2.10	1.32	1180	560	5
JY	1.03	0.26	5.94	5.25	4.08	1.91	1.25	1200	580	3
JX	0.86	0.46	6.17	4.98	4.00	1.79	1.25	1220	560	5
KZ	1.03	0.01	5.94	5.25	4.08	1.91	1.04	1200	560	2
KY	0.85	0.28	6.09	4.89	4.21	1.93	1.09	1230	560	2
KX	0.66	0.48	6.05	4.97	4.03	1.90	1.07	1240	560	2
LZ	0.91	0.02	6.11	4.83	4.16	2.05	0.93	1220	560	2
LY	0.66	0.29	6.05	4.97	4.03	1.90	0.91	1240	560	2
LX	0.45	0.49	5.36	4.70	3.88	1.72	0.87	1270	560	2
M	0.87	0.02	6.21	5.02	4.26	1.94	0.89	1220	560	2

Table 1(b) Chemical compositions of SKH 10 series.

Sample	C	N	W	Cr	V	Co	Ceq	Austenitizing Temp. (°C)	Tempering Temp. (°C)	Tempering Times
TZ	1.48	0.02	12.39	4.30	4.58	4.85	1.50	1230	540	3
TY	1.04	0.74	12.19	4.20	4.58	4.67	1.67	1240	560	3
TX	0.61	1.01	12.37	4.26	4.50	4.61	1.48	1290	560	3
SZ	1.64	0.25	12.43	4.27	5.08	5.00	1.85	1220	560	3
SY	1.44	0.45	12.44	4.29	4.72	4.99	1.83	1220	580	5
SX	1.03	0.97	12.19	4.20	4.58	4.67	1.86	1230	560	5
H	1.50	0.06	11.67	4.32	4.40	4.64	1.55	1230	540	3

$$Ceq=(\%C)+\frac{6}{7}(\%N)$$

Fig. 1 Sample mark and C, N content.

Fig. 2 Relation between tempered hardness and C, N content.

Photo. 1 Micrographs of steels.

Fig. 3 Relation between bend strength and C, N content.

を作製し、切削試験に供した。

Table 2 は乾式の旋削試験条件を示しており、連続切削では $H_V 310$ に熱処理した $80\text{ mm}\phi$ の SNCM 439 の丸棒を用いて切削速度 (V) を変化させて完全寿命までの時間 (T) を求めた。これらのデータから V - T 線図を描くとともに30分、60分の寿命に対応する切削速度 V_{30} , V_{60} を読みとった。

また、断続切削では上記と同様 SNCM 439 の 80 mm

Table 2 Conditions of lathe tool life test.

TOOL	
Type Geometry	12.7 mm (1/2 in.) insert tip 0° - 15° - 6° - 6° - 15° - 15° -R0.4
WORK:	
Continuous Cutting	80 mm diameter of SNCM 439 heat treated to Hv 310
Intermittent Cutting	ditto with four 10 mm slots spaced at 90 deg. intervals to provide four impacts per rev.
CUTTING CONDITION	
Speed	20-60 m/min (cont) 15 m/min (int.)
Feed	0.2 mm/rev.
Depth of Cut	1.5 mm
Cutting fluid	none

ϕ 丸棒に 90° 毎にスロットを入れ、1回転あたり4回の衝撃回数が工具刃先にかかるようにして、15 m/min の切削速度で試験を行った。試験の途中で工具の摩耗状態を観察し、逃げ面摩耗幅の最大値 (V_{Bmax}) が 0.6 mm になるところで寿命と判定した。

Ⅲ 実験結果

3.1 連続切削試験

Fig. 4(a), (b) に SKH 51 系, Fig. 5 に SKH 10 系各材料の切削試験結果 (V - T 線図) を示す。

これらの結果から切削速度 V_{30} , V_{60} を読みとり, SKH 51系, SKH 10 系材料の C 量, N 量に対してプロットした図が Fig. 6 から Fig. 9 である。Fig. 6 および Fig. 7 は SKH 51 系の結果であるが、これらから C_{eq} が 0.9% および 1.1% の場合, N 無添加の LZ や KZ から N を多く含有する LY, KY, さらに LX, KX と工具性能が改

(a) P/M of 0.9% Ceq and 1.1% Ceq

(b) P/M of 1.1% and 1.3% Ceq

Fig. 4 Cutting speed-cutting time curves for SKH 51 series.

Fig. 5 Cutting speed-cutting time curves for SKH10 series.

Fig. 6 Cutting speed of SKH 51 series for V_{30} .

Fig. 7 Cutting speed of SKH 51 series for V_{60} .

Fig. 8 Cutting speed of SKH 10 series for V_{30} .

Fig. 9 Cutting speed of SKH 10 series for V_{60} .

善されるのがわかる。また、 C_{eq} が1.3%の場合も JZ を除けばこの傾向が見られる。

Fig. 8 および Fig. 9 は SKH 10 系の結果を示している。SKH 10 系の場合も C_{eq} が低い1.5%では高N材 TX が高性能を示すが、 C_{eq} が1.8%ではN含有量が少ない方が良い結果を示す。この理由は不明である。

3.2 断続切削試験

Fig. 10 は SKH 51 系の V_{Bmax} 摩耗経過曲線である。この図から $V_{Bmax}=0.6$ mm での衝撃回数を読みとり、工具材料のC量、N量に対してプロットした図が Fig. 11 である。この図から C_{eq} が0.9%から1.3%のいずれの場合もN無添加材よりは多量にNを添加した LX, KX, JX の特性が良く、また、1.3%よりは0.9%の C_{eq} が断続切削に良い結果が得られることが判明した。

つぎに、SKH 10 系の結果を Fig. 12 に示す。この図から $V_{Bmax}=0.6$ mm での衝撃回数を読みとり、工具材

Fig. 10 Change in flank wear of SKH 51 series during intermittent cutting.

Fig. 11 Number of impacts to $V_{Bmax}=0.6$ mm (SKH 51 series).

Fig. 12 Change in flank wear of SKH 10 series during intermittent cutting.

Fig. 13 Number of impacts to $V_{Bmax}=0.6$ mm (SKH 10 series).

料のC量、N量に対してプロットした図が Fig. 13 である。SKH 10 系の結果も SKH 51 系の結果と同様にNを多量に添加するほど、またC当量が低いほど良好な結果を示す。

以上の結果から判断して、炭素鋼や低合金鋼などの機械構造用鋼の切削には C_{eq} を佐藤⁹⁾などにより提示されている式で出した値、すなわち SKH 51 系では0.9%、SKH 10 系では1.5%に近い値を選んで、N量を $0.2 \times (V\%)$ で表される量近傍に調整することが望ましい。

SKH 51 系と SKH 10 系を比較すると、SKH 51 系は一般の切削工具に広く用いられる汎用鋼種であるのに対し、SKH 10 系は SKD 11 などの耐アブレーション摩耗性が要求される材料や Ni 基合金などの難削材に用いられる鋼種であるため、今回被削材として用いた SNM 439は SKH 10 系には適さない材料である。このため、SKH 51 系と SKH 10 系の間に顕著な特性の差が出なかったものと思われる。

IV 考 察

以下にN添加材が何故良好な切削性能を示したのかを検討する。

一般に切削される材料は鉄鋼、非鉄、非金属など広範囲にわたり、鉄鋼の中でも SKD 11 のように多量の硬い炭化物を有する材料では耐アブレーション摩耗性が、

Fig. 14 Relation between characteristics of cutting and material properties.

SUS のように多量の切削熱を発生する材料では耐熱性が、さらに、機械構造用の炭素鋼、低合金鋼では耐凝着性が工具材料に要求される。また、切削速度、切り込み、送り、切削様式（連続、断続など）などの切削条件によってこれらの要求特性が異なる。このため、これらの広い切削範囲で汎用的に用いられる切削工具材料は存在しないと昔から言われている。このため、切削工具が使用される条件に合わせて工具材料を選定する、いわゆるテーラーメイド的な対応が必要な分野である。一例を Fig. 14 に示すが、仮りに 4 つの特性をとりだし、切削側の要求する四角形 (a) または (b) よりもこれに対応する工具側の四角形 (c) が 4 軸ともに大きければ、工具は長寿命を示すことになる。

N 添加材は工具摩耗面の観察結果 (Photo. 2) から凝着物が付着しにくく、凝着物の脱落によりつけられる線状のきずも細かい。また、Fig. 3 から分かるように N 添加

Fig. 15 Change in flank wear of SKH 10 series during intermittent cutting.

材の曲げ強さは高く、靱性が高い。しかし、前報³⁾で報告したように高温焼もどしによる硬さの低下が N 無添加材よりも大きく、赤熱硬さも低いことを考えると耐熱性は大きいとは言えない。また、VC の硬さ $H_V 2800$ に較べて VN の硬さは $H_V 2200$ と低いため、耐アブレーション摩耗性は N 無添加材に較べて劣ると考えられる。このため、N 添加材は Fig. 14 の I/M 材の四角形の靱性と耐凝着性が外へ飛び出し、耐アブレーション摩耗性と耐熱性が内へへこんだ特性を有し、低合金鋼の切削に適したものと考えられる。被削材が例えば SKD 11 のような場合には硬度の高い M_7C_3 の粗粒が鋼中に分布しているため、切削時にアブレーション摩耗が問題となる。

Photo. 2 Appearance of crater wear on tool surface.

このため、N添加材は SKD 11 用の工具として不適当であることが予想されるが、実際に SNCM 439 と同じ条件で SKD 11 の切削試験を行ってみると、Fig. 15 のように I/M 材のHやN無添加 P/M 材 TZ の性能がよく、TX の特性が劣り、予想とよく一致することがわかる。それではN添加材が何故耐凝着性にすぐれるかの真の原因については、(1)N添加工具表面から被削材の切屑へ切削中にNが拡散し、切屑を脆化させて凝着物が成長せず、細かい状態で脱落する。(2)N添加工具表面から切削熱により N_2 ガスを放出し、切屑との間に N_2 ガスのフィルムをつくり、凝着をおさえるなどが考えられるが、いずれも推定の域を出ない。切削中の切削抵抗や摩擦係数を測定するとN添加材はN無添加材よりも値が低く⁴⁶⁾、上記のような工具一切屑界面の状態が変化していることは確実である。

V 結 言

以上述べたように SKH 51 および SKH 10 中のCを一部Nで代替した切削工具により SNCM 439 の連続および断続切削試験の結果、切削工具切刃への凝着物の減

少が大きい高N材ほど著しく良好な結果を示し、

- 1) SKH 51 系では0.5%N, SKH 10 系では0.8~1.0%Nが最適値であった。
- 2) C当量は SKH 51 系に対して0.9%, SKH 10 系に対して1.5%が最適値であった。

しかし、硬い炭化物を含有する被削材の場合はN添加材はN無添加材よりも特性が劣ることを見出した。これらのN添加材は疲労特性もすぐれている可能性があり⁴⁾、切削工具ばかりでなく、金型、圧延ロールなどにも広く使用されうる材料である。今後、これらの用途を念頭において材料特性を把握する予定である。

文 献

- 1) 河合, 平野, 本間, 立野: 粉体および粉末冶金, **34** [1] (1987), 掲載予定。
- 2) 河合, 平野, 本間, 立野: 鉄と鋼 **72** [14] (1986), 掲載予定。
- 3) 河合, 平野, 本間, 立野: 鉄と鋼 **72** [14] (1986), 掲載予定。
- 4) Hirano and Kawai: Modern Developments in Powder Met., **17** (1985), 385, Metal Powder Industries Federation.
- 5) 佐藤, 西沢, 村井: 鉄と鋼, **45** (1959), 511.
- 6) 河合: 新しい焼結材料に関するセミナー講演概要集(1973), 5.

会 告

VIIth International Powder Metallurgy Conference. PM '87

Pardubice Czechoslovakia

September 22~24, 1987

Scope and themes of the conference

The conference will cover all aspects of
SCIENCE, TECHNOLOGY AND APPLICATION

of powder metallurgy and high technology ceramics.

Call for papers

Those wishing to present their papers are requested to submit two copies of one-page typed abstract in Russian or English, including the title, name of author(s) and the mailing address. The abstracts must be sent to the Conference Secretariat by

October 1, 1986.

Authors will be notified of the acceptance of papers and of further information for full papers as soon as possible.

詳細は事務局までお問い合わせ下さい。