解 説

切削工具用鋼の技術動向

山本 努*

The Development and Technical Trends of Cutting Tool Steels

Tsutomu Yamamoto

Synopsis

In this report, the developments and technical trends of cutting tool steels applied to endmills and taps are described. Furthermore, some suggestions for improvements are given, according to some results of the cutting tests.

1. ま え が き

近年の機械加工法の進歩は目覚ましい。部品加工の分野では低コスト化時代のニーズに沿って技術開発されたチップレス加工が、切削加工の一部におきかわり、重要な位置をしめてきている。しかし、高い精度が要求されるものや複雑な形状の仕上げ加工はいまだ一步の感があり、最終的には切削加工に頼らざるを得ないのが現状である。また塑性加工のままでは素材は加工硬化しており、難削化している。

また、材料メーカーが圧延・鍛造加工後の冷却速度を制御することにより所定の組織状態にした素材を供給して、ユーザーでの熱処理を不要にした非調質材の出現や、工具鋼では、焼入焼もどし処理を施したプレハードン材の普及が、切削加工の難削化に拍車をかけ、切削工具用材の高性能化を促している。

本稿では、切削工具鋼の高性能化に対処するた

め、特にエンドミル・タップ用高速度工具鋼に焦点を絞って、現状と問題点について触れて見たい。

2. エンドミル用鋼

2.1 溶製高速度工具鋼

現在、エンドミル用材料としては、SKH 56 あるいは、2%V + 8%Co の溶製法による高速度工具鋼（以下、ハイスと略す）が、一般的に用いられている。（第1表）

これらのハイスがエンドミル用鋼として安定した性能を発揮しているのは、バランスのとれた化学組成以外に、近年急速な発展をとげた、ESR 溶解法や真空溶解法による、微量成分や炭化物粒度の調整効果によるものと思われる。いずれにせよ被加工材の高硬度化、難削化傾向に対応してエンドミルの高強度化が望まれている。現行のエンドミルの硬さ（HRC 65-68）をさらに高硬度化するためには、熱処理条件の検討だけでは不十分であり、エンドミル用鋼の高合金化に対する検討も必要である。

2.2 粉末高速度工具鋼

前項でも触れたように、プラスチック金型材の

昭和61年 4 月17日 受付

*オーエスジー㈱研究部

第1表 代表的な高速度工具鋼と使用現況

○ 主流鋼種

◎ 主流となりつつある鋼種

△ 特殊用として使用されつつある鋼種

製法区分	鋼記号	JIS記号	ブランド名				主要成分(%)						用途例	
							C(N)	Cr	Mo	W	V	Co	エンドミル	タップ
溶製法		SKH 51					0.85	4.0	5.0	6.0	2.0	—		○
	F	SKH 58					1.00	4.0	8.8	1.8	2.0	—		○
				YXM 20			1.15	4.0	8.7	2.8	2.5	—		◎
	G		MH 7V1	AHS 35			1.25	4.2	8.0 ~10.0	2.0 ~4.0	3.0	—		◎
		SKH 55					0.85	4.0	5.0	6.0	2.0	5.0	○	
		SKH 56					0.90	4.2	5.0	6.2	2.0	8.0	○	
		SKH 57					1.25	4.0	3.5	10.0	3.5	10.0		
		SKH 59					1.10	4.0	9.5	1.6	1.2	8.0	○	
				YXM 60			1.00	4.2	6.5	5.5	1.6	8.0	○	
				MH 64			1.10	4.2	9.0	2.5	1.9	8.0	○	
粉末法				HAP20			1.5	4	7	2	4.0	5.0		
	A	SKH 10			KHA 50	CPM-T15	1.5	4	—	12	5.0	5.0	○	△
	B		DEX 40	HAP 40	KHA 30	ASP 30	1.3	4	5	6	3.0	8.0	○	△
	H			HAP 50			1.5	4	6	8	4.5	8.0		
				DEX 60			1.7	4	2	15	5.0	8.0		
	C				KHA7NH		1.9 (0.40)	4	7	6	7.5	8.0		
						CPM 76	1.5	4	5	10	3.1	9.0		
				HAP 72			1.9	4	8	10	5.0	10.0	△	
	D				KHA 60	ASP 60	2.3	4	7	6	6.5	10.5	△	
	E			HAP 70			1.9	4	10	12	4.5	12.0	△	
					KHA5NH		1.7 (0.25)	4	9	12	5.0	12.0		
				DEX 80			2.0	4	6	14	6.0	12.0	△	

プレハードン鋼に代表されるように、被加工材の難削化が急激に進んでいる。

溶製ハイスでの高合金化は、炭化物偏析や巨大炭化物の生成が助長されるため切削性能を十分に発揮できないだけでなく、被加工性、特に被研削性を阻害する結果となる。

従って、現在普及している高合金ハイス製エンドミルは、粉末法によって製造されVを3～5%、Coを5～8%含有しており、第1表に示したA鋼

およびB鋼がこれに該当する。

粉末ハイスを特徴づけているのは、偏析が無く炭化物が微細なことであり、数多くの利点を有している。しかし、最大の特徴である微細炭化物の生成が、時として逆にウィークポイントとなる場合がある。例えばSKD 11に代表される、巨大炭化物を多量に含む冷間金型材を切削加工した時の耐磨耗性などの劣化がそれである。

第1図は、5%V+5%Coを添加したA鋼に

第1図 炭化物粒度調整 5%V—5%Co 粉末ハイス (第1表A鋼) の、エンドミルにおける切削性能

第2図 SKD 11 (HRC 18) 切削における、7.5% V+8% Co 粉末ハイス (C鋼) エンドミルの切削性能

写真1 炭化物粒度調整粉末ハイスと標準粉末ハイスの顕微鏡組織

関しての性能改善を計った一例を示したものであり、粉末ハイスの標準的な炭化物粒度すなわち大粒径の平均が1~1.5μmのものを、2.5~3μmに粒度調整することにより、耐摩耗性の改善がなされた例である。写真1に、両者の顕微鏡組織を

示す。

第2図に、SKD 11を切削する際の耐摩耗性をさらに改善する目的で、7.5%V+8%Coを添加したC鋼を用いた性能試験結果を示す。Vの多量添加により硬度の高い炭化物量が増加したことに

より耐摩性が著しく向上していることが明瞭である。

また、熱間金型材の分野では、プラスチック金型用として、SKD 61 などが、HRC 40～45の高硬度で切削加工される場合がある。高硬度の被加工材に対しては、エンドミル自体が、常温・高温硬さを必要とするとの想定のもとに、高V高Co量の6.5%V+10.5%CoのD鋼を用い、エンドミルをHRC 69～69.5の硬さにし、SKD 61 (HRC 43～44) を被加工材として性能試験を行った結果を第3図に示す。

また被加工材を、析出硬化型ステンレス鋼 SUS 631 を HRC 44～45 に析出硬化処理して切削試験を行った結果が第4図である。この場合4.5%V+12%CoのE鋼をHRC 70～70.5の高硬度に焼入焼もどしを行い、性能試験を実施した。

D鋼、E鋼ともに、性能改善効果が表われており、高硬度被加工材に対して、高Co化が有効であることを示している。

第5図は、16～20%W当量(2Mo%+W%)で、1.3～6%V+8%Co鋼(B鋼、H鋼など)の切削性能比をまとめたものである。被加工材が、SKD 11 (HRB 18) の場合は、エンドミル材のバナジウム炭化物(MC)量が、切削性能の向上に寄与していることが明らかである。これは大粒の炭化物を多量に含む被加工材に対して、工具材中の硬質炭化物が有効に作用するためである。

第3図 SKD 61 (HRC 43～44) 切削における 6.5%V+10.5%Co (D鋼) エンドミルの切削性能

他方、被加工材が、SKD 61 (HRC 40) の場合は、エンドミル材の炭化物の構成比 ($M_6C/(M_6C+MC)$) が、切削性能と密接な関係がある。この関係は、SKD 11 の場合と逆である。また図はB鋼と同等以上の切削性能を得るためには、少なくとも、0.45以上の M_6C 構成比を必要とすることを示している。

さらに損耗面の観察結果からも硬質なMCを多量に介在すると脆化の要因となり、マイクロチ

第4図 SUS 631 (HRC 44～45) 切削における 4.5%V+12%Co (E鋼) エンドミルの切削性能

第5図 16～20%W当量+1.3～6%V+8%Co鋼の切削性能比とMC量および炭化物精成比との関係

ッピングから摩耗へ移行しやすいことがうかがえる。

以上、現用されている 3～5%V+5～8%Co 粉末ハイスを比較用として、今後、伸びが予想される高合金粉末ハイスについて、現時点で入手可能なものの一部分に関しての、性能試験結果を示した。近い将来、これらの鋼種群の位置付けが明確化され、定着したものになることを期待する。

3. タップ用鋼

3.1 溶製高速度工具鋼

タップ用鋼としての溶製ハイスは、長年、主流だった、2%VのSKH 51あるいはSKH 58から、2.5～3%V鋼へ移行の途上にある。

本来、タッピングが行われる加工物と、エンドミル加工が行われる加工物は、共通したものが多く、本質的には、同様な被削性を有しているはずである。しかし、事実上タップ用鋼がエンドミル用鋼と異った方向を辿ってきたのは、タップ特有の切削機構のためと考えられる。それは、タップが自進式の工具（1回転毎に、1ピッチの送りが強制的に与えられる）であるからであり、実用周速は15m/min以下程度の低切削速度に限定されるが、送り速度および切込み量は、極めて大きい。

そのような理由から、一般的には、靱性が高く耐摩耗性が大きい鋼種が必要とされて来た。しかし、最近では、一般部品の難削化の傾向が著しく、例えば、冷間鍛造素材の球状化焼なまし処理の省略や、熱間鍛造部品の非調質化の普及がこれに該当する。

第6図は、被加工材としてS45Cの鍛造非調質材^(注)(HRC 24～28)を用いた場合の5%V+5%Co粉末材Aのタッピング試験の結果をSKH 58(F鋼)および3%V鋼(G鋼)と比べて示したものである。F鋼、G鋼の平均耐久数がそれぞれ573穴、760穴であるのに対し粉末材Aのそれは1067穴と著しく優れたタップ切削性能を示す。

これは、顕微鏡組織の観察結果(写真2)から金属組織はパーライト部と少量のソルバイト様組織との2相組織から構成されており、微小硬さ試験においても、HV 265の素地に、最高でHV 380までの硬化部が、局部的に点在することが確認され、被削性の悪化現象が肯ける。

その他、FC(普通鑄鉄)から、FCD(ダクタイル鑄鉄)への移行など、一般被加工材の難削化が、(注)鍛造非調質材とは、鍛造終了後所定の強度内に入るよう制御冷却を行ったもので、一般的な非調質材と同意である。

タップ: M10×1.5POT
回転数: RPM 435
下穴径: 8.5mm
切削長さ: 20mm (通り穴)
切削油: 硫塩化系油

第6図 S45C (HRC 24～28・鍛造非調質) に対するタップの切削性能

確実に進んで来ている。

第7図は、3%V鋼(G鋼)の標準材と炭化物微細化材の、SCM 440(HRC 40)に対するタッピング試験結果を示したものである。巨大炭化物粒度が15~20 μm から8~10 μm に微細化されることにより、切削性能が向上することがわかる。写真3に、両者の顕微鏡組織を示す。

3.2 粉末高速度工具鋼

難削材に対する一応の対処の仕方としては、すでに述べた、溶製ハイスの2.5~3%V鋼で充分である。しかし、より一層の難削化への対策としては、3~5%V+5~8%Coの粉末ハイスが一般的である。

($\times 400$, 5% Picral)

写真2 S45C(HRC 24~28)鍛造非調質材の顕微鏡組織

タ ッ プ: M6 $\times$ 1 POT
回 転 数: RPM 510
下 穴 径: 5.0mm
切削長さ: 10mm(通り穴)
切 削 油: 硫塩化系油

第7図 SCM 440(HRC 40)加工時の切削性能におよぼす3%V溶製ハイス(G鋼)の炭化物微細化の影響

その他、A鋼はまた、硬質工具鋼、超耐熱合金などの被加工材に対して、著しい性能向上効果を上げている。

4. 真空焼入用鋼

合金工具鋼のSKD 11への真空焼入の応用は、すでに常識化されている。しかし、ハイス製品への導入は新しく、加圧ガス冷却型真空焼入炉(冷却ガス圧が、500~700KPa)の出現によって、スタートを切ったと言っても過言ではあるまい。加圧ガスと大容量ファンによる急速冷却効果は、塩

浴熱浴焼入品と充分比肩し得るものである。

しかし、急速冷却型の真空焼入炉の多くは一室式のものであり、加熱速度の限界が17~20 $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ 程度であるので、特定の含Coハイスや低合金ハイスにおいて、オーステナイト結晶粒の粗大化や混粒現象が発生する場合がある。対策として、焼入処理前の応力除去焼なまし処理の導入や、加熱速度を大きくする方法が報告されている。新技術への対応の一環として、真空焼入鋼の早急な開発が望まれる。

写真3 微細炭化物3%V溶製ハイスと標準材の顕微鏡組織

5. あとがき

本稿では、エンドミル・タップ用ハイスの現状と問題点について述べ、2～3の性能試験結果を基に、今後の方向性を予測しようと試みた。

被加工材の難削化によって、ハイスが高合金化へ向って動き出していることは、まぎれもない事実である。したがって、硬質炭化物形成元素（例えばV）の多量添加や基地強化元素（例えばCo）

の多量添加のみにとどまらず、ハイスの特性の基幹元素（Mo, W, Cr など）をも、見直す必要があると思われる。

組成上では、適当量の M_6C および $M_{23}C_7$ と MC を生成するために必要なだけの炭化物形成元素の添加、それに見合った量の基地強化元素の添加など、組織上では、炭化物粒度の調整や粉末ハイスにみられるように偏析を無くすことなどが、今後の課題であろう。