

Title	アルミニウム合金切削における工具摩耗に関する研究
Author(s)	山田, 茂
Citation	大阪大学, 1982, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2633
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

アルミニウム合金切削における 工具摩耗に関する研究

山田 茂

昭和57年9月

v1 .
\mathcal{V}
い

				目		次			
第1章		緒	論	•••••		•••••			1
第2章	葦	高速度鋼⊥	具の摩莉	毛挙動 ・	••••••	•••••			5
	2. 1	緒	言	•••••	•••••	••••••••		•••••	5
	2. 2	実 験 方	法	•••••••	•••••	••••••		•••••	5
	2. 3	工具摩頼	発生の権	見察・	•••••	••••••	•••••		5
	2.4	7075 -	- T6材の	つ切削・	•••••	•••••			6
4	2. 5	АСЗА	材の切削	ij 	•••••	••••	••••••	••••••	7
4	2.6	結	言		•••••	•••••			9
第31	章	超硬合金工	[具の摩頼	毛挙動	•••••	•••••		• • • • • • • • • • • • • • • • • • •	12
	3. 1	緒	言	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	•••••				12
	3. 2	実 験 方	法	•••••	•••••	••••••			12
;	3. 3	実験結果	きと考察		•••••	•••••		• • • • • • • • • • • • • • • • •	13
		3.3.1 1]削抵抗隔	なついて	•••••	••••••••••		•••••	13
		3. 3. 2 🏾	「具摩耗は	てついて	••••••	•••••		••••••••••••	13
		3. 3. 3 E	PMA	てよる分析	ī ·····			•••••	14
		3.3.4 5	ŋ削仕上 面	面あらさ		••••••		• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	17
	3.4	結		•••••	•••••	•••••		•••••	18
第41	章	高速度鋼コ	二具の摩頼	毛機構		•••••		· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	19
	4. 1	緒		•••••		••••••	, 	••••••	19
	4. 2	実験方	法	••••••				• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	19
	4. 3	7075-	- T6村の	ひ切削				•••••	19
	4.4	A C 3 A	【材の切削	钊 …			•••••	••••••	22
	4. 5	結	言		•••••	•••••	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	26
第5:	章	7075-2	「6材の!	辺削に関す	トる超硬合金	工具の摩頼	毛機構		28
	5. 1	緒	言 .	••••••	•••••	•••••	•••••	• • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	28

5.2 実験方法		28
5.3 7075-T6材の湿式切削		28
5.3.1 P10工具の場合	••••	28
5.3.2 K10工具の場合	•••••	31
5.3.3 検 討	••••••	33
5.4 7075 - T6材の乾式切削	•••••	34
5.4.1 P10工具の場合	•••••	34
5.4.2 K10工具の場合		39
5.4.3 検 討	· • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	42
5.4 結 言		42
第6章 AC3A材の切削に関する超硬合金工具の摩耗機構	•••••	44
6.1 緒 言	•••••	44
6.2 実験方法		44
6.3 AC3A材の湿式切削 ·······		44
6.3.1 P10工具の場合	•••••	46
6.3.2 K10工具の場合	••••••	47
6.3.3 検 討	•••••	47
6.4 AC3A材の乾式切削 ······		47
6.4.1 P10工具の場合	· • • • • • • • • • • • • • • • • • • •	47
6.4.2 K10工具の場合	, 	51
6.4.3 検 討		54
6.5 考 察	•••••	54
6.6 結 言	·····	55
第7章 被削材の添加成分が工具摩耗に及ぼす影響	•••••	57
7.1 緒 言	••••	57
7.2 実験方法	•••••	57
7.2.1 供試試料		57
7.2.2 切削試験	•••••	58
7.3 実験結果と考察	•••••	58
7.3.1 切削抵抗		58

	7. 3. 2	工具摩耗	 59
	7. 3. 3	仕上面あらさ	 60
7.4	結	言	 61

第8章		被削材の)添加成分	量が工具摩耗に及ぼす影響	63
8.	1	緒	Ē		63
8.	2	実 験	方 法		63
		8. 2. 1	供試試料		63
		8. 2. 2	切削試験		64
8	. 3	実験約	吉果と考察		64
		8. 3. 1	切削抵抗		64
		8. 3. 2	工具摩耗		65
		8. 3. 3	仕上面あ	53	68
8	. 4	結			69

第9	章		CBNI	L具の摩耗	挙動	 71
	9.	1	緒		•••••	 71
	9.	2	実 験	方 法	••••	 71
			9. 2. 1	供試試料		71
			9. 2. 2	切削試験		 72
	9.	3	実 験	結果	••••	 72
			9. 3. 1	切削試験	I	 72
			9. 3. 2	切削試験	П	 74
	9.	4	結	言	••••	76

78	••••••	Ĕ耗機構	I工具の	СВМ	0章	第1(
78		•••••		1 緒	10.	
78		•••••	験 方 法	2 実	10.	
79		专察	検結果と	3 実駒	10.	
79	i - T 6 材の切削	- 17 % \$	1 Al	10. 3.		
84	i -F材の切削	— 23 <i>%</i> \$	2 Al	10. 3.		
86	理材の切削	D61熱処	3 S I	10. 3.		

10.	4 結	言・	••••••••••••••••••••••••••••••••••••••	38
第11章	ダイヤモ	ンド焼糸	結工具の特性	39
11.	1 緒		۶	39
11.	2 ダイヤ	モンド	工具の仕上面特性 ・・・・・ 8	39
	11. 2. 1	実験方	话	3.9
	11. 2. 2	実験結	结果 · ······ · · · · · · · · · · · · · ·) 0
	11. 2	2. 2. 1	CBN工具, DC工具による金型鋳造材の仕上面あらさ… 9) ()
	11. 2	2. 2. 2	SKH4工具,K10工具,CBN工具及びDC工具による	
			仕上面あらさ)3
11.	3ダイヤ	モンド	工具の摩耗特性 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	<i>}</i> 7
	11. 3. 1	実験方	7法	97
	11. 3. 2	実験結	课)7
11.	4 結) ()
第12章	総	括)1
謝	辞) 3

第1章緒 論

近年,加工の高能率化,高精度化が望まれているが,これには被削材との親和性が小さく,高温 強度が高く,異状損傷の生じない工具の開発が必要である。¹⁾新しい工具の開発には,まず現在使 用されている工具の摩耗機構を明らかにし,その工具材料の特性を十分に理解しなければならない。²⁾

このため最近工具摩耗に関する研究が多く行なわれるようになり、高速度鋼工具、超硬合金工具、 セラミック工具、コーテッド工具、CBN工具、ダイヤモンド工具などを使用して鉄系合金を切削 した場合の工具摩耗機構について多く報告されている。 ^{3)~15)} しかしアルミニウム系合金に関する工具 ^{16)~19)} 摩耗は鉄系合金の場合とは異なると思われるにもかかわらず、その報告例 は少なく明らかにはさ れていない。

一般にアルミニウム合金は、柔らかく機械加工が容易であるため被削性は良いものと考えられ、 過去においては十分な研究は行なわれなかった。しかし、アルミニウムの優れた特性を活用して種 々のアルミニウム合金が開発され、その需要が増大するにつれてアルミニウム合金中にも Al – Si 系合金などのように工具摩耗の激しい合金があることが示された。そのため工具材質の選定、 切削条件の設定に注意することが大切であり、被削性の改善のため被削材の成分、改良処理添加 $2^{29/31}$ 元素、約処理条件が検討され、加熱切削, 低速高送り切削 などが試みられた。切削抵抗 の軽減、工具摩耗の減少、潤滑の観点から湿式切削が試みられることも少なくないが、湿式切削特有の 境界摩耗が生じたり、切削仕上面へ切削油剤がにじみ出たりすることがあるため、やむを得ず乾式 切削をすることが多い。このように工具摩耗の軽減はまだ十分に解決されているとはいえない。そ こで筆者は現在アルミニウム系合金の切削に使用されている高速度鋼工具や超硬工具の摩耗機構を 調べるとともに、アルミニウム系合金中最も激しい工具摩耗を呈するハイパーシルミン⁴⁴⁾の切削に、 近年開発されたCBN焼結工具⁵やダイヤモンド焼結工具⁶を使用し、これらの工具の摩耗機構を 明らかにすることを目的として一連の実験を行なった。一方、工具摩耗軽減の目的で微量金属元素 の添加による改良処理の影響も調べた。

本論文の構成は以下のとおりである。

第2章では高速度鋼工具を使用して超々ジュラルミンとシルミンの乾式切削と湿式切削を行ない, それぞれの場合の工具摩耗状況を観察した。

第3章では五種類の超硬合金工具を用いて、 Al – Si 系鋳造合金の乾式切削を行ない, それぞれの工具の摩耗状況を観察し,比較を行なった。

第4章では高速度鋼工具を使い,超々ジュラルミンとシルミンの湿式切削を行ない,それぞれの 材料におけるこの工具の摩耗機構を明らかにした。 第5章ではP10, K10の二種類の超硬合金工具を使用して,超々ジュラルミンの乾式切削と湿式 切削を行ない,この材料における超硬合金工具の摩耗機構を明らかにした。

第6章では第5章と同様の工具を使用して、シルミンの乾式切削と湿式切削を行ない、この材料 における超硬合金工具の摩耗機構を明らかにした。

第7章では Al-Si, Al-Si-Mg, Al-Si-Cu-Mg 系の合金に Na, Sr, Sbを添加して行なった改良処理が高速度鋼工具の摩耗に及ぼす影響を検討した。

第8章では Al – Si 共晶合金に Sr, Sb の添加量を種々変えて改良処理を行ない,その添加 量と工具摩耗の関係を調べ,有効な添加量のあることを明らかにした。

第9章では近年開発されたCBN工具を使用して,工具摩耗の非常に激しいハイパーシルミンの 乾式切削と湿式切削を行ない,それぞれの場合の工具摩耗状況を観察した。

第10章ではCo, Al_2O_3 , TiN でそれぞれ焼結された三種類のCBN工具を使い, ハイパー シルミンのF材とT6材の乾式切削を行なって, CBN工具の摩耗機構を明らかにした。

第11章ではダイヤモンド焼結工具を使用し、Al – Si 系合金の切削を行ない、その仕上面状況 を観察してダイヤモンド焼結工具が優れていることを示した。

またパイパーシルミンのT6材の乾式切削を行ない、この工具の摩耗機構を明らかにし、アルミ ニウム系合金の切削に最も適していることを示した。

第12章は本論文の総括である。

文 献

- 1) 中村裕道:日本機械学会誌, 85, 4(1982), 447.
- 2) Namp. Suh: Wear, 62, 1(1980), 1.
- 3) K. NaKajima, KOhgo, T. Awano: wear, 11, 2 (1968), 369.
- 4) P. K. Wright, J. G. Horne, D. Tabor: Wear, 54, 2(1979), 371
- 5) K. Iwata, k. Ueda : Wear, 60, 2(1980) 329.
- 6) 鳴瀧則彦,岩田一明,奥島啓弐:精密機械, 32,9(1966),607.
- 7) 奥島啓弐,鳴瀧則彦:精密機械, 35, 2(1969), 94.
- 8) 上原邦雄, 竹下英夫, 内田和弥, 仁科健治: 精密機械, 38, 2(1972), 167.
- 9) 上原邦雄,仁科健治,竹下英夫,内田和弥:精密機械, 38, 3(1972), 261.
- 10) Y. Naerheim : wear, 37, 2 (1976) 313.
- 11) T. Akasawa, Y. Hashiguti : Wear. 65, 1 (1980) 141.
- J. E. Matta, W. L. Roper, D. P. H. Hasselman, G. E. Kane: Wear,
 10, 2 (1967), 323.
- J. P. Chubb, J. Billingham, D. D. Hall, J. M. Walls: Metals Technology July, (1980), 293.
- 14) 鳴瀧則彦,山根八州男:精密機械, 46, 4(1980), 442.
- 15) A. G. Thornton, j. Wilks : Wear, 65, 1 (1980), 67.
- 16) 大庫和考,中島耕一,栗野泰吉:精密機械,41,4(1975),369.
- 17) 古市亮蔵, 玉村謙太郎:精密機械, 32, 8(1966), 558.
- 18) 財満鎮雄,高辻雄三,能登谷久公,伊藤年秀:日本金属学会誌, 40, 2(1976), 154.
- 19) 財満鎮雄,高辻雄三,後藤信孝:日本金属学会誌,41,12(1977),1221.
- 20) 軽金属協会編:アルミニウムハンドブック,朝倉, 539.
- 21) 精機学会編:精密工作便覧,コロナ社.
- 22) 財満鎮雄,飯尾政治,工藤繁:軽金属,15,1(1965),45.
- 23) 森永卓一, 財満鎮雄, 高橋恒夫: 軽金属, 15, 3(1965), 44.
- 24) 財満鎮雄,川松英司,相佐和美:軽金属,16,1(1966),46.
- 25) 財満鎮雄, 広野雅道, 上田鼓: 軽金属, 16, 5(1966), 23.
- 26) 財満鎮雄,高辻雄三,19,5(1969),199.
- 27) 財満鎮雄, 飯尾政次, 鈴木竜雄, 19, 11(1969), 481.
- 28) 室町繁雄,高辻雄三,多々静夫,19,12(1969),543.

- 30) 財満鎮雄,高辻雄三,20,4(1970),182.
- 31) 広野雅道, 財満鎮雄, 20, 4(1970), 190.
- 32) 財満鎮雄,高辻雄三,飯尾政次, 20, 11(1970), 556.
- 33) 高辻雄三, 財満鎮雄, 能登谷久公, 渡辺達朗: 軽金属, 25, 2(1975), 41.
- 34) 室町繁雄,財満鎮雄,高辻雄三,多々静夫,能登谷久公, 22, 6(1972), 417.
- 35) 財満鎮雄,北村利昭:日本金属学会誌, 36, 3(1972), 205.
- 36) 財満鎮雄,高辻雄三:軽金属, 22, 1(1972), 17.
- 37) S. Zaima, Y. Takatsuji : Pro 16th Japan Congr. Mat. Res, 1973, 84.
- 38) 室町繁雄,高橋恒夫,高辻雄三,多々静夫:日本金属学会誌, 37,6(1973),639
- 39) S. Zaima, M. Hirono: Pro 12th Japan Congr. Mat. Res, 1969, 154.
- 40) 高橋恒夫,嵯峨常生,三森友彦:軽金属, 21, 1(1971), 19.
- 41) 財満鎮雄,武田裕久,森下定:日本金属学会誌, 38, 7(1974), 609.
- 42) 財満鎮雄,稲葉道次,広野雅道:軽金属, 22, 4(1972), 275.
- 43) 財満鎮雄, 鈴木康夫, 家雲高秀: 軽金属, 29, 9(1979), 391.
- 44) 森永卓一, 財満鎮雄, 飯尾政治: 日本金属学会誌, 30, 5(1966), 463.
- 45) 例えば、粕川乙彦:機械技術、27,6(1979),98.
- 46) 機械技術: 29, 5(1981), 33.

第2章 高速度鋼工具の摩耗挙動

2.1緒言

高速度鋼工具は安価でしかも任意の工具形状に加工が容易でありかつ靱性に富んでいるためアル ミニウム合金等の切削に多く使用されている。一般にアルミニウム合金は、切削加工が容易で工具 摩耗も少ないが、ある種のアルミニウム合金では乾式切削において工具摩耗が著しいことが知られ ており¹⁾、また湿式切削でも境界摩耗の発生が無視できないことも周知の通りである。²⁾よって本章 では、工具摩耗が比較的発生しやすい材料として、展伸材より7075-T6 材、鋳造材よりAC3A材 を選び、高速度鋼工具を用いて乾式及び湿式切削の際に現われる工具摩耗の進行状況を観察し、工 具摩耗発生機構の考察の端緒を得るのを目的とした。

2.2 実験方法

実験に供した試料は表 2.1 に示す化学成分の展伸材 7075-T6 材と鋳造材 AC3A 材で,それらの 機械的性質を表 2.2 に示す。刃先諸元 0 - 10^o- 6^o- 6^o- 0 - 0 を有する高速度鋼(SKH4) 製バイト(従って垂直すくい角 $\theta = 10^{\circ}$)を使用し,昌運カズヌーブ旋盤 HB-500型(主軸回転数 40~3200rpm,9KW)によって切削試験を行った。実験に際しては切込み $t_1 = 1.0$ m,送り f = 0.1 m/rev 一定にして削り速度をv = 1および 2 m/sの 2 種類にとり,乾式および湿式切削を実施 した。湿式切削では市販の機械油を切削油として使用した。

2.3 工具摩耗発生の観察

所定の切削条件で切削時間 t = 20 min 切削を実施した場合の工具すくい面およ び横逃げ面における工具摩耗の状況を示 せば図2.1 のようになる。図にみるよう に、7075-T6 材では乾式切削の削り速 度 v = 1 m/s の場合を除いて、すべての 場合にすくい面上にクレータ摩耗が発生 しており、刃先先端付近には一定幅の平 たん部(プラトー)の存在が認められる。 いずれの場合もクレータ表面には付着物 が薄く付着している。AC3Aでは削り速 度にかかわらず湿式の場合のみ著しい境

猆	2	1	試料(の化	学組	成
11	<u>.</u>	T	The second se	- 10	1 197	~~~~

	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mn (X)	**	Cr (%)	Zn (%)	Ti (%)	Na (%)	Sn (%)	Al (%)
7075-16	0.5	0.7	1.6	0.3	2.1	0.11	5.6	0.2	-	I	bol
AC3A	12.8	0.2	1	-	1	1	1	1	0.02	0.41	bai

表2.2 試料の機械的性質

Materials	Tensile Strength (MPa)	0.2% Yield Strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers Hardness (Hv)	Remarks
7075-76	570	483	11.0	142	¢70mmx150mm Extra Super Duralumin
AC3A	135	71	4.0	46.5	¢70mm x150mm Silumin

Material	Cutting Speed	Cutting Condition	Tool Face	Side Flank	Face Deposit	Flank Deposit
7075-16	l m/s	Dry Cutting Machine Oil				TRAFT.
	2 m/s	Dry Cutting Machine Oi I				
АСЗА	I m∕s	Dry Cutting Machine Oi I			1	
	2 m/s	Dry Cutting Machine Oil				

界摩耗が発生しており, その部分には付着物は 全く付いていない。ま たAC3Aの乾式ではす くい面上に付着物が一 様に付いているが。構 逃げ面側では湿式切削 の場合に境界摩耗が発 生する部分に付着物が 多く認められた。それ に対して7075-T6材 の切削では,構逃げ面 の部分には付着が認め られなかった。

Depth of Cut t_1 =1mm, Feed f=0.1mm/rev Cutting Time t=20min, Rake Angle α =10°

図2.1 20分切削後の工具付着物と摩耗状態

2。4 7075-T6材の切削

上記工具摩耗状況を詳細に検討するため、7075-T6 材の切削停止直後の付着物が付いたままお よびこの付着物を NaOH 液で腐食除去した後の工具状況を図 2.2, 2.3 に示す(図上段はすくい面 側,下段は構逃げ面側)。 図 2.2 は削り速度 v=2 m/s,切削時間 t=20 minの乾式切削の場合 であり,図中斜線を旋した①の部分は切削時に工具と接触する被削材部分の位置。形状を予想した 部分である。図のように削り速度 v=2 m/sの乾式切削では、すくい面上に一定幅のクレータが発 生し、切刃部分に約 $30 \mu m$ 程度の幅の平たん部が認められ、この部分に構成刃先の発生が予想され る。³⁾ 構逃げ面側にはほぼ一定幅の逃げ面摩耗が認められる。図中、斜線部分②はアルミニウム等 の薄い付着域を示しており。刃先付近で2~3の小さな盛り上り部分、すなわち、付着物の厚い部 分もみられた。横逃げ面側では、被削材にこすられる逃げ面摩耗部分と、切込みに相当する部分よ り外側に、被削材外形を境界にして薄い付着物がみられる。このことから、被削材は工具逃げ面に よく密着しているようである。また切込みより外側でも付着物が認められることから、図のように 被削材と工具の接触を予想したものの、実際には工具の送りに押されて、切込みより外側にはみ出 している部分があるものと思われる。

Imm



Material 7075-T6 , Dry Cutting Cutting Speed v=2m/s , Cutting Time t=20min Depth of Cut ti=1mm , Feed f=0.1mm/rev



Material 7075-T6, Machine Oil Cutting Speed v=2m/s,Cutting Time t=20min Depth of Cut ti=1mm, Feed f=0.1mm/rev

図 2.3 7075-T6 材の湿式切削後の工具表 面模式図

一方,同一切削条件で機械油を用いた7075-T6材の湿式の場合の工具摩耗状況は図2.3のよう に,乾式の場合と同様,ほぼ一定幅のクレータ摩耗が発生し,その幅は乾式の場合よりやや狭くな っている。切刃部分に平たん部が認められ,かつ横逃げ面側も一様に摩耗している。クレータ上に 薄い付着物が認められる点,被削材外周を境界にして切込みより外側にも薄く付着物が付いている 点など乾式の場合の工具状況とよく類似し,湿式の効果が少ないことがわかる。

工具摩耗の進行を定量的に表示するため図 2.4 に示すように,逃げ面摩耗に伴う切刃の後退量を a, $\rho \nu - \rho$ 幅を b, 横逃げ面摩耗幅をc, および $\rho \nu - \rho$ 深さをd' として工具摩耗量を求めた。 図のように b 並びに d' は切削開始時に一定値にまで増加し, それ以後の増加率は少なく, その値 もほぼ一定であり, また bは湿式の場合の方が狭い。c は切削条件によってその大きさは複雑に変 化するが, 切削の進行に伴って単調に増加している点では乾式, 湿式とも共通している。

図2.5は7075-T6材切削における切削抵抗(主分力 F_H および送り分力 F_V)の時間的変化を 求めたものである。図にみるように,実験範囲では切削条件による切削抵抗の異差はほとんどなく, 切削の進行に伴い切削抵抗は徐々に増加している。これは摩耗量の増加に伴うものと思われる。し かし,その増加率は少なく,主分力は約170N,送り分力は約60Nである。

2.5 AC3A 材の切削

AC3A材を削り速度 v=2 m/s,切削時間 t=20 min で乾式切削した場合の工具摩耗状況を示せば図 2.6 のようになる。この場合も図右側は切削停止直後の付着物が付いたままの状況を示す。 7075-T6 材切削の場合に比べて刃先の丸味が大きくなっている。しかしすくい面上には摩耗痕は

図 2.2 7075-T6 材の乾式切削後の工具 表面模式図

みられず,すくい面上に厚く堆積した付着物の ために,すくい面が保護されているためと思わ れる。この場合,横逃げ面にも付着物が付き,と くに切込みに相当する部分に多い。すくい面の 付着物は図中にみられる白い部分③を除いて広 く厚く付着している。この部分は刃先先端の付 着物によって削り取られ,流出する切りくずが 衝突するために付着物がはがれた部分であると 思われる。

同一切削条件でAC3A材を機械油を用いて湿 式切削した場合の工具摩耗状況は図2.7のよう になる。切込みに相当する部分を中心にして大 きな境界摩耗が発生している。予想される被削材 部分①に比べて,さらに外側にまで境界摩耗が 生じていることから,やはり7075-T6材の切 削と同様に,実際には被削材の一部が工具の送 りによって押されて外周面より外側にバリ状に 突き出ていることが考えられる。また前切刃の



切りくずが工具から離れる部分も摩耗が進み、切削油の浸透しやすい周辺部では、アルミニウム等の付着が 妨げられ、被削材内部に存在する硬いけい素粒子が、直接工具表面を擦過するため摩耗が進行すると思われ る。境界摩耗の底部についている摩擦こんをみると、すくい面では切りくず流出方向と、横逃げ面側では被 削材回転方向と一致している。すなわちすくい面側の境界摩耗が切りくず端面によって、横逃げ面側の境 界摩耗は被削材外周に生じたバリによって生じていることがわかる。切刃上の付着物を取り去ると 前切刃と横切刃に生じた境界摩耗を結ぶ小形のごく浅いクレータ状溝ができているのが認められる。 この溝の深さは、工具製作時の研削条こんがわずかに消える程度のごく浅いものである。この溝と 切刃に囲まれた部分以外に付着物はほとんどなく、切削油剤が工具にアルミニウム等の付着するの をよく防いでいることがわかる。その結果乾式の場合に比べて横逃げ面摩耗幅も大きくなっている。

AC3A材切削に際して、切削時間 t の進行に伴う工具摩耗の変化量として図 2.8 のように横逃げ 面摩耗幅 h, 構逃げ面の摩耗に伴う切刃の後退量 g, 構逃げ面側の境界摩耗長さ d, すくい面側の 境界摩耗長さ e と境界摩耗の開口幅 f を求めた。 h と g は切削開始時に一定値に到達し, その後の 摩耗量増加は非常に小さく, またこの h と g の両者は互いに関連して似た傾向にある。 h は AC3A 材では湿式の方が切削油剤によってアルミニウムなどの付着が妨げられるため, かなり大きくなっ ている。また, AC3A 材切削時の境界摩耗の大きさを求めれば, d がほぼ一定の割合で増加してい るのに対し, eは切削初期に急増するが,その後増加割合は減少する傾向を示し,fもばらつきは あるが e と似た増加の傾向にある。



図2.9にAC3A材切削時の切削抵抗(主分力FH及び送り分力FV)の変化を示す。図に示すよう

図 2.5 7075-T6 材切削の切削抵抗の変化状況 に切削条件によって切削抵抗が大きく変化し、 湿式に比べて乾式の方が切削抵抗は大きくなり、 乾式では削り速度が低い方が切削抵抗は大きい。 また、切削の進行に伴う切削抵抗の増加は認め られないが、これは切刃部の付着物によって切 削が行なわれるためと思われ。かつ、境界摩耗 の大きさは切削抵抗には影響しないようである。

2.6 結 言

以上の実験結果より,7075-T6材では乾式 切削に比べ湿式切削では,その程度は少ないも のの,いずれの場合にも工具すくい面にはクレ ータ摩耗,構逃げ面には逃げ面摩耗がみられた。



Material AC3A, Dry Outting Cutting Speed v=2m/s, Cutting Time t=20min Depth of Cut ti=1mm, Feed f=0.1mm/rev



図2.6 AC3A材の乾式切削後の工具表面模式図

Material AC3A, Machine Oil Cutting Speed v=2m/s,Cutting Time t=20min Depth of Cut ti=1mm, Feed f=0.1mm/rev

図2.7 AC3A材の湿式切削後の工具表面模式図

クレータ摩耗は硬い(Hv + 153)流出切りくずがすくい面上に衝突し、局部的な機械的摩擦によって生ずるとみられる。逃げ面摩耗は小さく、付着物は被削材と工具接触面外に薄く付着する程度である。

AC3A 材の乾式切削では付着物によって流出切りくずの衝突が防護されるためクレータ摩耗はみ



図2.8 AC3A材切削の工具摩耗進行状況

られず境界摩耗も生じないが、刃先部で多く摩 耗する三角形逃げ面摩耗を呈した。湿式切削で は切込み境界部において切削油の浸透により付 着物が付着しないため境界摩耗の発生がみられ た。



図 2.9 AC3A 材切削の切削抵抗の変化状況

- 10 -

参考文献

- 1) 例えば財満鎮雄;機械技術, 27, 10(1979), 34。
- 2) 財満鎮雄, 鈴木康夫, 家雲高秀; 軽金属, 29, 9 (1979), 391.
- 3) 例えば星光一;金属切削(構成刃先について),昭和41年,42,工業調査会。

第3章 超硬合金工具の摩耗挙動

3.1緒言

1920年代にWC-Co系の超硬合金工具が開発されて以来 TiC, TaC等の各種炭化物粒子が 開発され、その優れた耐摩耗性により各種材料の切削に使用され、超硬合金工具は今や切削工具の 主流となっている。現在多種多様の超硬合金工具が市販されているが、JISではISOの規格を採用し、 大きくP種、M種、K種の3種類に分類している。P種は主にTiC-WC-Coよりなり、M種は P種よりもTiCが少なくWCの多いTiC-WC-Coであり、K種はWC-Coが主成分である。そし てその工具材種選定の基準によれば、アルミニウム合金切削における適合工具材種はTiCを含まな いK分類のWC-Co系のものが推奨されている。しかし、なぜK種の超硬合金工具がアルミニウム合 金の切削に適合するかの理由については、必ずしも明確ではない現状である。

よって本章では市販の超硬合金工具より代表的な5種類を選び、これらの工具で種々の Aℓ-Si 系 鋳造合金を乾式切削した場合の被削性を工具摩耗、切削抵抗、切削仕上面あらさの点より検討し、 特に工具摩耗状況をEPMA により観察し、工具摩耗発生機構の考察の端緒を得るのを目的とした。

3.2 実験方法

実験に供した試料は JIS 規格のAC2B, AC3A, AC4A およびAC4B 相当の金型鋳造の F材 とそのT6 処理材である。試料の溶解は黒鉛るつぼを用い, 大気中で473K に加熱された円柱状金 型に1023Kで鋳込んだ。金型の寸法は内径130mm, 高さ220mm である。これら試料の化学組成 は表3.1に示すように, ほぼ JIS 規格に合致したものであり, 機械的性質は表3.2に示すように 標準的な値をとっている。 表3.1 試料の化学組成

切削試験には昌運カズヌーブ 施盤HB-500型を用い,使用 工具はJIS 規格のP10,P20, M20,K10 およびK20 に相 当する市販の超硬合金工具5種類 で,刃先諸元は0-6[°]-6[°]-6[°]-8[°] -0-0.2である。

切削抵抗は主分力と送り分力, 工具摩耗幅は工具逃げ面の平均 摩耗幅,切削仕上面あらさは長 手方向の最大表面あらさをそれ

Material	Si	Fe	Cu	Zn	Mg	Mn	Ni	AI
AC2B	7.0	0.56	3.2	0.26	0.17	0.15		bal
AC3A	10.4	0.42	0.18	0.08	0.10		—	bal
AC4A	9.0	0.33	0.18	0.03	0.56	0.53	—	bal
AC4B	8.1	Q65	2.2	0.84	0.40	0.20	0.10	bal

表3.2 試料の機械的性質

Material	Tensile Strength	Vickers Hardness
AC2B-F	201.9	101.0
AC2B-T6	289.1	122.0
AC3A-F	142.1	55.7
AC4A-F	176.4	61.6
AC4A-T6	276.4	95.3
AC4B-F	178.4	94.0
AC4B-T6	251.9	142.0

ぞれ測定した。またEPMAによる分析は切削終了後の付着物が付いた状態の工具を先端より順次 研摩し、それぞれの断面における2次電子像と特性X線像の観察によって実施した。

3.3 実験結果と考察

3.3.1 切削抵抗について

5 種類の超硬合金工具を用いて、削り速度v = 10 m/s、送りf = 0.13 m/rev、切込み $t_1 = 1.0 \text{ m}$ の切削条件で各試料を切削した場合の切削抵抗(主分力Pおよび送り分力F)を図 3.1 に示す。図より各工具における切削抵抗の変化はF材においてはあまり明瞭ではないが、T 6 処理材ではK分類工具が他の工具の場合より切削抵抗は低い値を示している。これはF材ではその機械的性

質がT6材に比し低いので,切 削初期における工具摩耗が少な く,工具材種の相違は切削抵抗 の値まで影響しないが,T6材 では材料強度が大きいので後述 の図3.2にみられるように切削 初期から工具摩耗も著しく,ま た工具材種による摩耗量の差も 明瞭になり,工具摩耗に基づく 切削抵抗の影響が現われるため

と思われる。次に主分力Pと送





り分力Fを比較すれば,送り分力は主分力の½程度以下の値でほぼ主分力と同様な変化傾向を示すが, AC4B-T6 材でP工具,M工具の場合の送り分力の値がやゝ大きいのが目立っている。



3.3.2 工具摩耗について

削り速度v = 10 m/s,送り f = 0.13 mm/rev,切込み $t_1 = 1.0 \text{ mm}$ の切削条件の場合,切削長さ 約150mごとに切削を中断して工 具逃げ面平均摩耗幅 V_B の測定を 行ない,総切削長さL = 600 mお よびL = 1600 mの場合の結果を 図 3.2 に示す。図より切削抵抗が 大きいT 6 材の工具摩耗が大きく, その摩耗幅は P10, P20, M20, K10 およびK20 の順に小さくなっている。F材についても同様な傾向が見られ、K分類工具の摩耗幅 が小さくなっている。またK10工具とK20工具を比較した場合、F材ではK10工具がK20工 具より、幾分よい結果を示し、T6材ではK20工具の摩耗幅が小さくなっている。一方、工具逃 げ面の先端摩耗幅を比較した場合、K種工具ではその大きさは逃げ面平均摩耗幅 V_B と同じである がやや大きい程度で、逃げ面全体が一様に摩耗しているが、P種工具の先端摩耗幅は逃げ面平均摩 耗幅よりも0.1 ~ 0.2 m大きく(L = 1600mの場合)、P種工具は耐摩耗性でK種工具に劣ってい るようである。そして、M種工具はP種工具とK種工具の中間的な値を示した。したがって被削材 中に硬い析出物が比較的少ないF材では耐摩耗性に重点をおいてK10工具を選択した方が良く、 またT6材のように被削材中に硬い析出物が多い場合には、幾分靱性に考慮をはらって、K20工 具を使用した方が有利であると思われる。

3. 3. 3 EPMAによる分析

前述のように、切削抵抗および工具摩耗においてK種工具が他の工具よりも良好な結果を示した が、その原因がK種工具のどのような特性によるものかを明確にするため、工具材と工具付着物と の関係に着目して、EPMAによる観察を行なった。P20、K10およびK20工具を使用し、AC 4AT6材を削り速度v = 10 m/s、送りf = 0.13 m/rev,切込み $t_1 = 1.0 \text{ m}$ の切削条件で 切削時間 $t_c = 1 \text{ min}$ の後、付着物が付いた状態の工具を図3.3に示すように、前逃げ面と平行 に先端より 0.1、0.3 および 0.5 m離れた各A、BおよびC断面まで段階的にダイヤモンド砥石に

よる超仕上げを行ない,その都度EPMAによる観察を行 なった。図3.4 はP20 工具のA, BおよびC断面におけ る二次電子像と特性X線像を示している。A断面では工具 先端に近いため工具摩耗は非常に激しく,かなり丸味を帯 び,付着物も厚く付着している。そして,珪素が付着物下 方に多くみられることから,この断面ではこの部分で工具 摩耗が現在,進行していることが考えられる。B断面から C断面にかけて工具摩耗量は少なくなり,それに対応して

付着物も少なくなる。また珪素が多く付着している部分も



図 3.3 EPMA観察位置

切刃付近に移り,工具摩耗の進行域が切刃付近であることを示している。C断面ではクレータ終端 部にも付着物がみられ,この部分でもアルミニウムより珪素の方が多く付いている。付着物の大 きさは工具摩耗量に依存するようであり,¹⁾工具摩耗の進行には珪素粒子が密接に関係するようで ある。工具摩耗の少なかったK種工具の同様な断面観察を図3.5,3.6に示す。図3.5はK10工 具,図3.6はK20工具のA断面である。図3.5のK10工具ではチッピングが観察され、その部分 にアルミニウム等が付着し,大きな付着物を形成しているが,図3.6のK20工具ではチッピン グは生じておらず,付着物は非常に小さく,工具摩耗も少なくなっている。このことから,T6処



図 3.4 P20工具でAC4A-T6材を1分切削した後のEPMA分析

- 15 -



図 3.5 K10工具でAC4A-T6材を1 分切削した後のEPMA分析



図 3.6 K20工具でAC4A-T6材を1分 切削した後のEPMA分析

理材にはK20工具の方が効果的であると思われる。

しかし,以上の結果からはK種工具がP種工具よりも工具摩耗が少ない理由が明確にはならないので,P種工具に多く含まれているTiC が主成分であるTiC 系のサーメット工具を使用し,同



図 3.7 サーメット工具でAC4A-T6材を1分切削した後のEPMA分析



図 3.8 サーメット工具でAC4A-T6 材を 1分切削した後の線分析

ー条件で切削を行なって得られた写真が図 3.7 である。この場合、サーメット工具の工具摩耗量は P種工具の2倍程度となり、すくい面上にも大きなクレータが生じている。逃げ面付着物の厚さは 40 μ m 程度で、すくい面上にも大きく盛り上っている。この逃げ面付着物中、工具との接触面か ら15~20 μ mの範囲におけるチタン濃度は母材中に微量存在するチタン濃度よりかなり高くなり、 この傾向は工具接触部付近の下方ほど顕著である。このサーメット工具でバインダとして使用され ているニッケルについても同様な傾向がみられ、これらの部分の線分析結果を図 3.8 に示す。図か らも明らかに工具材中のチタンおよびニッケルが付着物中に拡散していることがわかる。また同一 切削条件でAC4A-T6材よりマグネシウム含有量の多いAC8A-T6材(A1 - 11.7 Si - 1.3 Cu - 1.2 Mg - 0.9 Ni)を切削し、横逃げ面から前逃げ面にかけての摩耗の最も激しいノ ーズ部分をすくい面側から、すくい面に平行に深さ20 μ m 程度研摩除去した断面を観察すれば図 3.9を得る。写真より切刃に沿ってマグネシウムが帯状に付着しているのがわかる。工具摩耗が激

しい部分では切削温度もかなり高くなると考えられ るため,²⁾ マグネシウムが工具材中のチタンまた はニッケルと結合し,その部分が工具摩耗に対して 弱くなって,摩耗が進行すると思われる。この部分 では,マグネシウムが工具面に付着しているため 付着物中へのチタン,ニッケルの拡散は図3.7のよ うには明確ではなかった。このようにTiC 主成分 のサーメット工具では工具材中のチタンおよびニッ ケルなどが付着物中へ拡散したり,被削材中のマグ ネシウムなどが工.具に付着して摩耗の進行を早め るものと思われる。このためA1-Si 系合金の切削 においてはTiC を含むP種,M種工具よりは含ま ないK種工具の方が工具摩耗に対して有利といえる。

3.3.4 切削仕上面あらさ

総切削長さL = 50 mおよびL = 1600 m の場合 について切削仕上面あらさの値を図 3.10 に示す。 図中, 斜線を施したものは工具摩耗が比較的少ない 切削初期のL = 50 m の場合であり, 他方は工具摩耗 がかなり進行したL = 1600 mのときの値である。

工具摩耗の少ない切削初期にF材ではK分類工具に おける仕上面あらさが他の工具材種のものに比べて



いくぶん良好であるが、工具摩耗が進行した状態では必ずしもそうではない。これは工具摩耗に基



づく逃げ面付着物の影響と思われ る。T6処理材では初期摩耗がかな り大きいのでK分類工具の仕上 面あらさに関する優位性もなく なる。またP10工具で仕上面の あらさの値が小さくなるのは, 工具摩耗のために仕上面がバニ シされたようになるためである。

図 3.10 各工具間の仕上面あらさの比較

3.4 結 言

A1-Si 系鋳造合金を市販のP10, P20, K10 およびK20 の5種類の超硬合金工具を用いて切削した結果をまとめると次のようになる。

- (1) 切削抵抗はF材では工具材種による違いは明白ではないが、T6処理材ではK分類工具の切 削抵抗が低くなる。
- (2) 工具摩耗として逃げ面摩耗幅を基準にとれば、だいたいP10、P20、M20、K10、K20の順に摩耗幅が小さくなり、K分類工具がP分類工具よりも有利である。そしてF材のように比較的硬さの低い被削材にはK分類中で耐摩耗性に優れたK10工具が良く、T6処理材のように硬さの高い被削材には靱性を考慮してK20工具を使用した方が良い。
- (3) P分類工具に比べてK分類工具の摩耗量が少ないのは、P分類工具材中のチタンが被削材中のアルミニウム、シリコンと親和性が強く、またマグネシウムなどとも結び付きやすいため工具摩耗が促進されるものと思われる。
- (4) 工具材種が仕上面あらさに及ぼす影響は本実験範囲内では大きな差異が認められなかった。

参考 文献

- 1) 財満鎮雄,高辻雄三,能登谷久公,伊藤年秀;日本金属学会誌40,2(1976),154.
- 2) 財満鎮雄, 高辻雄三, 後藤信孝 ; 日本金属学会誌, 41, 12(1977), 1221.

第4章 高速度鋼工具の摩耗機構

4.1 緒 言

第2章において,工具摩耗が比較的発生しやすい材料として展伸材より7075-T6材,鋳造材よ りAC3A材を選び,乾式および湿式切削における高速度鋼工具の摩耗の実態を観察した。その結果, 切削抵抗の軽減,切削仕上面の向上,工具寿命の増大などの見地から採用される湿式切削において, 切削条件や切削材によっては乾式切削よりも大きい工具摩耗が認められた。すなわち7075-T6材 では乾式切削に比べてその程度は少ないものの工具すくい面にはクレータ摩耗,横逃げ面には逃げ 面摩耗が認められた。AC3A材では乾式切削の際すくい面,横逃げ面における工具付着物の生成が おう盛で,これが工具面を保護するため横逃げ面に三角形逃げ面摩耗が認められ,湿式切削では付 着物の生成は少なく,特に切込みに相当する部分で工具付着物の付着が防げられ,境界摩耗が発生 するなど問題があった。本章では主に湿式切削の際における高速度鋼工具の工具摩耗状況をEPMA により観察し,一部乾式切削と比較し工具摩耗の発生機構を考察するのを目的とした。

4.2 実験方法

実験に供した試料は第2章と同じ材料の7075-T6材(いわゆる超々ジュラルミン)およびAC3A 材(シルミン)である。

刃先諸元 $0-10^{\circ}6^{\circ}6^{\circ}6^{\circ}0-0$ を有する高速度鋼(SKH4)製バイトを使用し、昌運カズヌーブ 旋盤 HB-500 型によって切削試験を実施した。 切削条件は切込み $t_1 = 1.0 \text{ mm}$ 、送りf = 0.1 mm/ rev, 削り速度 v = 2 m/s 一定とし、湿式切削には機械油を使用した。

4.3 7075-T6材の切削

第2章の7075-T6 材の湿式切削では乾式切削の場合と同様,すくい面上切刃部分から一定幅の 平たん部が認められ,それに続いて一定幅のクレータ摩耗が発生しているが,その際のクレータ摩 耗の詳細を示せば図4.1のようになり,右側の図は左側写真の説明であって,拡大撮影した部分を 太線で囲んだ範囲で示す。最上段はクレータ摩耗の全体を示し,右図に書き込んだ切削時の被削材 の予想関係位置よりみて,被削材に切込んだ長さ全体にわたってほぼ一定幅の摩耗が発生している。 2段目の写真は工具先端部のクレータ摩耗を拡大して示してあるが,切刃に沿って一定幅の摩耗し ていない部分があり,前述のようにこの部分に構成刃先が発生,付着し,切刃を保護するためと思 われる。そしてその平たん部に続いて摩耗が始まり,内側になるに従ってくぼみが深くなっている 様子がうかがえる。3段目はちょうど切込みに相当する部分の拡大写真で,規模は小さいが、この 部分で境界摩耗が発生しかけているのが認められ,その外側に未摩耗部分との境がみられる。最下 段は以上の摩耗面と比較するため、切削に関与し なかった切刃部分の拡大写真で、工具表面には工 具作製の際の研削砥石による研削こんがみられ。 かつ組織中のタングステン炭化物(写真中の白い 粒子)も一様に研削されているのが認められる。

次に,上述の2段目の写真に示された範囲のク レータ摩耗について,さらに拡大撮影し,同時に 主要元素の分布を求めれば図4.2のようになる。 すなわち,写真は切刃端ならびにクレータの開始 部分を示すが,切刃端部には約20µm程度の摩耗 していない部分が認められる。この部分ではタン グステン炭化物粒子は母材中にうまり,砥石の研 削条こんもそのまま残っている。しかし,クレー タ部分では母材金属は削り取られ,硬いタングス



Material 7075-T6, Machine Oil, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20 min Depth of Cut ti = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図4.2 切刃部分のEPMA分析



Material 7075-T6, Machine Oil, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20 min Depth of Cut ti = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図 4.1 7075-T6 材を20分間湿式切削後 のすくい面の EPMA 分析

テン炭化物粒子との間に段差ができて浮き出て いるのがわかる。またタングステン炭化物粒子 には前述の未摩耗部分の研削条こんに比べ,は るかにピッチの細かい摩擦こんが認められ,こ の摩擦こんと研削条こんとの間には,わずかで はあるが角度差があることから,被削材や切り くず中に存在する硬い微粒子が切りくずの流出 に伴って工具面を擦過していると考えられる。 元素分布をみれば,タングステン炭化物粒子と みられる位置にタングステンのX線像がみられ る以外, 亜鉛がわずかに残っている程度でほか の元素は認められない。

図4.3はクレータ中央部の最も深いくぼみ



図 4.3 クレータ中央部の EPMA 分析

図 4.4 クレータ終端部の EPMA 分析

部分の写真である。前述のクレータ開始部分の場合と同様,タングステン炭化物粒子上にピッチの 細かい摩擦こんがみられる点,母材金属部分がタングステン炭化物粒子に先立って削り取られてい る点など同じ傾向にある。元素分布をみれば,タングステン元素はもちろん認められるが,銅,マ グネシウムはほとんど取り除かれている。

また図4.4はクレータ終端部の写真である。この場合にもタングステン炭化物粒子面上に細かい 摩擦こんがみられる。この部分の特徴は銅。マグネシウムの付着量が比較的多く,同じ場所に亜鉛, アルミニウムも付着していることである。このようにクレータの終る部分に被削材中の金合元素が 濃縮された形で付着する傾向がみられる。

切刃先端から 250 μ m の位置で、クレータ摩耗部分に直角方向に元素の線分析を行なった結果を 図 4.5 に示す。これからもクレータの終る部分、切刃から深さ 300 μ m 付近で銅。マグネシウムの 付着量が多く、また亜鉛、アルミニウムもその付近で多いことがわかる。切刃先端から 500 μ m, 750 μ m の位置における線分析の結果も同様な傾向を示した。 7075-T6 材中にあると考えられる 組織としては¹⁾ Al-Cu-Mg, CuAl₂, Mg₂Al, FeAl₃, Mg₂Si, MgZn などであるが、図のよ



図4.5 すくい面上の線分析

うにこの部分で銅, 亜鉛, アルミニウム, マグ ネシウム等が多いことは, これらの組織に関連 した各元素であることからうなずける。

一方図 4.6 は 7075-T6 材の乾式および湿式 切削の場合の切りくず断面を示すが、切りくず の断面組織をみる限り湿式切削でも乾式切削の 場合とほとんど変わりない。元素分布も乾式、 湿式両切削の間にあまり差はなく、鉄、銅がや や大きくかたまって存在し(ただし、写真では 乾式切削に比べ湿式切削で銅分布がやや少ない ようにみられる)、マグネシウム、亜鉛は一様 に細かく分布している。しかし工具すくい面を 滑って流出する切りくず裏面の写真を求めれば 図4.7のようになり、乾式切削の際に鉄が多いのは 工具面を擦過する際に工具から得られるもののよう で、湿式切削では前述の切りくず断面の鉄分布と大差

なく、銅分布や細かく一様に分布している亜鉛も切りくず断面とほぼ変りなく、そして鉄と銅とは 必ずしも同じ場所にあるとは限らない。またマグネシウム分布は切りくず断面に比べて極めて減少 しているのは特徴的である。これから考えれば、前述のように 7075-T6 材にあると考えられる組 織の中で $MnAl_6$ (初晶けい素をK = 3460 とした場合の引掻き硬さK = 890、以下回様²⁾)、 $CuAl_2$ (K = 775)、Al-Cu-Mg (K = 500)、Mg_2Al_3 (K = 450) などに比べて比較的高い値 の引掻き硬さをもつ $FeAl_3$ (K = 1780)、一部 Mg_2Si (K = 1375) などが工具面を引掻き、タン グステン炭化物粒子を浮き上らせる役割をしているのではないかと予想される。

4. 4 AC3A材の切削

2章のAC3A材の機械油を用いた湿式切削時の工具摩耗には、切込みに相当する部分を中心に大きな境界摩耗が発生した。この場合図4.8の上段のようになるが、写真をよく見れば前切刃側にもわずかに境界摩耗が発生している。ここで横切刃、前切刃および両方にできる境界摩耗を結んだ領域には工具付着物が発生、付着して工具面を保護している。また右の説明図に示す拡大位置の写真にみるように、前切刃側の境界摩耗が生じないでタングステン炭化物粒子が埋ったままのもとの工具面と、工具摩耗の進行によってタングステン炭化物粒子が浮き出た部分とがはっきり境界づけら



(a) dry cutting (b) wet cutting

図 4.6 4 分間切削後の切りくず断面の EPMA 分析



図 4.7 4 分間切削後の切りくず裏面の E PMA 分析



Material AC3A, Machine Oil, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20 min Depth of Cut t, = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図 4.8 AC3A 材を20分間湿式切削後の すくい面のEPMA分析



Material AC3A, Machine Oil, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20 min Depth of Cut II = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図 4.9 切刃中央部の EPMA 分析

れているのがわかる。そしてアルミニウム、けい素の付着は全く認められていない。

図4.9は右側説明図にみるように切刃中央部の写真である。すくい面の表面状態から、この部分 も摩耗していないことがわかり、これはこの部分が工具付着物によって保護されていたためと思わ れる。ここにもアルミニウム、けい素の付着は認められていない。また上述の工具付着物に覆われ たとみられる領域のほぼ中央部と思われる部分の写真を求めれば図4.10となり拡大写真をみても工 具作製時の研削条こんが残っており、摩耗の進行は認められない。アルミニウム、けい素の付着も なく、工具付着物は切刃を十分に保護していることがわかる。

次にすくい面側境界摩耗と逃げ面側境界摩耗の境付近の写真を図4.11に示す。拡大写真より、工具 母材金属は削りとられ、タングステン炭化物粒子は笑き出ており、かつ切りくず流出方向がわかる やはり、アルミニウム、けい素の付着はわずかしか認められていない。そして境界摩耗の終端付近 の写真は図4.12のようになり、工具母材金属が削り取られ、またタングステン炭化物粒子も摩耗し ているが、7075--T6材切削の場合に比ベタングステン炭化物粒子面には摩擦こんは認められず、 全体として丸味を帯びているようである。被削材中の初晶けい素微粒子が摩耗の主原因と考えられ るが、その働きは母材金属を削り取ることになり、タングステン炭化物粒は硬いためその摩耗速度 は遅いと思われる。この場合も、アルミニウム、けい素について元素の線分析を実施したがほとん ど付着が認められなかったので図は省略する。



図 4.10 クレータ中央部のEPMA分析







Material AC3A, Machine OII, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20min Depth of Cut ti = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図 4.12 境界摩耗終端部の EPMA 分析



Material AC3A, Machine Oil, Tool SKH 4 Cutting Speed v = 2 m/s, Cutting Time t = 20min Depth of Cut t₁ = 1 mm, Feed f = 0.1 mm/rev

図 4.13 境界摩耗部断面の EPMA 分析

図4.13は右側説明図のように境界摩耗面を直角に切断して求めたもので、タングステンは一様に 分布しており、摩耗部分の外形の外側にけい素がほぼ一様に、アルミニウムはところどころに付着 しているのが認められる。

一方,図4.14は乾式,湿式両切削方式における切りくずの断面写真であるが,初晶けい素近傍の 素地が帯状になっているのが特徴的である。元素分布では鉄はほとんど認められず,けい素は初晶 けい素とその素地帯を除いた部分で一様に細かく分布している。切りくず断面では乾式,湿式両切 削方式の差はあまり認められない。しかし,切りくず裏面を示す図4.15では外観上は乾式,湿式両 切削方式とも大差ないが,鉄は乾式では工具面から得られるためやや多いものの,湿式切削ではそ の程度が少なくなっている。またけい素は乾式ではやや大きく一様に分布し,湿式切削でも一様に 分布している。したがって,AC3A材組織中で考えられる前記引掻き硬さの高い初晶けい素(K = 3460),一部 FeAl₃(K = 1780)などが工具面を擦過する際図4.13のように,工具面を削り取るも のと思われる。



4.5 結 言

以上,展伸材の7075-T6材,鋳造材のAC3A材の切削における高速度鋼工具摩耗の発生機構を 主としてX線マイクロアナライザによって検討した。前者では乾式切削の場合と同様なすくい面摩 耗,逃げ面摩耗が,後者では横切刀,前切刀に境界摩耗が発生するなど発生形態は異なるが,摩耗 部分そのものは切削中に工具面と接触する被削材や切りくず中にある初晶けい素のように極めて引 掻き硬さの高い微粒子が工具面にぶつかり、工具材質組織中のタングステン炭化物粒子を浮き上ら せ、やがてそれを脱落させる形態で進行するもののようである。

参考文献

- 1) L.F. Mondolfa; Aluminum Alloys (Structure and Properties), 1976, 847, Butter Worth Co.
- 2) 例えば、アルミニウム加工技術便覧、昭和54年、280、日刊工業新聞社.

第5章 7075-T6材の切削に関する超硬合金工具の摩耗機構

5.1緒 言

第2章,第4章において工具摩耗の比較的激しい7075-T6材とAC3A材を高速度鋼工具を用い て切削した際の工具摩耗の発生機構を考察した。しかし現在これら合金の切削工具の主流は超硬合 金工具であるため、第3章において実用 Al-Si 系鋳造合金のF材とT6材を5種類の超硬合金工具を用い て乾式切削を行った。その結果、この系の合金の切削にはP分類工具よりもK分類工具が適し、そ の理由はP分類工具中の TiC が工具付着物中へ拡散するためであることを述べた。しかし7075 -T6 材のような展伸材においてもK分類工具が適するかについては、必ずしも明確にはされてい ない。また切削様式として、切削抵抗の軽減、工具摩耗の減少等の観点から、切削油剤を使用した 湿式切削が試みられることも少なくない。しかし切削油剤仕上げした場合、製品として塗装中、塗 装後あるいは使用中に切削油剤がにじみ出たりすることがあるため、やむを得ず乾式切削をするこ とが多い。このため本章では7075-T6材をP分類およびK分類の超硬合金工具を使用して、乾式 切削と湿式切削を行ない、この場合に発生する工具摩耗をEPMAを用いて調らべ、7075-T6材の 切削における超硬合金工具の工具摩耗発生機構を明らかにすることを目的とした。

5.2 実験方法

実験に供した試料は第2章,第4章において使用した試料と同一の7075-T6材(いわゆる超々 ジュラルミン)である。

実験は、刃先諸元 $0-10^{\circ}6^{\circ}6^{\circ}6^{\circ}0-0.1$ を有する 2 種類の超硬合金製工具(JIS 分類 P 10および K 10)を使用し、昌運カズヌーブ旋盤 HB-500型 によって乾式切削と湿式切削試験を実施した。 切削条件は切込み $t_1 = 1$ m,送り f = 0.1 m/rev と一定とし湿式切削には市販のマシン油を切削油 として使用した。また工具摩耗は逃げ面摩耗に先行するが、工具の摩耗機構は切りくずが擦過する すくい面側で特色がはっきりするので、すくい面摩耗を対象とした。この際アルミニウムの大きな 工具付着物は NaOH 溶液で除去した。

5。3 7075-T6材の湿式切削

5.3.1 P10工具の場合

図 5.1 の上段は削り速度 v=5m/s, 切削時間 t=20 min で湿式切削した場合,工具すくい面上 に生ずる工具摩耗の全体像と線分析方向を示す。工具摩耗の全体像をみれば高速度鋼工具の場合と 同様、すくい面上に一定幅のクレータが発生している。下段の写真は①の太線で囲んだ部分を拡大 撮影したもので,切刃には狭いが一定幅で荒れのひどい領域があり,その下方の面は滑らかである が切りくず流出方向に沿って無数の摩擦痕が認 められる。その面に続いて切刃部から0.15~ 0.25mm の範囲で再び表面荒れのひどい部分が 続き,写真最下部には切刃を研削仕上げした時 の研削条痕が認められる。摩耗面ではこの砥石 による研削条痕の深さが最大でも1µm程度であ ることなどから摩耗の程度はそれ以上であるこ とがわかる。図5.2は切刃中央部の拡大写真で, 切刃部の表面荒れがひどい部分の幅は15µm程 度でほぼ一定である。この幅は第4章で述べた 高速度鋼工具で7075-T6材を切削した場合に 切刃部分に生じた未摩耗部分の幅と同じで,超 硬合金工具の場合にも構成刃先が生成付着し, その構成刃先が脱落する時に構成刃先が凝着し ていた表面粒子を持ち去るものと思われる。 ま た,写真にみられるように切刃部にはAl,Mg などの元素の存在が認められるが、この付着元 素は焼結粒子が持ち去られてできた切刃部分の くぼみ底部に付着し, Al は付着物除去の際に 化学的腐食を受けずに残り, Zn は極めて溶け やすいために付着が認められないもののようで ある。図5.3は切刃部分をさらに拡大した写真 である。写真面上で粒子の脱落がみられ、その 穴の内部に図5.2 でみられた Al, Mg などの元 素が付着していたわけである。写真の下方1/3



図 5.1 P10 工具で 707 5-T6 材を 20 分湿式 切削後のすくい面摩耗状況



図 5.2 切刃中央部の EPMA 分析

部分はクレータ摩耗の開始部分で滑らかな面となっているが、 Co の分布をみれば摩耗部分では粒 子間のすきまに存在しているようで、斑点状に分布している。 一方、切刃部の焼結粒子が脱落した 部分の Co 濃度は非常に低くなっている。このことから焼結粒子の脱落には Co が密接に関係して いることがわかる。またCは切刃端のくぼみ内部を中心に表面の荒れた部分に多く認められるが後 述のK種工具においては、このような分布は認められなかった。Wは面全体に分布し、W濃度の特 に高い部分では Ti はまったく認められない。次にクレータ中央部分の拡大写真図 5.4 をみれば切 りくず流出方向に沿ってできた摩耗溝が多数みられ、かつ焼結粒子間にすきまが多く、元素分布か らは Cu がいくぶん付着している以外に被削材元素の分布はみられなかった。その部分をさらに拡



図 5.3 切刃中央部の拡大 EPMA 分析

図 5.4 クレータ中央部の EPMA 分析

大すれば図5.5のようになり表面が滑らかで細かい摩耗痕がみられ、個々の焼結粒子の摩耗面の緑 が鋭いことなどから、高速度鋼工具の摩耗の場合と同様7075-T6材組織内の硬質微粒子による引 掻き摩耗が考えられる。この部分も元素分析写真から Co は粒子間のすきまに斑点状に分布してい る。

図 5.1 に示される摩耗終端部をさらに拡大した図 5.6 をみれば、表面粒子がたくさん持ち去られ ており、そうしてできたくぼみには Cu, Mgが多く分布している。この部分は切りくずが工具面か ら徐々に離れていくところで、切りくずが工具面におよぼす摩擦力も低く、付着物が工具面に凝着 する部分である。元素分析にみられる Cu, Mgはそうしてできた付着物の凝着面付近にあった成分 で、切りくずが工具面から離れていくときの力で付着物が脱落する時、表面粒子も持ち去られるも のと思われる。この部分の中央付近をさらに拡大したものが図 5.7 で粒子の脱落状態がクローズア ップされている。この部分でも粒子が持ち去られているところでは Co の濃度が著しく低下し、前 述の切刃先端部の場合と同様、 Co が付着物に持ち去られ結合力の低下した焼結粒子が脱落してい くものと思われる。

図 5.8 上段は図 5.1 に示した走査方向のすくい面上の元素分布を求めた線分析の結果である。これからみれば(④) (④), ⑥いずれの線分析方向においても切刃から 0.15~0.25 mmの範囲に Cu, Mg, Al の付着がみられ, Cu, Mg は多いが Zn はほとんどみられない。被削材中には比較的多く含まれるが, 付着物を腐食除去する際に溶解しやすい元素が少なくなっていることから, この部分の付着物は表面層に固く凝固するものの拡散はしていないことがわかる。一方, 切刃部には Al が多くみ


られ,元素分布写真にみられるように切刃部にでき たくぼみ部分の付着物によるものと思われるが、ク レータ終端部付着物に比較してこの部分で Cu, Mg などの元素が少ないことから, クレータ終端部では Cu, Mg などの被削材中の合金元素が多く集まって いるようである。

5.3.2 K10工具の場合

P10工具の場合と同様、削り速度v = 5 m/s、切 削時間 t = 20min の条件で湿式切削をした際にすく い面に生ずる工具摩耗の全体像、走査分析方向およ び摩耗中央部分の拡大写真を図5.9に示す。切込み の全範囲にわたってクレータ状のごく浅い摩耗部分

が生じており、切刃部には一定幅の表面荒れのひど 図5.7 クレータ終端部の拡大 EPMA 分析 い範囲がみられること、その下方に滑らかではある

6

図 5.5 クレータ中央部の拡大 EPMA 分析 図 5.6 クレータ終端部の EPMA 分析



が切りくず流れによって摩耗を受けた面のあることなど P10 工具の場合と同様であるが、摩耗終端 部には工具表面の荒れはみられなかった。このことから、切りくずが工具面から離れる際に、P10 工具では焼結粒子の脱落がみられたが、K10工具では焼結粒子の脱落がみられず、K10工具内の粒 子間結合力が P10 工具のそれより大きく, 7075-T6 材に対して K10 工具が抵抗力が大きいといえ

る。また摩耗面上では研削条痕がほばなくな っており,最大摩耗量はクレータ深さにして ほぼ1µm 程度であることがわかる。切刃中 央摩耗部分の拡大写真図 5.10をみれば, 切刃 の表面荒れのひどい部分の幅は約20µmで, P10工具の場合のそれよりやや大きい。この場 合にも構成刃先が発生し,その脱落の際に表面 粒子を持ち去るもののようである。元素分布を みれば切刃部に Alの付着がみられ, ほかの元 素の付着はない。さらにこの部分を拡大してみ れば図 5.11のようになり表面の荒れは顕著に なり, 焼結粒子の粒界がはっきりし, Wは全 面にわたって一様に存在し、Coが全面でみら れないことから、K10工具の場合にも Co が 持ち去られ焼結粒子の脱落が生ずるものと思 われる。クレータ中央部分の拡大写真図 5.12 では切りくず流出方向に沿ってできた摩耗溝 がみられるが、P10工具の場合ほど表面のう ねりは大きくなく, また, この部分では切刃 部分よりも Co 濃度が高く, かつ焼結粒子の 狭い粒間部分に集中して斑点状に分布してい る。

図5.8下段は図5.9に示した要領で行なっ た線分析の結果である。すくい面のどの部分 でも切刃から0.15~0.25mmの範囲にCu,Mg Alの付着がみられ、中でもCu量が多く、 Mgも同様の傾向を示しているがZnはほと んどみられない。この付着元素の多い範囲は P10工具で7075-T6材を切削した際のクレ -タ終端部の表面荒れのひどい領域とほぼ-致しており、切りくず流れの形はP10,K10 両工具の場合に同じであるとみられる。この 場合にも切刃部にはAlの付着のみがみられた。



図 5.8 すくい面線分析結果(上段は P 10 工具。下段は K 10工具)



- 32 -



図 5.10 切刃中央部の EPMA 分析



図 5.11 切刃中央部の拡大 EPMA 分析

5 3.3 検 討

超硬合金 P 10, K 10両工具で7075-T6 材を湿 式切削する際に生ずる工具摩耗を検討したが,ど ちらの工具でも切刃部に構成刃先の生成が推測さ れた。この構成刃先が工具面の焼結粒子もしくは バインダに凝着して脱落する際に,焼結粒子が持 ち去られる凝着摩耗機構が働いているが、7075-T6 材に対しては P 10工具よりK 10工具がじょう ぶであることがわかる。一方,クレータ状の摩耗 面では高速度鋼工具の摩耗の場合と同様、7075-T6 材内に存在すると思われる組織,例えば



図 5.12 クレータ中央部の EPMA 分析

Al-Cu-Mg, CuAl₂, MgZn などや特に引掻

き硬さが高いと思われる FeAl₃, Mg₂Si など¹⁾の硬質微粒子による摩耗,引掻き摩耗機構が考え られる。

5. 4 7075-T6材の乾式切削

5.4.1 P10工具の場合

削り速度 v=5 m/s,切削時間 t=20 min で乾式切削を行なった場合,工具すくい面上に生ず る工具摩耗の全体像,その拡大像および拡大観察,元素面分析部分と線分析方向を図 5.13に示す。 上段二つは P 10工具についてのもので,この場合逃げ面摩耗は定常摩耗状態で,その摩耗幅は 50 µm であり,すくい面のクレータ深さは 4 µm となり少ないが特色は十分みられるようであった。写真 にみられるように,すくい面上切刃先端よりほぼ切込み 1.0 mmに相当する付近まで,切刃部より20 ~200 µmの範囲にわたって摩耗痕が認められ,その終端部近傍の写真上黒くみえる部分に後述の ように Fe 酸化物が認められており,摩耗の終端をすぎた部分でも場所によっては付着物が付いて いる部分も認められる。



図 5.13 7075-T6材の乾式切削後のすく い面摩耗状況(上段はP10工具,下段はK10工具)

切刃部の中央部分①の部分を拡大したのが図 5.14 で、全体像をみれば切刃部より 20~30 µm 程度の 幅領域に焼結粒子がばらばらに荒れた部分が認めら れ、その下方には切りくず流出の擦過痕を残した面 がある。そして①部分をさらに拡大した 1-1部分 には写真にみられるように、この荒れた部分の Co 濃度は減少しており、結合力が低下した粒子が個々 に脱落している。この粒子は丸味を帯びており、粒 子面には削られた痕跡はみられない。Ti,W など は一様に分布し、その他に少量の Fe, Mg が切刃 上に付着している。P工具成分中では WC と Co の結合力が強く被削材中の Al への拡散が生じにく

いが、TiC と Co の結合力は弱いので、それらの混合部分から Co が Al 中に拡散して抜けている ものと思われる。実験条件では P 10工具の場合の切削抵抗(主分力約 114N,送り分力約 95N) は K10工具の場合(主分力約 103N,送り分力約 35 N)より幾分大きいものの、そのときの切削温度 は P 10工具の場合(673 ± 70 K)がK10工具の場合(748 ± 30 K)より低くなり、切削温度変 動は前者の方がかなり大きかった。温度の変動が大きいことは結合力を弱めることに影響すると思 われる。またTiC の熱伝導率(0.21 W/(m・K))はWC の熱伝導率(1.21 W/(m・K))よりも かなり小さいので、TiC 粒子の方が切削中にWC 粒子より温度が高くなることが予想され、この事 も Co との結合力低下につながるとみられる。

切りくずによって工具面が削りとられている①部分よりやや内部の写真②の部分を拡大したのが 図 5.15である。付着物はほとんど付いていず,表面の組織状態は,後述の3-3部分とほぼ同様に TiC+WC 粒子にはひび割れがみられるが,WC の白い粒子にはひび割れはあまりみられない。



図 5.14 P10工具の切刃中央部のEPMA分析



図 5.15 クレータ中央部の EPMA 分析

2-1部分についての各元素分析では白い粒子部 分にはWが多く,また,その部分では Ti が写っ ていないため,この白い粒子はWC だけの粒子と みられる。そして TiC,WC 粒子の粒界にでき た大きめのすきまのくぼみ部分に Co が多くみら

れる。

図 5.16は切刃中央の摩耗終端部③部分の拡大写真である。その全体像と元素分析をみれば 3 つの 部分に区分できる。すなわち,粒子が抜けてくぼんだ部分が少なく,また Fe の付着も少ない3 – 1部分近傍,粒子が抜けてくぼんだ部分がまばらになり Fe もやや付着している3 – 2 近傍,およ び粒子が抜けて凹凸が多く Fe の付着も多い3 – 3部分近傍とである。この区分に従って,Fe の 分布も大きく対応して認められるほか,図には示してないがOも大体同様な分布を示し,前述の摩





図 5.16 クレータ終端部の EPMA 分析

図 5.17 クレータ終端部をすぎた部分の EPMA 分析

耗終端部分に付着している黒い付着物(光学頃微鏡でも黒く観察される)は Fe 酸化物であるとみ られる。またそれぞれ3-1,3-2,3-3部分の拡大写真をみれば、3-1部分では丸味を帯 びた粒子にところどころひび割れがはいっており,角ばった白いWC だけの粒子にはひび割れはは いっていない。丸い粒子の間にひび割れが進行して砕けたと思われる細かい粒子がみられ、くぼみ をつくっているが、その量は3-2部分よりは少ない。3-2部分では粒子の量が3-1より少な く,角ばったWC 粒子にもひび割れがあり、またくぼみには小さく砕けた粒子がみられ、その量も 3-1より多くなっている。3-3では一様に付いた Fe の付着物にもひび割れがあり、粒子にも ひび割れがはいって細かく割れており、前者でみられるような丸味を帯びた大きな粒子が少なくな っている。また3-3部分に相当する写真左下部分には、Mg, Si, Cuが幾分多いようであるが、 それは工具研削時のきずに沿って付着し、後述のように切込み終端部⑦の観察結果とはかなり違っ ている。

すくい面中央部の摩耗終端をすぎた④部分の拡大写真図 5.17をみれば、付着物がたくさん付いて おり、工具の生地面がみえない。そのためWの濃度は減少しているが、 Co は付着物中へ拡散して いると考えられ濃度は減少していない。 Cu, Mg,とくに Zn が多く、また Fe はほとんど付いて いない。図には示してないが Si, Oもほとんど付着していない。したがってこの部分の付着物は前 述③部分の付着物とではその成分に大きい違いがあるとみられる。また、切刃の切込み終端近くの 摩耗終端部⑤およびそれを少しはずれた⑥部分の拡大写真を図 5.18に示す。⑤部分は黒い付着物が 付きかけている状態にあり、その成分は③の場合とほぼ同じとみられる。そして、工具面研削時に できたくぼみ付近から付着が始まったもののようで、付着が薄いため下地がすけてみえている。⑥ 部分は摩耗部分をすぎている部分で、工具研削生地のままで付着物は付いていない。なお、前述の ④部分と比較すれば、この部分に付着物は付いていず、表面状態の違いがよくわかる。

切込みに相当する切刃端より約50 µm内側の部分の拡大写真が図 5.19であり、右半分に黒い付着 物があり、その端の方は厚さが薄いので、工具生地がすけてみえている。元素分析をみれば、この 付着物の中央部分ではW、Co、Ti などはほとんどみられず、この部分にはOが認められるほか、 Al、Cu とくにFe、Mg が多く、また Zn は含まれていない。そして、その部分をさらに拡大し た7-1部分にみられるように粒子にひび割れがはいっているのが多く認められている。切込み1 mmに相当する部分のすぐ外側®部分の拡大写真をみても、切刃部の状態がよくわかり、焼結粒子が 1個1個認められ、上部に Mg、Fe がやや付着しているが、ほかの付着元素は認められないよう である。

いま、図 5.13上段に示す要領による線分析の結果をみれば図 5.20、図 5.21のようになる。すなわ ち図 5.20は左側の①②③および④部分を通る線分析(分析のビーム径は約 1 μ m であり、分析方向 と直角方向に 120 μ m の範囲を走査しているため、分析結果はいずれも 120 μ m 範囲の平均値を示し ている。)で、付着物が付いた領域ではWの濃度減少が大きく Ti も同様に減少している。 Co が低いの はむしろ切刃部より 100~250 μ m 程度までの付着物が付いていない領域である。これは 100~ 250 μ m の範囲では Co が切りくずによって持ち去られ、250 μ m 程度から始まる付着物中に混入 しているためと考えられる。付着物中にはWは少なく、Ti が少量はいり、Co は多く混入している。 一般に、上部に付着物が付くと、その下の工具元素のX線強度はその付着物の厚さに対応して減少 するのが普通である。しかし、Co 強度があまり減少しないのは付着物中に Co があるからと思われ る。また、切刃部分では Co および Ti は少なくなっているが、A1、Mg は付着している。線分析結



図 5.18 切込み終端近くの摩耗終端付 近の EPMA 観察

果は500μm までしか描いてないが、750~ 800μm 程度まで Al, Mg, Cu, Zn が特着 しており, 付着物がとくに多いのは250~ 450μm の間である。付着物が多いところで は Al, Mg, Cu, Zn の濃度は同時に高くな り, 少ないところではその逆になることから, 付着物の組成は場所によらずほぼ一定とみて よい。また図 5.20と同様にW濃度は付着物の ところでやや減少し, Ti の濃度変化はWの 場合より少ないが, Co にはその傾向はみら れない。この部分を③部分と比較した場合,

Fe 酸化物はまだ十分に付着しておらず, こ



図 5.19 切込み端部の EPMA 分析

の部分の特色として Mgの付着が多く,このことが Fe 酸化物の付着に対してなんらかの影響があるものと思われる。この場所より下方には④にみられたような付着物はみられなかった。



5.4.2 K10工具の場合

図 5.13下段二つはK10工具におけるすくい面摩耗の全体像、その拡大像および拡大観察、元素面 分析部分と線分析方向(この場合表面状態が一様であるため1個所のみ実施した。)を示す。切削 条件はP10工具の場合と同じであり、逃げ面摩耗幅は35µm、すくい面のクレータ深さは1µmと P10工具に比較して工具摩耗の進行が遅いことがわかる。K10工具もP10工具の場合と同様、摩耗 終端および切込み相当部分に黒い付着物が付着しており、P10工具では摩耗終端を過ぎてからも一 部にかなりの範囲にわたって付着物が観察されるが、K10工具では摩耗終端をすぎれば付着物はほ とんど付いていない。切刃より20µm程度の幅に表面に工具研削痕が認められて摩耗が進行しない 領域が認められ、この部分①をさらに拡大したのが図5.22である。摩耗開始部分を境として、それ より上部では前記工具研削条痕、下部では切りくず流出方向に切りくずによる擦過痕が明瞭に認め られ、さらにその一部の拡大部分1-1ではその境界部分の上下で Co およびWの元素分析にあま



図 5.22 K10工具の切刃中央部の EPMA 分析

図 5.23 クレータ中央部の E PMA 分析

り差がない。このことはP10工具では切刃から約20µm 程度のあまり摩耗してない部分で Co濃度 の減少がみられ、工具粒子の脱落が認められたことと大きく違っている。さらに①の内側に当る② 部分の拡大写真を示せば図5.23のようになる。①部分に続いて切りくずの擦過痕が認められるが、 その拡大部分2-1をみても切りくず擦過によって摩耗が進行し、かつ被削材中のとくに硬い微粒 子による引掻き痕と思われる深い傷がついているのがわかる。しかし、P10工具で認められたよう な粒子のひび割れはみられない。

図 5.24は摩耗終端部③の拡大像で黒い付着物がみられる。さらにその拡大像3-1および元素面 分析をみてもわかるように、黒い付着物の大部分は Fe であり、Oも認められ Fe の酸化物とみて よい。 Mgはあまり付着していず、これらの傾向は P10の場合と同様で、黒い付着物の下方に Mg Zn, Cu, Al などが付着しており、これは前述の P10工具の④部分に相当するものの、量的には P 10工具の場合より少ない。さらに図 5.25は切込み終端部分④の拡大写真を示すが。この場合も切込 み終端部に黒い付着物が認められる。拡大写真4-1 にみられるように、とくに擦過の激しい部分 の条痕は切りくず流出方向と同じであり、切りくずによって付いたものとみられるが P10工具の 終端部①でみられたような粒子のひび割れはみられない。この黒い付着物は拡大写真4-2にみら





図 5.24 クレータ終端部のEPMA分析

図 5.25 切込み終端部の EPMA分析

れるように酸化物状に付いている。4-1部分の元素面分析をみれば黒い部分に Fe, Al, Cu, O が付いており、図 5.24の③部分と比べれば Mg, Al は多くOも多いが、 Zn は付着していず、Si は若干付着しているようである。したがって付着物としてはP 10工具の①部分と同様とみられる。 図 5.13下段に示す要領で線分析した結果を図 5.26に示す。P10工具と同様付着物領域ではW濃度



図 5.26 切込み 520 µm 付近の線分析結果

表 5.1 付着物成分の比較

	Black Deposits on Terminal Wear Parts	Mere Deposits of Terminal Wear Parts	Black Deposits on Terminal Edges according to Depth of Cut
PIO-Tool	Fe , 0	Mg, Al, Cu, Zn	Fe, O, Mg, AI, Cu
	* 3	* 4	* 🔿
KIO-Tool	Fe, 0	Mg, Al, Cu, Zn	Fe,O,Mg,AI,Cu
	∗③ Upper Parts	* 3 Lower Parts	* 4

* Location on Tool Face Shown in Fig I.

多くみられた。そしてK10工具では前述したように切刃より20μm程度に摩耗がみられない領域が あったが、P10工具ではその部分の Co 濃度に減少がみられ、工具粒子の脱落がみられた。K10工 具では切刃上に Zn. Cu の付着がみられたが、P10工具では Al, Mg, Fe の付着がみられた。

5。5 結 言

以上超硬合金工具 P 10 及び K 10を使った 7075-T6 材の湿式切削と乾式切削において,すくい面 摩耗の見地から EPMA によって工具摩耗を検討した。その結果,湿式切削では P 10, K 10両工具 とも切刃付近では表面の荒れがひどく, Co が少なくなっていた。このため切刃部では,構成刃先

は減少しているが、Co 濃度はあまり変化してい ない。付着物の量はP10工具の場合よりかなり少 ないが、付着物の組成は図5.20の場合の組成と近 いようである。一方、切刃部分ではP10工具の場 合と異なり Coの減少は少なく、Cu、Zn はわず かに付着し、A1、Mg は付着していなかった。

5。4。3 検 討

両工具ともそれぞれすくい面摩耗終端部および 切込み相当部分に,湿式切削においてはみられな かった Fe 酸化物と思われる黒い付着物が付着し ており,摩耗終端部の付着物と切込み相当部分の 黒い付着物では元素分析の結果も異なっており, これらをまとめると表5.1のようになる。すなわ ち,摩耗終端部の黒い付着物とそれに続く単なる

> 付着物は前述の7075材に考えられる組 織中の硬い微粒子,例えば Mg₂Si,FeAl₃ などが工具摩耗の主役を果し,その他の組 織中の各元素が付着物として残留し,切 込み相当部分では各組織が一様に擦過し ているもののようである。また,K10工 具では工具粒子の割れはほとんど認めら れなかったが、P10工具ではひび割れが みられ,WCだけからできている粒子よ りも,WC+TiC からなる粒子に割れが

様の付着物が形成されるが、この付着物が脱落する際に凝着した炭化物粒子を持ち去る凝着摩耗機構が作用している。またクレータ摩耗面は表面が滑らかで Co が多くみられ、7075-T6 材中の硬 質微粒子によって摩耗が進行する引掻き摩耗機構が作用している。

乾式切削では、組織中の硬質微粒子、例えば FeAl₃ などが切りくずとして流出する際工具すく い面の引掻き摩耗の原因となり、 Fe 酸化物が黒い付着物として摩耗終端部に付着している。そし てP種工具ではWC だけからできている粒子よりWC+ TiC からなる粒子に切削中に割れが多くみ られた。

湿式切削,乾式切削のいずれにおいても P 10工具よりも K 10工具の摩耗の進行が遅いことがわかった。

参 考 文 献

1) L. F. Mondolfa; Aluminum Alloys (Structure and Properties) Butter Worths Co., (1976), 847.

第6章 AC3A材の切削に関する超硬合金工具の摩耗機構

6.1緒言

第5章において7075-T6 材を超硬合金工具を使用して切削し、その場合の工具摩耗機構を示 したが、7075-T6 材は硬いが珪素粒子をわずかしか含まないため比較的工具摩耗が小さく、工 具付着物も少なく、切りくず処理も容易な合金である。そこで本章においては柔かいが比較的工具 摩耗の激しいAC3A材をP分類及びK分類の超硬合金工具を用いて切削し、この合金における工 具摩耗発生機構を明らかにすることを目的とした。

6.2 実験方法

実験に供した試料は第2章,第4章において使用した試料と同一のAC3A材(シルミン)である。使用工具は第5章において使用した工具と同じ形状,材質であり,他の実験様式も全て第5章 と同じである。

6.3 AC 3 A 材の湿式切削

6.3.1 P10工具の場合

削り速度 v = 2 m/s,切削時間 t = 90 minの条件でAC3A 材を低速混式切削した場合に生ずる工具摩耗の例を図 6.1 の左側に示す。高速度鋼工具

の場合に比べて摩耗の進行ははるかに遅いものの,切 込みに相当する部分に境界摩耗が発達しており,程度 の差はあるが刃先先端から約1.5 mm,切刃から0.5 mm 程度の長方形領域に摩耗が生じている。切刃先端から 順次各部分を拡大してみれば,広い範囲にわたって表 図6.1 面は荒れて摩耗している。境界摩耗の開口幅は約0.3 mm, すくい面側からみた境界摩耗の深さは切刃から約30 µmである。



 AC3A材の湿式切削後のすくい 面摩耗状況(左90分後のP10 工具,右160分後のK10工具)

刃先先端部の拡大写真をみれば一面ざらざらとして、A1の付着は比較的多く、それにもましてSiの付着が多く、Co 濃度は非常に低下している。同様に切刃中央部分も拡大写真図6.2に示されるように表面は荒れた面になっており、A1の付着は少ないが、Siが切刃先に多く、Coは非常に少なくなっている。このように表面の荒れがひどいこと、Co が非常に少なくなっていることから、焼結粒子が持ち去られて摩耗が進行するものとみられる。また切刃部分でSi が多く分布していること、P10 工具に多く含まれているTi と被削材中のSi とが同族元素であることおよびこのSi とバインダのCo とが結合しやすいことから、切刃部分では切削熱の影響もあってSi が焼結粒子間に侵入し、粒間がもろくなったところを切りくずが擦過して摩耗が進行する機溝が考えられる。図6.3は境界摩耗開口部の





図 6.2 P10 工具の切刃中央部の EPMA 分析

図 6.3 境界摩耗部のEPMA分析

拡大写真であるが、ここでもA1、Coの分布はなく、Siも比較的少ない。この部分では切りく す端面が工具面にぶつかる衝撃のため生ずる微細なチッピングによって摩耗が進行するようである。 摩耗面と非摩耗面との境界村近をみれば、表面が荒れてざらざらした面の中に一部平らな表面部分 がみられ、そこにはCoが多い。この平らな面は工具研削のままの面であり、荒れた面はP10工 具では切削熱の影響で表面付近のCoが切りくずによって持ち去られるものと考えられる。Siは 摩耗面の側にややみられるものの付着量は少なく、A1はみられなかった。切削に関与しない工具 面では全体に切削したままの平らな面が多く、この部分にはCoも多い。

図 6.4 上段は切刃に直角に切刃先端部④,切刃中央部 B および境界摩耗部 © の特徴的な3カ所で 行なった線分析の結果である。④ではCoの分布は非常に少いが、これは走査範囲がすべて摩耗面 となっており、Coが焼結粒子脱落とともに失われるためである。それに対しB, ©範囲では切刃 から0.6~0.7mmの摩耗域をぬけるあたりでCoが増加しており、前述の未摩耗部分にCoが多かっ たことと一致している。Si分布は④, B分析では切刃部にまず分布が認められ、摩耗面では特に 決まって集まるところはなくランダムに分布していた。 ©分析では境界摩耗の終端部分にわずか Si の付着が認められる程度である。A1 は④, B分析では切刃の後方 0.1~0.2 mm の位置で付着が認 められたが、これは切削中すくい面を覆っている付着物前縁部の成分が切りくず流出に伴って工具 面に出きたくぼみ内に埋め込まれ、腐食除去の際溶解しきれず残ったためである。境界摩耗部分©





にはSi の場合と同様Al はみられない。

6.3.2 K10工具の場合

削り速度 v = 2 m/s,切削時間 t = 160 min n 0長時間湿式切削した際に生 ずる工具摩耗は図 6.1 右側のようにな る。K10 工具として特に目立つ工具摩 耗は発生しなかったが、切込付近に高速 度鋼工具に生じた境界摩耗と同様な表面 性状の変化した部分がみられ、切刃先端 から切込みより 0.2 mm 程度の外側までの 範囲で写真では白く写っている摩耗部分 がみられた。摩耗部分は全体として表面 が荒れてざらざらした面となり、境界摩 耗部分を除いて砥石研削<u></u>底が残り、摩耗 が極めて少ないことがわかる。切刃先端

部の拡大写真をみれば、どこも荒れた表面状態でCo が切刃部分にあり、A1、Si の付着はな かった。図 6.5 は切刃中央部⑤の範囲の拡大写真である。切刃に沿った約 20 µm の幅の部分が その下方部分に比較していくぶん黒くなっており、この部分にCo も多い。A1, SiはCoの分布域 の下方に同程度の幅で分布しているが、P10 工具の線分析で切刃から0.1~0.2 mmに多かった

A1, Si の分布と同様な原因で生じたものと思われる。 Co が刃先部分約20 μm の幅に多くみられることから この位置を境にして上方には付着物がついて切りくずの 擦過から工具面を保護するが,下方では切りくずの擦過 によってCo がもち去られるもののようである。

切刃部分の境界摩耗面をみれば平滑になっており、そ の中央部分を拡大撮影した図 6.6 をみても、表面は平滑 で全面にわたってCo も多く存在し、切刃部分の状態は 7075-T6材切削の際に生ずるクレータ面と類似して いる。Si はCo と同様に付着し、Si がCo と結合し やすいことを示しているが、切刃からいくぶん離れてい



図 6.5 K10工具の切刃中央部のEPMA分析

るため切りくずに擦過される頻度も少なく,付着物がうすく発生するとみられる。また境界摩耗 終端部では切刃からかなり離れており,Co,Siの分布もみられず砥石研削条痕が認められる。 図 5.30 下段はすくい面上の線分析の結果である。これからみても切刃部分と境界摩耗部分でCo が多く認められる。Al, Si の分析は@B線分布では切刃部分, ©では境界摩耗部分のように摩 耗のためくぼみができ, かつ切りくずが衝突する部分に多いことがわかる。

6.3.3 検 討

超硬合金 P10, K10 両工具で AC3A 材の湿式切削を実施した結果は,高速度鋼工具による 場合と同様の境界摩耗がみられ,切刃先端から切込みの位置までの範囲に切削終了時に付着物が付 いた点などの被削材の挙動は,工具材質によって変わらなかった。 P10 工具では工具材質中に被

削材中のSiと性質の似たTi が多いこと,表面 粒子の脱落の際Coが持ち去られて摩耗しやすく なっているが,K10工具では粒間結合力が大きく, 引掻き摩耗が生じにくくなっているものと思われ る。

6. 4 AC3A材の乾式切削

6.4.1 P10工具の場合

削り速度 v = 9 m/s,切削時間 t = 7 minの切削条件でAC3A 材をP10 工具で切削した場合のすくい面摩耗の全体像と拡大観察,元素面分析部分(図中の番号が後掲写真中の部位番号を示す。)および線分析方向(@, ®, ©で示す。)を図 6.7 に示す。



AC3A, Dry Cutting

図 6.7 P10 工具とK10 工具の全体像



図 6.6 切込み終端部のEPMA分析

この時の逃げ面摩耗幅は160μm,クレー タ深さは1.5μmである。写真にみるように 切刃より約400μmの領域幅で工具摩耗が 進行し,その摩耗形態は後述の図6.8の付 図に示すように典形的なクレータの発生ま でにはいたってはいないが,炭化物粒子の 直径が1μm前後であることを考慮すれば, 摩耗現象の把握には十分であると思われる。 工具表面に多数付着している黒い付着物は 炭素が主成分であり,後述のようにTiC粒 子の「Ti」が被削材のアルミニウム中へ拡 散するさいに遊離した炭素の集合体とみら れ、この種の付着物はK種工具では観察され されなかった。

図 6.8 はすくい面摩耗部分のうち、切刃端近傍約300 µm の領域幅の中で工具先端より切込み に相当する部分にかけての①,②,③部分,その中央付近の②より内部にはいった切刃より300 ~600 µmの部分④およびさらに内側の摩耗終端部とみられる約600 µm以上の部分⑤の拡大写真で ある。また右下の付図は図 6.7 の⑧方向の工具表面形状を表面あらさ計(TALYSURF 4型,触 針先端半径12.5 µm)によって測定した結果である。あらさ計から読み取れるクレータの最大深さ

は約 $1.5 \mu m$ であるが, これは 平均的な深さであり, 部分的に は写真①~③にみるように触針 のはいらない凹みが多数あり, その深さは $3 \sim 5 \mu m$ 程度であ る。このように①~③部分では 局部的に掘り起された摩耗箇所 が点在し, ④部分では摩耗部分 はやや少なく, ⑤部分では表面 的にはほとんど摩耗していない ようにみられる。



S-Tool, AC3A, Dry Cutting
図 6.8 P10工具のすくい面摩耗とその形状

ここで、①部分の一部を拡大した⑥部分を示した 図6.9をみれば、切刃部より約10µm の幅で摩耗 によって角がだれ、その内側で全体として切りくず 擦過によって炭化物粒子がばらばらにえぐり取られ た摩耗部分が多いのがわかる。特に大きくえぐられ たと思われる凹みに相当する部分で工具成分のW, Ti, とくにCo が減少しているのがわかり、この ような部分には必ずCの付着が認められる。そして Si は切刃部に多く,逃げ面摩耗には Si が大きく 作用していることがうかがえる。さらに,⑥部分の 中央部を拡大してみれば図6.10の①のようになり, 炭化物粒子の脱落状態がよくわかる。前記2部分の 切刃中央部⑦部分を拡大すれば図 6.11 となる。⑥ 部分より摩耗部分はやや少なくなっているものの、 各所に炭化物粒子の脱落痕が認められ,また③部分 の一部切刃中央部の拡大像⑧をみても同様な摩耗が



PIO-Tool, AC3A, Dry Cutting 図 6.9 切刃先端部のEPMA分析



PIO-Tool, *AC3A*, *Dry Cutting* 図 6.10 各部分の表面状態 認められる。ここで⑦,⑧部分 のほぼ中央部をさらに拡大すれ ば図 6.10中のそれぞれ⑫, ③ となり,いずれも①の場合と同 様な炭化物粒子の脱落状態を示 している。これら⑥,⑦,⑧部 分で共通していることはSiが 切刃部に付着していること 炭 化物粒子の大きな脱落部分と思 われるところでW,Tiとくに

Co が少ないこと,およびCが

一様に付着していることである。このの方部では図 切削中はこの部分に被削材が詰まり、切刃部から約 100 µm の幅で切刃に沿ったプラトー部が形成され、 この上を擦過した切りくずがプラトー部後方から直接工 具に接触してクレータを形成する。このためプラト ー部では切削熱のため工具材質中の Co が堆積した 被削材中へ拡散することが考えられ、このことは図 6.9、6.11にみられる凹み部分で Co が者しく減少 している現象とよく一致している。この部分での摩 耗は被削材中の硬質粒子による引掻き作用ではなく、 むしろプラトー部に付着している被削材へ Co の拡 散が生じ、この部分の焼結強度が低下し、やがて粒 子個々の単位で脱落が起こる形で進行すると思われ る。このことは図 6.10の①、①2、①3で炭化物粒子に くずれた粒子がなく1 個、1 個が丸味を帯び、その 間にすきまが認められることより明らかとみてよい。

比較的摩耗部分が少なくなっている④部分のほぼ 中央部(⑨を拡大した写真を図 6.12に示す。摩耗面に

一様に付着していることである。この切刃部では図 6.8 付図に示される形状で摩耗しているので,



PIO-Tool, AC3A, Dry Cutting

中央部9を拡大した写真を図 6.12に示す。摩耗面に 図 6.11 切刃中央部のEPMA分析 は切りくずの擦過痕があり、炭化物粒子が掘り起されたと思われる凹み部分に Si が多いこと、後 述の未摩耗部分(0)に比べて Co が少ないことなど特徴的である。(9)の中央部をさらに拡大すれば、 図 6.10中の(4)となり、炭化物粒子の境目がしだいにはっきりし、やがて掘り起される様相がよくわ かる。写真左側の平担部分は、被削材中の硬質粒子によって引掻き取られた様相を示し、右側部分



PIO-Tool, AC3A, Dry Cutting 図 6.12 摩耗終端部のEPMA分析



PIO-Tool, AC3A, Dry Cutting 図 6.13 未摩耗部分のEPMA分析

では切刃部の摩耗と同じ傾向を示している。また、⑤部分のほぼ中央①部分を拡大すれば図 6.13と なり、工具研削時の条痕が明らかに残っており、研削による炭化物粒子の脱落痕と思われる部分以 外では Co も比較的全面に分布している。その中央部 6 をさらに拡大した図 6.10の 6 をみても未摩 耗部分の工具表面状況がよくわかる。切刃から 100 ~ 400 µm離れたクレータ部分では主に引掻き による摩耗が進行するが、この部分で局部的に工具粒子が掘り起されたり、あるいは工具研削条痕 の凹みに切りくずが流れてむと Coの拡散が生じ、写真 6 の右側にみられるような摩耗が生ずるものと 思われる。

一方,図6.14は生成された切りくず裏面の拡大像で、切りくずの流出方向は写真中右上りの対角線方 向であるが、写真にみられる流れの間隔は図6.12にみられる炭化物粒子の大きさにほぼ一致してお り、硬い珪素粒子などがTiC,WCの粒子をわずかに引掻き、その後を軟かい活性なアルミニュ ウムの新生面が擦過してメカノケミカル的に摩耗は進行するようである。また、TiC粒子のTiと Alは親和性が強く、WCよりTiCの方が硬いにも拘わらず摩耗が進行すると思われる。このため 粒子のCが遊離され図6.7にみられるように工具すくい面表面に付着したとみられる。この現象は 3章の図3.9のCについての特性X線像において工具と被削材付着物との境界にCの粒子が観察さ れることと一致すると思われる。なお、切りくず裏面からはW、Ti、Coなどの工具元素の検出



PIC-Tool, AC3A, Dry Cutting

図 6.14 切屑裏面のEPMA分析

Si は切刃部分に多く付着し600 μmを過る付近か らやや少なめになっているが、その後もずっと付着 している。Al は切刃部分に Si ほど多くは付いて いないが、それ以外は Si の付着傾向と似ている。 線分析は800 μm のところで止めてあるが、約 850 μm まで付着が認められた。なお、@、 © の結果もBと似た傾向を示した。

6. 4. 2 K10工具の場合

図 6.7 右側は P10 工具の場合と同様に K10 工具におけるすくい面摩耗の全体像と拡大観察,元 素面分析部分及び線分析方向を示す説明図である。 この場合の切削条件は削り速度 v = 9 m/s,切削 時間 $t = 12 \text{ min} \cos 9$,逃げ面摩耗幅は $45 \mu \text{m}$, すくい面クレータ摩耗深さは 1 $\mu \text{m} \cos 3$ った。写真 にみるように P10 工具に比べて工具面もきれいで、 摩耗も比較的少ないことがわかる。 P10 工具の場 合と同様,切刃部①,②,③及びやや内部の④,⑤ 部分の拡大写真を図 6.16に示す。掘り起された凹み

はできなかった。

工具付着物について調べた結果を図 6.15上段に示 す。線分析方向は図 6.7 のB方向で,電子線径は約 1 μ m である。図より Co は切刃から約 300 μ mま では少ないが、その後は除々に増大している。Ti とWは 150 μ m 程度まではやや少ないが、それ以後 はほぼ一定値を示し、ともに同じ傾向を示している。





部分はP10 工具よりも少なく、炭素の付着もないようである。右下に示す表面形状より、クレー タ深さは約1µm とP10 工具に比べて小さく、クレータ幅も小さくなっている。しかし、摩耗量 は少ないが表面形状はP10 工具とほぼ同様であることから、摩耗形態も類似しているとみてよい。 このうち①部分中とくに摩耗が激しい⑥部分の拡大像は図 6.17のようになり、P10 工具の場合よ



KIO-Tool, AC3A, Dry Cutting

図 6.16 K10 工具のすくい面摩耗とその形状

も P10 工具の場合より極めて小さくなっている。 この場合も切刃部分に被削材によるプラトー部が形 成され,その付着物中に切削熱によりCoの拡散が 生じ,その結果炭化物粒子の結合力が低下し,摩耗 が進行するものと思われる。前記②部分の中央切刃 付近⑦を拡大した図 6.19をみても,切刃より約 20 μm 程度の幅の領域で摩耗が著しく,その部分でSi Al が多く,Co が少ない。それをさらに拡大した 図 6.18中の⑪をみても⑩の場合ほどではないが,炭



KIO-Tool,AC3A,Dry Cutting 図 6.18 各部分の表面状態 り炭化物粒子が細かく脱落し ているようで、とくに切刃よ り約20µmの領域幅で摩耗 が者しく、摩耗部分にSi, A1が多く付着し、この部分 ではCoが少なくなっている。 ⑥部分中摩耗の者しい箇所を さらに拡大すれば図6.18 ⑩ のようになり、炭化物粒子が 全体として細かく、その脱落



KIO-Tool, AC3A, Dry Cutting 図 6.17 切刃先端部のEPMA分析

- 52 -

化物粒子の脱落状態がよくわかる。この写真上半分では⑩と同様な Co の拡散による摩耗が進行しているが、下半分ではP10工具の場合の図 6.10の一部にみられた平担部と同じ表面状態で、摩耗の初期段階と考えられる。

工具摩耗が極めて少ないと思われる④部分の中央 部⑧を拡大すれば図 6.20となり,写真中,上下方向 に工具研削時の条痕と斜め左上方から右下方にかけ ての切りくず擦過による条痕とが交差して認められ, 工具研削傷と思われる部分にSiが付着している。 さらにその中央部と思われる部分は,図 6.18 ⑩の ようになり,斜めに走った切りくず擦過痕とほとん ど摩耗していない部分⑬の中にみられる上下方向の



K10-Tool, AC3A, Dry Cutting
図 6.19 切刃中央部のEPMA分析



KIO-Tool, AC3A, Dry Cutting図 6.20 未摩耗部分のEPMA分析

研削条痕のちがいをはっきり示している。すなわち, ⑩の場合の傷は比較的浅く, ⑲では砥粒がかなり強 く研削した跡がみられる。⑲では切りくずが擦過し て⑲にみられる条痕を除々に削り取り,表面がいく ぶんだれた状態で滑らかになり, P10 工具の場合 と同様に主として硬い珪素粒子などによる引掻きと、 軟かいアルミニウムとの交互の接触によるメカノ ケミカル的な摩耗が進行すると思われる。この場合 も擦過する切りくず中への Co の拡散は考えられる が,引掻きによる作用の方が大きいと思われる。

工具付着物の線分析結果は図 6.15下段のようにな る。Co は 3 3 0 μm まで少しづつ減少した後増加 して 4 0 0 μm 前後から再び減少し, 6 0 0 μm を過ぎ

る付近から増加している。Wは切刃部で少し減少しているようであるが、その後はほぼ一定の値を示している。SiはP10工具の場合と同様に切刃部で多く、クレータ後法の300~600 μm付近 にも比較的多くみられ、A1はほぼ600μmまで一様に付着しており、その後は少なくなっている。

6.4.3 検 討

両工具とも、切刃部においては Co の拡散によると思われる焼結粒子の脱落、クレータ部におい ては硬い珪素粒子などの引掻き作用による摩耗、そして部分的に掘り起された凹みでは切刃部と同 様な形態で摩耗が進行すると思われる。このような摩耗は展伸材 7075 – T6 材の乾式切削でも観 察されたが、湿式切削では観察されなかった。これは湿式切削では切削温度が高くならないためで、 乾式切削では 700 ~ 900K と切削温度も高く、切りくずも活性であるため Co の拡散あるいは Si との結合が起ると考えられる。^{1),2)} このため工具表面の Co 濃度の変化を知ることは摩耗機構を 考える上で極めて重要である。いま電子線径を約70 μ m と大きくして図 6.15に示されたとほぼ同 じ場所を走査して図 6.21を得た。(ビーム径が大きいため切刃付近での分析精度は良くない。)P10 工具では Co 強度はほぼクレータの最も深いと思われる 300 μ m すぎまで除々に減少した後、クレ ータが完全に終る 500 μ mまでやや増加、クレータ後方の付着物の多いところで減少、付着量が最

も多い部分をすぎて除々に増加,その後付着物が全くな くなる850µm まで増加してほぼ一定値をとるようにな る。すなわちCo 強度は摩耗部分及び付着物の付いた部 分で減少していることがわかる。Co が減少することは 焼結強度の低下であり,表面的にはほとんど摩耗してい ないクレータ後方でも強度が低下していることがわかる。 W, Ti も切刃からクレータにかけてやや減少している ものの, Co ほどではなく,クレータ後方の付着物領域 での減少もわずかである。

K10 工具でも同様な傾向がみられるが, P10 工具よ りも摩耗が少ないため,切刃からクレータ底までの Co の減少は少なく,クレータ後方の付着物も少ないため, この部分における Co量もP10 工具よりは相対的に多 くなっている。前述の写真のように炭化物粒子の大きさ はK10 工具の方が細かく,残存 Co量もP10 工具よ りも多くなることもK10工具の耐摩 耗性が良い原因の1 つと考えられる。



6.5 考察

工具摩耗状況をみれば,いずれの場合の切削において も切刃部分に付着物が付きプラトー部を形成している部 分,それに続く切りくず擦過によるクレータ部分,さら

- 54 -

Distance from Cutting Edge µm

図 6.21 X線ビーム径を太くした場合 のP10工具とK10工具の線分析 にクレータ終端部の付着部分と大きく3つの部分に分けることができる。プラトー部分では付着物 が切刃をおおい切りくずが直接工具に接触しないため、引掻きによる摩耗は生ぜず、Co, Tiのア ルミニウム中への拡散および Co と Si との結合により、結合力の低下した炭化物粒子が個々の 単位で脱落していく形態で摩耗が進行していくと考えられる。クレータ部においては直接切りくず が擦過するため、被削材中の硬い珪素粒子や、 FeAl₃,Mg₂ Si 等の金属間化合物による引掻きと 柔らかく活性な新生面をもつアルミニウムとがかなりの圧力で交互にくりかえし擦過することに よりメカノケミカル的に摩耗は進行すると考えられる。クレータ終端部では活性な切りくずの一部 が付着物として工具面に凝着し、 Co の拡散による結合力の低下が生じ、切りくずが工具面から離 れていくときの力で付着物が脱落する時にいっしょに表面粒子を個々の単位で持ちさるものと考え られる。

一方, P10工具とK10工具を比較すると、P10工具では TiC とWC の体積比はほぼ1 : 1 程度であり粒径が1~3µm, K10工具ではほとんどWC粒子であり粒径は1µm以下で、いずれ も Co で焼結されているが、K10工具の粒径が小さく表面積も多いためP10工具の約 1.5倍程度 の Co が使用されている。このため Co の拡散による結合力の低下に対してK10工具が有利である。 しかし Co 量が一定量以上増えると硬さの低下をまねき悪くなると思われる。またWよりもTi は アルミニウムと親和性があるため付着物中、切りくず中に拡散し、とくにクレータ部におけるメカノ ケミカル的な摩耗において者しいと思われる。このため TiC の硬さはH_V=3170とWCのH_V =1720 より 硬 いにも拘わらず摩耗が進行すると考えられる。7075-T6材のように硬い材料 の高速切削においては切削温度がかなり高くなるため粒子の熱伝導率のちがいも大きく作用すると 考えられる。すなわち TiC の熱伝導率は0.21W/(m・k), WCは1.21W/(m・k)と 大 きく異なり TiC とWC の両者をまぜて作られているP10工具では熱的ひずみが大きくなり炭化物 粒子に割れが入ったと考えられこの点でもK10工具が良いようである。

6.6結 言

以上超硬合金工具 P10 および K10 を使用したAC3A材の湿式切削と乾式切削において,す くい面摩耗の見地から EPMA によって工具摩耗を検討した。その結果,湿式切削では両工具とも 境界摩耗が認められ,P工具の境界摩耗面では切りくず端面がぶつかる衝撃によって焼結粒子間の 結合が破壊されるため,表面の荒れがひどく,焼結粒子が持ち去られると同時に結合剤の Co も持 ち去られるため,この部分では Co が少なくなっている。K10 工具の境界摩耗面では表面が滑ら かで Co が多くみられ,けい素粒子等による引掻き摩耗機構が作用している。

乾式切削においては両工具とも切刃部およびすくい面上の掘り起された窪みでは、Coの拡散によ る炭化物粒子の脱落が観察され、クレータ部では被削材中の硬いけい素粒子などの引掻きによる摩 耗の進行が観察された。工具表面に残存している Co量は P10工具より K10 工具の方が多く認 められ、 P10 工具よりも K10 工具の摩耗の進行が遅いことがわかった。

参考文献

- 1) 大庫和孝,中島耕一,粟野泰吉;精密機械,41,4(1975)369.
- 2) C, Hauser; Wear, 62, 1 (1980) 59.

第7章 被削材の添加成分が工具摩耗に及ぼす影響

7.1 緒 言

A1-Si 系鋳造合金の被削性については種々の検討が行なわれており、¹⁾~⁶⁾ 工具摩耗を少な くするためには、合金中のけい素粒子をなるべく細かくして地質中に散在させれば有利であること が明らかにされている。このことは合金の機械的性質の向上にも有利であるため、通常改良処理を 行なって使用されることが多い。従来、この改良処理には Na, P, S等が用いられていたが、^{7)、8)} 添加効果の持続時間が短い欠点があるため、最近では添加効果の持続時間の長い Sr, 等が使 用される傾向にある。^{9),10)}これらの元素を使用した材料は自動車のホイル等に使用され、その需要 は増大しているが、被削性への影響については、未だ調べられていない現状である。

本章においては、Al-Si 合金にSr, Al - Si - Mg 合金に Na , Sr , Sb を Al - Si-Cu - Mg 合金に Sb を添加した場合の被削性について検討を行なった。

7.2 実験方法

7.2.1 供試材料

実験に供した試料はA1-10%Si系合金のA系合金, Al -7% Si - 0.3% Mg 系合金の B系合金,および Al - 7%Si - 2.7% Cu - 0.3% Mg 系合金のC系合金の3グループで、Cれ ら合金の化学成分を表 7.1 に示す。いずれも半連続鋳造によって外径 70mmの丸棒に作られている が、Cれら試料の機械的性質を図 7.1 に、金属顕微鏡組織を図 7.2 に示す。A系合金では、Mg が

添加された A3F 材の引張強さ 硬さが大きく,伸びは Sr で改 良処理された A2F 材が大きく なっている。図7.2 に示される ように無添加の A1F 材で針状 の共晶けい素がみられるが、Sr 添加の A2F, A3F 材では共 晶けい素が球状化し細く分散し ている。初晶の α 固溶体はA2F

表7.1 試料の化学成分

designo	ition	SI	Fe	Cu	Mg	Τί	Na	Sr	Sb	AI
A	1	10.0	0.14	0.01	0.01	0.15				bai
A	2	9.5	0.11	0.01	0.01	0.15		0.017		bal
A	3	9.4	0.10	0.01	0.18	0.15		0.012		bal
8	1	7.0	0.13	0.01	0.32	0.14				bal
B	2	6.9	0.12	0.01	0.30	0.15	0.009			bai
8	3	7.2	0.13	0.01	0.32	0.14		0.016		bal
8	4	7.0	0.12	0.01	0.31	0.14		—	0.14	bai
C	I	6.7	0.12	2,7	0.30	0.14				bai
C	2	7.0	0.12	2.7	0.29	0.14			0.14	bai

材よりも Mg が添加された A3F 材が細く均一に分散している。

B系合金のF材では B1F 材に比較して改良処理を行なった合金の伸びはほぼ2倍に大きくなり、 硬さもいくぶん増加している。しかし添加元素のちがいによる差は明らかではなかった。一方T6 処理材は地質の強化によりF材に比し機械的性質が大きくなっている。 C系合金のF材において, Sb 添加の C2F 材は無添加の C1F 材より機械的性質は改善されて いる。また両者のT6処理材を比較すると,硬さと伸びは同程度であるが,引張り強さは Sb 添加



図 7.1 試料の機械的性質

を図7.3に示す。 A1及びB1 合金のF材は引張り強さ,硬 さともにB1T6 合金や C1F 合金に比してかなり低いにも かかわらず,図に示される切 削抵抗値は大きく違わない。 このことはF材では硬さが低 く塑性流動が大きいので,切 りくず厚さが厚くなり,従っ てせん断角は小さくなるため, 機械的強さが小さいにもかか わらず切削抵抗が大きくなる ものと考えられる。また比較 的硬さの低いF材では,Na, Sr,Sb によって改良処理 のC2T6材がいくぶん低くなっている。

7.2.2 切削試験

切削試験は昌運カズヌーブ高速施盤を使用し、刃 先諸元〇ー θ -7-7-8-0-0(垂直すくい角 θ =10[°],20[°],30[°] に変化させた)の高速度鋼 (SKH4)製のバイトによって行なった。削り速度 $v = 50 \sim 600 \text{ m/min}$,送り $f = 0.06 \sim 0.25$ m/rev,切込みt = 1.0 m一定とした切削条件で 乾式切削を実施した。

7.3 実験結果と考察

7.3.1 切削抵抗

垂直すくい角 $\theta = 10^{\circ}$,切込みt = 1.0 m一定とし、削り速度v = 200,400 m/min,送りf= 0.13,0.25 m/revの切削条件で各試料を切削したときの切削抵抗(主分力,送り分力)の一例





- 58 -



図7.3 各合金の切削抵抗

をすれば、組織が微細化され試料の硬度が上昇す るので、無添加の試料より切削抵抗が減少してい る。地質が強化された T6処理材では機械的性質 の強化によって切削抵抗が高く、添加元素の効果 は明白ではないがB系及びC系合金に Sb を添加 した場合はF材、T6材いずれの場合においても 切削抵抗は無添加の場合より低くなり、その程度 はF材ほどまた削り速度が早く送りが大きいほど 顕著である。これは8章で述べているように切削 温度が高くなることによる被削材の軟化が原因と 考えられる。

7.3.2 工具摩耗

削り速度 v = 400 m/min, 送り f = 0.13 mm/ rev 切込み t = 1.0 mmの切削条件で各合金を 垂直すくい角 $\theta = 10^{\circ}$ のバイトにより切削長さ L = 3200 m (但しC1T6, C2T6材はL = 800 m) を切削したときの,工具逃げ面の平均

摩耗幅 V_Bの測定結果を図7.4に示す。無添加のA1, B1,C1合金のF材について工具摩耗を比較すると,

けい素量の多い A1F材の工具摩 耗が最も大きく, けい素量が少な く銅が添加され ていないB1F 材の摩耗が小さ くなっている。 同じけい素量で 銅が添加され硬 くなっている





C1F 材では B1F 材よりも工具摩耗量が多い。このように A1-Si 系鋳造合金では、工具摩耗を支配する合金元素と しては、けい素量がもっとも重要であり、次に銅量が影響を



図 7.5 A 系合金の SEM 組織

及ぼすと考えられる。

A系合金では A1F 材に比べ, Sr 添加の A2F, A3F 材は硬さが高くなるにもかかわらず工 具摩耗量は減少している。図7.5 はこの系の合金の SEM 写真である。これらの合金は水冷金型に よる半連続鋳造によって作られているので, 普通の金型, 砂型鋳物に比べ均質で微細な組織を有し A1F 材中の共晶けい素の粒子は幅 $1 \sim 2 \mu m$, 長さ $5 \sim 20 \mu m$ の針状を呈している。これに比 してA2, A3F材のけい素粒子は直径 0.3 ~ 0.5 μm 程度の球状になって分布している。微少引掻 きかたさK = 3460の非常にかたいけい素粒子が, Sr 添加により微細な粒子として分散するため, 工具摩耗量が減少するものと考えられる。また A3F 材は Mg が添加されているため図7.2 に示さ れるように A2F 材よりも組織全体が細かく, このことが A3F 材の工具摩耗量を A2F 材よりも 減少させたと考えられる。

B系合金のF材も B1F 材に比し, Na, Sb 添加の B2F, B4F 材の工具摩耗量は減少した が、Sr 添加の B3F 材では B1F 材と同程度であった。これら合金の SEM 写真を図 7.6 に示す が、改良処理によりいずれの合金のけい素粒子も微細化,球状化しているので, B2F, B4F 材

で工具摩耗が大きく減少したと考えられる。しかしな がらSr添加のB3Fでは、 微細化によって切削抵抗 の減少はみられるが、工具摩耗には効果がみられなか った。その理由は他の合金よりもけい素量が少し多い こと及びSr添加量の不適当によるものと思われる。 この系のT6処理材では、地質の強化と共晶けい素粒 の成長のため、工具摩耗はF材の場合より増大し、改 良処理による工具摩耗の減少はみられなかった。

BIF B3F

C系合金ではF材, T6材ともに工具摩耗量はSb 添加により減少した。この合金のSEM 写真を図7.7

図 7.6 B 系合金の SEM 組織

に示すが,晶出物は Sb 添加により微細化され,またT6材の平均けい素粒径はC1T6 材で3.7 µm に比し,C2T6 材で2.5 µmと微細化されるので,切削抵抗,工具摩耗の減少に有効に作用するもの と考えられる。

7.3.3 仕上面あらさ

削り速度v = 200, 400, 600m/min,送りf = 0.25m/rev.切込みt = 1.0m 垂 直すくい角 $\theta = 10^{\circ}$ の切削条件で切削した仕上面の状況を図7.8に例示する。A系合金は削り速 度200 m/min と低速の場合,無添加試料A1F 材の仕上面には構成刃先によると思われる脱 落片などが観察されるが,Sr添加合金ではいずれも送りマークが明白になり,組織を微細化するこ とによって仕上面が向上することがわかる。また B1F 及び C1F も低速切削領域では,わずかな がら構成刃先の脱落片が観察されるが,改良処理された合金ではいずれも無添加合金よりも良い仕 上面を呈している。合金成分として Mg が添加された B 系合金のT 6 材の低速切削では, F 材の無 添加試料の場合と同様,送りマークに乱れが観察されるが,Sb 添加のB4T6合金や銅が添加され た C 系合金のT 6 材では,比較的美しい仕上面を呈している。これらの理由として,この系の合金 では 200 m/minの削り速度領域が構成 刃先の消滅する境界領域であり,わずかな切削温度の 違いが構成 刃先の消失に影響を及ぼし,B4T6合金ではSb 添加により切削温度が上昇するため, また C 系合金のT 6 材では機械的強度の増大によって切削温度が他の合金より高くなるため,構成 刃先が消失し仕上面が良くなるものと考えられる。しかしながら仕上面の最も悪いA1合金も削り



図 7.7 C系合金のSEM組織

した結果をまとめると以下 のようになる。

- (1) 切削抵抗については、 組織の微細化に有効な 元素の添加は切削抵抗 を減少させる。また地 質を強化させるMg, 銅の添加は,機械的性 質を増大させるが,切 削抵抗は変わらない。
- (2) Al Si 系の合金

速度が400,600m/minになると送りマー クが明白となり,仕上面が改善されるが,機械的 強度の大きなC系合金のT6処理材では逆に600 m/min の高速度領域で,工具摩耗に基づく仕 上面のあれが,わずかに現われてくる。

7.4 結 言

以上 Al - Si 系合金にNa, Sr, Sb を添 加し改良処理を行ない,その被削性への影響を切 削抵抗,工具摩耗,仕上面あらさの観点から検討



図7.8 各合金の仕上面状況

では,組織の微細化は工具摩耗に非常に大きく影響するため,Na,Sr,Sbの添加によって 出来るだけ組織を微細にすることが,工具摩耗には有効である。また添加けい素量が多いほど 工具摩耗は大きく,けい素量が最も工具摩耗を支配する因子であり,次いで銅量によって影響 をうける。

(3) 仕上面状況について,比較的低速度領域での切削においては,Na,Sr,Sb添加による組

織の微細化は仕上面あらさに有効に働き,特に Sb 添加合金が良い傾向を示したが,高速度領域の切削ではその効果は少なかった。

参考文献

1) 室町繁雄,高辻雄三,多田静夫 ; 軽金属, 19, 12(1969), 543.

2) 財 満鎮雄,北村利昭;金属学会誌,36,3(1972),205。

3) 財満鎮雄,高辻雄三;軽金属,22,1(1972),17.

4) S. Zaima, Y. Takatsji ; Pro 16 th Japan Congr. Mat. Res, 1973, 84.

5) 室町繁雄,高橋恒夫,高辻雄三,多田静夫;金属学会誌,37,6(1973),639.

6) 高辻雄三, 財満鎮雄, 能登谷久公, 渡辺達朗 ; 軽金属, 25, 2(1975), 41.

7) S. Zaima, M. Hirono; Proc 12th Japan Congr. Mat. Res, 1969, 154.

8) 高橋恒夫,嵯峨常生,三森友彦; 軽金属, 21,1 (1971),19.

9) P.D. Hess. E. V. Blackmun; AFS. Transactions, 1979, 87.

10) 佃 誠, 鈴木敏夫, 福井 泉, 原田雅行 ; 軽金属, 30, 2(1980), 65.

第8章 被削材の添加成分量が工具摩耗に及ぼす影響

8。1 緒 言

第7章において2元,3元,4元系のAl – Si 合金に Na,Sr,Sb を添加してその効果を調べ 2元系においては Sr,3元,4元系においては Sb 添加が効果のあることを示した。しかし3元系 に Sr を添加した場合に,組織的には微細になるが工具摩耗は減少しない等の現象も観察され,添 加元素量に最適な値が存在することが推定された。

本章では Al – Si 2 元共晶合金の AC 3A 材に Sr の添加量を 0~0.36 %まで,また Sb は 0~0.20%までの範囲で変化させて,主として Sr,Sb の添加量と工具摩耗の関係について検討を行なった。

8.2 実験方法

8.2.1 供試試料

試料は金型鋳造された外径 100 mm 高さ 230 mmの円筒形であり。 Sr を添加した試料をA合金, Sb を添加した試料をB合金として, これらの分析結果を表8.1 に示す。

-						
Symbol	Si (%)	Fe (%)	Sr (%)	Sb (%)	AI (%)	
A O	12.8	0.20			bal	
A /	12.8	0.20	0.010	_	bal	
A 2	12.8	0.21	0.029		bal	
A 3	12.9	0.21	0.078	<u> </u>	bal	
A 4	12.9	0.21	0.16	—	bal	
A 5	13.0	0.21	0.36		bal	
ВО	12.7	0.19			bal	
BI	12.5	0.22		0.10	bal	
B 2	12.6	0.26		0.14	ba/	
B 3	12.5	0.32	-	0.20	bal	

表8.1 試料の化学組成

A合金系の顕微鏡組織は図8.1に示すように、無 添加のA0合金では共晶けい素粒子は針状に長く伸 びて幅も広いが、A1~A5 合金では微細に球状化 し、Sr 添加の効果を示している。しかしSr 添加 量のちがいによるけい素粒子の形状変化は,はっき りとは認められなかった。またAl-Si合金中への Sr の固溶量ははっきりしていないようであるが、¹⁾ AQ,A1合金以外の合金ではSr の粒子が観察され, その例は図8.1中のA2及びA5合金にみられる。図 中、白くみえる直径4~5µm 程度の塊がSr 粒子 である。この粒子の数は少ないが、伸び及び引張強 さの低下に影響を与えていると思われる。すなわち,

これらの合金の機械的性質は図8.2のようになり、全体的な傾向として Sr を添加した試料は無添加の A0合金に比べて機械的性質は良くなり、特に伸びについてその効果が大きく、この伸びはA1 合金で最大でありその後添加量の増加に伴ない伸び量は漸減の傾向にある。この傾向は引張強さについても認められ、 Sr 添加量が多くなりすぎると、固容しきれない Sr 粒子が形成され、機械的 性質を劣化させるようである。

B系合金の組織写真を図8.3に示すが。B0合金では初晶の板状けい素がみられるものの、B1

合金ではその数は少なくなり, B2 合金ではほ とんどみられないことから, Sb 添加により共 晶点がけい素側に移行していることも考えられ る。B3 合金では B2 合金よりも共晶けい素粒 子が全体に分散している。これら合金の共晶け い素粒子の形状について比較したものが図8.4 の顕微鏡組織である。いずれの合金でも共晶け い素粒子は長く針状に伸びているが, B3 合金 ではけい素粒子の針状に伸びた部分が細かくい くつにも割れて,けい素粒子は小さくなってい る。 B1, B2 及び B3 合金の図中に Sb 粒子が 白く写っており、EPMA による分析からも Sb 粒子は鉄,けい素などとは化合物を作って いないようである。 $^{(2)}$ また, B2 合金で Sb 粒 子が認められることから, Sb のこの合金の固 溶量は0.1%以下とみられる。図8.2に示すよ うにビッカース硬さの差はみられず、せん断強 さにも一定の傾向はみられなかった。 Sr 添加 合金と Sb 添加合金を組織的に比較すれば, 前 者の方が共晶けい素粒子は細かかった。

8。2.2 切削試験

旋削条件及び使用機器は第7章と同じであり, 同様の形状を有するバイトを用いて乾式切削を



図 8.1 A系試料の顕微鏡組織

行なった。工具摩耗の測定は逃げ面平均摩耗幅 V_Bにより行ない,切削仕上面あらさは最大あらさRmax を求めた。

8.3 実験結果と考察

8。3。1 切削抵抗

A系合金について垂直すくい角 $\theta = 10^{\circ}$,送りf = 0.13mm/rev とし。削り速度 v = 200,400, 600 m / minと変化させた場合の Sr 含有量と切削抵抗(主分力及び送り分力)の関係を図8.5 に 示す。切削抵抗値は Sr 添加量によって変化し、無添加の A0 合金の値が低く、添加合金中ではA3 合金の値が最も低くなっている。この傾向はf = 0.25 m /rev 一定として速度を変化した場合にも 同様であり、また v = 400 m/ min 一定とし,送りを f =0.06, 0.13 及び 0.25 mm/rev と 変化させた図8.6 の場合に も認められた。そして切削 抵抗の値が最も大きくなっ たのは A2 合金で、 A4 合 金よりも A5 合金の方が切 削抵抗は小さい値をとって いる。一方A 系合金の各切 削条件における切りくず形 状は図8.7 の例にも示すよ うに、ほとんど流れ形切り



図8.2 Sr 添加量と機械的強さの関係

くずとなり, Sr 添加による切りくず形状の変化は認められなかった。

同様に速度と送りを変化させた B 系合 金の切 削抵抗を図 8.8 に示す。送りが小さい場合,速 度が低い場合には Sb 添加の影響はあらわれず, 送りが大きく速度が小さい場合には Sb 添加量 の増加とともに切削抵抗は増大の傾向すら示す が、送りが大きく速度が大きい場合には添加量 の増加とともに切削抵抗の減少がみられる。 これは後述のように切削温度の上昇による被削 材の軟化が原因と思われる。



図8.3 B系試料の顕微鏡組織

8。3。1 工具摩耗

A系合金の工具摩耗幅 V_B を図8.9に示す。こ の場合の切削条件は図中に示してあるが、いず れも切削量は同一にとってあり。同じ削り速度 ならば送りを大きくした方が得策のようである。³⁾ 工具摩耗が最も激しい合金は改良処理のしてい ない AO 合金であり、これは共晶けい素粒子が 大きいため当然予想された結果である。 Sr 添



図 8.4 B系試料の高倍率顕微鏡組織



図 8.5 Sr添加量と切削抵抗(送り一定)

Cutting		Material						
Speed	Feed	Ao	Αı	A2	Aз	Α4	A5	
	0.06mm∕rev]	i.	/	-	•	
100∶ m∕min	0.1 3mm/rev		۱. ۱.		<u>]</u>]		11	
	0.25mm/rev		l	M	₩) [ľ	
	0.06mm/rev	(V	\rangle	$\left \right\rangle$	V	1	
400 m∕min	0.13mm/rev	V	K	1	Ň	V	[]	
an s ar	0.25mm/rev	1	//	N	//)(\mathbb{N}	

Rake Angle $\theta = 20^{\circ}$

図8.7 A系合金の切りくず状況



図 8.6 Sr添加量と切削抵抗(速度一定)

加合金中最も工具摩耗が少なかった合金は添加量 の最も少ない A1合金であり, A2 合金は添加合 金中最も大きな工具摩耗を呈し。A3, A4, A5 合金と添加量が増加するにつれて工具摩耗は順次 減少する傾向を示した。この A2 合金は図8.5 に 示したように高い切削抵抗を示した合金で, 図8. 1の組織中に Sr 粒子がみられたように Al-Si 共晶合金中に固溶する Sr 量を僅かに上まわる量 が添加されていると思われる。Al -Si 合金中に Srが固溶すればするほど工具摩耗は大きくなるが, 固溶限を超えて Sr の粒子が形成されるとクラッ クがはいりやすくなり, 工具摩耗は減少すると思 われる。このように考えれば Sr 添加量は Al-Si

合金中に固溶する限度内で,改良処理が有効に行なわれる最も少ない量が良いことになる。これら 合金の工具摩耗状態を示せば図8.10のようになり,A0合金の工具摩耗が最も激しいほかは,いず れの合金における工具摩耗の形態もほぼ同様である。これらA系合金の工具寿命曲線を図8. 11に示す。工具寿命の判定は工具逃げ面の平均摩耗幅 VBが0.3mm に達した時点とした。この

- 66 -
時の切削条件は θ =10°,
f = 0.13 mm/rev , t =
1.0 mmである。工具寿命
の最も長い合金は A1 合
金であり,ついで A4,
A5 合金となり A2, A3
合金は Sr 添加合金中で
は工具寿命が短かかった。
もちろん無添加の A0 合
金はけい素粒が大きく,
工具寿命も最も悪かった。
一方, Sb 添加の B系



図 8.8 Sb 添加量と切削抵抗



図 8.9 Sr 添加量と工具摩耗



図 8.11 A系合金の工具寿命曲線



図8.10 A系合金の工具逃げ面摩耗の状況

合金の工具寿命を同様にして求めた結果を図8. 12に示す。この場合の切削条件は $\theta = 10^{\circ}$, f= 025 m / rev, t = 1.0 m である。 B0, B1, B2 の工具寿命にはあまり差がなく, B3 合金 で工具寿命が長くなった。これは B1 合金では まだ僅かの初晶けい素粒子があり, B2 合金で は共晶けい素粒子の微細化が B3 合金ほど進ん でいないためと思われる。また切削温度につい

てみれば図8.13のように なり、Sb 添加量の増加 に従って切削温度の上昇 がみられ。その上昇割合 は削り速度が低いほど. 送りが大きいほど大きく なっている。このため低 速,高送りでは被削材の Sb 添加量が多いほど軟 化し,工具の機械的摩耗 の減少をもたらすと考え られるが, このことは図 8.12に示す B3 合金の場 合に工具寿命がほかの合 金よりも低速で長くなっ ている事実と一致してい る。一般に切削温度の上 昇は,工具のかたさの低 下や被削材と工具の凝着 を促進するが、この合金 は300℃前後の切削温度







図 8.13 Sb 添加量と切削温度

ではいくぶん軟化し、上述の悪影響は少なく、機械的摩耗の減少が大きく作用しているものと思われる。

8.3.3 仕上面あらさ

切削仕上面あらさについて求めた結果を図 8.14, 図 8.15に示す。図 8.14は A 系合金の場合の一例 としてf = 0.13 m/rev 一定として速度を変化させた場合,及びv = 400 m/min 一定として送り を変化させた場合について示している。いずれの場合も切削抵抗及び工具摩耗量が最も大きな値を 示した A2 合金の切削仕上面あらさが最も低い値を示し、次に低いのは工具摩耗量の最も少なかっ た A1 合金である。最も高い値を示したのは無添加の A0 合金で,ほかの A3, A4, A5 合金は A1 合金と A0 合金の値の中間に位置している。この場合の工具形状から求めた理論的仕上面あらさは f = 0.06, 0.13, 0.25 m/rev についてそれぞれRmax = 7.4, 15.3 及び 30.1 μ m となり, A2 合金の切削仕上面あらさはそれより小さな値であり,工具の送りマークの山がつぶれているものと 思われる。

図 8.15 は B 系合金の場合で、 $\theta = 10°$ と 30°の もとで送りと速度を変化させた場合について示し てあるが、Sb 添加量と切削仕上面あらさとの間に はとくに関係は認められないようであった。

8.4 結 言

以上, AC3A 材に改良処理効果がある Sr 及び Sb の添加量が, 合金の被削性向上, とくに工具 寿命の増大にどのように影響するかについて検討 するため, Sr 添加量を 0 ~ 0.36 %, Sb 添加量 を 0 ~ 0.20 % の範囲で変化させ, 高速度鋼工具に よる乾式切削を実施した。その結果,

(1) Sr 添加合金では共晶けい素粒子の微細化がみ られ、無添加の合金に比べて硬さ、引張強さ、 伸びなどが向上した。とくに伸びは A1 合金

(0.010% Sr)で顕著で

あり, Sr 添加量が増加する につれて伸びは低下する傾向 を示した。

 (2) とくに工具寿命の点から みればそれぞれ A1 合金 (0.01% Sr), B3 合金 (0.20% Sb) に添加効果 が認められたが、それらの 合金も切削抵抗,切削仕上 面あらさなどの点からは特



図 8.14 Sr 添加量と仕上面あらさ





別良好ともいえないか,あるいは添加による向上効果はみられなかった。また,生成される切り くず形状は無添加の合金と大差ない流れ形切りくずで,両成分とも添加による切りくず処理性の 著しい向上は認められなかった。

(3) したがって、これらの結果からみて Sr 及び Sbの適量添加は、合金の機械的性質の向上に効果的であり、工具寿命に有効な添加量も認められるが、切削抵抗、切りくず処理、切削仕上面あらさなどの諸点を総合した合金の被削性改善については、著しい添加効果は得られなかった。

参考文献

- L. F. Mondolfa: Aluminum Alloys (Structure and Properties), Butter Worths Co (1976), 612.
- 2) 佃試, 鈴木敏夫, 福井 泉, 原田雅行; 軽金属, 30, 2(1980), 65.
- 3) 財満鎮雄,稲葉道次,広野雅道:軽金属,22,4(1972),275.

第9章 CBN工具の摩耗挙動

9.1 緒 言

第5章,6章において超硬合金工具の摩耗機構を示し、その結果アルミニウム合金の切削に適する工 具としては、被削材中のけい素粒子よりもかたく、かつ被削材中のアルミニウム、けい素、鉄など と反応しない材料が良いことを示したが、近年開発されたCBN工具はこの条件を満すものである。 CBN、すなわち立方晶窒化ほう素(Cubic Boron Nitride)は硬く(Hv=4500)、熱伝導率(13w/(m•k) が良く、アルミニウム、けい素、鉄などとはほとんど反応しないとされている。¹⁾ このCBN粒は高温 高圧のもとで合成されその大きさは数µm程度であり、通常焼結されて用いられる。このCBN工具は 従来の工具では切削加工が困難であった高硬度鋳鉄あるいは耐熱合金などの難削材を高能率に加工 することができるとして各方面で研究されているが、¹⁾ A1-Si 系合金に関するものは少ないようであ る。

本章ではこの優れた性質を有するCBN工具を用いて、Al-Si系合金中最も工具摩耗の激しいハイ パーシルミン^{2)~5)}の乾式及び湿式切削を実施し、切削抵抗、工具摩耗、切削仕上面、切りくず生成など の諸点より被削性を求め、この工具の特性を検討することを目的とした。

9,2 実験方法

9.2.1 供試試料

実験に供した試料は表9.1 に示す化学組 成の16%,19%及び23%Siの円筒形状(直 径96mm,長さ160mm)のハイパーシルミンで, それぞれの機械的性質を表9.2 に示す。そ の顕微鏡組織は図9.1 に示すように,けい 素量の増加に応じてそれぞれ初晶けい素が 細かく散在しており,柔らかい組織の中に 硬い微細な粒子が分散したものといえる。 この初晶けい素の存在がとくに高速切削の 際に工具摩耗の主要原因の一つになると⁶⁾思 われるので,とくにけい素量の多い23%Si 材で工具摩耗が激しいことが予想される。

=	\cap	1	⇒-1+ 本行	5	ル	学名	
77			5TL A-1	-01'	11.	F→ 7%H	UX.
~	٠.	-	H-11		-	1 124	~~~

Materia/	51 %	Fe %	Си %	Ti %	Mg %	Ni %	A1 %
16%SiAlloy	15.5	0.27	4.11	0.01	0.49	10.01	bal
19%Si Alloy	18.2	0.28	1.89	0.15	1.29	1.29	bal
23%Si Alloy	23.0	0.38	1.96	0.17	1.28	1.43	bal

表 9.2	試料の	機械的	性質
-------	-----	-----	----

Materia/	Tensile Strength MPa	Elongation %	Vickers Hardness (98N)	Shearing Strenth MPa	
l 6 % Si Alloy	129.3	0.6	118	167	
19%SiAlloy	171.5	0.5	120	122	
23% Si Al loy	171.5	0.3	123	120	



AI - 19% Si

П 100 µт AI-23% Si

図 9.1 試料の顕微鏡組織

A1-16% Si

9.2.2 切削試験

昌運カズヌーブ旋盤を用い,使用工具は刃先諸元0--5[°]−5[°]−30[°]−0-0.3を有するアル ミナで焼結されたCBN工具である。切削条件としては,

(1)切削試験 I 削り速度をv = 1.5, 2.5, 5 及び10m/sの4種類,送りをf = 0.05, 0.1及び 0.2 mm/revの3種類にとり、これらの条件を適宜組み合せた乾式切削及び機械油を切削油とした湿式切削を実施し、それぞれの場合の切削抵抗、切削仕上面あらさ及び切りくず状況を求めて供試試料に対する CBN工具の被削性を検討した。

(2)切削試験 II 削り速度をv = 2 m / s と10 m/s の2種類,切込みt = 1.0 m及び送りf = 0.1 m/rev一定とした乾式及び湿式切削についてCBN工具の工具摩耗量を測定した。

工具摩耗の測定は一定時間切削後,工具の付着物 をNaOH溶液で取り去り,図9.2に示すように工具 逃げ面にプラトー部がある場合には投影機で拡大 して,プラトー部の幅を平均摩耗幅bとして求め, プラトー部がない三角形状摩耗の場合には投影機 の像をトレース紙に写し,摩耗部分の面積をプラ ニメータで測定し,これを切込みで割った値を平 均摩耗幅bとした。





9.3 実験方法

9.3.1 切削試験 I

乾式及び湿式切削における各試料の切削抵抗(主分力,送り分力及び背分力)及び切削仕上面あ らさをそれぞれ図9.3,図9.4に示す。これらより、ハイパーシルミンではけい素量、削り速度あ るいは乾式,湿式切削に拘らず、切削抵抗のうち主分力は切り込み、送り量が増加するとともに増 大する。送り分力も切り込み、送りとともに増加するが、とくに23%Si材では削り速度の増加に対し て送り分力の増大が著しく、ハイパーシルミンの超硬合金工具による切削に関する問題点⁷⁾と一致す



図9.3 各合金の仕上面あらさと切削抵抗(乾式切削)



る。背分力も送り分力の変化と ほぼ同様であるが、とくに23%Si 材で削り速度の増加に対する変 化が著しかった。

切削仕上面あらさは、送りが 大きくなるにしたがい当然あら さ値は大きくなるが,工具刃 先形状から求まる理論的表面あ らさ \mathbf{R}_0 は送りf = 0.05, 0.1及 び0.2 m/rev に対してそれぞ $nR_0 = 1.0, 4.2, 及び16.6 \mu m$ 程度であることを考えれば、い ずれの場合も極めて小さい値を 示すことになり, ハイパーシル ミンは工具送りマークの山がSi 粒子が多いためかなり欠けてい ることを示している。そのため 乾式切削,湿式切削を問わずけ い素量が多くなるにつれて切削 面はあらくなり、高速切削にな るにしたがって顕著になる。ハ イパーシルミンの切削面にあま り金属光沢がみられないのは、 このためと思われる。

次に図9.5は19% Si 材の乾式 及び湿式切削(切込み t=1.0 m) における切りくず形状を示すが 送りが大きくなれば切りくずの

図 9.4 各合金の仕上面あらさと切削抵抗(湿式切削)

大きさは大きく,削り速度が大きくなるにつれて切りくず形状は細かくなり,けい素量が増加して も切りくずは細かくなる。また,乾式切削に比べて湿式切削の方が全体として切りくずは細かい。 乾式切削ではうず巻状またはちぢれた形の切りくずが多く,湿式切削では破砕状の切りくずが多い が,切りくず処理の点ではどちらの場合もあまり問題点はないようであった。



図 9.5 19%Si 材の切りくず状況

		Dry Cutting	Wet Cutting
入 AI-16%Si	Face		
ДПОУ	Flank		
AI-23%Si	Face		et.
Alloy	Flank		· A
Cutting Sp	peed v=	IOm/s	

図 9.6 16%Si 材と23%Si 材の工具摩耗 状況

9.3.2 切削試験Ⅱ

16%Si材及び23%Si材を削り速度 v = 10m/s で所 定時間乾式及び湿式連続切削した場合の工具逃げ面 及びすくい面の摩耗状況を図9.6に示す。これから CBN工具を用いてもハイパーシルミンではかなりの 工具摩耗が認められる。いま、切削時間に対する工 具摩耗の進行状況の一例として、16%Si 材及び23% Si材の削り速度 v = 2m/sの低速切削における切 削時間42min後の乾式切削及び湿式切削の逃げ面 及びすくい面の摩耗量を図9.7 に示す。また同じ試 料のv = 10m/sの高速切削における切削時間9 min 後の工具摩耗進行状況を図 9.8 に示す。各切 削条件についてこのような観察を実施したが、これ から低速乾式切削では,切削の際に付着物が逃げ面 を保護するようで、とくに16%Si合金材では刃先 先端から1mmの付近で境界摩耗が発生しているが, けい素が多くなるにつれて境界摩耗の程度は減少し, 摩耗幅も減少する。これは付着物が逃げ面を摩耗か ら防ぐが,前述のように切りくずが細かくなり,刃 先から約1mm付近の切りくず流れが少なくなるため と思われる。低速湿式切削では付着物がほとんど付 かず,逃げ面を摩耗から防ぐことができなくなり, 直接切りくずが工具にあたって摩耗が進行している。 とくに逃げ面の刃先より約1mmのところでは切削油 の浸透で付着物が全然付着しなくなり、工具摩耗の 進行は激しい。また、低速湿式切削ではけい素量が 少ないほど摩耗の進行はゆるやかである。

削り速度が早くなれば図 9.8のように乾式切削,湿式切削ともに工具摩耗の進行は激しく,切削開始の初期より摩耗は急激に進行する。図 9.9は逃げ面の平均摩耗幅と切削時間の関係を求めたものである。削り速度 v = 2 m/s の低速切削の場合に比べて v = 10 m/s の高速切削では摩耗の進行が急激である。なお,低速切削では16%Si材と23%Si材の摩耗進行は湿式切削に比べて乾式切削の方が摩耗の進行はゆるやかであった。

したがって、連続切削を行なえば工具摩耗の進行とともに切削抵抗は順次増大することになる。 例えば削り速度 v = 2 m/s と10m/s の場合を比較すれば、切削抵抗の変化は図 9.10のようにな



Feed f=0.1mm/rev Depth of Cut_ti=1mm



る。すなわち,低速切削では乾式,湿式両切削方式 とも切削時間の経過にかかわらず切削抵抗の変化は 少ないが,高速切削では両切削方式とも主分力は切 削時間の経過に伴う増大はわずかであるものの,送 り分力及び背分力の増大は著しく,また,けい素量 が増すにつれて両分力の増大は急激になる。

これらの場合の切削仕上面あらさを、工具摩耗前と 後で比較すれば図9.11のようになる。低速切削の場 合には工具摩耗も比較的少ないので、工具摩耗前後 の仕上面あらさの値の差は少ないが、高速切削では 工具摩耗前後にあらさの差がかなり認められる、こ れは前述のように、仕上面あらさの値そのものが理 論値よりかなり小さく、必ずしも正常な工具送りマー



図 9.8 16%Si材と23%Si材の高速切削 における工具摩耗進行状況



図9.9 各合金の切削時間と工具摩耗幅

- 75 -



図 9.10 各合金の切削時間と切削抵抗

Cuttin	g Speed	v=21	m/s	v=10 m/s		
Surface /	Roughness µm (Dry Cutting	Wet Cutting	Dry Cutting	Wet Cutting	
AI-16%Si	Before Tool Wear					
Alloy	After Tool Wear					
AI-19%51	Before Tool Wear					
Alloy	After Tool Wear		Þ]		
AI-23%SI	BeforeTool Wear					
Alloy	After Tool Wear					

図 9.11 各合金の工具摩耗前と摩耗後の仕上面あらさの比較

クが得られるとは限らず、工具摩耗が激しいため切れが悪くなることが原因と思われる。

9.4 結 言

以上,普通の実用工具では非常に激しい工具摩耗を呈するハイパーシルミンの切削にCBN工具を 用い,乾式切削及び湿式切削におけるCBN工具の摩耗を中心に検討した。その結果,

(1) 低速乾式切削では付着物が工具逃げ面に付着保護してプラトー部を形成し、とくに16%Si材では切込みに相当する切刃部分に切りくず中のけい素粒子の作用で境界摩耗が発生する。そして、けい素量の増加に伴い境界摩耗の度合は減少し、摩耗幅も減少する。

(2) 低速湿式切削では工具付着物が付かないため逃げ面を摩耗から防ぐことができず,工具摩耗 が進行する。とくに逃げ面の刃先から切込みに相当する部分では切削油が浸透しやすいため,摩耗 が激しい。

(3) 高速切削では乾式切削, 湿式切削とも激しい工具摩耗を呈し, とくにけい素量の多い23%Si 材では, 切削初期から激しい摩耗が認められる。

(4) したがって、実験範囲から判断すればハイパーシルミンの切削にCBN工具を適用するには、

低速乾式切削が実用的である。

参考文献

- 1) 機械技術; 29, 5(1981) 33~72.
- 2) 財満鎮雄,高辻雄三,飯尾政次;軽金属,20,11 (1970),556.
- 3) 財満鎮雄,武田裕久,森下 定;日本金属学会誌, 38,7 (1974),609
- 4) 財満鎮雄,稲葉直次,広野雅道;軽金属,22,4(1972),275.
- 5) 大庫和孝, 中島耕一, 粟野泰吉; 精密機械, 41, 4 (1975), 369.
- 6) 財満鎮雄,機械の研究,20,9(1968),1211.
- 7) 森永卓一, 財満鎮雄, 飯尾政次; 日本金属学会誌, 30, 5 (1966), 463

第 10 章 CBN工具の摩耗機構

10.1 緒 言

第9章においてハイパーシルミンをAl2O3 焼結のCBN工具を用いて切削を行ない低速乾式切削が 良いことを示した。また削り速度が早くなると摩耗が急激に進行し、この工具の摩耗が、切削熱によ る工具材料の硬さの低下、あしくは被削材との凝着によって進行する過程が予想された。ところでCBN 粒自身は窒化物のため熱的にはかなり安定であり、かつ被削材との親和性も小さいため、この工具 の摩耗は使用されているバインダの種類によって大きく影響を受けるものと思われる。現在CBN 粒 は種々のバインダを用いて焼結されているが Co, Al_2O_3 (アルミナ), TiN などが主にバインダ として使用されている。このためバインダの成分が異なるとその特性も異なり、どのバインダがど の金属材料の切削に適当であるかは²⁾

本章ではCo, Al₂O₃,TiNの3種類のバインダを使用したCBN工具を用いてSKD61焼入れ材,ハイ パーシルミンのF材とT6材を選んで乾式切削を実施し、主として工具摩耗の点からEPMA観察に よる検討を行ない、その摩耗機構を明らかにする事を目的とした。

10.2 実験方法

実験に供した試料の化学成分を表10.1に,機械的性質を表10.2に,顕微鏡組織を図10.1に示す。

Al-23%Si 材は金型鋳造後使用し, Al- 表 10.1 試料の化学成分 17%Si材は金型鋳造後T6処理を行ない, SKD61材は焼入れ焼もどし処理を行ない 試料とした。図10.1に示されるようにAl-23%Si-F材では角ばった大きな形の初 晶けい素粒が多くみられ、Al-17%Si-T6材では共晶けい素粒も粗大化してい るため初晶の粒子とあいまって工具摩耗 が大きくなる事が予想される。いずれも 鋳造材であるため伸びは少ないが, Al -17%Si-T6材ではT6処理により基地 が強化されているため、引張強さが大き くなっている。SKD 61 材はマルテンサイ ト組織を示し十分に焼入れの効果が認め られる。

		Si	Fe	Cu		Ti	1	Ag .	Ni	AI
Material		(%)	(%)	(%	r c	%)	0	6)	(%)	(%)
17 % Si	Alloy	17.0	0.13	3 1.0	1 0	.01	1.0	24		bal
23%Si Alloy		23.0	0.38	8 1.9	60	0.17		28	1.43	bal
	C	Si	Mn	P	s	6	r	Ma		Fe
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%) (9	6)	(%) (%)	(%)
SKD6 I	0.35	0.99	0.30	0.02	0.0	14.	94	1.0	4 0.8	1 bal

表 10.2 試料の機械的性質

Material	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers Hardness (98N)	Shearing Strength (MPa)	
17%SiAlloy-T6	303.6	0.6	154	195	
23%Si Al loy - F	171.5	0.3	123	120	
S K D 6 I	1744.6	11.0	470		



摩耗試験の切削条件は、ハイ パーシルミンで削り速度v = 2m/s,送りf = 0.1 mm/rev, 切り込み $t_1 = 1.0 \text{ mm}$,SKD61材 はv = 1.6 m/s,f = 0.075mm/rev, $t_1 = 0.5 \text{ mm}$,一定とし た乾式切削であり、所定時間毎 に工具の逃げ面平均摩耗幅を測 定した。使用工具はA,B,C,3

種類のCBN工具であり、EPMA分析の結果A工具は約8.5 wt $%C_0$, B工具は約45 wt $%Al_2O_3$, C工具は約30 wt $%TiN(Al_2O_3 + 4\%2 \text{ Km} 2 \text{ K$

EPMAによる観察は主にすくい面摩耗を中心に行ない,ハイパーシルミンを切削した工具の付着物は,NaOH液で除去したが,SKD61材の場合は付着物が付着した状態で観察を行なった。

10.3 実験結果

10.3.1 AI-17% Si-T6 材の切削

図10.2は3種類のCBN工具を用いてハイパーシルミンのF材とT6材を切削した際の逃げ面平均 摩耗幅と切削時間の関係を示している。いずれもCoがバインダのA工具の摩耗量が最も少なく、次 いでTin使用のC工具、Al₂O₃使用のB工具が最も多くなっている。17%Si-T6材は10.2 に 示すように23%Si-F材より強度が

高いため工具摩耗が激しい。

図10.3 上段は17%Si-T6材をA 工具を用いて切削した場合のすくい面 摩耗の全体像とその拡大像, ®方向の 工具表面形状及び元素面分析箇所と線 分析方向を示している。すくい面摩耗 は切込み1mmまでほぼ一様に約 0.6 mm の幅で摩耗し,その表面に黒くみられ る粒は炭素が主成分であり,A工具自 体に小量含まれている炭素が工具の摩 耗にともなって工具表面に付着したも のと思われる。なお,この付着物はB,(



図10.2 各工具の切削時間と工具摩耗量

のと思われる。なお、この付着物はB、C工具においては観察されなかった。図10.2 に示すよう に、A工具では長時間の切削にもかかわらず逃げ面摩耗量は比較的小さいため、切刃の後退量はわ



図10.3 17%Si-T6材を各工具で切削 した場合の工具摩耗状況



CBN(A)-Tool, 17% Si-T6

図10.4 切刃中央部のEPMA分析

ずかであるが、すくい面は他の工具に比べ多く摩耗して いる。図10.3 上段の拡大像下方には切刃に平行に長さ 0.4 mmの亀裂(図中白い線でみえる)か生じ、切刃から この部分まで切りくずの擦過痕が明瞭に認められ、Si の付着が多い。図10.3 上段右側に®方向の工具表面形 状を示すが、切刃に近いほど摩耗が激しく、その摩耗量 は最大15 µm 程度であり、切刃から約0.2 mm離れた 部分で小さく窪んでいるのは亀裂のはいっている部分で

ある。この亀裂に沿って摩耗の進行がみられるが B, C工具においては亀裂の発生はみられなかった。 図 10.4 は図 10.3 中の①部分の拡大写真と元素面分析結果を示す。図上方の白い部分は逃げ面の 急傾斜部分であり、CとCuが多く付着している。切刃から約20 µmの幅の部分では切りくずの擦過 痕はほとんどなく、この下方部分から亀裂の生じている部分まで、切りくず流れに沿って溝状にC BN 粒子の脱落が認められ、Siが多く付着している。Alもほぼ Si と同じ分布状態を示しているが、



図 10.6 17%Si-T 6 材を各工具で切削し た場合のすくい面中央部の線分析結果

Fe, Mgなどは全面に分布している。この部分のSi 濃度の高いところでCo 濃度も高くなっている 部分もあり、CoとSiの結合が生じていると考えられ、³⁾この傾向は下方へいくほど激しくなっている。

亀裂のある③部分の拡大写真を図 10.5 に示す。亀裂はSiの付着がなくなりかけた部分の刃先前方 から切込み中央部にかけて発生しているが、観察部分では左上方から右下方にかけて亀裂がはいり、 亀裂に沿ってC濃度が高くなり、中央部の亀裂が合流している部分ではとくに高くなっている。こ の亀裂を境としてSiの付着が少なくなることより、切りくずの擦過圧が変化しているとみられ、17 %Si-T6材はかたいため切削熱の発生が大きく、この部分で熱的なアンバランスが生ずることに よって亀裂⁴⁾が発生すると考えられるがCとの関係は不明である。

切刃中央部®方向の EPMA による線分析結果を図 10.6 上段に示す。このときのX 線ビーム径は約 1 μmであり、ビームは分析方向に対して直角に 120 μmの幅で走査している。 Cu は切刃から 100 μ m程度まで粒状に付着しているが、その後は少なくなり、Si は亀裂が生じている 200μm程度まで多 量に付着し, 亀裂部分では少ないが, その部分を過ぎるとまた少し付着し, やがて減少している。 Alも同様の傾向を示しているが, Mg, Feは全体に均一に付着しているようである。工具成分のCo はSi付着域でやや減少しているが, その後は一定の値を示し, BもCoと似た傾向を示している。 このようにA工具では摩耗の最も激しい部分でSiの付着がみられ, SiとCoとの結合が生じ, 固溶体 を形成しているようであり⁵⁾ この固溶体の形成による結合力の低下がCBN粒の脱落につながり摩耗 は進行すると考えられる。また, けい素粒子の引掻き作用による摩耗もあるがCBN粒がけい素粒子 よりもかたいためわずかであると思われる。

図 10.3 中段はAl₂O₃ がバインダのB工具を用いて17%Si-T 6 材を同じ条件で切削した場合の 同様のすくい面写真を示している。切削時間は24minとA工具に比らべかなり短かいため、すくい面 摩耗量は少ないが摩耗域は切刃から約 250µmの幅でみられ、切込みより外側の未摩耗部分に比べて 切刃は約 50µm 後退しているため、実質的には 300µmの範囲ですくい面摩耗が生じている。また切 削温度が高い刃先部分の摩耗はA工具よりかなり大きくなっている。写真中白くみえる部分は摩耗 してしまった前逃げ面及び横逃げ面の急傾斜部分である。すくい面摩耗部分では、切りくずの擦過 痕が明瞭に認められ、この摩耗終端部に付着物の堆積が生じている。

図10.7は摩耗の激しい①部分の拡大写真と元素面分 析結果を示している。切りくず流れに沿って溝状にCBN 粒が削りとられている様子がわかる。この工具はAl₂O₃ がバインダであるため Al の濃度が高くなっているが、 この部分にはA工具でみられたSi の付着はなく,他の 元素もほとんど付着していない。これはB工具にはCo が使用されていないこと及び被削材中のアルミニウムと 工具中のアルミナとの親和性が大きく、切りくず擦過部 分では切削熱と高い圧力により、切りくずと工具中 のAl₂O₃とが結合し、けい素粒子が直接工具面を擦 過するのを阻外することや、Al₂O₃及び CBN 粒子とSi が結びつきにくい事などが原因と考えられる。

図10.8は摩耗終端部に付着物のある④部分の拡 大写真と元素面分析結果を示している。付着物は約 40µmの幅で横に連なり Mgが多く Cu, Siも付着 している。しかし Fe の付着量はA工具よりも少なかっ た。被削材中のアルミニウムも付着していると思われ るが、工具材中にAlpO3が多いため区別がつかない。

図10.6の中段はB工具の®方向の線分析結果を 示しているが、すくい面摩耗が生じている部分には



C3N(B1-Tool, 17% Si-T6

図10.7 中央切刃付近のEPMA分析

- 82 -

Al以外の元素の付着は全くみられないが、摩耗終端部においてはMg,Cu,Si等の付着がみられる。 しかしFeの付着は全体的に少なく、この工具が鉄系合金の切削に優れていることが予想される。

図10.3下段はTiNがバインダのC工具を用いて17%Si-T6材を同様の条件で切削した場合のす くい面の状態を示している。切削時間は75minでありほぼA工具の半分程度であり、すくい面摩耗の 形はB工具とよく似ている。すくい面は一様に摩耗し、その摩耗域は切刃から約300µmの幅である が、B工具と同様切刃が約30µm後退しているため実質的には330µm程度となる。刃先部分の摩耗 はB工具程激しくはないが、A工具よりはいくぶん摩耗している。



CBN(B)-Tool, 17% Si-T6



図10.9 切刃中央部のEPMA分析

摩耗の激しい切刃中央部①の拡大写真と元素面分析結果を図 10.9 に示す。白く写っている逃げ面 部分にはSi が多く付着し,逃げ面摩耗が現在この部分で進行し,この摩耗がけい素粒子によること を示している。⁷⁾すくい面上のSiの付着はA工具ほど多くはないが多小付着し,他の元素の付着は少 ないようである。C工具ではバインダにTiNが使用されているがAl₂O₃ も添加されているためAl濃 度も高くなっている。

図10.8 摩耗終端部のEPMA分析

が付着し、Cu、Mgも少し付着し、付着物の様子はA工具とB工具の中間的様子を呈している。

10.3.2 AI – 23% Si – F 材の切削

A工具を用いて23%Si-F材を 210 min 切削した場合のすくい面摩耗状況を図 10.10 上段に示す。 17%Si-T 6 材の場合と異なり、材料が柔かいため長い流れ形の切りくずが生成され、すくい面に 大きなクレータが形成されている。このクレータはB工具においても観察され、これは工具と切り くずの接触範囲が大きくなるためと思われる。A工具のクレータ形状は図右側の表面形状に示され ているが、切刃から約 200 µmの幅でプラトー部が形成され、その後方約 600 µm の幅で刃先から切込 み端部まで工具の剥離によるクレータが生じている。このクレータの最大深さは 50 µmとかなり大き く工具の再研摩は容易でないと思われる。④部分には小さな亀裂が多くみられ、次にこの部分に剥 離が生ずることが予想される。プラトー部の摩耗は17%Si-T6材の場合に比べ、切削時間が長いにもか かわらずわずかであり、刃先先端から0.6mm程度まではSiが多く付着しているが、この部分より切込



23% Si-F, v=2 m/s

図 10.10 23%Si-F材を各工具で切削 した場合の工具摩耗状況



CBN(A)-Tool,23%Si-F 図10.11 プラトー中央部のEPMA分析

み終端にかけては切りくず流れによる擦過痕は少なくSiの付着もごくわずかである。これは17%Si -T6材の場合に比べ材料が柔らかいため刃先から中央部にかけてはCoとSiが結合する切削温度ま でに達したものの、切込み後半域においてはCoとSiの結合温度まで達しなかったものと思われ、 全体的な切削温度の低下が初晶けい素粒子が17%Si-T6材よりも多いにもかかわらずすくい面摩 耗を少なくしたものと考えられる。

①部分の切刃部では約20µmの幅でSiはあまり付着していないがCo濃度の低下がみられ、切りく ずによって持ち去られたものと思われる。この部分の下方からSiの付着が多くなり、その様子を図 10.11に示す。図は②部分の拡大写真及び元素面分析結果を示しているが、切りくず流れにそって Siの付着が多く、Co濃度の高い部分でSi濃度の高い部分もみられ、17%Si-T6材の場合と同様Co とSiが結合している部分もあることがわかる。この状態はプラトー部が終るまで続いている。この ように多くのSiがすくい面上に付着する現象は第3章、第5章、第6章の超硬合金工具においては観察 されなかった。これは超硬合金工具では切りくずの擦過によって摩耗は一部メカノケミカル的に進行す るが、CBN粒は窒化粒子であるためアルミニウムとの親和性が小さく、この種の摩耗の進行速度は



CBN (A)-Tool, 23% Si-F 図10.12 剥離部の EPMA 分析 非常に遅く,またけい素粒子よりもCBN粒子が硬いため 引掻きによる摩耗も少なく,工具が長時間切りくずと 接触するためと考えられる。この部分での摩耗はCo とSiの結合によるCBN粒子間の結合力の低下による脱 落によって進行するため,切削温度が大きく影響し, 切削による温度上昇が小さい23%SiF材の摩耗量が 17%Si-T6材よりも小さくなったと考えられる。

図10.12は剥離部に小さな亀裂の集中がみられる ④部分の拡大写真と元素面分析結果を示す。この部 分は次に剥離が予想される部分であるが、多くのFe の付着が認められ、Fe付着量の少ない部分でCo 濃 度の減少している部分もあるため、全体的にCo 量が 多いもののむらがある。第5章の超々ジュラルミン の乾式切削の際にも超硬表面のFe付着物に亀裂がみ られ、このことと関係があると思われるが原因は不 明である。この剥離現象はAl-16%Si-4%Cu-0.5%Mg合金のF材の切削においても生じており、こ の工具によるハイパーシルミンのF材において共通 して生ずるものとみられる。

図 10.13 上段は
⑧方向の線分析結果を示す。切刃

から200 um程度までのプラトー部にはSiの付着が多 く、Co、Niの強度は弱くなっている。Feは切刃部分と 剥離が生じているクレータ部分に多くみられ、とく にクレータ部分に多量付着し、この部分のBの強度 は強くなったり弱くなったり特徴的である。Cu, Mg は摩耗域全体に微量付着している。

B工具を用いて23%Si-F材を切削した場合のす くい面摩耗状態を図10.10下段に示す。切削時間は 42 min と短かいがA工具と同様大きなクレータが形 成され,最大深さは約50µm であるが幅は約0.4 mm と小さくなっている。切刃からクレータにかけて約 100µmの幅のプラトー部が形成されている。工具刃 先部分では切削温度が高くなるため⑦にみられるよ うに部分的にえぐり取られたように摩耗が進行して いるところもみられる。また⑧部分では亀裂がみら れ,さらにクレータ摩耗は大きくなると思われ、こ



図 10.13 23%Si-F材を各工具で切削 した場合のすくい面中央部の線分析 結果

の種の亀裂がクレータ摩耗に重要な役割を果すものとみられる。

10.3.3 SKD 61熱処理材の切削

SKD 61 熱処理材をA, B, Cの各工具で切削したときの工具摩耗幅と切削時間の関係を図10.14 に示す。この場合ハイパーシルミンの場合とは逆にA工具の摩耗が最も激しく、次がC工具であり、 B工具の摩耗幅が最も少なくなっている。

これら工具のすくい面摩耗状況及び切込中央部における表面形状を図 10.15 に示す。A工具では B.C工具にみられるクレータは形成されず,逃げ面摩耗と同じように切刃部から急激に摩耗が進行 し、切刃から 0.8 mmの範囲まで摩耗している。表面形状をみると切刃部で約 25 µm 摩耗し、切りく ず流れの方向に徐々に摩耗量は減少し、切刃から 0.25 mm はなれた点で表面形状曲線の傾きが変わっ ている。この点は写真中に白いFeの付着物がみられる部分であり、現在摩耗が進行している部分と 思われる。

図10.16はA工具の切刃中央部の拡大写真であるが、CBN粒子が脱落した部分に浅い窪みが生じ



図 10.14 SKD61材を各工具で切削した場合の 切削時間と工具摩耗量



CBN(A)-Tool, SKD61



図 10.15 SKD 61 材を各工具で切削した場合の 工具摩耗状況

この写真下方にFeの付着が少しみられる。Feの付着 は切削熱のため柔らかくなったCoが切りくず流れに よりCBN 粒の上へ押流され、この広がった部分にFe の付着が生じ、これが起点となって大きくなるよう であるが、切りくず流れが激しく摩耗が早いと付着 図10.16 A工具切刃中央部のEPMA分析 しにくいようである。工具摩耗はCrやCを固溶して

非常にかたくなっているマルテンサイト組織による引掻きと、Coの拡散によって結合力の低下した CBN 粒の脱落によって生ずると考えられる。この合金の切削温度はハイパーシルミンよりもかなり 高く、FeへのCo拡散量が非常に大きくなり、「工具摩耗が他の工具よりも急激に進行したと考えら れる。

○図10.15に示されるようにB,C両工具とも切刃部に50μm程度のプラトー部が形成され、その後方にクレータが生ずる摩耗形態を示し、クレータ部にFeの付着物が切りくず流れに沿って細かく付着している。C工具ではところどころ大きな塊となった付着物がみられる。このように付着物はB工具よりもC工具に多くAl₂O₃よりもTiNの方にFeが付着しやすい傾向を示している。A工具の付着物がすくないのは摩耗がきわめて早いためと考えられる。また線分析の結果いずれの工具の付着物の成分もほぼ被削材の成分と同じであり、特定元素の選択的な付着は認められなかった。

10.4 結 言

以上バインダの異なる3種類のCBN工具を用いてハイパーシルミンとSKD61を切削し検討した 結果をまとめると以下のようになる。

(1) ハイパーシルミンのF材およびT6材の切削には,被削材成分と親和性の大きいアルミナや チタンナイトライドをバインダに使用したCBN工具よりは親和性の小さいコバルトをバインダにし たCBN工具の寿命が長い。しかし長時間の切削において,すくい面に熱的亀裂や剥離現象が観察さ れた。

(2) SKD 61熱処理材の切削には鉄との親和性が小さいアルミナをバインダにした CBN 工具はすく い面に付着物が少なく工具寿命が長かった。

(3) このような切削熱による拡散摩耗では,被削材と工具との親和性が小さい工具の寿命が長く, 被削材と工具材の成分をよく吟味して使用する必要がある。

参 考 文 献

- 1) 機械技術: 29, 5 (1981) 33~72.
- 2) 鳴瀧則彦,山根八州男,武內陸郎:精密機械, 45, 2(1979),81.
- 3) 大庫和孝,中島耕一,粟野泰吉:精密機械, 41, 4 (1979), 69.
- 4) 星 光一, 星鐵太郎:金属切削技術(1969, 工業調査会), 122.
- 5) C. Hauser: Wear, 62, 1 (1980), 59.
- 6) 奥島啓弐,鳴瀧則彦:精密機械, 35, 2 (1969), 28.

第11章 ダイヤモンド焼結工具の特性

11.1緒 言

第9章,10章において、超硬合金工具では工具摩耗の激しいハイパーシルミンの切削において、CBN 工具が優れた耐摩耗性をもち、被削材との親和性が小さいGoをバインダに使用した工具の寿命が長 いことを示した。すなわち被削材よりもかたく、親和性の小さい工具が良い。ところでダイヤモン ドは物質中で最もかたく、またCBN粒よりも熱伝導率(21W/(m・k))が良くアルミニウムとも反 応しないため工具材料としては良いが、反面、高価であり、チッピングが生じやすいなどの欠点も あるため、非鉄系の精密加工に使用され、通常の切削には使用されなかった。しかし近年ダイヤモ ンドの合成が可能になり、ミクロンオーダのダイヤモンド粒子を焼結し、じん性を高くしたダイヤ モンド焼結工具が非鉄系の切削に使用されてきている。このため本章ではGoにより焼結されたダイ ヤモンド焼結工具を用いて、四種類のAl-Si 系鋳造合金のF材とT6材を乾式切削した場合の仕 上面あらさを表面あらさ計とEPMAにより調べ、CBN工具、超硬合金工具、高速度鋼工具との比較 を行ない、また最も工具摩耗の激しいハイパーシルミンのT6材を種々の速度で切削した場合の工 具摩耗状態をCBN工具と比較し、ダイヤモンド焼結工具の特性を調べることを目的とした。

11.2 ダイヤモンド工具の仕上面特性

11.2.1 実験方法

実験に供した試料の化学成分を表11.1に,機械的強さを表11.2に,その組織写真を図11.1に示す。 AC2B,AC4A,AC4B,AC8Aはいずれも金型鋳造材であるため,そのF材及びT6材 のけい素粒子はいずれも数十µm ~百µm 程度である。その機械的強さはそれぞれ標準的な値を示

料は比較のため用いた試料で、 AC4B_c - T6材は半連続鋳造 材で,組織はかなり微細化し,け い素粒子の大きさは数 μ m と非常 に小さく球状化しているため,引 張強さも大きくなっている。また, 展伸材 7075 - T6材は押出加工さ

している。表中下段の二種類の試

表 11.1 試料の化学成分

designation	Si	Fe	Ċu	Zn	Mg	Mn	Ni	AI
AC2B	7.0	0.56	3,2	0.26	0.17	0.15	<u> </u>	bal
AC4A	9.0	0.33	0.18	0.03	0.56	0.53	—	bal
AC4B	8.1	0.65	2.2	0.84	0.40	0.20	0.10	bal
AC8A	11.7	0.62	1.3	0.1	1.2		0.92	bel
7075	0.5	0.7	1.6	5.6	2.1	0.3		bal
AC4B _c	7.0	0.12	2.7		0.29		<u> </u>	bal

れた丸棒であり,けい素量が少なく,かたく 均質な組織を有するため引張強さは使用合金中最も大きい。

実験には昌運カズヌーブ旋盤を用い,削り速度 v = 1.6, 3.3, 6.6m/s,送りf=37, 75μm/rev

と変化させ、切込みt = 1.0 mm一定の乾式切削 を行ない、切削後の仕上面を表面あらさ計 (TALYSURF4型)で測定し、EPMA観察 を行なった。このとき使用した工具は高速度鋼 工具SKH4、超硬合金工具K10、CBN工具、ダ イヤモンド焼結工具(ダイヤモンドコンパック ス、以後DC工具と略称する)であり8wt Co により焼結されている。いずれの工具も刃先諸 元 0-5°-6°-6°-8°-0-0.2を有するバイト である。

表 11.2 試料の機械的性質

Materials	Vickers Hardness	Tensile Strength
	(Hv)	(MPa)
AC 2 B-F	101.0	202
AC 4 AF	61.6	176
AC 4 B-F	94.0	178
AC8A-F	98.4	223
AC 2 B-T6	1 2 2.0	289
AC 4 A-T 6	9 5.3	276
AC 4B-T6	1 4 2.1	2 5 2
AC 8 A-T 6	0.811	3 3 8
7075 - T6	1 4 2.0	570
AC 4 BeT 6	126.0	392



図 11.1 試料の顕微鏡組織

11.2.2 実験結果

11.2.2.1 CBN工具, DC工具による金型鋳造材の仕上面あらさ

AC2B-F材をv=1.6, 6.6m/s, f=37, 75 µm/revの切削条件でCBN工具とDC工 具を用いて切削した表面状況の比較を図 11.2 に示す。速度が遅いといずれの工具においても構成 刃先の脱落痕が認められ,仕上面を悪くしている。送りが大きいとその程度も大きくなる傾向がみ られ,表面にあらわれるけい素粒子は少なく,加工表面はアルミニウムの層でおおわれたようにな っている。このため表面の光沢はにぶく,工具による差はない。速度が早くなるとCBN工具では 溶着痕が残り,仕上面は低速の場合よりはいくぶん良いが,送りマークは不鮮明である。しかし同 じ切削条件でもDC工具では写真にみるように送りの大小にかかわらず送りマークが明瞭に認めら



れ, せん断されたけい素粒子などの破面が表面に現われ, 切削状態が良好であることを示している。 AC2B-T6材を同様の切削条件で比較した場合を図11.3に示す。F材の場合と同様に低速 では構成刃先の脱落痕が加工表面を悪化させ, 高速では, CBN工具を用いると溶着痕が表面に残 り, 表面状態を悪くしている。しかし, DC工具では規則的な送りマークがみられ, 硬いけい素粒

子などがきちんとせん断されている。AC2B-F 材に比し材料がかたくなっているため,表面あらさ は全体として良い傾向を示している。この様子は他 の金型鋳造材のF材とT6材においてもほぼ同様で あり,DC工具の仕上面状態が良好であった。

このようにDC工具の仕上面が良好であったが, この場合の速度及び送りの変化に伴う仕上面状況の 変化の一例として,AC4A-T6材をDC工具で 切削した場合を図11.4に示す。v = 1.6m/sでは 送りに関係なく,いずれも構成刃先の脱落痕が多く 付着し,加工表面は悪くなっている。構成刃先が消 滅する付近の削り速度v = 3.3m/sでは,送りが小 さいと切削温度が構成刃先の消滅温度に達しないた め、v = 1.6m/sの場合よりは少ないが構成刃先の



図 11.4 AC4A-T6材をDC工具で 切削した仕上面の状況

脱落痕がみられる。しかし送りが大きくなると切削温度が上昇するため、構成刃先が消滅し、規則 的な送りマークが認められるようになる。v = 6.6 m/sではいずれの送りにおいても溶着痕はなく、 送りマークが明瞭にみられ表面あらさもv = 3.3 m/sに比べ良くなっている。かたいけい素粒子等 のせん断のされ方もv = 3.3 m/sではいくぶん切削方向に流れているが、速度が増大するとその傾 向は少なく、硬質粒子のせん断面が加工表面に露呈している。



図 11.5 AC4A-T6 材の低速切削におけ

る仕上面のEPMA分析(DC工具使用)

このようにDC工具で高速切削を行なうと良 好な仕上面が得られるが,この場合の仕上面を 拡大して,低速の場合及びCBN工具の場合に ついて比較した結果を図11.5,11.6,11.7 に示す。図11.5はDC工具でAC4A-T6材 を低速切削した場合の加工表面の面分析結果で ある。表面は構成刃先の脱落痕と思われる付着 物によっておおわれ,実際の切削面はほとんど 表面に現われていないようである。元素分析を みるとSi が非常に細かく分散している。これ は図11.1に示される程度のけい素粒子が,刃 先前方のせん断域において微細に砕かれた後に 付着したと考えられ,切くずの組織と良く似て

AC8A-T6 CBN-Tool V:6.6m/s f:75um/rev



図 11.6 AC8A-T6 材の高速切削における 仕上面の EPMA分析(CBN工具使用)



図 11.7 AC8A-T6材の高速切削における 仕上面の EPMA分析 (DC工具使用)

いる。他の元素についても同様の傾向がみられ,低速切削においては,この構成刃先の脱落痕の付 着が仕上面を劣化させる最大原因と考えられる。図 11.6 はAC8A-T6 材をCBN工具を用いて高 速切削した際の表面状態を示している。この材料ではAC2B材においてみられた溶着痕は少なく, 切削方向に多くのきずが認められる。一部は工具マークであり,他は硬質粒子のせん断片の一部が 被削材表面をいくぶん引搔いた後に被削材表面に押込まれるまでの引搔痕のようである。このため Si 及び金属間化合物を形成しているFe,Mg,Cu,Niの元素は,すべて切削方向に連なってい る。CBN工具では硬質粒子のせん断片が加工物表面を引搔き,面を悪くするようである。同様の切 削条件でDC工具を用いた場合の表面状態を図 11.7 に示す。図に示すようにけい素などの硬質微 粒子のせん断面が,加工表面に露呈し,これら粒子の切削方向前方側に2~3 µm 程度の細隙が認 められる。これは硬質粒子がせん断の際に切削方向に押され,せん断後元にもどるために生じたと 考えられる。この変形の反作用の助力により,せん断がより短時間で行れるため,せん断片はあま り生ぜず,それらの引搔による仕上面の悪化は少ないようである。このためSi,Fe,Mg,Cu,Ni などの元素はCBN工具の場合ほどはっきり切削方向に連なっていない。DC工具の硬質粒子に対



する切れ味は良いようである。 図 11.8 は 四種類の金型鋳造材 のF材とT6材をCBN工具, DC工具を用いて切削した場合の 表面あらさの変化のようすを速度 と送りを変えた場合について示し ている。低速域において,F材で は構成刃先の脱落痕の付着による 仕上面の劣化が認められるが,

T6材ではその程度は小さくなっ ている。削り速度が大きくなると, いずれの合金においても仕上面は

図11.8 CBN工具とDC工具を使用して各合金を切削 した場合の切削仕上面あらさと削り速度の関係

良好になっている。CBN工具とDC工具について比較してみると速度が遅いとおおむねDC工具 がCBN工具よりも構成刃先がつきにくいため良くなっている。速度が早くなると両工具によるあら さの差は縮まり、v = 6.6 m/sではその差は小さくなっている。しかし両工具の硬質粒子に対する 切れ味は上述のように異なるためDC工具が優れていると思われる。

11.2.2。2 SKH4 工具, K10 工具, CBN 工具及びDC 工具による仕上面あらさ

SKH4,K10,CBN,DCの四種類の工具の切削抵抗の比較を図11.9に示す。 このときの切 削条件は v = 16, 3.3, 6.6 m/s f = 125 µm/rev 切込み 1.0 mm一定の乾式切削であり,主分力



図 11.9 SKH4, K10, CBN, DCの各工具 で切削した場合の切削抵抗の比較

Ń		Cutting	Speed	: 1.6	m/s	Cuttin	g Spe	ed : 6.0	6m/s
		SKH4	KI0	CBN	DC	SKH4	KIO	CBN	DC
m/rev	AC48-T6	111	前		11:				J. A.
:37u	7075-76	-1			ņ	2C	5.5		
Feed	AC48 ₆ 76	85	51			ès.	5(ر کی جر ک
Im/rev	AC48-T6		1257	در درون درون	ب گرمی گرمی				
: 754	7075-76	E		20	11	20.2	25		N.S.
Feed	AC48 _c T6	ر بار م کار م کار م کار			11	\mathcal{F}	Ω Ω	ALLEN CON	Contraction of the second

Depth of Cut : I.Omm



SKH4工具よりやや小さくなっている。CBN工具では送りマークの山の部分がある程度削りと られているため、あらさ曲線の上下動は少ないが、送りマークは不鮮明である。DC工具では切れ 味が良いため硬質粒子のせん断面が多く露呈し、送りマークも規則的に認められ良好な仕上面を呈 している。

と送り分力の測定を行なった。AC4B-F材にお いては、切削抵抗が低く各工具の抵抗値にあまり 差はないようであるが、T6処理した合金の切削 抵抗は各工具とも高い値を示し、なかでもDC工 具の抵抗値が他の工具よりも高くなり、とくに送 り分力の増大が著しい。この傾向は7075-T6 材において顕著である。これはダイヤモンド単結 晶工具にみられるくいつきの良さと関係があると 思われるが、詳細は不明である。このため図11. 10に示される切りくず形状をみてもDC工具の切 りくずのみが他と異なりカールした形のものが多く、 すくい面をこする摩擦力が大きいことを示してい る。

図 11. 11 はAC4B - T6 材をv = 6.6 m/s, $f = 37 \mu \text{m/rev}$ の切削条件で,各種工具を用いて

> 切削した場合の仕上面状態とその 近傍のあらさ曲線を示している。 写真の倍率とあらさ曲線の横倍率 は送りの山が一致するように等し くとってある。SKH4工具では 加工表面全体がアルミニウムの薄 い層でおおわれたようになり,と ころどころに硬質粒子が埋まり, 切削方向に沿って引搔痕がみられ るが,あらさ曲線は規則的な送り マークを示している。K10工具 では硬質粒子の破面がみられ,送 りマークは切削方向にまっすぐ連

なり、あらさ曲線の山の高さは



図 11.11 AC4B-T6 材を各工具で切削し た場合の仕上面状況とそのあらさ曲線



図 11.12 AC4Bc - T6材を各工具で高速 切削した場合の仕上面状況とそのあらさ曲線

図 11.12はAC4Bc-T6 材の同様の場合であるが,被削材中のけい素粒子は細かく均一に分散 しているため仕上面状態はかなり異なっている。SKH4,K10 工具はいずれも同じような仕上面 を呈し,規則的な山をくりかえすあらさ曲線となり,けい素粒子の大きいAC4B-T6 材より良い 仕上面になっている。CBN工具の場合も同様であり,SKH4工具やK10工具よりも山の高さが

小さくなり, さらに良くなっている。DC工具では 加工表面に溶着痕が付着し仕上面を悪くしている。

図 11.13はAC4Bc-T6 材を低速切削した場合 について示している。SKH4工具の加工表面は他 の工具に比べ構成刃先の脱落痕の付着が少なく,柔 かいアルミニウムの層が表面に塗られたような感じ を与える。このため送りマークは高いがわりあい規 則的である。しかし他の工具においては,構成刃先 の脱落痕の付着が旺盛であり,低速切削特有の仕上 面の悪さを呈し,あらさ曲線も大きく乱れている。

図 11.14 は、けい素量が少なく他の硬質微粒子も 細かく分散し均質な組織を有する7075-T6 材を v = 6.6 m/s, $f = 37 \mu \text{m} / \text{rev}$ で切削した場合につ いて示している。いずれの工具による仕上面にも溶 着痕はほとんどみられず、工具マークがはっきり認



図 11.13 AC4B_c-T6 材を各工具で 低速切削した場合の仕上面状況とそ のあらさ曲線

められる非常に良好な仕上面を程し,各工具の特徴 があらわれていると思われる。SKH4工具のあら さ曲線はやや丸味を帯びた山の規則的なくりかえし を示し,K10工具とCBN工具のあらさ曲線はよ く類似し,送りと送りの間の凹凸は工具前切刃部の あらさを転写していると思われる。同様のことはD C工具についても言えるが,DC工具では前切刃部 のあらさが他の工具に比し小さいと思われるため, 写真に示されるような高低差の小さい光沢のある仕 上面が得られたと考えられる。この7075-T6材 は低速切削においても構成刃先の脱落痕の付着が各 工具とも生ぜず,高速の場合と同様良好な仕上面が 得られた。

これら各工具によるあらさの数値的な比較を図11. 15 に示す。 低速で構成刃先の生ずるAC4B-T6



図 11.14 7075-T6 材を各工具 で切削した場合の仕上面状況 とそのあらさ曲線

材ではいずれの工具も仕上面は悪化している。しかし高速になると構成刃先が消滅するため,あら さは良くなる傾向を示している。7075-T6 材では構成刃先があまり生じないため削り速度の仕



上面あらさへの影響は小さいようである。またAC4 B-T6材のようにけい素粒子の大きさが表面あらさ 値よりもかなり大きな場合には、このけい素粒子をき ちんとせん断できるDC工具が良く、AC4B_c-T6 材のようにけい素粒子が数 μ mと小さくなると粒子が 小さすぎて十分にせん断できず、必ずしもDC工具が 良いとは言えずむしろSKH4工具が低い値を示している。 均質な組織を有する7075-T6 材では、硬質微粒子 が細かすぎて仕上面にはほとんど影響をおよぼさない ため、アルミニウムとの親和性が小さく前切刃のあら さが小さいDC工具の仕上面が良い。

図11.15 各工具を使用してそれぞれの合金を 切削した場合の仕上面あらさの比較

11.3 ダイヤモンド工具の摩耗特性

11.3.1 実験方法

実験に供した試料は第10章において使用したA1 – 17%Si – T6材である。切削試験に使用したDC工具は前節のDC工具と同一の材質,形状を有する。DC工具の摩耗を比較するために使用した工具はP10,K10の超硬合金工具及びCBN工具(バインダにGoを使用)であり,いずれもDC工具と同じ工具形状を有している。工具摩耗試験は削り速度v = 2m/s,送りf = 0.1mm/revの低速切削とv = 5,10m/s,f = 0.075mm/revの三種類の速度で,いずれも切込みt = 1.0 mm一定の乾式切削を行なった。工具摩耗幅は一定時間毎に工具逃げ面の平均摩耗幅 V_B を測定した。EPMAによる観察は工具付着物を除去した後のすくい面について行なった。

11.3.2 実験結果

DC工具を用いてA1 - 17% Si - T6材をそれぞれの削り速 度で切削した場合の工具摩耗幅 と切削時間の関係を図 11.16に 示す。比較のために使用した P10,K10の超硬合金工具及びC BN工具についても示している。 削り速度 v = 5m/sの場合を比 較すると、この速度では超硬合金工 具の摩耗が激しく実用にならな いことがわかる。これは工具材 料のTiC,WCともにけい素粒



子よりも硬さが低く,大きな初晶のけい素粒子による引掻き作用による摩耗が大きいためとみられる。しかし,けい素粒子よりも大きな硬さを有するCBN粒子やダイヤモンド粒子では,引掻きによって削り取られる量は少ないため20min程度の切削においても摩耗量は小さく,まだ使用可能である。

DC工具とCBN工具の摩耗量を削り速度を変えて比較してみると、いずれの速度においてもD C工具の摩耗量がCBN工具よりも小さく、DC工具がこの合金の切削には最も適していることが 分かる。削り速度が遅くなるにつれて工具摩耗が著しく小さくなるのは、この工具の摩耗がけい素 粒子の引搔きによるものではなくCBN工具と同様バインダのひの拡散によることを示している。 フィックの法則によれば物質の拡散定数はD=Ae -9 fr (Q:活性化エネルギ,R:ガス定数, T:絶対温度,A:定数)で示され、物質の拡散速度は温度上昇とともに指数関数的に急激に増大 する。このため削り速度が遅く切削温度が低いと摩耗の進行はきわめてゆっくりしているが、削り 速度が早く切削温度が高くなると摩耗は急激に進行すると考えられる。またCBN工具よりも寿命 が長い原因としては、CBN粒子の熱伝導率(13 W/(m.k))よりもダイヤモンド粒子の熱伝導率 (21W/(m.k))が大きく切削部の温度上昇が少くないこと及びCBN粒子のかたさ(Hy=4500) よりもダイヤモンド粒子のかたさ(Hy=9000以上)が硬くほとんど引掻きによる摩耗が生じな いためと考えられる。

削り速度 v = 2m/s, f = 0.1mm/rev の条件で190min切削後のすくい面の摩耗状況を観察すると, 摩耗域は切刃から 0.4 mm程度であり,長時間の切削にもかかわらず摩耗量は1 μm 以下である。



190 分切削後のすくい面中央部の線分析

Diamond tool (1)



図 11.18 DC工具でAC4B-T6材をv=6.6 m/s
 で 36分切削した後の切刃部中央のEPMA分析

切刃から約 0.1 5 mmの幅の部分で は第 6 章の乾式切削においてみら れた掘り起された部分がみられ, この部分まで切削温度が高いこと を示している。図 11.17 はすくい 面中央部の線分析結果を示してい るが少量の Fe, Si 以外の付着物 はほとんどなく,ダイヤモンドは きわめて安定であることを示して いる。ダイヤモンド粒子が鉄以外 の元素とはあまり結合しない例を 図 11.18 に示す。

図 11.18はAC4B-T6 材を DC工具を用いて v = 6.6 m/s, f = 0.075 mm/rev の条件で36 min切削した後の切刃中央部の分析 写真であるが,この部分に直径約 50 μ mの大きなダイヤモンド粒子 があり,この粒子にはAl,Cu, Siはほとんど付着せずFeのみ が付着している。このようにダイ ヤモンドはFeとの親和性は強い ようであるが他の非鉄金属とは反 応しないようであり,DC工具は 非鉄系の切削に適していると思わ れる。A1, Cu, Si はCoに付着していると考えら れる。

工具摩耗の最も激しいv = 10 m/s,

f = 0.075 mm/revで約2min 切削した場合のすくい 面摩耗状況を図 11.19 に示す。摩耗幅は約300,um 程度であり,切くず流れに沿って付着物が付き, **摩**耗形態はAl-17% Si-T6 材をCBN工具を用 いて切削した場合とよく似ている。切刃部におけ るすくい面摩耗量は10μmであり、摩耗終端まで一定の傾きで摩耗している。逃げ面摩耗が大きい



図 11.19 DC工具で 17% Si-T6 材をv =10 m/s で約2分切削後のすくい面摩耗状況

ので切刃は 10µm 程度後退している。 図11.20は 切刃中央部の



拡大写真と元素面分析結果で あるが, 切刃部において切削 温度が高くなるため Fe の付 着が多く, Fe 濃度の高い部 分のC濃度は低下しているた めFeはダイヤモンド粒子上 に付着しているとみてよい。 S;も多く付着しているが, これはCoと結合しているとみ られる。(2)部分においても同 様の傾向がみられ後述の(3)部 分のCo濃度よりもこの部分で は低くなっている。Feの付 着は(1)部分よりは減少してい る。

図 11.20 切刃中央部の EPMA分析

図 11.21 は摩耗終端部の同様の結果を示しているが,写真上半分は摩耗していて Si の付着がみ られるが,下半分は摩耗していないためSiの付着は認められない。 このため下半分のC濃度は高 くなっており、SiはGuに付着してからダイヤモンドの粒子の上へ広がっているものと思われる。 またG。濃度は写真の上と下とではあまり差はなくGとSiは結合していることを示している。

このようにDC工具における工具摩耗機構はCBN工具と同様バインダのCoと被削材中のSiと の結合によって焼結強度が低下しダイヤモンド粒子が脱落する形で進行すると考えられる。なお、 いずれの切削条件においても亀裂や剥離の現象はみられなかった。

11.4 結 言

以上DC工具によるA1-Si 系合金の切削を行ないその仕上 面特性と工具摩耗特性について 高速度鋼工具,超硬合金工具及び CBN工具との比較において検討 した結果をまとめると以下のよ うになる。

(1) 硬質粒子の粒径が数+µm ~百µm程度と大きい金型鋳造 材の切削においては,硬質粒子 を十分にせん断できるDC工具 の仕上面が良行であった。

(2) 硬質粒子の粒径が数um と細かい半連続鋳造材の切削に Diamend tool (1)



図 11.21 摩耗終端部のEPMA分析

おいては, DC工具を用いてもそれを十分にせん断することができず, DC工具の優位性はなくなる。

(3) けい素粒子が少なく他の硬質粒子も微細である展伸用押出し材の切削においては、硬質粒子 による加工面の損傷はほとんどなく、工具前切刃のあらさが被削材表面に転写されるためDC工具 が良好な仕上面を程した。

(4) ハイパーシルミンの切削にはCBN工具よりもDC工具の方が優れているが、工具摩耗はCBN工具と同様バインダのGoと被削材中のSiとの結合による焼結力の低下によってダイヤモンド粒子が脱落する形で進行する。

文 献

1) 鳴瀧則彦,山根八州男,武内隆郎: 精密機械, 45,2(1979),81.

2) 機械技術: 29, 5(1981), 33~72.

第12章 総 括

本論文においては現在使用されている高速度鋼工具と超硬合金工具及び近年開発されたCBN 焼結工 具やダイヤモンド焼結工具を用いて,アルミニウム合金のなかでも,比較的工具摩耗が激しいA1 -Si系及びA1-Cu-Mg系合金を切削した場合の各工具の摩耗状況をEPMAにより観察し,そ れぞれの工具の摩耗機構を調べた。一方工具摩耗を改善する目的で,A1-Si系合金に微量のNa, Sr,Sbの添加を行ない,被削材の金属組織的な改良による工具摩耗の軽減を試みた。

得られた結論はすでに各章の終りに示したが、それらを要約すると次のようである。

(1) 第2章,第4章においては高速度鋼工具の摩耗を調べ,その結果,この工具では被削材中に 存在するけい素粒子などの極めて引搔き硬さの高い硬質粒子が工具面を擦過し,工具母材を削りと り,工具材中の硬いタングステン炭化物粒子を浮き上らせ,やがてそれを脱落させる形態で工具摩 耗が進行することを明らかにした。

(2) 第3章,第5章,第6章においては成分の異なる超硬合金工具を使用し、TiCの粒子が使用され ている工具では、工具成分中のTiがCを遊離して工具付着物や切りくず中に拡散するため工具摩 耗が早く、アルミニウム合金の切削にはWC粒子からなるK種工具が適していることを示した。ま たK種工具においてもバインダのCoと被削材中のSiやFeとの結合が生じ、焼結力の低下した部分 でWC粒子が脱落して工具摩耗が進行することを明らかにした。

(3) 第7章,第8章においてはA1-Si, A1-Si-Mg, A1-Si-Cu-Mg系の合金に微量のNa, Sr, Sbを添加して共晶けい素粒子の微細化をはかり, これらの元素が工具摩耗に有効であることを示した。またA1-Si共晶合金にSr, Sbの添加量を変えた場合について調べ, この合金には有効なSr, Sbの添加量が存在することを示し,工具摩耗が減少することを明らかにした。

(4) 第9章,第10章においてはCBN工具を用いてハイパーシルミンの切削を行ない、このC BN工具は超硬合金工具よりも工具寿命が著しく長く、実用的には低速乾式切削が有効であり、バイン ダの成分としては被削材との親和性が比較的小さいGか優れていることを示した。鉄系の材種の切 削にはAl₂0₃ がバインダのCBN工具の寿命が長かった。そしてこのCBN工具の摩耗も超硬合 金工具の場合と同様、バインダのGと被削材中のSi, Feの結合によって焼結強度の低下が生じた部分 でCBN粒が脱落する形で摩耗が進行することを明らかにした。

(5) 第11章においては最も硬い素材であるダイヤモンドを使用したダイヤモンド焼結工具を用 いてアルミニウム合金を切削した場合の仕上面特性と摩耗特性をCBN工具との比較によって調べ, 被削材中の硬質粒子が数十µm程度あるいは1µm以下の場合にはダイヤモンド焼結工具による仕上 面が良いこと及びダイヤモンド工具の耐摩耗性はCBN工具よりも優れているが,その摩耗機構は C'BN工具と同じであることを示し、ハイパーシルミンの切削には、ダイヤモンド工具が最も優れていることを明らかにした。

アルミニウム合金切削用の工具としてはダイヤモンドが良く,バインダにはA1, Si, Fe, Cu Mg, Zn, Niなどと親和性が極めて小さい材料が用いられればさらに優れた工具となる可能性が ある。

2-12-14

11
謝

辞

本論文の作成にあたり、終始御懇篤な御指導と周密な御校閲を賜った大阪大学長谷川嘉雄教授に謹んで深甚な感謝の意を表します。

また本論文に対し有益な御助言を賜った大阪大学 津和秀夫教授, 井川直哉教 授に厚く御礼申し上げます。

本研究全般の遂行にあたり直接御指導下さいました静岡大学 財満鎮雄教授, 富山大学 高辻雄三教授, 多々静夫教授に心から感謝の意を表します。

なお本実験の遂行にあたり御指導下さいました富山大学 能登谷久公講師, 南立作助手,中谷訓幸助手,山本喜太郎技官ならびに静岡大学 鈴木康夫助教授, 加茂進助手,飯尾政次技官,鈴木正志技官,奥島裕樹氏に深く感謝申し上げます。