

Title	Al-Mg系合金の被削性に関する研究
Author(s)	佃,市三
Citation	大阪大学, 1985, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1371
rights	
Note	

# Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

# Al-Mg系合金の被削性 に関する研究

# 昭和60年8月



佃

市 三

第1章	緒	論
1.1	Al-M	Ig系合金の被削性に関する従来の研究
1.2	本論文	Cの内容
		·
第2章	5056 合会	金の乾式切削特性
2.1	緒	言
2.2	実験	方 法
2.3	実験結	果および考察6
	2.3.1	切削抵抗および切削温度 6
	2.3.2	切削仕上面
	2. 3. 3	工具摩耗
	2.3.4	切りくず形状
2.4	結	言
第3章	5056 合会	金の湿式切削特性17
3.1	緒	言
3.2	実 験	方法
3. 3	実験結	ままよび考察
	3. 3. 1	切削抵抗および切削温度17
	3. 3. 2	切削仕上面
	3. 3. 3	工具摩耗
	3. 3. 4	切りくず形状
3.4	結	言

目

次

第4	1章		5056	合金切	辺削時のエ	具摩耗	に及ぼす	材料特性	の影響		 	··· 25
	4.	1	緒		言						 	··· 25
	4.	2	実	験 方	法						 	25
	4.	3	実	験結果	および考測	察					 	··· 26
			4. 3.	1 製	造条件の	影響 ·				•••••	 	··· 26

Ľ,	4. 3. 2	機械的	的性質の影響	28
L,	4. 3. 3	材料組	1織の影響 …	
	4.3	. 3. 1	鋳塊組織	
	4.3	. 3. 2	供試材組織	
4.4	結	盲		

第5章	î A	l−Mg系	合金切削	同時の工	具摩耗(	に及ぼ	す微量液	《加元素	の影響	•••••		6
5	. 1	緒	言			• • • • • • • • •						6
5	. 2	実験方	法			• • • • • • • • •						6
5	. 3	実験結果	よおよび オ	考察 …						•••••	3	7
	5	5.3.1 供	、 試 材	才	••••••						3	7
		5. 3. 1	.1 材	料組織	· · · · · · · · ·	• • • • • • • • • •					3	7
		5. 3. 1	.2 機材	戒的性質							3	9
	Ę	5.3.2 ⊥	二 具 摩 兼	毛	• • • • • • • • • • • •	•••••	•••••				4	0
5	. 4	結	言		••••••		•••••				4	4

第6章	5056 合	金の被削性に及ぼすFe、Si量の影響45
6.1	緒	言
6.2	実 験	方 法
6.3	実験結	5果および考察46
	6.3.1	切削抵抗および構成刃先の生成状況46
	6.3.2	切削仕上面
	6. 3. 3	工具摩耗
	6. 3. 4	切りくず形状
6.4	結	言

第7	章	Al-Mg	g系合金の	)被削性に	及ぼすMg	量の影響		 	}
	7.1	緒	÷۰۰ ا				•••••	 	)
	7.2	実 験	方法…					 	9
	7.3	実験絲	吉果およて	『考察	••••		••••••	 	9
		7.3.1	供 試	材				 	9
		7.3.2	切削抵抗	1、構成刃	先および切	りりくず形	状	 	1

7	. 3. 3	加工変質層
7	. 3. 4	鏡面仕上面品位
7.4	結	言

第8章 Al-M	g系合金の切りくず処理性に及ぼす添加元素の影響70
8.1 緒	言
8.2 実影	5方法
8.3 実験	結果および考察
8.3.1	供試材の機械的性質
8. 3. 2	切りくず形状
8. 3. 3	切りくず生成の微視的観察
8. 3. 4	切りくず形状と化学組成
8.3.5	切りくず形状とシャルピー衝撃値
8.4 結	言
第9章 総	括

# 第1章緒 論

切削用アルミニウム合金としては2011、2017、5052、5056、6262合金が代表的な合金で ある。この中で5052、5056 合金で代表される Al-Mg系合金は適度な強度を有し、耐食 性に優れ、切削後の表面仕上りが良好で陽極酸化処理後の仕上りも美しく均一性に富むこ とより、主としてカメラ部品として使用されてきた。また、最近では、複写機用感光ドラ ム、ポリゴンミラー、磁気ディスクなど鏡面が要求される部品としても使用されている。 Al-Mg系合金の強度は主要添加元素であるMgの含有量と冷間加工度によって調整され る。Mg含有量を多くすると強度が向上するが加工性が低下することから、Mg含有量の異 なる各種の Al-Mg系合金が規格化されている。このように、各種の Al-Mg系合金が切 削用材料として多くの用途に使用されるためには、各合金の切削特性を明確にし、またよ り被削性の向上をはかることが必要である。

#### 1.1 AI-Mg系合金の被削性に関する従来の研究

まず切削抵抗に関しては、5056合金での切削速度による影響、<sup>1) 2)</sup>工具すくい角による 影響を取り扱ったもの、5052合金で切削初期の過渡現象を主として構成刃先生成の観点から 検討したものがある。<sup>3)</sup> 被削材組織の影響については、Al-5%Mg、Al-10%Mg 合金 での鋳造時の冷却速度、<sup>4)</sup> AC7A合金での鋳造組織の種類、<sup>5)</sup> 5052 合金冷間圧延材での 異方性<sup>6)</sup> が取り扱われている。しかし、Al-Mg系合金は押出し材、引抜き材として用いら れることが多いにもかかわらず、この種の製造条件と被削性の関係についてはまったく報 告されていない。合金組成では5052合金は5056合金よりも切削抵抗がわずかに大きいとい われている<sup>7)</sup> だけであり、系統的に実験を行った例は見あたらない。

切削温度に関しては、5056合金鋳造材を用いて切削速度と送りの影響についてしらべられている。<sup>8)</sup>

切りくず処理性に関しては、5056合金での切削速度、送りおよび切込みによる切りくず 形状の観察が行われ、<sup>2)9)</sup>切りくず処理が困難であるとされているが、その改善を試みた 研究はほとんど見あたらない。

切削仕上面に関しては、5056合金での切削速度、送りおよび切込みによる仕上面あらさ を測定し、主として構成刃先の観点から考察がなされている。<sup>10)</sup>すなわち、5056合金は 構成刃先が生成されやすく、切削条件により切削仕上面が複雑に変化するとしている。

工具摩耗に関しては、Al-10% Mg合金鋳造材で冷却速度の影響についてしらべられて

おり、<sup>4)</sup> 被削材中の硬質粒子による引っかき摩耗(abrasive wear)が論じられている。 しかし、実用合金5052、5056に関する工具摩耗の研究報告は見あたらない。

その他、5056合金切削での工具材質が切削抵抗、仕上面あらさおよび切りくず形状に及 ぼす影響がしらべられている。<sup>11)</sup>

以上のことから、Al-Mg系合金は被削性が良好でないにもかかわらず強度、耐食性、表面処理性が優れているため切削用材料として多量に使用されているが、被削性に関する系統的な研究が少なく、しかもその被削性向上に関する報告はほとんど見あたらないのが現状である。

#### 1.2 本論文の内容

本研究の目的は実用化されている各種 Al- Mg系合金の被削性を他のアルミニウム合金 と比較して明確にするとともに、切削条件はじめ被削材の合金組成、製造条件などを検討 して被削性の向上をはかることにある。

本論文の構成は以下のとおりである。

第2章では5056合金の乾式切削特性を他のアルミニウム合金(2011、2017、G67合金)、 快削黄銅および快削鋼と比較してしらべ、5056合金を切削する場合、構成刃先の生成が旺 盛であることから工具形状、切削条件の選定を厳密に行う必要があることを示した。

第3章では5056合金の湿式切削特性をしらべ乾式切削に比べ、切削抵抗、仕上面あらさ が改善できることを示した。

第4章では材料の製造条件を変えることにより、5056合金切削時の工具摩耗と、機械的 性質、材料組織との関係をしらべた。工具摩耗は引張り強さ、シャルピー衝撃値と強い相 関があり、これらはビレットの均質化処理工程におけるMg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>晶出物の挙動に大きく 影響されることを示した。

第5章では5056合金切削時の工具摩耗に及ぼす微量添加元素Fe、Si、Mn、Cr、Ti、B の影響をしらべた。これらの微量元素はマトリックスに固溶されない場合、硬い第2相粒 子を形成し工具に対して引っかき摩耗を増大させる効果と、固溶した場合、工具の拡散摩 耗を防止させる効果のあることを示した。

第6章では5056合金の被削性に及ぼすFe、Si微量元素の影響をしらべ、Fe、Siのごくわずかの添加量が工具摩耗、仕上面あらさに影響を及ぼすことを示した。

第7章ではAl-Mg系合金の被削性に及ぼすMg添加量の影響をしらべ、切削抵抗、構成刃先、切りくず処理性、加工変質層の深さ、仕上面反射率はMg添加量に影響されることを示した。

第8章ではAl-Mg系合金の切りくず処理性に及ぼすSi、Pb、Sn、Li、Na、Ca添加の 影響をしらべ、Si、Pb、Sn、Naの添加が有効であることを示した。

第9章は本論文の総括である。

# 参考文献

- 1) 橘高重義、佐藤金司、上遠野光敏、久保修 二機械と工具、(1975)、101.
- 2) 財満鎮雄、加茂進、荒尾和行:軽金属、13(1963)、400.
- 3) 財満鎮雄、岡崎忠雄:日本機械学会論文集、33(1967)、641.
- 4) 山田始、田中他喜男:軽金属、26(1976)、550.
- 5) 嵯峨常生、永井修次: 軽金属、27(1977)、391.
- 6) 佐藤元太郎、加藤良雄、土屋和博二軽金属、28(1978)、93.
- 7) 室町繁雄、多々静夫:軽金属、16(1966)、182.
- 8) 栗原健助、菊地庄作、江田弘二軽金属、18(1968)、13.
- 9) 橘高重義、佐藤金司、上遠野光敏、久保修二機械と工具、(1976)、97.
- 10) 財満鎮雄、飯尾政治、北村為之二軽金属、13(1963)、405.
- 11) 財満鎮雄、飯尾政治、加茂進二軽金属、15(1965)、170.

# 第2章 5056合金の乾式切削特性

#### 2.1 緒 言

5056合金の被削性については一部報告されているが<sup>1)~6)</sup>最近では用途、加工法などに よって、合金組成を変えた数種類の合金が使い分けされている。とくに強度をあまり主眼 とせず押出し、引抜き、鍛造等の加工性向上をはかる目的で標準成分よりMg量を減少し た改良合金が開発されている。また、切削仕上面の品位、表面処理性が要求されるとき、 Fe、Si量を低減させた5056合金が使用される。これらの5056改良合金についての被削性は いまだ明らかにされていない。そこで各種5056系改良合金の被削性を快削合金2011、高強 度合金2017、表面処理性に優れた快削合金G67のアルミニウム合金、快削黄銅、快削鋼と 比較して検討した。

#### 2.2 実験方法

実験に供した試料は表 2.1 に示す化学組成の2011 ( $T_3$ 、 $T_8$ )材、2017 ( $T_4$ )材、5056 (A、B、C、D)材、G67 ( $T_6$ 、 $T_8$ )材、快削黄銅、快削鋼の11種類の直径50mm丸棒である。

これらの機械的性質を表 2.2 に示し、顕微鏡組織を図 2.1 に示す。なお、組織は棒材の縦 断面の組織観察である。

Material	Si %	Fe %	Cu %	Mn %	Mg %	Cr %	Zn %	Ti %	Bi %	Pb %	Sn %	Al %
2011	0.07	0.29	5.26					0.02	0.54	0.51		bal
2017	0.29	0.24	3.87	0.48	0.40		0.05	0.02				bal
5056A	0.12	0.17		0.07	4.63	0.06		0.01				bal
5056B	0.07	0.09		0.06	4.08	0.04		0.01				bal
5056C	0.12	0.18		0.06	4.21	0.06		0.02				bal
5056D	0.07	0.10		0.06	3.88	0.06		0.02				bal
G67	0.75	0.33	0.62	0.08	0.70	0.22	0.01	0.02		0.55	0.75	bal
Material	Cu %	Fe %	С %	Mn %	Р %	S %	РЬ %	Sn %	Zn %			
C3604BE	59.0	0.70					2.7	0.8	bal			
G4804 SUM24L		bal	0.15	0.95	0.07	0.3	0.23					

表 2.1 化学組成 (%)

- 4 -

Material	Tensile strength MPa	Yield strength MPa	Elongation %	Vickers hardness Hv
2011-T3	334	296	14.6	120
2011-T8	402	311	18.6	131
2017-T4	489	336	18.0	133
5056A	309	274	22.2	96
5056B	289	262	24.6	100
5056C	280	263	23.0	97
5056 <b>D</b>	273	255	25.0	92
G67–T6	358	334	17.0	102
G67–T8	368	343	15.2	115
C3604BE-F	334	126	50.0	108
G4804 SUM24L	490	254	32.0	191

表 2.2 機械的性質



#### 図 2.1 供試材ミクロ組織

切削にはOKK – RAMO型高速精密旋盤(55~2500 rpm、ベット上の振り370mm、5.5 KW)を使用し、刃先諸元0- $\theta$ -7-7-8-0-0(ここで横すくい角 $\theta$ を0、10、20および30° に変化させた)の高速度鋼(SKH4)製片刃バイトにより乾式切削を行った。切削条件は 切込み  $t_1 = 1$ mm一定とし、切削速度 V を50~400 m/minで5種類、送りfを0.06~0. 25mm/revで4種類に変化させ、これらの条件を適宜組み合わせた。

#### 2.3 実験結果および考察

#### 2.3.1 切削抵抗および切削温度

切削抵抗は切削速度にはあまり影響されないが、送りの影響を受ける1)のでとくに送り を変えてしらべた。切削速度 V = 300m/minにおける切削抵抗(主分力および送り分力) を示したのが図 2.2 である。



図 2.2 切削速度 300m / minにおいてすくい角、 送りを変化させたときの切削抵抗

すくい角θが大きいほど、また送りfが小さいほど主分力、送り分力ともに小さくなり、 θが20°以上ではfが大きくなっても送り分力は著しく小さい。2011合金の切削抵抗は最も 小さく、G67合金も比較的小さいが5056系合金、2017合金は比較的大きい値となっている。 また、快削黄銅の切削抵抗はアルミニウム合金と比較し大きな差はないが、快削鋼の主分 力は著しく大きいのが特徴である。

この場合の切削条件における切削温度Tを工具一被削材熱電対法<sup>7)</sup>によって求めたの が図2.3である。



図 2.3 切削速度 300m / min においてすくい角、 送りを変えたときの切削温度

送りが大きくなるにつれてまた概略的にみてすくい角が小さくなるにつれて切削温度は高くなっている。合金別にみれば、2017合金が比較的高い切削温度をとり、2011合金、G 67合金では低く、5056系合金はその中間にある。V = 100m / minの場合には図 2.4 のようになり、V = 300m / minとほぼ同様な傾向をとった。



32.4 切削速度100m/minにおいてすてい) 送りを変えたときの切削温度

ここで供試材のシャルピー衝撃値Eおよびせん断強さ τ<sup>8)</sup>を示したのが図 2.5 であり、 シャルピ衝撃値は5056系合金が大きく、2017合金がこれに次ぎ、2011合金、G67合金は快削 黄銅、快削鋼とほぼ同じ程度でかなり小さい値である。



図 2.5 供試材のシャルピー衝撃値、せん断強さ

このシャルピー衝撃値は必ずしも切削抵抗ないし切削温度との対応性はないようである。 また、せん断強さの傾向も切削抵抗ないし切削温度との対応性はみられない。しかし、供 試材の引張り強さと切削抵抗(主分力および送り分力)および切削温度の関係を求めれば、 図 2.6 のような関係が認められ、アルミニウム合金の中では引張り強さσ<sup>B</sup>が大きい材料で は、切削抵抗は小さく、反対に切削温度はやや高くなる傾向にある。



図 2.6 引張り強さ、切削抵抗および、 切削温度の関係

#### 2.3.2 切削仕上面

送り f が0.125 m / revのもとで、切削温度、すくい角が切削仕上面あらさ R maxに及ぼ す影響をしらべたのが図 2.7 である。2011合金、2017合金、G 67合金は一般的に仕上面あ らさは良好である。5056系合金では $\theta = 0^\circ$ でV = 100 m / minのとき仕上面あらさがかな り悪くなっているが、V = 200 m / min以上、または $\theta = 20^\circ$ の場合には良好である。こ のことから5056系合金は他のアルミニウム合金に比べ低速切削またはすくい角が小さい場 合には良好な切削仕上面が得られにくく、構成刃先の生成が旺盛であると考えられ、高速 切削またはすくい角を大きくする必要がある。図 2.8 に V = 200 m / minで切削した場合 の切削仕上面状況の例を示すが、前述のように高速切削ではいずれの合金についても比較 的良好な工具の送りマークが認められる。



#### 図 2.7 送り0.125mm/revにおいて すくい角、切削速度を変えた ときの表面あらさ

f=0.125 mm/rev

□ v1=100m/min v2=200m/min ■ v3=400m/min

Feed Material	0.06mm/tev	0.2mm/rev
2011-73		wenstelling
2017-T4	UNITE HERE	
5056 A	<b>A que prima</b>	
5056 B		
5056 D		
G67-T6		
C3604BE-F		
G4804 SUM24L	e in op st	

図 2.8 代表的な切削仕上面状況

SKH4 Tool, Side Rake Angle &=20° Cutting Speed v=200 m/min Depth of Cut ti=1 mm

#### 2.3.3 工具摩耗

V = 400 m/min、f = 0.25 mm/revで各種材料を切削した場合、切削時間tc = 35s に おける工具摩耗状況を示せば図 2.9 のようになる。この場合の逃げ面摩耗幅 VB<sup>9</sup>を求めれ ば図 2.10のようになる。快削鋼の摩耗幅の大きいのは当然であるが、他の材料では2017合 金で大きい。5056系合金では合金による差はほとんどなく比較的小さい。ここで各合金の 引張り強さ  $\sigma_B$  およびビッカース硬さ Hvと摩耗幅 VB との関係を求めれば図 2.11のように なる。これから  $\sigma_B$  あるいは Hvが大きい材料ほど VB が大きいことがわかる。

これは oB あるいはHvが大きい材料ほど図 2.6 に示したように切削温度が高くなり、したがって熱拡散が支配的役割を演じるようになると考えられる。5056系合金は工具摩耗が比較的少なかったが、図 2.11より oB あるいはHvのわりには工具摩耗は他の合金に比べ大きいようである。

	2011-73	2011-78	2017-74
Tool Face			切伸
Tool Flank		<b>H</b>	
5056 A	5056 B	5056 C	5056 D
1.1	74.20 74.20		·
		T mala	
G67-T6	G67-T8	C3604BE-F	G4804 SUM24 L
			The second
SKH4 Tool, Cutting Spe	Side Rake An ed v=400 n	gle θ=10° n∕min	

Cutting Speed v=400m/min Feed f=0.25mm/rev Depth of Cut t<sub>1</sub>=1 mm

図 2.9 工具摩耗状況



図 2.10 工具逃げ面摩耗幅



図 2.11 硬さおよび引張り強さと逃げ面摩耗幅の関係

#### 2.3.4 切りくず形状

アルミニウム合金の切削で困難な問題の1つは切りくず処理である。長く続き延性があ り、チップブレーカーで破断処理が容易でなく工作物に巻きついて仕上面を荒すことがあ る。切りくずは被削材と切削条件によっていろいろなタイプで生成する。切りくずの分類 については種々の提案がされているが、ここでは図2.12に示す西ドイツ切削情報センター (INFOS)の切りくず形状分類<sup>10)</sup>に従って、切りくず形状を分類した。図中1~3を切り くずが長く処理困難とし●印、6~8を処理良好な切りくずとして〇印、4、5、9、10をやや 処理良好として①印でそれぞれ区分した。切りくずを分類した結果を図2.13に示す。

	<u> </u>		1 - <u> </u>
/		Bands pä ne	
2		Wirrspäne	 Tunstig –
3		Floch - wendelspäne	5un —
4		Schräg - wendelspäne	
5		Lange zyl. wendelspäne	
6		Kurze zyl. wendelspäne	hbar
7	205	Spiral wendelspäne	tut — brauc
8	ଌୄଈୄୄୄୄୄୄୄ	Spiralspäne	
9		Spanblocken	
10		Bröckelspäne	

図 2.12 IN FOSの切りくず形状分類

		Jun = 5.0	100	- 200	700	
			V2=100	V3=200	V4=500	v.5-400
			mzmin	mzmin	mzmin	111/11/11
Material		<i>0102030</i> 4	01020304	<i>0102030</i> 4	01020304	01020304
2011-73	f 3 f 2 f 1					0000 0000 0000
2011-78	f 3 f 2 f 1	<b>0</b> 000 0000 0000	●000 0000 0000			
2017-T4	f 3 f 2 f 1					
5056 A	f 3 f 2 f 1					
5056 B	f 3 f 2 f 1					
5056C	f 3 f 2 f 1					
5056 D	f 3 f 2 f 1					
G67-T6	f 3 f 2 f 1	0000 0000 0000		0000 0000 0000	<b>0</b> 000 0000 0000	<b>0</b> 000 0000 0000
G	f 3 f 2 f 1			0000 0000 0000	0000 0000 0000	0000 0000 0000
C3604BE-F	f 3 f 2 f 1					
G4804 SUM241	f 3 f 2	0000	0000			
50m2 4L	11	10000	0000	00000	0000	<u> </u>

 $f_1 = 0.06 \text{ mm/rev}, f_2 = 0.125 \text{ mm/rev}, f_3 = 0.25 \text{ mm/rev}$   $\theta_1 = 0^\circ, \theta_2 = 10^\circ, \theta_3 = 20^\circ, \theta_4 = 30^\circ$  $\bigcirc \text{ Good } \qquad \bigcirc \text{ Suitable} \qquad \bigcirc \text{ Inferior}$ 

図 2.13 切りくず形状

すなわち、快削黄銅や快削鋼で切りくず処理が容易であることは周知のことであるが、ア ルミニウム合金では2011合金、G67合金が処理性が良好であり、5056系合金、2017合金で は連続して長い比較的処理困難な切りくず生成がみられる。4種の5056系合金間では成分 の差は切りくず処理性にほとんど影響を与えないようで、ほぼ同一の切りくず生成挙動で ある。すなわち全般的に切りくず形状は直線状またはカール半径の大きい連続型切りくず になりやすいが、比較的良好な切りくずを得るには低速切削ですくい角を小さくする必要 がある。しかしこのような切削条件では前述したように切削仕上面が悪くなることから、 用途に応じた切削条件の選定が必要である。

#### 2.4 結 言

以上、アルミニウム合金について、高速度鋼工具を用いた乾式旋削における切削特性の 概要を要因別にまとめれば、図 2.14のようになる。

Factor	Cutting Resistance	Cutting Temperature	Cut Surface	Flank Wear	Chip Form
2011-T 3	0	0	0	0	0
2011-78	0	•	0	•	0
2017-T4	•		0	•	•
5056 A		•	0	0	•
5056 B	•	•	0	0	
5056C	•	٩	0	0	
5056D	•		•	0	
G67-T6	0	0	0	0	
G67-T8	0	0	0	•	0
O Good	d (	Suitable	Infe	erior	

図 2.14 各合金の旋削における切削特性

これからみれば各要因とくに切削用材料として重要な工具摩耗、切りくず処理などは20 11合金、G67合金で良好な特性を示す。4種類の5056系合金では次のことが明らかになった。

- (1) 構成刃先が生成されやすいため、切削速度を200m/min以上、または横すくい角を 20°以上にしないと切削仕上面が良くならない。
- (2) アルミニウム合金一般には引張り強さ、またはビッカース硬さが大きいほど工具摩 耗が大きくなるが、5056系合金では引張り強さ、またはビッカース硬さのわりには工 具摩耗が大きい。
- (3) 切りくず処理性は切削条件全般にわたって良くないが、特徴的なこととして、快削 アルミニウム合金(2011、G67合金)は高速切削でより切りくず処理性が良好になる のに対して、5056系合金では低速切削の方がむしろ良好である。

# 参考文献

- 1) 財満鎮雄、加茂進、荒尾和行二軽金属、13(1963)、400.
- 2) 財満鎮雄、飯尾政治、北村為之二軽金属、13(1963)、405.
- 3) 財満鎮雄、飯尾政治、加茂進: 軽金属、15(1965)、170.
- 4) 橘高重義、佐藤金司、上遠野光敏、久保修 機械と工具、1975、101.
- 5) 橘高重義、佐藤金司、上遠野光敏、久保修二機械と工具、1976、97.
- 6) 室町繁雄、多々静夫:軽金属、16(1966)、182.
- 7) 財満鎮雄、岡崎忠雄:日本機械学会講文集、35(1969)、1945.
- 8) 北御門良夫:日本機械学会講文集、26(1960)、1735.
- 9) 財満鎮雄、鈴木康夫、奥島裕樹、山田茂二軽金属、31(1981)、341.
- 10) 奥島啓弐:マシナビリティ、11(1973)、1.

## 第3章 5056合金の湿式切削特性

#### 3.1 緒 言

切削油の作用としては潤滑、冷却、凝着防止とされている。したがって、切削油を使用 することにより、低速域での切削において構成刃先の生成防止による仕上面あらさの改善、<sup>1)</sup> 工具摩耗の減少、切りくず処理性の改善等が期待できる。一方、高速域では低粘度の水溶 性切削油は冷却効果が大きく、工具摩耗の低減、加工精度向上に効果があると考えられる。

そこで、本章では5056系合金の切削で問題となった切削仕上面あらさ、工具摩耗、切り くず処理性などが湿式切削でどの程度改善できるか他のアルミニウム合金、快削黄銅、快 削鋼とともに検討した。

#### 3.2 実験方法

供試材は前述のように2011 ( $T_3$ 、 $T_8$ )材、2017 ( $T_4$ )材、5056 (A、B、C、D)材、G 67 ( $T_6$ 、 $T_8$ )材、快削黄銅、快削鋼の11種類で、直径50mm丸棒である。これらの試料 の化学成分、機械的性質および顕微鏡組織は第2章に示したものと同一である。

切削試験はOKK-RAMO型高速精密旋盤(55~2500 rpm、ベット上の振り370 mm、5. 5 KW)を使用し、工具としては刃先諸元0-θ-7-7-8-0-0(ここで横すくい角θを0、 10、20および30°に変化した)の高速度鋼(SKH4)製片刃バイトを用いた。

切削油としては種類の異なる機械油No.22(動粘度40°Cにて21.4×10<sup>-6</sup> m/S、パラフィン系低粘度精製鉱油)と切削油No.23(動粘度40°Cにて21.0×10<sup>-6</sup> m/S、パラフィン系精製鉱油に塩素系添加剤2.5wt.%、脂肪油5.2wt.%、界面活性剤を添加)の2種類を使用し、それぞれの切削油の場合を湿式切削I、湿式切削IIと称することにした。

切削条件としては切込み $t_1$ =1.0 mm 一定とし、切削速度 Vを50~400m/mimの範囲で 5 種類、送り fを0.06~0.25mm/revの範囲で4 種類に変化させ、切削油の流量はQ=30 cm<sup>3</sup>/s一定として行った。

#### 3.3 実験結果および考察

#### 3.3.1 切削抵抗および切削温度

図 3.1、図 3.2 は送り f = 0.25 mm / rev - 定として切削速度を 2 種類に変化させたときの切削抵抗に及ぼす切削油の効果をしらべたものであり、図 3.1 はすくい角が 0°、図 3.2 はすくい角が 20°の場合である。図から認められるように、すくい角 0°では湿式の効果は

-17 -

切削抵抗の大きい5056系合金では大きいが、他の供試材ではほとんど認められない。すく い角が20°と大きくなれば、切削抵抗は全般的に小さくなり、乾式、湿式切削の差はほと んど認められない。なお切削条件全般に湿式切削 I、II において切削抵抗にはほとんど差 がないようである。



図 3.1 乾式、湿式切削において 切削速度を変化させたときの 切削抵抗(すくい角:0°)



切削抵抗(すくい角 20°)

図3.1の切削条件における切削温度を工具一被削材熱電対法<sup>2)</sup>によって求めたのが図3.3 である。これからわかるように、切削速度が大きくなれば切削温度もかなり高くなり、こ の程度の温度になると切削油の効果も小さくなっている。しかし、V=50 m/min では50 56系合金の切削温度は湿式切削によりかなり低下している。



図 3.3 乾式、湿式切削において切削速度を変化させたときの切削温度

#### 3.3.2 切削仕上面

図 3.4  $i\theta = 0$ °の場合に乾式切削および湿式切削 I における切削仕上面あらさR max を 求めた結果である。これより乾式切削に比べ湿式切削では切削仕上面はかなり向上してい るのがわかる。とくに5056系合金の低速域での仕上面あらさに及ぼす切削油の効果が大き い。乾式切削では切削速度の上昇とともに仕上面はもちろん向上しているが、湿式切削で は切削速度の上昇とともに必らずしも仕上面が向上しているようにはみられない。

 $\theta = 20^{\circ}$ における V = 200 m/min の場合の湿式切削 I の切削仕上面の外観を図 3.5 に示 す。2011合金、快削黄銅、快削鋼は送りマークが明りょうに認められるが、5056系合金で は送りマークの山が欠けたりして仕上面があまり良好でない。



図 3.4 乾式、湿式切削において 切削速度、送りを変化さ せたときの表面あらさ

	f = 0.06 mm/rev	f=0.25 mm/rev
2011-73		Andrew Alexandrew Alex
2017-T4		
5056 A	N ar knad	
5056 B		
5056C		
5056 D		
G67-T6		
C3604BE-F		
G4804 SUM24L		

Wet Cutting,  $\theta = 20^{\circ}$ SKH4-Tool,  $t_i = 1 \text{ mm}$ V = 200 m/min

#### 図 3.5 代表的な切削仕上面状況

--/mm

#### 3.3.3 工具摩耗

切削速度 V = 400 m/min、送り f = 0.25 mm/rev、切削距離 L = 500 m において、乾 式および湿式切削 I の場合における工具のすくい面および逃げ面の摩耗状況を示せば図 3. 6 となる。これより、乾式、湿式切削でのクレーター摩耗、逃げ面摩耗が認められ、湿式 切削による工具摩耗の改善は2017合金以外はみられない。



V=400 m/min, f=0.25mm/rev, ti=1mm, θ=10°, SKH4-Tool



/mm





#### 図 3.7 乾式、湿式切削において切削速度を変化させたときの 工具逃げ面摩耗幅

#### -21 -

V = 100 m/min & V = 400 m/minについてL = 500 mにおける逃げ面摩耗幅 $V_B$ を示した のが図 3.7 である。快削鋼では乾式切削、湿式切削ともに摩耗幅が大きいのは当然として、 はかの供試材では2017合金の高速切削で大きい。全体を通じて2011合金、G 67合金で摩耗 幅は小さく、5056系合金はほぼ中間にある。また、これらの合金の切削時の工具摩耗には 湿式の効果がほとんどみられない。なお、湿式切削では切削油の差による工具摩耗への効 果はあまり明りょうではなかった。

#### 3.3.4 切りくず形状

切削用材料ではとくに切りくず処理性が被削性を総合判定する際に重要な要因となる。 乾式切削では比較的長い切りくずが排出され、これが被削材、工具などにからみ付き、 処理困難な材料でも湿式切削では細かい切りくずが排出されるような場合がある。図 3.8 はf = 0.25mm /revの湿式切削 I ( $\theta = 0$ °および20°)の場合の切りくず形状を示したも のである。いま西ドイツ切削情報センター (INFOS)の切りくず形状分類<sup>3</sup>)(第2章参照) に従って切りくず形状を分類すれば図 3.9 になる。

		2011 -T 3	2011 -T8	2017 -T4	5056A	5056B	5056C	5056 D	G67 -T6	G 6 7 - T 8	C3604 BE-F	G4804 SUM24L
50	θ= 0°			$\bigcirc$		1 	0	1.2.				
m/min	<i>θ=20</i>			$\bigcirc$	C/	8	0	OL	11			
100	0=0°			And the second s	*	V. E.	100 <sup>0000</sup> / 0	in subanicat				
m/min	θ=20 <sup>°</sup>			Contractor Contractor	7. S. C.	in a starter	All Manual	900 mg	14			S. S.
300	0=0°		in ing T	Ser.	anter Bint	NOR BAL	Carlie	A. C. C.				
m/min	<i>θ=20</i> °			Support States	9000 38- 0	1.0	Summer of	C C C C C C C C C C C C C C C C C C C				

Wet Cutting, SKH4-Tool, f=0.25 mm/rev, ti=1 mm

\_ 50 mm

図3.8 湿式切削における切りくず形状

	_	_				_				_			_	_			_				_
		V/=	5( m	) Vm	in	V2	=/( m/	$\frac{2}{m}$	) In	VЗ	=2( m	22	n In	V4	=3 m	200	) IIIn	VS	=4 m	ĝ	) (n
Material		A	9	AN	A	A,	A	h-	90	A,	A	h	A.	Α,	A	6	A	þ,	A	6	A.
	1.7	6	허		2	H	6	F	F	H	5	6	5	6	6	6	F	R	04	6	5
	13	2	Ŷ	9	ā	Ŷ	2	0	0	$\overline{O}$	0	0	0	2	0	2	<u>0</u>	Ę	0	Ρ	0
2011-13	12	9	9	0	Ϋ́	0	0	0	9	0	$\overline{O}$	$\circ$	0	Ρ	0	0	0	р	0	0	0
	11	0	0	0	9	0	0	0	Q	Ο	0	0	0	О	0	0	0	0	0	О	0
	f 3	٩	O	•	0	Φ	0	0	0	0	0	0	0	Φ	0	0	0	0	0	0	0
2011-78	f 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	fi	0	oÌ	0	Ō	0	0	0	0	0	0	0	0	Ο	0	0	0	0	Ó	0	0
	f.3	ō	Ō	0	ð	Ō	Ō	ð	6	ò	Õ	Ō	ò	ē	•	•	•	ē	ŏ	•	ē
2017-74	f 2	ŏ	ō	Ó	š	ē	ō	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	ŏ	õ	ō	ō	ē	ō	ě	ē	ē
	f I	ň	ň	Ā	-		ñ	ā		Ā	ě	à		ā	ň	à	Ā	Ť	i.	Ā	Ā
	47	H	처		ž	5	Ĭ	5	-	X	ž	-	H		X	X	-		-	X	ž
50561	13	H	XI	ž	-	K		Y	-	X	-			-	-		-				
5056A	12		<u> </u>	-	Ŷ	9	9	Ŷ		Ψ	•		•	9	-			Ŷ		2	•
-	<i>t 1</i>		0	Ψ	φ	•	Φ	φ	Ŷ	Ψ	9	•	<u> </u>	Q	Φ	•	Φ	Φ	•	•	Φ
	<u>f 3</u>	0	•	•	•	0	•	•	•	Φ	•	•	۰	•	•	•	•	۲	•	•	•
5056 B	f 2	О	$\mathbf{\Phi}$		۲	•	0	•	•	Φ	۲	•	•	0	Φ	•	۲	Φ	Φ		
	fi		•		0	•	0	Φ	0	•	•	•	•	•	0	•	•	۲	0	•	0
	f 3	0	<b>O</b>	0	•	0	•	٥	•	0	0	•	•	•	•	0	۲	•	•	•	•
5056C	12	b	ð l			0	0	ò		Ō	ò			ò		Ò	•	ŏ	ð		
	f I	ā	7		ă	ā	Ă	ě	ě	ā	ā		ň	ě	ŏ		ŏ	ě	Ā	Ā	ě
	f 3	ň	ž	ě	ž	1		-	Ť	ž		ž	ž	Ā	Ť	Ā		Ť	ž	X	
5056 D	10	Ħ	-		ž	5	-	-		ž	-	-	ě	X	-	4		-	-		-
50500	12		7	2	-	Ľ	-	-	5	ž	2			2	-		3	ž	-		T
	11		꾓	X	-	2	X	2	¥	¥	X		-	X	~	-	X	X	Q.	-	¥
007 70	13	R	S	2	-	2	2	2	-	Ý.	2	2	Ŷ	0	0	2	¥	0	$\overline{O}$	2	-
667-76	12	2	Q	0	<u>•</u>	Ο	Q	$\circ$	•	0	0	0	9	$\circ$	$\circ$	0	Ψ	$\circ$	0	0	<u> </u>
	f	O	0	Ō	<u>•</u>	0	0	Q	•	0	0	•	•	0	0	0	۲	0	0	Φ	9
	f 3	0	0	0	•	ю	0	0	0	Ο	Ο	0	0	0	0	0	0	Ο	0	О	0
G67-T8	f 2	0	0	0	Ô	0	0	0	•	0	0	0	•	0	0	0	0	0	0	0	0
	f I	0	0	0	•	0	O	•	•	0	0	Ō	•	0	0	0	•	0	0	0	•
	f 3	đ	ō	0	Ó	Ō	Ō	Õ	0	Ō	Ō	Ō	Ó	Ō	ð	Ó	0	0	Ō	Ó	Ó
C3604RE-E	12	Ы	δl	ð	ð	h	ň	ð	1	ŏ	ŏ	ō	ð	ā	6	Ō	6	T	Ā	ð	ň
COOC IDL /	f 1	h	ð	ŏ	Ŧ	h	5	õ	ħ	T	ð	ň	õ	Ā	ň	ň	0	Ă	Ă	ŏ	ŏ
	f 7	X	X	ŏ	¥	K	K	X		9	9	Y	~	¥	$\overline{}$	2	P	Ψ.	Υ.	Ч	$\leq$
G4804	13	臣	뇕	K	X	片	문	K								-	$\vdash$			-	-
SUM24L	12	臣	兴	R	¥	띥	R	14		R	9		2		_		$\vdash$		-		-
	11	$\cup$	0	$\circ$	<u> </u>	$\mathbf{P}$	O		•	$\circ$	$\mathcal{O}$	•	•			L	L				
fu=0.06	-		60	- (	, ,	2	<u> </u>	- m	de.		2		0	2	Б-	~~~	. /-	<u>.</u>			
11-0.06 m	inne	٧,	12	-0		2.	20	01	N16	×۲	, /	- و	U.	2		101	171	¢ν			
$\theta_{I}=0^{\circ}$	92=1	0°		. <i>t</i>	73	= 2	20	)ĭ		6	4	= 3	0	0							
`				, 0	2		ſ														
O Good		۵	٠,	S.	it.	ah	I.e				In	fe	ric	r							
0 0000		Ψ		50		00	10		-		/ .	101	10	1							

図 3.9 湿式切削での切りくず形状分類

図から明らかなように、2011合金がきわめて処理容易である。しかし、G67合金も快削鋼、 快削黄銅より優れているようであり、2017合金、5056系合金はかなり劣っている。

さらに、切りくず処理性を量的にはっきり表示するため点数処理をした。すなわち、○ 印、●印および●印にそれぞれ5、3および1点を与えて全実験条件をまとめれば表3.1 のようになる。

この場合、全条件で●印であるとして求めた標準点は 225 点であり、これより大きければ 大きい値ほど処理容易であり、これより小さい数値の場合ほど処理性が悪いことになる。 快削鋼 300 (推定値)、快削黄銅 263 はいずれも標準値より大きく、切りくず処理性が良 好であるが、それにもまして2011合金、G67合金はきわめて処理性が良好であることがわ かる。一方、4種の5056系合金はいずれも処理性はよくなく、2017合金よりも劣っている。 また、表には第2章における乾式切削の際の切りくず処理性を同様に点数処理をして併記 した。2011合金、5056系合金では乾式、湿式切削で差がないが、G67合金では湿式切削の 方が優れていることがわかる。

	Poir	nts
Material	Wet	Dry
2011-T3	359	351
2011 <b>-</b> T8	367	369
2017 <b>-</b> T4	169	211
5056 A	139	147
5056 B	125	135
5056 C	145	145
5056 <b>D</b>	135	129
G67-T6	321	285
G67-T8	<b>3</b> 25	307
C3604BE-F	263	245
G4804 SUM 24L	(300)	(312)
Normal point	22	5

表 3.1 点数処理をした切りくず処理性

#### 3.4 結 言

5056系合金および各種切削用材料について、高速度鋼工具を用いた湿式切削における切 削特性を検討し、次のことが明らかになった。

5056系合金の湿式切削では切削抵抗、仕上面あらさなどの点で被削性はかなり向上する。 しかし、工具摩耗、切りくず処理性については乾式と湿式切削ではっきりした差が認めら れない。2017合金では高速切削における工具摩耗が湿式切削によりかなり改善できる。

機械油No.22と切削油No.23では被削性に差が生じなかった。

## 参考文献

- 1) 財満鎮雄、結城明泰、加茂進二軽金属、21(1971)、130.
- 2) 財満鎮雄、岡崎忠雄二日本機械学会論文集、35(1969)、1945.
- 3) 例えば、奥島啓弐:マシナビリティ、11(1973)、1.

## 第4章 5056系合金切削時の工具摩耗に及ぼす材料特性の影響

#### 4.1 結 言

一般にアルミニウム合金ではAl-Si系合金以外のものは切削の際の工具摩耗は問題とな らないことが多い。しかし、最近では高速、重切削が行われるようになり、Al-Si系合金 以外の合金でもしばしば工具摩耗、工具寿命が重要な問題として取りあげられるようにな ってきた。第2章で各種切削用アルミニウム合金についての切削特性を検討し、その中で 工具摩耗は材料強度が高いほど大きい傾向にあることを述べた。しかし、工具摩耗はその 材料強度だけでは十分に説明することができず、ほかの材料要因も考慮すべきであると考 えられる。すなわち、材料特性は途中の加工履歴に大きく左右されるので、同一ビレット から製造された材料でも、加工途中のビレットの均質化処理温度および時間、中間熱処理 温度および時間あるいは押出温度、押出比、引抜率などのちがいによって得られた材料の 特性は異なり、したがって切削特性にも差が生じるものと考えられる。本章では5056系合 金を対象とし、同一ビレットから加工履歴を変えた引抜材を用意して切削を行い、工具摩 耗に影響を及ぼす要因について材料組織の面から検討した。

#### 4.2 実験方法

表4.1 に示すような化学成分をもつ5056合金を連続鋳造して直径 200 mmのビレットとした。その後、図4.1 に示す製造スケジュールに従って、鋳造のままのものおよび均質化処理温度を4種類に変化させたものを450°Cで直径18、20および21 mmの丸棒に押出し、さらに引抜き上り直径 18 mmの供試材として、試料の材料特性に種々の変化を与えた。そのときの各試料の引抜率はそれぞれ0.19および27%の3種類である。なお、図にも示すように均質化処理550°Cの場合についてのみ押出し後200°C、350°Cでそれぞれ 2 時間の熱処理を行った。

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	В
Bal.	0. 10	0.17	0. 01	0. 06	4. 70	0.06	0. 01	0. 01	0.002

表4.1 化学組成 (%)



図 4.1 供試材の作製方法

切削には刃先諸元0-10-7-7-8-0-0の高速度鋼(SKH4)製片刃バイトを用い、乾式 で行った。切削条件は切削速度 V = 200 m/min 、送りf = 0.2 mm/ rev、切込み $t_1 = 1$ . 0 mmとし、切削抵抗、切削温度、工具摩耗状況などを測定した。ここで工具摩耗としては5分 間切削した際の工具逃げ面の摩耗幅で求めた。

機械的性質の測定は引張試験(試験片形状:JIS4号)、シャルピー衝撃試験(試験片形状:JIS4号)およびせん断試験<sup>1</sup>)によった。また、組織観察として均質化処理条件を変えた ビレットおよび引抜き上り試料について顕微鏡観察、EPMA分析を行った。

#### 4.3 実験結果および考察

#### 4.3.1 製造条件の影響

図4.2は本実験における工具構逃げ面摩耗の実例であるがこの横逃げ面摩耗幅をもって 工具摩耗を評価した。各供試材について均質化処理温度と工具摩耗の関係を求めれば図4. 3のようになる。図から均質化処理温度が500°Cまでは工具摩耗状態はほとんど変わらな いが、550°Cになると急に大きくなることがわかる。また、引抜率が大きくなると、全体 として工具摩耗が大きくなっている。押出し後に200°C、350°Cで熱処理を行ったものにつ いてはわずかながら工具摩耗は減少している。



Cutting speed V=200m/min Feed f=0.2mm/rev Depth of cut t1=1mm

図 4.2 高速度鋼工具の横逃げ面摩耗状況



図4.3 各供試材の逃げ面摩耗幅

図 4.4 は工具摩耗実験と同じ切削条件で切削抵抗(主分力および送り分力)、切削温度 を求めたものである。この場合、送り f は 0.1、0.2 および 0.4 mm/rev と変化させた。 図 からわかるように、切削抵抗、切削温度ともに供試材による差はほとんど認められず、今 回の実験方法では切削抵抗、切削温度によって工具摩耗を予測することはできないことに なる。



図 4.4 各供試材の切削抵抗と切削温度

#### 4.3.2 機械的性質の影響

60

供試材の機械的性質に及ぼす均質化処理温度の影響を求めれば図4.5のようになる。図 より均質化処理温度は供試材の引張り強さ、耐力、伸びおよびせん断強さにはあまり影響 を及ぼしていないようであるが、シャルピー衝撃値については均質化処理温度が550°Cに なると急に大きくなっている。そして、引抜率が大きくなると、引張り強さ、耐力、せん 断強さが大きくなり、伸び、シャルピー衝撃値は小さくなる傾向を示している。また、押 出し後の熱処理については、引張り強さ、シャルピー衝撃値を低下させていることがわかる。 図4.3でも示したように工具摩耗は引抜率が高く、均質化処理温度が550°Cと高い場合に 大きい。いま工具摩耗を供試材の引張り強さとシャルピー衝撃値との相関で示すと図4.6 のようになる。図中の数字は逃げ面摩耗幅である。これから、引張り強さが小さいほど、 またシャルピー衝撃値が小さいほど工具摩耗は少ない傾向にあることがわかる。ただし、押 出し後350°Cで熱処理した供試材Bについては図にみるように引張り強さとシャルピー衝 撃値から予想される工具摩耗より大きくなっているが、その原因については明らかではな



Drawing red. (%)  $\Delta$  0 O 19 X 27 Heat-treatment (°C) A200 B350





図 4.6 引張り強さ、シャルピー衝撃値と 逃げ面摩耗の関係

#### 4.3.3 材料組織の影響

#### 4.3.3.1 鋳塊組織

以上述べたように、均質化処理温度が500°Cから550°Cになると工具摩耗が大きくなる ことがわかったので、次に鋳塊の均質化処理による組織変化について検討した。図4.7 に 各温度で均質化処理した鋳塊のリン酸腐食の組織を示すが、写真から均質化処理温度が上 昇するにつれて、晶出物がしだいに固溶していくことが認められる。また、図4.8 は鋳塊 の各均質化処理温度における晶出物のEPMA分析結果である。鋳造のままの場合にAl-Fe系化合物、Mg<sub>2</sub>Si、Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(以下 $\beta$ 相と呼ぶ)の晶出が認められる。すなわち、写 真で白くみえるのがAl-Fe系化合物であり、黒く見えて比較的細長いのがMg<sub>2</sub>Si、黒く見 えて丸いのが $\beta$ 相である。Al-Fe系化合物、Mg<sub>2</sub>Si晶出物は均質化処理温度が550°Cまで 鋳造のままの組織とほとんど変化がないが、 $\beta$ 相は処理温度が上昇するにつれて固溶され ていくのがわかる。ただし、粗大な $\beta$ 相は比較的高温でも固溶されにくく残っているよう である。



図 4.7 各温度において 4 時間均質化処理したときの鋳塊のミクロ組織 (5% H3 PO4にてエッチング)



図4.8 各温度において4時間均質化処理したときの鋳塊のEPMA分析

#### 4.3.3.2 供試材組織

引抜率19%の場合の供試材の顕微鏡組織を示せば図4.9のようになる。写真左側は研摩 仕上げのみの場合、右側はリン酸腐食の場合を示すが、両組織とも鋳塊の場合と同様に均 質化処理温度が高くなると、晶出物が少なくなる傾向を示している。いま、研摩仕上げの みの組織で各均質化処理温度について晶出物の面積率を求めれば図4.10のようになる。こ れから晶出物の面積率は500°C付近までゆるやかに減少するが、550°Cでは比較的急激 に小さくなることがわかる。図4.11に引抜率19%の場合の供試材の晶出物をEPMA分析し た結果を示すが、晶出物は押出しによって加工方向に伸ばされ、破断した状態となってい る。晶出物の分析結果は鋳塊の場合とほとんど変化はないが、鋳造のままのものと400° Cの場合のβ相では押出しによってわずかに固溶している。前述の図4.3と図4.10をあわ せて考えると、工具摩耗は供試材の晶出物面積率が大きくなると少なくなっている。一般 に晶出物(硬い第2相)が存在すると引っかき摩耗の原因になり、工具摩耗が増大するが、2) 本合金組成の場合には次のように考えることができる。すなわち、均質化処理温度によっ て晶出物面積率を変化させているものは主としてβ相である。図4.4より切削温度(この


図4.9 各温度において4時間均質化処理 したときの供試材のミクロ組織





図 4.11 各温度において 4 時間均質化処理したときの供試材の EPM A 分析

場合、f = 0.2 mm/revは約 500 °C であり、 $\beta$ 相の溶融温度(451°C)<sup>3</sup>)を超えていること は確実であると思われ、快削鋼における硫黄ないし鉛の役割と同様にこの場合の $\beta$ 相は被 削材と工具の摩擦抵抗を緩和したり、切りくず流れの拘束を緩和するものと考えられる。 したがって、 $\beta$ 相の存在が減少してくれば、Al-Fe系化合物、Mg<sub>2</sub>Si などの硬質粒子の引 っかき作用が直接的になって、工具摩耗の増大につながることになる。また、 $\beta$ 相は引裂 き試験におけるき裂伝播抵抗、引裂き強度などを低下させる<sup>4</sup>)といわれており、 $\beta$ 相が多く存 在すると供試材の衝撃値が低下することもうなずけることになり、図 4.5の関係が得られ たものと考えられる。

図4.12は均質化処理温度550°Cから押出し後、各温度で熱処理を行ったときのリン酸腐 食組織である。これからみれば、200°Cで粒界が腐食され、また、350°Cから400°Cで粒 内がわずか腐食されている。Al-Mg系合金の場合、200°C付近で粒界が腐食されている のはβ相の析出または粒界へのMg偏析であると推定され、4)また、350°C付近で粒内が腐 食されるのは微量Siの存在によりMg2Siが析出するためと考えられる。このように、こ れら硬い微粒子Mg2SiあるいはAl-Fe系化合物の存在が、本合金切削における工具摩耗 の1つの原因と考えられるが、β相の存在がこれを緩和するものと考えられる。



図 4.12 押出し後、各温度にて 2 時間熱処理したときの供試材のミクロ組織 (5% H3 PO4にてエッチング)

# 4.4 結 言

5056合金の切削における高速度鋼工具の摩耗について、材料の製造条件から検討し、工 具摩耗に及ぼす材料組織の影響をしらべた。得られた結果を要約すれば次のようになる。

- (1) 5056合金切削における工具摩耗は供試材の引張り強さとシャルピー衝撃値から予測 することができる。すなわち、引張り強さとシャルピー衝撃値が小さい材料ほど工具 摩耗は少ない。
  - (2) 5056合金における工具摩耗は供試材の均質化処理温度が550°Cになると急に大きくなる。均質化処理温度による組織の変化をみれば、硬質相Al-Fe系化合物、Mg<sub>2</sub>Siなどの変化はほとんどないが、β相は均質化処理温度が高くなるにつれ減少し、とくに550°Cでは著しく減少する。
  - (3) 5056合金の切削温度は β相の溶融温度を超えており、β相が存在すれば被削材と工具の摩擦抵抗を減少させる効果があり、硬質相の引っかきによる工具摩耗を軽減させ

るといえる。また、β相が多く存在すれば供試材の衝撃値を低下させる。したがって、 β相が多く存在すれば5056合金切削における工具摩耗を少なくすることができる。

# 参考文献

- 1) 財満鎮雄、丹下隆雄:軽金属、24 (1974)、271.
- 2) 財満鎮雄、高辻雄三、山田茂、奥島裕樹 日本金属学会誌、46(1982)、108.
- 3) M. Hansen Constitution of Binary Alloys, (McGraw-Hill, Inc., 1958), 106.
- 4) 岡本秀仁、浅野和彦、藤原明:軽金属、25(1975)、451.

# 第5章 Al-Mg系合金切削時の工具摩耗に及ぼす 微量添加元素の影響

#### 5.1 緒 言

第4章において、5056合金切削の工具摩耗について主として材料組織の点から検討を行い、鋳造時の晶出物 Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub>(β相)のように工具よりも硬さが低く、切削温度よりも低い溶融温度をもつ金属間化合物を製造条件によって材料中に多く存在させると工具摩耗が少なくなることを示した。

一方、Al-Mg系合金には鋳造時の結晶粒微細化のためTiまたはTi+Bの添加、そして 熱間加工での組織制御、応力腐食割れ防止のためMn、Crが添加される。また、地金不純 物としてFe、Siが含まれる。これらの微量元素より形成される金属間化合物は比較的硬 いことから工具に対して引っかき摩耗を生じさせることが予想される。そこで、本章では Al-4.5%Mg合金に種々の微量元素を添加し、工具摩耗に及ぼす影響についてしらべた。

### 5.2 実験方法

表 5.1 に示すようにAl-4.5% Mg合金を基本組成としてFe、Si、Mn、Cr、Ti、Bを種

Alloy	Al	Mg	Fe	Si	Mn	Cr	Cu	Zn	Ti	В
BA	Bal.	4.59	0.01	0.02	0.01		_		_	*
F1	Bal.	4.40	0.11	0.01	0.01	_	_	_	—	*
F2	Bal.	4.78	0.18	0.02	0.01	_	_	_	—	*
F4	Bal.	4.72	0.41	0.02	0.01	_	_		—	*
F9	Bal.	4.35	0.91	0.02	0.01	_	_	_	—	*
S	Bal.	4.62	0.01	0.10	0.01	_	_		—	*
FS	Bal.	4.37	0.09	0.09	0.01	0.01	_	_	-	*
М	Bal.	4.33	0.01	0.02	0.10	0.01	_	_	—	*
С	Bal.	4.30	0.02	0.02	0.01	0.11			—	*
Т	Bal.	4.37	0.01	0.01	0.01		-	_	0.01	*
ТВ	Bal.	4.54	0.01	0.02	0.01				0.01	0.0012

表 5.1 化学組成 (%)

— less than 0.01%

\* less than 0.0001%

々添加した合金を直径150mmのビレットとして水冷金型鋳造した。その後、500°C、4hの 均質化処理を行い、押出温度450°Cで直径30mmの丸棒に押出し、供試材とした。

供試材の組織観察は光学顕微鏡、EPMAを用いて行った。また、機械的性質は引張試験、 シャルピー衝撃試験によりしらべた。

切削には刃先諸元0-10-7-7-8-0-0の高速度鋼(SKH4)製片刃バイトを用い、乾式 で行った。切削条件は切削速度 V = 320 m/min、送りf = 0.2 mm/rev、切込み $t_1 = 1.0 \text{ mm}$ とし、工具摩耗状況を光学顕微鏡、EPMAを用いて観察した。

#### 5.3 実験結果および考察

5.3.1 供試材

#### 5.3.1.1 材料組織

図 5.1 に供試材の縦断面でのミクロ組織を示す。Fe添加量を変えた合金(F1、F2、F4、 F9)ではFe量が多くなるに従いAl-Fe系晶出物が多くなっている。Siを添加した合金



図 5.1 供試材のミクロ組織

(S) は組織中に多くの $Mg_2Si$ 晶出物が認められる。これはAl-4.5%Mg合金ではSi 固溶 量が非常に少ないためであると考えられる。<sup>1</sup>)Fe、Siを添加した合金(FS) には図5.2 に示 すように $Mg_2Si$ 、Al-Fe系晶出物が認められた。Mnを添加した合金(M)、Cr を添加した 合金(C)ではMn、Crは鋳造時に強制固溶された後、均質化処理時に $Al_6Mn$ 、 $Al_7Cr$ とし て微細に析出していると考えられる。<sup>2</sup>)<sup>3</sup>)Tiを添加した合金(T)ではTiは大部分固溶されてい ると考えられるが、 $Al_3Ti$ として鋳造時の結晶粒微細化の異質核になれば供試材中に $Al_3Ti$ が存在する可能性がある。<sup>4</sup>)Ti、Bを添加した合金(TB)では鋳造時の結晶粒微細化の異質 核としてTiB<sub>2</sub>が溶湯中に未溶解で存在すると言われており、<sup>4</sup>)したがって供試材にもTiB<sub>2</sub> が存在すると考えられる。



図 5.2 FS合金の EPMA分析

表 5.2 は各供試材に存在すると考えられる金属間化合物の硬さを示す。TiB2の硬さは33 70であり、工具(硬さ:約500)に比べて著しく硬い。次にAl-Fe系化合物(この場合、 Al<sub>3</sub>Feと仮定)は約850と比較的硬い。また、Al<sub>7</sub>Cr、Al<sub>6</sub>Mn、Mg<sub>2</sub>SiおよびAl<sub>3</sub>Tiは工 具の硬さとほぼ同じ硬さである。

In	termetallic compound	Microv	rickers
	Mg <sub>2</sub> Al <sub>3</sub>	340(1)	<u> </u>
	$Al_3Fe$	730(2)	960(1)
	$\boldsymbol{\beta}(AlFeSi)$	578(1)	
	Al <sub>7</sub> Cr	316(2)	510(1)
	$Al_6Mn$	540(1)	
	$Mg_2Si$	450(1)	457(2)
	Al <sub>3</sub> Ti	680(2)	
	$TiB_2$	3370(2)	
(1)	Hanemann und Schrader		
	Ternare Legierungen Des	1952	
(2)	Data Book Koyutenkagob	1976	

表 5.2 金属間化合物の硬さ

# 5.3.1.2 機械的性質

.

図 5.3 に供試材の機械的性質として引張り強さ、耐力、伸び、シャルピー衝撃値を示す。 BA、F1、F2、F4、F9合金においてFe量が多くなるほど引張り強さが大きくなり、伸び、 シャルピー衝撃値が小さくなっている。S、FS合金の引張り強さ、耐力はBA合金と同等で



図 5.3 供試材の機械的性質

あるが、伸び、シャルピー衝撃値が低下している。これはミクロ組織で観察されたように Mg2Si晶出物が多く存在しているためであると考えられる。M、C、T、TB 合金は BA合 金と引張り強さ、耐力、伸び、シャルピー衝撃値ともに同等である。

#### 5.3.2 工具摩耗

図 5.4 は工具の代表的な構逃げ面摩耗状況を光学顕微鏡で観察したものである。この構 逃げ面での平均摩耗幅を測定することにより供試材の工具摩耗特性を評価した。



Cutting speed V = 320 m / minFeed f = 0.2 mm / revDepth of cut  $t_1 = 1 mm$ 

図 5.4 工具の横逃げ面摩耗状況

図 5.5 に各供試材による工具摩耗幅の時間的経過を示す。Ti、Bを添加した合金(TB) は切削時間とともに工具摩耗幅が直線的に増加している。これは非常に硬いTiB2粒子に よる引っかき摩耗によるものと考えられる。Fe、Siを添加した合金(FS)、Siを添加した 合金(S)は基本組成合金(BA)と同程度の工具摩耗であり、Mg2Si、Al-Fe系化合物 粒子による引っかき作用が考えられるにもかかわらず、その影響がみられない。Crを添加 した合金(C)、Mnを添加した合金(M)、Tiを添加した合金(T)はBA合金に比べ、 短時間の切削では工具摩耗に差がないが、長時間切削すると工具摩耗がわずかに少なくな っている。C、M、T合金に存在する金属間化合物は工具の硬さと同等かやや硬いにもか かわらず、C、M、T合金の工具摩耗はBA合金の工具摩耗よりわずかに少ない。この原 因については後に考察する。Feを0.1、0.2、0.4、0.9%添加した合金(F1、F2、F4、F9) では0.2%までの範囲ではFeを添加するにつれて工具摩耗が少なくなり、それ以上でも わずしか増加していない。このような現象を硬質粒子であるAl-Fe系化合物の引っかき 作用のみから説明することができない。



図 5.5 各供試材の工具摩耗幅

そこで、BA、F1、F2合金の供試材を4.8分間切削した後の工具摩耗状況をEPMAにて 分析し考察した。図5.6より工具逃げ面摩耗部にはアルミニウム合金の凝着層が認められ、 しかもFe量が多くなるにつれて摩耗部全面に凝着する傾向がある。この切削条件における切 削温度は第4章より約500°Cであることから、アルミニウム合金の凝着層と工具の拡散対 を形成し、両者間で相互拡散が十分生じているものと考えられる。5)6)7)そこで、工 具逃げ面に対して直角に先端より0.1mmまでダイヤモンド砥石による研摩を行い、 工具摩耗部の拡散組織をEPMAでしらべたのが図5.7である。BA、F1、F2 合金 ともにSEI、線分析より摩耗部には拡散化合物の存在は認められず、したがって 拡散によるAl-Fe系金属間化合物の形成には至っておらず、固溶範囲内での相互拡散が 生じているものと考えられる。







図 5.7 逃げ面摩耗部断面の EPMA による線分析

アルミニウム合金の凝着層と工具の拡散対を考えたとき、凝着層中のFe 固溶量が少な いほど濃度勾配が大きくなりFe 原子の凝着層への移動量が多くなることが予想できる。<sup>8)</sup> Fe 量の異なる供試材の導電率を測定し、工具摩耗との関係を示したのが図5.8 であ る。Fe 量が少ないと導電率が高くなり、材料中の固溶Fe 量が少なくなる。そのため凝着 層中の固溶Fe 量も少なくなっているものと考えられる。したがって合金中のFe 量が少な いと凝着層中への工具からのFe 原子移動量が多くなり、拡散による工具摩耗が大きくな る。

一方、Fe量を多くすると組織中にAl-Fe系化合物が多くなる。図 5.8 にFe量を変えたときのAl-Fe系化合物の面積率を画像解析により求めた結果を示す。なお、この場合組織中には β相とAl-Fe系化合物が存在しているが、SEIから濃淡差で識別でき、Al-Fe系化合物 のみの面積率測定が可能であった。図 5.8 より Fe 量が多くなると Al-Fe 系化合物がほぼ 直線的に増加している。この Al-Fe 系化合物により工具は引っかき作用を受けて摩耗し、



図 5.8 Fe添加量の導電率、Al-Fe系晶出物面積率、 逃げ面摩耗幅に及ぼす影響

Fe量が多いほど引っかき摩耗が多くなると考えられる。

以上より、合金中のFe量が多くなるとアルミニウム合金の凝着層への工具からのFe拡 散摩耗が著しく少なくなるが、Al-Fe系化合物による引っかき摩耗が大きくなる。したが って、図 5.8 に示すようにFeを添加していくと 0.2%までは工具摩耗が少なくなるが、そ れ以上では少なくならなかったものと考えられる。 また、M、C、T合金がBA合金に比べて工具摩耗が少なくなったことについてはMn、 Cr、Ti系金属間化合物が非常に微細な粒子であり、引っかき作用としては大きくなく、 むしろ導電率はそれぞれ33.0、31.2、33.9%でBA合金の35.1%に比べて低いことから、 Mn、Cr、Tiの固溶により工具からアルミニウム合金の凝着層へのFe拡散移動が少なく なったものと考えられる。

#### 5.4 結 言

Al-4.5%Mg合金にFe、Si、Mn、Cr、Ti、Bを添加したときの高速度鋼工具の摩耗に 及ぼす影響をしらべた結果、次のことが明らかになった。

- (1) Ti、Bが同時に添加されるとわずかな量でも、金属間化合物 TiB<sub>2</sub>が非常に硬いの で、切削時に引っかき作用による工具摩耗を著しく増大させる。
- (2) Feの添加は 0.2%までは Feの量とともに工具摩耗は小さくなるが、それ以上では わずか増大する。これは次のように考えられる。Feの添加量が多くなるにつれて固 溶 Fe 量が増えることによる工具からアルミニウム合金の凝着層への Fe 拡散が著しく 少なくなるための工具摩耗減少の効果と、工具より硬質な Al-Fe 系晶出物の増加によ る工具摩耗増大の効果との相互作用の結果である。
- (3) Mn、Cr、Tiの微量添加は工具からアルミニウム合金の凝着層へのFe拡散移動を 少なくすると考えられ、工具摩耗を抑制する効果がある。

# 参考文献

- 1) Hansen Constitution of Binary Alloys, (McGraw-Hill Inc., 1958), 106.
- 2) 新井浩三、大塚良達、谷本繁美、佃 市三:軽金属、11(1982)、571.
- 3) 浅野和彦、北尾吉延、日野光雄二神戸製鋼技報、26(1976)、4.
- 4) 軽金属学会、研究部会報告書 NO1(1979).
- 5) 荒木 透、山本重男 清密機械、42(1976)、68.
- 6) 鈴木 寿、山本孝春、川勝一郎:日本金属学会誌、33(1969)、82.
- 7) 鈴木 寿、山本孝春、川勝一郎:日本金属学会誌、31(1967)、1248.
- 8) A.Bhattacharyya, A.Ghosh : Anals of the C.I.R.P., 16 (1968), 369.

# 第6章 5056合金の被削性に及ぼすFe、Si量の影響

#### 6.1 緒 言

5056合金は2011合金に比べ耐食性、表面処理性では優れているが被削性は劣っている。 とくに切りくず処理性に難点があり、工具摩耗も2011合金に比べ大きい。第5章ではこの 工具摩耗の原因は、5056合金中に不純物として含まれるFe、Siが組織中でMg<sub>2</sub>Si、Al-Fe系金属間化合物を形成し、これらの硬質粒子による工具への引っかき作用によるもの、 また工具と被削材および切りくずとの間に生じる熱的拡散によるものが考えられた。そし てFe含有量の違いにより工具逃げ面部のアルミニウム付着状態が異なったことから推定 して、切削抵抗、仕上面あらさなども異なるものと考えられる。そこで本実験においては 5056合金中に地金不純物として含まれるFe、Si量を変え、超硬合金工具と高速度鋼工具 を用いた乾式切削を実施し、被削性への影響をしらべた。

#### 6.2 実験方法

実験に供した試料の化学組成を表 6.1 に示す。直径 200mm に連続鋳造後500°C、4h の 均質化処理を行い、直径 80mm に押出し、切削用試料とした。これら合金の機械的性質を 表 6.2 に示す。Fe、Siの含有量が多くなるにつれて、引張り強さ、硬さとも若干増大し、 伸びは減少している。切削は刃先諸元 0-10-6-6-6-0-0の超硬合金工具K10と高速度鋼工 具 SKH4 を用い、乾式で行った。切削条件としては切削速度 V を60、120、480 m/min

#### 表 6.1 化学 組成 (%)

NO	Si	Fe	Mn	Mg	Cr	Ti	AI
0	0.006	0.014	0.04	4.38	0.05	0.01	bal
1	0.03	0.06	0.05	4,42	0.05	0.01	bal
2	0.04	0.19	0.05	4.40	0.05	0.01	bal
3	0.07	0.18	0.05	4.47	0.05	0.01	bal

## 表 6.2 供試材の機械的性質

Material NO.	Tensile Strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers Hardness (98N)
0	225	44	61
1	236	43	65
2	243	38	66
3	244	38	66

の3種類、送り $f \ge 0.08$ 、0.13mm/revの2種類に変化させ、切込み  $t_1 \ge 1.0$ mmとし、 切削抵抗、構成刃先の生成状況、仕上面あらさ、切りくず形状についてしらべた。また、 V=400m/min、f = 0.13mm/rev、 $t_1 = 1.0$ mmの条件で、それぞれの工具とも 2000 秒 あまり切削を行い、一定時間ごとに工具逃げ面の平均摩耗幅 VB を測定した。実験終了後、 すくい面形状を表面あらさ計を用いて測定した。また、EPMA ですくい面の観察を行っ た。

#### 6.3 実験結果および考察

#### 6.3.1 切削抵抗および構成刃先の生成状況

切削抵抗および構成刃先の生成に及ぼす5056合金中のFe、Si量の影響をしらべた結果を図 6.1 に示す。図より、試料、工具の種類による違いはほとんど認められなかった。切削速度 による影響については構成刃先の生成と関係して切削抵抗は複雑に変化している。すなわ ち切削速度が大きくなるにつれて切削抵抗は小さくなるべきところ、1)2) V =60m/min にお いて構成刃先が生じたことによって切削抵抗が減少し、その結果、V=120m/minで最大 値をもつようになっていると考えられる。



図 6.1 切削抵抗と構成刃先の生成に及ぼす Fe、Si量の影響

# 6.3.2 切削仕上面

超硬合金工具と高速度鋼工具を用いた各種切削条件における切削仕上面あらさRmaxを 求めると図 6.2 のようになる。仕上面あらさは試料および工具の種類による違いに比べて、 切削速度による影響が大きい。V=60、120m/minでは構成刃先の生成による表面あら さの変動が大きく、送りの影響はとくにみられない。しかし、V=480m/minにおいては 仕上面あらさは小さく、送りが小さくなると仕上面あらさも小さくなっている。その表面 あらさは理論表面あらさに近く、切削状態は良好である。図 6.3 はNa 3 合金の各切削速度 別の仕上面状態を示す。つぎに最も良い仕上面を示したV=480m/min、f = 0.08mm/ revにおける各合金の仕上面の比較を図 6.4 に示す。Na 0 合金の送りマークが最も明りょ うに認められる。他の合金は表面に溶着痕があり、とくにNa 3 合金に多く認められ、Fe、 Si の含有量が多くなると仕上面状態が悪くなることがわかる。



図 6.2 各供試材の仕上面あらさ



Feed f = 0.13 mm/rev

図 6.3 No.3 合金の仕上面状況



Cutting speed  $V = 480^{m/min}$ Feed  $f = 0.08^{mm}/rev$ 

図 6.4 各供試材の仕上面状況

# 6.3.3 工具摩耗

図 6.5、6.6 は各合金を K10、SKH 4 工具を用いて切削したときの工具逃げ面摩耗 幅 VB と切削時間  $t_c$ の関係を示している。K10工具ではいずれの合金の場合も工具摩耗量 は少なく正確には評価できないが、Si 量の多いNa 3 合金の場合の摩耗量が他の合金の場合 よりも大きい。SKH4 工具では Fe、Si 量の少ないNa 0 合金の場合が最も摩耗量が少なく、 Si 量があまり変わらず、Fe 量の異なるNa 1、2 合金の場合の摩耗量は同程度であり、Na 2 合金に比べ Si 量が多いNa 3 合金が最も摩耗量が多い。以上のことから Si 量 が多くなる と逃げ面摩耗が大きくなるが、Fe 量が多くなっても大きくならないことがわかる。これ は第5 章で述べたように Fe を添加することにより、被削材中の Fe 固溶濃度が高くな り、 切削中に工具主成分の Fe が被削材中へ熱的に拡散しにくくなるため摩耗が防止されるた めと考えられる。



図 6.5 超硬合金工具の逃げ面摩耗進行状況



図 6.6 高速度鋼工具の逃げ面摩耗進行状況

図 6.7 は各工具の合金別すくい面摩耗形状を示している。K10工具においてはクレータ は形成されず刃先先端からすぐに摩耗が進行し、その度合はFe、Si量が多くなるほど大 きい。SKH4工具のクレータ幅はいずれも0.8mm 程度で差はないが、クレータ深さは各 合金によって異なり、Na.0 合金の場合が最も浅く、刃先先端部もあまり摩耗していない。 しかし、Fe、Si量の増加につれてクレーターは深くなり、刃先先端部の摩耗が認められる ようになる。このことは逃げ面摩耗はSi量が多くなると大きくなり、Fe量については多く なっても必ずしも大きくならなかったことと異なっており、逃げ面とすくい面とでは摩耗 の現象が異なっている。



図 6.7 超硬合金工具、高速度鋼工具のすくい面摩耗模式図

図 6.8 は各合金をSKH4工具で切削したときのすくい面摩耗部をSEMで観察したものである。 最上段のNa 0 合金の場合は刃先先端に沿って一定幅の摩耗していない部分が認められるが、 その他の合金の場合には刃先先端部に摩耗が認められる。またすくい面での摩耗部には切 りくず流出にともなう擦過痕が明りょうに認められる。右側の図は左側写真の説明であっ て以後、①は切刃部、②はクレータ中央部、③は終端部を示し、それぞれの部分について 詳細にしらべた。

図 6.9 はNa 0 合金を切削した後の工具すくい面各部をさらに拡大し EPMA にて分析し たものである。写真①は切刃部ならびにクレータ開始部を示す。切刃部の約30 µm の幅 の部分ではタングステン炭化物粒子は工具母材中にうまりまた、切りくず流出方向とは直 角な砥石の研削条痕がそのまま残っていることによりほとんど摩耗していない。しかし、 クレータ開始部では被削材中の硬質粒子の擦過により工具母材金属は取り去られ、硬いタ ングステン炭化物粒子が浮き出ている。3)4)写真②はクレータ中央部を示すが、クレータ開始 部と同様に工具母材金属部分がタングステン炭化物粒子に先立って取り去られている。また写真③のクレータ終端部も同様である。EPMA 観察前に NaOH液で付着物のアルミニウムを除去しているため、元素分析からは A1はほとんど認められないが、被削材構成元素である Mg、Si が認められる。このことからクレータ摩耗は切りくず流出にともない硬質粒子 Mg<sub>2</sub>Si、A1-Fe 系晶出物による引っかき作用によるものと考えられる。

図 6.10はNa 3 合金の場合であるが、刃先先端部にも摩耗が認められる以外はNa 0 合金と 摩耗形態はほとんど同じであり、元素分析から Mg、Si が認められる。したがってNa 3 合 金の場合もNa 0 合金と摩耗機構は同じであると考えられる。

図 6.11は切刃部、クレータ中央部、クレータ終端部の線分析を行なった結果を示したものである。合金中に Fe、Si 量が多くなるほど Mg、Si が多く認められ、とくにクレータ中央部、クレータ終端部に Mg<sub>2</sub>Si、Mg<sub>2</sub>Al<sub>3</sub> が多く付着しているものと考えられる。



図 6.8 高速度鋼工具のすくい面摩耗状況

-53-





図 6.9 No.0 合金の切削による高速度鋼工具すくい面摩耗部の EPMA分析 ①クレータ開始部 ②クレータ中央部 ③クレータ終端部







図 6.10 Na 3 合金の切削による高速度鋼工具摩耗部の EPM A 分析 ①クレータ開始部 ②クレータ中央部 ③クレータ終端部



図 6.11 高速度鋼工具すくい面摩耗部の EPMA による線分析

# 6.3.4 切りくず形状

ここでは切りくず処理性の評価を西ドイツ切削情報センター(INFOS)の切りくず形状 分類に従って検討することにした。INFOSの形状分類中、処理困難なものを●印、とく に処理容易なものを○印、そして比較的処理容易なものを①印でそれぞれ表わすことにす る。本実験で得られた切りくずの実態を図 6.12に示し、これらを前述の分類に従って整理 したのが図 6.13である。図で見られるように切りくず処理性について Fe、Si 量による 影 響はほとんどみられないが、SKH4工具よりはK10工具の方がやや良い傾向を示している。 これはK10工具の方がSKH4工具よりも切りくずとの摩擦係数が小さいことから切りくず の流出が容易になったためと考えられる。

5	Side r	ake angle	8=10*	1. = I.O	mm
Materia	V	f=0.08	mm/rev	f=0.13 r	nm/rev
NO.	m/min	к 10	SKH 4	K 10	SKH4
	60	ing at		mestar. V. A. A.	012
0	120		(c)	······································	
	480	Ú,	$\square$	(~	(¢
	60	<k.< th=""><th>Ser.</th><th></th><th>Stin at</th></k.<>	Ser.		Stin at
1	120	nest they be use the second	CX	- VE	
	480	(		5.5	×)
	60	19. 5 B		Campan Strang	17 6 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
2	120	5.7	之		
	480		$(\alpha)$	- 012 (12 m). Martin Mar	F ,
	60	3	£.19		the second
3	120	5		E>	- 1))
	480	and a start	) J		21

図 6.12 各供試材の切りくず形状

	Tool	S	KН	4	K I O		
Material	V m/min	60	120	480	60	120	480
NO.	f mm/rev		9= 1	0°	†,=	Im	m
$\cap$	0.08		0	$\bullet$	0	0	
	0.13	•	•	$\bullet$	•	•	•
1	0.08	•		$\bullet$	•	$\bullet$	0
	0.13	•	•	$\bullet$	•	$\bullet$	•
2	0.08	•	$\bullet$	$\bullet$	•		•
۷	0.13	•	•	$\bullet$	•		0
א 	0.08		$\bullet$	$\bullet$	•	$\bullet$	•
	0.13	•	$\bullet$	$\bullet$	•	•	•

OGood ●Suitable●Inferior

図 6.13 各供試材の切りくず形状分類

# 6.4 結 言

5056合金においてFe(0.014~0.19%)、Si(0.006~0.07%)を種々変化させ、高速度鋼 工具、超硬合金工具を用いて切削抵抗、構成刃先の生成状況、切削仕上面、工具摩耗、切りく ず処理性への影響をしらべた結果、次のことを明らかにした。

- (1) 切削抵抗値、および構成刃先の生成においては Fe、Si 量による影響が確認できない。
- (2) 切削仕上面については切削速度 60、120m/minでは Fe、Si 量に関係せず、構成刃 先の生成によって粗悪な面となる。切削速度 480m/min になるといずれの合金も送 りマークが明りょうに認められるようになり、とくに Fe、Si 量の最も少ないNo.0 合 金が良好である。
- (3) 逃げ面摩耗幅はSi量が多くなるとMg2Si粒子が増し、その引っかき作用によって 摩耗幅が増大するが、Fe量が多くなっても摩耗幅は変わらない。これは第5章で述 べたようにAl-Fe系晶出物の引っかき作用と固溶Feの熱的拡散摩耗防止の相殺効果 によるものと考えられる。一方、すくい面摩耗についてはFe、Si量が多くなるほど 摩耗が増大し、Al-Fe系晶出物、Mg2Si晶出物による引っかきが主な原因であると 考えられる。
- (4) 切りくず処理性は Fe、Si 量による影響は認められず、ほとんどの切削条件で悪いが、工具別では超硬合金工具が高速度鋼工具よりもやや良好である。

# 参考文献

- 1) O. W. Bortom, W. W. Gilbert : Trans. of ASME, 79 (1957), 909.
- 2) K. J. Trigger, B. F. ron Tunkovich : Trans. of ASME, 85 (1963), 365.
- 3) 財満鎮雄、鈴木康夫、奥島裕樹、山田 茂二軽金属、31(1981)、341.
- 4) 財満鎮雄、高辻雄三、奥島裕樹、山田 茂二軽金属、31(1981)、378.

# 第7章 Al-Mg系合金の被削性に及ぼす Mg量の影響

#### 7.1 緒 言

Al-Mg系合金は機械的性質、耐食性、表面処理性などが優れていることから種々の用途に使用されている。アルミニウムにMgを添加し、機械的性質を向上したものとしては5052、5056などがその代表的な合金として知られており、それらの被削性についての報告も見うけられる。1)2)また、最近では磁気ディスク、ポリゴンミラー等に利用する目的から表面あらさや加工変質層などの表面特性に対する要求が特にきびしくなってきている。これまでにアルミニウム合金の機械的性質に及ぼすMg量の影響3)については比較的よく知られているが、被削性や切削仕上面品位に及ぼすMg量の影響についてはほとんど報告がない。

本章では、Fe、Siなどの不純物を極力抑えた高純度 Al-Mg 系合金の旋削における被削 性を鏡面仕上性、加工変質層、切りくず処理性、切削抵抗などの諸点から検討を行ない、 Al-Mg 系合金の被削性に及ぼす Mg 量の影響についてしらべた。

# 7.2 実験方法

高速度鋼工具および超硬合金工具による普通旋削とダイヤモンド工具による鏡面仕上切 削とを行った。旋削には大隈鉄工所製LK型高速旋盤を使用し、刃先諸元0-10-6-6-6-0-0の工具により、切削速度Vを60、120、480m/min、送りfを0.05、0.08、0.13mm/ rev、切込みt<sub>1</sub>を1mmとし、乾式および白灯油噴霧中にて切削を行い、切削抵抗、構成 刃先生成状況、切りくず形状、加工変質層などについて検討した。

鏡面仕上切削には豊田工機製 AHP50-32 型超精密旋盤を使用し、市販の端面用ミラク ルバイトにより、V=420m/min、f = 0.03mm/rev、 $t_1 = 0.008$ mmの条件で、白灯油 噴霧中で切削を行い、仕上面の反射率、加工変質層などについてしらべた。

#### 7.3 実験結果および考察

#### 7.3.1 供試材

表7.1 に示す化学組成のAl-Mg系合金金型鋳造材(直径150mm)を図7.1の製造工 程により直径30mmの引抜材とし、加工硬化したものをH12材、これに200°C、3hの安 定化処理を施したものをH32材、そしてH12材に400°C、3hの焼鈍を施したものをO材と 呼び被削材とした。これらの機械的性質を表7.2 に示す。

## 表7.1 化学組成 (%)

	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	ΑΙ
NO. 1	<0.001				<0.001				
NO. 2				-000	1.10				hai
NO. 3			<0.001	~~~~	2.48				DUI
NO. 4					4.41				



図 7.1 供試材作製方法

Mater	ial	Tensil strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness (49N)
	1	64.7	52.0	41.0	24.2
H12	2	121.6	111.8	29.2	45.0
	3	181.4	167.7	27.0	68.0
	4	268.7	214.8	29.4	86.2
	1	58.8	51.0	41.6	21.9
1170	2	106.9	77.5	36.0	41.3
HJZ	3	163.8	104.9	36.0	55.2
	4	241.2	141.2	40.4	76.4
	1	43.1	15.7	67.0	17.0
•	2	93.2	29.4	45.8	31.7
0	3	148.1	34.3	42.0	40.5
	4	218.7	77.5	46.6	55.3

表7.2 供試材の機械的性質

それによれば、Mg量の増加にともない引張り強さ、耐力、硬さなどの機械的性質は向上 するが、伸びは Mg量の増加とともに 2.48%までは減少し、その後増大している。調質の 影響について引張り強さ、耐力、硬さはO、H32、H12材の順に向上し、逆に伸びは減少 する。

#### 7.3.2 切削抵抗、構成刃先および切りくず形状

切削抵抗および構成刃先生成に及ぼす Mgの影響をH12材について調べた結果を図7.2 に示す。まず切削抵抗は Mg 量の最も多いNo.4 試料と Mg をほとんど含まないNo.1 試料の 場合が概して低く、しかも切削速度の増加にともなう切削抵抗の減少傾向がはっきりと認 められた。これに対し、1.10、2.48 % Mg のNo.2、No.3 試料の場合には切削抵抗が比較的 高く、しかも切削条件により変動が大きい。工具材質による切削抵抗の差異はとくに認め られず、SKH4、K10工具ともに前述の傾向はほぼ同様であった。構成刃先は Mg 量およ







図 7.3 切削抵抗、構成刃先の生成に及ぼす調質の影響

び切削速度の増加にともない減少傾向がみられ、Mg量2.48%以上、切削速度120m/min 以上においては構成刃先の生成はほとんど見られない。次に、切削抵抗が低く、構成刃先 の生成が少ないNo.4 試料について、調質別に切削抵抗を比較した結果を図7.3 に示す。 3種の材料ではH12材が概して低く、また構成刃先はいずれの調質条件においてもV= 120m/min以上ではほとんど認められない。

切りくず処理性については第2章に示した西ドイツ切削情報センター (INFOS)の切り くず形状分類<sup>4</sup>)に従って検討した。

本実験で得られた切りくずの実態を図7.4 に示し、これらを前述の分類に従って整理した ものが図7.5 である。図に見られるように、本実験で用いた Al-Mg 系合金は全般的にあ まり切りくず処理性の良い材料とは言えないが、Mg の添加によって切りくず処理性はや や改善されるようである。

Sec. 10		112/110	1.9/8		it think	, 1 0.00	THEFT OF T	0- /10
Tool		SKH	14A		1.150	K	10	
Material			13	C	)			
VIMIS	NO.I	NO.2	NO.3	NO.4	NO. I	N0.2	NO.3	NO.4
1		115.5	51.5	1		entra antina. Antina antina	A Station	Not the state
2		2.25	W. C. S.	Europe		283	1/	antena asternet
4		1	Ľ,	formut and and and and	10.0	6	vigeti annu	un stang
Material				н	2		1	
V(m/s)	NO.I	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
F	2	5	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	うい	(((	carles and	A. B.	Att Barrow
2	:7	1	J	No.		=3=3=3	all and	0
4	1		0		1	The second	Liz ili	1100 - 112
Material				H3	32	1 1000		r
Vimis	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4
I	)//	1),	The products		((/	12.12		stranger .
2	1	1.1.2. 1.1.2. 1.	وديديدي. دوري	AND THE STATE		-34	mum	STREAMA STREAM
4		N	-	King G	$\langle \rangle$	- MARANSKA	1	1

図 7.4 各供試材の切りくず形状

		Tool	SK	(Н4		ŀ	(10	
Mat	erial		60	120	240	60	120	240
		f mm/revi	θ=		)°	t. =	Imr	n
		0.05						
	NO.I	0.08						
		0.   3	_					
		0.05	0	0	0	0	0	0
	NO.2	0.08	•	0		•	•	
0	[	0.13	•	0	$\bullet$	•	0	•
0		0.05	•	0		0	0	D
	NO.3	0.08	•	0	$\bullet$	0	0	0
		0.13	•	0	۲	•	0	•
		0.05	•	0	0	•	0	D
	NO.4	0.08	•	0	0	0	0	d
		0.13	•	0		0	0	
		0.05						
	NO.	0.08	٠					
		0.13	٠	•	٠		٠	
		0.05	0	0	0	0	0	٥
	NO 2	0.08	0	0		0	0	D
	1.0.L	0.13	0	•	•	•	0	
HIZ		0.05	0	0		0	0	٥
	NO.3	0.08	0	•	٠	0	0	٥
		0.13	0	•	0	0	0	0
		0.05	0	•	٠	0	0	٥
	NO.4	0.08	•	0		0	۲	0
	Ì	0.13	0	•	0	•	0	0
		0.05	0	•	•	۲	0	
	NO. 1	0.08	•			•		
ļ		0.13	$\bullet$		٠	۲	٠	
		0.05	0	0	0	0	•	٥
	NO.2	0.08	•	0	•	0	0	
		0.13	•	•		0	0	
нэг		0.05	•	0	0	0	0	
	NO.3	0.08	0	0	•	•	0	
		0.13	0			0	0	
		0.05	0	0	0	0	0	٥
	NO.4	0.08	•	0	0	0	0	
		0.13	•	0		0	0	
		0.0	boo	0	Suita	ble	int	eri

図 7.5 各供試材の切りくず形状分類

# 7.3.3 加工変質層

切削による加工変質層の存在は加工部品の性能寿命すなわち耐摩耗性、耐食性、疲れ強 さ、精度の経年変化などに影響を及ぼす重要な因子である。5)本実験では切削面の断面を研 摩後バーカー氏液(0.03%HBF4)で陽極酸化した組織の観察結果から加工変質層深さを 求めた。図7.6に切削面断面の顕微鏡組織を、また図7.7に加工変質層深さを示す。図7. 6によればMgを含まないNa1試料ではいずれの調質材においても表層部約150µmから 約250µmの深さまで切削加工により生じた微細な再結晶組織が存在し、さらに内部に変形 帯組織が観察された。これに対し、Mgを添加したNa2、Na3、Na4試料の場合には再結 晶組織は認められず、切削面表面から繊維組織、変形帯組織などが観察された。次に、図 7.7(a)(b)からわかるように、加工変質層の深さは湿式と乾式ではほとんど同じであり、 また乾式、湿式ともにMg量の増加にともなって減少傾向が認められ、調質別の比較では O材が最も深く、H12、H32材などの約1.5倍程度の深さまで及んでいる。

SI V	SKH4 tool, θ=10°, Dry cutting V=120m/min , f=0.13mm/rev , t,=1mm								
Material	0	HI2	H32						
NO.I									
NO.2	1 Page								
NO.3			Ser Co						
NO.4			<u>І50µ</u> т						

図7.6 乾式切削における加工変質層のミクロ組織による観察



図 7.7 乾式、湿式切削における加工変質層深さ

## 7.3.4 鏡面仕上面品位

鏡面として実用に供しうる仕上り程度は目的、用途によって異なるが、本実験によって 得られた鏡面切削面の表面あらさは、図7.8の断面プロフィルにみられるように、いずれ の試料の場合もRmax=0.02~0.03µmであり、磁気ディスク、ポリゴンミラーなどとして 使用範囲の表面精度が得られた。これらの切削面について分光光度計により反射率を測定 した結果が図7.9である。それによれば調質別の差異はとくに認められないが、Mg量の 増加によっていずれの波長域においても反射率の向上が認められた。鏡面切削面の加工変 質層はきわめてうすく、断面組織からは確認が困難であるので、切削面表面の顕微鏡組織 を観察した。その結果、図7.10にみられるように Mgをほとんど含まない№1 試料の場合 には高速度鋼工具による切削面と同様に微細再結晶組織が認められ、Mgを添加した№2、 №3、№4 試料は一部に弱い変形帯組織がみられることから、鏡面切削面の加工変質層も 基本的には旋削面のそれと同様の因子に影響されることが推察された。

Material	0	H   2	H32
NO. I	mannen		mmmm
NO. 2	······································	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	man
NO. 3		mantown	museum
NO. 4	mannen	mannen	

図7.8 鏡面切削仕上面の表面あらさ



図 7.9 鏡面切削仕上面の反射率


図 7.10 鏡面切削仕上面のミクロ組織

## 7.4 結 言

高純度 Al-Mg 合金の被削性に及ぼす Mg 量および調質の影響を高速度鋼工具、超硬合 金工具を用いて検討した結果を要約すると次のようになる。

- (1) 切削抵抗は Mg 量の最も多い 4.41 % Mg 試料と Mg をほとんど含まない試料の場合 が概して低く、1.10、2.48 % Mg 試料の場合には切削条件によって変動が大きい。
- (2) 構成刃先は Mg 量の増加によってやや抑制され、Mg 量 2.48%以上、切削速度 120 m/min 以上でほとんど消滅する。
- (3) 切りくず処理性は全般的にあまり良好とは言えないが、Mgの添加によってやや改善されるようである。
- (4) 加工変質層深さは Mg量の増加にともない減少傾向を示し、Mgを含まないものに 比べて 4.41 % Mg 試料では約½程度に減少する。またO材の加工変質層はH12材、H 32材のそれに比べて約 1.5 倍の深さまで及んでいる。

さらにダイヤモンド工具による仕上げ面の表面あらさを検討した結果、Mg量、調 質条 件にかかわらず磁気ディスク、ポリゴンミラーなどとして実用範囲の Rmax =0.02~0.03 µmの鏡面が得られ、仕上げ面の反射率はMg量の増加にともなって向上することが明らか になった。

# 参考文献

- 1) 財満鎮雄、加茂 進、荒尾和行:軽金属、13(1963)、400.
- 2) 財満鎮雄、飯尾政治、北村為之:軽金属、13(1963)、405.
- たとえば, H. Borchers, H. M. Tensi, and H. Ehrhardt : ALUMINIUM, 44 (1968), 47.
- 4) 奥島啓弐:マシナビリティ、11(1973)、1.
- 5) 岡村健二郎:切削工学、コロナ社、(1981)、376.

第8章 Al-Mg系合金の切りくず処理性に及ぼす添加元素の影響

## 8.1 緒 言

一般にアルミニウム合金で2011および Al-Mg-Si 系G67合金<sup>1)</sup>は快削合金として知られ ているが、これらの合金は熱処理型合金であることから残留応力低減に限界があり、切削 後の寸法精度が良好でない。また、2011合金は Al-Cu 系合金であることから耐食性、表 面処理性に問題がある。一方、Al-Mg 系合金は耐食性、表面処理性にすぐれ、また非熱 処理型合金であることから残留応力の低減が容易であり、そのため精密光学部品として用 いられている。しかし、Al-Mg 系合金はこれまで述べてきたように連続型切りくずが発 生しやすく、そのため工作機械の自動化が進んだ現在、切りくず処理性の改善が重要な課 題となっている。そこで Al-Mg 系合金の切りくず処理性改善を目的として合金組成につ いて検討した。

#### 8.2 実験方法

表 8.1 に示す Al-3.5 % Mg 合金を基本組成として Si、Pb、Sn、Li、Na、Ca を種々添 加した合金を直径150mmのビレットに水冷金型鋳造を行った。その後、500°C、4hの均質 化処理を行った後、押出温度450°Cで直径30mmの丸棒に押出し、供試材とした。

	表 8.1	化 学 組 成	(%)
--	-------	---------	-----

														-
Alloy	A 1	Si	Fe	Cu	Мп	Mg	Сг	Zn	Тi	РЬ	Sn	Li	Na	Са
AS1	Bal	0.05	0.16		0.01	3.36		0.02	0.01		1,35		-*-	*
A S 2	Ba l	0.05	0.16		0.01	3.34	—		0.01	—	1.35		0.0015	*
BS1	Bal	1.04	0.16	—	0.01	3.34		0.01	0.01		1.34		-*-	*
BS2	Bal	1.05	0.17		0.01	3.42	—	—	0.01		1.43	0.09	*	*
APS1	Bal	0.06	0.09		0.01	3.27	. —	0.01	0.01	0.48	0.63		*	*
APS2	Bal	0.09	0.17		0.02	3.61	—	—	0.01	0.52	0.79	0.18	*	*
BPS1	Bal	0.54	0.10		0.01	3.22	—	0.01	0.01	0.44	0.63		-*-	*
BPS2	Bal	0.97	0.10		0.01	3.10	—	0.01	0.01	0.30	0.36		*	-*-
BPS3	Bal	0.98	0.16	—	0.01	3,34			0.01	0.51	0.66		*	*
BPS4	Bal	0.99	0.10		0.01	3,20	—	0.01	0.01	0.26	0.34	—	0.0044	*
BPS5	Bal	1.02	0.16		0.01	3.34			0.01	0.53	0.69		-*-	0.047
BPS6	Bal	1.03	0.17		0.01	3.45			0.01	0.48	0.73	0.09	*	*
BPS7	Bal	1.02	0.16	—	0.01	3.55	-	—	0.01	0.53	0.76	0.18	-*-	*

----less than 0.01%

- less than 0.001%

供試材の組織観察は光学顕微鏡、EPMAを用いて行った。また、機械的性質は引張試験、 シャルピー衝撃試験によりしらべた。

切削は刃先諸元 0-6-6-6-15-15-0.5の超硬合金(K10)工具を用い、乾式切削にて 行った。切削条件としては切削速度 V を60、120、240m/min、送り f を 0.05、0.12、0. 20mm/rev、切込み t<sub>1</sub> を 0.5、1.0、2.0mm で行った。

## 8.3 実験結果および考察

## 8.3.1 供試材の機械的性質

図8.1 に供試材の機械的性質を示す。これより次のことが認められる。Li、Na、Ca 添加による機械的性質への影響については、Na 添加がシャルピー衝撃値を低下させること以外には顕著な差が生じていない。また、Si 添加の影響については引張り強さ、伸び、シャルピー衝撃値を低下させている。



図 8.1 供試材の機械的性質

Na添加によるシャルピー衝撃値低下はRanseloy<sup>2</sup>)らによると粒界へのNa偏析により粒 界強度が低下するためと考えられ、高温延性を低下させることが知られている。Si添加の 影響については第5章でも確認されたようにMg<sub>2</sub>Si晶出物によるものであると考えられ る。

## 8.3.2 切りくず形状

各種合金の切りくずは第2章に示した西ドイツ切削情報センター(INFOS)の切りくず 形状分類<sup>3)</sup>に従って分類した。その結果を図8.2に示す。切りくず処理性を良くするために

							_			_	
Allow	ti mm	0	).5		Ι.Ο			2.0			
дпоу	V m/min	60	120	240	60	120	240	60	120	240	
	0.05		Ā					0			
ASI	0.00		ŏ	ŏ	ŏ	ă	ō	õ	ŏ	ŏ	
	0.20	5	ě	ŏ	ĕ	ð	ŏ	ŏ	ŏ	ð	
	0.05	ě	ŏ	ŏ	ŏ	ĕ	ŏ	ŏ	ŏ	б	
AS2	0.12	ă	ŏ	õ	õ	ŏ	õ	ō	ō	ŏ	
	0.20	Ō	ŏ	õ	ŏ	õ	õ	Ŏ	Ō	Õ	
BSI	0.05	Ō	Ō	Ō	Ō	Ō	Ô	Ō	0	O	
	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.20	0	0	0	0	0	0	0		0	
	0.05	Ó	0	0	0	0	0	o	0	O	
BS2	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.05	•		•		•				•	
APSI	0.12	0	0	$\bullet$		0		0			
	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0		
APS2	0.05		•			•			•	0	
	0.12			0	0	0	0	0	0	0	
	0.20		0	0	0	0	0	0	0		
BPSI	0.05		0		0	0	С	0	0	0	
	0.12	0	0		0	0	0	0	0	0	
	0.20	0	0	0	0	0	0	0		0	
BPS2	0.05	0	•		0		0	0	0	•	
	0.12	0			0	0	0	0	0	0	
	0.20		0	0	0	0	0	0	0		
BPS3	0.05	0	0	0	0	0	C	0	0		
	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.20	0	0	0	0	0	C		0	0	
BPS4	0.05	0	0	0	0	0	D	0		0	
	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0		
	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0		
BPS5	0.05	0	0	0	0	•	C	0	0	0	
	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
BPS6	0.05	0	lacksquare	0	0	0	0	0	Q	0	
	0.12	0	0	0	0	0	0	10	O	O	
	0.20	Ø	0	0	0	Q	Q	ĮÕ	QIQ	0	
	0.05	0	0	0	0	O	O	0	U	0	
BPS7	0.12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	0.20	р	0	0	0	0	0	0	Q	U	
O Good	0 Si	it	at	le		•	h	nfe	eri	or	

図 8.2 各種切削条件における 切りくず形状 は添加元素としてSi、Pb+Snが最も効果的であると考えられる。その他の微量元素として、AS1とAS2、BPS2とBPS4を比較するとNaが切りくず処理性向上に効果があると言える。Li、Ca添加は切りくず処理性向上に効果がないものと考えられる。切削条件から切りくず処理性をみると送りfが大きいほど切りくず処理が容易になる傾向にあり、切削速度Vについては特に傾向が認められない。

## 8.3.3 切りくず生成の微視的観察

切りくずの生成機構を調べるため、AS1、BS1 合金について切削急停止を行い、切りく ずの微視的観察を行った。そのときの切削条件は、V = 60m/min、f = 0.2mm/rev、 $t_1$ =2mmである。図 8.3 は AS1、BS1 合金の切りくず生成観察と切りくずに発生したき裂先 端部の SEM 観察である。図 8.3 の顕微鏡写真から認められるように、AS1、BS1 合金と も典型的な構成刃先が形成され、切りくずの裏面および切削面にもち去られることによっ て成長と分裂がくり返されている。そのため、切りくずはその両面に予き裂が形成されて



(1) AS1合金

1

(2) BS1合金

 図 8.3 切りくず生成の観察(A)と切りくずに発生したき裂 先端部の SEM 観察(B) おり、切りくずのカールによりき裂が伝播し破断しやすい状態になっている。また、切り くずの SEM 観察より認められるように、AS1 合金では組織中に多くの金属間化合物が存 在するが、塑性変形により割れが生じていないのに対して、BS1 合金では組織中の金属間 化合物には塑性変形により割れが生じている。このために BS1 合金の方が切りくずカール による予き裂の伝播がより一層容易になり、切りくずが小さく破断したものと考えられる。

## 8.3.4 切りくず形状と化学組成

切りくず処理性に効果のあった添加元素である低融点金属 Pb、Sn および Si 添加量と切 りくず処理性についてまとめたのが図 8.4 である。ここで、切りくず処理性を数値化させ るため点数処理をした。すなわち図 8.2 において○印、●印、●印にそれぞれ5、3、1 点 を与えて全切削条件での値を加えた。図 8.4 より Pb+Sn 量、Si 量が多くなるほど切りく ず処理性が良好となることがわかる。また、AS2、BPS4 合金は Na を添加することによ り、切りくず処理性が向上していることがわかる。



図 8.4 切りくず処理性と Pb+Sn、Si 量の関係

## 8.3.5 切りくず形状とシャルピー衝撃値

切りくず生成の観察において、き裂伝播の容易さが切りくずの破断に影響することが予想された。そこで、被削材のシャルピー衝撃値と切りくず形状の点数処理をした値の関係を図8.5に示す。これより切りくず処理性はシャルピー衝撃値が小さいほど良好になることがわかる。



図 8.5 切りくず処理性とシャルピー衝撃値の関係

切りくず処理性は被削材のシャルピー衝撃値と強い相関が認められたものの、切りくず 破断部の温度は室温よりもかなり高い温度である。その正確な温度は不明であるが、切削 温度の約500°Cより若干低い温度であると考えられる。そこで、AS1、BS1、BPS3合金に 加え、比較合金としてG67、2011合金の室温から500°Cまでのシャルピー衝撃値をしらべ、 図 8.6 に示した。切りくず処理性の良好な2011合金ではPb-Bi共晶温度である125°C<sup>3</sup>)に 近づくにつれ急に低下している。これはZollerら<sup>4)</sup>の切りくず破断機構において低融点金属 が切削熱による温度上昇のために溶融して切りくずを分断させるとする考えと一致するも のである。一方、AS1、BS1、BPS3 とG67合金はSnの融点232°CまたはPb-Sn の共 晶 183°C<sup>4)</sup>においてほとんどシャルピー衝撃値が低下していない。



図 8.6 供試材の高温シャルピー衝撃値

この原因をしらべるため、AS1、BS1、BPS3 合金の低融点金属からなる金属間化合物 の分析をEPMAにより行った。図8.7よりAS1 合金には Mg-Si-Sn が認められ、Sn単 独では存在していないことがわかった。また、BS1 合金でも Mg-Si-Sn が認められた。 BPS3 合金では Mg-Si-Pb-Sn とごく一部に Sn が認められた。したがって、Al-Mg 系 合金では Pb、Sn を添加してもこれら低融点金属は単独に存在することができず、Mg-Pb-Sn 金属間化合物を形成し、不純物として Si を含む場合は Mg-Si-Pb-Sn 金属間化 合物を形成して、溶融温度が高くなることから低融点金属の溶融による切りくず破断効果 がなくなる。(参考として Mg-Pb 共晶温度は 466°C、4)Mg-Sn共晶温度は561°C<sup>5)</sup>) しかし、Mg-Si-Pb-Sn 金属間化合物が第2相としてマトリックス中に存在するとシャ ルピー衝撃値を低下させることから、Si、Pb、Sn を添加するほど切りくず処理性が向上 したと考えられる。



(1) AS1合金



(2) BS1合金



## (3) BPS 3 合金

#### 図 8.7 供試材組織での低融 点金属からなる金属間化合 物の EPM A 分析

## 8.4 結 言

Al-Mg 系合金の切りくず処理性向上を目的として、Si、Pb、Sn、Li、Na、Ca添加の 影響を超硬合金工具による乾式切削においてしらべた結果、次のことが明らかになった。

- (1) Al-Mg 系合金は構成刃先が生成しやすく、これが原因で切りくずの両面に予き裂 が発生し、切りくずがカールすると伝播し、切りくず破断に影響を与えている。
- (2) Al-Mg系合金にPb、Snを添加するとMg-Pb-Sn金属間化合物を形成し、また Siを添加した場合、Mg-Si-Pb-Sn金属間化合物を形成する。そのため低融点金属 の溶融による切りくず破断の効果は認められない。しかし、Mg-Si-Pb-Sn金属間 化合物は第2相としてマトリックスに存在するとシャルピー衝撃値を低下させること からSi、Pb、Snの添加量が多くなるほど切りくず処理性は向上する。
- (3) 微量元素としてはNa添加は切りくず処理性に効果があるが、Li、Caは効果がない。

# 参考文献

- 1) 新井浩三、潮田俊太、佃 市三 AL-ある、(1980)、36.
- 2) C. E. Ranseloy, D. E. J. Talbot [ J. Inst. Metals, 88 (1959/60), 150.
- 3) 奥島啓弐:マシナビリティ、11(1973)、1.
- 4) H. Zoller, G. Enzler and J. C. Fornerod : Aluminium, 45 (1969), 49.
- 5) Hansen : Constitution of Binary Alloys, 1958.

## 第9章 総 括

5052、5056合金で代表される Al-Mg 系合金は主として切削用として多量に用いられて いる。これらの合金は仕上面品位、工具摩耗、切りくず処理性などの被削性が劣っている ものの、強度、耐食性が優れていることから、切削方法、切削条件などの工夫で何とか使 用されてきた。しかし、最近では切削加工の高精度化、自動化が急速に進み、もはや切削 方法、切削条件での努力だけでは対処することが困難になってきた。そのため Al-Mg 系 合金特有の良好な強度、耐食性を有し、被削性の優れた合金が強く望まれるようになって きた。そこで、本論文は切削用アルミニウム合金(2011、2017、G67合金)および快削黄 銅、快削鋼と比較して、Al-Mg 系合金の被削性を明確にするとともに、合金組成、製造 条件などを検討して、Al-Mg 系合金の被削性向上をはかることを目的に研究を行った。 以下、主な事項につき本論文の総括を述べる。

- (1) 第2章、第3章において、5056合金の高速度鋼工具による乾式切削、湿式切削特性を しらべ、以下のことを明らかにした。低速乾式切削では構成刃先生成のため良好な仕上 面が得にくいが、湿式ではいくぶん改善することができる。切りくず処理性は切削条件 全般にわたって良くないが、特徴的なこととして快削アルミニウム合金(2011、G67合 金)は高速切削でより切りくず処理性が良好になるのに対して5056合金では低速切削の 方がむしろ良好である。また、工具摩耗については、概略的には引張り強さまたは、硬 さが高い合金ほど工具摩耗が大きくなる傾向があり、この関係からみて、5056合金は引 張り強さまたは硬さのわりには工具摩耗が大きい。
- (2) 第4章において、5056合金切削における高速度鋼工具の摩耗を材料の製造条件から検討し、以下のことを明らかにした。5056合金の切削温度は、合金中に存在する Mg2Al3 晶出物の溶融温度を超えており、したがって Mg2Al3 晶出物は工具と被削材の摩耗抵抗を減少させる効果があり、工具摩耗低減に有効である。この Mg2Al3 晶出物は鋳塊の均質化処理温度が500°Cを超えると急に少なくなり、材料のシャルピー衝撃値が大きくなることから、シャルピー衝撃値と工具摩耗の相関が認められる。すなわち、シャルピー衝撃値が小さい材料ほど工具摩耗が少ない傾向にある。
- (3) 第5章においては、Al-4.5% Mg合金切削における高速度鋼工具の摩耗に及ぼす微量添加元素の影響について検討し、以下のことを明らかにした。TiおよびBのわずかな添加量でも、金属間化合物 TiB2 が非常に硬いので合金中に存在すると切削時に引っかき作用による工具摩耗を著しく増大させる。Feの添加は0.2%まではFe量とともに工

具摩耗は小さくなるが、それ以上ではわずかな増加となる。また、微量のMn、Cr、Ti 添加もFe添加と同様に工具摩耗改良に効果がある。

- (4) 第6章において、5056合金の被削性に及ぼすFe、Si微量添加の影響を高速度鋼工具、 超硬合金工具を用いて検討し、以下のことを明らかにした。5056合金には実用上地金か らの不純物としてFe、Siが同時に含まれることから、ここではFe、Siを同時に各種添 加した。切削抵抗、構成刃先の生成、切りくず形状についてはFe、Si量の影響は認め られない。切削仕上面については切削速度120m/min以下の構成刃先が旺盛な場合、 Fe、Si量に関係なく表面あらさは良くないが、切削速度480m/min以上では構成刃先 の生成がなく表面あらさが良くなり、とくにFe、Siを含まない合金では良好な仕上面 になる。工具摩耗については逃げ面摩耗はFe量の影響は少ないが、Si量が多くなると 大きくなるのに対して、すくい面摩耗はFe、Si量が多くなると大きくなり、逃げ面摩 耗とすくい面摩耗ではFe、Si量により異なった挙動を示す。
- (5) 第7章において、高純度地金を使用した Al-Mg合金の被削性に及ぼす Mg量および 調質の影響を高速度鋼工具、超硬合金工具を用いて検討し、以下のことを明らかにした。構 成刃先は Mg量の増加によってやや抑制され、Mg量2.48%以上、切削速度120m/min 以上でほとんど消滅する。切りくず処理性は全般的にあまり良好ではないが、Mg添加 によってやや改善される傾向にある。加工変質層の深さはMg量の増加にともない減 少し、Mgを含まないものに比べて Al-4.4% Mg合金では約%に減少する。また、O 材の加工変質層はH12、H32材のそれに比べて約1.5倍である。さらにダイヤモンド工 具による仕上面の表面あらさは Mg量および調質の条件にかかわらず Rmax で 0.02~0. 03µmの鏡面が得られ、仕上面の反射率は Mg量の増加にともなって向上することが明 らかになった。
- (6) 第8章において、Al-Mg系合金の切りくず処理性向上を目的としてSi、Pb、Sn、Li、 Na、Ca添加の影響を超硬合金工具による乾式切削においてしらべ、以下のことを明ら かにした。Al-Mg系合金は構成刃先が生成しやすく、これが原因で切りくずの両面に 予き裂が発生し、カールの際に切りくずの破断に影響を与える。Pb、Snを添加すると Mg-Pb-Sn金属間化合物を形成し、また、Si、Pb、Snを添加するとMg-Si-Pb-Sn 金属間化合物を形成する。そのため、低融点金属の溶融による切りくず破断の効果は認 められない。しかし、Mg-Si-Pb-Sn金属間化合物は第2相としてマトリックスに存 在するシャルピー衝撃値を低下させることからSi、pb、Snの添加量が多くなるほど切り くず処理性が向上する。微量元素としてNa添加は切りくず処理性に効果が認められる が、Li、Caは効果がない。

## 謝 辞

本論文は大阪大学長谷川嘉雄教授より全体の構成から個々の記述にいたるまで 詳細な御教示を頂いて完成をみたものであり、御指導に対し厚く御礼申しあげま す。また、大阪大学井川直哉教授、森勇蔵教授に種々の有益な御教示、御助言を 賜わりましたことに対し深く謝意を表します。

著者を切削加工技術の研究に導いて下さった故財満鎮雄博士に深く感謝の意を 表します。また、本研究の実施にあたり御指導いただきました富山大学高辻雄三 教授、山田茂助手、静岡大学鈴木康夫助教授、飯尾政次技官ならびに中部大学水 谷秀行助手に心から感謝の意を表します。

昭和アルミニウム株式会社専務取締役浅野祐一郎博士、常務取締役阿部隆博士、 常務取締役大畠芳昭博士、取締役尻家正孝氏から本研究に終始激励をいただいた ことに謝意を表します。また、本研究の開始から完成にいたるまで貴重な御指導 と御助言をいただきました昭和アルミニウム株式会社新井浩三博士、内山利光室 長、長谷川実室長、大塚良達次長ならびに研究室の諸氏に厚く御礼申し上げます。