The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

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	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

Al—Mg系合金の被削性に関する研究

昭和60年8月

佃　　市三

目　　次

第1章　緒　　論 …… 1
1.1　Al−Mg系合金の被削性に関する従来の研究 …… 1
1.2　本論文の内容 …… 2

第2章　5056合金の乾式切削特性 …… 4
2.1　緒　　言 …… 4
2.2　実 験 方 法 …… 4
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 …… 9
2.3.3　工 具 摩 耗 …… 11
2.3.4　切りくず形状 …… 13
2.4　結　　言 …… 14

第3章　5056合金の湿式切削特性 …… 17
3.1　緒　　言 …… 17
3.2　実 験 方 法 …… 17
3.3　実験結果および考察 …… 17
3.3.1　切削抵抗および切削温度 …… 17
3.3.2　切削仕上面 …… 19
3.3.3　工 具 摩 耗 …… 21
3.3.4　切りくず形状 …… 22
3.4　結　　言 …… 24

第4章　5056合金切削時の工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　実験結果および考察 …… 26
4.3.1　製造条件の影響 …… 26

4.3.2　機械的性質の影響 …… 28
4.3.3　材料組織の影響 …… 30
4.3.3.1　鋳塊組織 …… 30
4.3.3.2　供試材組織 …… 31
4.4　結　　言 …… 34

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 …… 36
5.1　緒　　言 …… 36
5.2　実験方法 …… 36
5.3　実験結果および考察 …… 37
5.3.1　供　試　材 …… 37
5.3.1.1　材料組織 …… 37
5.3.1.2　機械的性質 …… 39
5.3.2　工具摩耗 …… 40
5.4　結　　言 …… 44

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 …… 45
6.2　実験方法 …… 45
6.3　実験結果および考察 …… 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 …… 48
6.3.3　工具摩耗 …… 50
6.3.4　切りくず形状 …… 56
6.4　結　　言 …… 58

第7章　Al－Mg系合金の被削性に及ぼすMg量の影響 …… 59
7.1　緒　　言 …… 59
7.2　実験方法 …… 59
7.3　実験結果および考察 …… 59
7.3.1　供　試　材 …… 59
7.3.2　切削抵抗、構成刃先および切りくず形状 …… 61

7.3.3　加工変質層 ……65
7.3.4　鏡面仕上面品位 ……66
7.4　結　　言 ……68

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 ……70
8.1　緒　　言 ……70
8.2　実 験 方 法 ……70
8.3　実験結果および考察 ……71
8.3.1　供試材の機械的性質 ……71
8.3.2　切りくず形状 ……72
8.3.3　切りくず生成の微視的観察 ……73
8.3.4　切りくず形状と化学組成 ……74
8.3.5　切りくず形状とシャルピー衝撃値 ……75
8.4　結　　言 ……78

第9章　総　　括 ……80

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　Al—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、[1) 2)]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。[3)] 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、[4)] AC7A合金での鋳造組織の種類、[5)] 5052 合金冷間圧延材での異方性[6)] 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[7)] 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。[8)]

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、[2) 9)] 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。[10)] 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、[4] 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。[11]

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_2Al_3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：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：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：軽金属、18（1968)、13.

9）　橘高重義、佐藤金司、上遠野光敏、久保修：機械と工具、(1976)、97.

10）　財満鎮雄、飯尾政治、北村為之：軽金属、13（1963)、405．

11）　財満鎮雄、飯尾政治、加茂進：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[1)～6)] 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50㎜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。

表2.1　化学組成　(%)

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 %	C %	Mn %	P %	S %	Pb %	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 2.2　機械的性質

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
5056D	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

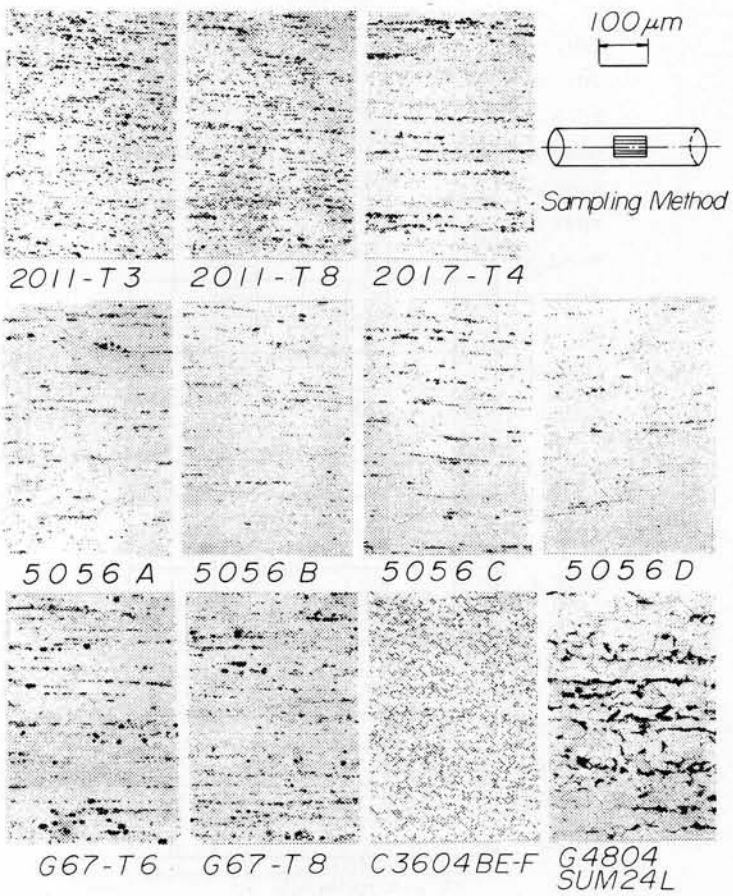


図 2.1　供試材ミクロ組織

切削にはOKK－RAMO型高速精密旋盤（55～2500rpm、ベット上の振り370mm、5.5KW）を使用し、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 ＝1mm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。

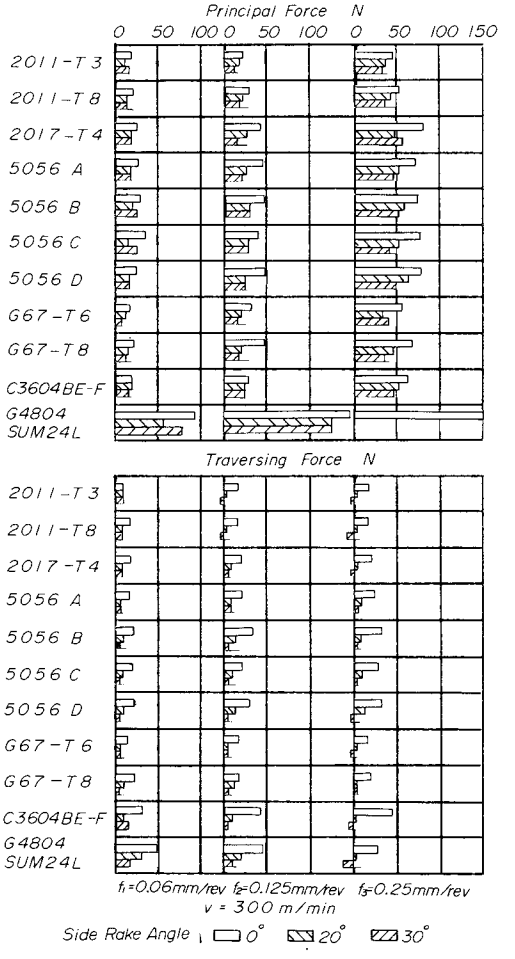


図2.2　切削速度300m／minにおいてすくい角、送りを変化させたときの切削抵抗

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を工具ー被削材熱電対法[7]によって求めたのが図2.3である。

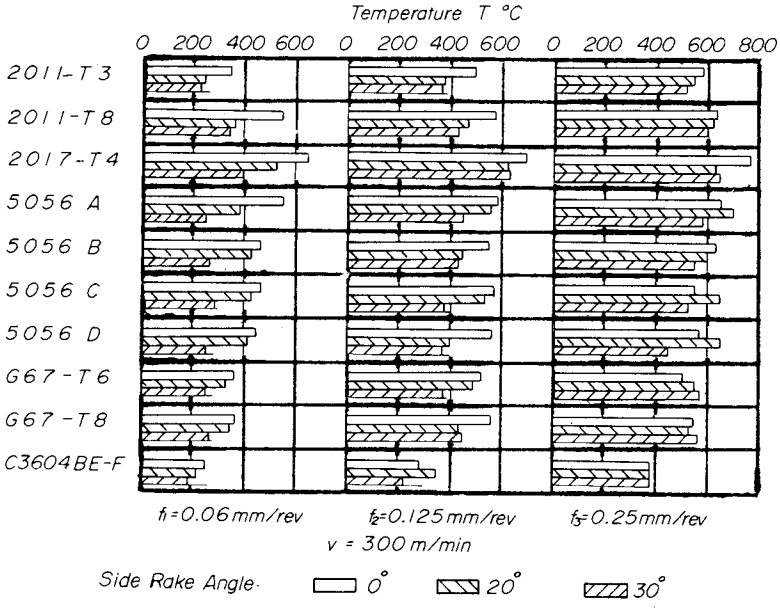


図 2.3　切削速度300m／minにおいてすくい角、送りを変えたときの切削温度

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、G67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。

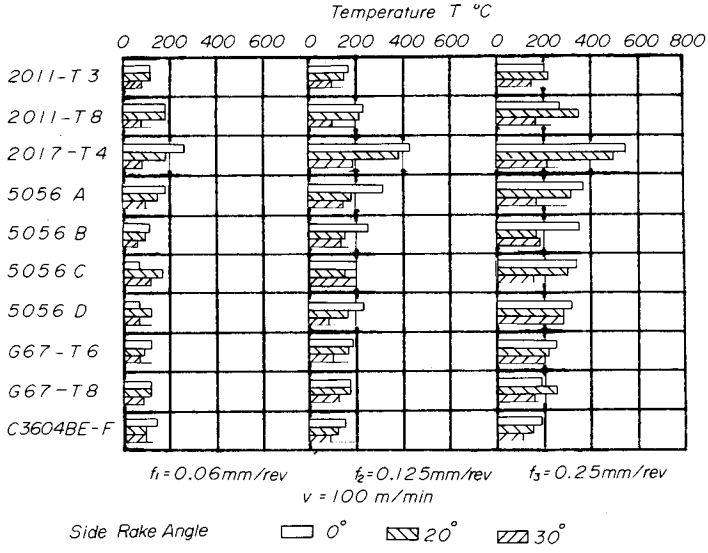


図 2.4　切削速度100m／minにおいてすくい角、送りを変えたときの切削温度

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[8]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。

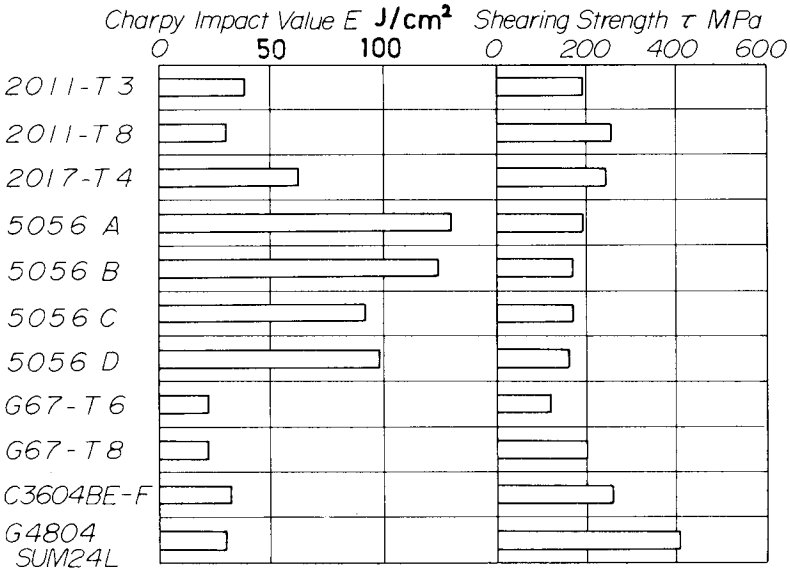
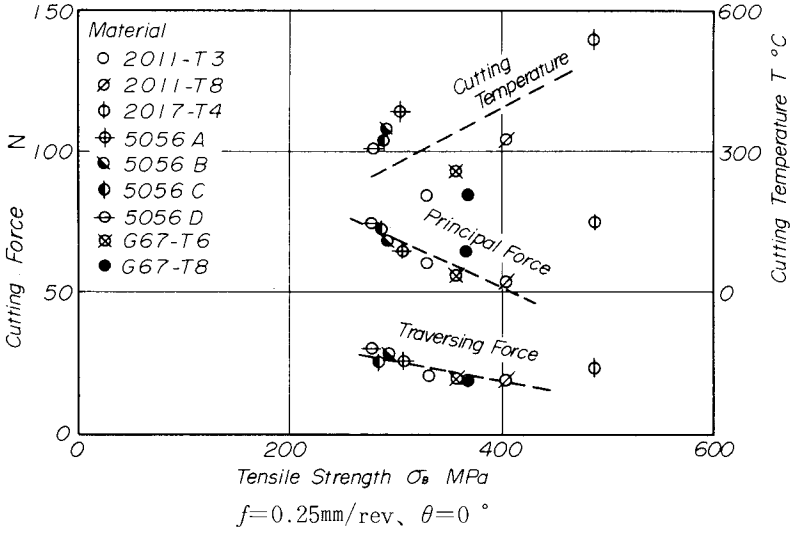


図 2.5　供試材のシャルピー衝撃値、せん断強さ

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_B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。



f=0.25mm/rev、θ=0°

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㎜／revのもとで、切削温度、すくい角が切削仕上面あらさRmax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、G67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θ＝0°でV＝100m／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θ＝20°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。

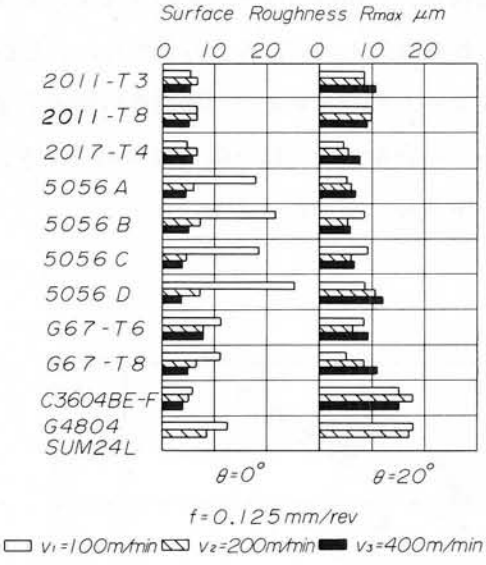
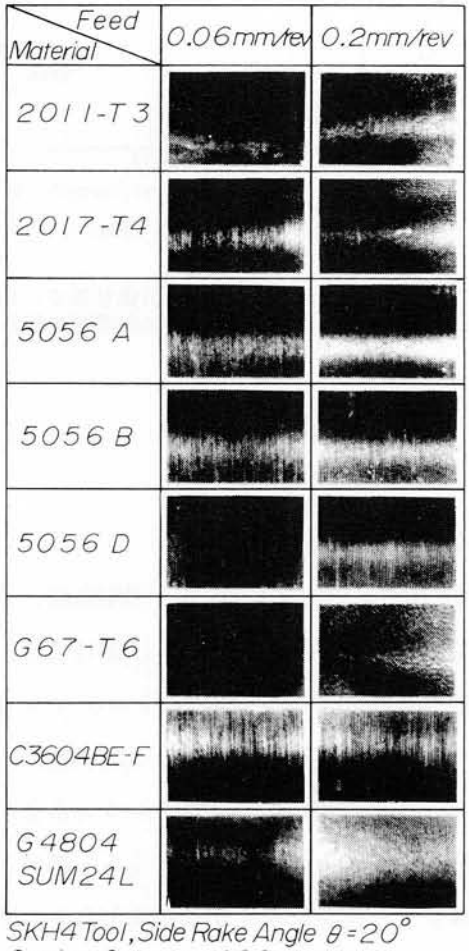


図 2.7　送り0.125mm／revにおいてすくい角、切削速度を変えたときの表面あらさ



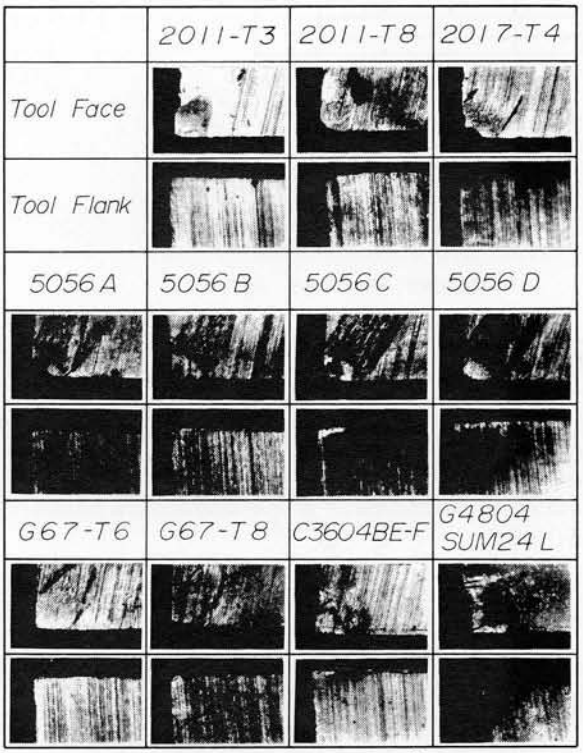
SKH4 Tool, Side Rake Angle θ=20°
Cutting Speed v=200 m/min
Depth of Cut t_1=1mm

図 2.8　代表的な切削仕上面状況

2.3.3 工具摩耗

V＝400 m／min、f＝0.25mm／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V_B[9]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σ_Bおよびビッカース硬さHvと摩耗幅V_Bとの関係を求めれば図2.11のようになる。これからσ_BあるいはHvが大きい材料ほどV_Bが大きいことがわかる。

これはσ_B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σ_B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。



SKH4 Tool, Side Rake Angle θ=10°
Cutting Speed v=400m/min
Feed f=0.25mm/rev
Depth of Cut t_1=1 mm

0.1 mm

図 2.9　工具摩耗状況

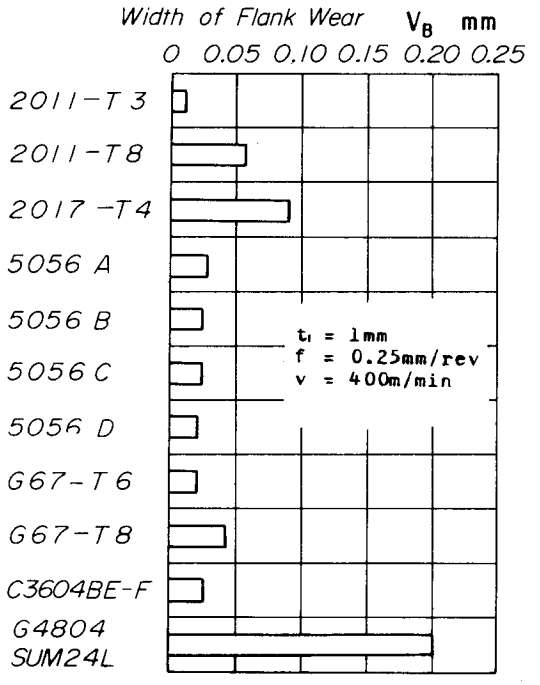


図 2.10　工具逃げ面摩耗幅

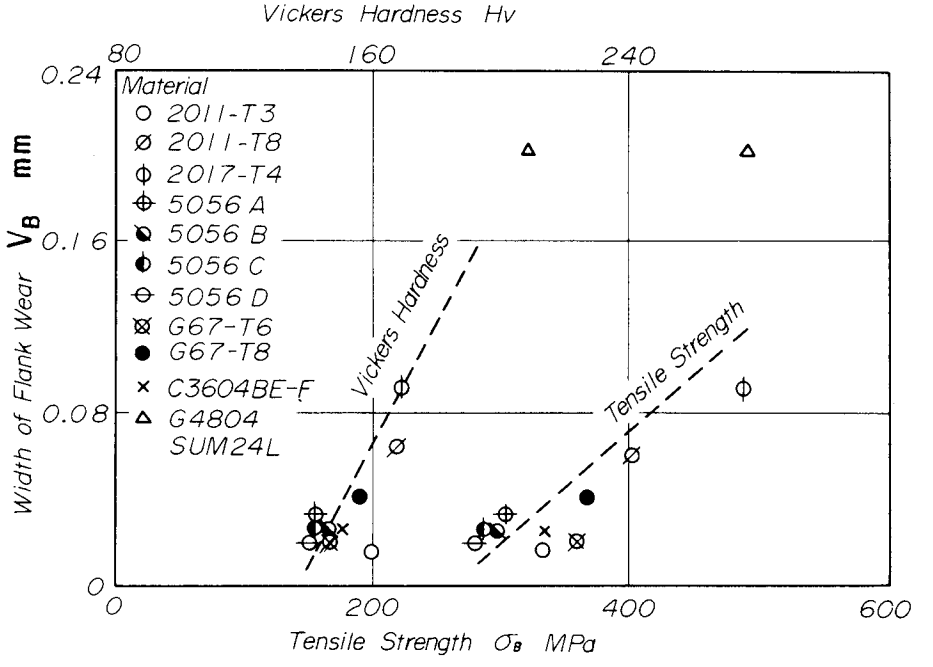


図 2.11　硬さおよび引張り強さと逃げ面摩耗幅の関係

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[10]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○印、４、５、９、10をやや処理良好として◑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。

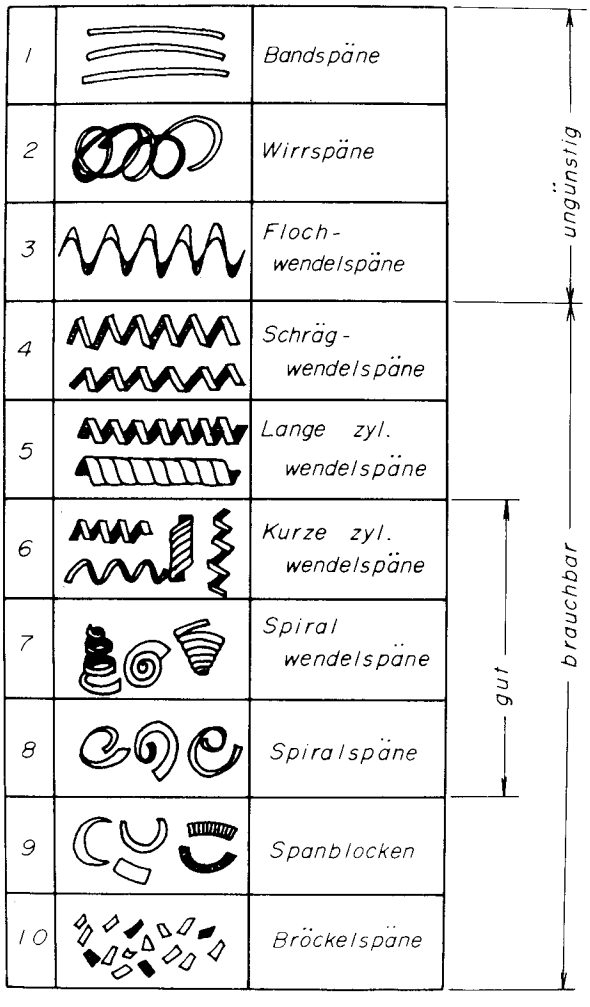


図 2.12　INFOSの切りくず形状分類

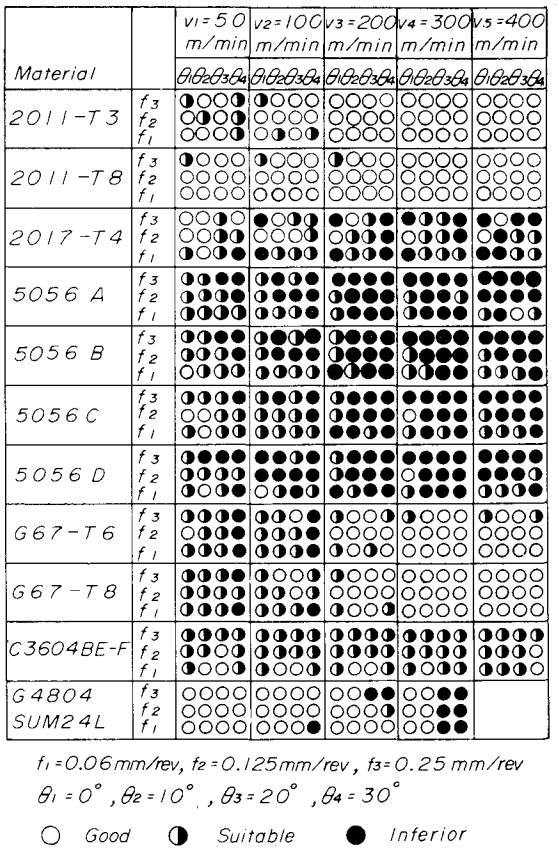


図 2.13　切りくず形状

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 / Material	Cutting Resistance	Cutting Temperature	Cut Surface	Flank Wear	Chip Form
2011-T3	○	○	○	○	○
2011-T8	○	◑	○	◑	○
2017-T4	●	●	○	●	◑
5056A	●	●	○	○	●
5056B	●	◑	○	○	●
5056C	●	◑	○	○	●
5056D	●	●	◑	○	●
G67-T6	○	○	○	○	○
G67-T8	○	○	○	◑	○

○ Good　◑ Suitable　● Inferior

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2011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：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．

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：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：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、[1] 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、G67（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（55～2500rpm、ベット上の振り370mm、5.5KW）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№22（動粘度40°Cにて21.4×10^{-6} m²／S、パラフィン系低粘度精製鉱油）と切削油№23（動粘度40°Cにて21.0×10^{-6} m²／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＝1.0mm一定とし、切削速度Vを50～400m／min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 cm³／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＝0.25mm／rev一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

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。

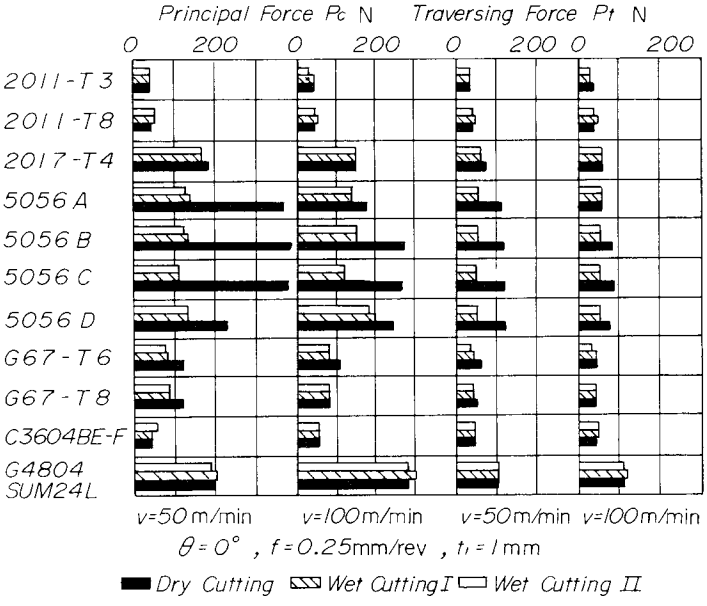


図 3.1　乾式、湿式切削において
切削速度を変化させたときの
切削抵抗（すくい角：0°）

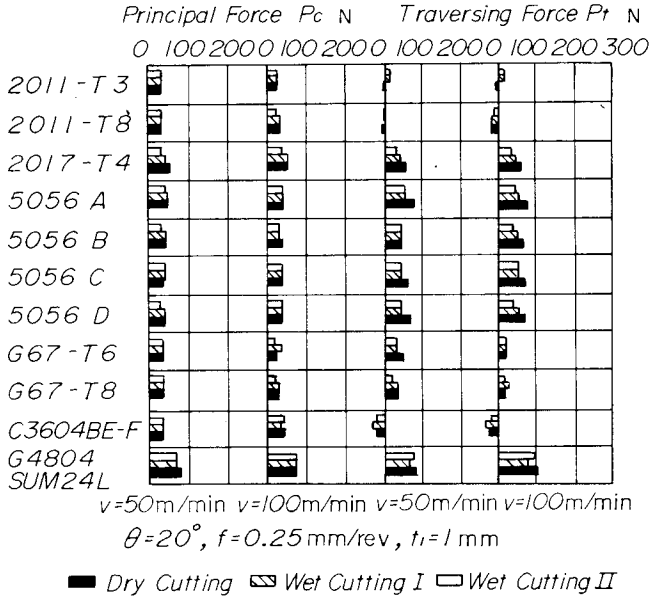


図 3.2　乾式、湿式切削において
切削速度を変化させたときの
切削抵抗（すくい角：20°）

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[2)]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5056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。

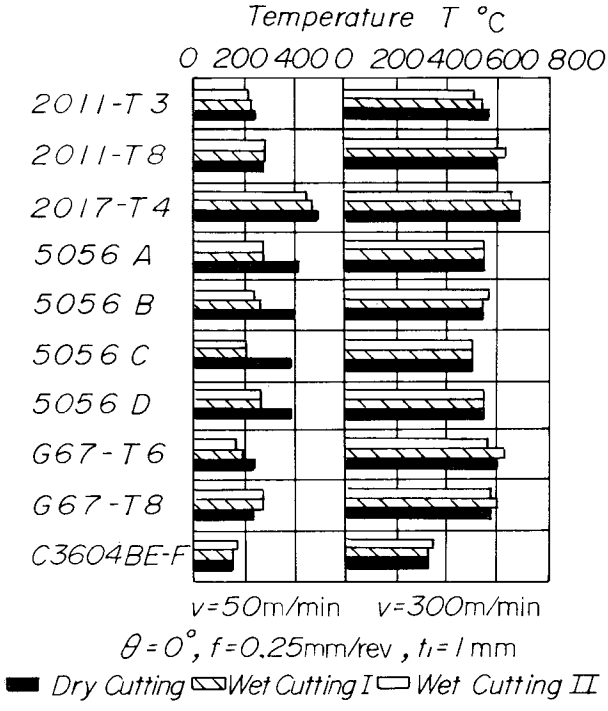


図 3.3　乾式、湿式切削において切削速度を変化させたときの切削温度

3.3.2　切削仕上面

図3.4はθ＝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。

θ＝20°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。

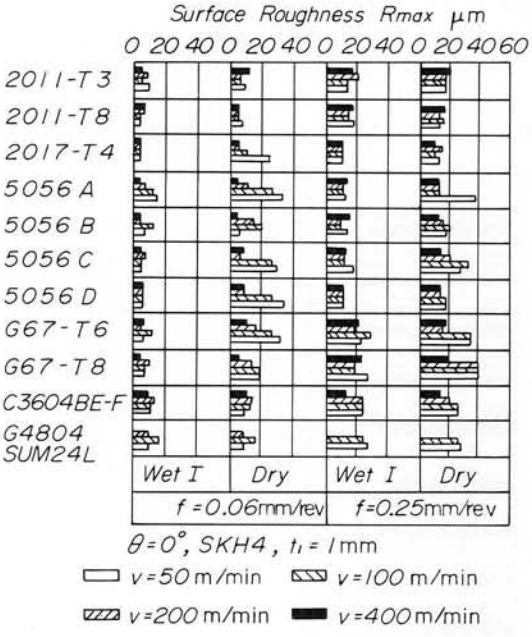


図 3.4　乾式、湿式切削において切削速度、送りを変化させたときの表面あらさ

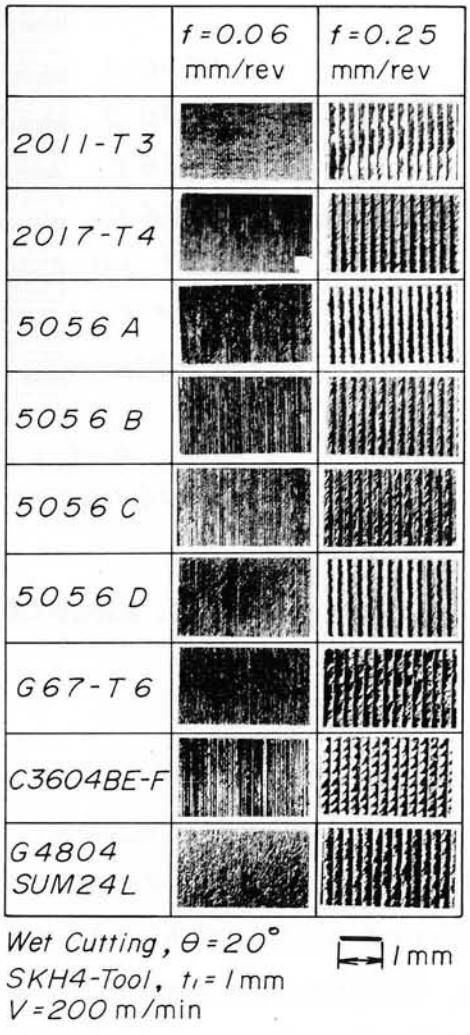


図 3.5　代表的な切削仕上面状況

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。

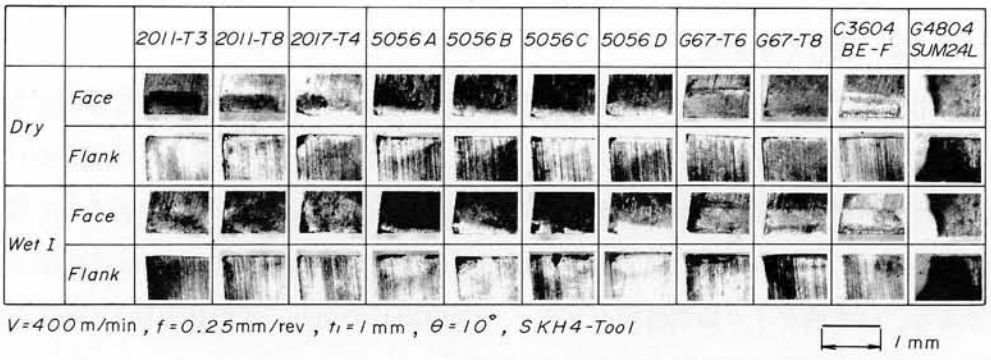


図 3.6　乾式、湿式切削での工具の摩耗状況

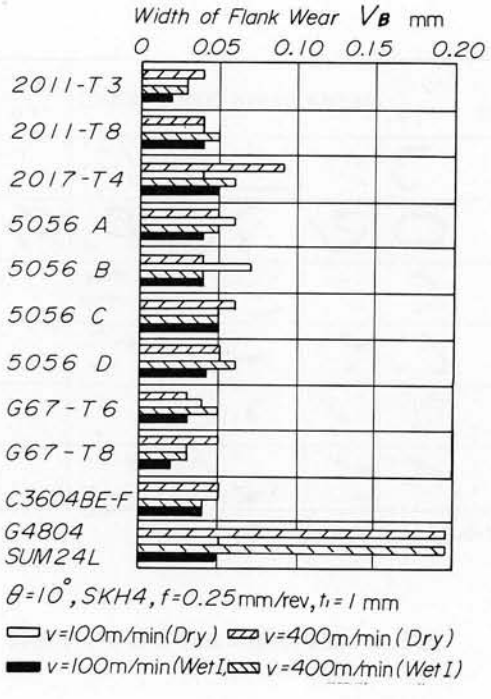


図 3.7　乾式、湿式切削において切削速度を変化させたときの工具逃げ面摩耗幅

V＝100m／minとV＝400m／minについてL＝500m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、ほかの供試材では2017合金の高速切削で大きい。全体を通じて2011合金、G67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（θ＝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[3]（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。

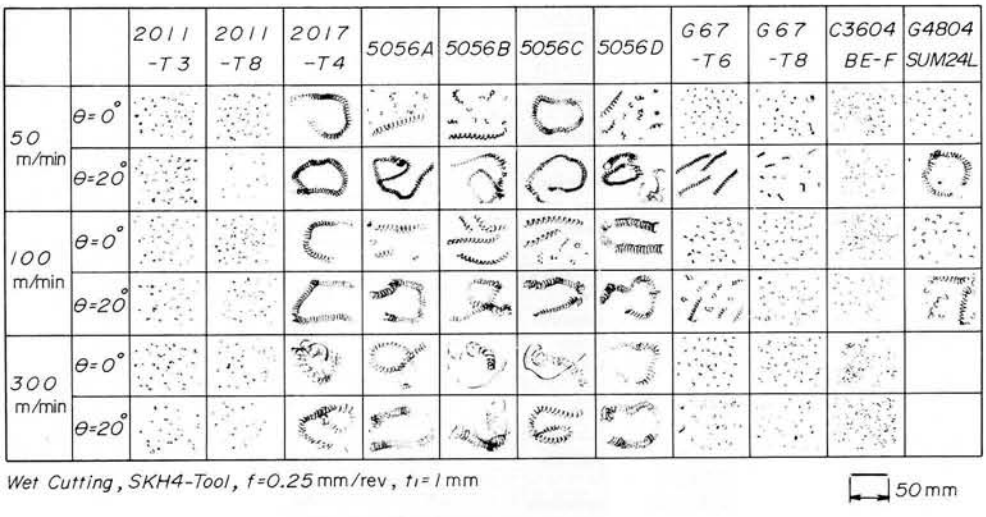


図3.8　湿式切削における切りくず形状

Material		v_1=50 m/min				v_2=100 m/min				v_3=200 m/min				v_4=300 m/min				v_5=400 m/min			
		θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
2011-T3	f_3	○	○	◑	○	◑	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	f_2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	f_1	○	○	○	◑	○	○	○	◑	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2011-T8	f_3	◑	○	◑	○	◑	○	○	○	○	○	○	○	◑	○	○	○	○	○	○	○
	f_2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	f_1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
2017-T4	f_3	◑	○	◑	◑	◑	○	◑	◑	●	○	◑	●	●	●	●	●	●	◑	●	●
	f_2	○	○	◑	●	●	○	●	●	●	○	◑	●	◑	◑	◑	●	◑	●	●	●
	f_1	○	○	●	●	●	○	●	●	◑	●	●	●	●	◑	◑	◑	●	●	◑	◑
5056A	f_3	○	◑	●	●	○	●	◑	●	◑	●	◑	●	●	●	●	●	●	●	◑	●
	f_2	●	◑	●	◑	◑	◑	◑	●	◑	●	●	●	◑	●	●	●	◑	●	●	●
	f_1	●	◑	◑	◑	●	◑	◑	◑	◑	◑	●	●	◑	◑	●	◑	◑	●	●	◑
5056B	f_3	○	●	●	●	○	●	●	●	◑	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	f_2	○	◑	●	●	●	◑	●	●	◑	●	●	●	◑	◑	●	●	◑	◑	●	●
	f_1	●	◑	●	◑	●	◑	◑	◑	●	●	●	●	●	◑	●	●	●	◑	●	◑
5056C	f_3	◑	◑	○	●	○	●	◑	●	○	◑	●	●	●	●	◑	●	●	●	●	●
	f_2	○	◑	●	●	○	◑	●	●	◑	●	●	●	●	●	●	●	●	◑	●	●
	f_1	◑	○	●	◑	◑	◑	●	●	●	◑	●	◑	◑	◑	●	◑	●	◑	●	◑
5056D	f_3	○	●	●	●	◑	●	●	●	●	●	●	●	◑	●	◑	●	●	●	◑	●
	f_2	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●
	f_1	●	◑	◑	●	●	◑	●	◑	◑	◑	●	●	○	●	●	◑	◑	◑	●	◑
G67-T6	f_3	○	○	○	●	○	○	○	●	◑	○	○	◑	○	○	○	◑	○	○	○	●
	f_2	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	◑	○	○	○	◑	○	○	○	◑
	f_1	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	●	◑	○	○	○	●	○	○	◑	◑
G67-T8	f_3	○	○	○	●	○	○	○	◑	○	○	○	◑	○	○	○	◑	○	○	○	○
	f_2	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	◑	○	○	○	○
	f_1	○	○	◑	●	○	○	●	●	○	○	○	●	○	○	○	●	○	○	○	●
C3604BE-F	f_3	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑
	f_2	◑	◑	○	◑	◑	◑	○	◑	◑	◑	○	○	◑	◑	○	○	◑	◑	○	○
	f_1	◑	○	○	◑	◑	○	○	◑	◑	○	◑	○	◑	○	○	○	◑	◑	○	○
G4804 SUM24L	f_3	○	○	○	◑	○	○	○	●												
	f_2	○	○	○	◑	○	○	◑	●	○	◑	○	◑								
	f_1	○	○	○	●	○	○	●	●	○	○	●	●								

f_1=0.06mm/rev, f_2=0.125mm/rev, f_3=0.25mm/rev

θ_1=0° θ_2=10° , θ_3=20° , θ_4=30°

○ Good ◑ Suitable ● Inferior

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。

表 3.1　点数処理をした切りくず処理性

Material	Points Wet	Points Dry
2011-T3	359	351
2011-T8	367	369
2017-T4	169	211
5056 A	139	147
5056 B	125	135
5056 C	145	145
5056 D	135	129
G67-T6	321	285
G67-T8	325	307
C3604BE-F	263	245
G4804 SUM 24L	(300)	(312)
Normal point	225	

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：軽金属、21（1971）、130.

2）　財満鎮雄、岡崎忠雄：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200mm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21mmの丸棒に押出し、さらに引抜き上り直径18mm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。

表4.1　化学組成　(%)

Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	B
Bal.	0.10	0.17	0.01	0.06	4.70	0.06	0.01	0.01	0.002

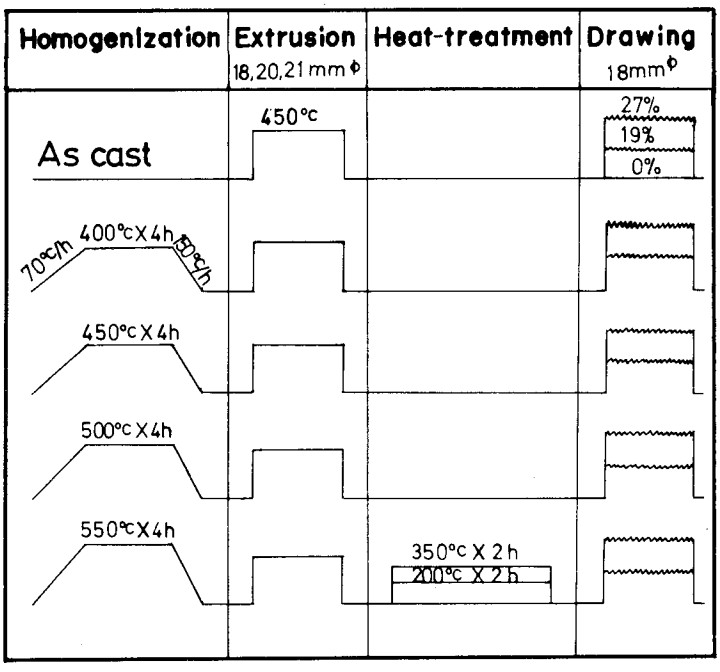


図 4.1　供試材の作製方法

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＝200m／min　、送りf＝0.2mm／rev　、切込みt_1＝1.0㎜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[1)]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横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

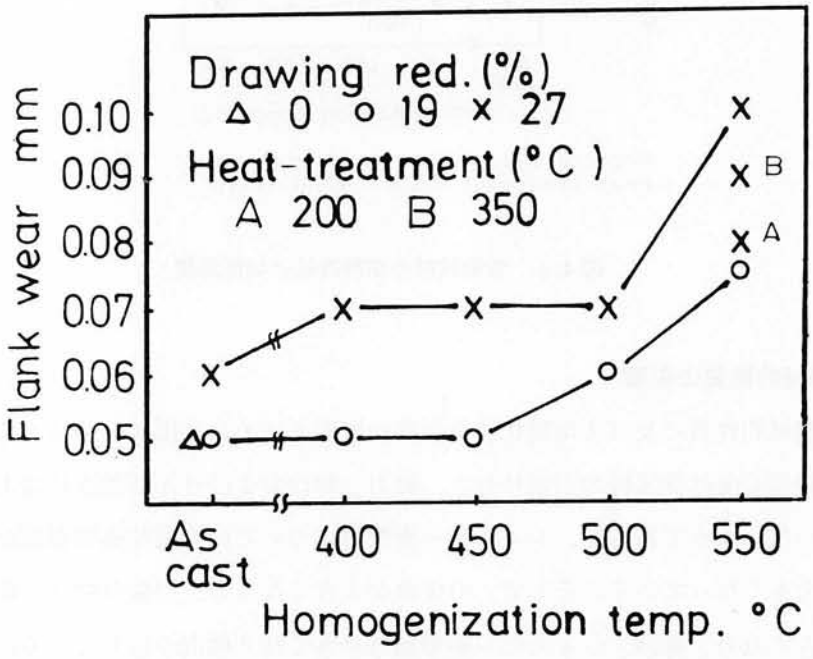


図 4.3　各供試材の逃げ面摩耗幅

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0.4mm／ 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。

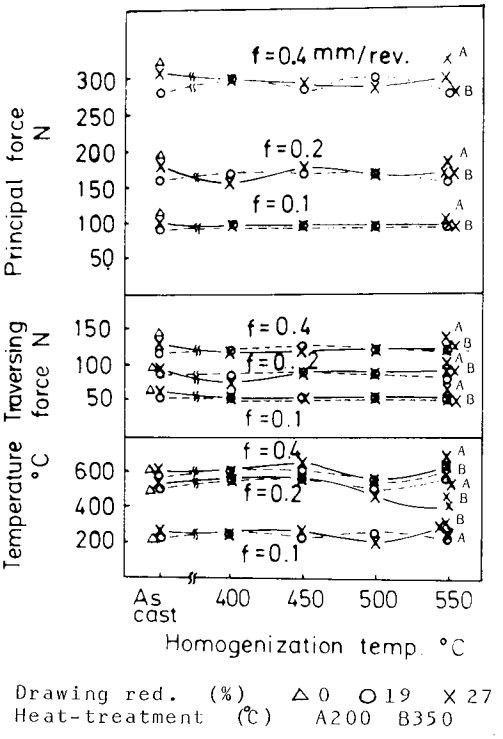


図 4.4　各供試材の切削抵抗と切削温度

4.3.2　機械的性質の影響

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い。

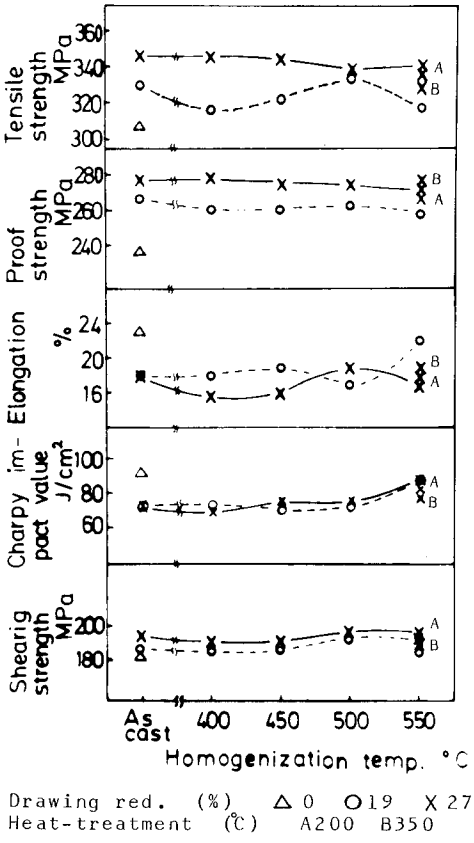


図 4.5　各供試材の機械的性質

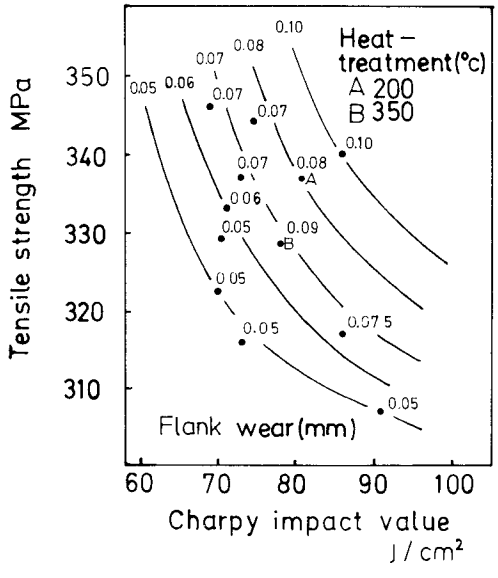


図 4.6　引張り強さ、シャルピー衝撃値と逃げ面摩耗の関係

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_2Si、Mg_2Al_3（以下β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_2Si、黒く見えて丸いのがβ相である。Al−Fe系化合物、Mg_2Si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、β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β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。

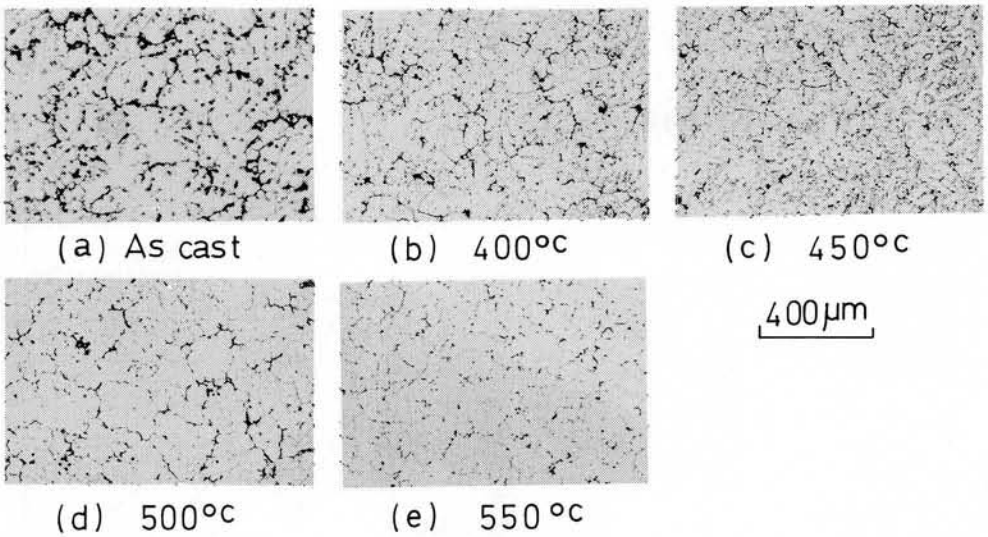


図4.7　各温度において4時間均質化処理したときの鋳塊のミクロ組織
（5％H_3PO_4にてエッチング）

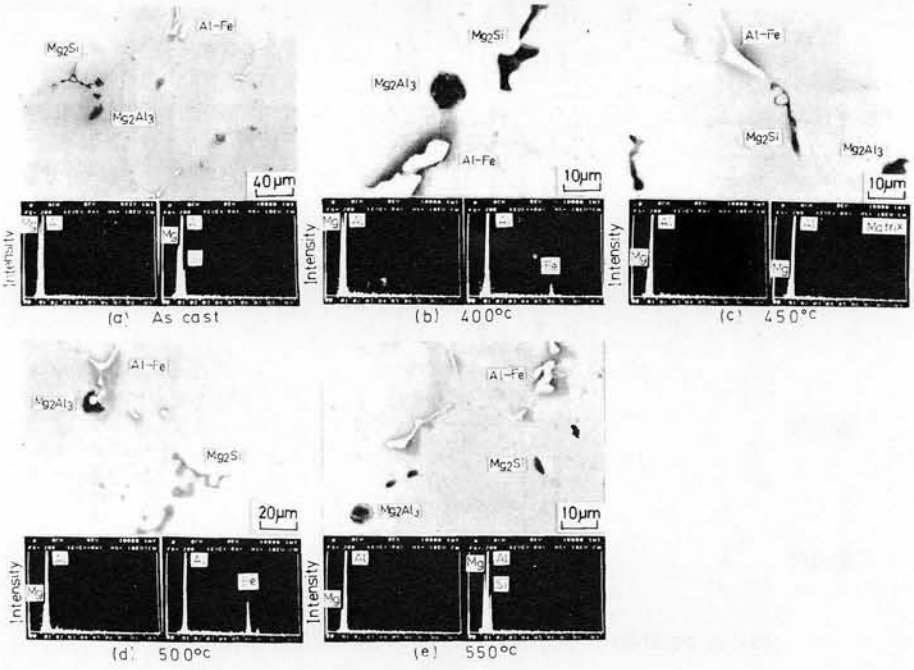


図 4.8　各温度において 4 時間均質化処理したときの鋳塊の EPMA 分析

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

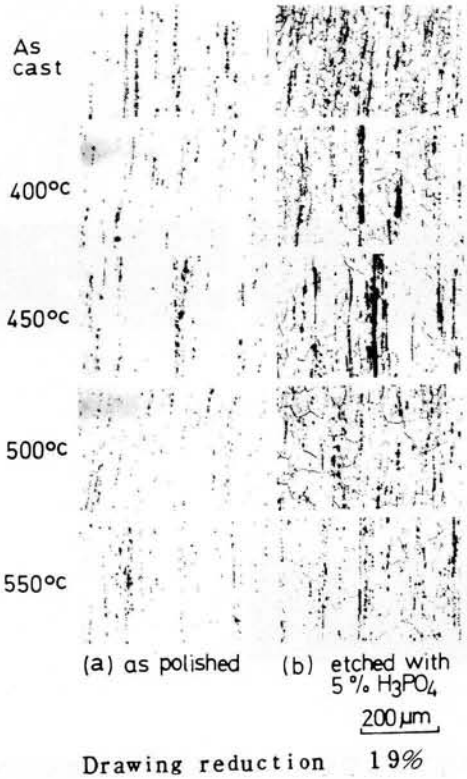


図 4.9　各温度において 4 時間均質化処理したときの供試材のミクロ組織

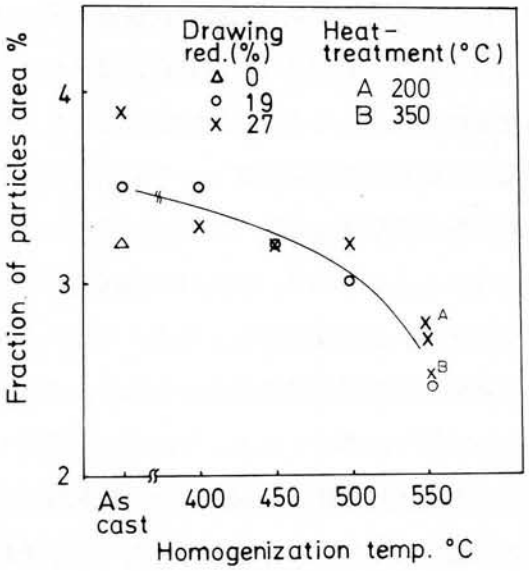


図 4.10　均質化処理温度を変えたときの供試材の晶出物面積率

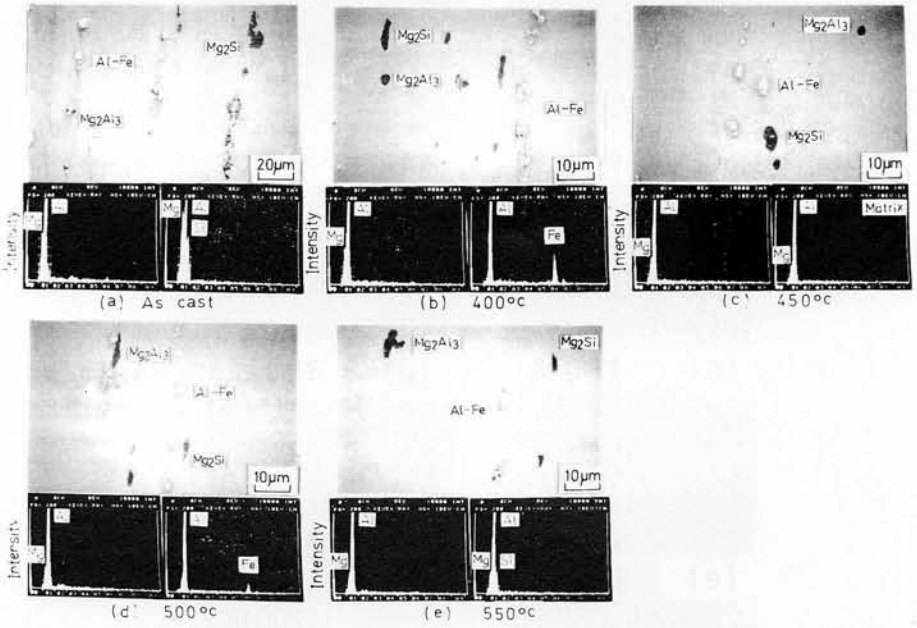


図 4.11　各温度において 4 時間均質化処理したときの供試材の EPMA 分析

場合、$f = 0.2$ mm／rev)は約 500 °Cであり、β相の溶融温度（451°C）[3]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β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、β相の存在が減少してくれば、Al−Fe系化合物、Mg_2Si 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、β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[4]といわれており、β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Mg_2Si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Mg_2Si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。

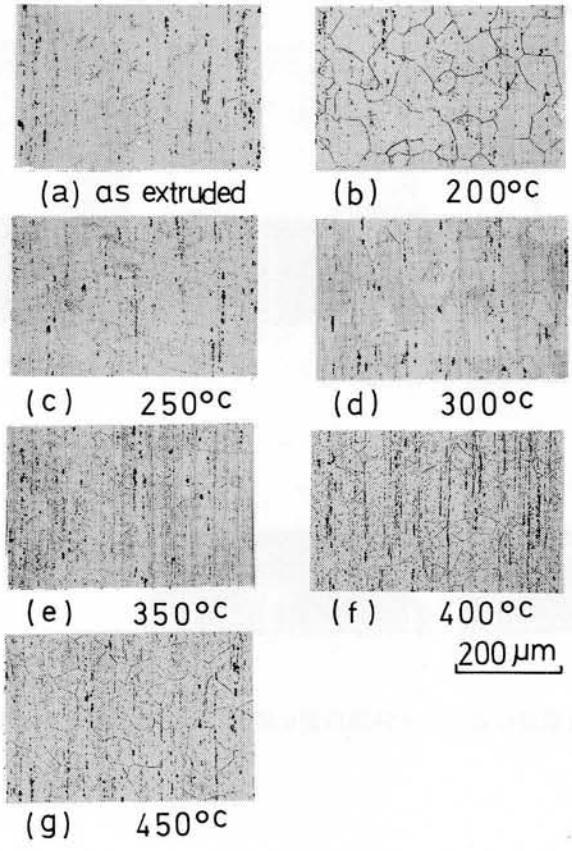


図 4.12　押出し後、各温度にて 2 時間熱処理したときの供試材のミクロ組織
（5％H_3PO_4にてエッチング）

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_2Si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_2Al_3（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

表5.1　化学組成　(%)

Alloy	Al	Mg	Fe	Si	Mn	Cr	Cu	Zn	Ti	B
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	—	—	—	*
M	Bal.	4.33	0.01	0.02	0.10	0.01	—	—	—	*
C	Bal.	4.30	0.02	0.02	0.01	0.11	—	—	—	*
T	Bal.	4.37	0.01	0.01	0.01	—	—	—	0.01	*
TB	Bal.	4.54	0.01	0.02	0.01	—	—	—	0.01	0.0012

— 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＝320m／min、送りf＝0.2mm／rev、切込みt_1＝1.0mm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

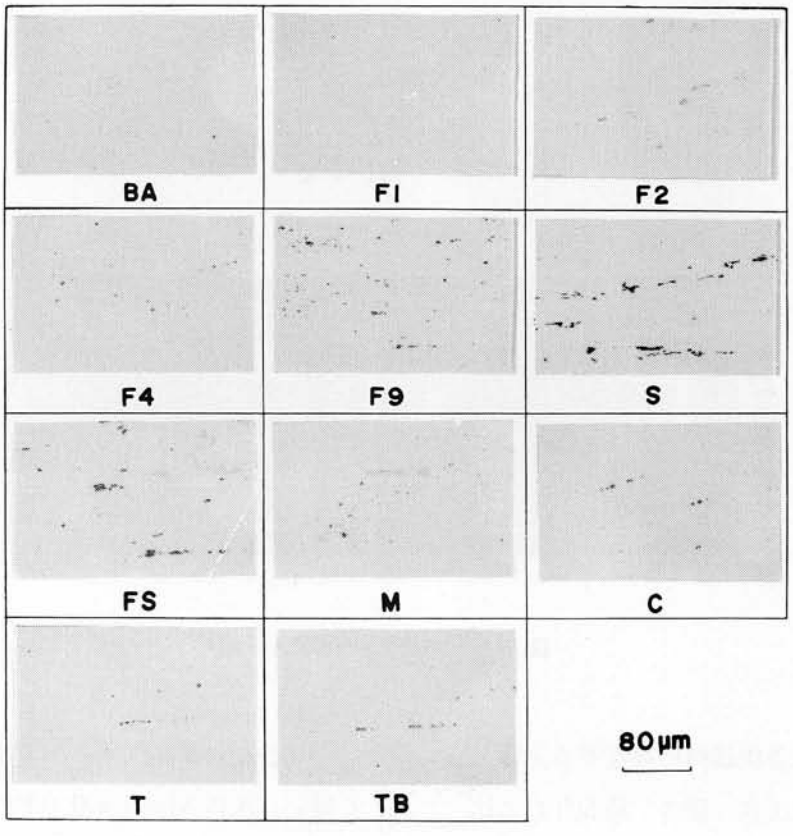


図5.1　供試材のミクロ組織

(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。[1]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。[2][3]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。[4] 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_2が溶湯中に未溶解で存在すると言われており、[4]したがって供試材にもTiB_2が存在すると考えられる。

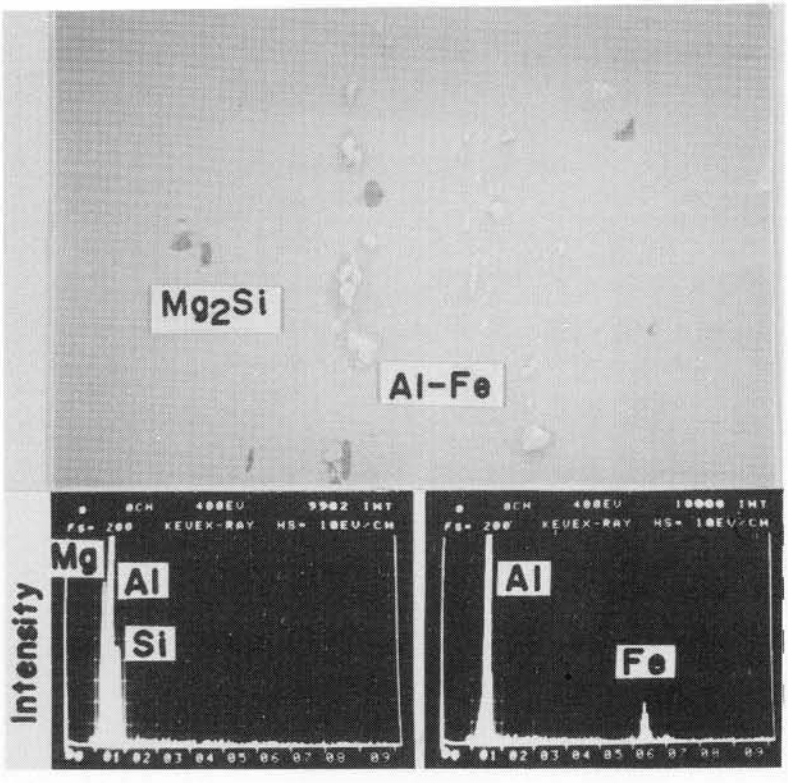


図 5.2　FS合金のEPMA分析

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。TiB_2の硬さは3370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_3Feと仮定）は約850と比較的硬い。また、Al_7Cr、Al_6Mn、Mg_2SiおよびAl_3Tiは工具の硬さとほぼ同じ硬さである。

表 5.2　金属間化合物の硬さ

Intermetallic compound	Microvickers	
Mg_2Al_3	340(1)	
Al_3Fe	730(2)	960(1)
β(AlFeSi)	578(1)	
Al_7Cr	316(2)	510(1)
Al_6Mn	540(1)	
Mg_2Si	450(1)	457(2)
Al_3Ti	680(2)	
TiB_2	3370(2)	

(1)　Hanemann und Schrader
　　Ternare Legierungen Des Aluminiums　1952
(2)　Data Book Koyutenkagobutsubinran　1976

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

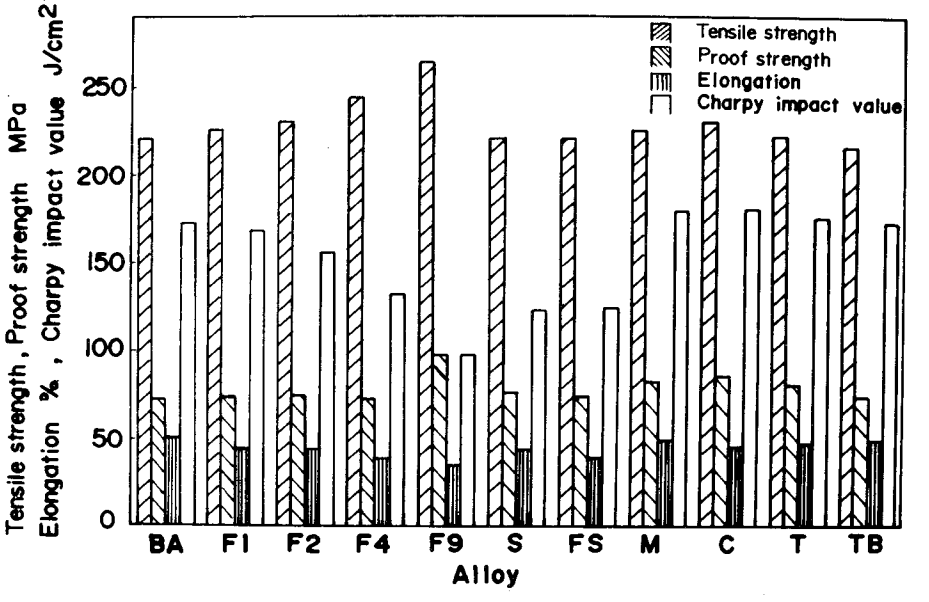
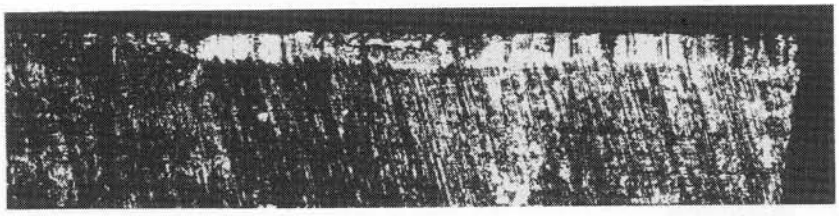


図 5.3　供試材の機械的性質

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Mg_2Si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は工具の代表的な横逃げ面摩耗状況を光学顕微鏡で観察したものである。この横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／min
Feed　f＝0.2 mm/rev
Depth 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TiB_2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、Mg_2Si、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。

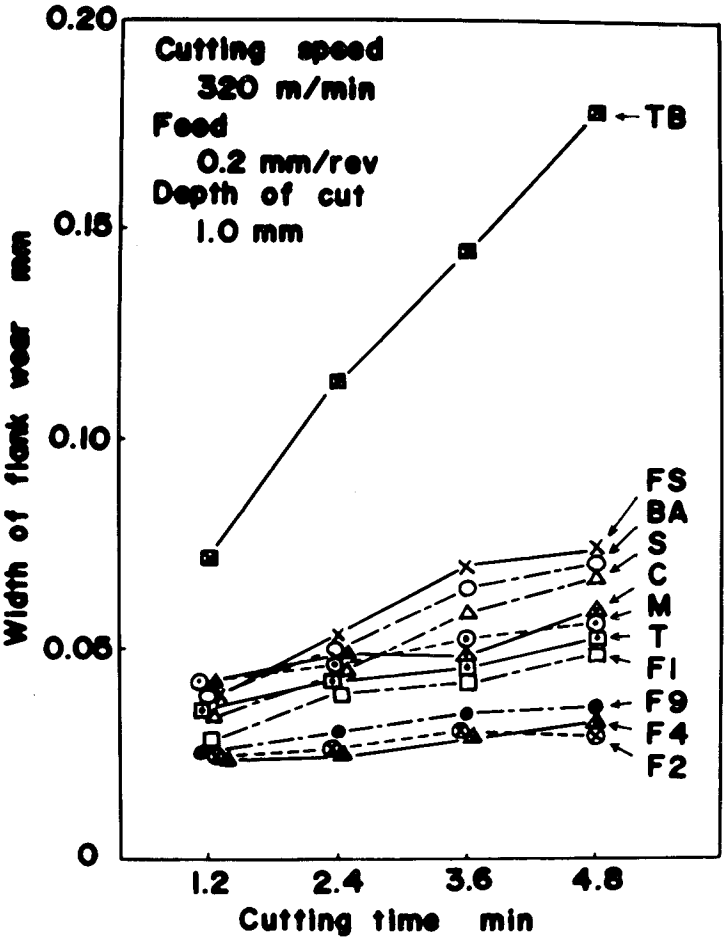


図 5.5　各供試材の工具摩耗幅

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。

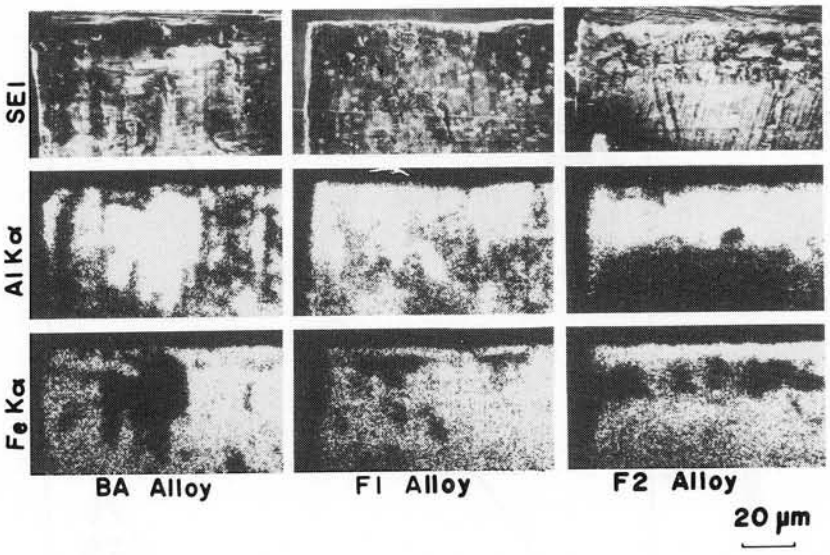


図 5.6　逃げ面摩耗部の EPMA 分析

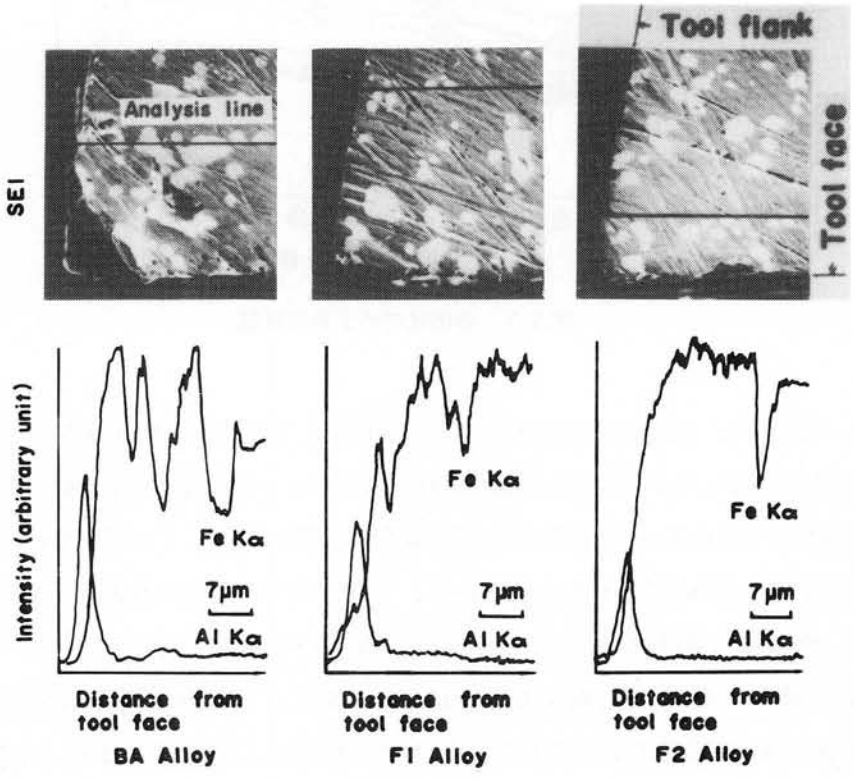


図 5.7　逃げ面摩耗部断面の EPMA による線分析

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。[8] 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、

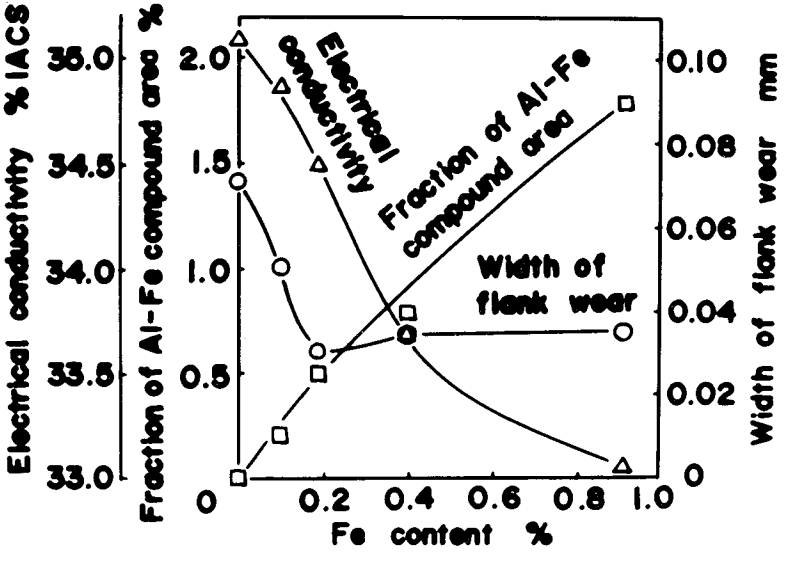


図5.8　Fe添加量の導電率、Al−Fe系晶出物面積率、逃げ面摩耗幅に及ぼす影響

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_2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：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：精密機械、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_2Si、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	Al
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 を0.08、0.13mm／revの2種類に変化させ、切込み t_1 を1.0mm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＝1.0mm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 V_B 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。

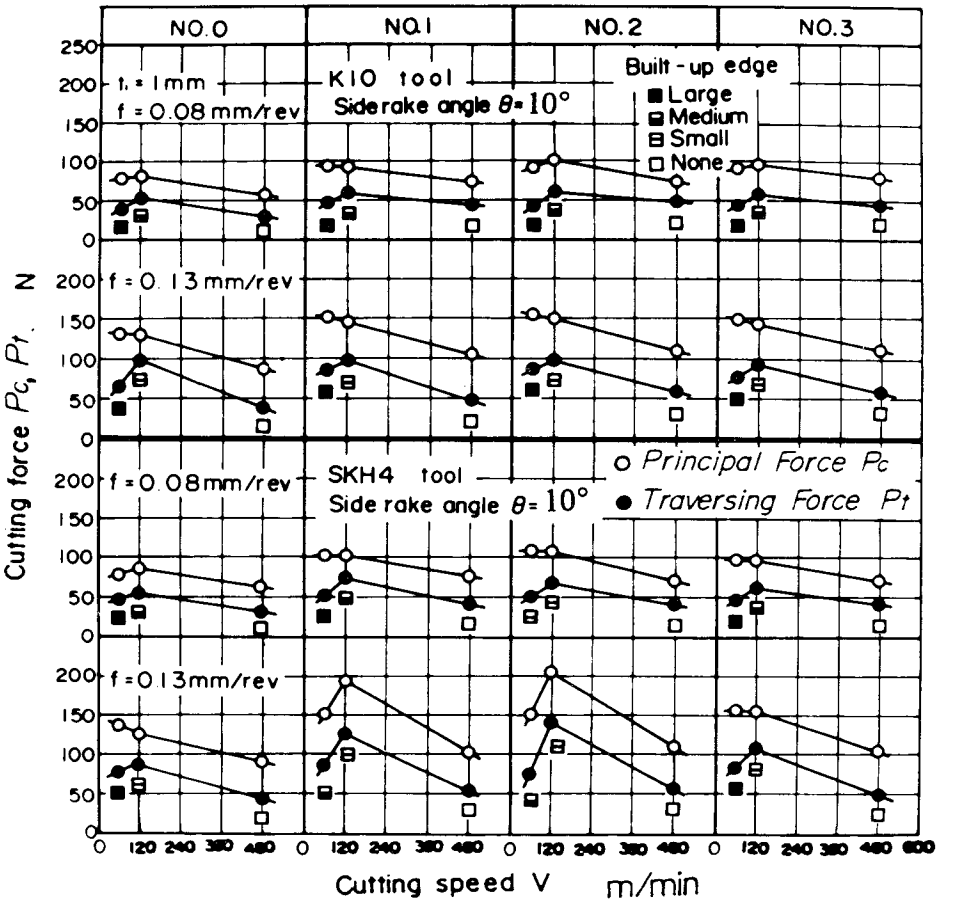


図 6.1　切削抵抗と構成刃先の生成に及ぼす Fe、Si 量の影響

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No.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。No.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No.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。

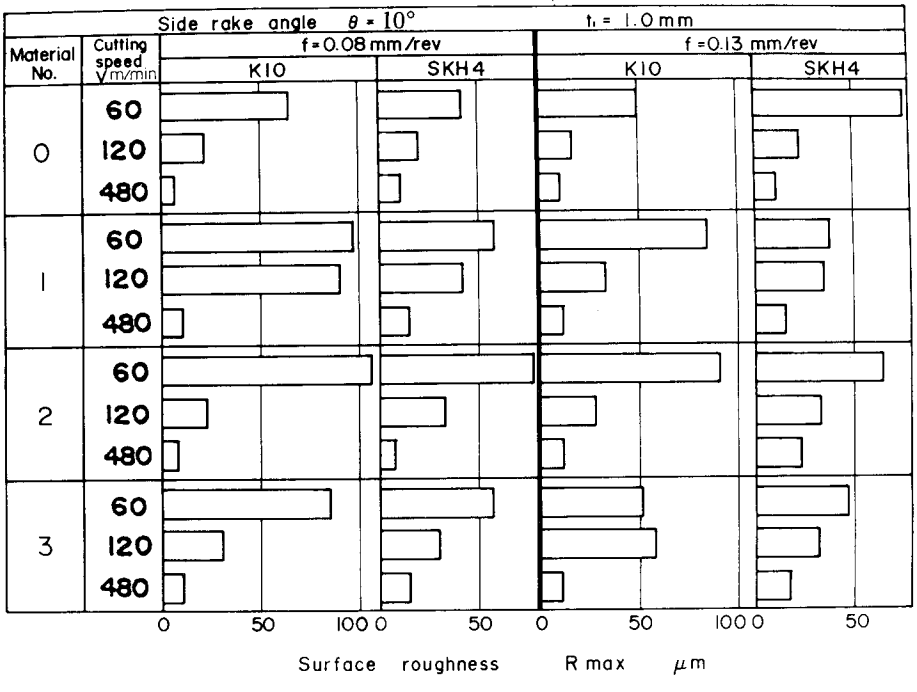
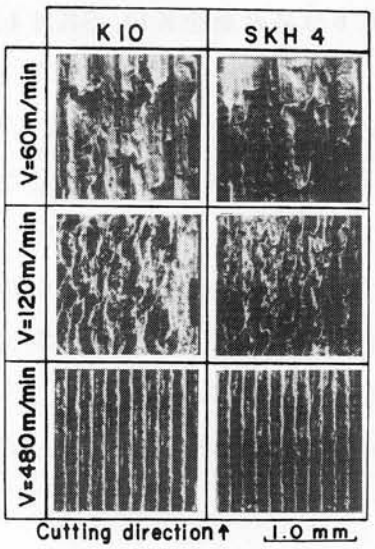
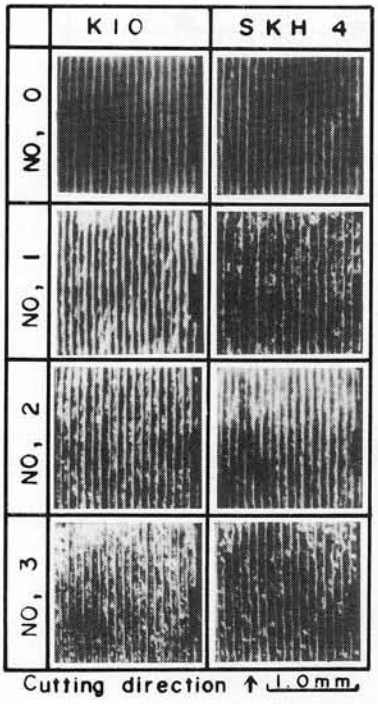


図6.2　各供試材の仕上面あらさ



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、SKH4工具を用いて切削したときの工具逃げ面摩耗幅V_B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No.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No.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No.1、2合金の場合の摩耗量は同程度であり、No.2合金に比べSi量が多いNo.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。

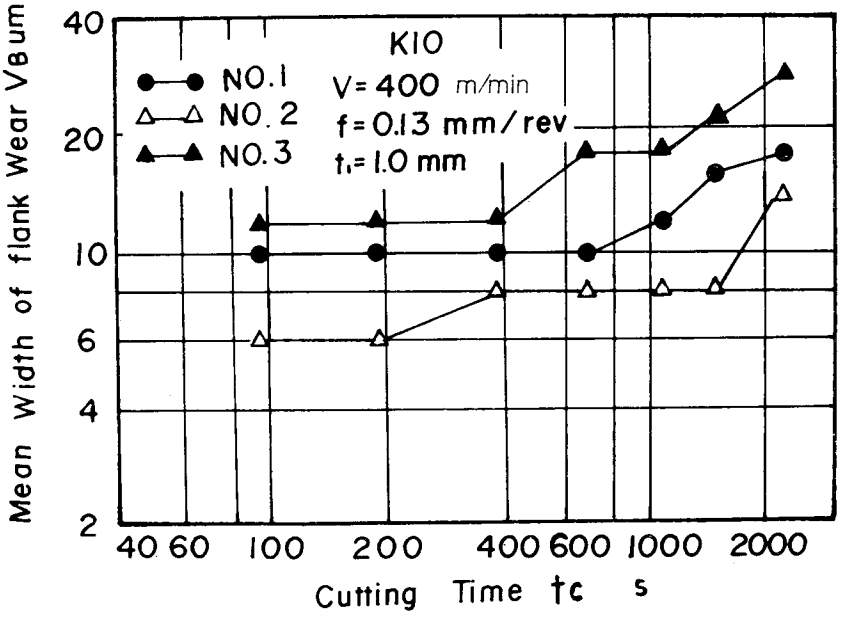


図6.5　超硬合金工具の逃げ面摩耗進行状況

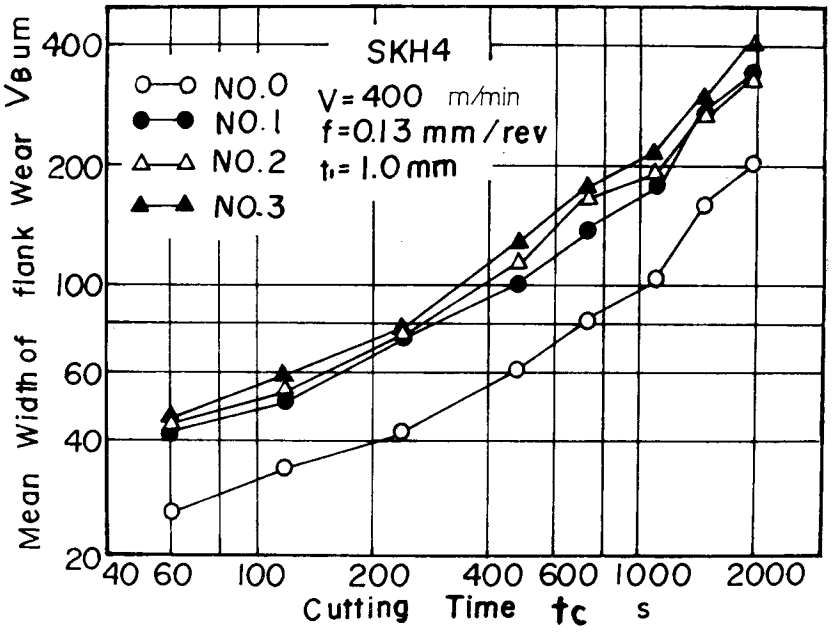


図 6.6　高速度鋼工具の逃げ面摩耗進行状況

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、No. 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。

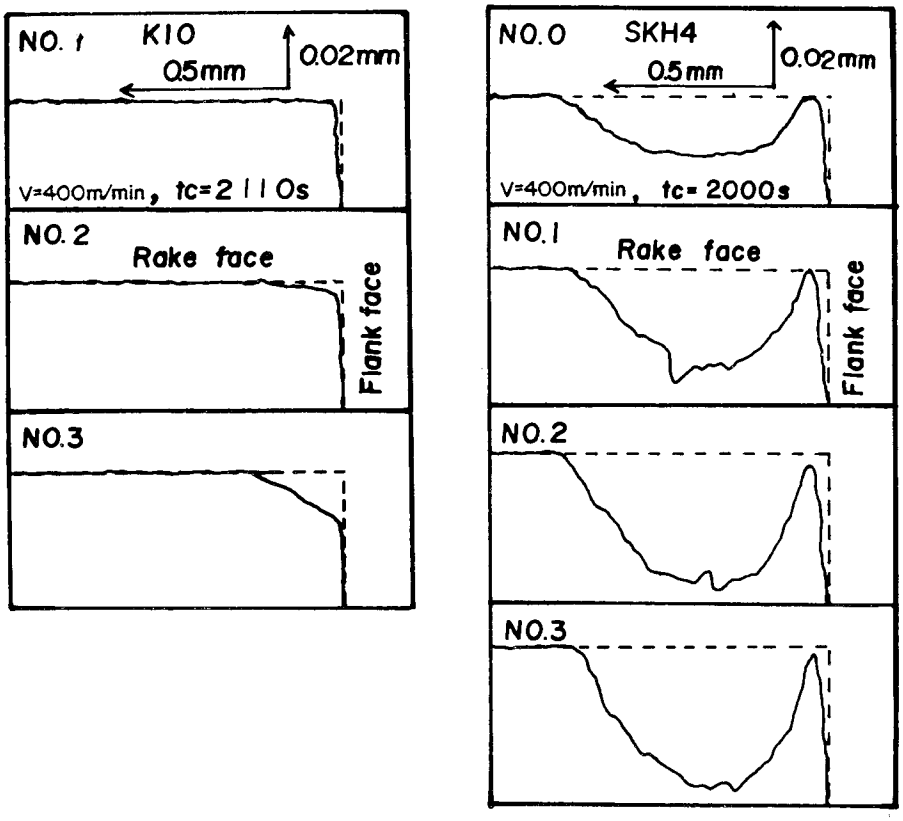


図 6.7　超硬合金工具、高速度鋼工具のすくい面摩耗模式図

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No. 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No. 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Al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_2Si、Al−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№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№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№3合金の場合も№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_2Si、Mg_2Al_3が多く付着しているものと考えられる。

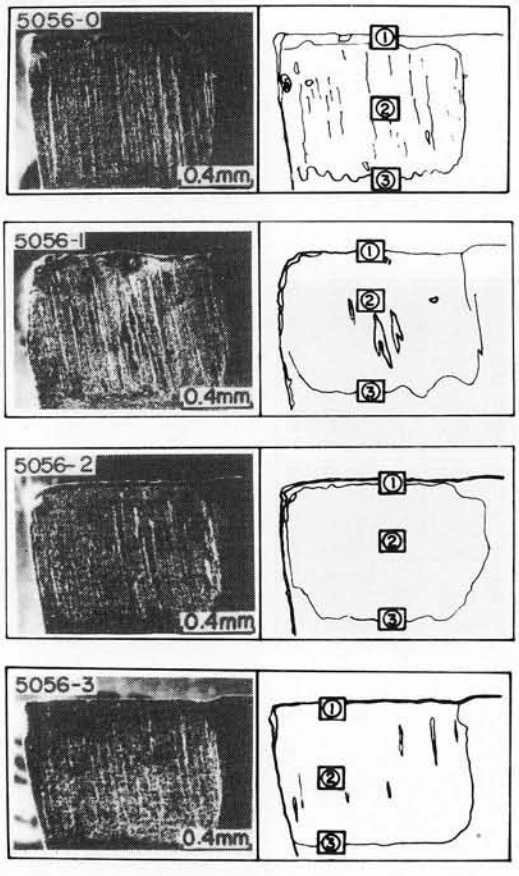


図6.8　高速度鋼工具のすくい面摩耗状況

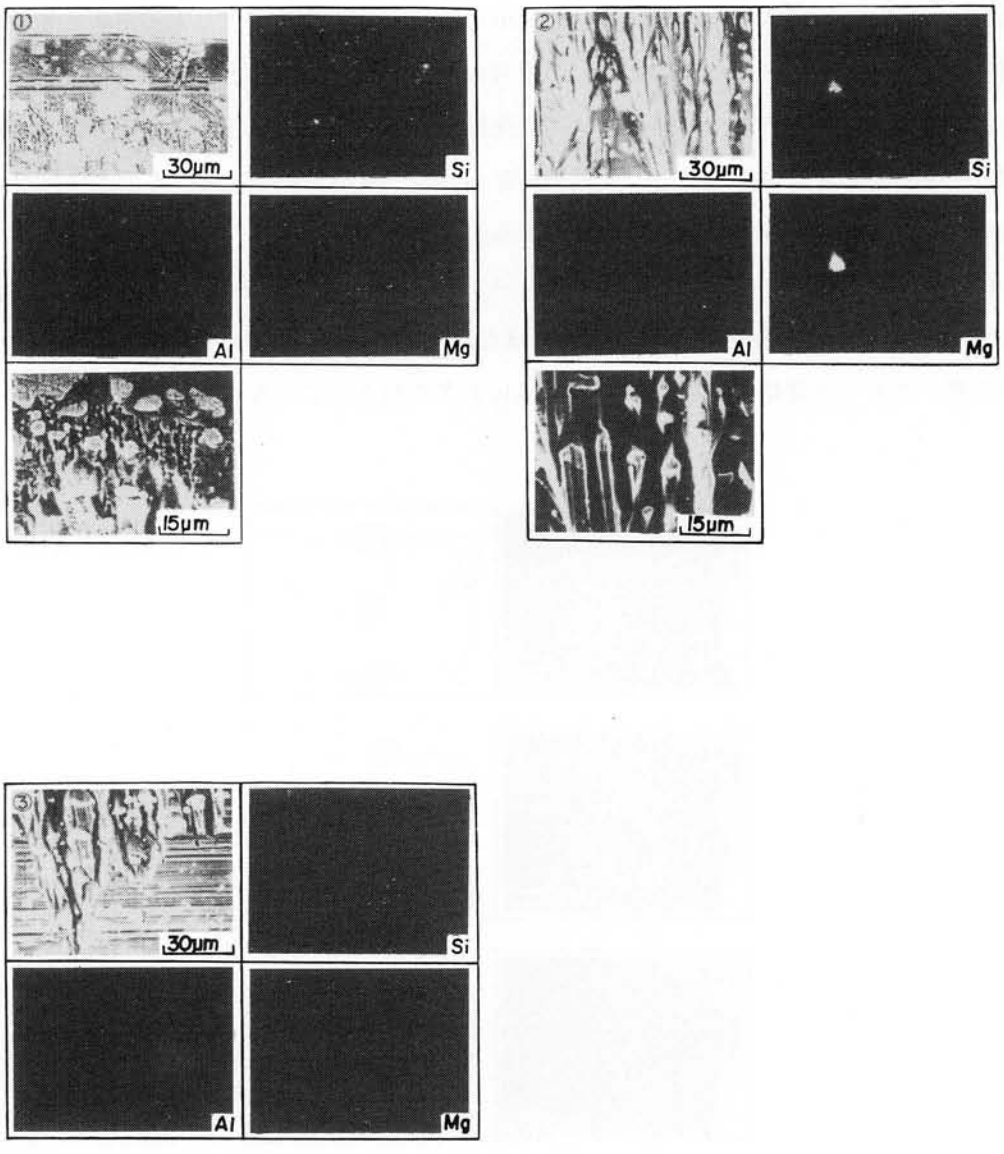


図 6.9　No. 0 合金の切削による高速度鋼工具すくい面摩耗部の
EPMA 分析
①クレータ開始部　②クレータ中央部　③クレータ終端部

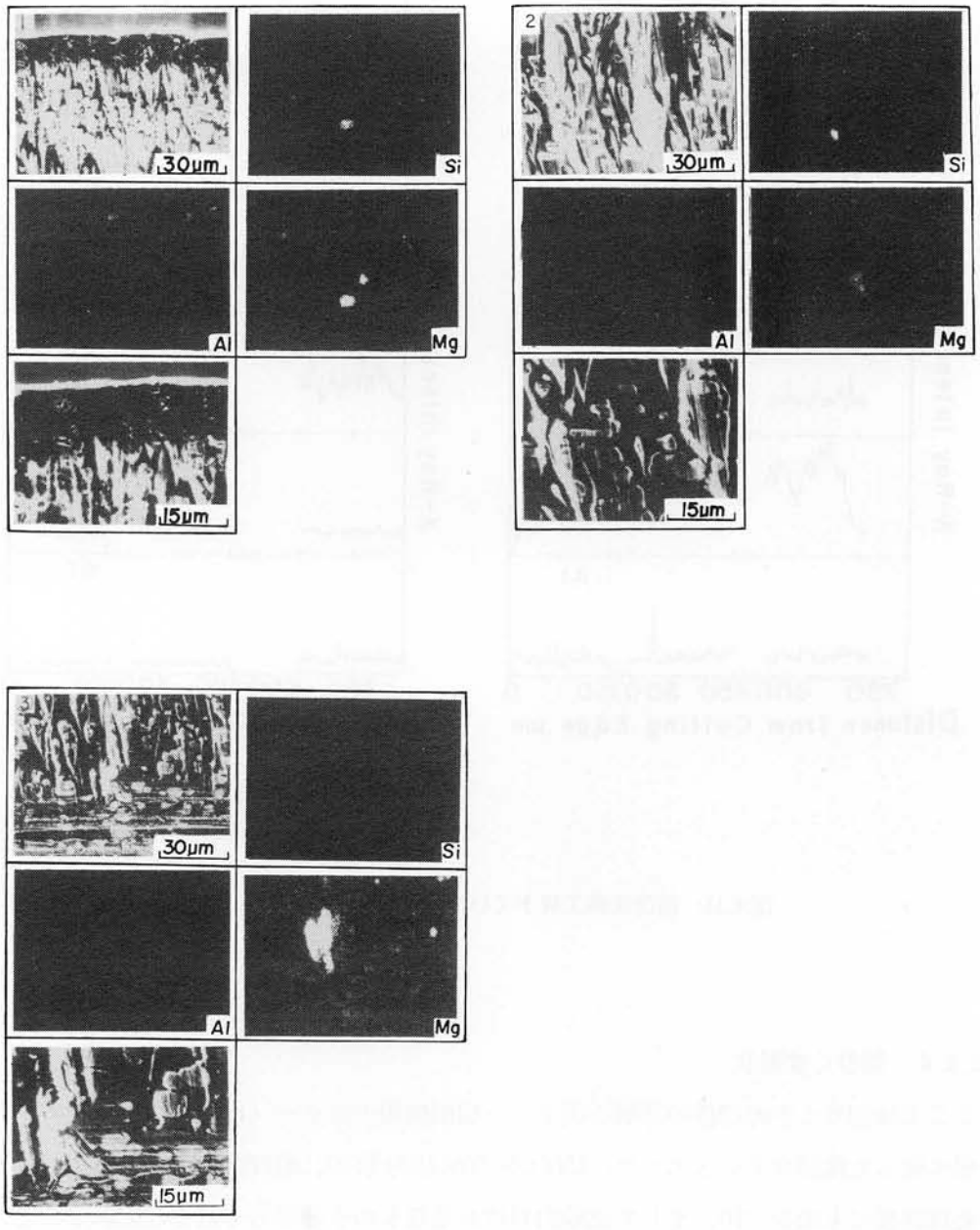


図 6.10　No. 3 合金の切削による高速度鋼工具摩耗部の EPMA 分析
①クレータ開始部　②クレータ中央部　③クレータ終端部

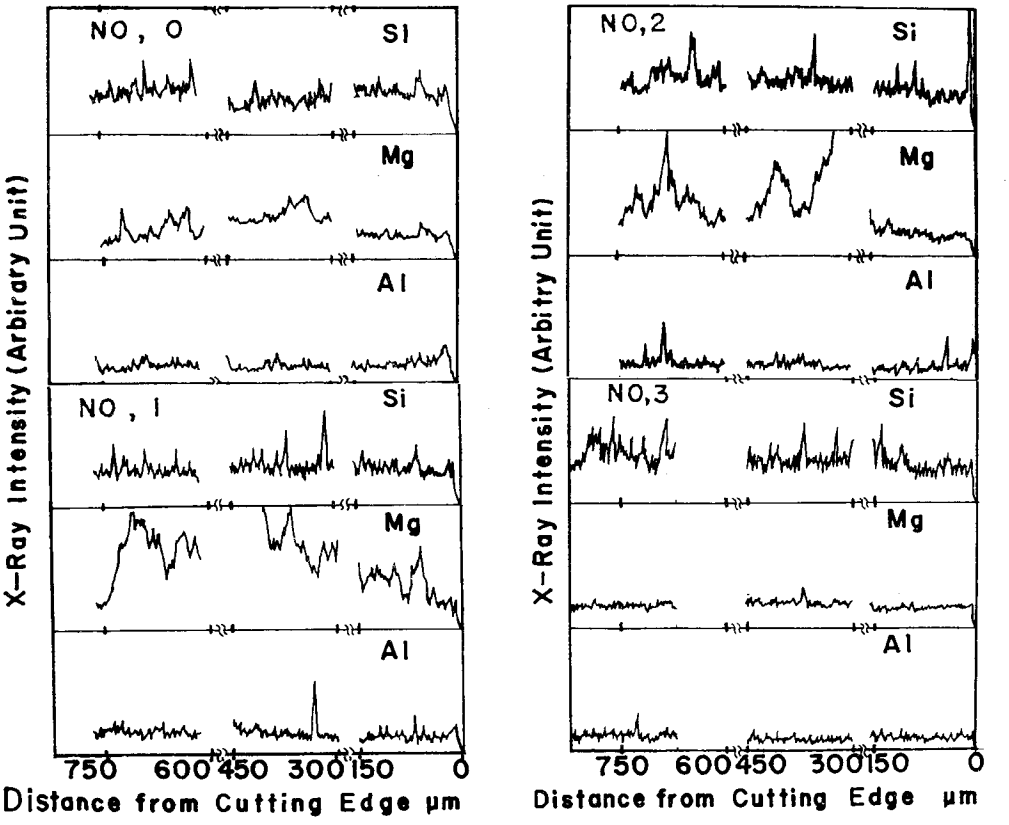


図 6.11　高速度鋼工具すくい面摩耗部の EPMA による線分析

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◑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。

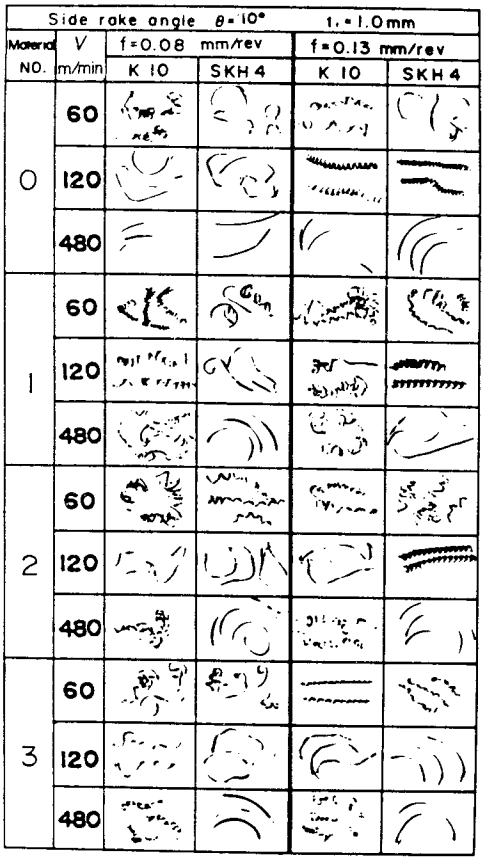


図 6.12　各供試材の切りくず形状

Material NO.	Tool / V m/min / θ, t₁ / f mm/rev	SKH4 60	SKH4 120	SKH4 480	K 10 60	K 10 120	K 10 480
		θ= 10°, t₁= 1mm					
0	0.08	◑	◑	●	◑	◑	●
	0.13	◑	◑	●	◑	◑	●
1	0.08	●	●	●	◑	◑	◑
	0.13	◑	◑	●	◑	●	◑
2	0.08	◑	●	●	◑	●	◑
	0.13	◑	◑	●	◑	●	◑
3	0.08	●	●	●	●	●	◑
	0.13	◑	●	●	◑	●	◑

○Good ◑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Mg_2Si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、Mg_2Si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 Tunkoviclr : Trans. of ASME, 85 (1963), 365.

3） 財満鎮雄、鈴木康夫、奥島裕樹、山田　茂：軽金属、31 (1981)、341.

4） 財満鎮雄、高辻雄三、奥島裕樹、山田　茂：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_1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＝0.008mm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　(%)

Material	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
NO. 1	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	bal
NO. 2					1.10				
NO. 3					2.48				
NO. 4					4.41				

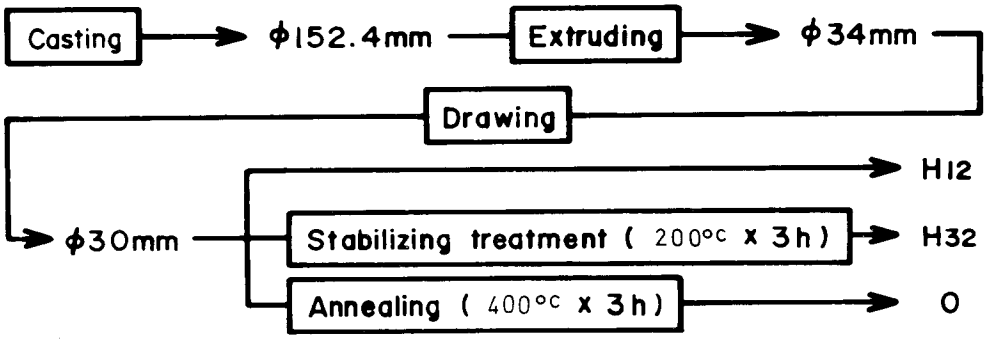


図7.1　供試材作製方法

表 7.2　供試材の機械的性質

Material		Tensil strength (MPa)	0.2% Yield strength (MPa)	Elongation (%)	Vickers hardness (49 N)
H12	1	64.7	52.0	41.0	24.2
	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
H32	1	58.8	51.0	41.6	21.9
	2	106.9	77.5	36.0	41.3
	3	163.8	104.9	36.0	55.2
	4	241.2	141.2	40.4	76.4
O	1	43.1	15.7	67.0	17.0
	2	93.2	29.4	45.8	31.7
	3	148.1	34.3	42.0	40.5
	4	218.7	77.5	46.6	55.3

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№4試料とMgをほとんど含まない№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

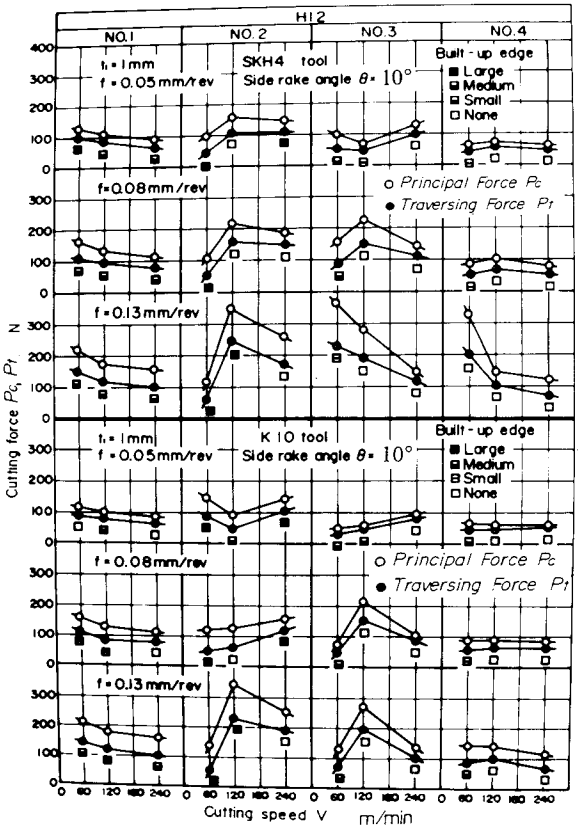


図 7.2　切削抵抗、構成刃先の生成に
及ぼす Mg量の影響

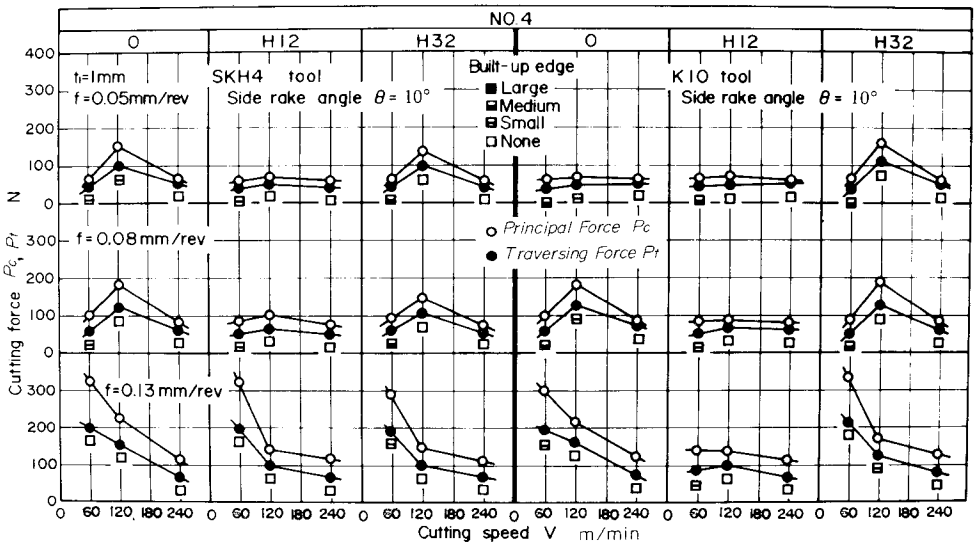


図 7.3　切削抵抗、構成刃先の生成に及ぼす調質の影響

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[4]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。

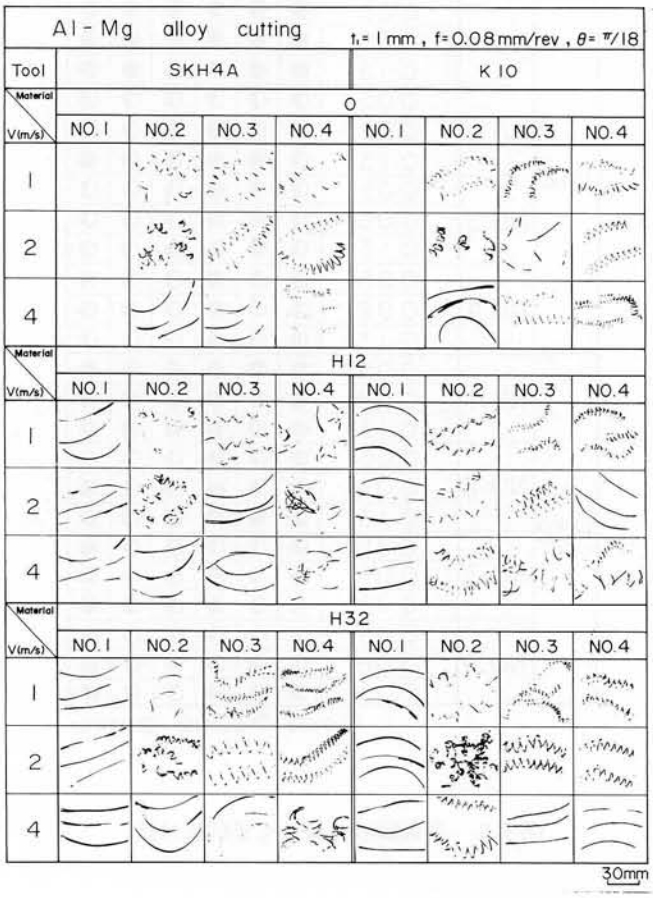


図7.4　各供試材の切りくず形状

Material		Tool	SKH4			K10		
		V m/min	60	120	240	60	120	240
		θ, t_1 / f mm/rev	θ = 10°			t_1 = 1mm		
O	NO.1	0.05						
		0.08						
		0.13						
	NO.2	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	●	◑	◑	●
		0.13	◑	◑	●	◑	◑	●
	NO.3	0.05	◑	◑	●	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	●	◑	◑	◑
		0.13	◑	◑	●	◑	◑	●
	NO.4	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.13	◑	◑	●	◑	◑	●
H12	NO.1	0.05	●	●	●	●	●	●
		0.08	●	●	●	●	●	●
		0.13	●	●	●	●	●	●
	NO.2	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	●	◑	◑	◑
		0.13	◑	●	●	◑	◑	●
	NO.3	0.05	◑	◑	●	◑	◑	◑
		0.08	◑	●	●	◑	◑	◑
		0.13	◑	●	◑	◑	◑	◑
	NO.4	0.05	◑	◑	●	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	●	◑	●	◑
		0.13	◑	●	◑	◑	◑	◑
H32	NO.1	0.05	◑	●	●	●	◑	●
		0.08	●	●	●	●	●	●
		0.13	●	●	●	●	●	●
	NO.2	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.08	●	◑	●	◑	◑	●
		0.13	◑	●	●	◑	◑	●
	NO.3	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	●
		0.08	◑	◑	●	◑	◑	●
		0.13	◑	●	●	◑	◑	●
	NO.4	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑
		0.08	◑	◑	◑	◑	◑	●
		0.13	◑	◑	●	◑	◑	●

○ Good ◑ Suitable ● inferior

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No.1試料ではいずれの調質材においても表層部約150 μm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No.2、No.3、No.4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。

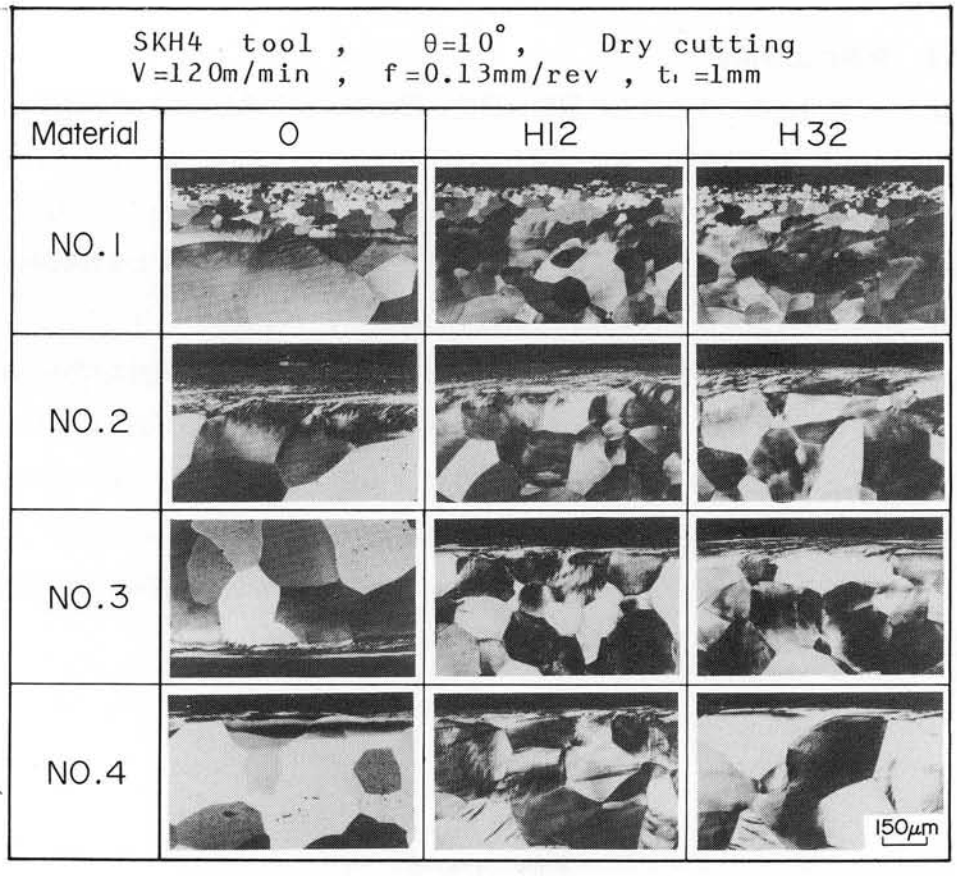
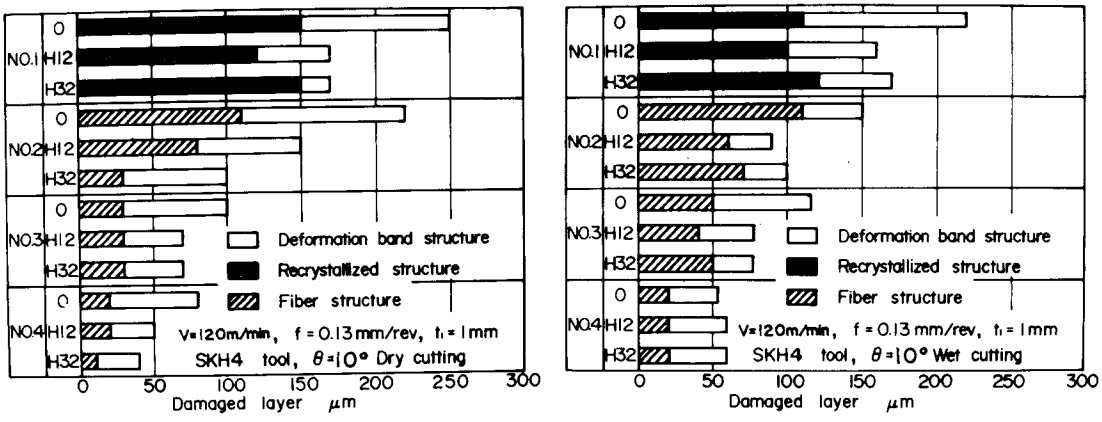


図7.6　乾式切削における加工変質層のミクロ組織による観察



(a) In dry cutting　　(b) In wet cutting

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No.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No.2、No.3、No.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。

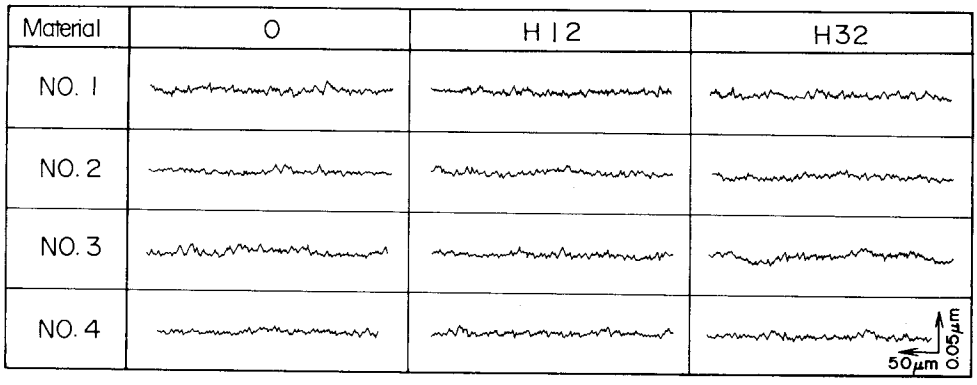


図 7.8　鏡面切削仕上面の表面あらさ

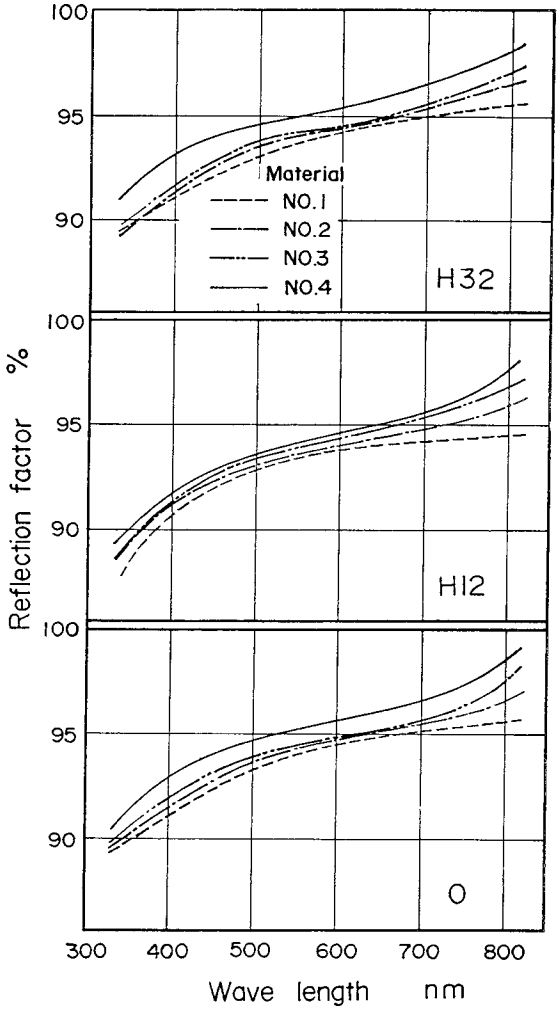


図 7.9　鏡面切削仕上面の反射率

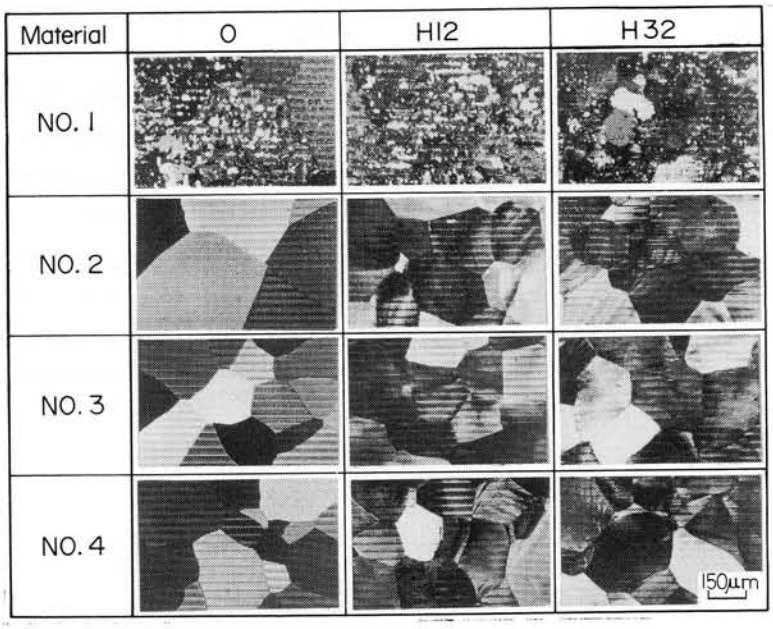


図 7.10　鏡面切削仕上面のミクロ組織

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⅓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．

3）　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[1)]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	Al	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Pb	Sn	Li	Na	Ca
AS1	Bal	0.05	0.16	—	0.01	3.36	—	0.02	0.01	—	1.35	—	*	*
AS2	Bal	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_1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。

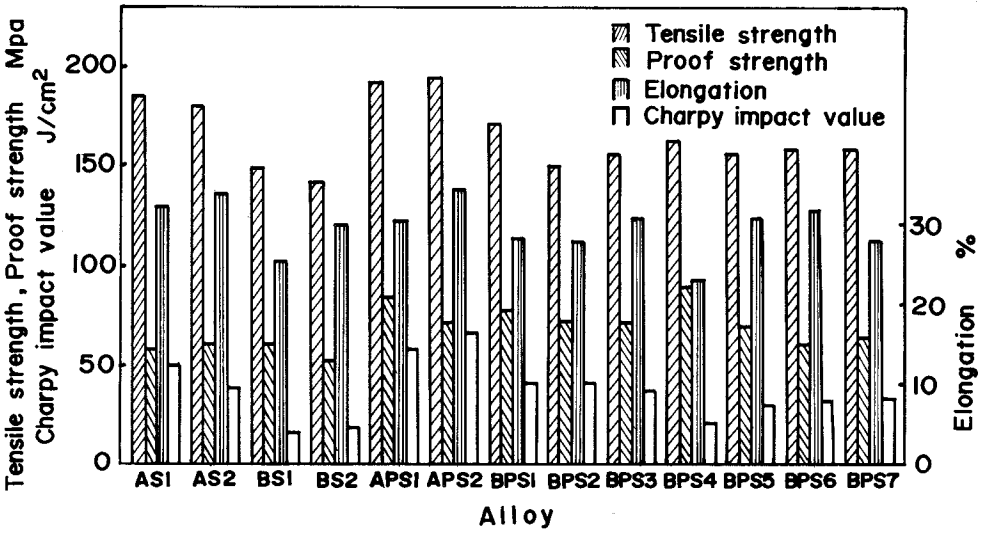


図8.1　供試材の機械的性質

Na添加によるシャルピー衝撃値低下はRanseloy[2)]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_2Si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[3]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

Alloy	t_1 mm / V m/min / f mm/rev	0.5			1.0			2.0		
		60	120	240	60	120	240	60	120	240
AS1	0.05	●	●	●	●	●	●	◑	●	●
	0.12	●	◑	○	◑	●	○	○	◑	●
	0.20	◑	●	○	◑	○	○	○	●	○
AS2	0.05	●	●	●	◑	●	●	◑	●	○
	0.12	◑	◑	○	○	◑	○	◑	○	○
	0.20	◑	◑	○	◑	○	○	◑	○	○
BS1	0.05	○	○	○	○	○	○	○	◑	○
	0.12	○	○	◑	○	◑	○	○	○	○
	0.20	◑	○	◑	○	◑	○	○	●	○
BS2	0.05	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.12	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.20	○	○	○	○	○	○	○	○	○
APS1	0.05	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	0.12	◑	◑	●	●	◑	●	◑	●	●
	0.20	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	●	●
APS2	0.05	●	●	●	●	●	●	●	●	○
	0.12	●	●	○	◑	○	○	◑	○	○
	0.20	●	○	○	○	○	○	○	○	●
BPS1	0.05	●	◑	●	◑	◑	○	◑	◑	◑
	0.12	◑	○	●	◑	◑	◑	◑	○	○
	0.20	◑	○	◑	○	◑	◑	◑	●	◑
BPS2	0.05	○	●	●	◑	●	◑	◑	◑	●
	0.12	◑	●	●	◑	◑	○	◑	○	●
	0.20	●	○	○	○	◑	○	◑	◑	●
BPS3	0.05	○	○	○	○	◑	○	○	○	●
	0.12	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	0.20	○	○	○	○	○	○	○	◑	○
BPS4	0.05	◑	◑	◑	○	◑	◑	◑	●	○
	0.12	○	○	○	○	○	○	◑	○	●
	0.20	◑	○	○	○	○	○	◑	○	●
BPS5	0.05	○	○	○	○	●	○	○	○	○
	0.12	○	○	○	○	○	○	○	○	●
	0.20	◑	○	○	○	○	○	○	○	○
BPS6	0.05	◑	●	◑	◑	◑	○	◑	○	○
	0.12	◑	○	○	○	○	○	○	○	○
	0.20	◑	○	○	○	○	○	○	○	○
BPS7	0.05	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	◑	○
	0.12	○	○	○	○	○	○	◑	○	○
	0.20	○	○	○	◑	○	○	○	○	○

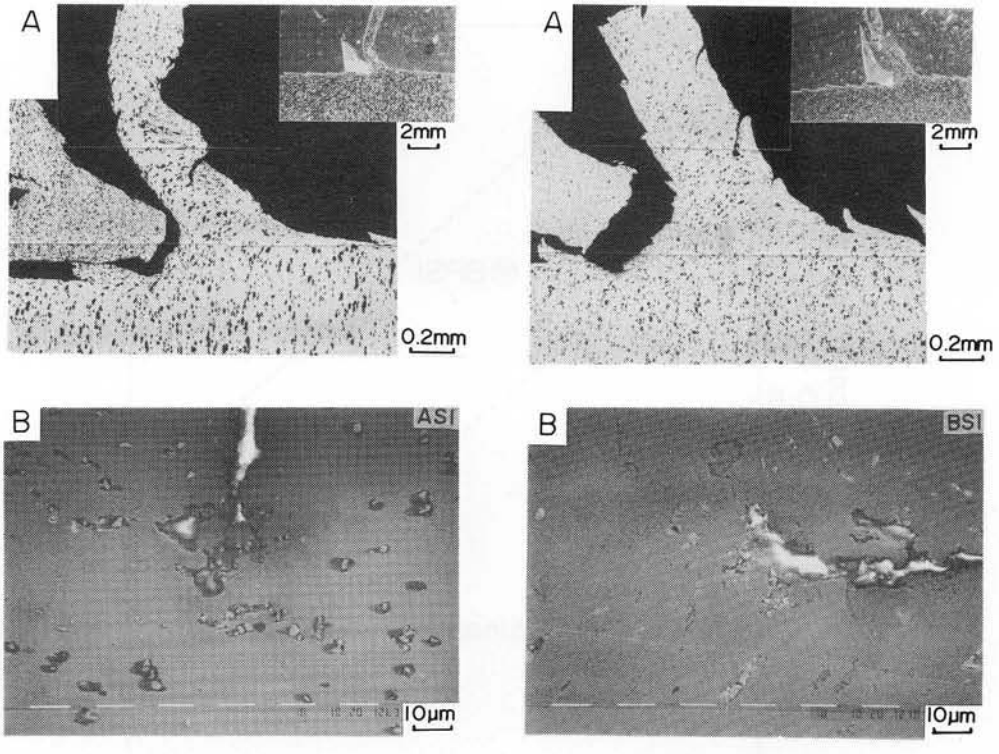
○ Good　◑ Suitable　● Inferior

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　　(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。

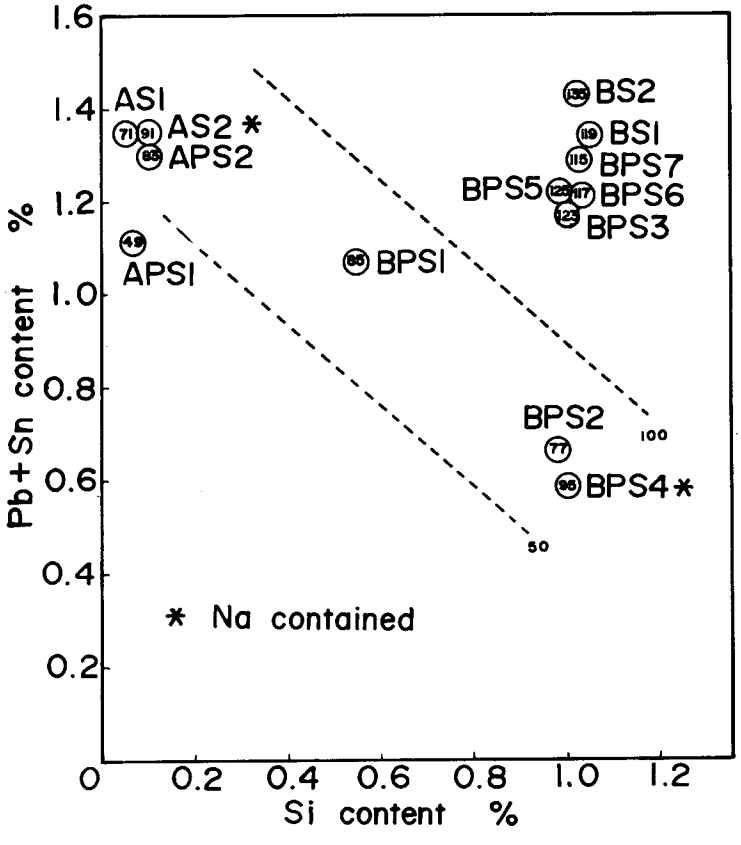


図8.4　切りくず処理性とPb+Sn、Si量の関係

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。

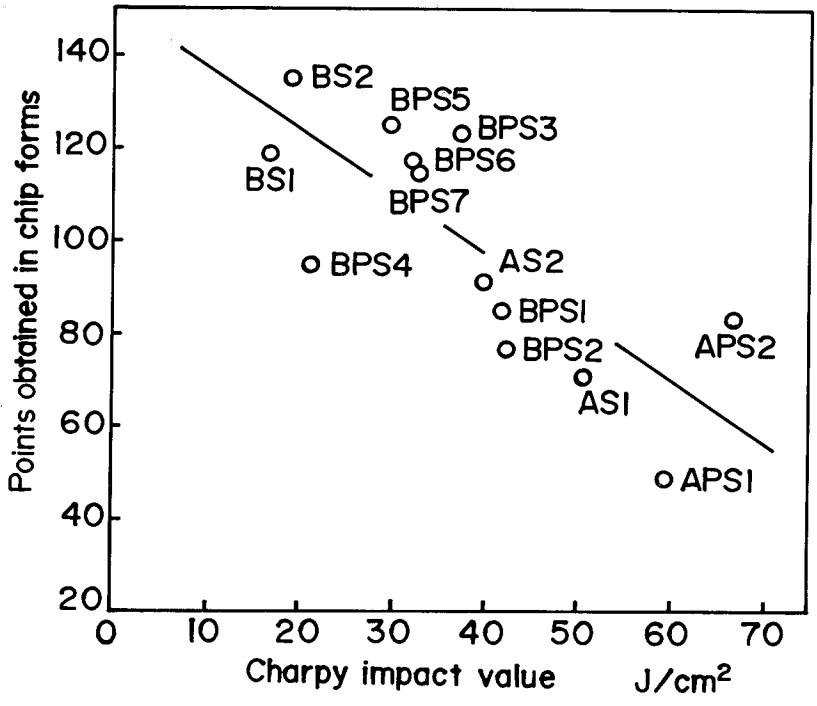


図8.5　切りくず処理性とシャルピー衝撃値の関係

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[3]に近づくにつれ急に低下している。これはZollerら[4]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[4]においてほとんどシャルピー衝撃値が低下していない。

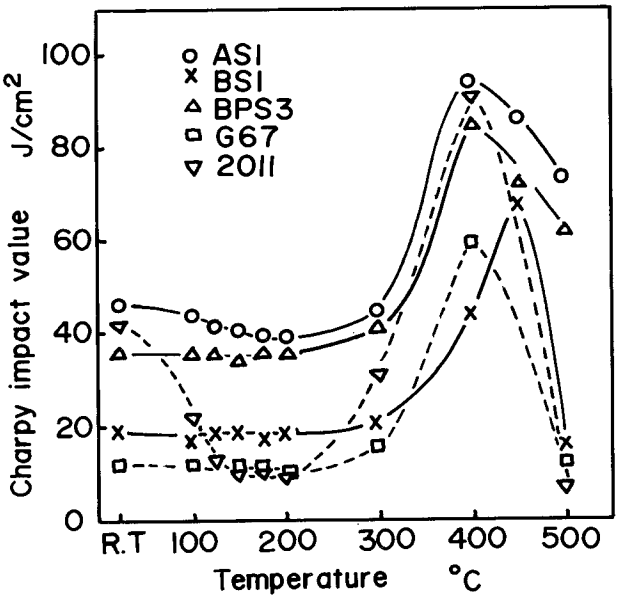
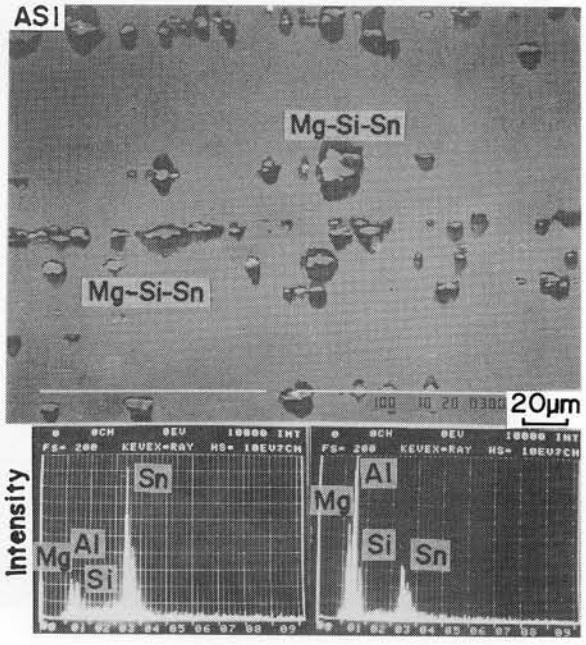
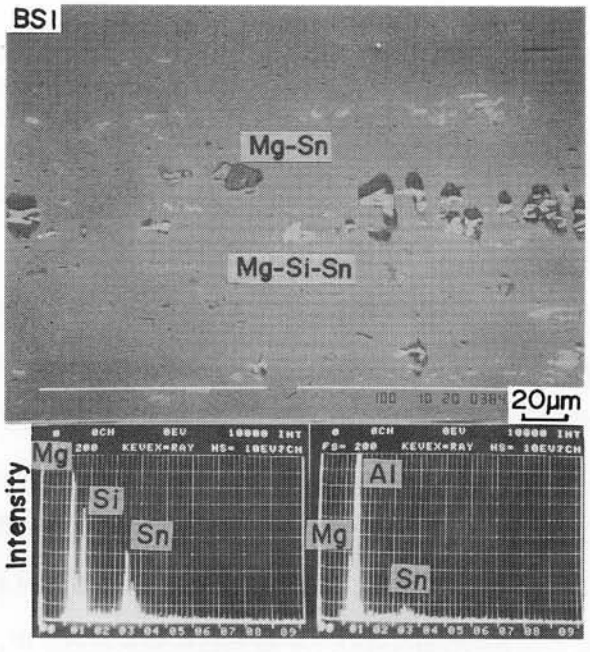


図 8.6　供試材の高温シャルピー衝撃値

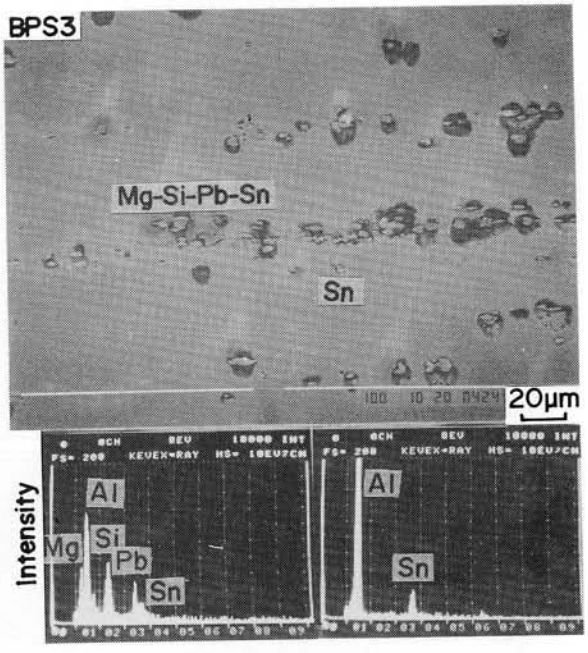
この原因をしらべるため、AS1、BS1、BPS3 合金の低融点金属からなる金属間化合物の分析を EPMA により行った。図 8.7 より AS1 合金には Mg−Si−Sn が認められ、Sn 単独では存在していないことがわかった。また、BS1 合金でも Mg−Si−Sn が認められた。BPS3 合金では Mg−Si−Pb−Sn とごく一部に Sn が認められた。したがって、Al−Mg 系合金では Pb、Sn を添加してもこれら低融点金属は単独に存在することができず、Mg−Pb−Sn 金属間化合物を形成し、不純物として Si を含む場合は Mg−Si−Pb−Sn 金属間化合物を形成して、溶融温度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 [5])
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 EPMA 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Mg_2Al_3晶出物の溶融温度を超えており、したがってMg_2Al_3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Mg_2Al_3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TiB_2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⅓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。