琉球大学学術リポジトリ

Fe-Ni-Mn合金の被削性

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学工学部 公開日: 2009-11-18 キーワード (Ja): キーワード (En): Machinability, Cutting force, Fe-Ni-Mn alloy, Rockwell hardness, Cemented carbide cutting tool 作成者: 糸村, 昌祐, 平敷, 兼貴, 福本, 功, 押川, 渡, Itomura, Shosuke, Heshiki, Kenki, Fukumoto, Isao, Oshikawa, Wataru メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/13208

Fe-Ni-Mn合金の被削性+

糸村昌祐*　平敷兼貴**
福本　功**　押川　渡***

Machinability of Fe-Ni-Mn alloys

Shosuke ITOMURA* Kenki HESHIKI** Isao FUKUMOTO**
and Wataru OSHIKAWA***

Abstract

The relation between cutting force and Rockwell hardness was investigated in Fe-Ni-Mn alloys, containing 0-15% Ni and 0-14% Mn by turning operation using two kinds of cemented carbide cutting tool;P20 and K01. According as the contents of Ni and Mn increased, microstructures of the work material were changed roughly in four groups; 1) hypereutectoid steel structure, 2)martensite with retained austenite, 3)austenite and 4)austenite with complex Fe-Mn carbide. Therefore Rockwell hardness number of the work changed within the range of HRB81.2-HRC49.9. In each combination of the work material and cutting tool,vertical cutting force, i.e. principal force, was measured within the range of cutting speed 7-80m／min by using a dynamometer in a lathe.

The principal forces obtained by using P20 were greater than those by K01. In case of using K01, principal force showed between 250-600N, independently of hardness of the work. When using P20, it seemed that the harder material was, the greater principal force was obtained. However,this tendency were discontinuous for the materials having intermediate hardness. On the whole, the relation between principal force and Rockwell hardness was not observed directly. Cutting tool which is suitable for the microstructure of work material and proper cutting speed should be selected to get good surfaces, especially when the microstructure would change according to contents of alloy elements such as Fe-Ni-Mn alloy reported in this paper

Key words: Machinability, Cutting force, Fe-Ni-Mn alloy, Rockwell hardness, Cemented carbide cutting tool,

---

+受付：1989年10月31日

*エネルギー機械工学科, Dept. of Energy & Mechanical Engineering
**機械工学科, Dept. of Mechanical Engineering
***大学院工学研究科機械工学専攻, Graduate student, Mechanical Eng.

1．緒　言

被削性とは，ある材料を一般的な切削条件で切削するときの難易さ，あるいは切削加工の経済性を示すものである。被削性の評価には多くの要素があってそれぞれの意義を有する。旋削作業を主対象とした場合，被削性評価の要素として，(1)工具摩耗と工具寿命，(2)切削速度と工具寿命，(3)切削温度，(4)切削抵抗，(5)仕上げ面粗さ，(6)切り屑の処理性などが一般的である。他に穿孔性や鋸断性，研削性もよく取り上げられる[1]。

これらの各要素は，互いに独立しておらず密接に影響し合っている。例えば切り屑形態により切削抵抗の平均値や変動成分が変化し，それが工具の摩耗やチッピングに影響し，さらに仕上げ面の粗さに影響を与える。また逆に摩耗した工具は切削抵抗の増大を招いたり切削温度の上昇をもたらし，切屑の形態を変化させたりする。

一般に金属材料は軟らかいものはねばく，硬いものはもろいという通性をもっている。しかしねばい材料は刃先にへばりついて刃先温度が上昇し，熱的摩耗が大きくなるから被削性は悪くなる。これに対して硬い材料では，工具の機械的摩耗が多くなり被削性は悪くなる。従ってこれらの二つを組み合わせたものが，一般の金属の被削性を示すことになり，適当な硬さと適当なねばさをもっている材料が最上の被削性を示すことになる[2]。

筆者らが先に報告した「模擬溶接金属の冷却途中における負荷試験」（Fe-Ni-Mn合金の二，三の性質）[3]において，Ni，Mn添加量の少ない場合のパーライト組織が，NiおよびMnの添加量によって，マルテンサイト，オーステナイト，Fe-Mn複炭化物の３種に変化し，それに伴って硬さも種々変化していた。このことより当該材料の被削性は合金量の変化に伴って変化することが予想される。そこで本研究においては種々のFe-Ni-Mn合金を種々の条件で切削し，その時の被削性を切削抵抗，切削面の状態，切り屑の形態，工具摩耗等によって評価することを試みた。また被削材の硬さ，顕微鏡組織と被削性との関連についても検討し，若干の知見を得たので以下に報告する。

2．供試材および実験方法

2．1　供試材

2．1．1　供試材の化学組成

供試材は鋳鉄，炭素工具鋼第３種（JIS SK３），フェロマンガン，純ニッケルを種々の割合で配合し，高周波誘導炉で大気中溶解して，鋳鉄の凝固温度測定用として市販されている，シェルモールドカートリッジに鋳込んだものである。溶解および注湯温度は1600℃を目標とした。供試材の平均冷却速度は1300℃において，約4.8℃／secであった。供試材は直径28～30mm，長さ約50mmの円錐台形で，NiとMnの重量％をそれぞれ０％から15％まで変化させたものである。

Table 1　Chemical compositions of base matals used （wt%）

	C	Si	Mn	P	S	Ni
FC	3.48	1.68	0.38	0.035	0.02	—
SK3	1.03	0.38	0.95	0.020	0.016	—
FeMn	0.97	1.36	75.50	0.19	0.006	—
Ni	0.01	—	—	—	—	99.97

Table 1 に合金用素材の化学組成，Table 2 に本研究に用いた16種類の合金の化学組成をそれぞれ示す。

Table 2　Chemical composition of specimens

Specimen	Target %	Chemical composition wt%		
No.	(Ni Mn)	Ni	Mn	C
1	(0 0)	0.10	0.92	0.96
2	(0 5)	0.08	5.37	1.83
3	(0 10)	0.10	9.63	2.04
4	(0 15)	0.09	13.75	2.52
5	(5 0)	4.08	0.90	0.94
6	(5 5)	4.29	5.15	1.52
7	(5 10)	4.44	9.44	1.85
8	(5 15)	4.66	13.50	2.60
9	(10 0)	9.29	0.85	0.97
10	(10 5)	9.37	5.12	1.81
11	(10 10)	9.88	9.37	2.21
12	(10 15)	10.13	13.25	2.55
13	(15 0)	14.90	0.83	1.01
14	(15 5)	13.93	5.04	1.52
15	(15 10)	14.33	8.70	2.23
16	(15 15)	15.17	13.53	2.04

2．1．2　供試材の顕微鏡組織

Fig. 1に供試材16種類の組織の顕微鏡写真を示す。写真の中の数値はTable 2の試料番号と対応している。以下本論文中では特に断らない限り，わかりやすいように試料番号と配合比（%）で示す。Ni,Mnを添加しなかったNo. 1（0，0）（Ni，Mnを加えていな

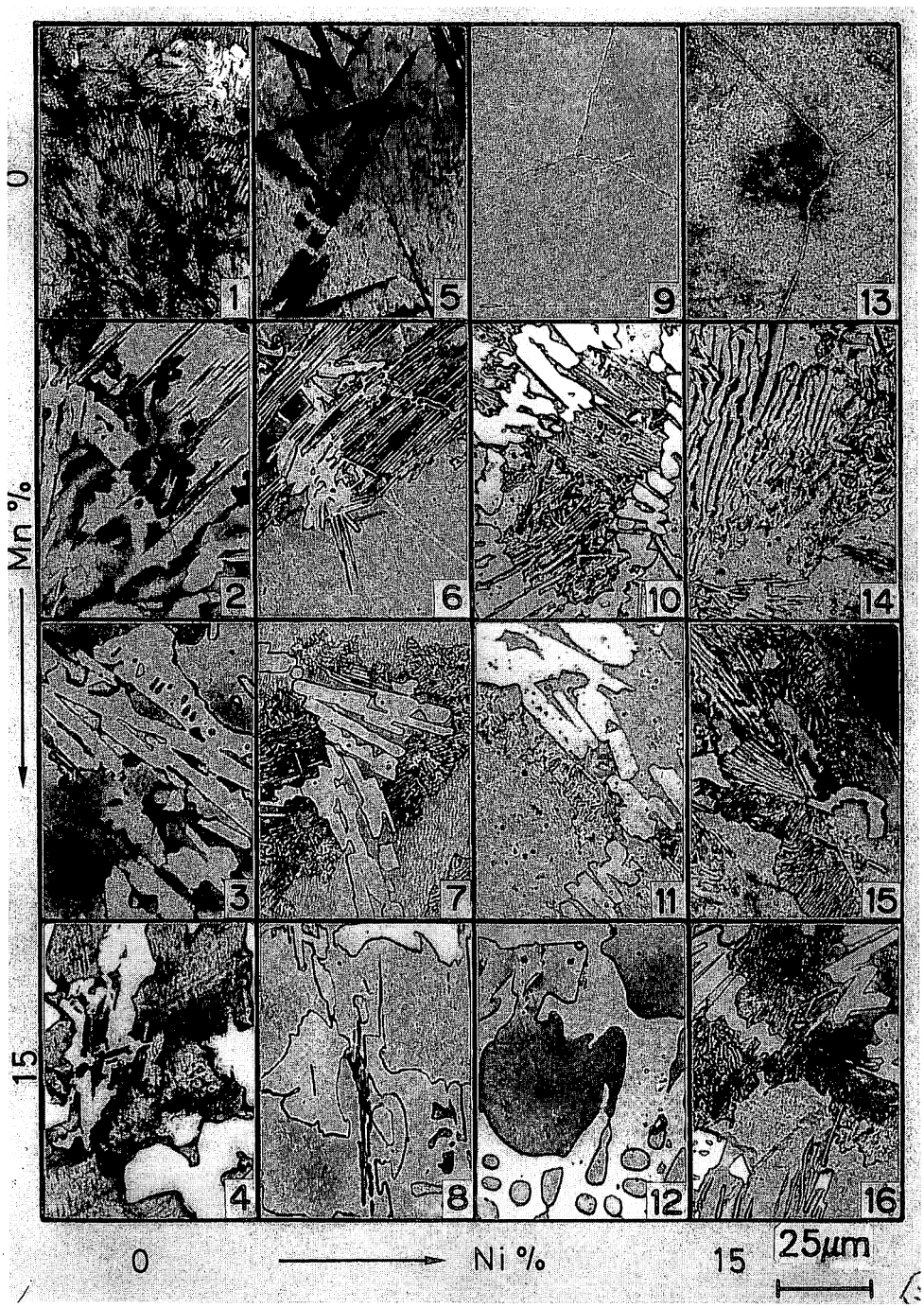

Fig. 1　Microstructures of the specimens

いが溶解素材に初めから含まれているため，Table 2における分析値は0，0とはなっていない）は層状の細かいパーライト基地に初析セメンタイトが網目状に析出している過共析組織である。No. 5（5，0）ではマルテンサイト組織が観察される。冷却速度が遅いにもかかわらずマルテンサイト組織が現れているのは，Niがオーステナイト領域拡大型元素[4]で，パーライト変態を遅らせるためである。No. 9（10, 0）およびNo. 13（15，0）は，オーステイトのみの組織となっている。Mnを添加せずNiのみを添加した場合，Ni添加量が増えると，オーステナイト組織になるのは，Fe-Ni二元状態図に見られるとおりである。炭化物生成傾向の大きいMnのみを添加したNo. 2（0，5）では，組織中に白く針状あるいは棒状に見えるFe-Mn複炭化物がみられ，No. 4（0，15）になると，炭化物が大きくなっている。Mn添加量が増すと炭化物が大きくなって晶出する傾向にある。

2．1．3 供試材

供試材16種類の硬さをFig. 2に示す。顕微鏡組織の項で述べたごとく，供試材の組織はマルテンサイト，オーステナイト，Fe-Mn複炭化物の混在した複雑な組織であり，マイクロビッカース硬さでは測定場所による硬さのばらつきが大きいと考えられるので，平均的な硬さを得る目的でロックウェル硬さを求めた。

すなわち供試材の両端面をマイクロカッターで切断し，直径の小さい方をロックウェルCスケール［ダイヤモンド圧子：試験荷重1471N（150kgf）］で5回測定し，その平均値を示してある。ただしNo. 9（10, 0）とNo. 13(15，0)は軟らかくて，ロックウェルCスケールの範囲から外れるため，ロックウェルBスケール［1／16インチ鋼球：試験荷重981N（100kgf）］で測定した。Niのみを添加させた場合，Ni量が10%以上になると，軟らかいオーステナイト組織が多量に現れるため硬さの低下が著しい。一方，Mn添加量が増すと硬い炭化物が多くなるため，硬さも増してきていることがわかる。最も硬い試料はNo. 2（0，5）で49.9HRC，最も軟らかい試料はNo. 13（15，0）で81.2HRBであった0 HRCは81.7HRBに相当するので，No. 13（15，0）はNo. 14(15. 5)の19.4HRCよりも軟らかいことになる。

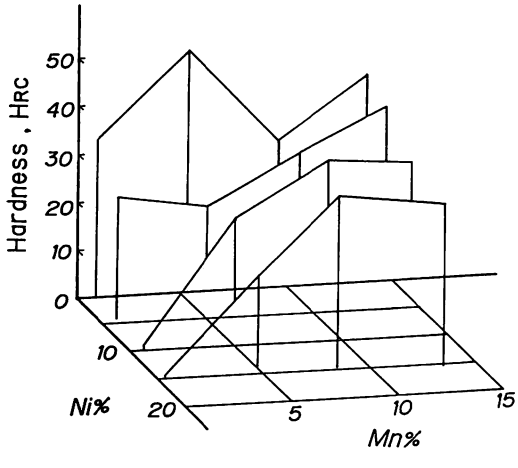

Fig. 2 Rockwell hardness, HRC

2．2 切削工具

切削工具はスローアウェイタイプの超硬工具（三菱金属；ダイヤチタニット）を2種類使用した。鋼切削用のP系列（WC+TiC+TaC+Co系）：STi20（ISO分類P20：以下P20と記す）と鋳鉄切削用のK系列（WC+Co）：HTi05T（ISO分類K01: 以下K01と記す）である。超硬工具は，その主体である炭化タングステンおよび各材種に応じて添加されるチタンカーバイトや，タンタルカーバイトなどの高融点炭化物と，結合剤として配合されるコバルトを，高度な粉末冶金技術で焼結することにより得られる[5]。

Table 3にそれらの化学成分を示す。また切削抵抗に直接関係する工具の諸元は，上すくい角・横すくい角・前逃げ角・横逃げ角・後切刃角・横切刃角および刃先

Table 3 Chemical compositions of cutting tool

ISO mark	Maker mark	Chemical composition wt%				
		W	Co	Ti	Ta	C
P20	STi20	60～83	5～10	5～15	0～15	6～9
K01	HTi05T	83～91	1～6	0～2	0～ 3	5～7

丸み半径の順に，それぞれ7.25°，12°，8.5°，3°，60°，60°，0.4mmである。

Fig. 3は，今回使用したP20とK01の刃先を走査型電子顕微鏡で撮影した写真である。超硬工具はFig. 4に示すように，切刃のすくい面上に適正なマイナスの

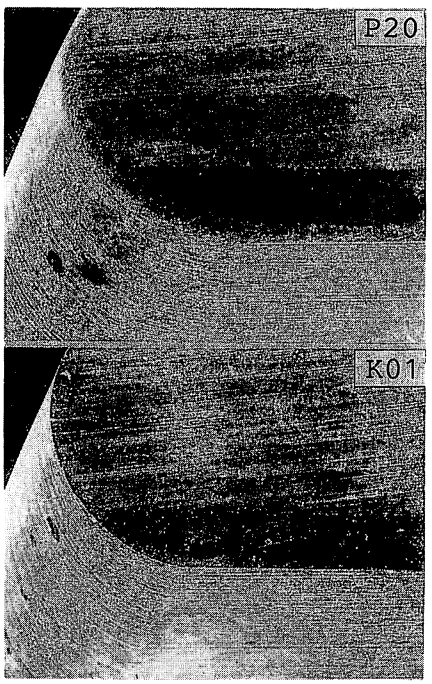

Fig. 3　SEM photographs of cutting tool tip

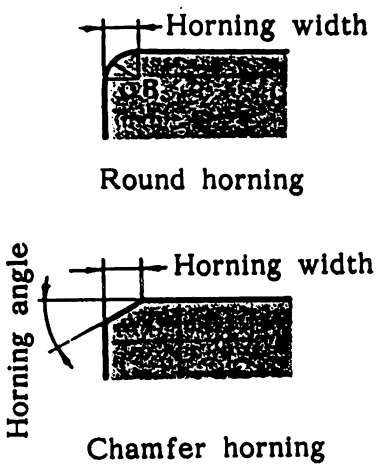

Fig. 4　Horning shape of tool tip

角度をつけ，切れ味を落とさず刃先強度を強くするホーニングが施されている。Fig. 3を見ると，P20は丸ホーニング，K01にはチャンファーホーニングが施されていることがわかる。

2．3　実験方法

供試材の長さが約50mmと短いため硬さを測定した後，Fig. 5に示すように供試材を軟鋼棒に溶接して切削実験を行った。

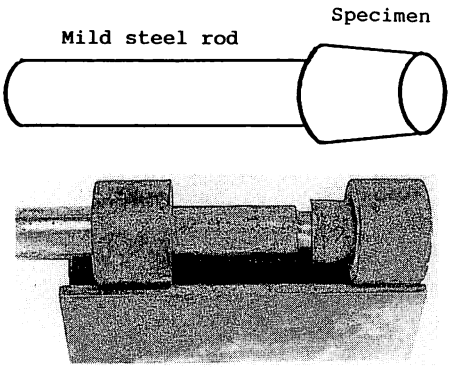

Fig. 5　Welding method of specimen for cutting test

溶接棒は，鋳鉄用溶接棒JIS DFCNiFe（3.2φ×350mm）を使用した。切削抵抗試験は池貝鉄工製ED－18形旋盤を使用し，旋削により3次元切削を行った。通常，旋削においては切削抵抗を3分力に分けて考える[6]。すなわち切削方向の成分である主分力P_1，送り方向の成分である送り分力P_2，および切り込み方向の成分である背分力P_3である。切削動力計（佐藤工機；AST式）から直流増幅器（シンコー通信工業：DS－6002F，GAIN最大，ATT 1）を介して3ペンレコーダに記録させて求めた歪を，予め作成した検定線から得られた式に代入することによって，3分力を求めた。

切削動力計からの工具の突き出し長さを30mmとし，シャンクから生じる振動の影響を極力減少させた。

Table 4　Cutting condition

Cutting tool	P20　K01
Revolution (rpm)	100　250　400　630　1000
Depth of cut (mm)	0.25
Feed (mm/rev)	0.2

供試材16種類，切削工具2種類の組合せ計32通りについてTable 4に示す切削条件を実験項目に合わせて適宜組み合わせ，切削試験を行った。

3．実験結果および考察

3．1 切削抵抗に及ぼす合金元素および切削速度の影響

軟鋼，SK 3および4種類のFe-Ni-Mn合金による予備実験により，切削抵抗には主分力が大きな比重を占める結果が得られたので，主分力のみを検討の対象とした。円錐形の外周部を予め切削して円筒形とした後，実験を行っており，実験時の直径は25㎜であった。したがって直径25㎜，回転数400rpmの場合の切削速度は31.4m／minとなる。本来は切削部の直径から得られる切削速度で検討すべきではあるが，同一直径部で回転数を変えて切削抵抗を測定したため，ここでは便宜的に回転数で比較検討した。一つの実験毎に新しい切れ刃で切削し，データを採取した。

P20を用いて切削した結果からNi量，Mn量および回転数を要因（各4水準）とし，主分力を特性値として，L_{16}の割付け表による分散分析を試みた[7]。L_{16}の割付け表では要因の水準は4水準までを扱っており，5水準になると割付けられなくなるため，回転数を4水準とした。そのため超硬工具が高速切削に適しているということより，切削条件の中で最も回転数の遅い100rpmを除いた。

Table 5 Combination for analysis of variance and principal force

	Target %		Revolution	Principal
	Ni	Mn	(rpm)	Force (N)
1	0	0	250	284
2	0	5	1000	1593
3	5	5	400	711
4	5	0	630	953
5	10	0	400	413
6	10	5	630	1565
7	15	5	250	398
8	15	0	1000	271
9	0	10	400	1807
10	0	15	630	1366
11	5	15	250	1622
12	5	10	1000	1480
13	10	10	250	2077
14	10	15	1000	1081
15	15	15	400	967
16	15	10	630	1423

Table 5に解析に用いた組合せと，各組合わせのときの主分力を示す。Table 5を元に行った分散分析の結果をTable 6に示す。

Table 6 Analysis of variance (P20)

Factor	S	φ	V	F	Significant
Ni	7365	3	2455	1.44	——
Mn	31742	3	10581	6.19	5 %
Revolution	2654	3	885	0.52	——
Error	10252	6	1709		

Niと回転数は有意差がなくMnは危険率5％で有意と判定される。

K01による切削結果から，上記P20の場合と同様に，K01に対して分散分析を行った結果をTable 7に示す。

Table 7 Analysis of variance (K01)

Factor	S	φ	V	F	Significant
Ni	555	3	185	0.06	——
Mn	11700	3	3900	1.36	——
Revolution	7832	3	2611	0.91	——
Error	17215	6	2869		

切削工具がK01の場合では，各要因とも有意差なしと判定された。

Fig. 6にP20で切削した場合の，切削速度と主分力との関係を，Ni量一定でMn量を変化させて示した。分散分析の結果では，Mnのみ5％有意となり，Ni量と回転数は有意差なしと判定されたのでNi量を固定した図としている。各Ni%の図を見ると全体として，X軸に対して平行で，Y軸方向に上下していることがわかる。このことは切削速度が変化しても主分力の大きな変化はなく，Mn量の変化に伴って主分力が変化していることを示しており，分散分析の結果どおりとなっている。

Fig. 6－(a)において，(0，10)□が1700N前後の大きな主分力を示し，同(b)図(10,10)□が約2000Nで全試量中の最大値を示した。逆に(a)図(0，0)○，(b)図(15，0)●が約300Nで最少値を示している。(a)図(0，10)□，(b)図(10，10)□は炭化物が多く，合金白鋳鉄に近い組織となっており，(a)図(0，0)○は過共析組織，

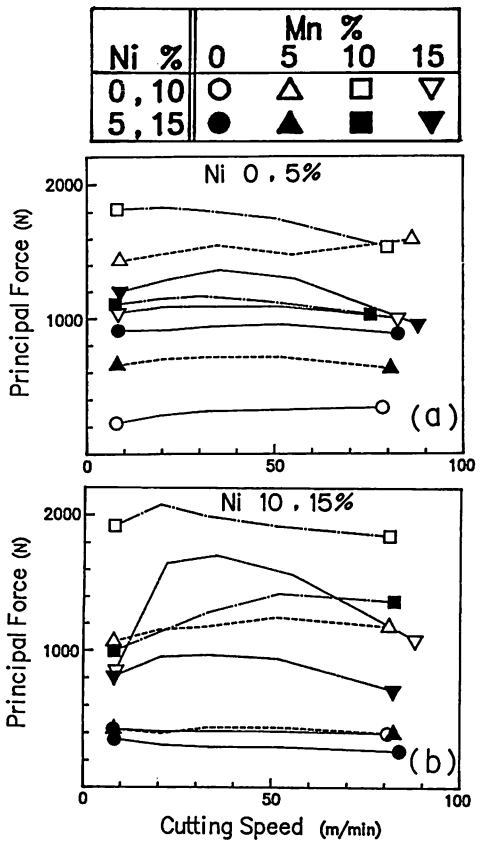

Fig. 6　Relation betweeen cutting speed and principal force (P20)

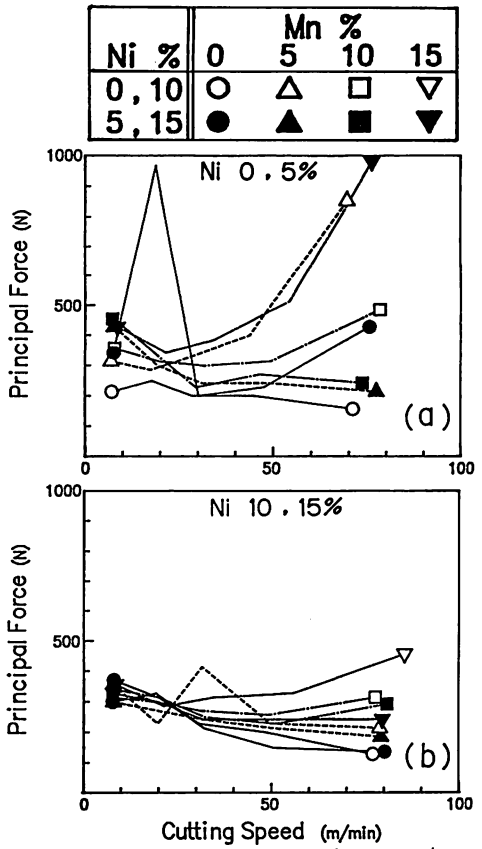

Fig. 7　Relation between cutting speed and principal force (K01)

(b) 図 (15, 0) ●はオーステナイト組織である。P20は鋼切削用であるため，炭化物が多く白鋳鉄に近い (a) 図 (0, 10) □，(b) 図 (10, 10) □では切削抵抗が大きくなり，鋼系の組織を有する (a) 図 (0, 0) ○，(b) 図 (15, 0) ●では小さな値となったものと考えられる。

Fig. 7 にK01で切削した場合の切削速度と主分力の関係を示した。分散分析の結果からはNi量，Mn量，回転数（切削速度）いずれも有意差なしとなっていたので，Ni量を固定した図としている。Ni10%とNi量15%の図では主力力の値はほぼ同じで，Mn量，切削速度が変化してもほぼ一定である。Ni 0 %とNi 5 %では切削速度の増加に伴い，主分力が大きくなるものもあり，しかも切削速度の高いところではMn添加量によって変化している。Ni量を固定した個別の図で表してみると，上述のように主分力の変化している場合があるが，Ni 0 %から15%までを総合すると，全体的には有意差なし，という分散分析の結果になるのであろう。またNo. 5 (5, 0) では，切削速度20m／minのところで突発的に約1000Nまで大きくなっており，この点については再実験をしても同様の結果が得られた。その際の刃先の走査型電子顕微鏡写真をFig. 8 に示すが，摩耗，チッピングが起こっている

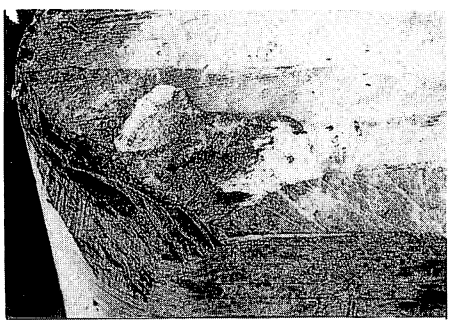

Fig. 8　SEM photographs showing defective part of tool tip

ことが明らかにわかる。2回の実験で2回とも高い切削抵抗を示し，工具が損傷していることから，確たる原因は不明であるが，この試料に対してはK01を使用する場合，切削速度が20m／min程度での切削は避けるべきであるといえる。

Fig. 6およびFig. 7を全体的にみると，同一切削条件で切削を行った場合，P20とK01とではP20の主分力が高い。同一材を切削して主分力が変化した理由として，次の二つが考えられる。一つは工具材質の変化によるもの，他の一つは，2．2の切削工具の項で述べた刃先のホーニングの差異である。工具成分を示すTable 3によればP20はK01に比べてタングステン含有量が少なく，粘結剤としてのコバルトが多い。コバルトは鉄およびニッケルと周期律表の上で同族の元素であり，これらの元素との親和力が高い。そのためコバルト量の多い工具は鉄系の被削材に対して凝着性が高く，主分力が大きくなると考えられる[8]。このことは例えば，No.13（15，0）に対するP20とK01の主分力を見ると，前者が300N程度，後者が220N程度となっていることからもうかがわれるが，これらの主分力の差はそれほど大きくない。次に全体的な形状は等しいが，刃先のホーニングという点からみると，P20は丸ホーニングが施されているのに対し，K01はチャンファーホーニングで刃先に丸みが無い。丸ホーニングを施せば欠損に対する工具寿命は増すが，逆に切削抵抗はホーニング量の増加と共に増す。工具成分と刃先ホーニング形状のどちらが大きく作用しているのかは，明確ではないが，K01の主分力がP20の主分力より全体的に小さいのは，この二つの理由の相乗作用によるものと考えられる。

3．3．2 主分力と被削材の硬さとの関係

前述したように，供試材はNi量およびMn量によって組織が変わり，ロックウェル硬さで81.2HRBから50HRCまで種々の硬さを示した。そこで個々の合金の硬さと，その合金を切削したときの主分力とを対応させて，まとめた図がFig. 9(a)，(b)である。5段階の回転数（切削速度）で実験を行っているが，400rpmの場合の主分力と硬さとの関係を（a）図に，各回転数における主分力の平均を（b）図に示した。(a)・(b)両図の傾向がほぼ等しいのは，各試料の切削抵抗が切削速度とは無関係であったことに由来するものである。

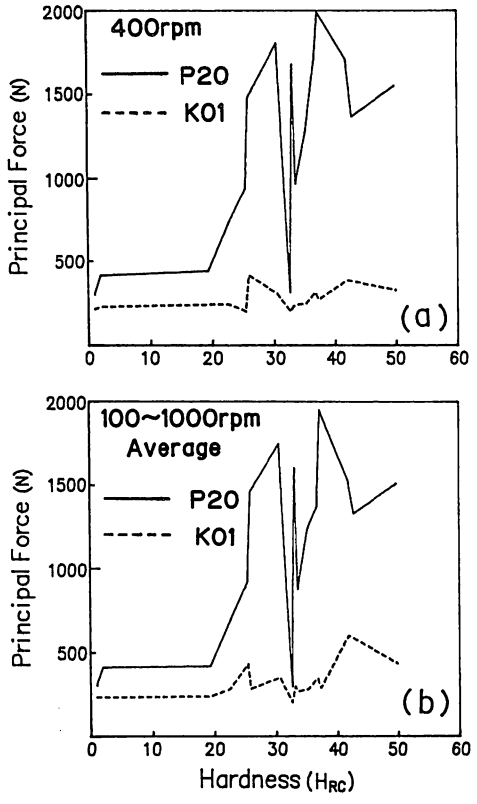

Fig. 9 Relation between hardness and principal force

P20で切削した場合，硬くなると切削抵抗が大きくなるようであるが，30HRC～40HRCの硬さの供試材の主分力の変化が大きい。主分力の値が急激に低下しているものは，32.6HRCのNo1（0，0）で最も軟らかいNo. 13（15，0）の主分力の値とほぼ同じである。すなわちNiを15%含む合金と，ほとんど含まない試料とで硬さには違いはあるが，主分力の値はほとんど変わらない。またNi量，Mn量ともに最も多いNo. 16（15，15）は，硬さは33.6HRCで，主分力約600Nであるのに対し，主分力が約2000Nで最大を示しているのは，37.3HRCのNo. 11（10，10）であった。このことは単純に硬さだけで切削抵抗を云々できないことを示している。他方，K01で切削した場合は，主分力の変化は小さく，硬さに関係なくほぼ一定値を示している。硬さは，切削抵抗の一応の目安とはなるであろうが，硬さと切削抵抗の間に直接的な関係があるとは言えないことになる。

3．3．3　切削面の状態および切り屑の形態

Fig. 10はNo. 3（0，10）およびNo. 13（15，0）を2種類の工具で，切削速度を変えて切削したときの表面状態を表面あらさ計で測定したものである。縦倍率を1000倍，横倍率を100倍に拡大している。図を見るとNo. 3（0，10）は表面にギザギザが多く，切刃の形（ノーズ半径；0.4mm）が写っておらず凹凸が目立ち，むしれたようになっている。この時の切り屑はむしれ形を呈していて細かくなっている。同図において同一試料をK01で切削した場合の切削面の状態は，切刃の形をほぼ再現しているが，回転数が遅くなるにつれて悪くなっている。これは切刃に何らかの変化（構成刃先やチッピング）が生じたためと考えられる。

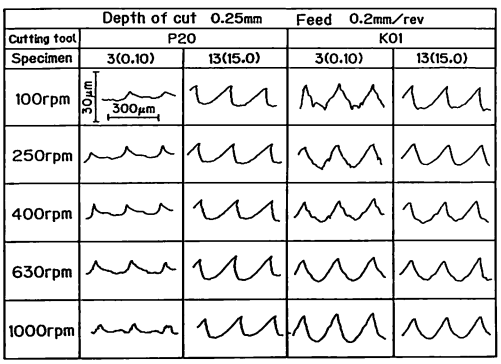

Fig. 10　Roughness of machined surface

また回転数の遅いところでは表面の光沢が鈍かった。この時の切り屑もまたむしれ形を呈していた。No. 3（0，10）はMn添加量が増して，オーステナイト基地中に炭化物が多量に現れる組織のため，切り屑がむしれ形になったものと考えられる。また切削抵抗が大きかったP20の方が切削面の状態は悪いことがわかる。No. 13（15，0）の切削面の状態は，どちらの切削工具でもともに切刃の形を再現しており，切り屑の形状は流れ形を呈していた。切削面の状態が切刃の形を再現するような場合，切り屑は流れ形を呈し主分力も小さく，切刃の形を再現せず凹凸が多い場合は，むしれ形切り屑で主分力も大きい結果となっていた。

3．4　工具の摩耗

切削工具の摩耗状態を観察するため，Table 8に示す切削条件で，切削距離12mの連続切削を試みた。供試材は合金量によってそれぞれ典型的な組織であった，No. 1（0，0），No. 5（5．0），No. 13（15，0），No. 3（0，10），No. 11（10，10）の5本とした。

Table 8　Cutting condition

Cutting tool	P20　K01
Revolution (rpm)	400
Depth of cut (mm)	0.25
Feed (mm/rev)	0.2

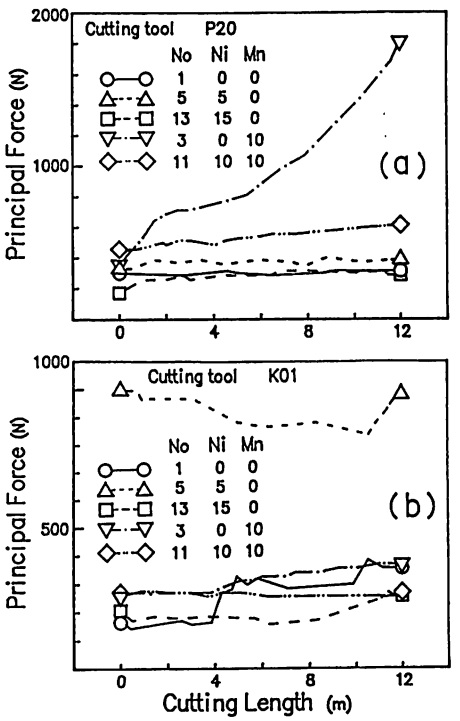

Fig. 11　Relation between cutting length and principal force

Fig. 11（a），（b）は切削工具別に，切削距離と主分力との関係を示している。工具の違いによって切削抵抗が異なるため，（a）図のP20は縦軸の主分力を最大2000N，（b）図のK01は最大1000Nで示している。前節で述べたように，全体的に切削工具がP20の場合の主分力が大きい。ただし，長破線で示してあるNo. 13（15，0）はどちらも200N程度で変わっていない。P20で切削距離の増加とともに主分力が増加している

No. 3（0，10），K01で切削の初期から主分力の大きいNo. 5（5，0），同じくK01で切削距離4m程度で急に主分力が大きくなっているNo. 1（0，0）以外の主分力は，12mの切削中大きな変化はない。切刃の走査型電子顕微鏡による観察において，主分力にさほど変化のない試料では，切刃の摩耗，チッピングなどの変化はないが，上記3つの主分力が変化した場合，あるいは主分力が大きい場合では，いずれも切刃の摩耗あるいは摩耗とチッピングが認められた。その一例をFig. 12に示す。

No. 1（0，0），No. 5（5，0），No.13（15，0）はいずれも組織的には，鋼系の組織であるが，No. 3（0，10）はFe－Mn複炭化物が体積的に（写真観察では平面的であるが，金属組織学的には面積比を体積比と考えてさしつかえない[9]）多く，合金白鋳鉄に近い組織となっている。したがって鋼用の超硬工具（P20）と鋳鉄用の超硬工具（K01）を，それぞれ不適当に用いた場合，すなわちP20でNo. 3（0，10）を切削した場合，およびK01でNo. 1（0，0），No. 5（5，0）を切削した場合に工具切刃の損傷，摩耗が起こったものと考えられる。K01でNo. 5（5，0）を切削した場合，切削初期から大きな主分力を示しているが，電子顕微鏡観察によると，工具切刃の損耗が著しいことがわかった。したがって，切削初期から切刃が摩耗あるいはチッピングしていたものと考えられる。

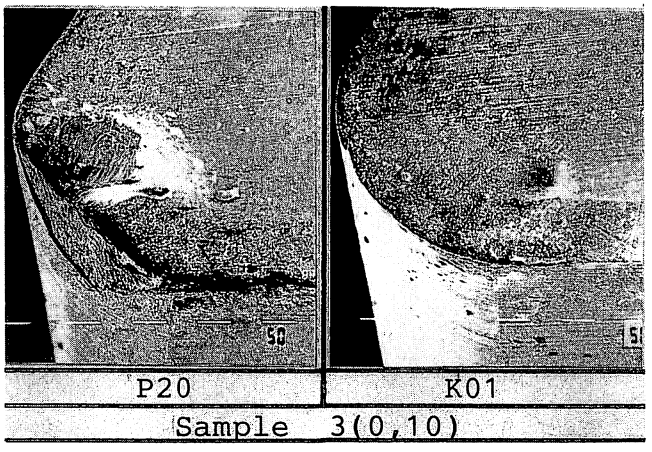

Fig. 12 SEM photographs showing tool after 12m continuous cutting

4．結　論

シェルモールド製カートリッジを用い，1300℃付近における冷却速度が4.8℃／secで鋳造された，Ni 0～15%，Mn 0～14%を含む16種類のFe-Ni-Mn合金について被削性を検討するため，鋼用超硬工具(P20)，および鋳鉄用超硬工具(K01)を用い，切込み0.25㎜，送り量を0.2㎜／rev，切削速度を7m／minから80m／minの間で，5段階に変化させて切削実験を行った。得られた結果を以下に要約する。

1）供試材の組織は，NiおよびMnを添加していない基本素材の過共析組織，Niのみを4%添加した場合のマルテンサイトと残留オーステナイトの混合組織，Niのみ9.3%および14.9%添加した場合のオーステナイト組織，Mn 5%以上添加した場合のFe-Mn複炭化物を含む組織となり，NiおよびMn量の変化によって複雑に変化している。

2）組織が上述のように種々に変わるため，供試材の硬さもオーステナイト組織の81.2HRBから，マルテンサイトが現れたNi 4%における25.4HRC，Fe-Mn複炭化物が多量に現れているMn5.4%の49.9HRC，あるいはNi9.9%，Mn9.4%の37.3HRCと変化している。

3）Ni量，Mn量および切削速度を要因として切削

抵抗の主分力に及ぼす影響をL_{16}表にわりつけて，分散分析した結果，P20を工具として用いた場合は，Mn量のみ危険率５％で有意となったが，K01の場合はいずれの要因も有意差なしとなった。

4）P20による主分力は，全体的にK01に比べて大きい。分散分析の結果，有意差なしとなったK01の場合を個別に検討すると，マルテンサイト組織が現れていたNi４％，Mn１％の試料およびNi０％，Mn5.4％の試料はともに，実験中切削速度が大きい場合大きな主分力を示した。またNi４％，Mn１％の試料をK01で20m／minの切削速度で切削した場合，刃先が損傷し1000N近い大きな主分力を示した。

5）供試材の硬さと主分力との関係からは，全体に主分力の小さいK01では，硬さに関係なく250～600N程度の値を示したが，P20では全体的に硬い供試材ほど大きな主分力を示す傾向にあるが不連続で，硬さと主分力との間に一義的な関係は見いだせない。

6）むしれ形の細かい切り屑となったものは，切削面の光沢が鈍く，ざらざらした状態となり，表面粗さ測定器による表面形状からは，切刃先端の形状を写していないことがわかる。このような場合の主分力は，流れ形の切り屑を排出している場合と比べて大きい。

7）供試材の組織に適した工具を用い，適切な切削条件で切削しないと，超硬工具と言えども切削初期から刃先の摩耗やチッピングを起こし，適切な切削面が得られない。供試Fe-Ni-Mn合金は，Ni量，Mn量によって，組織が複雑に変化するため個々の供試材に対して，切削工具，切削条件等を選定する必要がある。

参考文献

1）日本金属学会編；金属便覧，丸善，(1982) P1491

2）奥島啓式；被削性の本質，機械の研究，第17巻第12号（1965），P1463-1468

3）糸村，平敷，東，松田，菊田；模擬溶接金属の冷却中における負荷試験，琉球大学工学部紀要第35号（1988），P１-９

4）日本学術振興会第19委員会編；鉄鋼と合金元素（上），誠文堂新光社，（1967），P870

5）三菱金属；ダイヤチタニット切削工具カタログ（1986），P341

6）千々岩健児他；機械製作通論（下），東京大学出版会，（1982），P251

7）磯部邦夫；実験計画法入門（条件の決め方），日刊工業新聞社（1962）

8）千々岩，金沢，南；切削力による球状黒鉛鋳鉄の被削性評価，鋳物，第59巻９号（1987），P536-541

9）佐久間，西沢；定量金属組織学，日本金属学会報，第10巻５号（1971），P279-289