

高マンガン鋼鑄鋼の被削性について

谷口 正紀*・瀬戸 雅文**・田戸 保**

Machinability of High Manganese Steel Castings

Masaki TANIGUCHI, Masafumi SETO and Tamotsu TADO

Abstract

In order to examine the machinability of high manganese steel castings, turning and facing tests with carbide and ceramic tools were performed, and tool wear, cutting resistance and surface roughness were observed; and then, hot machining by electric current was studied with M10 carbide tool.

The main results are as follows:

- 1) The best of used tools is M10 carbide tool for cutting the high manganese steel castings, and the optimum cutting speed is 40~60m/min.
- 2) The machinability of the high manganese steel castings: the growth of flank wear is larger than that of groove wear and the tool life is short: the cutting resistance decreases monotonously with cutting speed; the surface roughness is comparatively fine.
- 3) The tool wear increases with electric current in hot machining of the high manganese steel castings; i.e., this method is inadequate to the improvement of the machinability.

1. 緒 言

近年、機械工業はもとより、その他もろもろの工業技術が進むにつれて特殊鋼の種類および用途は次第に増加し、これらの材料を削ることが余儀なくされるようになってきた。なかんずく高マンガン鋼は耐摩耗性および靱性にすぐれ、特殊軌条、粉碎機、土木機械その他耐摩構造用材として利用されているが、一般にはげしいフランク摩耗を生じ削りにくい材料である。このような難削材に対しては最適工具の選択および切削方法の改善がとくに切削能率を高める上において重要である。

本実験では、難削材の一種である高マンガン鋼鑄鋼に対して、長手切削および正面切削試験を行ない、工具摩耗・切削抵抗および仕上面あらさを測定し、その被削性を検討するとともに適性工具材種の選定を試みた。また、被削性改善の一方法として開発された通電切削を行ない、その適応性についても検討を行なった。

2. 実験装置、供試材料および実験方法

* 工業短期大学部機械工学科

** 宇部工業高等専門学校機械工学科

2・1 実験装置

実験に使用した工作機械は大隈鉄工所製 LS 高速実用旋盤（無段変速に改造）で、その主な仕様はベッド上の振り、450mm、両センチ間の距離 800mm、主軸回転数 35~1800rpm（12段変速）、主電動機 5.5kw である。

2・2 使用工具

使用工具は 31-3 形メカニカルクランプバイトで、工具形状は -5° , -7° , 5° , 7° , 15° , 15° , 0.8mm である。チップ材種は長手切削に対して P20, M10, K05 および黒色系セラミック（以下 Ceramic B と略称）を用い、正面切削に対しては M10, K05, K10, Ceramic B および白色系セラミック（以下 Cerami W と略称）を用いた。また、通電切削に対しては M1 を用いた。

2・3 被削材

被削材として用いた高マンガン鋼鑄鋼の成分を Table 1 に示す。工作物の形状は長手切削においては直径 100mm、長さ 490mm で、約 45mm の径まで切削し、正面切削では外径 87.5mm、内径 24mm である。なお、硬度は平均 46Hs である。

Table 1 Chemical composition of work (%)

C	Si	P	S	Mn	Cr	V
1.12	0.55	0.018	0.025	10.40	1.69	0.03

2・4 切削条件

切込みおよび送り量は長手、正面および通電切削のいずれの実験に対してもそれぞれ 1.0mm および 0.1mm/rev とした。切削速度は長手切削の場合 20, 40, 60, 80m/min, 正面切削の場合 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 600, 700rpm, 通電切削の場合 40 および 60m/min である。通電切削時の加熱電流は 150 および 200A である。

なお、正面切削では内側から外向きに切削し、切削工具をその切削方向に対して 45°傾けて逃がした。

2・5 測定方法

工具摩耗の測定にはオリンパス製 STM 形小形工具顕微鏡を用い、主として横逃げ面摩耗を測定した。切削抵抗の測定には機械試験所式 KSA 500 形切削動力計、新興通信製 DS 6/RJ 形動ひずみ測定器および三栄測器製 FR-201 形ビジグラフを用いて三分力を測定した。仕上面あらしの測定には東京精密製デルタ表面あらし計(サーフコム)を用いて平均あらし Ra を測定した。ただし、摺動速度 3 mm/sec, カットオフ値 0.75mm である。

3. 実験結果および考察

3・1 長手切削

3・1・1 工具摩耗 一般に行なわれている工具寿命試験法にもとづいて得た寿命曲線を Fig. 1 に示す。P 20種および K05 種は逃げ面の摩耗速度が非常に大

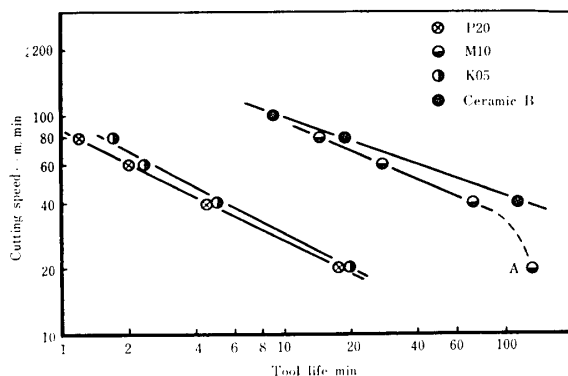


Fig. 1 Tool life curve for 0.15mm wear land
Depth of cut : 1.0mm
Feed : 0.1mm/rev

きく M 10種および Ceramic B は比較的小さい。したがって M 10種 および Ceramic B は前二者の約10倍の寿命を示している。いっぽう、P 20種 および K 05種では境界摩耗がほとんどみられないのに対して、M 10種では境界摩耗の発達が大きく、また、Ceramic B ではチッピングの発生が多い。工具摩耗の一例を Photo. 1 に示す。

以上のことから横逃げ面摩耗を寿命基準として考える場合 M 10種 および Ceramic B が高マンガン鋼に対する工具材種として選定されるが、Ceramic B は特に鋳鋼品に対しては鋳巣および砂かみなどによりいまだ安定性を欠くので、M10種が最適であると考えられる。しかし、M10種も境界摩耗の発生という点ではいまだ充分ではなく、工具材料の改良あるいは切削法の改善などによる境界摩耗の抑制が必要であると考えられる。

なお、切削速度について考えるとき、一般の鋼材では 200~300m/min (超硬工具、引張強さ 40kg/mm² の鋼材、送り 0.2~2.0mm/rev, 切込み 1~15mm における切削速度)¹⁾ とかなり高速化されているのに対して、高マンガン鋼では一宮の実験結果(SMn 80の20分寿命に対する切削速度 46m/min, 送り 0.12mm/rev, 切込み 0.8mm)²⁾ にもみられるように、すくい面摩耗に比較してすくい面から横逃げ面にかけて発生する欠けおよび横逃げ面摩耗の成長がいちじるしく、低速削りを余儀なくしている。本実験範囲内において判断するとき M 10種に対する切削速度は、高速では前述の微細な欠けをともなって横逃げ面摩耗を早め、低速においても欠けをともなってノーズ部に異常摩耗(図中A)を発生するので 40~60m/min 程度が有利であると考えられる。

3・1・2 切削抵抗 摩耗の少ない切削初期における切削抵抗を Fig. 2 (主分力) および Fig. 3 (主分力に対する送り分力および背分力の比) に示す。高マンガン鋼鋳鋼品では S 45 C などで見られるような低速部における極大値³⁾ があらわれず切削速度に対して単調な減少を示している。また、Fig. 3 にみられるように送り分力が比較的大きく主分力との比が 1.0~1.3 (S 45 C では 0.3~0.5 程度) である。さらに、比切削抵抗 (400kg/mm² 程度) においては差がなく、したがって被削性について考える場合単に主分力の大きさだけではなく工具と切りくずおよび工作物との摩擦・摩耗に関係があると考えられる送り分力および背分力の主分力に対する比率の大きさを考慮すべきであろう。すなわち、普通鋼材に比較して逃げ面摩耗がはげしいのは送り分力、すなわち逃げ面に対する接触圧力が大

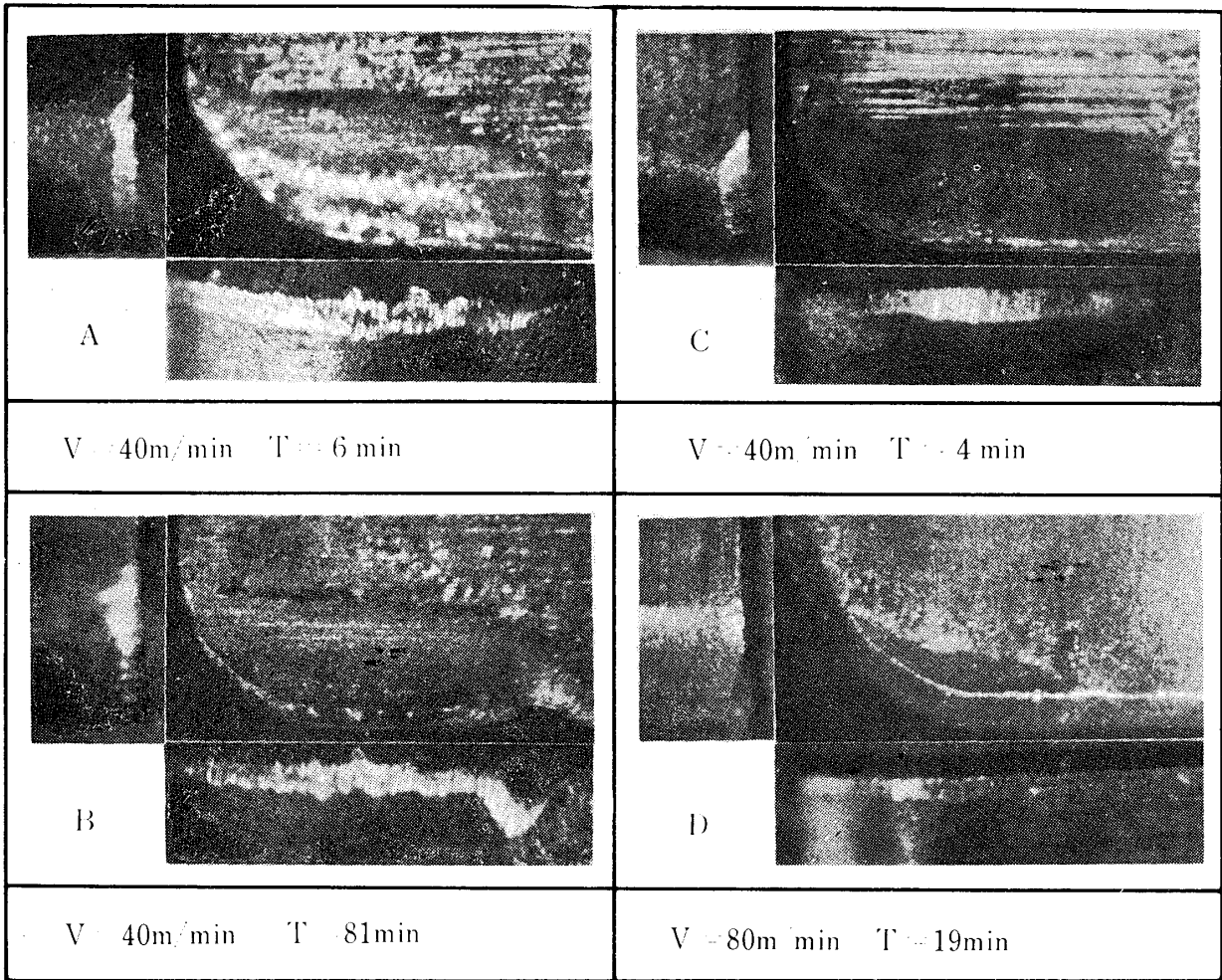


Photo. 1 Wear of cutting tools

V : Cutting speed, T : Cutting time A : P20, B : M10, C : K05, D : Ceramic B
 Depth of cut : 1.0mm, Feed : 0.1mm/rev

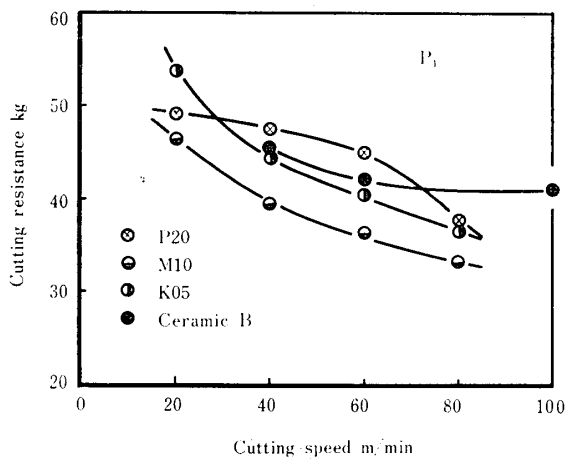


Fig. 2 Cutting resistance vs. cutting speed at initial stage
 Depth of cut : 1.0mm Feed : 0.1 mm/rev
 P₁ : Tangential force

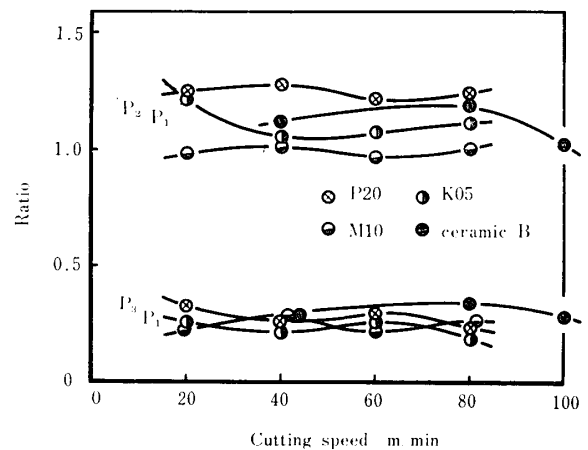


Fig. 3 Ratio of cutting resistance vs. cutting speed at initial stage
 Depth of cut : 1.0mm Feed : 0.1mm/rev
 P₁ : Tangential force P₂ : Longitudinal force
 P₃ : Radial force

きいことがその一因をなしているのではないと思われる。

4種の工具材種中ではM10種が主分力および送り分力ともにもっとも低い値を示している。ついでK05種, Ceramic B, P20種の順である。背分力においては, その比はいずれの場合も大差がなく0.3前後, Ceramic Bがわずかに高い値を示している。

以上のことから切削抵抗の面から考えるとM10種が高マンガン鋼にもっとも適した工具材種であると考えることができる。なお, Ceramic Bの抵抗が比較的大きいのはチップング防止のための面取りによるものと考えられる。

3・1・3 仕上面あらさ Fig. 4は切削初期における仕上面あらさを切削速度に対して示したものである。いずれの工具材種においても仕上面あらさの最低値, すなわち最適切削速度が存在する, この傾向は工具寿命までの平均値においてもかわらず, わずかに増加する程度である。(図略)

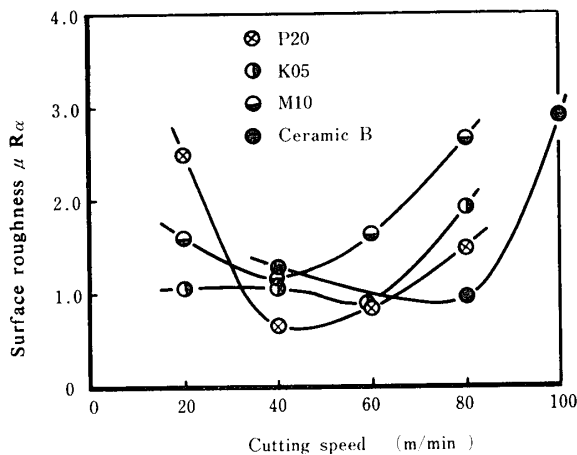


Fig. 4 Surface roughness vs. cutting speed at initial stage

Depth of cut : 1.0mm
Feed : 0.1mm/rev

工具材種別では40~60m/min 付近ではもっとも寿命の短いP20種が良く, もっとも寿命の長いM10種が悪いという逆の傾向を示している。工具摩耗のはげしいP20種およびK05種においてあらさがよいのは逃げ面摩耗0.15mmの範囲内ではむしろ刃先の摩耗によって切刃が後退し, しかも境界摩耗が発達しないために刃先半径が増大することによるものと考えられる。いっぽう, M10種においては他材種にくらべて工具摩耗にともなう仕上面あらさの悪化がいちじるしく, しかも全体的にあらさが悪い。これは前二者にくらべて刃先摩耗すなわち切刃の後退が少ない反面境界摩耗の発達がいちじるしいために刃先半径が減少することに

よるものと考えられる。この意味においてもM10種による高マンガン鋼切削においては境界摩耗に対する抑制策がとられなければならない。なお, Ceramic Bにおいては80~100m/min では寿命までほとんど変化がなく, 40m/min では境界領域の微細なチップングによって切削進行にともなう悪化が比較的いちじるしい。

鋼材切削における仕上面あらさの一般的な傾向は, 150m/min 付近で構成刃先が生じなくなるまで急激に仕上面が滑かになり, それ以後はほとんど変化しない⁴⁾。著者らが先に行なった実験結果(SCM4合金鋼)⁵⁾においても80m/minにおいて3~4μRaの仕上面を呈するものが200m/min以上では約1μRaの仕上面に一定化し, さらに, 工具摩耗の影響という点ではたとえば80m/minの場合横逃げ面摩耗0.15mm付近で5~6μRaと悪化する。これに対して高マンガン鋼では, 低速切削にもかかわらず全体的に仕上面あらさがよく, 前述の傾向が少ない。これは, 一般に高マンガン鋼では溶着が少なく, かつ境界摩耗の成長が少ないことによるものと考えられる。

3・2 正面切削

3・2・1 工具摩耗

Fig. 5は内側から外側に向って連続2回正面切削を行なったときの横逃げ面摩耗を回転数に対して示したものである。全体的にみるといずれの工具材種においてもある速度域を越えると急激に摩耗量が増加する。各材種別にみるとK10種では250rpm 付近から摩耗が, 急増しかつ他材種に比較して極度に大きい値を示している。K05種とCeramic Bは概略的には同じような損耗量を示しているが, K05種では400rpm 付近から急増し Ceramic Bでは高速域でゆるやかな勾配を示している所から, 低速ではK05種がCeramic Bにまさり 高速ではCeramic Bが有利であると考えられる。Ceramic Wの場合低速ではK05種およびCeramic Bより劣るが, 速度が増加してもわずかな増加しかみられないので, さらに高速域で有利であると考えられる。さらに, M10種では正面切削においてももっともよく, 600rpmまでほとんど横ばい状態で安定しており, 700rpm においてはじめて急増する。

正面切削では長手切削より工具摩耗の点から考えるときびしい条件下にあると思われる。すなわち, 内側から外側に向う切削では横逃げ面の逃げ角が減少する傾向にあるため, 径が小さい切削初期においては横逃げ角が小さい。また, 前逃げ面においても長手削りでは円弧接触, 正面切削では平面接触である。したがっ

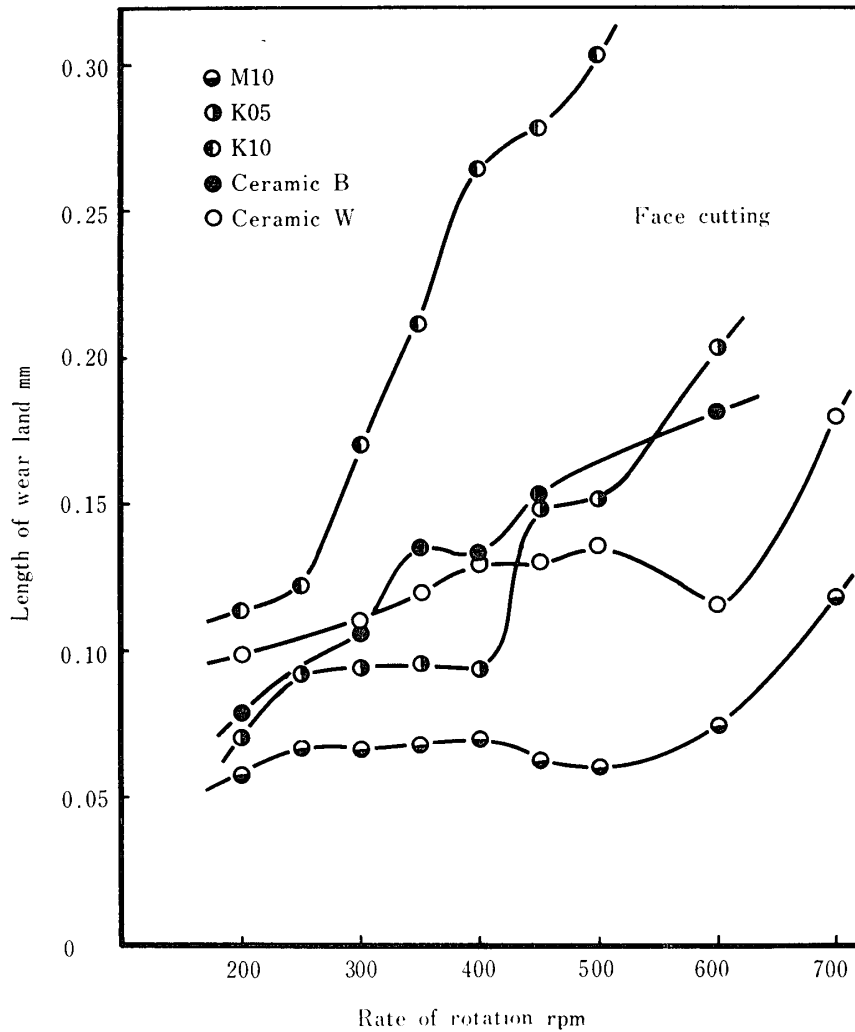


Fig. 5 Relation between length of wear land and rate of rotation
Depth of cut : 1.0mm Feed : 0.1mm/rev

て工具の耐摩耗性を予測する一方法として正面切削試験を行なえば、摩耗速度が大きいため短時間にその結果を得ることができ、各工具材種の性能を比較検討することが可能であると考えられる。しかし、本実験のような性能試験法では、一定切削速度に対する寿命時間を得ることができないので、経済的切削速度の決定などが不可能である。したがって、両切削方式の関連性を摩耗特性曲線上で、今後検討する必要がある。

3・2・2 切削抵抗 連続2回切削における平均切削抵抗を Fig. 6 (主分力) および Fig. 7 (主分力に対する送り分力の比) に示す。主分力は各工具とも回転数が増加するにつれて減少し、ある回転数以上になると増加する傾向にある。正面切削においても長手切削と同様低速域における極大値があらわれない。

各材種別では M10種が全速度域でもっとも抵抗値が低く 700 rpm で増加している。次に Ceramic Bの

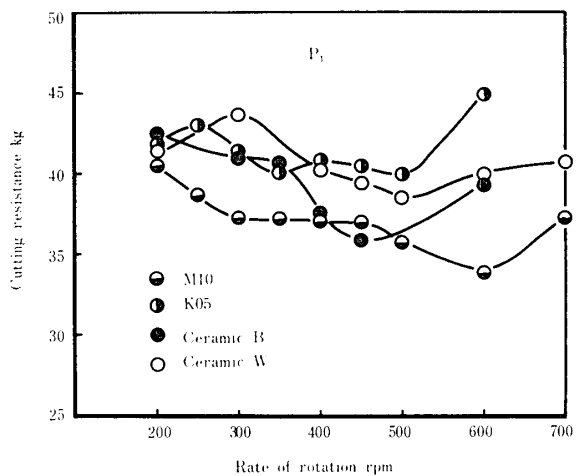


Fig. 6 Cutting resistance vs. rate of rotation
Depth of cut : 1.0mm Feed : 0.1mm/rev
P₁ : Tangential force

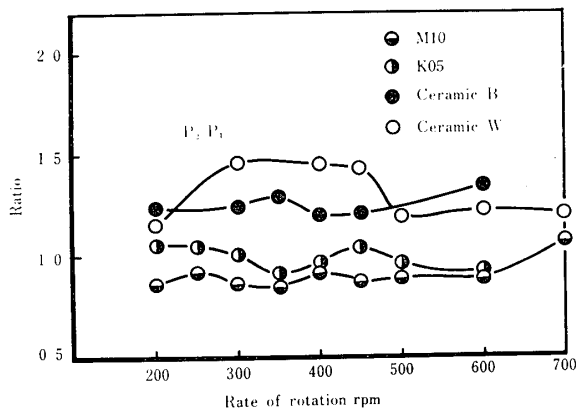


Fig. 7 Ratio of cutting resistance vs. rate of rotation
 Depth of cut : 1.0mm Feed : 0.1mm/rev
 P_1 : Tangential force
 P_2 : Longitudinal force

場合低速域では K05種および Ceramic W と同じような値を示しているが、回転数の増加とともに急激に減少し 600rpm で再び増加している。K05種および Ceramic W では500rpm まで減少の傾向を示しているが、500~600rpm 以上では増加率は K05種が大きく Ceramic Wでは小さい。

送り分力と主分の比は全体的にみると回転数の影響が少なく、しかも両セラミックが超硬の場合より高い値を示している。各材種別では M10種がもっとも小さい値を示している。

以上のようにセラミック工具が悪い性能を示すのは本試験法の特質として速度変化が大きくしかも低速切削を要求されることに原因があるものと考えられる。たとえば200rpm においては、最低速度15.1m/min、最高速度 55.0m/min、700rpm においては最低速度 52.8m/min、最高速度 192.1m/min で、高い回転数においても、これらの工具に不適な低速度域を有し、セラミック工具の特質からその悪影響が大きくあらわれるのではないかと考える。

なお、背分力と主分力との比も送り分力の場合と全く同じような傾向を示したので図示を略した。また、K05種については前項の工具摩耗において、明らかに悪い結果を示したので図を簡略化するために省略した。

3.3 通電切削

前述の二実験から得られた結果にもとづいて、工具材種 M10種、切削速度40m/min および60m/min について通電切削を行ない工具摩耗について得た結果を

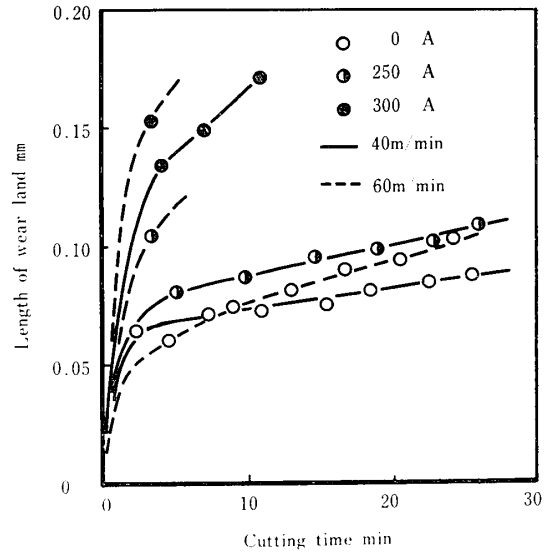


Fig. 8 Relation between length of wear land and cutting time when hot machining
 Depth of cut : 1.0mm
 Feed : 0.1mm/rev

Fig. 8 に示す。高マンガン鋼は加工硬化性の材料で高温切削によって被削性を改善できるという結論を得た文献²⁾もあるが、本実験においてはいずれの速度においても加熱電流の増加とともに摩耗が増加している。

このように相反した結果が得られたのは、加熱方法の相異によるものと考えられる。すなわち、前者は全体加熱で被削材の軟化が十分に行なわれ、しかも切削工具は直接加熱されないのに対して、後者(本実験)は局部加熱であるため温度勾配が大きく軟化が不十分だけでなく、通電によって工具自身も加熱されるので相対硬度がむしろ低下するためではないかと考えられる。また、本実験では被削材が鋳鋼であるため微細な気孔、あるいは巣を有しときどき火花をみることもその一因と考えられる。したがって、今後は加熱方法について検討するとともに、加熱切削に適した工具および切削条件の選定についても検討すべきであると考える。

4. 結 言

高マンガン鋼鋳鋼に対して長手切削および正面切削試験を行ない、工具摩耗・切削抵抗および仕上面あらさを測定し、その被削性を検討するとともに適性工具の選定を試み、さらに通電切削を行ない次の結論を得た。すなわち、本実験範囲内では

- 1) 高マンガン鋼鋳鋼の切削において工具摩耗および切削抵抗から考えると切削工具の優劣はM10種

がもっともすぐれている。しかし、仕上面あらさは必ずしも良好ではない。これは他種工具に比較して境界摩耗の発達が大きいためであると考えられ、その抑制策についてはさらに検討すべきである。また、M10種に対する適性切削速度は40~60 m/min である。

- 2) 高マンガン鋼鋳鋼の被削性について；工具摩耗は、すくい面摩耗に比較して横逃げ面摩耗の成長がいちじるしく、工具寿命が短い。切削抵抗については低速域において普鋼材でみられるような極大値があらわれず切削速度に対して、単調に減少し、また、主分力に比較して送り分力が比較的大きい。仕上面あらさは溶着および境界摩耗が少ないために比較的小さく、かつ最適切削速度が存在する。
- 3) 高マンガン鋼鋳鋼に対する通電切削は、加熱電

流の増加とともに工具摩耗が増大するので不適である。

- 4) 正面切削試験によって、各種工具の性能を短時間に比較検討することができる。しかし、寿命時間および適性切削速度の決定は不可能である。

参 考 文 献

- 1) 吉田邦彦：超硬工具，日刊工業新聞社（1968）P. 70
- 2) 一宮亮一：日本機械学会論文集，32, 827（1965）
- 3) 谷口，瀬戸：山口大学工学部研究報告，17, 53（1966）
- 4) 田中，津和：精密工作法（上），共立出版社（1967）P. 60
- 5) 瀬戸，田戸，谷口：宇部工業高等専門学校研究報告，13, 33（1971）

（昭和47年9月14日受理）