

可鍛鑄鉄の旋削試験

—特に熱処理法が切削力に及ぼす影響について—

(昭和45年5月27日 原稿受理)

機械工学教室 坂 木 正 史

Turning Tests on Malleable Cast Iron

—Effect of heat treatment on machining characteristics—

Masafumi SAKAMOTO

To determine the effects of heat treatment on cutting force, surface roughness and tool flank wear, several grades of malleable cast irons were machined dry and wet with carbide cutting tools, cast iron cutting grade and steel cutting grade.

When low hardness malleable cast irons were machined, built up edge was appeared in wide speed range.

Effect of built up edge on cutting force was large, especially to machine with cast iron cutting grade.

There was critical hardness of malleable cast iron for machining. Above $H_B=210\sim 220$, flank wear of the tool increased rapidly.

Difference between type of air quenched and oil quenched malleable cast irons could not be observed in this experiment.

1. 結 言

可鍛鑄鉄の被削性に関する研究はあまりみあたらない。これは可鍛鑄鉄の被削性が割合によいためであろうと思われる。しかし可鍛鑄鉄にも優れた機械的性質が要求されるようになり、かなり削り難いと思われる材種もみうけられる。特に自動車部品などのような量産品では被削性は非常に重要で、機械的性質の向上と同時に被削性をよくすることも大切である。また可鍛鑄鉄の被削性に関するトラブルも時には耳にすることもある。

本研究は熱処理のみを変えた可鍛鑄鉄数種について旋削試験を行い、主として切削抵抗について調べたものである。更に仕上面あらさ・工具摩耗量を測定し、これらの結果についても2～3の検討を試みた。

可鍛鑄鉄は普通鑄鉄と鋼の間であらうということで、加工もその中間で行なわれているように思われる。例えば使用される超硬工具をみても

JIS³⁾ではP20, P30あるいはK10をうようになっている。また米国の例をみると文献1ではC7 (JIS P10相当)を、可鍛鑄鉄協会の被削性に関する報告²⁾ではC2 (JIS K20相当)を使っている。更に旋削において切削油は使ったり、使わなかったりそれぞれまちである。可鍛鑄鉄を切削する場合にはどのような方針で工具を選択し、またどのような場合に切削油を使用すべきかを知る手がかりを得るために、乾式の他に湿式切削や、工具としてK10の他にP10をも使用して実験を行った。

2. 実 験 方 法

工作機械としては、旋盤(三菱エリコン旋盤)を用い、三次元切削を行なった。被削材として用いた可鍛鑄鉄は長さ200mm, 直径90mmで、径50mmの中空を有している。内径端を内円すい面に仕上げた傘型の回転センタで押し、他の一端をチャックして旋削した。本研究に用いた可鍛

表1 試料の化学成分

C	Si	Mn	P	S
2.61%	1.40%	0.34%	0.042%	0.113%

鑄鉄の化学成分は表1に示すようなもので、この材料に図1のような熱処理をほどこしている。図2はその組織写真である。工具としてはスローアウェイ形クランプ式のものを使用し、インサートとしては超硬工具 K10, P10 種を用いた。その性質を表2に示す。工具形状は (-7°, -7°, 7°, 7°, 15°, 15°, 0.8 mm) である。切削条件は切込 1.0 mm, 送り 0.2 mm/rev, 削り速度は 28~225 m/min の範囲である。工具摩耗試験の一部にはこの条件以外のものも用いている。この工具形状は (0°, 6°, 6°, 6°, 15°, 15°, 0.8 mm) で材種は K10 である。切削条件は送り 0.26 mm/rev, 切

込 1.5 mm である。切削抵抗は主分力と送り分力とを抵抗線ひずみゲージを使った切削動力計 (共和電業製 TD-500 K A) で測定し、電磁オシロで値を記録した。切削は乾式の他に湿式も行った。切削油は不水溶性切削油を使用し、これを充分にかけて旋削した。切削抵抗・仕上面あらさの実験には工具摩耗の影響が入らないように各条件ごとに新しいチップを用いた。

3. 削り速度による切削抵抗の変化

図3は主分力と送り分力を電磁オシロに記録させた例である。実験した可鍛鑄鉄の切屑は、いずれの材種も適当な長さに分断された形である。その形を示した一例が図4である。切屑が分断してでてくるので切削力が変動しそうに思われるが図3からもわかるように切削力の変動は割合少なく、被削材材種による違いはほとんど認められな

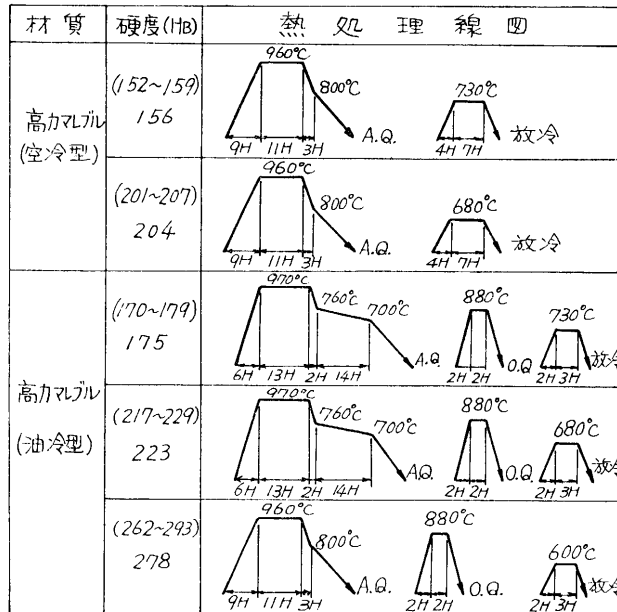


図1 被削材の熱処理

表2 使用した工具の諸性質

超硬分類記号	比重 g/cm ³	ビッカース硬度 HV 30kg/mm ²	抗折力 kg/mm ²	抗圧力 kg/mm ²	弾性係数 kg/mm ²	熱膨張係数 10 ⁻⁶ /°C	熱伝導率 Kcal/mm S° C	比熱 Kcal/g°C
K10	14.8	1650	150	570	63000	5	9.0	0.065
P10	10.7	1600	130	460	53000	6.5	18.0	0.047

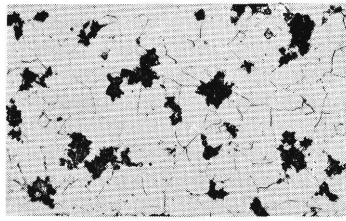
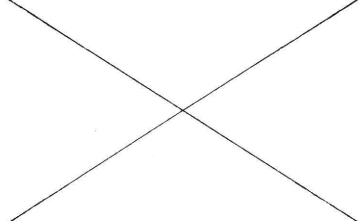
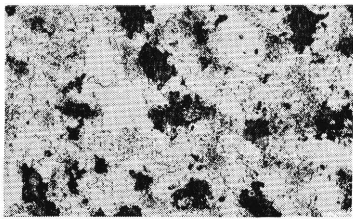
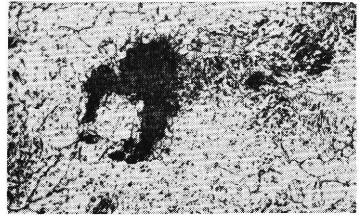
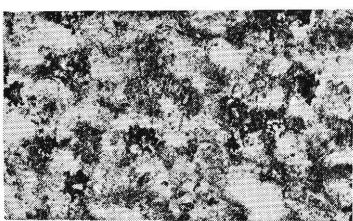
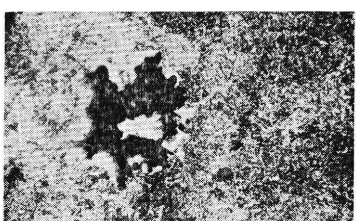
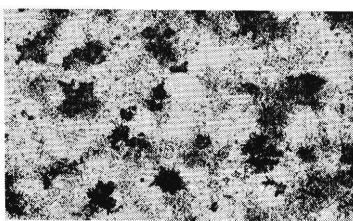
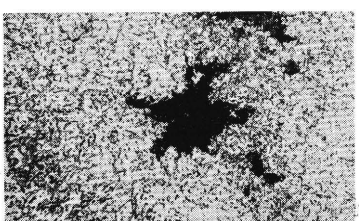
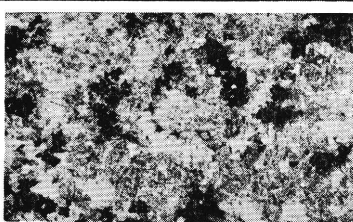
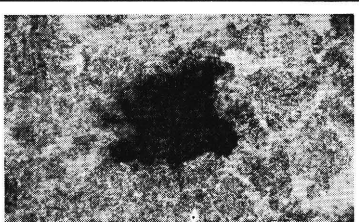


材質	平均 硬度	100 μ 腐蝕: ナイタル5%	25 μ 腐蝕: ナイタル5%
マレブル (空冷型)	122		
	156		
	204		
マレブル (油冷型)	175		
	223		
	278		

図 2 被削性の顕微鏡組織

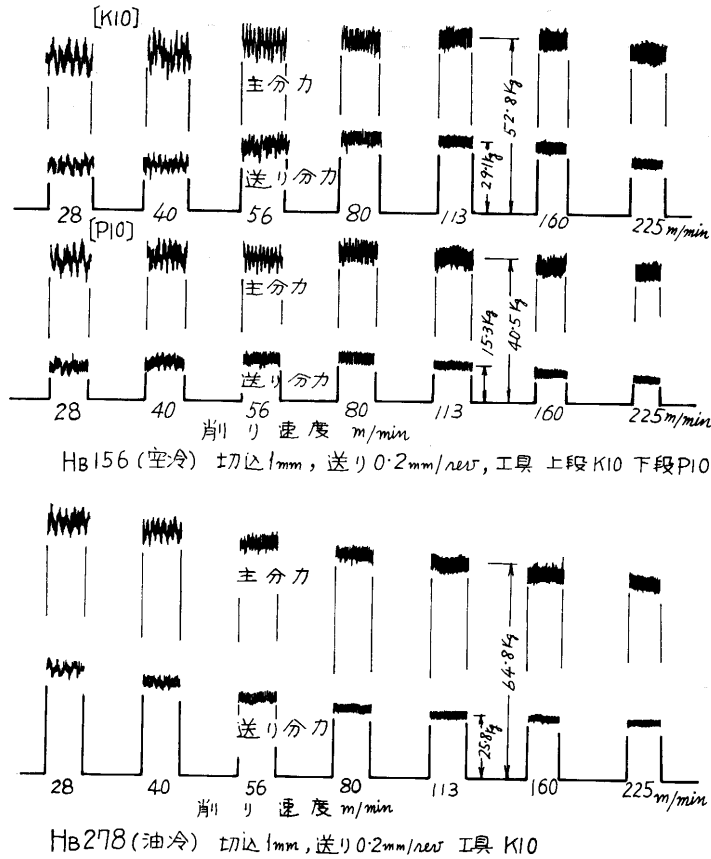


図3 切削抵抗測定例

い。削り速度が増加すると切屑長さが短くなる傾向があり、切削力変動も小さくなってくる。

図5は空冷型のHB156可鍛鋳鉄を切削したときの切削抵抗と削り速度の関係を示したものである。同じ図中に超硬工具材種を変えた場合と切削油をかけた場合の切削抵抗を記入している。同様にして他の可鍛鋳鉄材料について削り速度と切削抵抗の関係を求めたものが図6、図7、図8、図9である。低削り速度側に切削抵抗が最大になる削り速度があり、削り速度の上昇にともなって抵抗は減少している。

図10はS55C(H_B255)を切削したときの切削抵抗である⁴⁾。可鍛鋳鉄と炭素鋼の切削抵抗は削り速度によってほぼ同じような変化の傾向を示している。図10の例の切込量は2.0mmで本実験の場合の2倍である。切削抵抗の大きさは、簡単に考えて切込量に比例するものと仮定すれば、

可鍛鋳鉄と炭素鋼とはほぼ同程度の値と思われる(硬度のほぼ等しいもの同志をP10で削ってみた場合について比較する)

図11、図12は被削材の硬さに対して切削抵抗がどう変わるかを調べたものである。熱処理法の異ったものを同一グラフ中にプロットしてみたが、空冷、油冷のちがいはほとんど現われず、材料の硬度そのものだけで整理できるように思われる。被削材の硬度が高くなると切削抵抗は増加する。しかしその増加の割合はそれほど大きくはない。切削抵抗はむしろ硬度の低いフェライト相が多いと思われる被削材を低速で削った場合に大きくなり、この傾向は送り分力において顕著に現われる。これは構成刃先あるいはそれに類似の付着物がすくい面に付着するためと思われる。可鍛鋳鉄の場合の構成刃先は炭素鋼切削の場合のように有効すくい角を増加させるとはかぎらず、むしろ

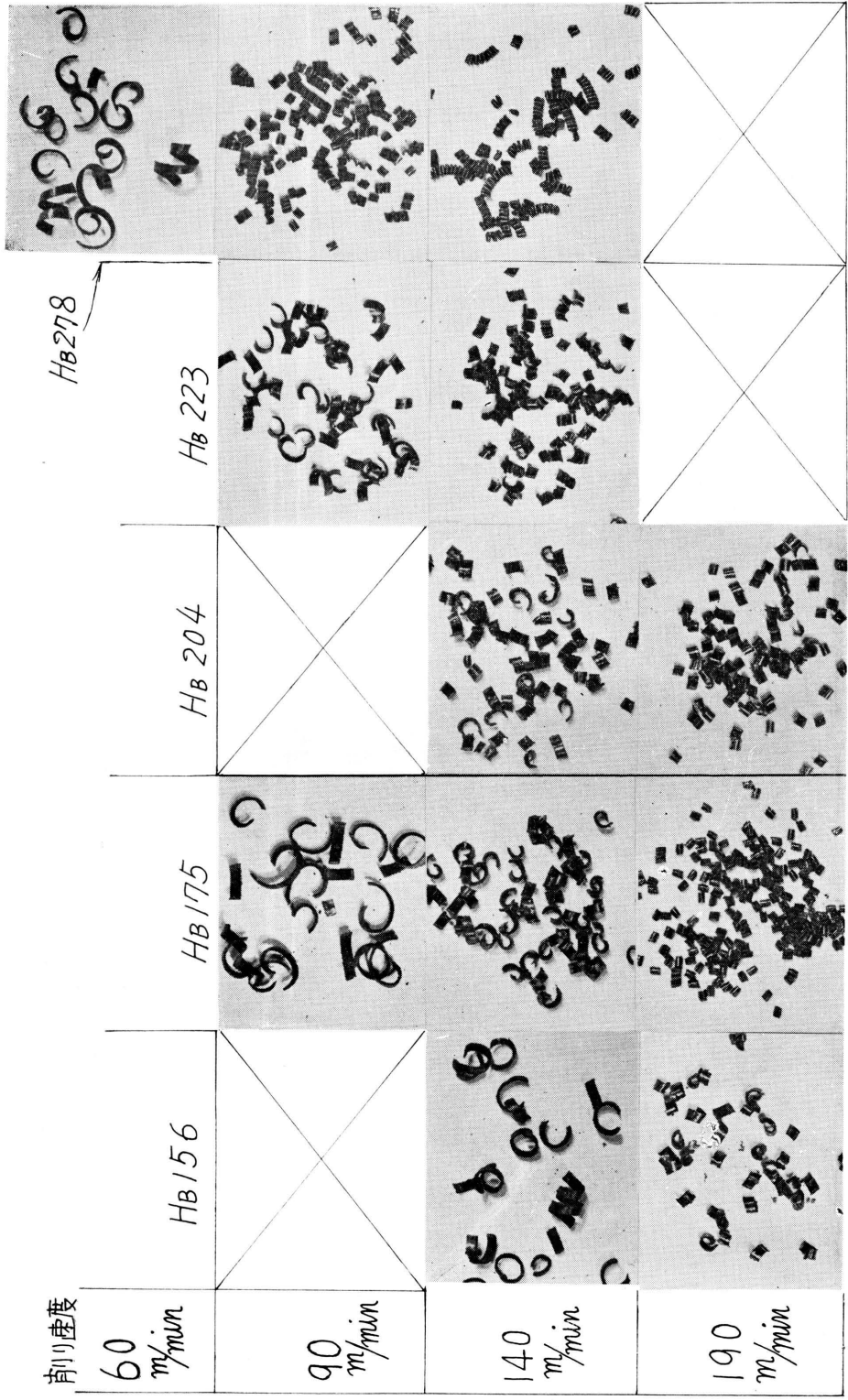


図 4 削り速度による削りくずの変化

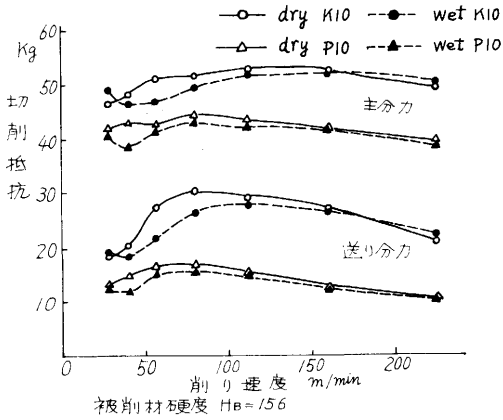


図5 HB156の可鍛鑄鉄を切削したときの切削力

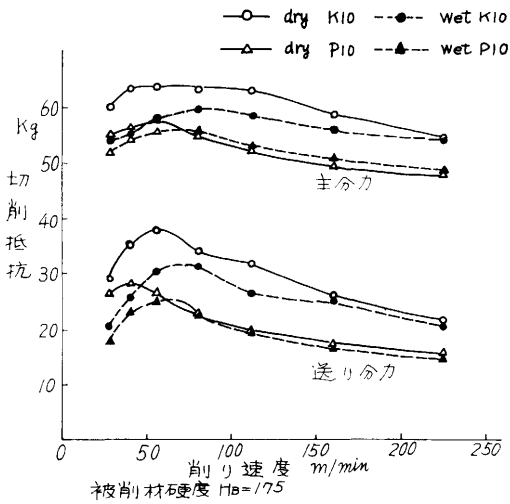


図6 HB175の可鍛鑄鉄を切削したときの切削力

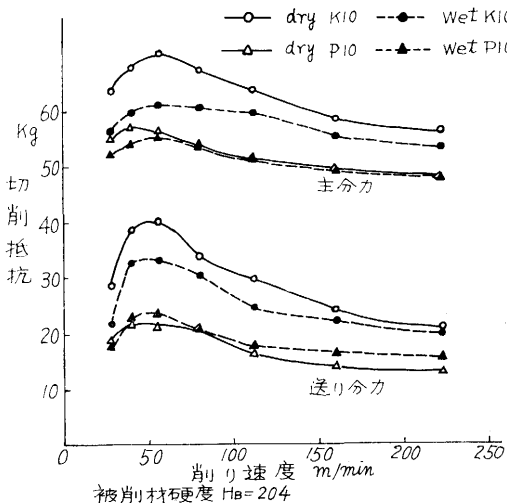


図7 HB204の可鍛鑄鉄を切削したときの切削力

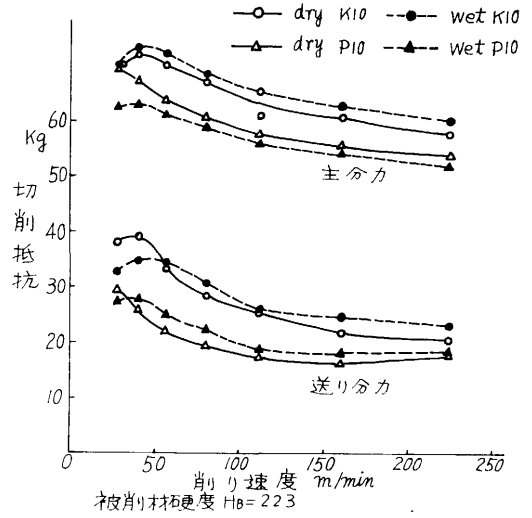


図8 HB233の可鍛鑄鉄を切削したときの切削力

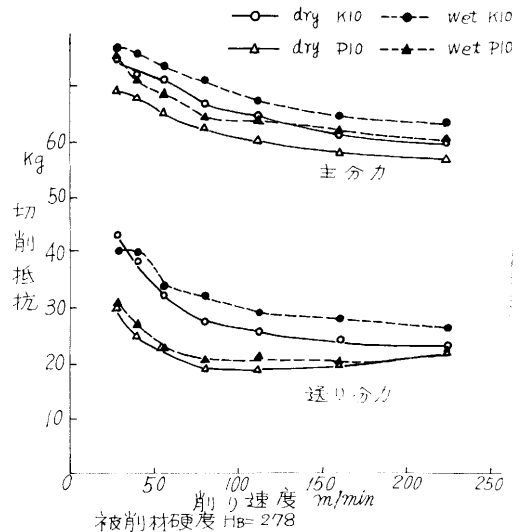
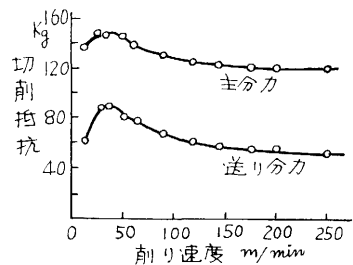


図9 HB278の可鍛鑄鉄を切削したときの切削力



S55C (HB255), 工具 P10, (0.5, 5.5, 5, 0.5 mm), 刃径 2.0 mm, 送り 0.2 mm/rev, 乾式切削

図10 炭素鋼の切削力

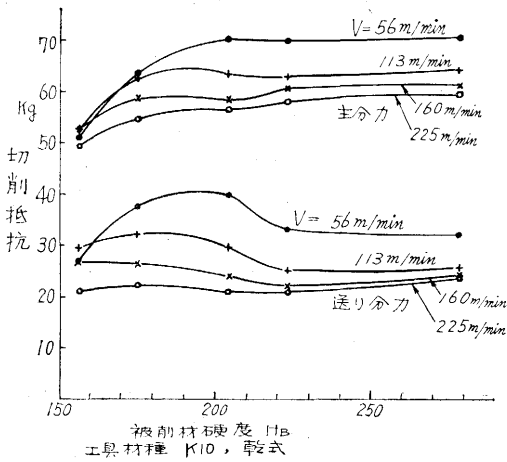


図11 被削材硬度と切削力の関係 (K10)

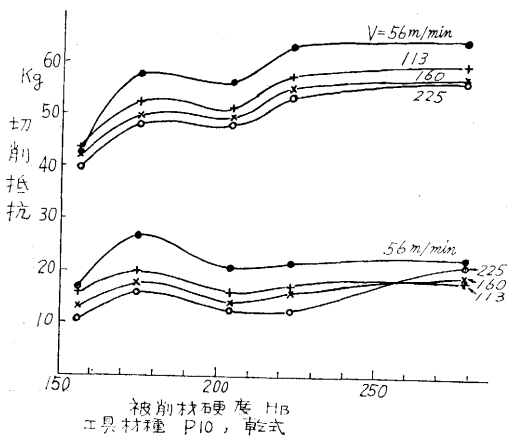


図12 被削材硬度の切削力の関係 (P10)

切屑の流れを阻止する方向に働いたために切削抵抗が大きくなったものと思われる。後述のように仕上面あらさが最大になる、即ち構成刃先が最も発達していると思われる削り速度はかならずしも切削抵抗の極小点と一致せず、むしろ仕上面あらさが最大の削り速度で送り分力が最大になる場合もあることからこのことが想像できる。

構成刃先が消滅したであろうと思われる高速域あるいは高硬度域においても切削抵抗は超硬材種 K10 の方が P10 の場合より大きいがこの原因は工具すくい面における凝着性あるいは溶着性が原因であろうと考え、すくい面の摩擦係数を調べてみた。

二次元切削の理論から近似的に工具すくい面の

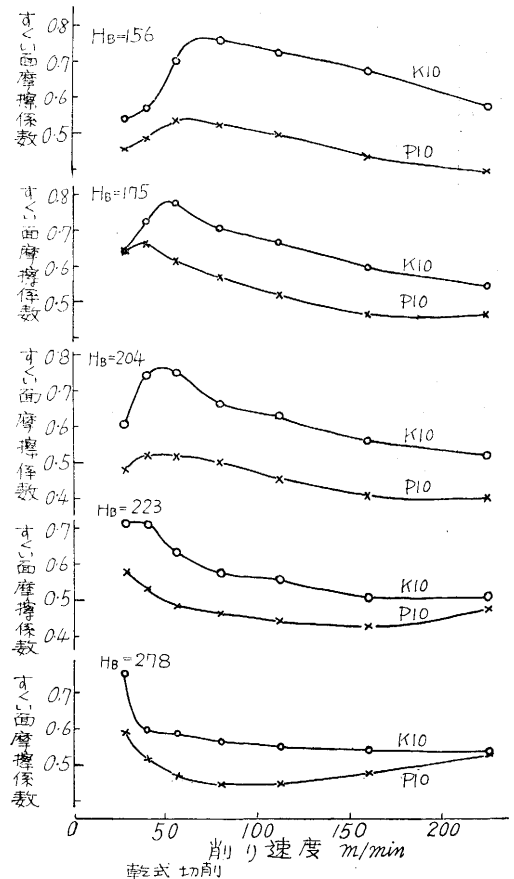


図13 すくい面摩擦係数の削り速度による変化

摩擦係数を計算したのが図13である。ほぼ切削抵抗と似た傾向の曲線が得られ、削り速度が大きいほど一般に摩擦係数は小さくなっている。すくい面温度がかなり高くなっていると思われる H_B 278, H_B 223 を P10 で切削した例では高速域で逆に摩擦係数が大きくなっている。これは溶着物などの影響ではないかと考えるが、これについては別報で検討を行う予定である。

被削材の違いによる摩擦係数を調べるために横軸に被削材硬度をとって整理したものが図14である。工具材種の影響がかなり大きいことがわかる。特に硬度の軟かい場合が著しい。削り速度が高速になると工具材種の影響は少なくなり、特に硬度の高いものでは差異はあまりなくなっている。超硬工具材種 P10 はチタンの含有量が多く、チタンがすくい面への構成刃先あるいはこれに類似の付着物のすくい面への凝着を防ぎ、この

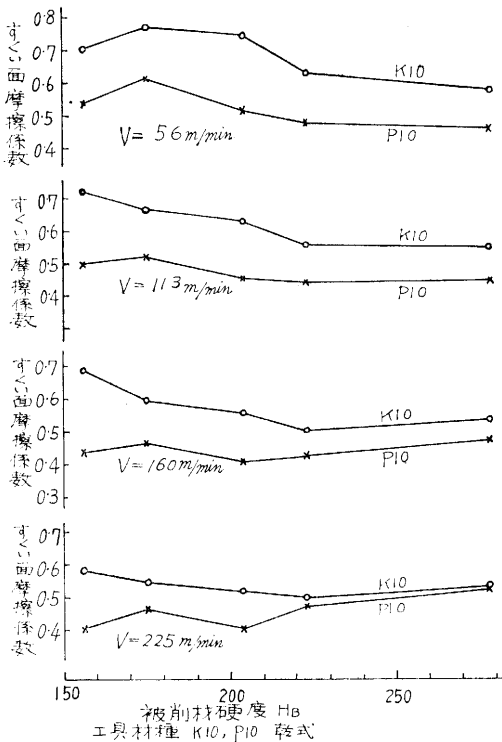


図14 すくい面摩擦係数と被削材硬度の関係

ような結果が得られたものと思われる。

図13からもわかるように、削り速度に対する摩擦係数の関係と切削抵抗の関係がほぼ同じ傾向であるということは、切削抵抗に与えるすくい面摩擦の影響が著るしいことを示していよう。

超硬工具による炭素鋼の旋削には切削油を用いないのが普通である。可鍛鋳鉄は切削時の性質が鋼の場合と非常に似ていると思われるにもかかわらず、切削油をかけて削ることもある¹⁾²⁾。切削油をかけたときとかけないときの切削抵抗を図5～図9について比較してみると、軟かい材種即ち H_b156 , H_b175 のもの及び H_b204 のK種で切削した場合には、低削り速度域において確かに切削抵抗そのものが下がっているようである。しかし他の場合はほとんど変化がないか、むしろ抵抗は増している場合すらある。軟かいものは基地のフェライトのために凝着を起しやすい。したがって切削油をやることによってこの凝着を防いだり、あるいは成長しにくくしてやれば、すくい面の摩擦係数は下がり、切削抵抗は下がるのである。一

方硬い材種あるいは高削り速度域ではすくい面と切屑は凝着を起しにくく、このために切削油によるすくい面の潤滑効果は少なかったと思われる。このことは図13をみるとわかる。切削油によって切削抵抗があまり変わらない材種は削り速度によって摩擦係数があまり変わっていない。即ちすくい面に凝着物があまり付着していないことを表わしていよう。

図5～9をよくみると切削油をかけた場合曲線全体が高削り速度側へ移動していることがわかる。これは切削油をかけたために切刃温度が下がり、構成刃先あるいは類似の付着物の発生する速度域が高削り速度側に移動したためであろう⁵⁾。したがって高い硬度の材種で切削油をかけた方が切削抵抗が増加しているのは、図15に示すように、例えば図9の場合は、一点鎖線のわく内のようにになっているものと思われる。

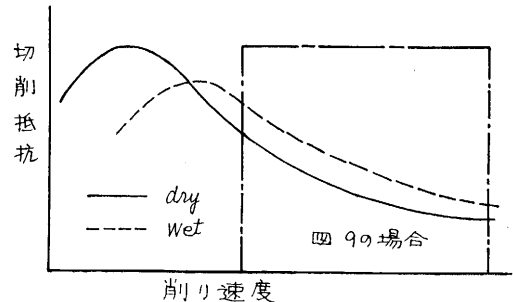


図15 切削油をかけた場合の切削力の変化

4. 仕上面あらし

各材種について削り速度をかえて仕上面あらしを調べたものが図16～図20である。削り速度が高くなるほど仕上面あらしは良くなるが、この傾向は硬度の低い可鍛鋳鉄の方が顕著である。最も軟かい材種である図16の結果について考えると、あらしの極大点付近で構成刃先が最も大きく発達しているものと考えられる。切削油をかけるとこの極大点は高速側に移動して、このことからかなり刃先が冷却されていることがわかる⁵⁾。切削油をかけたことにより仕上面あらしもかなり良くなっている。(図16)

仕上面あらしが最大になる削り速度で構成刃先が最も多く現われているものと考え、この削り速

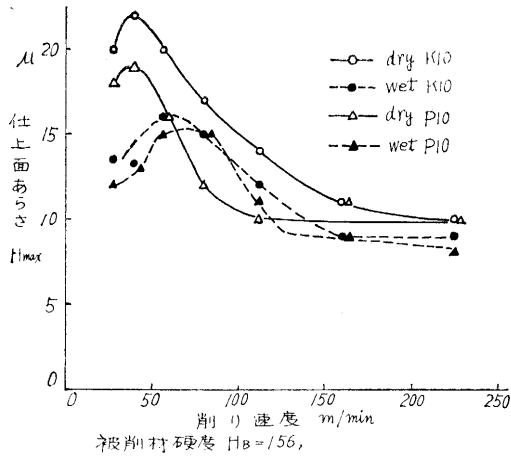


図16 Hb156の可鍛鉄を切削したときの仕上面あらし

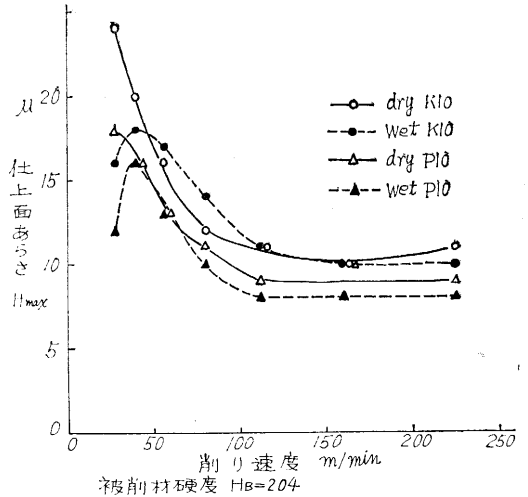


図18 Hb204の可鍛鉄を切削したときの仕上面あらし

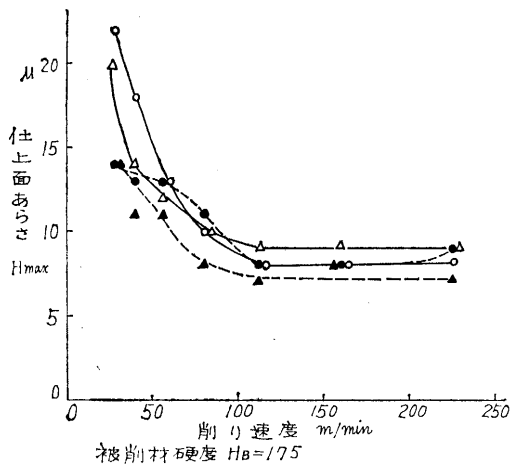


図17 Hb175の可鍛鉄を切削したときの仕上面あらし

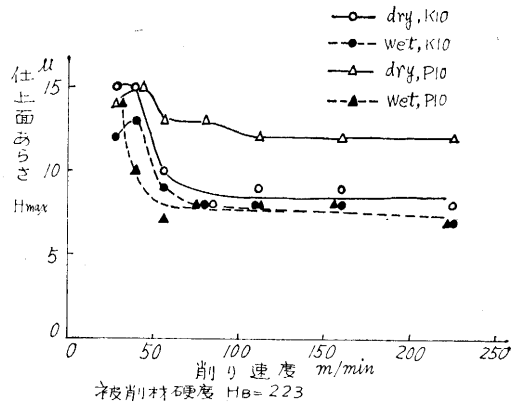


図19 Hb223の可鍛鉄を切削したときの仕上面あらし

度と切削抵抗の極大点とを比べると、超硬 P 10 を用い湿式で切削したものは送り分力のピークと一致している。(図 16) これに対して他のものはあらしのピーク位置が切削抵抗の極小点寄りに現れている。このことから構成刃先が現れたからといって炭素鋼などでいわれているようにこれが有効すくい角を大きくするように形成され切削抵抗を小さくするとは必ずしもいえず、可鍛鉄を旋削した本実験では前述のように構成刃先はむしろ切屑の流れを阻止するように働くと考えた方がよさそうである。

被削材の硬さが硬くなると構成刃先の発生はほとんどなくなり、仕上面あらしはあまり削り速度

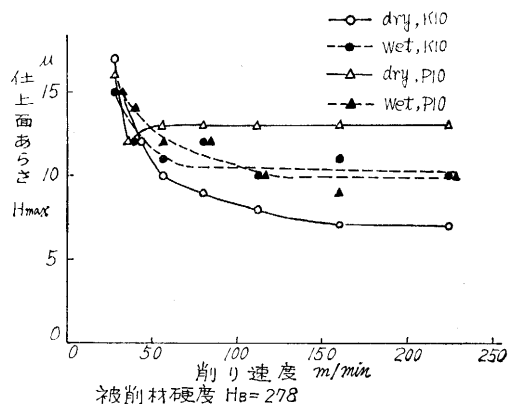


図20 Hb278の可鍛鉄を切削したときの仕上面あらし

に影響されなくなっている。硬くなれば仕上面がよくなるはずであるにもかかわらず図 19, 図 20 では P 10 種で削った場合あらさが大きくなった。切削抵抗の大きさ, 変動の大きさも特に他のものと異なっていないにもかかわらずこのようなことが起っている。ただ図 8, 図 9 からわかるように P 10 種の工具で切削した場合のみ送り分力が削り速度を上げるほど大きくなったが, このことと何か関係があるのではないと思われる。P 10 は K 10 に比べて熱伝導率が小さい工具材

種であるから, 切刃が高温になりやすく⁵⁾, 特に硬度の高い被削材材種では切刃温度が高くなるので, その影響ではないかと想像している。この場合切削油をかけて切刃の温度を下げると, 仕上面あらさは P 種で削っても K 種で削っても同程度のあらさになっている。

5. 工具逃げ面摩耗

図 21, 図 22 は削り速度を変えて切削し, 逃げ面摩耗を測定した例である。軟かい材種を切削し

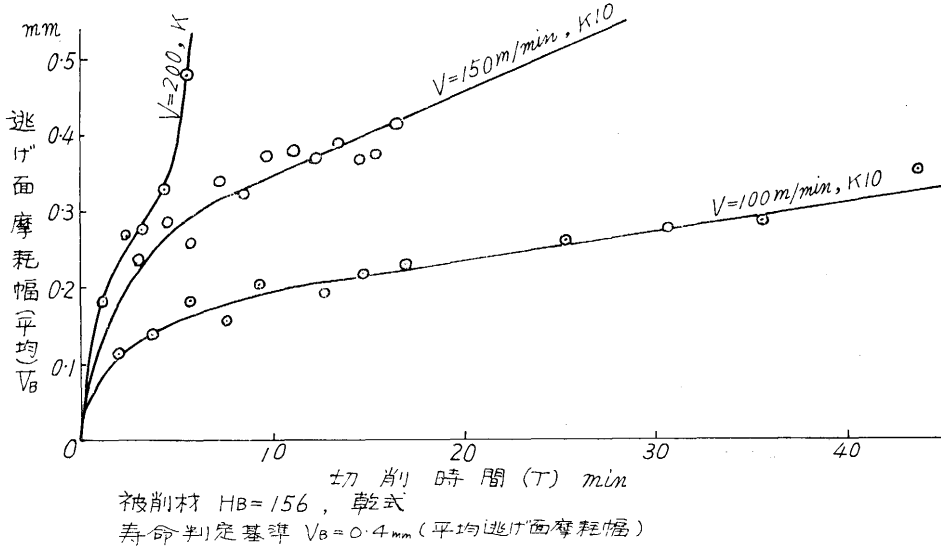


図 21 Hb156 の可鍛鉄を切削したときの逃げ面摩耗幅

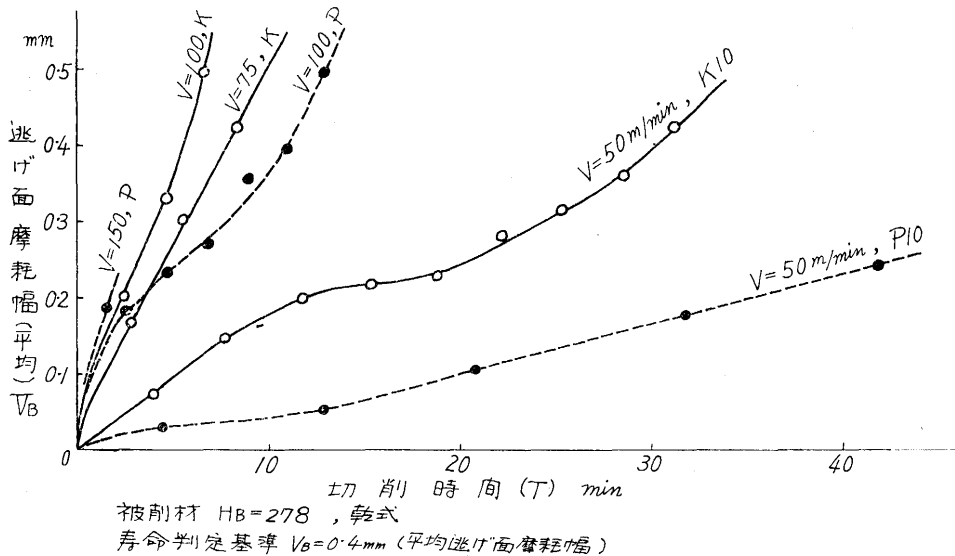


図 22 Hb278 の可鍛鉄を切削したときの逃げ面摩耗幅

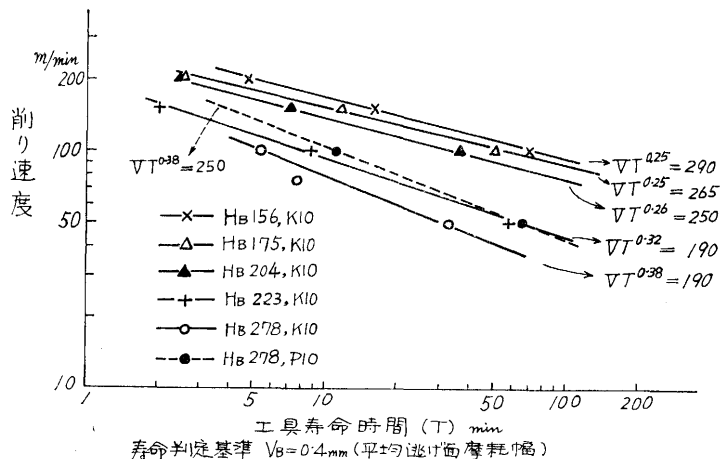


図 23 可鍛鑄鉄の V-T 曲線

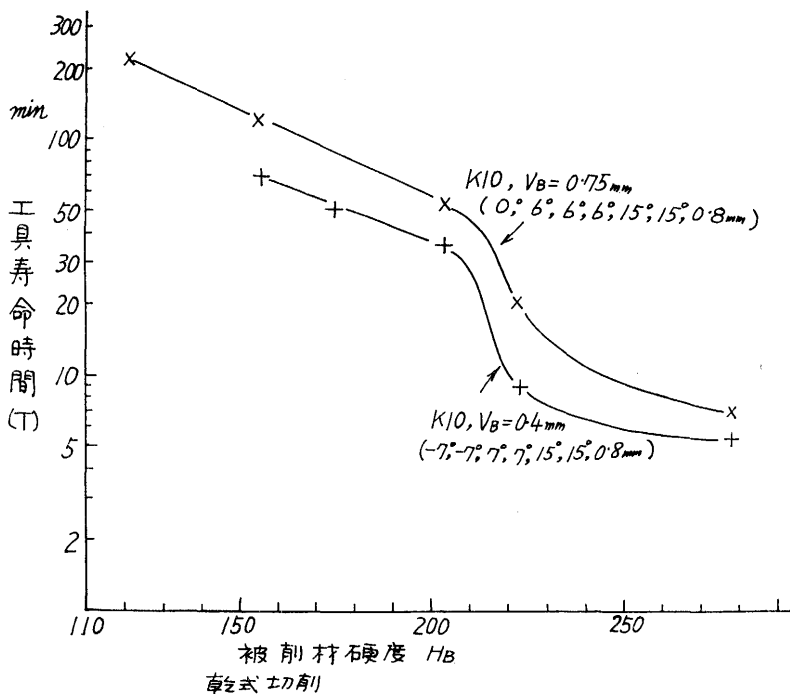


図 24 工具寿命時間の被削材硬度による変化

た図 21 の例などは特に構成刃先が付着して摩耗幅の測定がむづかしく、測定結果が少々ばらついている。

他の材種についてもそれぞれ同様な曲線を求め、この結果から逃げ面摩耗幅 0.4 mm のときの V-T 線図を求めたのが図 23 である。大略構造用炭素鋼を切削するときと同程度の値であることがわかる。更に 100 m/min で切削した場合を

例に硬度について寿命時間をプロットしてみると図 24 のようになる。この図には寿命判定摩耗幅 0.75 mm, 工具材種 K 10 の場合も併記した。この場合の工具形状は (0°, 6°, 6°, 6°, 15°, 15°, 0.8 mm) で送り 0.26 mm/rev, 切込 1.5 mm である。被削材の硬度が H_B 210 附近から急に寿命が短くなっている。この成分の材料ではこの附近に加工上の限界硬度があるように思われる。

切削抵抗や仕上面あらさを調べてみても他の軟かい材種に比べてそれほどの差異は認められない。ただ図2の組織写真をみると工具摩耗の多い材種では基地のパーライトが多いように思われる。硬い可鍛鋳鉄は炭素鋼と考えると切削した方がよく、図22からもわかるように超硬材種 P 10 の方が摩耗は断然少い。

6. む す び

熱処理のみを変えた可鍛鋳鉄の旋削における性質を調べ、次のことがわかった。

1. 可鍛鋳鉄の切屑は短かく折れて排出されるが、そのために切削力の変動が著しいとか、切削抵抗が大きくなったり小さくなることはあまりないように思われる。切削抵抗の削り速度による変化は構造用炭素鋼を切削する場合とほぼ同じ傾向、同程度の値を示す。切削抵抗は一般に低速域で極大点が現われ、高速になるほど値は小さくなる。

2. 低硬度の可鍛鋳鉄はかなり高削り速度域まで切刃に構成刃先が付着し、切削抵抗に及ぼす影響が大である。超硬工具材種 P 10 の切削抵抗は K 10 の場合よりかなり小さいが、被削材が硬くなるとその違いは小さくなる。超硬材種の切削抵抗に及ぼす影響は低削り速度域で大きく高削り速度域では小さい。構成刃先の発達する低硬度の被削材では切削油の効果もかなりあり、切削抵抗の値そのものもかなり下がっている。硬度の高い材種は冷却効果の方が大きいと切削抵抗は逆に大きくなる。

3. 切削油をかけると、切刃が冷却されて切

削抵抗—削り速度 曲線全体が高速度側に移動する。したがって切削油の潤滑効果によって摩擦係数が下がるより冷却効果の方が大きいと、切削油をかけたために逆に切削抵抗が大きくなる。

4. 仕上面あらさは構成刃先の影響を最も受けるので、硬度の低い材種ほどあらさは大きく、また低削り速度域で大きくなる。しかし高硬度の材種を P 10 のバイトで切削すると、あらさが逆に大きくなった。この原因については更に検討を行っている。

5. 工具摩耗は同じ硬度の鋼を切削する場合とほぼ同じ程度であると考えてよいようである。硬度が $H_B 210 \sim 220$ より硬くなると、工具寿命が急に短くなる。しかしこの硬度以上でも、切削抵抗は特に著しい変化を示さない。この原因は可鍛鋳鉄の組織の違いによるものと思われる。

6. 熱処理の空冷、油冷型の本質的ちがいは認められなかった。

本研究を行うにあたり被削材を御提供下さった日立金属(株)戸畑工場に厚くお礼申し上げます。

文 献

- 1) M. G. カタログ: Machining and Finishing Arme Steel and Malleable Iron Casting.
- 2) Malleable Founders Society: Machinability of Malleable Iron Casting.
- 3) JISB 4053.
- 4) 中村; 高速切削における超硬工具に関する研究, 三菱金属鋳業株式会社
- 5) T. UENO, M. SAKAMOTO & A. KATSUTKI; Failures of Carbide in Intermittent Cutting, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu Univ. vol. XXIX, No 3, (1970-3).