

重研削用砥石の性能評価について

横尾 嘉道*・田戸 保*・工藤 要*

On an ability estimation of heavy grinding wheels

Yoshimichi YOKOO, Tamotsu TADO and Kaname KUDŌ

Abstract

In this paper a new attempt is made of recent work related to the synthetic ability estimation of heavy grinding wheels.

Experimental results of six grinding wheels are expressed by the function of theoretical metal removal rate (per unit width of cut) and compared each other. As a result of comparison, it becomes clear that @MA46K8VF04 is the best of used wheels.

In addition to this, relations of theoretical and actual metal removal rates in heavy grinding are described.

1. ま え が き

研削性能について、これまで数多くの研究が報告されているが、大部分は精密研削や普通研削の軽研削加工を対象としたものである。このような時の研削砥石の性能評価はある実験条件下でのある時点での性能評価である。しかし、この場合は実験条件を変えても性能の変化が少なくて普遍性があるので、これらの値を類似の実験条件の時に適用しても大した支障はない。しかしながら重研削においては、切込み速度・研削時間などの相違によってこれらの性能が大きく変化する。従ってある実験条件ではA砥石がすぐれているのに、他の実験条件ではB砥石がすぐれているというようなことも起り得る。したがって、このような実験条件を変えた点を数多く並べても、そのままでは散発的な性能評価にしかならないでその実態は捕えがたい。以上の様な理由からこれらをまとめた総合的な性能評価の方法が重研削加工においては必要と思われる。

最近、R. Snoeys¹⁾は相当研削厚さ(equivalent grinding thickness)を用いて砥石の総合的な性能評価を行っており、優れた手法と思われるので本研究でも採用した。しかし、彼らが採用している相当研削厚さはわ

が国では馴染みが薄いので本実験ではデータ整理の基本量として単位切削幅当りの理論削除率を採用した。また、彼らはびびり発生の時点をもって砥石の寿命として実験を中止しているが、我々の実験は重研削加工であるからびびり発生後も研削を続行した。

今度の研究は@MA46K8VF04砥石を基準として砥粒の種類を変えたもの4種と結合度・組織を変えた物各々1種、合計6種の砥石について研削比・仕上面あらさ・研削抵抗などの研削性能を調べ比較検討し、一応の成果が得られたので報告する。

2. 実験データ整理の基礎

データ整理の基本となる単位切削幅当りの理論削除率(以下理論削除率という) Z_{th} は次の式で表わされる。

$$Z_{th} = \pi d_w v_f \quad (1)$$

ただし d_w : 工作物直径 mm

v_f : 切込み速度 mm/s

式中の d_w は大きく変化することがあるので次のようにした。

$$d_w = (d_o + d_n) / 2 \quad (2)$$

ただし d_o : 研削前の工作物直径 mm

d_n : 設定時間だけ研削した後の

* 宇部工業高等専門学校機械工学科

理論的工作物直径 mm

研削性能として研削比・仕上面あらさ・単位切削幅当りの接線抵抗（以下接線抵抗という）ならびに単位切削幅当りの法線抵抗（以下法線抵抗という）を採用し、得られた実験結果を次のように表現した。

研削比 $G = G_1 (Z_{th})^g$ (—) (3)

仕上面あらさ $R_a = R_1 (Z_{th})^r$ (μm) (4)

接線抵抗 $F_t = F_1 (Z_{th})^f$ (kgf/mm) (5)

法線抵抗 $F_n = \frac{F_1}{\mu} (Z_{th})^f$ (kgf/mm) (6)

ただし μ : 抵抗比 ($\mu = F_t/F_n$)

$G_1, R_1, F_1 \dots Z_{th} = 1 mm^3/mm_s$ のときの G, R_a, F_t の値

$g, r, f \dots G, R_a, F_t$ のそれぞれに対応する Z_{th} の指数

3. 実験方法

実験に使用した装置ならびに供試材料は表1に示す通りであるが、研削盤の砥石軸回転速度および砥石切込み速度はいずれも無段変速できるように改造したものである。

実験の方法は表2に示す通りで、前回までの実験の結果からみて切込み速度 v_f を 1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.5mm/min の6段階に変えて SCM 21 鋼の2分間研削を4回、合計8分間の研削を表1の6種の砥石について行った。いずれの実験においても工作物はマンドレルに固定して行い、スパーク・アウトは行わなかった。

砥石損耗量・研削量・研削抵抗および仕上面あらさの測定は前実験²⁾と同様にして行った。砥石作業面上の切刃分布状況の測定は図1のような装置で砥石を低速回転して行った。なお、触針に使用したガラス球の直径は3mmであった。

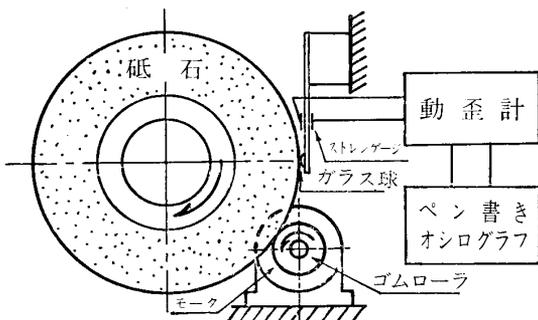


図1 切れ刃の分布状況測定装置

表1 実験装置および供試材料

(1)	近藤製作所製 GLOSS450H型 (改造)					
円筒研削盤	(砥石駆動用電動機 3.7KW)					
(2)	種別	化学成分 (%)				ビッカース硬度
		C	Si	Mn	Cr	
工作物	SCM21	0.16	0.23	0.75	1.05	215
(熱処理したもの)						
寸法 (単位mm) 外径×厚さ×内径 115×10×24						
(3)	①MA46K8VF04 ②MA/FA46K8VF04					
	③WA46K7VF04 ④MA46L8VF04					
研削砥石	⑤MA46K6VF04					
	寸法: 305×27×127 (mm)					
⑥40SH46K8V						
寸法: 355×38×127 (mm)						

表2 実験方法

(1)	円筒プランジ研削 (湿式)	
研削方式		
(2)	(a) ドレッサ	単石 1カラット
	(b) 砥石回転数	1800 rpm
	(c) 目直し速度	360mm/min (0.2mm/rev)
	(d) 切込み	25 μm で2往復
(3)	(a) 砥石周速度 v_s	2000m/min
	(b) 工作物周速度 v_w	50m/min
	(速度比 q)	(40)
	(c) 切込み速度 v_f	1.0, 1.25, 1.5, 1.75, 2.0, 2.5mm/min
	(d) 研削時間	2分きざみの8分間
	(e) 研削油剤	ユシローゲンGC 10倍稀釈液
加工条件	(f) 油剤供給量	20 l/min

4. 実験結果ならびに考察

4.1 砥粒の種類を変えた場合

4.1.1 研削比の比較

砥粒の種類を変えた4種 (①, ②, ③, ④) の砥石を用いて表2の切込み速度で SCM 21 鋼を2, 4, 6および8分間研削した場合の理論削除率と研削比との関係

を図2-1~4に示す。

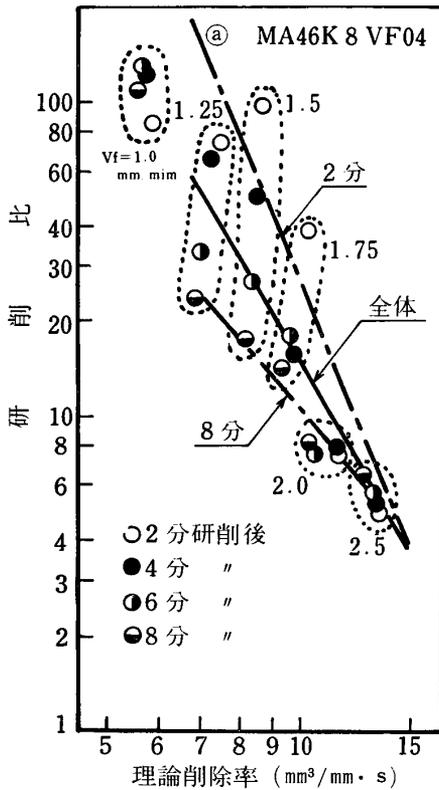


図 2-1 理論削除率と研削比との関係
(a) 砥石

これらの図において切込み速度 $v_f = 1.0 \text{ mm/min}$ では4つの点がほぼ同じ値をとっているが、切込み速度 $1.25, 1.5 \text{ mm/min}$ では研削時間の長短に従って大きく開いており、大体において2分研削後に研削比が最も高く、8分研削後に最も低い値をとっている。切込み速度が大きくなるに従って様相が変り変化の範囲は狭くなる。そして切込み速度 2.5 mm/min では研削比の値が2分研削後に最も低く、8分研削後に最も高い値をとるようになる。これらの変化の様子は砥粒の種類によって異なる。しかしながら、これらの点を砥粒の種類によって一つ一つ比べても総合的な考察はやりにくいので次のような方法で比較した。

これらの図において一点鎖線で示した2つの直線はそれぞれ2分および8分研削後の理論削除率と研削比との関係を最小自乗法を用いて求めたものである。また実線で示したそれは2, 4, 6および8分研削後の全体の理論削除率と研削比との関係を同じく最小自乗法で求めたものである。ただし、これらの場合に切込み速度 1.0 mm/min の時の値は含めなかった。これは前の論文²⁾

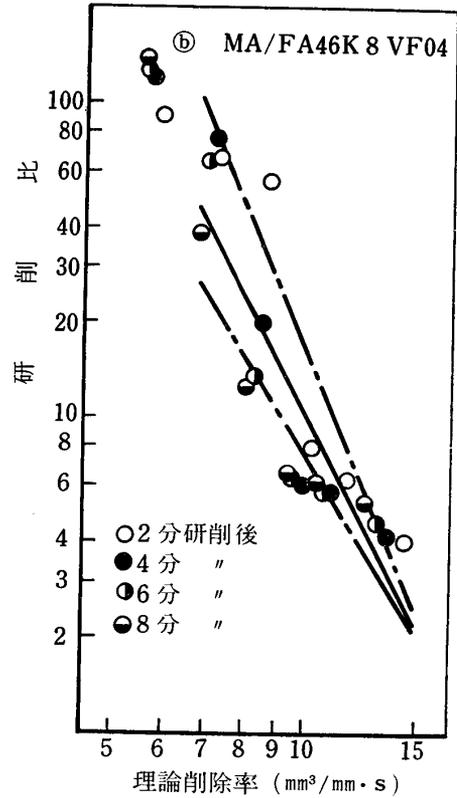


図 2-2 理論削除率と研削比との関係
(b) 砥石

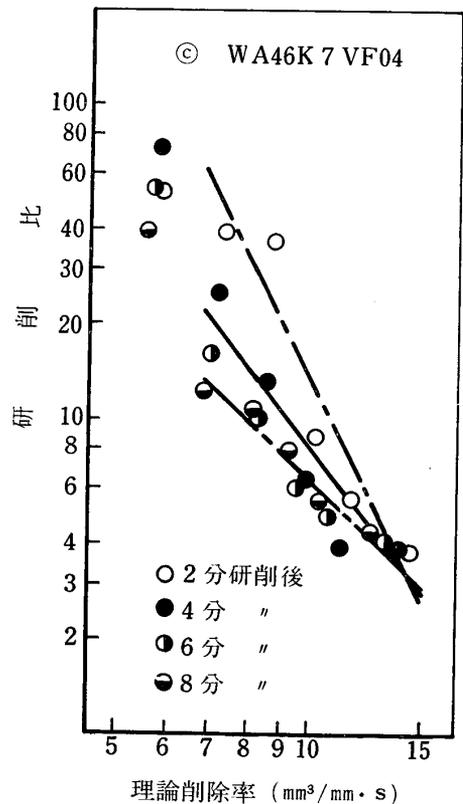


図 2-3 理論削除率と研削比との関係
(c) 砥石

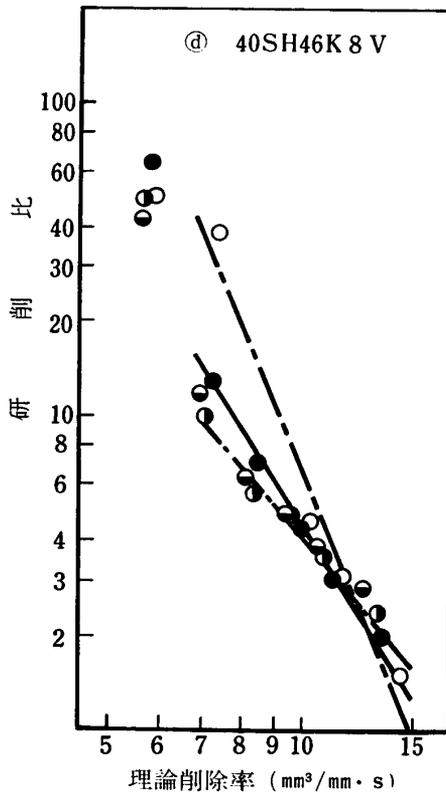


図 2-4 理論削除率と研削比との関係
(④ 砥石)

で述べている如く、切込み速度 $1.0\text{mm}/\text{min}$ の場合は研削量も少い上に、他の切込み速度の場合とは砥石損耗の形態が異り、直線より外れることが多いからである。すなわち切込み速度 $1.0\text{mm}/\text{min}$ の時は重研削とは言えず、普通研削の範囲に入れるべきである。そしてこれらの直線が理論削除率 $Z_{th}=6.8\sim 15\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ の間に区切ってあるのは重研削として用いられる範囲がほぼこの間にあると考えたからである。

前の論文²⁾で述べた2つのグループのものを1つの直線に乗せようと試みているため、あまり直線性のよくない砥石もあるが、総括的な判断をするのに他に取扱いようが見当らないので以上の取扱いを行った。精密研削では少しぐらい条件が変わっても研削性能は大して変化しないが、重研削の時は少し条件が異なれば研削性能は大きく変ることが多く不便であった。言うなれば、これらは点の性能評価である。これらの点を並べて一つの対数グラフ上の直線に組み入れて性能評価すれば、これらは線の性能評価と言える。このようにすれば一段と広い視野の下での性能評価ができる。

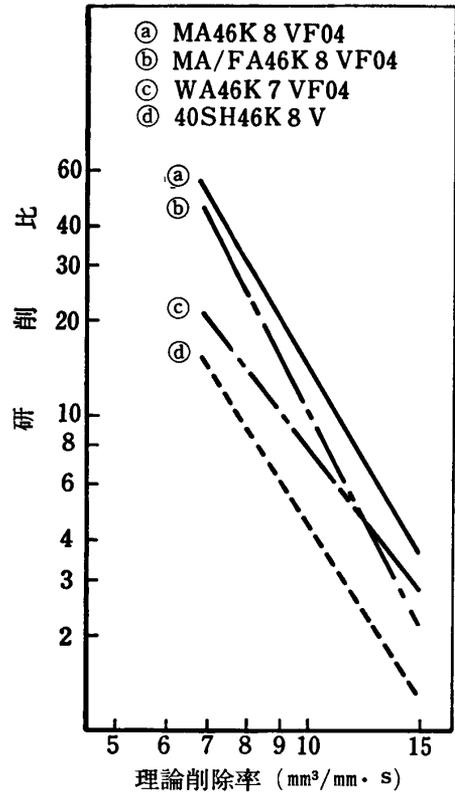


図 3 砥粒を変えた場合の全体の理論削除率と研削比との関係

つぎに図2-1～4において実線で示した全体の理論削除率と研削比との関係を一つの図にまとめたものが図3である。この図から研削比が一番すぐれているのは④砥石であり、一番良くないのが①砥石であり、④砥石の研削比は①砥石のその約3倍である。⑥砥石と③砥石は①、④両砥石の中間にあり、理論削除率の小さい処では⑥砥石が優れており、理論削除率の大きい処では③砥石が優れている。

4・1・2 研削過程における切刃分布

今回使用した砥石のうち、①、③、④の3種の砥石について切込み速度 $1.5\text{mm}/\text{min}$ の場合の砥石表面における砥粒切刃分布を図1の装置を用いて調べた。その結果が図4に示してある。

この3者を比較してみると、当然のことではあるが、目直し直後の砥石表面性状はほとんど平坦である。しかしながら、研削2分後においては①砥石では表面がほぼ平坦であるのに反して③、④砥石にはうねりのような波の成分が現れている。このような状態を2分研削後の研削比の値(①砥石:98, ③砥石:38, ④砥石:11)と比較すれば、2分研削後の①砥石はまだ砥粒の脱落がはじま

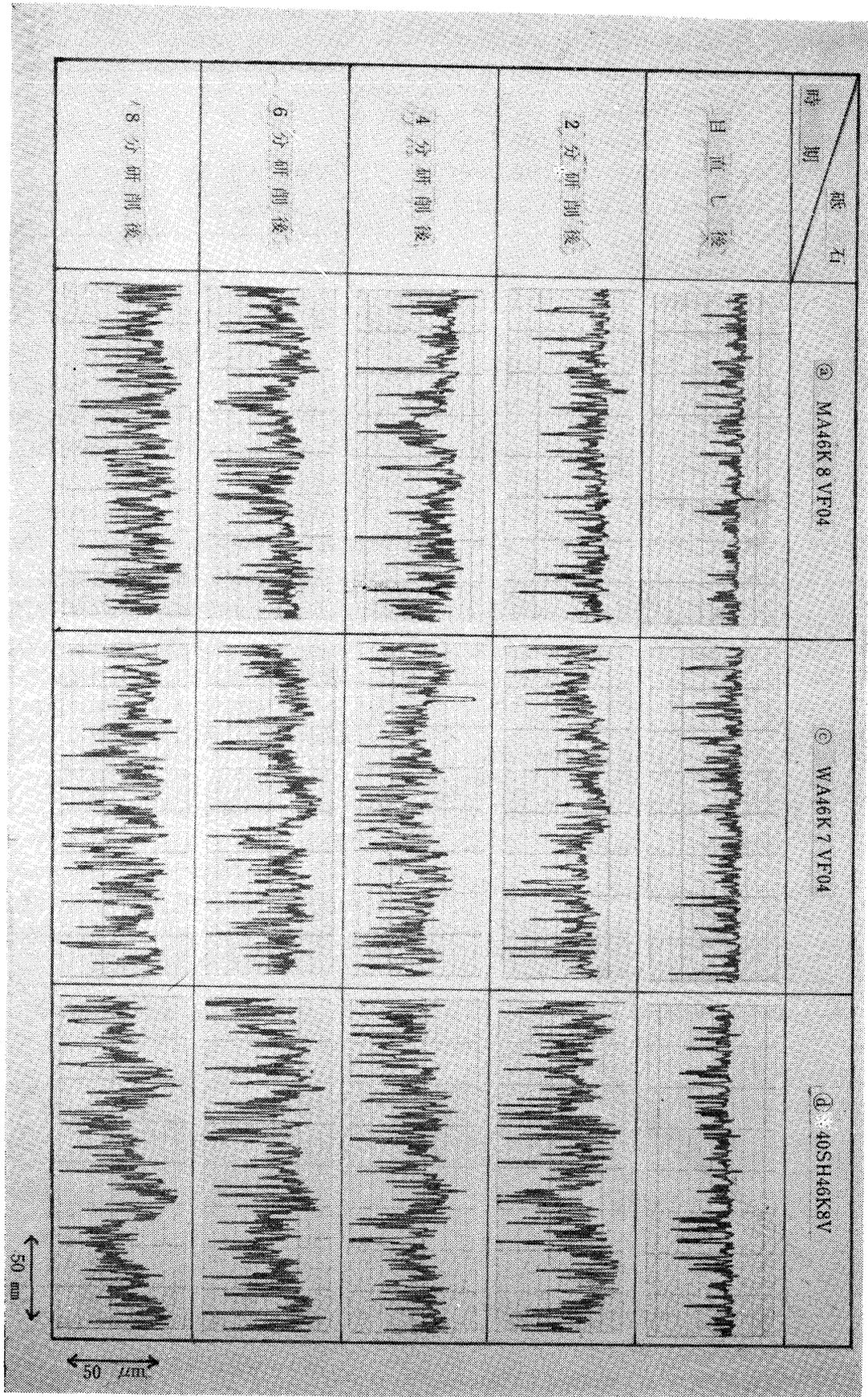


図 4. 研削過程における砥石表面の切刃分布の変化

っていないため表面がほぼ平坦であると思われる。その③砥石も4分後には砥粒の脱落がおこって砥石表面にうねりが生じている。この時の③砥石の研削比は50であった。その後はいずれの砥石も砥粒の脱落とともにうねりのような波の成分が生ずるが、全般的にみて③砥石→④砥石→①砥石の順で波の振幅は大きくなっている。しかし波の振幅の大きさは研削時間と共に増大するのではなく、研削を停止した時期によって異なっている。

4・1・3 理論削除率と実削除率との関係

前記4種の砥石のうち砥石損耗の一番少い③砥石と一番多い①砥石の2分研削後の理論削除率と実削除率との関係を図5-1に、8分研削後のそれを図5-2に示す。

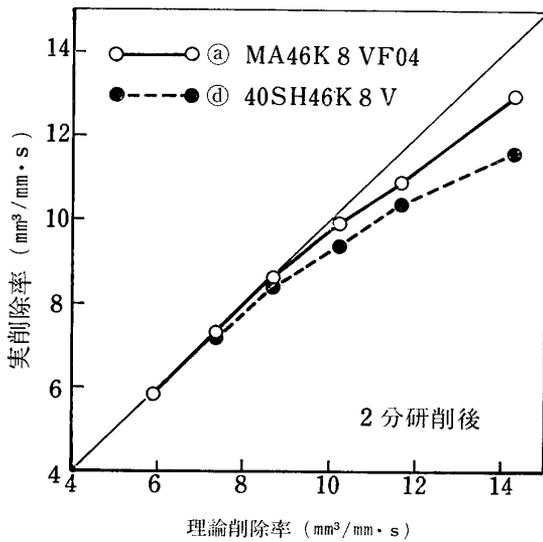


図5-1 2分研削後の理論削除率と実削除率との関係 (③砥石と④砥石)

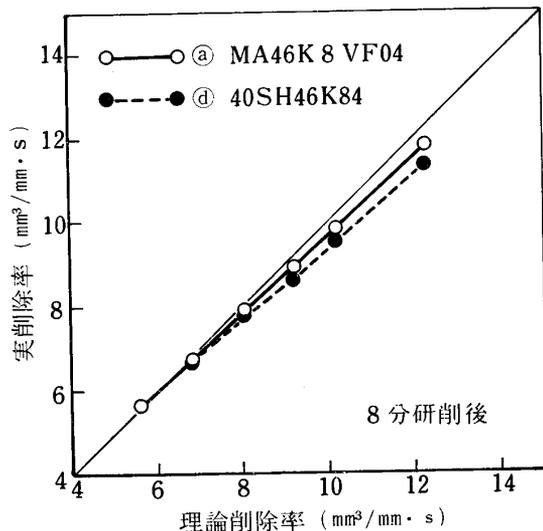


図5-2 8分研削後の理論削除率と実削除率との関係 (③砥石と④砥石)

表3 研削切残し量のうち砥石損耗にもとづくものの割合(平均値)

	割合 (%)	
	2分研削後	8分研削後
③MA46K8VF04	54	67
④40SH46K8V	68	80

図よりいずれの場合も砥石損耗の少い③砥石が理論削除率と実削除率との差が少い。これは、重研削においては研削切残し量の主要部分は表3に示すように砥石損耗によるものであるから当然であると考えられる。つぎに目につくのは③、④いずれの砥石でも理論削除率の大きい処で、2分研削後よりは8分研削後の方が理論削除率と実削除率との差が小さいということである。これの理由については次の様に考える。理論削除率の大きい処では、砥石の損耗形態が前論文²⁾の第3グループに属し、砥石の損耗量(したがって研削切残し量)は研削初期より急上昇し、それが相当続いた後に上昇の度合はやや低下する。したがって研削時間が4倍になったからと言って砥石損耗量も切残し量も4倍にはならず、少い値に止まっている。その結果、理論削除率の大きい処で8分研削後の理論削除率と実削除率との差が2分研削後のそれよりも小さくなる。

4・1・4 仕上面あらさの比較

③砥石を用いて4・1・1で述べた方法でSCM 21鋼を研削した場合の理論削除率と仕上面あらさとの関係を図6に示す。図から切込み速度の遅い場合(理論削除率の小さい場合)には2分から8分と時間の経過にしたが

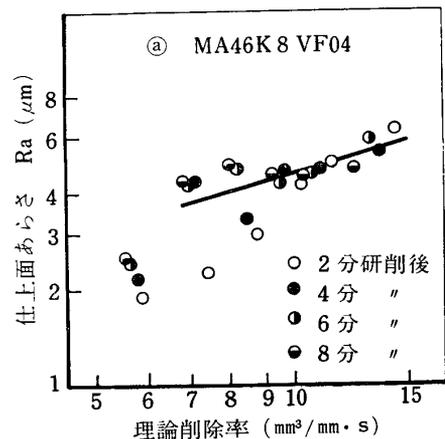


図6 理論削除率と仕上面あらさとの関係 (③砥石)

って仕上面あらかが悪くなっているが、切込み速度の速い場合には必ずしもそうでないことが分る。しかしながら、そのままでは全般的な比較は行い難いので切込み速度1.0mm/min の場合を除いた総ての点の理論削除率と仕上面あらかとの関係を最小自乗法を用いて求めたものが図示してある直線である。

図6の③砥石の場合と同様にして①、②および④砥石の理論削除率と仕上面あらかとの関係をあらわす直線を求め、③砥石のそれと併記したのが図7である。図から③砥石の仕上面あらかが全般的に低い値を示し、④砥石のそれが全般的に高い値を示し、①砥石と②砥石がその中間で交差しており、研削比と丁度逆の関係になっている。このことは仕上面あらかが砥粒の破碎・脱落と大いに関係があるので当然のことであると考えられる。

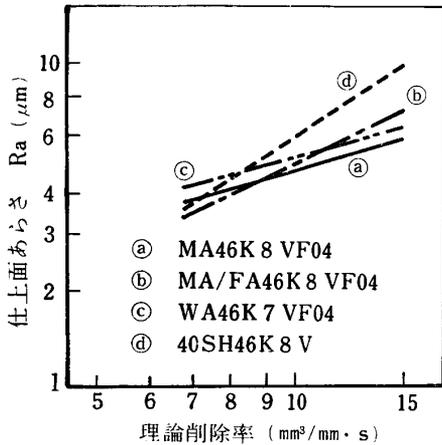


図7 4種の砥石の理論削除率と仕上面あらかとの関係

4・1・5 研削抵抗の比較

③砥石を用いて4・1・1で述べた方法でSCM21鋼を研削した場合の理論削除率と研削抵抗 (F_t : 接線方向, F_n : 法線方向) との関係を図8に示す。図より切込み速度の小さい処(図では理論削除率の小さい処)で研削抵抗は時間と共に増大するが、大きい処ではむしろ減少の傾向があることがわかる。この図で実線で示してあるのが研削比や仕上面あらかの場合と同様にして最小自乗法で求めた全体の接線抵抗 (F_t) および法線抵抗 (F_n) と理論削除率との関係を示す直線である。

これと同様にして他の3種(①、②および④)の砥石についても上述の直線をもとめ、③砥石のそれと一緒に併記したものが図9である。図から4砥石の間には大きな相違はないが、全般的にみて③砥石が抵抗値が低く、

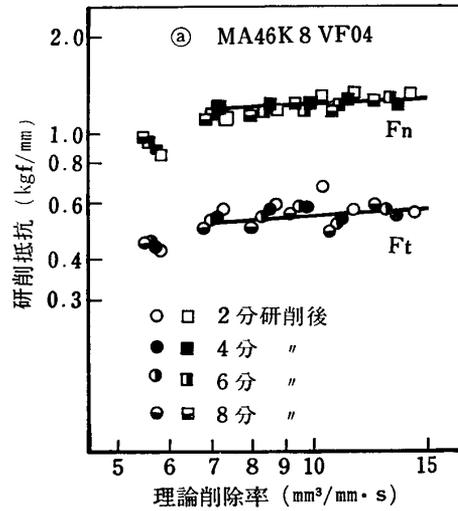


図8 理論削除率と研削抵抗との関係 (③除石)

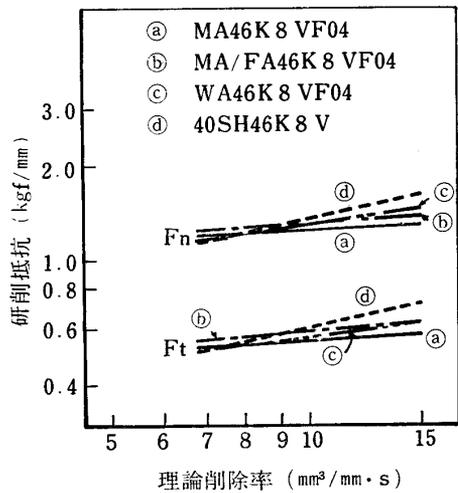


図9 4種の砥石の理論削除率と仕上面あらかとの関係

③砥石が高く、①、②の両砥石がその中間の値を示していることがわかる。

4・2 結合度および組織を変えた場合

前回の実験²⁾で優れた結果が得られ、今回の実験の基準として用いた③砥石(MA46K8VF04)に対して結合度を変えた③砥石(MA46L8VF04)と組織を変えた④砥石(MA46K6VF04)を用いて他の砥石と同じような実験を行い、得られた結果を図10、11および12に示す。これらの図には参考のために③砥石の実験結果を併記した。

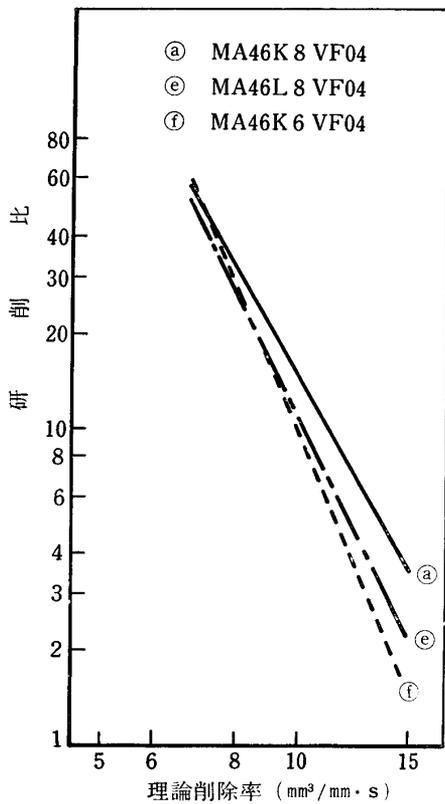


図10 結合度および組織を変えた場合の全体の理論削除率と研削比との関係

図10より結合度をKからLに変えた(e)砥石は全般的に研削比が低下しており、どちらかと言えば理論削除率の大きい処での低下が大きい。一寸考えた処では結合剤率を多くして結合度をKからLに変えれば砥粒の脱落が少なくなり、研削比も向上しそうな感じがするが、研削比が低下している処を見れば最適の結合度があると言える。また同図より組織を8(砥粒率46±1.5%)から6(砥粒率50±1.5%)に変えた(f)砥石も理論削除率の大きい処で研削比が大きく低下している。また組織を変えた(e)砥石よりも理論削除率の大きい処で研削比低下の割合が大きい。このような事象の起る原因については今後の研究にまたねばならないと考えている。

つぎに図11より(a)砥石による仕上面あらさが全般的に一番小さな値であり、ついで(e)砥石のそれが中位で、(f)砥石のそれが一番大きな値であることがわかる。これは前記の研削比から推察される砥石損耗量のことを考えると当然の結果だと思われる。

つぎに図12の研削抵抗を見ると、今までとは様相が異なり、法線抵抗(F_n)・接線抵抗(F_t)のいずれも(e)砥石→(a)砥石→(f)砥石の順に小さくなり、(e)砥石と(f)砥

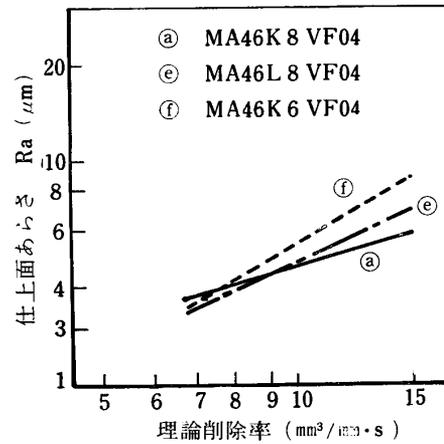


図11 結合度および組織を変えた場合の全体の理論削除率と仕上面あらさとの関係

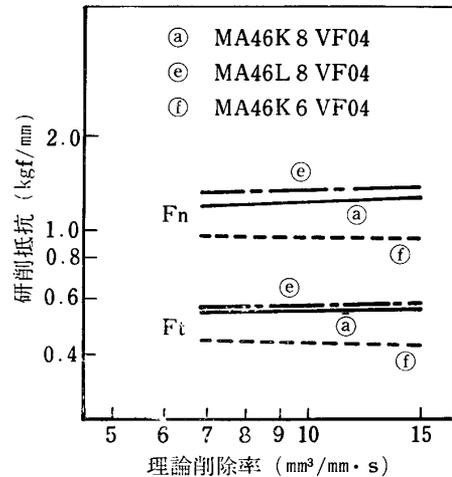


図12 結合度および組織を変えた場合の全体の理論削除率と研削抵抗との関係

石との差は僅小であるが、(a)砥石と(f)砥石との差は相当大きい。(f)砥石は砥石損耗量が多くて研削比はよくないが研削抵抗が小さいのは注意すべき事だと思う。

4.3 総合的な考察

いままで研削性能として、研削比・仕上面あらさおよび研削抵抗を中心として6種の砥石を比較してきた。そのうち仕上面あらさはスパーク・アウトを行うことによって割合簡単に改善できるし、研削抵抗の相違は1例を除けば比較的僅少であるし、原価計算に占める研削動力の比重も軽いと考えられる現在、この3者のうちで最も重視すべきは研削比であると考えられる。

上記のような観点から見れば、本実験で使用した砥石

では㊸砥石が最もすぐれており、概括的には㊸、㊹両砥石がこれにつづいている。この両砥石は研削比・抵抗ではほとんど変わらず、仕上面あらさでは㊸砥石がほんの僅かではあるが低い値を示している。研削比から言えば㊹砥石がこれに続いているが、この砥石は研削抵抗が小さいので注目を要する。尚㊸砥石の研削比は理論削除率の中位から小さい範囲では㊸、㊹、㊺の3砥石に劣っているが、理論削除率が $11.0\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 以上では㊹砥石より研削比は大きくなり、 $12.7\text{mm}^3/\text{mm}\cdot\text{s}$ 以上では㊹、㊸砥石より研削比が大きくなる。この点㊸砥石は特徴のある砥石と言える。これらの砥石について㊸砥石となるが、この㊸砥石で用いられている40SHなる砥粒は一般的にはスナッキングなどに用いられている砥粒で通常の円筒研削にはあまり用いられていない。著者らは他の砥粒と同じ様に結合度K、組織8にして実験を行ったが、最適な結合度・組織にすればもっと性能向上が望まれるのではないかと考える。

5. む す び

今回のSCM21鋼の研削実験結果より最小自乗法を用いて重研削用砥石の総合的な性能評価を行い、次のような結論が得られた。

(1)本実験で使用した砥石の中では㊸(MA46K8VF04)砥石が研削比その他で最もすぐれており、その後は次の場合を除いては㊸(MA46L8VF04)、㊹(MA/FA46K8VF04)、㊺(MA46K6VF04)砥石の順となる。㊸(WA46K7VF04)砥石の研削比は理論削除率の中位から小さい範囲では㊸(MA46L8VF04)、㊹(MA/FA46K8VF04)、㊺(MA46K6VF04)の3砥石に劣っているが、理論削除率の大きい範囲ではこれらの砥石よりすぐれている。これらの砥石の後に㊸(40SH46K8V)砥石が続いている。

(2)理論削除率が大きくなれば、2分研削後の場合も8分研削後の場合もともに、理論削除率と実削除率との差は大きくなる。しかし、理論削除率の大きな処では、8分研削後のこれらの差は2分研削後のそれより小さくなる。

なお、本研究は精機学会重研削専門委員会の共同研究の一部であり、委員長の熊本大学工学部松尾哲夫教授はじめ各委員の方々の御指導の賜であり、ここに感謝の意を表します。また、本実験に材料の提供その他で種々のご便宜を与えていただいた新日本製鉄(株)工作事業部、日本研磨砥石(株)ならびにユシロ化学工業(株)のご好意に深く感謝します。次に、本研究に種々ご協力下さいました本校瀬戸雅文助教授ならびに実習系の皆様に厚くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) R. Snoeys ほか2名; *Annals of CIRP Vol. 23/2 (1974) 227*
- 2) 横尾・田戸・工藤; 宇部高専研報(昭53-3) 45

(昭和54年9月4日受理)