

Studies on Grinding Mechanism Using Infrared Radiation Pyrometer with Optical Fiber: Temperature and Cutting Action of Working Grains

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/36968

光ファイバを用いた赤外線輻射温度計による
研削機構の研究*
(砥粒切れ刃の温度と切削作用)

上田 隆司*¹, 岡田 公之*², 鳥居 明人*³

Studies on Grinding Mechanism Using Infrared Radiation Pyrometer
with Optical Fiber
(Temperature and Cutting Action of Working Grains)

Takashi UEDA, Masayuki OKADA, and Akito TORII

The temperature of working grains on the grinding wheel just after cutting is measured using an infrared radiation pyrometer, in which an optical fiber accepts the infrared flux radiated from the object and transmits it to an infrared detector InAs cell. The working condition of each cutting grain varies after every revolution of the wheel due to the wear or the crushing of it, the surface flow of the workpiece owing to the ploughing, or the vibration of the grinding system. The number of cutting grains is greatly influenced by the change of grinding conditions. The mean temperature of cutting grains is hardly influenced by the wheel depth of the cut or the workpiece speed, but it decreases with an increase in the wheel speed. The maximum temperature of cutting grains measured even under the severe grinding conditions is approximately equal to the melting point of the work material of steel.

Key Words: Grinding, Grinding Temperature, Cutting Grain Temperature, Cutting Grain Distribution, Infrared Radiation Pyrometer, Optical Fiber

1. 緒 言

砥石の切削作用はそれを構成している微小な砥粒によって行われている。このため、個々の砥粒の切削作用によって生じる熱は砥粒の摩耗、破砕などに関係するだけでなく、加工物の熱変形や熱応力の原因となる。特に、切れ刃の到達最高温度は研削表面の物理化学的变化を考える上で重要な要因である。一方、砥石作業面における切れ刃の分布は個々の砥粒の切削作用を解明する上で重要な要素の一つであり、これまで転写法、引っかき法、光学的方法、熱電対法等さまざまな方法で測定されている^{(1)~(6)}。

著者らは最近光通信の分野で広く用いられている光ファイバと赤外線検出素子 InAs を組合せて、微小領域で高速で変化する温度を測定しうる新しいタイプの温度計を製作し、平面研削中の加工物内の温度分布や砥粒切れ刃温度を測定することに成功している^{(7)~(12)}。この赤外線温度計を研削砥粒の切れ刃温度測定に適用するとき得られる出力信号からは、切れ刃温度だけで

なく動的状態における切れ刃分布や切れ刃の大きさを同時に知ることができる。また、個々の切れ刃に注目し、砥石1回転ごとに変化する切削状態を追跡することも可能となるなど、これまでの測定方法にない大きな特徴をもっている。

そこで本研究では、この測定法を平面研削に適用し切削直後の砥粒切れ刃温度を測定することにより、加工条件が切れ刃最高温度・平均温度、切れ刃分布、切れ刃の大きさに及ぼす影響を検討した。また、研削中の砥石が10回転する間の切れ刃温度を連続して測定し、切れ刃の切削作用が1回転ごとに変化する様子を調べた。

使用記号

$a_{g\max}$: 切り屑最大厚み μm

b_w : 加工物幅 mm

d : 切れ刃径 μm

\bar{d} : 切れ刃平均径 μm

d_t : 温度計の感温面積径 (砥石幅) μm

D : 砥石径 mm

e : 1個の切り屑を生成するために必要な研削エネルギー J

F_t : 研削抵抗接線分力 N

* 平成元年3月24日 関西支部第64期定時総会講演会において講演、原稿受付 昭和63年7月25日。

¹ 正員、金沢大学工学部 (〒920 金沢市小立野2-40-20)。

² 川崎製鉄(株) (〒712 倉敷市水島)。

³ 大阪大学大学院 (〒560 豊中市待兼山町1-1)。

- k_s : 比研削エネルギー J/mm³
- K : 定数
- l_c : 切り屑長さ mm
- n : 砥石単位長さ当たりの切れ刃数 1/m
- t : 切込み深さ μm
- T : 切れ刃平均温度 $^{\circ}\text{C}$
- T_{max} : 切れ刃最高温度 $^{\circ}\text{C}$
- v : 加工物速度 m/min
- V : 研削速度 m/min
- V_{sp} : 切り屑体積 mm³
- δ : 切れ刃間隔 mm
- θ : 光ファイバの設定角度 deg

2. 実験方法

実験は表1に示す実験条件のもとで定切込み平面研削を行った。実験装置の概略図を図1に示す。図に示すように、研削点より $\theta=45^{\circ}$ の砥石外周部に設置したファイバホルダ⑥に表2に示す特性値を持った光ファイバ1本を挿入する。研削点($\theta=0^{\circ}$)と測定点($\theta=45^{\circ}$)との間に数msの時間差があり、この間の砥石空転によって切れ刃は冷却され、検出切れ刃数は減少してしまう。しかし、冷却されて測定できなくなる切れ刃は温度が低く、切削への寄与が小さいとみなすことができ、無視しても影響は小さい。用いた光ファイバの長さは約2mであり、受光面と砥石表面との距離をマイクロメータ⑦によって100 μm に設定する。加工物②に所定の切込みを与え、乾式上向き1パス研削を行い、切削した切れ刃が光ファイバ直下を通過するとき砥粒切れ刃から放射される赤外線光ファイバで受光し、光電変換素子InAsへ伝送して電気信号に変換する。出力信号はサンプリング間隔1 μs でデジタルメモリに記憶させた後、マイクロコンピュータ(PC-9801F)で処理し、パルス高さ、パルス幅、パルス間隔を求める。パルス高さを温度に換算する校正曲線を図2に示す⁽⁹⁾。また、加工物を取付けた動力計③により、研削抵抗を測定する。なお、砥石はドレス直後の不安定な状態を避けるため、一定量研削して用いた。

3. 実験結果および検討

3.1 出力信号の解析方法 図1に示すように設置した光ファイバの砥石作業面上の感温面積の直径を d_s とすると、本研究では直径 D 、幅 d_s の薄い円板上の砥石周上に分布する切れ刃を測定していることになる。このため、感温面積と切れ刃の位置および大小関係によってファイバが受光するエネルギーが必ずしも温度に対応しない問題が生じる。すなわち、切れ刃が

表1 実験条件

Grinding conditions	
Peripheral wheel speed	$v = 1000 \sim 2500$ m/min
Workpiece speed	$v = 5 \sim 20$ m/min
Wheel depth of cut	$t = 5 \sim 40$ μm
Up grinding with on fluid	
Grinding wheel	
Designation	A35K7VC(3)B
$V_P = 40.0\%$, $V_C = 49.1\%$, $V_B = 10.9\%$	
Wheel diameter D	= 288 mm
Wheel width B	= 30 mm
Workpiece	
0.55% carbon steel annealed	
Vickers hardness H_v	= 200
Work length l_w	= 50 mm
Work width b_w	= 6 mm
Dressing conditions	
Conical diamond tool used with grinding fluid	
Dressing depth of cut	= 20 μm
Dressing feed	= 0.05 mm/rev

表2 光ファイバの特性値

Core diameter d	= 40 μm
Numerical aperture NA	= 0.212
Relative index difference Δ	= 1.0%
Acceptance angle $2\epsilon_m$	= 24.4 $^{\circ}$

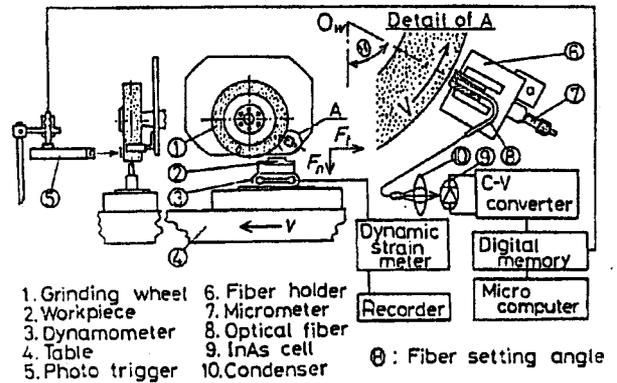


図1 実験装置の概略図

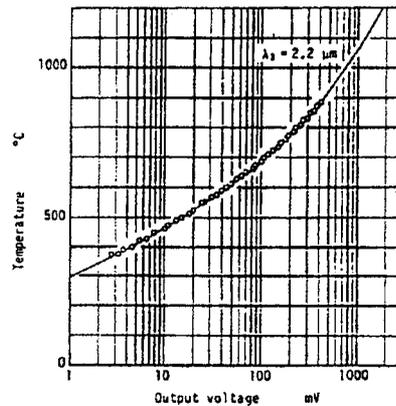


図2 温度計の出力校正曲線

感温面積よりも小さかったり、大きな切れ刃でも感温面積の中心からずれていると、測定されるパルスの高さが低くなってしまふ。しかし、このときパルス幅も短くなることから、パルス幅を調べることにより測定精度を知ることができる。本研究の場合、7 μ s 以上の幅を持つパルスであれば95%以上の信頼度でその高さは砥粒の温度に対応している⁽⁹⁾。そこで、図3は出力波形の一例であるが、パルス幅 b が7 μ s 以上のパルスを測定対象とし、高さ h から切れ刃温度を求めることにする。また、砥石が正常な切削状態にあることから、切れ刃温度は切れ刃の切削への寄与する割合を表しており、近似的に h が切れ刃の切込み深さに対応しているとみなすことができる。一方、パルス幅 b は作用砥粒の高温領域の大きさに対応していることから、 b を直径とする円形作業面を考え、 b を切れ刃の大きさとみなすことにする。また、パルス間距離 l は切れ刃間隔を表している。したがって、図3の出力信号から、砥粒切れ刃温度だけでなく、作業面における切れ刃の分布状態を知ることができる。

3.2 砥石作業面上の切れ刃の状態

3.2.1 切れ刃の作業状態の変化 1パス研削において、長さ50mmの加工物を砥石回転速度1800rpm、加工物速度 $v=10$ m/min で研削するとき、砥石は約10回転する。その連続する10回転の間の切れ刃温度を測定した結果が図4である。横軸が砥石一周分の長さに相当し、縦軸が出力電圧で温度に相当する。横軸を圧縮しているため、パルス幅は消えている。したがって、同一箇所のパルスの出力高さをみてゆけば、個々の砥粒の1回転ごとの切削状態を追ってゆくことができる。

個々の砥粒に注目すると、砥粒 a は1回転めは出力が大きく、よく切削しているが、2、3回転めでは低くなり、4回転めからは消え、9回転めに再び現れている。砥粒 b は1回転めは現れているが、2~6回転めには現れず、7、9、10回転めに再び現れ、出力も大きい。砥粒 c はほぼ全体を通じてよく切削している。

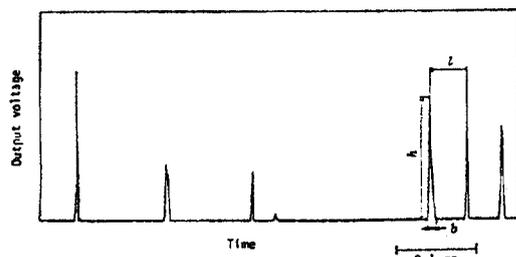


図3 温度計の出力信号の一例

次に、砥石全体における切れ刃の分布をみると、[A]の領域では1、2回転めは切れ刃が少ないが、3回転めから増えて、切れ刃間隔が短くなっている。一方、[B]の地点には常に切れ刃が多く分布している。[C]では切れ刃が少なく、切削にあまり寄与していない。また、出力全体に大きなうねりのあることが観察できる。

このように、砥粒切れ刃の切削作用は一様でなく、1回転ごとに大きく変化していることがわかる。これには、切れ刃砥粒の破碎や脱落による消失、隣接する切れ刃の切り屑除去や掘起し作用の際に生じる加工物の盛り上がりによる切込み量の変化、砥石や加工物の微小振動による切込み量の変化、などが考えられる。

3.2.2 切れ刃間隔、切れ刃の大きさ 切込み深さ t を変えたときの砥粒切れ刃間隔を調べた結果が図5である。 t が小さいとき、切れ刃数が少ないことから、40mmを超える切れ刃間隔もあるが、 t が大きくなると切れ刃数が増し、小さな切れ刃間隔が急激に多くなっている。これらの結果より、平均切れ刃間隔を求めた結果が図6である。 $t=20$ μ m で約12mm、 $t=40$ μ m で約4mmである。砥石の種類やドレス条件が異なるため単純な比較はできないが、これまで他の研究者によって測定されている結果に比べて大きい値で

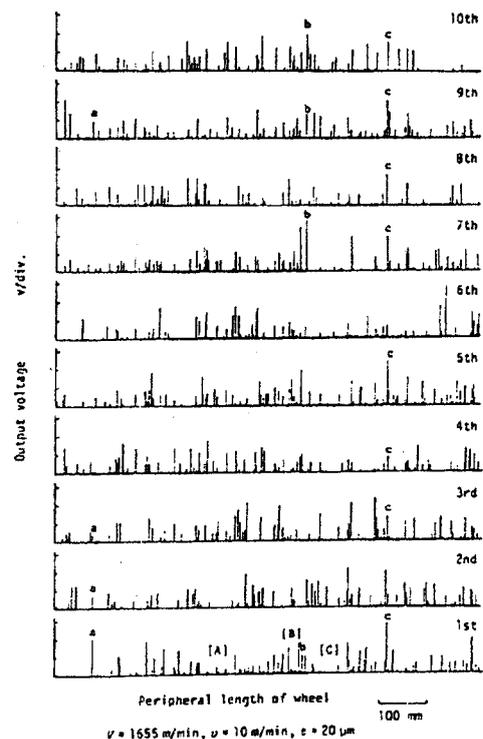


図4 砥石が連続10回転研削する間の切れ刃の切削作用の変動

ある⁽¹³⁾。

砥粒切れ刃の作用面の形状を円形と考え、その直径 d を切れ刃の大きさとして調べた結果が図7である。 \bar{d} は平均値である。多数の切れ刃は 150 μm 程度までであり、これ以上の大きさの切れ刃は急激に少なくなっている。大きいものでは $d=450 \mu\text{m}$ の切れ刃もあるが、使用した #36 砥石の砥粒平均径が 650 μm であることから、妥当な値と考えられる。平均をとると 100 μm 程度となる。

3.3 切れ刃温度

3.3.1 モデルによる検討 3.1節で述べたように、本研究では直径 D 、幅 d_c の薄い円板状の砥石作業面上に分布する切れ刃を測定している。そこでここでは、この薄い砥石周上に切れ刃が均一に分布してフライス切削している状態を考えることで、加工条件が切れ刃平均温度に及ぼす影響について検討することにする。

すると、1個の切れ刃によって切削される切り屑の最大厚み $a_{g \max}$ 、および屑長さ l_c は

$$a_{g \max} = 2\delta \frac{v}{V} \sqrt{\frac{t}{D}} = \frac{2}{n} \frac{v}{V} \sqrt{\frac{t}{D}} \quad \text{.....(1)}$$

$$l_c = \sqrt{tD} \quad \text{.....(2)}$$

となる。ただし、 D : 砥石径、 n : 砥石単位長さ当たりの切れ刃数、 v : 加工物速度、 V : 研削速度、 δ : 切れ刃間隔、である。したがって、1個の切り屑の体積 V_{wg} は

$$V_{wg} = \frac{1}{2} a_{g \max} l_c d_c = \frac{1}{n} \frac{v}{V} t d_c \quad \text{.....(3)}$$

となる。ここで、比研削エネルギーを k_s とすると、1個の切り屑を生じるために必要な研削エネルギー e は

$$e = k_s V_{wg} = \frac{k_s}{n} \frac{v}{V} t d_c \quad \text{.....(4)}$$

となる。一方、幅 b_w の加工物を研削するときの研削抵

抗接線分力を F_t とすると、 k_s は次式で与えられる。

$$k_s = \frac{F_t}{b_w t} \frac{V}{v} \quad \text{.....(5)}$$

式(5)を式(4)に代入すると

$$e = \frac{F_t d_c}{n b_w} \quad \text{.....(6)}$$

となり、1個の切り屑を生成するために必要な研削エネルギー e を求めることができる。砥粒への熱の分配率を一定とすると、1回の切削中に1個の砥粒に流れ込む総熱量は e に比例することになる。そこで、切れ刃温度 T が e に比例するとし、 K を定数とすると、式(6)より

$$T = K \frac{F_t d_c}{n b_w} \quad \text{.....(7)}$$

となる。式(7)には V, v, t といった加工条件の項が含まれていないが、 F_t, n がこれらの影響を受けるため、次項ではまずこの点について調べることにする。

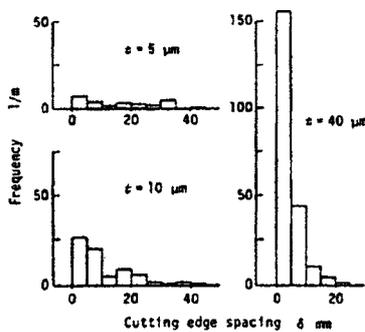
3.3.2 切れ刃数、研削抵抗への加工条件の影響

切込み深さ t 、研削速度 V 、加工物速度 v をそれぞれ変化させて加工したときの切れ刃数 n 、および研削抵抗 F_t の測定結果を図8に示す(付録参照)。 t, v が大きくなれば加工条件は過酷になり、 F_t は大きくなる。また、 n も直線的に増えていく。一方、 V が大きくなれば、単位時間当たり加工物に作用する砥石作業面積が大きくなるため、加工条件は緩和され、 F_t は減少する。また、 n も $V=1000 \text{ m/min}$ の値を除けば減少している。図8の結果を式で表すと

$$\begin{cases} n \propto t^{0.78} \\ F_t \propto t^{0.78} \end{cases} \begin{cases} n \propto v^{0.58} \\ F_t \propto v^{0.49} \end{cases} \begin{cases} n \propto V^{-0.64} \\ F_t \propto V^{-0.97} \end{cases} \quad \text{.....(8)}$$

となる。したがって、これらの式のべき乗の値をまとめ、 K_1, K_2 を定数とすると、 n, F_t は

$$\begin{cases} n = K_1 t^{3/4} v^{1/2} V^{3/4} \\ F_t = K_2 t^{3/4} v^{1/2} V^{-1} \end{cases} \quad \text{.....(9)}$$



$V=1655 \text{ m/min}, v=10 \text{ m/min}$

図5 切れ刃間隔の分布

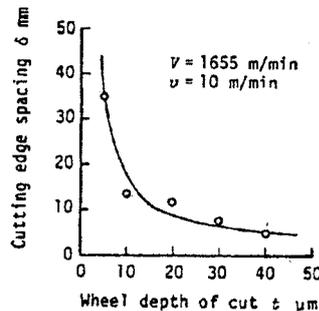
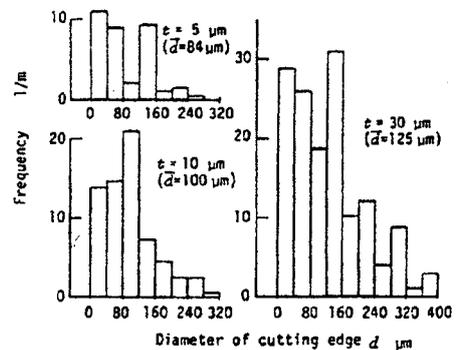


図6 切込み深さ t の切れ刃間隔 δ への影響



$V=1655 \text{ m/min}, v=10 \text{ m/min}$

図7 切れ刃の大きさの分布

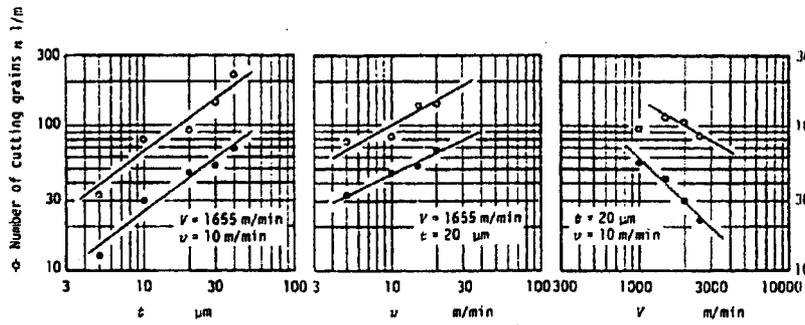


図 8 加工条件が切れ刃数 n , 研削抵抗 F_t に及ぼす影響

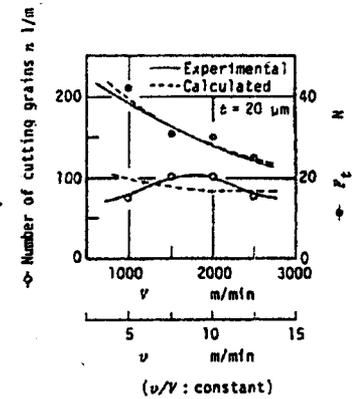


図 9 加工条件が n, F_t に及ぼす影響 (v/V : constant)

と表すことができる。式(9)により加工条件が切れ刃数 n や研削抵抗 F_t に及ぼす影響を知ることができる。

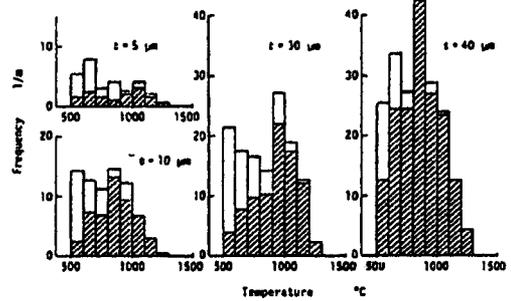
そこで、式(9)の妥当性を確かめるために、 v と V を (v/V が一定となる条件のもとで) 同時に変化させたときの n, F_t の測定結果を図9に示す。破線は式(9)を実験結果に適用したものであり、定性的傾向を表している。 V, v が大きくなるに従い、 F_t は減少し加工条件が緩和されている。これより、 V と v の研削への影響は等価ではなく、 V のほうが大きいことがわかる。一方、 n はほぼ一定となっており、計算結果もこの傾向と合っている。したがって、式(9)はほぼ加工条件の影響を表していると考えられる。

3.3.3 切れ刃温度への加工条件の影響 式(9)を式(7)に代入し、 K_0 を定数とすると

$$T = K_0 V^{-1/4} \dots \dots \dots (10)$$

となり、加工条件が切れ刃平均温度に及ぼす影響を知ることができる。すなわち、 T は切込み深さ t や加工物速度 v の影響を受けず、研削速度 V だけの影響を受けることになる。

そこでこの式の妥当性を確かめるため、これらの条件を変化させて加工実験を行い、切れ刃温度を測定してみた。図10はその結果の一例であり、 t を変化させた場合の切れ刃温度の分布である。縦軸は砥石周上1m当たりの切れ刃数である。ハッチングはパルス幅が7μs以上あり精度よく温度が測定されている切れ刃の数を示している。 t が大きくなるに従い切れ刃数は多くなっているが、その温度分布はいずれも900~1000°Cをピークとする山形であり、変化は小さい。これらの結果より、切れ刃平均温度 T および切れ刃最高温度 T_{max} を求めた結果が図11である。左から、切込み深さ t , 加工物速度 v , 研削速度 V をそれぞれ変化させた結果である。破線は式(10)を実験結果に適用した結果である。



$V = 1655 \text{ m/min}, v = 10 \text{ m/min}$

図 10 切れ刃の温度分布

t を大きくすると加工条件は過酷になるが、図11左に見るように切れ刃の温度は上昇せず、ほぼ一定となっている。すなわち、 t の増大によって除去すべき加工物の量は増え、研削抵抗は大きくなるが、切削に寄与する切れ刃数も増えることから1個の切れ刃の負荷には大きな変化が生じないためである。したがって、式(10)はこの傾向をよくとらえているといえる。一方、個々の切れ刃には t の増大によって負荷が大きくなるものも存在することから、 T_{max} は上昇する傾向にあるが、 $t = 40 \mu\text{m}$ においてもただか1300°C程度である。測定点 ($\theta = 45^\circ$) での1300°Cは空転時の冷却を考えると、研削点では1500°C程度となる⁽¹⁰⁾。鋼の融点が1520°Cであることから、加工材料の融点が切れ刃温度の上限となることが考えられる。

v が大きくなると、 t と同様単位時間当たりに除去すべき加工物量が増え、加工条件は過酷になる。しかし、この場合も切れ刃数が増すことから切れ刃平均温度はほぼ一定となっており、式(10)の妥当性を示している。また、 T_{max} もほぼ一定となっている。

V の影響は v と t とは異なり、 V を大きくしても除去すべき加工物量に変化はなく、逆に単位時間当たりに作用する砥石作業面積の増加によって加工条件は

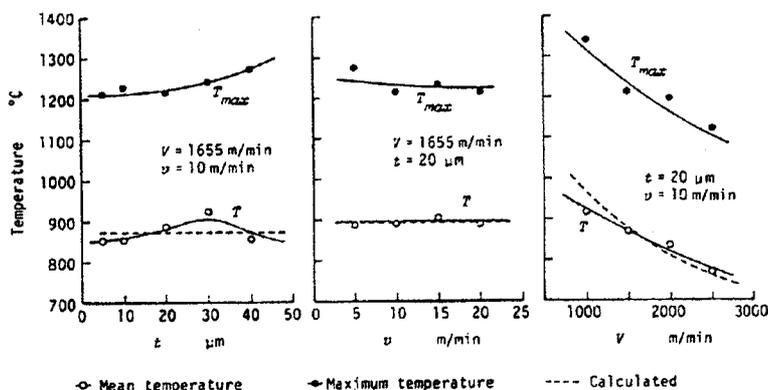


図 11 加工条件が切れ刃温度に及ぼす影響

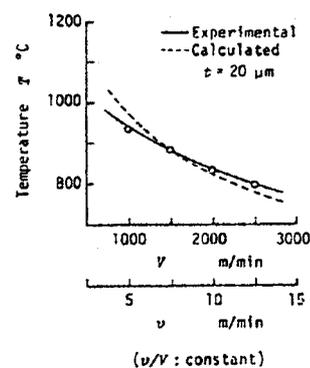


図 12 加工条件が切れ刃平均温度 T に及ぼす影響

緩和され、図 11 右に見るように切れ刃平均温度 T や最高温度 T_{max} は低下している。式(10)の計算結果もよくこの傾向と合っている。この結果から、研削抵抗だけでなく切れ刃温度の点からも高速研削が有利であることがわかる。

さらに、 t : 一定、 v/V : 一定のもとで、 v 、 V を変化させたときの切れ刃温度が図 12 である。この場合においても、式(10)は実験結果の傾向をとらえており、切れ刃温度への加工条件の影響をよく表しているといえる。

4. 結 言

光ファイバと赤外線検出素子 InAs を組合せた新しいタイプの温度計を用いて、切削直後の砥粒切れ刃温度を測定した。その結果、研削抵抗は切込み深さと、加工物速度 v を大きくするほど大きくなるが、砥粒切れ刃数も増すため、切れ刃平均温度は t や v の影響をほとんど受けなかった。しかし、研削速度 V を大きくすると切れ刃数は減少するが研削抵抗の減少が大きく、その結果切れ刃温度は大きく低下した。また、加工条件を過酷にしても加工材料である鋼の融点に近い高温砥粒はあるものの、融点を明らかに超える砥粒は測定されなかった。一方、温度計の出力信号より切れ刃温度だけでなく切れ刃の大きさや切れ刃間隔も測定することができた。また、研削中の砥石が 10 回転する間の切れ刃温度を連続して測定することにより、切れ刃の切削作用は一様ではなく、砥石 1 回転ごとに大きく変化していることがわかった。

終わりに、光ファイバの提供を受けた藤倉電線(株)に深謝する。

付録 空転時における冷却効果について

研削速度 V を変化させると、研削点 ($\theta = 0^\circ$) から

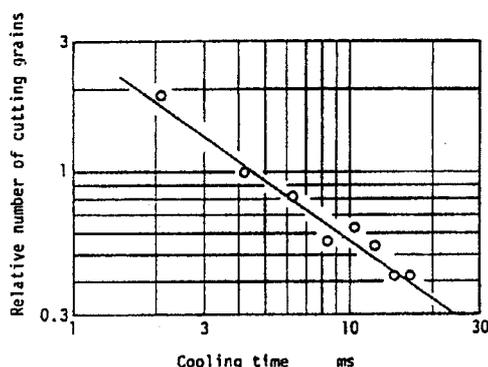


図 13 空転時間の切れ刃数への影響

測定点 ($\theta = 45^\circ$) までの空転時間が異なり、切れ刃の冷却程度に差を生じる。そこで、文献(10)にある砥粒の冷却特性を表す式(11)を用いて、研削後 4.52 ms ($V = 1500 \text{ m/min}$ において 45° 回転するために要する時間)における温度になおして V の影響を調べている。また、切れ刃数についても図 13 に示す実験結果(測定位置 θ を種々に変化させて測定)を用いて同様の補正を行っている。

文 献

- (1) Tuwa, H. *Trans. ASME, J. Eng. Ind.*, 11 (1964), 371.
- (2) Kumar, K. V. and Shaw, M. C., *CIRP*, 28-1 (1979), 205.
- (3) 松井・田牧, *精密機械*, 48-8 (1982), 1057.
- (4) 松井・田牧, *精密機械*, 49-11 (1983), 1522.
- (5) 松井・田牧, *精密機械*, 49-12 (1983), 1652.
- (6) 松井・田牧, *精密機械*, 50-4 (1984), 672.
- (7) 上田・ほか 2 名, *精密機械*, 48-5 (1982), 629.
- (8) 上田・ほか 2 名, *精密機械*, 50-12 (1984), 1896.
- (9) Ueda, T., ほか 2 名, *Trans. ASME, J. Eng. Ind.*, 107-5 (1985), 127.
- (10) 上田・ほか 2 名, *精密機械*, 51-9 (1985), 1732.
- (11) Ueda, T., ほか 2 名, *Trans. ASME, J. Eng. Ind.*, 108-11 (1986), 247.
- (12) 上田・細川, *材料*, 36-403 (1986), 404.
- (13) 松井, *機械の研究*, 29-5 (1977), 627.

討 論

〔質問〕 高 沢 孝 哉〔神奈川県工科大学〕

砥粒切れ刃の温度測定は、過去に佐藤、Peklenik によって試みられているが、かなりむずかしい技術である。著者がユニークな方法で、その測定に成功し、研削機構の解明を試みられていることを評価する。

(1) 砥粒切れ刃温度の定義を伺いたい、また、切れ刃温度 T が切りくずを生じるための研削エネルギー e に比例するという考え方には、飛躍があるように思う。

(2) 砥粒切れ刃温度について、Shaw は切削時のせん断面温度と考えて、 $T \propto e^{-0.12} v^{0.24} V^{0.24}$ 、佐藤は切れ刃逃げ面摩擦温度について考えて、 $T \propto e^{0.22} v^{0.19} V^{0.31}$ という説明を行っている。この結論との関連をどう考えるか〔文献(付1)〕。

(3) 砥粒切れ刃温度は、切れ刃砥粒の破碎や磨耗に関係する。実験条件では、砥粒(砥石)の減耗はどうであったか、また、切れ刃温度との関連について伺いたい。

〔回答〕 (1) 砥粒の切削状態を微視的にみれば、砥粒にすくい面および逃げ面に相当する部分があり、それぞれ温度が異なると思うが、これらの温度を区別することはできない。したがって、作用砥粒の切削に寄与した部分の温度を切れ刃温度としている。なお、温度計の性質から考えると、測定領域内の平均的な温度よりもむしろ、最高温度に近い温度を測定していると思っている。

作用砥粒への熱の入り方を決めることは大変むずかしく、特にどれだけの領域(砥粒の作用面積)にどれだけの熱が時間的にどのような割合で入るのかを決めることは容易ではない。研削条件が変われば切れ刃数、切れ刃の作用面積、1個の切れ刃がなす仕事量、切れ刃の作用時間、などすべてが影響を受けることになる。そこでここでは一つの近似として、切れ刃1個がなした仕事の分だけその温度が上昇すると考えたわけで、それほど無理があるとは考えていない。(この点については河村氏も同様の質問をしておられる。)

(2) 砥粒研削点温度には切りくずせん断面温度 θ_s 、砥粒逃げ面(摩擦面)温度 θ'_s 、および流出する切りくずが接するすくい面の温度 θ''_s があり、著者が測定している砥粒切れ刃温度は逃げ面とすくい面を合せた領域の温度と考えている。研削砥石の切削作用は複雑であり、微視的に検討しようとするとな数々の仮定を入れなくてはならない。幾何学的に妥当と考えられる

仮定でも、現実の切削現象において妥当かどうかがよくわからないことがある。したがって、私は自分自身で実験を通じて得たデータを基にして、できるだけ合理的に実験結果を説明できるモデルを考えようとしている。実験結果があり、次にモデルを作る考え方をしている。Shaw 先生や佐藤先生は解析的に θ_s や θ'_s を求めており、数々の仮定を置いているにもかかわらず研削速度 V の影響が私の結果と逆になる点を除けば、研石切込み深さ t や加工物速度 v の切れ刃温度への影響が小さいという結果は評価している。

(3) 現在のところ、ドレスして間もない鋭利な砥粒を対象として実験を行っている。加工が進行して切れ刃が摩耗した状態になれば当然出力パルスの形状にも変化が生じてくるものと考えている。この点については田中氏にもご指摘いただいております。今後の課題と考えている。

〔質問〕 河 村 末 久〔防衛大学校〕

切れ刃の動的な作用状態を知るうえで大変有力な測定法を開発して、種々有益な結果を示されているが、下記について理解しにくい点があるのでお答え願いたい。

(1) サンプリング間隔 $1 \mu\text{s}$ は正しい情報を得るのに十分か、実際には前置増幅量の応答特性のほうが悪い場合が多いので、Amp の性能を示しておく必要もある。

(2) 2255 ページ左欄下 4 行めから T_{\max} が出てくるが、これはどういう意味の温度か、なお 2256 ページのあたりについて、式(7)は切れ刃温度 T が単に e に比例するとした結果であり、 V の変化に伴う加熱時間や $\theta = 90^\circ$ までの冷却時間の変化を考慮したものではない。したがって式(7)を適用した式(10)によって T や T_{\max} を説明するのはやや無理ではないか。

〔回答〕 (1) ご指摘のように、大変重要な問題であり、著者らも充分この点に留意して研究を行っている。付図 1 に温度計のアンプの周波数特性を示す。く形波に対してはほぼ 100 kHz までフラットな特性をもっており、単一パルスの正弦波を入力させた付図 1(b)では $6 \mu\text{s}$ のパルスに対して 0.5 dB 以下の損失しかないことがわかる。本研究では 2253 ページ左欄 5 行めで述べているように、パルス幅 $7 \mu\text{s}$ 以上のパルスを測定対象としているので、十分な精度で測定できていると考えている。

1 個のパルスを再現するためには 10 個程度の値が

あれば十分といわれているが、 $7\mu\text{s}$ のパルスを $1\mu\text{s}$ でサンプリングすると7個の値で形を再現することになり、ほぼ満足できるのではないかと考えている。

(2) 一定の条件下で切れ刃温度を測定すると、本文の図10に示すようにある温度範囲に分布する。 T_{max} はこのように測定した切れ刃温度の中で最も高い温度を表している。

作用砥粒への熱の入り方を決めることは大変むずかしく、特にどれだけの領域(砥粒の作用面積)にどれだけの熱が時間的にどのような割合で入るのかを決めることは容易ではない。研削条件が変われば切れ刃数、切れ刃の作用面積、1個の切れ刃がなす仕事量、切れ刃の作用時間、などすべてが影響を受けることになる。そこでここでは一つの近似として、切れ刃1個がなした仕事分だけその温度が上昇すると考えたわけで、それほど無理があるとは考えていない。(この点については高沢氏も同様の質問をしておられる。)

〔質問〕 田中 芳雄〔大阪府立大学工学部〕

砥削時の砥粒の作用状態を定量的に把握するための画期的な方法を提案されたものと思う。この方法に関して、次の点についてご教示をお願いしたい。

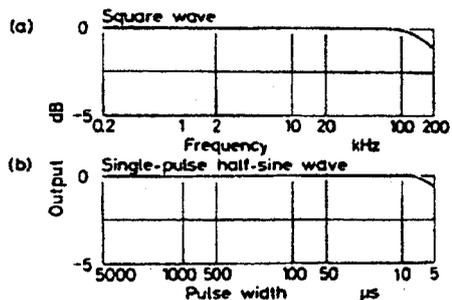
(1) 図4においてある特定の砥粒(例えばa, b, cなど)の各回転を通しての同定はどのように行うのか。またこのような温度パルスを与える砥粒を砥石作業面上で特定できるか。

(2) 図7と図10の度数分布の形に違いが見られるのは主として、作用砥粒の鋭利さが個々に異なるためと考えて良いか。また温度パルスの幅と高さにどの程度の相関があるか。

(3) 本研究では砥粒として、A系の粗粒のものをを用いているが、他種の砥粒の場合やさらに細粒の場合、この温度パルス法はどの程度適用可能か。

〔回答〕 (1) 砥石側面にマーカを数個取付け、マーカからの信号を切れ刃温度の信号と同時に記録することによって、砥粒の位置をつかんでいる。

温度パルスを与える砥粒を砥石作業面上で特定することはこれまで試みたことはない。しかし、温度パル



付図1 アンプの周波数特性

スすべてを特定することは無理にしても、特徴的なパルスは十分可能と思うので、今後行ってみるつもりである。

(2) 砥粒の形状は出力パルスの形と深い関連があると思う、すなわち、ドレス後の鋭利な砥粒と、加工が進行して摩耗が進んだ砥粒では出力パルスの形状に大きな差が出てくると思う。高沢氏にもこの問題についてご指摘を受けているが、現在のところ検討していない。今後の大きな研究課題と考えている。

(3) 本研究ではA系砥粒を用いて行っているが、すでにダイヤモンド砥粒やボラゾン砥粒の切れ刃温度測定にも成功しており、近々発表する予定にしている。

赤外線を検出するために用いている光電変換素子の応答速度に主に依存する。現在用いているInAsセルの応答速度が $1\mu\text{s}$ であることから、時間幅が $5\sim 6\mu\text{s}$ より速いパルスに対しては測定精度が低下してくるものと考えている。したがって、現在著者が用いている実験装置をそのまま用いることにすると、砥石の周速を下げるのが細粒の温度を測定するのに最も有効な方法であり、 1000 m/min 程度にすれば#60程度の砥粒を用いることが可能と考えている。

(付1) 会編、砥粒加工技術便覧、819-820。