

乾式研削におけるアルミナ砥粒の損耗過程

水 谷 秀 行*

Wear Processes of the Alumina Abrasive Grain in Dry Grinding

Hideyuki MIZUTANI*

(Received March 20, 1985)

To study the microscopic behavior of the wear process of an abrasive grain, single-grit grinding tests were performed in dry conditions. White alumina was used as the single-grit material, and as work material, carbon steel S55C was used. The wear aspects of the single-grit were successively observed mainly by SEM and EPMA. Results obtained are as follows.

In dry grinding, although the wear of abrasive grain seems to be also promoted by the microchipping and the microfracture, the attritious wear by the plastic flow of the grain surface is more conspicuous. Also Fe, the main composition of the work material, was found to remain clearly on the surface of the grain flat even after the deposits on the worn surface of the grain was removed by etching. Therefore it is assumed that the wear of grain is affected by the chemical reaction between the grain material and the work material.

1. 緒言

研削加工における諸現象は極めて多くの因子によって支配され、複雑かつ微細な加工現象が存在するため、これまでも多くの研究^{1)~7)}がなされ、それら解明の試みが数多く行われてきた。しかし、研削点近傍における諸現象については未だ不明な点が多く、たとえば研削面性状を支配する要因として極めて重要と考えられる砥粒切れ刃の微視的な損耗過程⁸⁾⁹⁾やそれらの研削における挙動の実態などについては必しも十分に明らかにされていないようである。

本研究においては研削現象解明のための基礎資料を得る目的で、仕上げ面性状ならびに砥粒の切れ味などを支配する要因として極めて重要と思われる砥粒の損耗過程

について微視的な観察、検討を行うことにした。実験は単粒による横軸平面、上向き研削とし、研削条件は可能な範囲で実加工に近似させるよう配慮した。砥粒材料としては、鋼材の研削に多く使用されている白色溶融アルミナを一定形状に成形して用い、鋼材を研削するようにした。このような乾式研削における砥粒の損耗過程ならびに切れ刃状態の経時変化などを主としてSEM、EPMAなどにより詳細に観察、検討して、研削現象解明のための若干の資料が得られたので報告する。

2. 供試試料および実験方法

供試砥粒は白色溶融アルミナインゴットから小片を切り出し、これを単粒保持具先端に埋め込み、Fig.1に示すような形状に成形した。先端の平坦部は研削に際し、砥粒前逃げ面として作用するため、断面プロフィールにみ

*機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

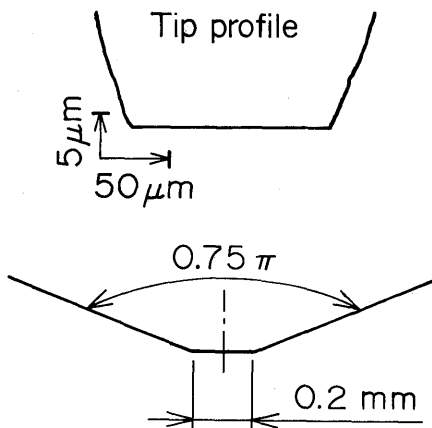


Fig. 1 Tip profile and dimensions of single-grit.

られるように特に入念に仕上げた。そして、これを砥粒先端の回転円直径が 200 mm となるように単粒実験用アルミニウム合金製円板の外周部に固定した。被削材料は、Table 1 に示す化学成分の機械構造用炭素鋼 S 55 C

Table 1 Chemical composition of specimen.

Material	Chemical compositions						Remark
	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)	Fe (%)	
S 55 C	0.55	0.29	0.83	0.014	0.016	bal	Vickers hardness (49 N) 193

熱間圧延材から実験の際の研削方向が圧延方向と直角になるよう素材を切り出し、873 K にて 5400 s 保持後炉冷したものをフライス削りによって酸化、脱炭層を荒削りしたのち、被研削面は実験の際の研削方向と直角に研削し、 R_{max} を $0.5 \mu\text{m}$ 以下に仕上げ、Fig. 2 に示す寸法とした。試料長手方向の両端は研削開始および終了時の衝撃を軽減する目的で約 2/1000 のこう配で切り落とし、長手方向に研削するようにした。

研削条件は実加工の状態を単粒実験によって再現できるよう配慮し、次のように決定した。すなわち、砥粒周速度 26.6 m/s、テーブル送り速度 1.8 mm/s、半径方向切り込み $5 \mu\text{m}$ などとし、横軸平面、上向き研削を乾式にて行った。これらの条件により砥粒当りの最大切り込み深さを試算すると、その値は約 $0.43 \mu\text{m}$ となり、かなり実加工に近い状態が得られるものと考えられる。

研削作用に対しては砥粒前逃げ面の損耗状態の影響が重要と考えられるので、その部分の経時変化を詳しく調

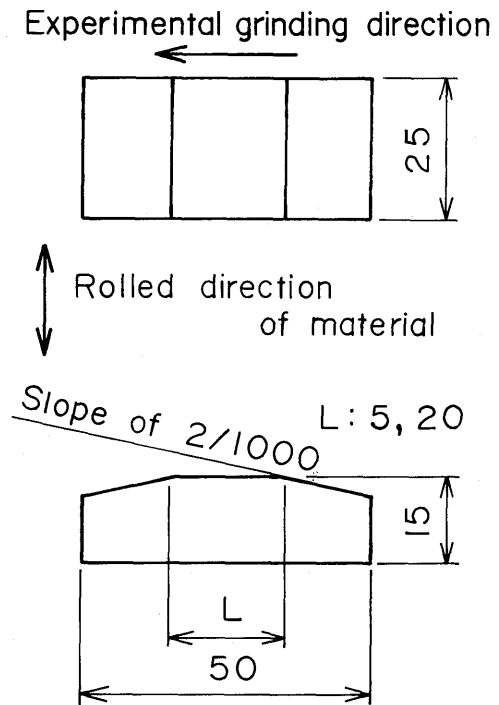


Fig. 2 Dimensions of specimen.

べることにした。すなわち、単粒研削によって生ずる研削面は連続した研削みぞとして得られるので、その研削開始点からの長さを研削長さ G.L. と定め、これが一定値に達したところで適宜観察、測定を行うようにした。砥粒前逃げ面の観察、分析ならびに測定は SEM、EPMA および触針式表面形状測定機などにより行った。

3. 結果および考察

鋼材の乾式研削におけるアルミナ砥粒の損耗過程について、実験開始後比較的初期の状況を SEM 観察し、Fig. 3 に示す。これによれば砥粒前逃げ面には研削の経過にともなって研削方向の条こんが発達し、約 20 mm 研削後ではうね状の条こんがかなり明瞭に認められる。この時期の砥粒の損耗形態は前逃げ面前方に研削時の衝撃作用によると思われる破碎的損耗形態もある程度認められるが、全体としては高温軟化による前逃げ面表層部のすりへり的な摩耗形態が支配的であるように思われる。さらに研削長さが増加した場合の前逃げ面の状況を Fig. 4 に示す。この時期の特徴としては、前述のすりへり摩耗のほか、図中 (a) の 40 mm 研削後の前逃げ面右端にみられるような部分的な欠損が、その後の研削経過にともなって (b), (c) および (d) のように拡大していく状

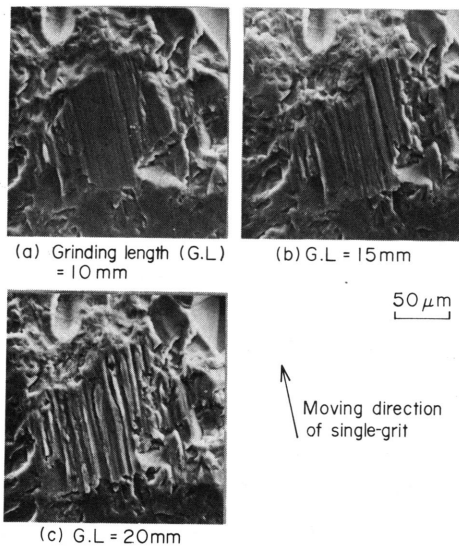


Fig. 3 Secondary electron micrographs of worn surface of single-grit (1).

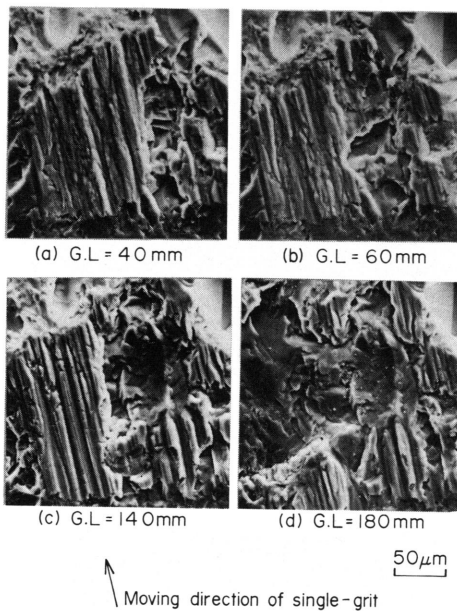


Fig. 4 Secondary electron micrographs of worn surface of single-grit (2).

況がわかる。しかし、これらの欠損は砥粒のごく表層部に限って生じていると思われ、その後の研削過程で起こるすりへり的な摩耗挙動によって、比較的短期間に再びその部分にはFig.5にみられるようなさらに広い平坦部が形成される。

以上のような砥粒損耗の実態を拡大してみると Fig.6 のような状況であり、図中(a)は前逃げ面にみられる微

細な割れやチッピングの発生状況を示し、(b)に塑性流動をとともうすりへり的な摩耗の実態をそれぞれ示す。前述のように乾式研削における砥粒の損耗過程はすりへり的な現象が支配的であるが、場合によっては Fig.6(a) の状況からみて、これらの割れやチッピングが研削中にくり返し衝撃作用を受けて Fig.4 にみられたような表層部の欠損や剥離に進展していくことが予想される。Fig.6(b)は前逃げ面後縁部の SEM 写真であるが、前逃げ面とその後方のくぼみとの境界部分には砥粒表層部の塑性流動によって生じたと考えられる砥粒摩耗の過渡的状況とみられる粒径 1 μm 程度の付着物が存在し、その後方にはそれらの脱落生成物と思われる同程度の大きさの微粒子が多数認められる。これらの付着物は硝酸アルコール溶液によって腐食除去できなかったことから考えて被削材の一部、すなわち微細な切りくずの付着といったものではなく、砥粒材料であるアルミナもしくはそれと被削材との化学反応によって生じた摩耗粉であろうと考えられる。この観察結果から、アルミナ砥粒の乾式におけるすりへり摩耗は研削中に砥粒材料の表層部が研削熱によって軟化し、それが被削材料との擦過により塑性流動を生じ、最終的には微細な摩耗粉となって前逃げ面

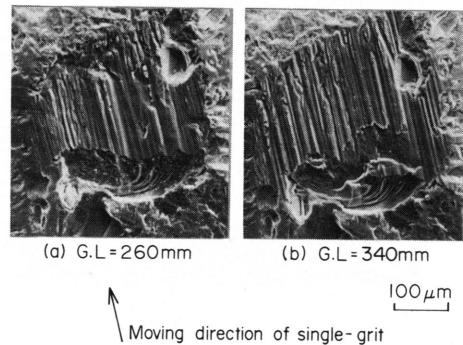


Fig. 5 Secondary electron micrographs of worn surface of single-grit (3).

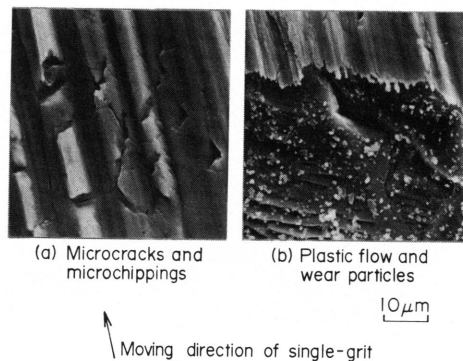


Fig. 6 Microscopic wear aspects on the worn surface of single-grit.

後方へ排除されるという摩耗機構によって進行するものと考えられる。

次に、研削過程で前逃げ面に形成される微小凹凸と研削面との対応を調べるため、両者の断面プロフィールをとり比較した結果を Fig.7 に示す。この図から前逃げ面の形状がそのまま研削面に転写されるとは言えないが、前逃げ面に形成された凹凸のオーダーと研削溝底のあらさ

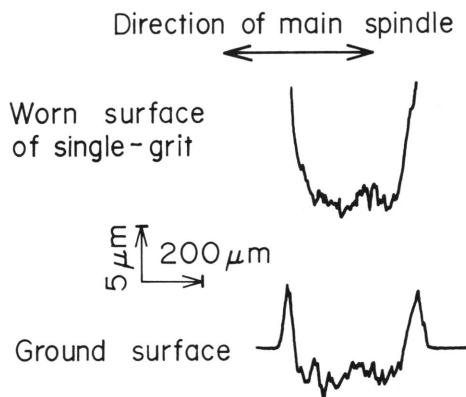


Fig. 7 Relation between worn surface of single-grit and ground surface (G.L=420mm).

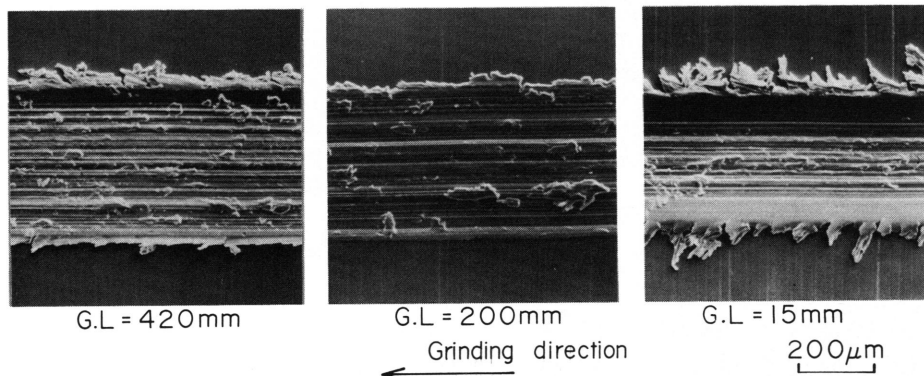


Fig. 8 Secondary electron micrographs of ground surface.

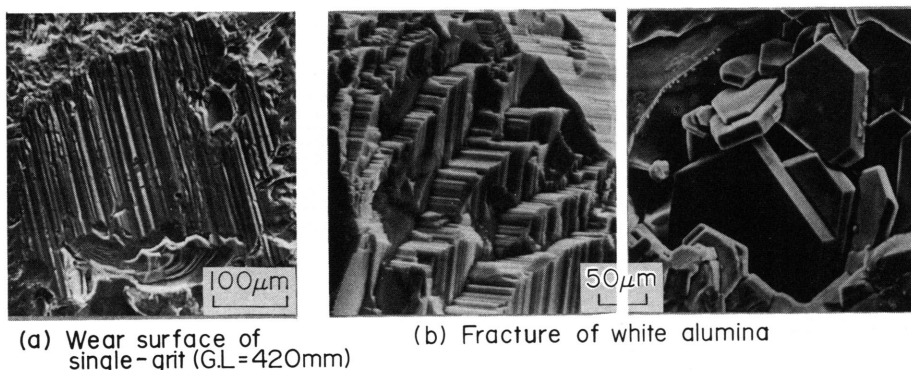


Fig. 9 Comparison between worn surface of single-grit and fracture of white alumina.

のオーダーとはほぼ一致していることがわかる。また、この場合の研削面の特徴として、研削溝側方への盛り上りが極めて大きいことが挙げられる。その研削面の実態は Fig.8 の SEM 写真にみられるように研削みぞの両側には単純な盛り上りだけではなく、切りくず除去の過渡的状況と思われる舌片状の残留物の存在が多く認められるが、これは研削長さの増加にともなう減少する傾向にある。このことから、研削経過にともなう砥粒前逃げ面の微小凹凸の形成による砥粒切れ刃の作用状態、すなわち砥粒の切れ味変化などの状況がうかがわれる。また、研削みぞ底の状況は砥粒通過による研削方向の擦過条こんとともに微細な切りくずの再付着と思われる偏平状の付着物が多く認められ、これらの存在が研削みぞ底のあらさを増大させていると考えられる。

乾式研削における砥粒の損耗形態と白色溶融アルミナのバルクの破砕形態との比較を Fig.9 に示す。アルミナ砥粒を衝撃的に破壊すると Fig.9 (b)にみられるような比較的鋭利な破面を呈する場合が多いが、研削中の砥粒作用面は同図 (a)および前出の前逃げ面の SEM 写真にみられたような状況であり、両者の形態はかなり異なることがわかる。Fig.9 (b)にみられるような鋭い稜が形成

されるのは破壊の単位が比較的大きい場合であり、 $1\mu\text{m}$ 以下の微小切削では、破砕的な現象によって損耗する場合もあるが、その際の破壊単位は極めて小さく、Fig.9(b)にみられるような鋭利な切れ刃稜が前逃げ面に形成される可能性は極めて低いと考えられる。

次に、砥粒の損耗に及ぼす化学反応の影響について検討するため、研削後の砥粒前逃げ面をEPMAにより面分析した結果がFig.10であり、上段がSEM写真、中段および下段の白くみえる部分がそれぞれの元素の存在部分を示す。被分析面には硝酸アルコール溶液によって酸洗したのちも、図にみられるように被削材の主成分であ

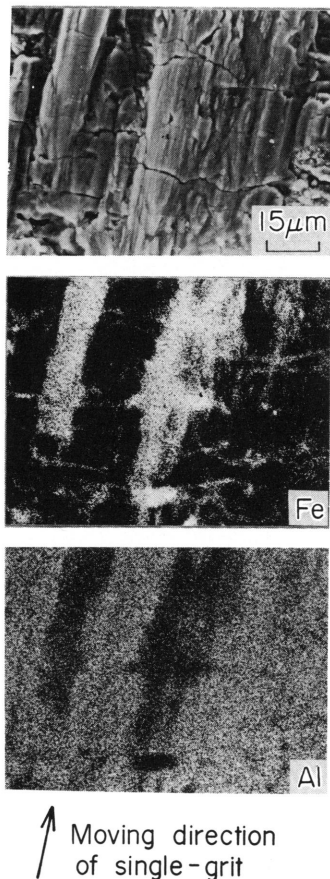


Fig. 10 Secondary electron and characteristic X-ray micrographs of worn surface of single-grit.

るFeが割れおよび研削方向の条こんにそってかなり明瞭に認められた。また、Feの存在部分に対応してAl濃度がやや希薄になっていることなどから考えて、アルミナのような化学的に安定な物質でも研削に際しての高温、高圧下では被削材料との反応が予想される。このような状況は硫黄系極圧剤を含む水溶性研削油剤を使用した場

合¹⁰⁾にも認められ、砥粒前逃げ面に被削材成分の移着が観察される場合には、砥粒と被削材間にAl-Fe化合物の生成¹¹⁾が予想され、この場合の砥粒の損耗形態としてはすりへり的な現象が支配的となる状況が認められた。以上のことから化学反応によって砥粒の摩耗は助長されると判断できる。

4. 結言

鋼材の単粒乾式研削における白色溶融アルミナ砥粒の損耗過程について、主としてSEM, EPMAなどによって検討した結果を要約すると次のようになる。

- (1) 砥粒の損耗は微小破砕および塑性流動をとまなすりへり的な摩耗の両者によって進行するが、前逃げ面の経時変化の状況からみてすりへり的な摩耗が支配的であるように思われる。
- (2) 砥粒前逃げ面のすりへり摩耗の実態は、高温軟化による表層部の塑性流動とそれに起因する約 $1\mu\text{m}$ 程度の摩耗粉の生成などによって進行する。
- (3) 乾式研削における砥粒作用面には、アルミナインゴットのバルクの破面にみられるような鋭い切れ刃稜が形成される可能性は極めて小さい。
- (4) 研削後の砥粒前逃げ面には酸洗後も被削材の主成分Feの存在が明瞭に認められ、その部分に対応して砥粒材料成分のAl濃度が減少していることなどから、砥粒摩耗の促進に及ぼす化学反応の影響をみることができた。

おわりに、EPMA使用にあたり種々のご便宜をはかっていただいた富山大学工学部高辻雄三教授ならびに同山田茂助手に対し、深謝の意を表する。なお、実験の一部は中部大学奨励研究費の援助によって行った。付記してお礼に代えたい。

参 考 文 献

- 1) 松井正己, 庄司克雄:精密機械, **48**, 12(1982), 1634.
- 2) W. Graham and C. M. Vautsopoulos: Tool Des. Res., **18** (1978), 95.
- 3) 岡村健二郎, 中島利勝, 平邦昭, 藤原煌三:精密機械, **33**, 3 (1967), 161.
- 4) 津和秀夫:機械の研究, **18**, 4 (1966), 486.
- 5) 吉川弘之:精密機械, **31**, 11(1965), 907.
- 6) 竹中規雄, 笹谷重康:日機論(第3部), **28**, 196(1962), 1615.
- 7) 大越諄, 吉川弘之, 佐田登志夫:精密機械, **25**, 6 (1959), 28.
- 8) 松井正己, 庄司克雄, 田牧純一:精密機械, **42**, 5 (1976), 376.
- 9) 田中武司, 井川直哉:精密機械, **39**, 6 (1973), 608.
- 10) 財満鎮雄, 高辻雄三, 水谷秀行:日機・精機講論, No.837-2 (1983), 366.
- 11) たとえば, 田中義信, 津和秀夫, 河村末久:精密機械, **31**, 5 (1965), 397.