研究

Al₂O₃-TiC セラミックス工具の切削性能におよぼす

セラミックス粒度の影響*

勝 村 祐 次**, 蕎麦田 薫**
上 原 好 人**, 鈴 木 寿***

Yuji Katsumura, Kaoru Sobata, Yoshito Uehara and Hisashi Suzuki: Effects of Grain size on Cutting Performance of Al₂O₃-TiC Ceramics tool.

Three sorts of Al₂O₃-25 vol% TiC ceramics having different grain sizes were prepared by hot-pressing and cutting performance of the ceramics tools was studied as a function of Al₂O₃ grain size. The results obtained were briefly summarized as follows; The fine grained tools showed the largest flank wear (V_B) in turning test of grey cast iron, but on the other hand, they showed the smallest V_B in the test of alloyed tool steel. The coarse grained tools often exhibited a shorten life time due to flaking.

Discussion on the V_B which had a reverse tendency in relation to the sorts of works and flaking mechanism was finely given.

(Received February 22, 1989)

I 緒 言

Al₂O₃ に SiC, SiC ウィスカおよび TiC をそれぞれ添加した黒セラミックス工具の切削性能を検討した著者らの結果^{1,2)} によると、各セラミックス工具はそれぞれ特徴ある性能を示し、耐逃げ面摩耗性は TiC 添加セラミックス工具が最も優れるなど、多くの知見を得ることができた。そこで本研究では、耐逃げ面摩耗性に優れた TiC 添加セラミックスに注目し、その粒度と切削性能との関係を明確にしようとした。それには粒度を変化させた3種の Al₂O₃-25 vol%TiC セラミックス工具を試料として用いた。

II 試料および実験方法

粒度約 0.3 μm の Al₂O₃ 粉末と粒度約 0.8 μm の TiC 粉末を原料とし、48 hr の湿式ボールミルにより、Al₂O₃-25 vol%TiC の混合粉末を作った。この混合粉末を乾燥後、カーボン型に充填し、Ar 気流中、20 MPa の圧力で1923, 2023および 2123 K の温度で各 3.6 ks ホット・プレスし、50×50×6 mm³ の板材を得た。ここでホット・プレス温度を変化させたのは、Al₂O₃ 結晶粒度の異なる試料を得るためである。結果的に Al₂O₃ 粒度が 0.8, 1.2, 1.8 μm と3通りに変化した試料を得た。このホット・プレス板材から、まず 3×4×35 mm³ および φ4×6 mm³ の試験片を切り出し、それぞれスパン 30

mm の抗折力 (σ_m) 試験および圧縮試験に供した。ビッカース硬さ (H_v) 測定や組織観察などにも供した。

最終的に、上記板材から ISO 規格, SNGN120408 (プレホーニング, 0.15 mm×-25°) の切削工具を調整し、铸铁 (FC35), ダクタイル铸铁 (FCD60) および焼入れした合金工具鋼 (SKD11) を各種の条件で切削し、切削性能におよぼすセラミックスの粒度 (組織), 機械的性質などの影響を詳しく検討した。切削試験に供した被削材の性質を Table 1 に示した。3種の被削材の中で、SKD11 の硬さや強度が最も大であることが分かる。

III 実験結果

Table 2 に3種の Al₂O₃-25 vol%TiC セラミックス試料の諸性質をホット・プレス温度との関係で示した。表中、Al₂O₃ 結晶粒度が 0.8 μm を微粒, 1.2 μm を中粒, 1.8 μm を粗粒と記した。これによると Al₂O₃ 粒度が微粒となる程、抗折力 (σ_m) や硬さ (H_v), 圧縮強さなどの機械的性質が優れることが分かる。Photo. 1 には3種のセラミックスを熱リン酸で 3 hr 食刻して得られた組織を示した。組織中、白色のコントラストを示す相が TiC で、灰色のコントラストを示す相が Al₂O₃ である。Photo. 1 によると、粗粒セラミックスは Al₂O₃ 粒度と共

* 昭和63年度本協会秋季大会にて発表, 平成元年2月22日受理。

** 東芝タンゴロイ(株), 〒235 横浜市磯子区新杉田町8。

*** 千葉工業大学工学部, 〒275 習志野市津田沼2-17-1。

Table 1 Compositions and mechanical properties of three sorts of works.

Work	Composition (mass %)							Tensile strength (MPa)	Hardness (H _B)
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	Fe		
Grey cast iron FC 35	3.0	2.4	—	—	—	—	Bal	340	230
Ductile cast iron FCD 60	3.5	2.8	0.4	—	—	—	Bal	700	240
Alloyed tool steel SKD 11	1.5	0.4	0.6	12.0	1.0	0.4	Bal	1600	650 (H _{RC} 60)

Table 2 Some properties of three sorts of Al₂O₃-25 vol%TiC ceramics specimens.

Specimen	Hot-pressing temp. (K)	Al ₂ O ₃ grain size (μ m)	T.R.S. (MPa)	Hardness (H _V)	Compressive strength (MPa)
Fine grained	1923	0.8	1250	1950	3250
Medium grained	2023	1.2	1100	1850	2800
Coarse grained	2123	1.8	800	1800	2500

T.R.S.; Transverse-rupture strength

に TiC の粒度も大となっていることが分かる。

Fig. 1 には 3 種のセラミックス工具を用いて, FC35 をそれぞれ (a) 150 m/min, (b) 300 m/min の速度で切削した時の逃げ面摩耗量 (V_B) と切削時間 (T) との関係を示した。切削速度の大小によらず T の増加と共に V_B が大となるのは当然であるが, 粗粒工具程 V_B は小となり, 例えば (b) の $v=300$ m/min の場合, 20 min の切削では粗粒工具の V_B は微粒工具の約2/3と優れる。Photo. 2 は 300 m/min で 20 min 間切削後の逃げ面摩耗の状況を示す。(a) の微粒工具では引っ掻かれたような摩耗面を示し V_B が大となるが, (b) の粗粒工具では比較的均一な

摩耗面を示している。なお, ここでは写真を省略したが中粒工具の摩耗状況は, 上述の (a) と (b) のほぼ中間を示す。

Fig. 2 は FCD60 を 150 m/min の速度で切削した時の V_B と T との関係を示した。同じ条件で切削した FC35 の場合 (Fig. 1(a)) と比べると明らかに V_B は大となるが, 工具の種類 (粒度) による耐摩耗性の差はほとんど認められない。

Fig. 3 は SKD11 を 150 m/min の速度で切削した時の V_B と T の関係を示す。FC35 の場合とは逆に微粒工具程 V_B は小となる。Photo. 3 には, 微粒工具と粗粒工

Photo. 1 Microstructures of Al₂O₃-25 vol%TiC specimens. (a) hot-pressed at 1923 K, (b) at 2023 K, (c) at 2123 K. Etched in H₃PO₄ hot-solution for 3 hr.

Fig. 1 Relation between flank wear (V_B) and cutting time. Work is FC35. The grain size of Al₂O₃-25 vol% TiC tool, varied. Refer to Table 1.

Photo. 2 The appearance of flank wear of ceramics tools after turning tests of FC35 for 20 min. Cutting conditions, same as Fig. 1 (b). (a)-fine, (b)-coarse grained.

Fig. 2 Relation between flank wear (V_B) and cutting time. Work is FCD60. Cutting conditions, indicated.

具でそれぞれ 5 min 切削した時の逃げ面摩耗の状態を示した。微粒工具の場合、FC 35 を切削した時 (Photo. 2 (a)) に比べると、はるかに滑らかな摩耗面を示している。ところで、SKD11 切削の場合は FC35 や FCD60 切削時には見られない工具すくい面の鱗片状剥離（以降、フレーキング*）を生じて寿命となるのが特徴的であった。Fig. 3 によると微粒工具は 20 min 間切削してもフレーキングは生じず、長寿命であるのに対し、粗粒工具は約 7 min の切削でフレーキングを生じることが示されている。Photo. 4 には、粗粒工具に生じたフレーキングの外

* 二つの物体が接触して相対的に動くと、接触部は繰り返し応力を受け、表面層は疲労破壊して剥離する。このような現象は、ころがり軸受などの分野で疲労摩耗またはフレーキングとよばれている⁹⁾。切削工具の場合、すくい面が破壊して剥離する現象があり、これを同じくフレーキングと呼んでいる⁴⁾⁵⁾。

Fig. 3 Relation between flank wear (V_B) and cutting time. Work is SKD11. Cutting conditions, indicated.

Photo. 3 The appearance of flank wear of ceramics tools after turning tests of SKD11 for 5 min. Cutting condition, same as Fig. 3. (a)-fine, (b)-coarse grained.

Photo. 4 An example of flaking (indicated by arrow) occurring parallel to the crater surface of coarse grained tool. Work is SKD11. (a)-crater surface (b)-flank surface.

観(矢印)を示した。プレホーニング部からすくい面にかけて、鱗片状に剝離していることがよく分かる。

IV 考 察

$\text{Al}_2\text{O}_3\text{-TiC}$ セラミックス工具の切削性能におよぼす粒度の影響を明らかにする目的で、粒度の異なる3種の工具を製作し、FC35、FCD60 および SKD11 を切削してその性能を調べた。その結果、FC35 切削における逃げ面摩耗量(V_B)は微粒工具よりも粗粒工具の方が小となり、SKD11 の場合は逆に粗粒工具程 V_B は大となり、しかもフレーキングで工具が寿命となる割合が大きくなった。また、FCD60 切削の場合は3種工具間の V_B に大差が認められなかった。以下、これらの現象について考える。

Photo. 5 には微粒工具と粗粒工具を用いて FC35 を 300 m/min の速度で 20 min 間切削した時の、プレホーニング面と逃げ面摩耗部の境界近傍の組織を示した。微粒工具の逃げ面には細い引っ掻き傷のような条痕が多数見られるのに対し、粗粒工具の場合は幅の広い引っ掻き傷が見られる。このような結果から、FC35 を切削する時の工具の摩耗機構は次のように考えられた。FC35 は片状黒鉛組織を有する脆い材料であるため、切屑は細かく分断され、粒子状切屑が生じる。そしてこの粒子状切屑中には硬質のセメント粒子が含まれている。そしてこのセメント粒子はホーニング面と逃げ面との境界部組織を破壊し、 Al_2O_3 や TiC 粒子を脱落させる。そうすると、この脱落粒子は被削材と工具逃げ面との間に入り込み、逃げ面を引っ掻き V_B を生じさせると考えられた。逃げ面に生じる引っ掻き傷の幅が、両工具の粒度によく対応することは Photo. 5 に示されている。ところで、 V_B は微粒工具でより大きくなったが、この理由は微粒工具の方が粗粒工具よりもホーニング部の組織がより多く破壊され、逃げ面を引っ掻く Al_2O_3 や TiC 数子数が多量であったためと思われる*。しかし微粒工具のホーニング部が、より破壊され易くなる定量的理由については検討が必要である。

Photo. 5 SEM micrographs of flank surface (V_B) near pre-honing (P_H) of fine and coarse grained tools, corresponding to Photo. 2.

* 切削時の発熱により刃先が変形するような場合は、一般に V_B が大となる。FC35 切削時における刃先の発熱は比較的小さいので、 V_B を生じる機構は一般の場合と相違し、本文で述べたようになっている。

FCD60 はパーライトのマトリックス中に球状黒鉛が分散し、その周囲をフェライトが囲んだ組織となっている。故に、フェライト組織に起因して工具の凝着摩耗は促進される⁷⁾。その上、FCD60 では黒鉛の球状化剤として Mg , Ca が用いられるので、それらの酸化物が僅かに含まれている。これら酸化物は Al_2O_3 と反応して低融点の化合物をつくり、工具の耐摩耗性を低下させるともいわれている⁸⁾。FCD60 の場合は、このように化学的反応が工具の耐摩耗性を支配するため、工具の粒度はそれほど影響しなかったと思われる。

一方、SKD11 は上述の FC35 や FCD60 に比べてはるかに硬く、高強度 (Table 1 参照) であるため切削抵抗が大きく、刃先温度の上昇がより大となる。故にこの場合は、軟質の粗粒工具では刃先の変形が起こり易くなり、また凝着摩耗も生じ易くなって V_B がより大になったと思われる。すなわち高強度で高硬度 ($\sim 1273\text{ K}$ の硬さも微粒工具が最大) の微粒工具の方が耐摩耗性に優れたと考えられた。勿論この場合は、FC35 切削で述べたようなホーニング部の破壊を生じないので、逃げ面に条痕は生じなかった。

次に SKD11 の切削時に生じるフレーキングを考えるが、セラミックス工具についてフレーキング現象を調べた報文は見当たらなかった。そこで $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-25 vol\%TiC}$ セラミックス工具 (当社製の LX21; 本研究の中粒工具に相当) を用いて、SKD11 を切削した時の切削抵抗と V_B との関係を調べ、結果を Fig. 4 に示した。ここで図は略したが、より低強度の FC35 や FCD60 切削時の切削抵抗は SKD11 の場合の約 $1/3 \sim 1/2$ と小さかった。さて Fig. 4 によると、 V_B が増加しても主分力はそれほど変わらないが、背分力と送り分力とは V_B が約 0.07 mm

Fig. 4 Relation between cutting force and flank wear (V_B). $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-25 vol\%TiC}$ ceramics tool commercially sold is used. Work is SKD11.

Photo. 6 The appearance of crack (indicated by arrow) of ceramics tool after turning test of SKD11. Refer to Fig. 4. K_T , P_H , V_B mean crater surface, pre-honing and flank surface, respectively.

以上で急増する。また V_B がほとんど生じない(切削初期)場合の切削抵抗の合力はすくい面に対して 42° と計算されるのに対し、 V_B が 0.14 mm の場合は 33° となった。このことは V_B が大きくなると、すくい面をせん断するように作用する切削抵抗の合力が生じ、フレーキングを誘発することを示す。いうまでもなく、この場合は刃先温度が上昇しているの、工具の強度はその分だけ低下している。

Fig. 4 において、 V_B が 0.14 mm の時点で切削を中止し、すくい面に対して垂直な組織を調べた結果を Photo. 6 に示した。すくい面に対して 30° のクラックがプレホーニング部から内部に向かって認められ、その角度は上述の計算値とほぼ一致した。さらに切削を継続すると、このクラックはフレーキングを起こさせるとわかれた。以上の結果によると、微粒工具は粗粒工具よりも V_B がより小(既述)となるために上記のせん断応力が減少し、一方では微粒工具の方が前述のように高強度のためにフレーキングが抑えられたと解された。

V 結 論

Al₂O₃-TiC セラミックス工具の切削性能におよぼす粒度の影響を明らかにする目的で、粒度の異なる 3 種の Al₂O₃-25 vol%TiC セラミックス工具を製作し、FC35、FCD60 および SKD11 を切削し、その切削性能を調べた。得られた結果は以下の通りであった。

- (1) FC35 切削における逃げ面摩耗量 (V_B) は微粒工具程大となり、FCD60 切削における V_B は 3 種工具ともほぼ同程度であった。一方、SKD11 切削の場合の V_B は微粒工具程小となり、FC35 の場合と逆の結果が得られた。
- (2) SKD11 の切削では粗粒工具程フレーキングを生じ易く、工具は短寿命であった。
- (3) 被削材の種類によって工具の V_B が逆転する理由や、フレーキング発生メカニズムなどについて考察した。

文 献

- 1) 勝村, 小林, 小堀, 鈴木: 粉体および粉末冶金, **35** (1988), 799.
- 2) 勝村, 満田, 小堀, 鈴木: 粉体および粉末冶金, **36** (1989), 65.
- 3) 日本金属学会: 金属便覧, 改訂 4 版(1982)556, 丸善.
- 4) (財)機械技術振興協会技術研究所: 加工技術データファイル, **1** (1976), 3.
- 5) 新谷, 藤村, 河端, 五十嵐, 鴻野, 柴田: 精密機械, **50** (1984), 1950.
- 6) 山田, 田中: 鋳物, **46** (1974), 955.
- 7) 鳴瀧, 間田: 精密工学会誌, **53** (1987), 589.

会 告

国際ステンレス鋼会議

期 日: 1991年(平成3年)6月10日(月)~13日(木)
場 所: 幕張メッセ(日本コンベンションセンター)
協 賛: 粉体粉末冶金協会他
連絡先: 詳細は下記までお願いいたします
〒100 千代田区大手町1-9-4 経団連会館 3 階
(社)日本鉄鋼協会 国際課 佐藤または金子
TEL03(279)6021

第28回原子力総合シンポジウム

後 援: 原子力委員会, 原子力安全委員会, 日本学術会議, 日本原子力研究所, 動力炉・核燃料開発事

業団, 日本原子力産業会議

日 時: 1990年2月5日(月)
会 場: 国立教育会館(千代田区霞が関3-2-3, TEL03-580-1251)
内 容: 特別講演 3 件および主調テーマ「I: 地球環境問題とエネルギー」「II: 原子力技術の波及と交流」
予稿集: (B5判オフセット印刷)を1月中旬に作製し、実費頒布する。(予価2,000円 千260円)
参加費: 一般2,000円, (非会員3,000円), 学生1,000円(当日受付)
連絡先: 〒105 港区新橋1-1-13 東新ビル
(社)日本原子力学会内
「原子力総合シンポジウム」
TEL03(508)1261 FAX 03(581)6128