

報 文

平面研削によるセラミックスの曲げ強さに与える影響

茨城職業訓練短期大学校 田代 治徳

Influences of Surface Grinding on Flexural Strength of Advanced Ceramics

Harunori Tashiro

要 約 セラミックスを各種用途に利用する場合、製作過程における焼成による収縮が問題となる。このため、形状の高精度化のためには、何等かの加工を施さざるをえないが、加工法の与える諸影響も無視できないと思われる。そこで、加工方法の一つである平面研削加工法により研削を加え、試験片の表面粗さの度合や加工痕跡を調べ、さらに、ピンボールの点在状態の調査も行い、これらの事項がセラミックスの曲げ強さにどのような影響を与えるのかを考察した。

- (1) 表面粗さ（最大高さ R_{max} ）の度合は、ある一定の値（材料によって異なると推察される）までの場合は曲げ強さに影響をおよぼさないと考えられる。
- (2) 加工表面に存在するピンボールは、曲げ強さ、および、破断に影響を及ぼさないと考えられる。
- (3) 研削方向や砥石粒度の違いは、材料の種類によっては、曲げ強さに大きく影響すると考えられる。
- (4) 内部に存在するピンボールは、その破断の方向性や曲げ強さに影響を与えると考えられる。
- (5) SIC（常圧焼結）は研削方向、砥石粒度の影響を非常に受け易い材料と思われる。

I 緒言

セラミックスは構造材、機能材、あるいは超伝導材料へとその用途は大きな広がりを見せている。しかし、ここで問題となる点がセラミックスの製作過程における焼成による収縮であり、直線比で28%もの収縮率を示す場合もある。このため、形状の高精度化が求められている現在、ある程度誤差を含んだ焼成品には何等かの加工を施さざるをえないが、加工法の与える諸影響も無視できないと思われる。そこで、整形のために用いられる一般的なセラミックスの加工方法と考えられる平面研削加工法により、曲げ試験片の長手方向及び直角方向に研削を加え、試験片の表面粗さの度合や加工痕跡を調べた。さらに、焼成時に生成されると考えられるピンボールの点在状態の調査を行い、これらの事項がセラミックスの曲げ強さにどのような影響を与えるのかを考察したので報告する。

II 試験方法及び結果

1 試験片の準備

以下に述べる材料、平面研削盤、砥石を使用し、他の文献^{(1),(2)}との比較も考慮して「ファインセラミックスの曲げ強さ試験方法（JIS R1601）」（図1）に従って試験片を作成した。研削の要領は、表1のとおりで、個々に研削の方向性を持たせるため、試験片の長手方向に研削したもの、及び、直角方向に研削したものをそれぞれ作成した。但し、表面粗さの曲げ強さへの影響を考察することが本研究の主旨であるため、粗さ規定の0.8Sには従わなかった。

(1) 材料

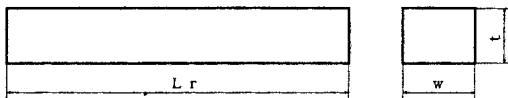
- ・サイズ : 4T×5W×40L
- ・種類 : 常圧焼結 SIC 140本
部分安定化 ZrO₂ 40本
常圧焼結 Al₂O₃ 24本

(2) 平面研削盤：岡本 RSG-63AN

- (3) 砥石
- ・砥粒の種類 : ダイヤモンド
 - ・砥石幅 : 10mm
 - ・砥石径 : 300mm
 - ・ダイヤ層厚み : 3mm
 - ・粒度 : #230、#600、#1000
 - ・結合剤 : レジン (#230、#600)
メタル (#1000)

砥石は、表面粗さに顕著な差を作るため、幅のある3段階の粒度のものを使用した。

また、チャッキングは、鉄ブロック上にエレクトロンワックスで試験片を固定し、研削液には水を使用した。また、研削終了ごとにアルミナスティックとブレーキ付きツルーイング装置で砥石の形状維持につとめた。



全長 Lr : 36mm 以上
幅 w : 4.0 ± 0.1mm
厚さ t : 3.0 ± 0.1mm
ただし、上下面の平行度は、0.02mm以下とする。

図1 JIS 1601による曲げ試験片の寸法

表1 平面研削盤による各緒元別研削要領

緒元		荒削り	仕上げ
削り量 (mm)		0.86	0.14
切り込み量 (μm / 1回)		15	3
送り	P (s / 1回)	1	1
	T (mm / 1回)	0.7	0.4

2 試験方法及び結果

表面粗さ試験機(東京精密 SURFCOM E-MD-S 394)を使用し、基準長さを0.8mm(中央)、測定場所は表裏計6ヶ所、測定項目をRmaxのみとして、各試験片をμm単位で表面粗さを測定した。

曲げ強さの試験は、試験機に INSTRON 1185を、また、折れた試験片の破片が飛び散らないこと、およ

び、「ファインセラミックスの曲げ強さ試験方法」(JIS R1601)に従った、2点支持、中央1点荷重の3点曲げ(図2)を行うための専用治具を用い、試験片が破壊したときの最大荷重を測定した。その結果を用い、JISに示された次式によって曲げ強さを計算した。⁽³⁾

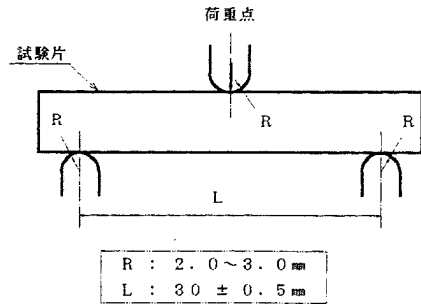


図2 JIS 1601による3点曲げ治具の設定寸法

$$\sigma = \frac{3PL}{2Wt^2}$$

σ : 3点曲げ強さ (Kgf/mm²)

P : 試験片が破壊したときの最大加重(Kgf)

L : 下部支点間距離 (mm)

W : 試験片の幅 (mm)

t : 試験片の厚さ (mm)

各試験片の表面粗さと曲げ強さの平均値を表2にまとめたとめた。

表2 砥石粒度および研削方向別

曲げ強さ(kgf/mm)、表面粗さ(μm)比較

	材料	SiC			ZrO ₂		Al ₂ O ₃	
		230番	600番	1000番	230番	230番		
強さ	(1)長手方向に研削	39.1	58.9	62.7	121.9	27.5		
	(2)長手方向に研削	14.4	26.0	24.8	111.6	19.7		
	(Max)	22.2	32.7	38.8	129.0	21.3		
	(Min)	8.3	17.9	13.2	91.3	15.8		
	低下率(%)	75.6	55.9	60.4	8.4	28.4		
粗さ	(1)R _a 長手方向	0.21	0.12	0.12	0.31	0.59		
	(2) 直角方向	0.38	0.26	0.22	0.43	0.62		
	標準(2)/(1)	1.81	2.17	1.83	1.39	1.05		
	(1)R _{max} 長手方向	1.51	1.14	0.23	0.76	4.40		
	(2) 直角方向	2.18	1.85	0.82	2.79	4.49		
標準(2)/(1)	1.44	1.62	3.57	3.67	1.02			

次に、加工痕跡及びピンホール（図3）がどの様に破断に対して影響を与えているかを考察するために、破断前後の表面及び破断面の観察を行なった。この観察は、走査型電子顕微鏡（エリオニクスESM-3200）及び、付属のポラロイド写真機を用いて、各試験片について行った。

まず、50倍率にて破断前後の表面状態を比較し、加工痕跡やピンホールと破断線との関係を観察した結果、以下のことが明かになった。

- (1) 試験片表面上に存在するピンホールは、破壊時に走る加工表面上の破断線に、影響を及ぼしていなかった。（図4）
- (2) 加工痕跡については、（図5）
 - a) 曲げ強さの急激な低下を示した粒度230のSiC試験片では、破断線がほぼ研削痕と同様に走っていた。
 - b) ジルコニアやアルミナでは、破断に影響を及ぼしていなかった。
 - c) ジルコニアの加工表面には顕著な研削痕が存在した。

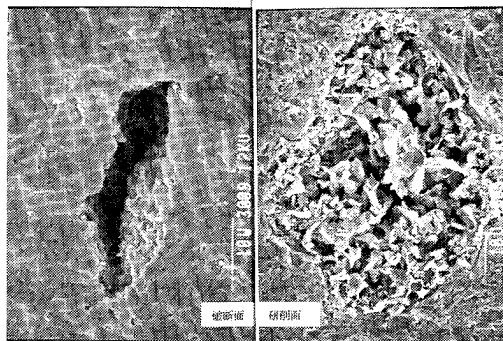


図3 SiCの破断面上および研削面上におけるピンホール存在状態の例

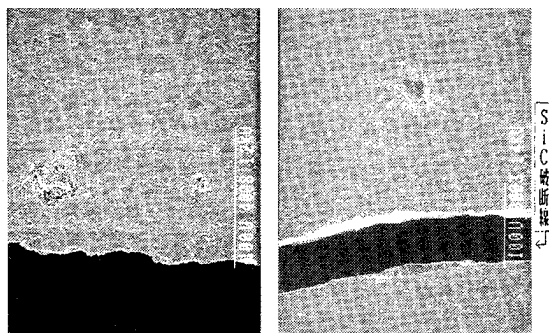


図4 SiCの破断面上における破断線とピンホールの位置関係

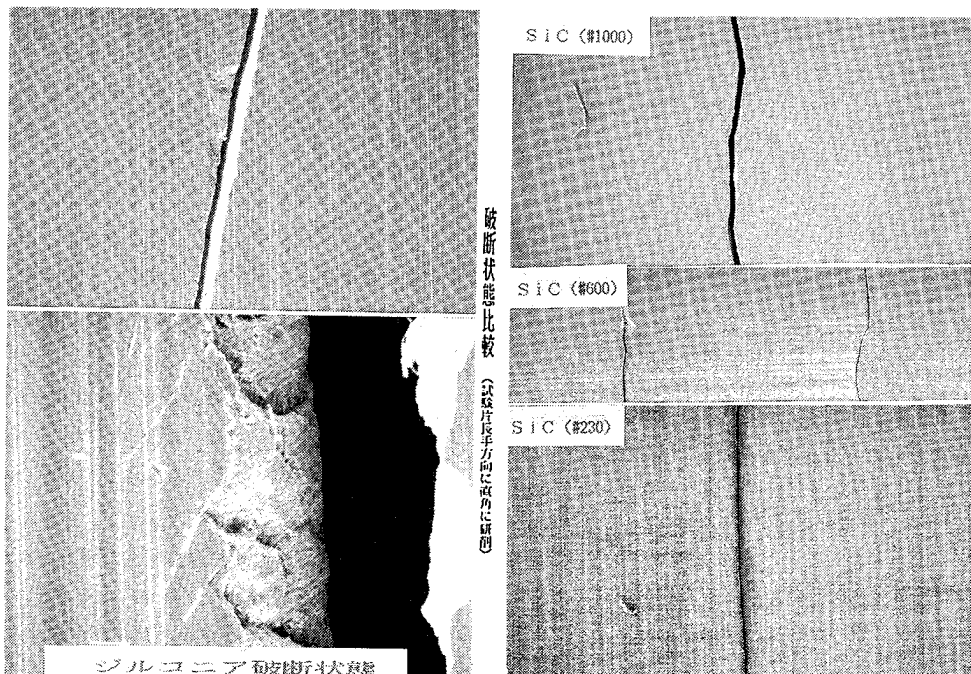


図5 SiC、ジルコニアにおける破断状態

また、500~800倍率にて、研削表面や破断面上に点在するピンホール数を調査し(最長径20 μ m以上)、表3の結果が得られた。これらの結果は以下のようにまとめられる。

表3 SICの破断面上および研削面上におけるピンホール数の平均(単位:個)

研削表面	7		
破断面上	全平均	曲げ強さ	
		Max	Min
	13	17	12

- (1) 点在するピンホール数は、表面上よりも破断面上の方が約2倍程度多かった。
- (2) 曲げ強さで最大の強さを示した試料は、最小のものよりピンホールの方が多かった。
- (3) アルミナは、微少なホールが非常に多く観察され、カウントすることが不可能であった。(図6)
- (4) ジルコニアは粒子が非常に細かく、また、加工痕が顕著であって、研削表面上、破断面上ともに認識され得るピンホールは存在しなかった。

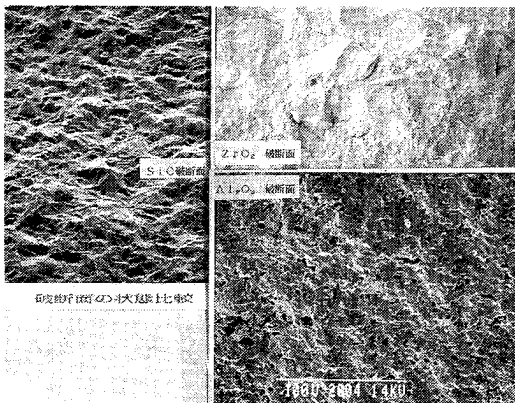


図6 各材料における破断面の状態比較

最後に、試験片の破断状況を目視により観察した結果、曲げ強さ試験の結果が小さいものより大きいものの方が、破壊後の破片の数が非常に多いという傾向にあり(図7)破断の方向性も一様でなく、また割れ方が数個以上になるものが多いことが明らかになった。

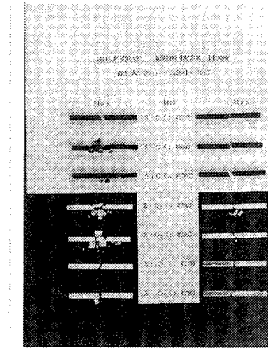


図7 曲げ強さ試験後の各材料破断状態比較(曲げ強さ Max) 対(曲げ強さ Min)

III. 考察

SICの試料において、ラップ加工品を1とし、長手方向へ研削した各粒度における試験片の、表面粗さ及び曲げ強さの比較値を表4に示す。

表面粗さの点で相当の差があるにもかかわらず曲げ強さは、粒度に関係なくほぼ一定である。

表4 SICにおけるラップ加工を1とした各粒度別表面粗さ、曲げ強さ比較

加工法		表面粗さ	曲げ強さ
ラップ		1	1
研	#230	6.6	1.113
	#600	5.0	1.109
	#1000	3.2	1.181

また、図8、図9より、SIC試料では、各研削方向の違う試料において、表面粗さの点では、粒度の増加に伴い、双方ともほぼ同様の増加傾向を示しているが、曲げ強さの点では、直角方向へ研削した試験片は、粒度230で急激な低下を示すのに対し、長手方向のものでは、粒度に関係なくほとんど変化していない。また、長手方向のものより粗さが小さくてもその強さは半分以下である。

材質の異なる試験片において、粒度230の砥石で研削した試料については、研削方向の違いによる表面粗さの増加は、各材料によって非常に異なる。これは、研削表面の状態観察結果と一致する。しかし、曲げ強さの点ではSICは粗さの増加割合に比較してその減少度が大きく、ジルコニアは粗さの違いは大

きいが、ほぼ同じ値を示し、アルミナは表面粗さは同程度であるが曲げ強さは若干低下する。

以上の結果によって、Rmaxがこの程度の範囲の

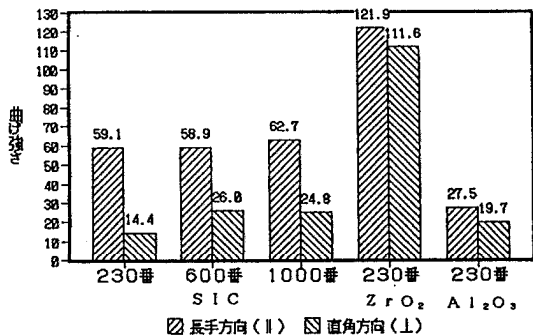


図8 各材料の研削方向の違いにおける曲げ強さ (単位: kgf/mm)

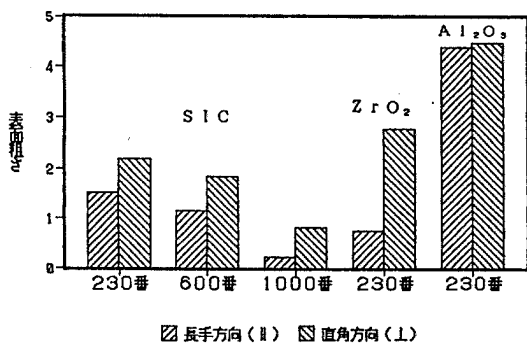


図9 各材料の研削方向の違いにおけるRmax (単位: μm)

場合、表面粗さの影響は、ほとんど無いようだが皆無とは言いきれず、一定の値を越えることにより曲げ強さを急激に低下させる要因になると考えられる。また、材料の種類によっては、表面粗さの違いよりもその研削方向が曲げ強さに大きく影響を与えられられる。

SIC 試料の曲げ強さが研削方向や砥石粒度に大きく依存する理由は、以下のように考えられる。すなわち、各試験片の観察結果からも明らかなように、SIC 試料の場合には、加工時に発生すると思われるクラックは、仕上げ研削を施しても除去されないためと考えられる。

また、表面上よりも材料組織内部に存在するピンホールが、破断の方向性を決定する重要な要素であることが考えられる。従って、適度なピンホールの存在は、曲げ強さを増大させる要因になっていることが考えられる。

IV 結言

セラミックスの平面研削加工、および、焼成時に生成されるピンホールが、その曲げ強さに与える諸影響について検討を行った結果は、以下のようにまとめられる。

- (1) 表面粗さ(最大高さRmax)の度合は、ある一定の値(材料によって異なる)と推察される)までの場合は曲げ強さに影響を及ぼさないと考えられる。
- (2) 加工表面上に存在するピンホールは、曲げ強さ、および、破断に影響を及ぼさないと考えられる。
- (3) 研削方向や砥石粒度の違いは、材料の種類によっては、曲げ強さに大きく影響すると考えられる。
- (4) 内部に存在するピンホールは、その破断の方向性や曲げ強さに影響を与えられられる。
- (5) SIC(常圧焼結)の試料は研削方向、砥石粒度の影響を非常に受け易い材料と思われる。

(注)

- (1) 今中 治:セラミックス加工ハンドブック 日刊工業新聞社 1987年、P40~53、
- (2) 鈴木 節男:難加工材の切削・研削・ドリル加工 海文堂 1990年、P66~71、
- (3) JIS R1601