

整形砥粒によるポリシング加工に関する研究

田戸 保*・米澤 俊昭*・榎下 裕美**

Study on Polishing by Blocky Diamond Abrasive Grain

Tamotsu TADO*, Toshiaki YONEZAWA* and
Hiromi ENOSHITA**

Abstract

The polishing experiments were conducted on the blocky diamond abrasive grain at the sintered carbide and zirconia ceramics. The abrasive grain used the diamond of $50\mu\text{m}$ size.

The main results are as follows:

1. By the big selected diamond grain($50\mu\text{m}$), the mirror finished surface was made as well as that of the little diamond grain($1\sim 3\mu\text{m}$).
2. At zirconia ceramics and sintered carbide, the minimum value of surface roughness is affected little by the polishing pressure. But, the polishing time required until the minimum surface roughness was varied by the polishing pressure at the sintered carbide. It is assumed that the reason is the difference of the structure for the work materials.
3. It was found with the count of scratching groove that the small projection parts of finishing surface was removed by the abrasive grains at polishing process.

KEY WORD : Polishing, Diamond grain, Surface roughness, Ceramics, Sintered carbide

1. まえがき

一般に精密仕上げ加工の方法として、ラッピングやポリシング加工があり、各分野で最終仕上げの加工方法として採用されている。特に近年の産業界の発展に伴い高精度・高精度・高品位が要求され、より高度な仕上げ面性状の確保が必要となっている。今後ますます高度な精密仕上げ加工法としてラッピングやポリシング加工が採用されると共に加工技術の向上が要望されるものと考え

る。一般に加工条件の設定においては、従来からの経験による類推により行われることが多く、砥粒径を徐々に小さくする方法で研磨仕上げ加工が行われている。しかしながら前報¹⁾で示したように一般に研磨剤中の砥粒形状は、一定したものではなく種々の形状の砥粒が含まれており、仕上げ加工においてシャープな形状の砥粒による引っかき痕が生じ、表面粗さ値を低下させる原因となっている。このように研磨剤の砥粒形状の影響や被削材との関係など基本的な検討が必要であると考え、

そこで本研究では、ナノメータ領域における精密仕上げ加工の基礎実験として、研磨加工における砥粒による機械的な除去機構について調べるために大きさを一定に

* 宇部工業高等専門学校制御情報工学科

** 山口大学工学部機械工学科

精選した均一な形状のダイヤモンド砥粒を用いてポリシング加工をセラミックスおよび超硬合金に対して行い、研磨圧力や研磨時間の変化に対しての影響を研磨面の表面粗さや表面形状及び生成機構等について検討を行った。

2. 実験方法、実験装置及び使用機器

ポリシング加工法として、本実験では図1に示すように回転円板（直径200mm）にポリウレタンシート（不織布）を接着し、シート上部面にダイヤモンド砥粒を均一に塗布し、被削材を上部から垂直に一定荷重で押し付ける方法で行った。本機械は回転速度、振幅、加圧の変化が可能であるが、回転速度：一定、振幅：固定で行った。

被削材は、超硬合金（K20）及び部分安定化ジルコニア（ ZrO_2 （Y-PSZ））を20.0（L）×17.0（W）×5.5（T）（mm）の形状に整形して使用した。前処理面は初期条件を一定とするためにダイヤモンド砥粒（粒径9 μ m）で、10分間ラッピング仕上げ加工を行った被削材（表面粗さ430～470nmRz）を実験に使用した。特に、研磨条件を一定とするために被削材の平行度には十分な注意を払った。

表1は、ポリシング加工条件を示したものであるが、ポリシング平均速度は100m/minの一定で、加工圧力は5.8KPa、14.4KPa、28.8KPaの3種類で行った。精密仕上げ用の研磨剤としてのダイヤモンド砥粒は、一般に粒径が1～3 μ mが使用されるが、本実験では仕上げ面と加工圧力の影響を調べることを目的として、形状の整った粒径50 μ mの大きなダイヤモンド砥粒を使用した。加工方法は初期研磨方向と直角方向で行

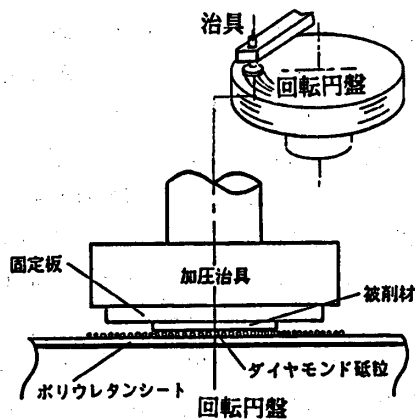


図1 研磨実験装置の概要

い、潤滑液の供給方法は滴下方式を採用した。図2は、本実験に使用したダイヤモンド砥粒の走査型電子顕微鏡写真であるが、形状の整っていることがわかる。

使用機器については、一部改良したラッピング盤（ケントマーク3型、(株)日本エンギス）を使用し、加工表面及びダイヤモンド砥粒等の観察には、走査型電子顕微鏡（S-2300、(株)日立製作所）を用いた。加工表面の形状については触針式表面粗さ計（サーフコム740A、(株)東京精密）により測定を行った。

3. 整形砥粒による研磨機構

一般に鏡面仕上げ加工としてラッピングやポリシング加工が採用されており、研磨方法としてメッシュ番号を順々に上げる、すなわち砥粒径を粗粒から細粒へと小さくする方法で行われている。しかしながら砥粒形状は前報1に示したように一定したものではなく、角が鋭く尖った形状や半円形、クサビ状など種々の形状がある。また1個1個の砥粒表面には凹凸、破碎、気孔と複雑な形状を示している。このため粒度が一定であっても砥粒による深い引っかき痕の発生を避けることは困難である。特に高硬度で破碎性の少ない砥粒では、研磨面に与える影

表1 ポリシング加工方法及び実験条件

加工方法	被削材	ZrO ₂ （Y-PSZ） 超硬合金（K種） 形状：20(L)×17(W)×5(T)
	ポリシングシート	ポリウレタン不織布 (φ200)
	砥粒	ダイヤモンド（#320）
実験条件	ポリシング速度	108m/min
	ポリシング圧力	5.8, 14.4, 28.8 KPa
	供給方法	潤滑液滴下方式

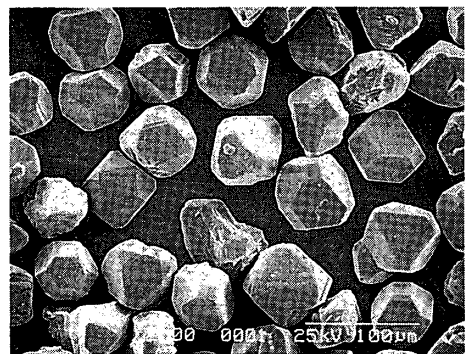


図2 ダイヤモンド砥粒（#320）

響は著しく面粗さの低下を起す原因となるものと考えられる。均一な形状の砥粒（正多面体に近い砥粒形状）により加工面の山の部分（凸部）を除去することが可能であれば、図3に示すように幾何学的に砥粒径の影響を受けにくいことが推察できる。また砥粒径が大きくても研磨圧力を選択することにより、面粗さ値の低い一定した加工表面粗さを得ることが可能であると考えられる。

このように加工面での深い引っかき痕等の発生を少なくするには、正多面体に近い形状の砥粒を使用する方法が考えられる。本実験では、この考えに基づき図2に示すように均一な形状の大粒径（ $50\ \mu\text{m}$ ）のダイヤモンド砥粒を使用し、研磨仕上げ加工の実験により考察を行った。

4. 実験結果及び考察

4.1 研磨加工面粗さの変化

図4は、被削材として超硬合金（K20）を使用した場合の研磨圧力の変化に対する加工表面粗さの変化を研磨時間に対して示したものである。各圧力とも約15分の時間で良好な仕上げ面粗さ（ $200\ \text{nm Rz}$ ）となり、その後は研磨時間の経過と共に微減少し、約 $150\ \text{nm Rz}$ 以下となっている。しかし、研磨圧力（以下圧力という） $28.8\ \text{KPa}$ では研磨時間60分で最小の表面粗さ値を示すが、その後は増加傾向を示している。実験範囲内では、圧力 $5.8\ \text{KPa}$ 、 $14.4\ \text{KPa}$ に最小値は見られなかった。表面粗さ値は低い圧力 $5.8\ \text{KPa}$ の場合が最も良い結果を示し、圧力の増加により面粗さは悪くなっている。

図5はジルコニアセラミックスを被削材として圧力を変化させた場合の研磨時間と加工表面粗さとの関係を示したものである。各圧力とも短時間で面粗さ値（約 $200\ \text{nm Rz}$ ）は減少し、その後は徐々に減少して最小値（約 $70\ \text{nm Rz}$ ）に近づいている。圧力 $14.4\ \text{KPa}$ と $28.8\ \text{KPa}$ では最小値を示す粗さ値が見られるが、 $5.8\ \text{KPa}$ では摩擦時間に伴って粗さ値は減少傾向を示している。しかし、圧力 $28.8\ \text{KPa}$ の場合が最も早く研磨面粗さ値が小さくなり、超硬合金の場合と全く逆の傾向を示している。このように被削材の違いにより圧力の影響が研磨状態に違いを与えることがわかる。しかし各材料とも圧力の違いにより面粗さの最小値に到達する時間は異なるが、最小値は各圧力ともほぼ一定である。このことから圧力の変化は、粗さの最小値に到達するまでの時間の差異には影響を与えるが、粗さ最小値そのもの

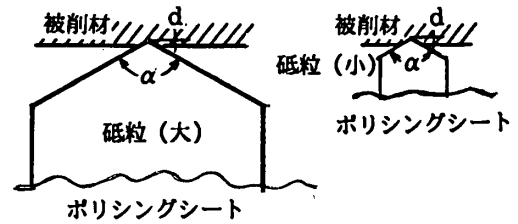


図3 整形砥粒による研磨モデル

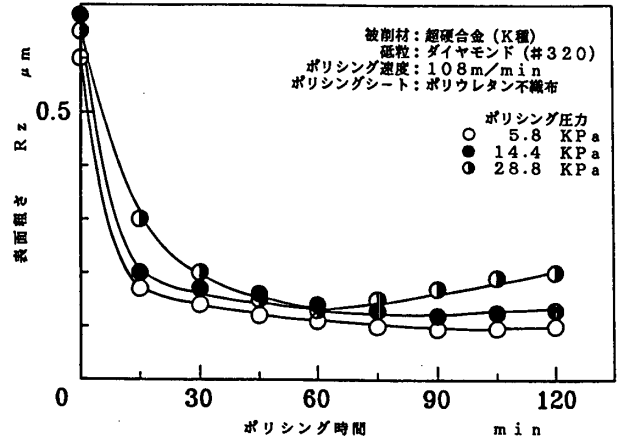


図4 ポリシング時間と表面粗さとの関係 (超硬合金の場合)

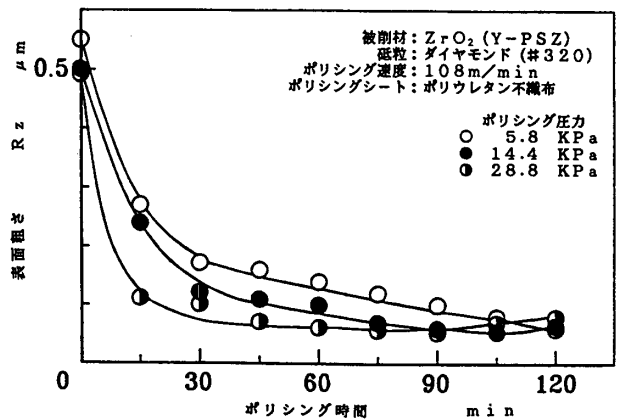


図5 ポリシング時間と表面粗さとの関係 (ジルコニアセラミックスの場合)

のは同値であり、研磨圧力による面粗さへの影響は非常に少ないと言える。

両被削材とも脆性材料であるが、組織構造の違いから最小の面粗さ値の差や圧力の差異による最小値に到達する時間の違いが生じるものと考えられる。特に超硬合金ではコバルト（Co）が含まれており、セラミックスに比較して塑性変形が生じやすい部分の存在が考えられる。

図6 (a), (b) は、超硬合金とセラミックス材の研磨面の表面粗さ形状の変移を研磨時間毎に示したものである。両材料とも研磨初期の数分間で急激に面粗さが良くなることがわかる。図6 (a) の超硬合金の場合 (研磨圧力: 5.8 kPa) , 研磨時間15分で研磨面の凸部がほとんど除去され、初期面の粗さ値の約 $1/4$ 程度になっている。その後は微小な除去作用によりわずかに面粗さ減少している。またうねりも同様に減少傾向となっている。研磨圧力の違いによって各研磨時間における研磨面の粗さ値及び形状は異なるが、各研磨圧力とも研磨初期において面粗さは急激に良くなっている。

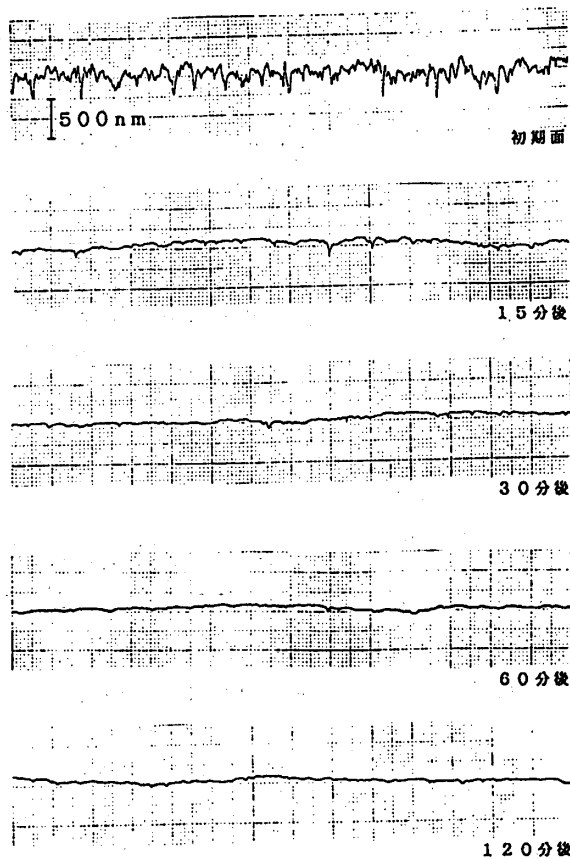
図6 (b) のジルコニアセラミックス材についても超硬合金の場合と同様に研磨面粗さ値は、研磨初期において大きく減少している。研磨時間の経過に伴って摩擦面は平滑化するが、高い圧力 (例えば 28.8 kPa) では最低値が存在し、それ以降は新たな摩擦傷が発生し面粗さ

の低下が見られる。前述したように超硬合金では低い摩擦圧力側で、セラミックスでは高い圧力側で能率の良い研磨加工が行われることがわかる。

このように一定形状の均一な砥粒を使用して研磨することにより加工面の凸部が研磨除去されることがわかる。ここに示された研磨面粗さ値は、一般に使用されている研磨剤の砥粒径が $3 \mu\text{m}$ 程度で研磨仕上げを行った場合と同程度の表面粗さ値である。このことは、本実験のように $50 \mu\text{m}$ と非常に大きい砥粒径であっても正多面体に近い均一な形状の砥粒を使用することにより、良好な加工面粗さを得ることが可能であることがわかった。

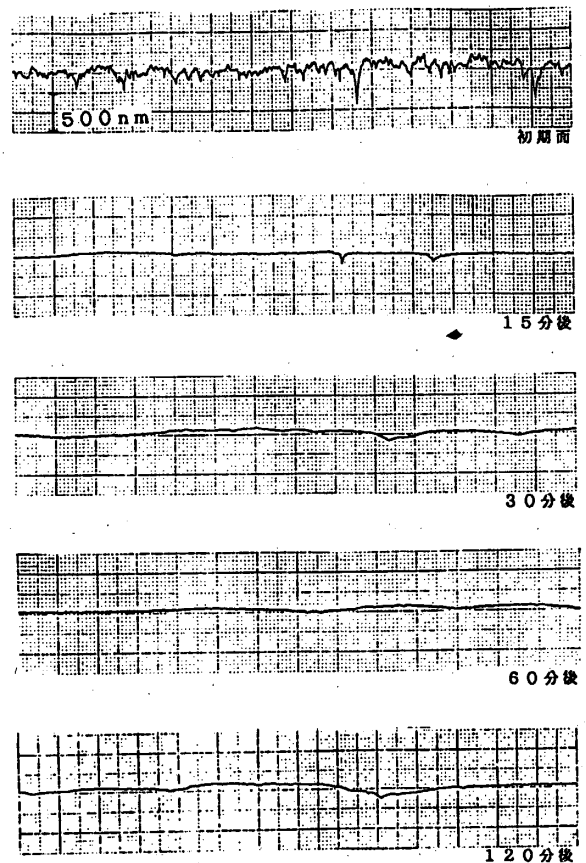
4. 2 粗さ波形の形状変化

粗さ曲線には、図6に示すように微小な粗さ波形のうち深い谷部が多く観察される。粗さ表示 (Rz) では、これらの値を含んでいることから加工条件の変化による



被削材: 超硬合金, 砥粒: ダイヤモンド (#320)
研磨速度: 108 m/min , 研磨圧力: 5.8 kPa

図6 (a) 加工表面粗さ形状の変移



被削材: $\text{ZrO}_2(\text{Y-PSZ})$, 砥粒: ダイヤモンド (#320)
研磨速度: 108 m/min , 研磨圧力: 28.8 kPa

図6 (b) 加工表面粗さ形状の変移

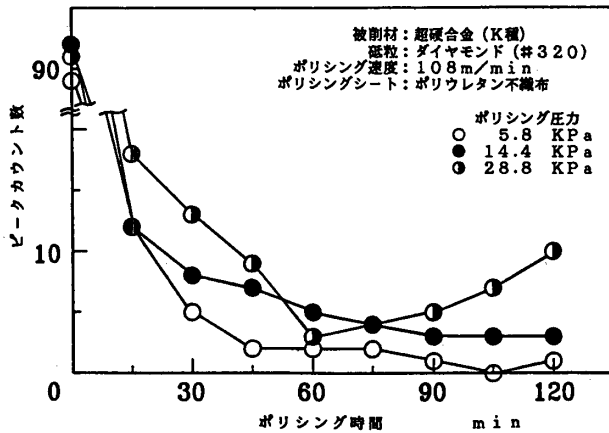


図7 ポリシング時間とピークカウント数との関係 (超硬合金の場合)

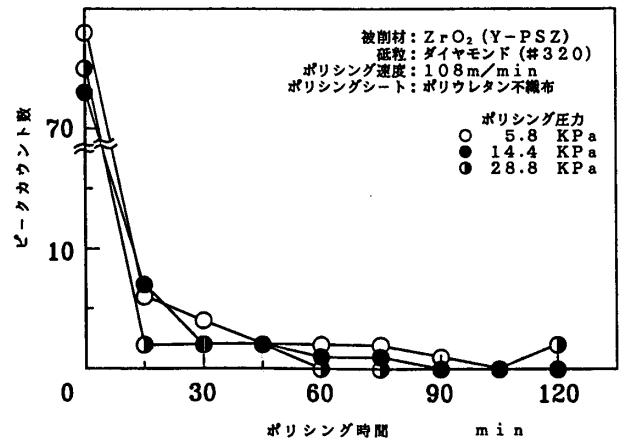


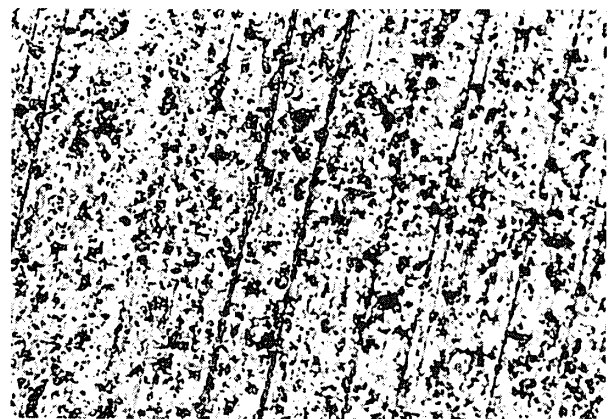
図8 ポリシング時間とピークカウント数との関係 (ジルコニアセラミックスの場合)

影響を詳細に比較検討することは困難であり、さらに研磨による除去過程を調べる上では大きな意味を持たないと考える。本実験では深い谷部の波形に注目して、加工条件とその波形形状の変化について比較した。粗さ曲線の中心線より50nmより以上の深い凹部の数(ピークカウント)を調べた。ピークカウント数の変化により引っかき痕の発生数や凸部(山部)の除去過程を調べた。図7は超硬合金の場合のピークカウント数の変化を研磨時間に対して調べたものである。各圧力とも短時間で急激なピークカウント数の減少が見られる。圧力5.8KPaでは、研磨時間15分以後徐々に減少し、ピークカウント数が0値(50nm以下)になっている。圧力14.4KPaの場合においても同様な傾向が見られた。

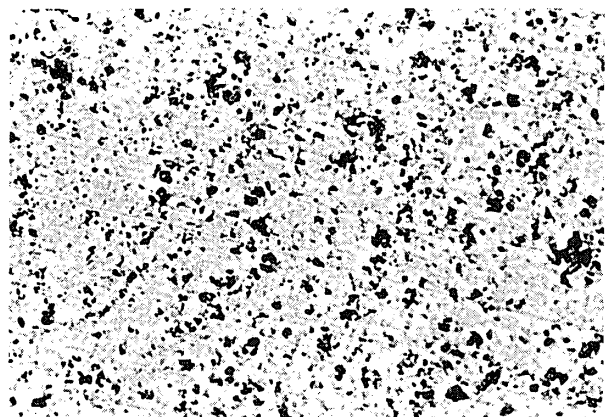
しかし、圧力28.8KPaでは摩擦時間60分前後で最低値を示し、それ以後は増加傾向を示している。この現象は研磨圧力が高いために研磨面に再び引っかき等による傷を発生させることが原因していると考えられる。図7より超硬合金では、低圧での研磨が深い傷の発生が少なく、研磨時間に対するピークカウント数の減少割合も大きくなっている。

図8は、ジルコニアセラミックスの場合のピークカウント数の変化を示したものである。各研磨圧力とも超硬合金の場合よりも短時間(15分前後)で急激なピークカウント数の減少が見られる。それ以後は時間の経過に伴ってわずかな減少を示し、各摩擦圧力ともほぼ一定値になっており、超硬合金の場合のように摩擦圧力による影響は見られなかった。

図9は、超硬合金を研磨圧力5.8KPaで加工を

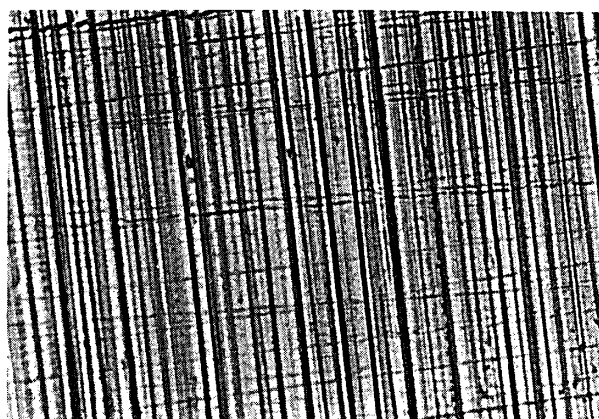


加工前

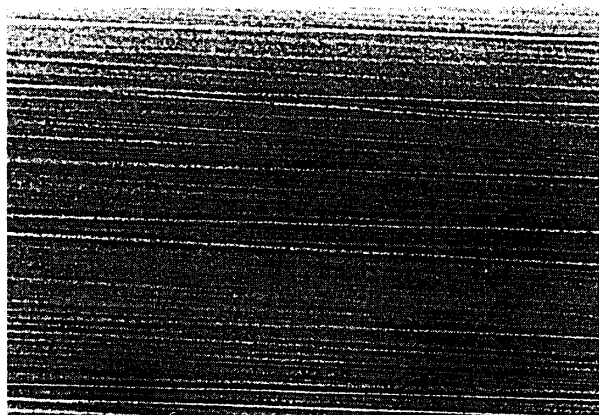


加工後

図9 研磨前後の加工表面(超硬合金)



加工前



加工後

図10 研磨前後の加工表面 (ZrO₂)

行った場合の加工表面状態を示したものである。初期面にはダイヤモンド砥粒による引っかき条痕が見られるが、研磨後(120分)には非常に浅い傷が見られる程度であり、良好な研磨面(150nmRz)となっている。図中の黒点は粉末焼結材に見られる巣である。図10はジルコニアセラミックスを研磨圧力14.4KPaで加工を行った場合の加工表面であるが、超硬合金と同様に鏡面仕上げが行われていることがわかる。研磨後の粗さ値は70nmRzであり、図中に見られる研磨溝は非常に浅いものである。

4. 結 論

形状の一定した均一なダイヤモンド砥粒を用いて、超硬合金及びジルコニアセラミックスのポリシング加工を行い、摩擦圧力と加工表面粗さとの関係及び研磨機構について調べた。主な実験結果は以下の通りである。

- (1) 大粒径(50 μ m)のダイヤモンド砥粒においても精選した砥粒を使用することにより、鏡面仕上げ加工が可能であることがわかった。その面粗さ値は、一般の研磨剤で使用する3 μ m以下の砥粒径で研磨加工を行った場合に相当し、良好な面である。
- (2) 研磨面の粗さ値(最小値)は、ジルコニアセラミックス及び超硬合金とも研磨圧力の影響をほとんど受けないことがわかった。しかし、超硬合金では研磨圧力の違いにより最小粗さ値に到達する研磨時間に差異が見られた。この原因は材料の組織構造の違いが影響しているものと考えられる。
- (3) ピークカウント数(谷部:深い引っかき痕)の変化を調べることで、研磨による除去過程が山部(凸部)からの選択加工であることがわかった。

5. 参考文献

- 1) 田戸・米澤・榎下: ジルコニアセラミックスのラッピング加工に関する研究・宇部工業高等専門学校研究報告, 第39号, P47(1993-3)
- 2) 河西: ラッピング・ポリシングの基礎と応用-1・機械と工具, 第36-4, P133(1992-4)
- 2) 井田・新井・鈴木: 半導体結晶のポリシング加工に関する研究(第4報)・精密機械, 第29-7, P23(1963-7)
- 3) 松永: ラッピングに関する研究(第1報)・精密機械, 第19-12, P26(1953-12)
- 4) 佐藤: ラップ剤の切削作用について(第1報)・精密機械, 第14-14, P10(1949-9)
- 5) 砥粒加工技術便覧: 砥粒加工研究会編, 日刊工業新聞社(初版), P900

(平成6年9月20日受理)