

# 汎用工作機械による超硬合金の鏡面加工トライアル

岩本竜一\*, 栗毛野裕太\*, 市来浩一\*\*

## Mirror Surface Processing Trial of Cemented Carbide Using General Machining Tools

Ryuichi IWAMOTO, Yuta KURIGENO and Koichi ICHIKI

超硬合金は、金型や工具の材料として広く用いられている。超硬合金の鏡面加工は、一般的に職人による手仕上げなど多くの工数が必要なため、高品位でより早くより安価な加工方法が求められている。このため、県内に広く普及している汎用工作機械による超硬合金の鏡面加工トライアルを行った。その結果、汎用旋盤による切削加工は荒加工に適用可能であった。また、平面研削盤による加工は、入念に砥石バランスを取ることで鏡面を得ることができた。なお、マシニングセンタによる加工では、表面粗さの異方性の観点から磨き工程を省略できなかった。

**Keyword :** Cemented Carbide, General Machining Tools, Surface Roughness, Cutting Forces, Thrust

### 1. 諸言

超硬合金<sup>1)</sup>は、硬質相のタングステンカーバイドとコバルト等の金属相からなる焼結体である。超硬合金の最大の特徴は、高い高温強度と耐反応性であり、その優れた材料特性から、土木工事や鉱山で使用されているロックビット等の建設工具、鉄鋼の圧延に使用されるロール等の耐摩耗工具、自動車部品の加工などに用いられる切削工具、プレス・絞り・打ち抜き金型のほか一般機械用の金型などをメインとして広く用いられている。特に本県では、切削工具材料および金型材料として製品の加工を行っている中小企業が多くある。

しかしながら、超硬合金は非常に硬く脆い材料であるために、その加工方法が放電加工もしくは研削加工に限定される。さらに、研削加工で仕上げ精度が不足する場合、職人による最終手仕上げ工程（磨き工程）により鏡面を得るのが一般的な方法であり、多くの加工工数を要している。

超硬合金の加工において、放電加工は荒加工として適用されることが多いが、アーク放電によるクラックや放電白層と言われる脆い加工変質層（数 100 μm 程度）が表面付近に生成されることが避けられないため、これを除去しなければ製品としての性能・機能を発揮できない。加工変質層の除去が不十分な場合、製品の強度が低下するなど致命的な欠陥となるため、必要量より大きめの取り代を設定し、研削加工により除去せざるを得ないのが現状である。しかし、一般に、研削加工は切込みが小さいために加工能率が低く、さらにヘアライン面という研削加工特有の仕上げ面となるため鏡面が得られにくい。このような状況から、最終の手仕上げ工程に負荷がかかることが多くあり、

超硬合金の加工能率を上げることができない要因となっている。

近年、超硬合金用のダイヤモンド工具が新規に開発され、これを用いた超硬合金の直彫り加工が始まっている。このような加工は、0.1 μm 以下の切込みを維持する延性モード加工<sup>2)</sup>を実現するために超精密な運動精度を有する工作機械と特殊な結晶構造を持つダイヤモンド工具および安定した温度環境が必須であり、零細な中小企業は簡単に適用できない。

そこで、本報告では一般的な汎用工作機械とダイヤモンド工具を用いて、超硬合金の加工の高能率化および仕上げ面面向上を目的として鏡面加工トライアルを行った。

### 2. 被削材料

実験で被削材料として使用した超硬合金の特徴を表1に示す。超硬合金は、硬度と靱性の特性が異なるサンアロイ工業(株)の4種類を選定した。選定した材種の中では、RD20が一番硬く脆い。逆にRX95は、硬度は低いが靱性は高い。

表1 超硬合金の特徴

メーカー	被削材種 (CIS規格)	特徴
サンアロイ工業(株)	RD20 (VM-30)	硬い ⇕ 高靱性
	RD60 (VM-50)	
	REA65 (VC-50)	
	RX95 (VU-80)	

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 汎用旋盤による加工

通常、超硬合金を汎用旋盤で加工することは不可能だが、最近開発されたダイヤモンド工具を用いることで超硬

\*生産技術部

\*\*研究主幹

合金の正面切削加工トライアルを行った。加工トライアルでは、鏡面の目安として算術平均粗さ Ra 0.1 μm を本研究の目標値とした。これは、仕上げ面が算術平均粗さ Ra 0.1 μm より小さくなると、被削面に映り込みが認められるようになるからである。

実験に使用した汎用旋盤と測定した切削抵抗の方向を図1に、切削条件を表2に示す。実験ではネガチップとポジチップのダイヤモンド工具を使用した。

工具刃先強度が有利と考えられるネガチップで加工した被削材の写真を図2(a)に、切れ味で有利と考えられるポジチップで加工した被削材の写真を図2(b)に示す。

ネガチップの実験では、被削材の直径 80mm、厚みが 8mm の被削材を使用した。被削材強度と比較して旋盤チャック剛性が劣り、チャック口元が開くことで被削材が数 μm ほど中凸に変形する現象が見られた。ポジチップの実験では、被削材厚みを 30mm に増やし、変形の影響を低減させて加工を行った。

実験の結果、通常は汎用旋盤では加工不可能な超硬合金であるが、ダイヤモンド工具を用いることによって工具摩耗は激しいものの、切削加工が可能となった。仕上げ面は完全な鏡面は得られなかったが、図3に示すとおり算術平均粗さ Ra0.2 μm 程度の虹面が得られた。表面粗さの値は、ネガチップよりポジチップがやや良好ではあるが、鏡面というレベルと比較すると、大差は認められなかった。

加工中の切削抵抗を図4(a),(b)に示す。一番硬度の高い RD20 を旋削すると被削材外周部でチッピングが発生し、加工が著しく不良あるいは不可能となる場合もあった。被削材の振れ等により外周部が断続切削となることが原因と推定される。

いずれの工具の場合でも主分力が最大で、背分力、送り分力の順に小さくなった。また、硬い材料ほど切削抵抗が大きい結果となった。ネガチップからポジチップに変更し

た場合、切削抵抗の方向が変わることから、主分力が増加し、背分力が減少することが推定される。背分力の絶対値が減少すると工具と被削材間の距離の変動も小さくなり表面粗さの向上が期待される。しかし、切削抵抗を測定した結果、ネガチップからポジチップに変更しても、主分力は推定どおりに大きくなったことに対し、背分力はほとんど変化しなかった。これは、工具摩耗が大きいため、表2の工具形状に関係なく工具刃先の先端形状が近似的にネガ形状となり、結果として図3のように表面粗さがほとんど変わらなくなった原因と考えられる。

表2 切削条件 (正面切削)

工具材種	NPD10
工具形状	VNMA160408RH (ネガ: すくい角-4°) VCMW160408RH (ポジ: すくい角0°)
切削速度	13m/min (98rpm)
切り込み	0.03mm
送り	0.03mm/rev
切削油	dry

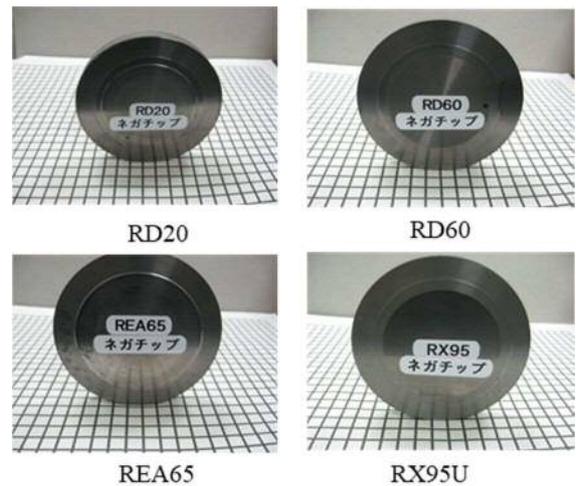


図2(a) 汎用旋盤による加工面 (ネガチップ)

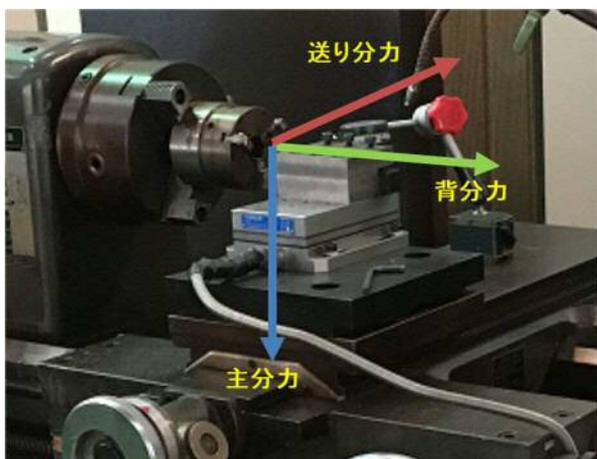


図1 汎用旋盤および切削抵抗の方向

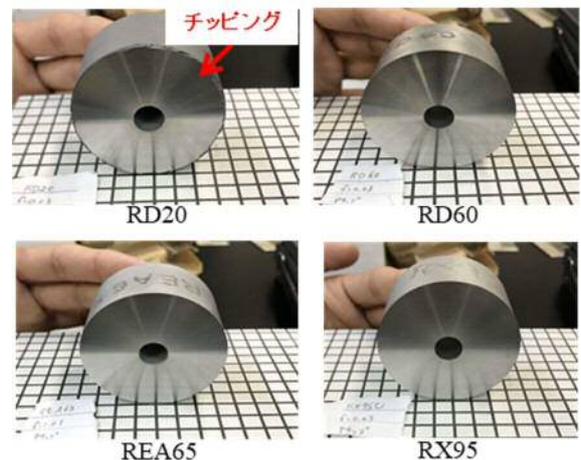


図2(b) 汎用旋盤による加工面 (ポジチップ)

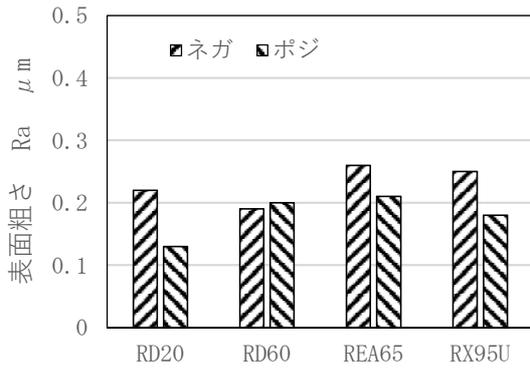


図3 汎用旋盤による表面粗さ

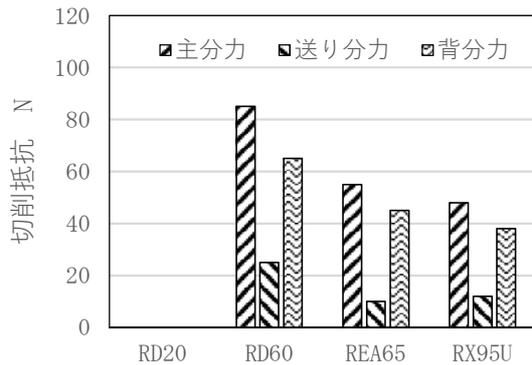


図4 (a) 正面旋削時の切削抵抗 (ネガチップ)

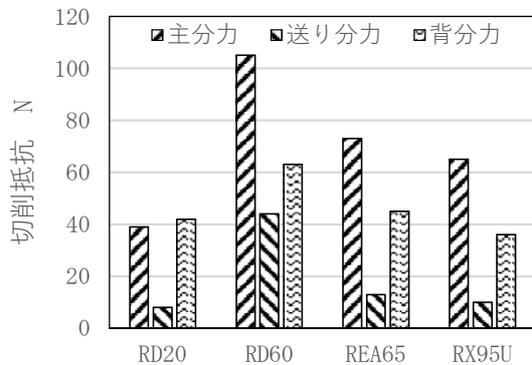


図4 (b) 正面旋削時の切削抵抗 (ポジチップ)

### 3. 2 平面研削盤による加工

平面研削盤で超硬合金を加工すると、通常は、ヘアライン面と呼ばれる微細な筋状の加工面が得られ、鏡面が得られにくい。加工面を向上させるためには、ダイヤモンド砥石の砥粒を非常に細かい超砥粒に変更することが効果的だが、超砥粒砥石の表面の凹凸はサブミクロン以下のオーダーとなるため、超砥粒砥石の性能を十分に発揮させるためには、砥石軸の振動および切込みの設定がナノメートルレベルの工作機械を使用することが前提となる。このような工作機械は非常に高価であり、温度変化による工作機械のわずかな変形を抑え込むために恒温室環境が必要など、設備の維持管理に係る費用も必要である。

そこで、汎用の平面研削盤による研削加工トライアルを

表3 研削条件 (平面研削)

砥粒種類	SDC
砥粒番手	#700, #1000
研削速度	24m/min
トラバース幅	約5mm
荒研削切り込み	1.0 $\mu\text{m}$ $\times$ 10回
中研削切り込み	0.5 $\mu\text{m}$ $\times$ 10回
精研削切り込み	0.2 $\mu\text{m}$ $\times$ 10回
ゼロカット	無し

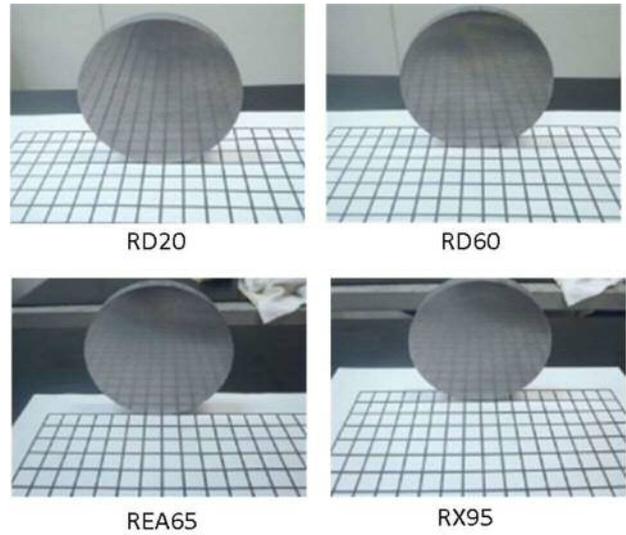


図5 (a) 平面研削盤による加工面 (SDC700)

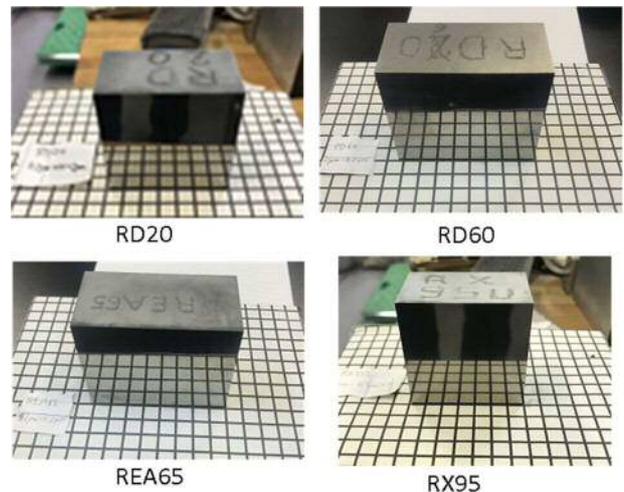


図5 (b) 平面研削盤による加工面 (SDC1000)

行った。研削条件を表3に示す。砥石の静・動バランス調整および砥石のツルーイングとドレッシングを注意深く行うことにより、#700 砥石による加工面は、図5 (a) のようなヘアライン面となり、滲んだ映り込みとなったが、#1000 砥石による加工面は図5 (b) のような鏡面となり、綺麗な映り込みが認められた。

砥石のバランス取り作業は、まず、砥石をフランジに取り付けて天秤により静バランスを取る。この砥石車を研削盤に取り付けて単石ダイヤモンド工具により1回目のツルーイングを行う。1回目のツルーイングにより砥石バ

ランスがわずかに崩れることが予想されるので、研削盤からいったん取り外し、天秤により2回目の静バランスを取る。次に、2回目の静バランスを取った砥石車を研削盤の砥石軸に取り付けて、単石ダイヤモンド工具による2回目のツルーイングを行う。さらに、ドレスストーン（GCスティック砥石）を用いて砥石のドレスリングを行う。この後に、機上において動バランス測定装置を用いて動バランスを取る。この作業を動バランス測定結果が装置の性能限界である  $0.5 \mu\text{m}$  以下になるまで繰り返した。

図5に示した加工面の表面粗さを測定した結果を図6に示す。砥石バランスを入念に調整することで得られた#1000 砥石使用の鏡面は、算術平均粗さ  $Ra0.1 \mu\text{m}$  以下であることがわかる。

さらに切込みを減らして研削した表面粗さの結果を図7に示す。最小の表面粗さが得られたのは、切込みが  $0.5 \mu\text{m}$  の場合で  $Ra0.07 \mu\text{m}$  まで表面粗さが向上した。このレベルの仕上げ面であれば、磨き工程の省略も可能と考えられる。ここで、さらに  $0.2 \mu\text{m}$  まで切込みを減らすと、表面粗さは悪化した。前述した砥石のバランス取りが、 $0.2 \mu\text{m}$  という切込みに比較して十分でなく、砥石の性能を活かせなかったことが原因と推定される。汎用の平面研削盤を用いた場合、砥石のバランス取り作業を考慮すると加工可能な精度の限界に近いと考えられる。

次に、研削加工時の研削抵抗を測定した。平面研削盤と研削抵抗の方向を図8に、測定結果を図9(a)~(c)に示す。

切削抵抗は背分力が最大値を示し、主分力と送り分力は背分力に比較すると無視できるほど小さい。切込みが小さくなる、もしくは、材料硬度が下がると切削抵抗も減少する傾向を示した。研削時に作用する力は被削材と砥石を引き離す方向の法線方向の力がほとんどで他の成分は小さい。



図8 平面研削盤および研削抵抗の方向

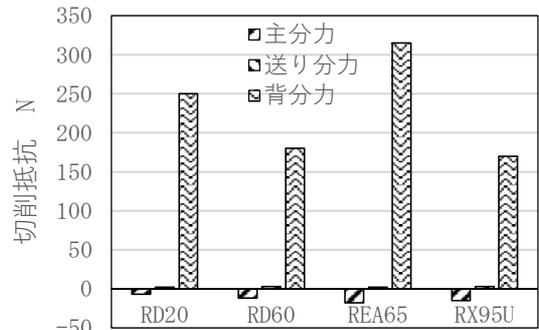


図9(a) 研削抵抗 (切込み  $1 \mu\text{m}$ )

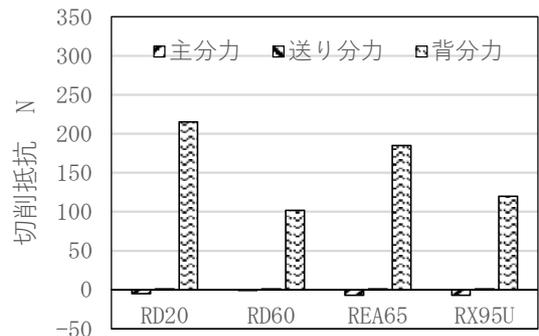


図9(b) 研削抵抗 (切込み  $0.5 \mu\text{m}$ )

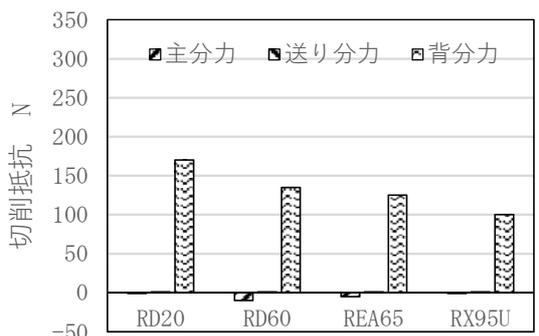


図9(c) 研削抵抗 (切込み  $0.2 \mu\text{m}$ )

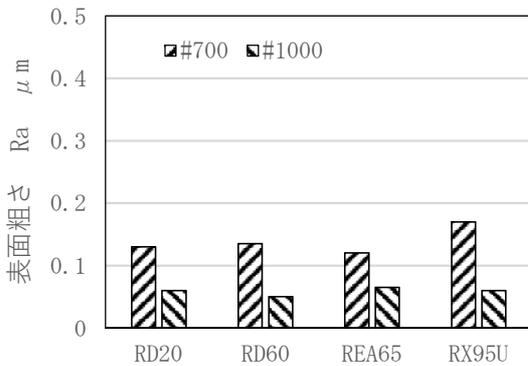


図6 平面研削盤による加工面の表面粗さ (砥粒)

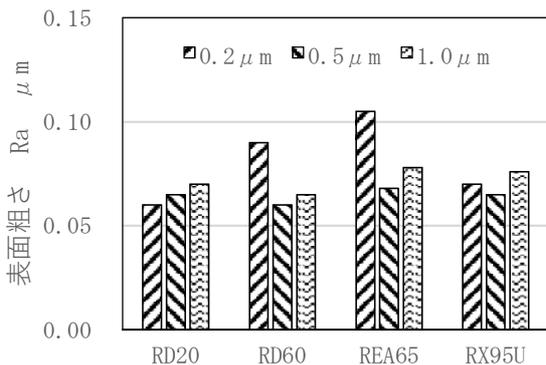


図7 平面研削盤による加工面の表面粗さ (切込み)

### 3.3 マシニングセンタによる加工

平面研削盤による超硬合金の研削は、入念に砥石のバランスを取るなど工夫により鏡面が得られ、その際の研削抵抗は、砥石と被削材を引き離す法線方向の力がほとんどであることが分かった。そこで、この知見をマシニングセンタ主軸に超砥粒の軸付き砥石を取り付けて行う研削加工に適用した。マシニングセンタの最少設定単位は $1\mu\text{m}$ であり、研削盤のようなサブミクロンオーダーの切込みは設定できない。よって、平面研削盤で使用した超砥粒砥石は一般的には使用できない。しかし、砥石と被削材間の法線方向の研削力により、加工中の砥石軸がわずかにたわむことを予想し、微小切込み研削の可能性を検討した。実験では比較対象として#120 電着砥石と#1000 超砥粒砥石を使用した。

まず、表4の研削加工条件において、マシニングセンタ主軸に振れ調整機能付きのホルダを適用し、平面研削盤の場合と同様に、機内でツルーイングとドレッシングを行うことで可能な限り砥石の振れを抑えた。この結果、図10(a), (b)に示すような加工面が得られた。加工面は黒枠で囲んだ範囲内である。電着砥石に対して超砥粒砥石の加工面の方がやや良好な加工面が得られたが、平面研削盤による方法よりは劣る加工面となった。

また、図11(a), (b)に表面粗さの測定結果を示す。研削送り方向の表面粗さ図11(a)は鏡面レベルの $Ra0.1\mu\text{m}$ 以下の加工面が得られた。このレベルであれば磨き工程の省略が可能と思われる。一方、砥石軸方向の表面粗さ図11(b)は、特に韌性の高い被削材ほど悪化する結果となり、磨き工程は省略できない。砥石送り方向の表面粗さに比べ砥石軸方向の表面粗さを向上させることができず、粗さの異方性が生じる結果となった。砥石送り方向の表面粗さが良好なことから、砥石軸方向に何らかのオシレーション運動(例えば超音波振動等)を加えると表面粗さが向上する可能性が考えられる。このことから専用の超音波加工機ではなく、市販されている超音波振動スピンドルをマシニングセンタに後付けすることでも効果が期待できると考えられる<sup>3)</sup>。

研削抵抗の測定結果を図12に示す。電着砥石を用いた場合の研削抵抗は、被削材の違いによる変化は小さい。一方、超砥粒砥石を用いた場合、硬い材料において研削抵抗が大きく、逆に韌性の高い材料では研削抵抗が小さくなる結果となった。なお、RD60のみ傾向が異なるが、加工後に確認したところ、砥石表面に小さなクラックと微細な欠けが発生しており、このことが原因と考えられる。硬い材料で研削抵抗が大きく韌性の高い材料で研削抵抗が小さくなっていることから、韌性の高い被削材に多く含まれるコバルト等のバインダが、超砥粒砥石の微細な気孔に目詰ま

り等を引き起こすことなく、正常な研削加工がなされたものと推定される。

この条件で、砥石軸の直径を $\phi 6\text{mm}$ から $\phi 10\text{mm}$ に変えて実験を行った。砥石外径は変更せず砥石軸直径のみ変更したことから、砥石軸の機械剛性のみを変更することを目的としたものである。この時の表面粗さの測定結果を図13に示す。送り方向の表面粗さはほとんど変わらなかったが、砥石軸方向の表面粗さは、砥石軸剛性の高い $\phi 10\text{mm}$ の場合の方が、表面粗さが悪化する結果となった。このことは、砥石軸剛性のより低い $\phi 6\text{mm}$ の軸付き砥石が、研削抵抗によって加工中に軸がわずかにたわむことにより、切込み設定 $2\mu\text{m}$ あるいはマシニングセンタの最少設定単位の $1\mu\text{m}$ より小さい切込みで加工されたことから、表面粗さの結果に違いが出たものと考えられる。

表4 研削条件 (マシニングセンタ)

軸付 砥石	砥粒種類	電着砥石 (#120) ダイヤモンド (#1000)
	砥石直径 (軸直径)	$\phi 12\text{mm}$ ( $\phi 6, 10\text{mm}$ )
	送り速度	200mm/min
	主軸回転数	8000rpm
	切り込み	$2\mu\text{m}$
	研削油	水溶性

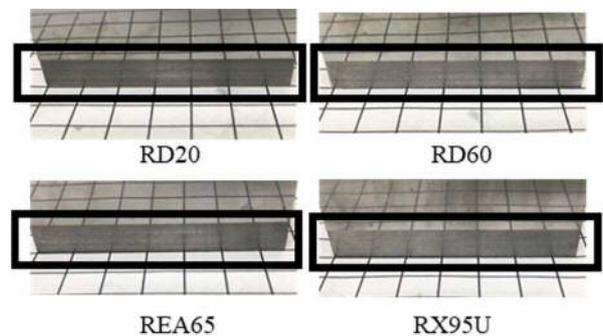


図10(a) マシニングセンタによる加工面  
(#120 電着砥石)

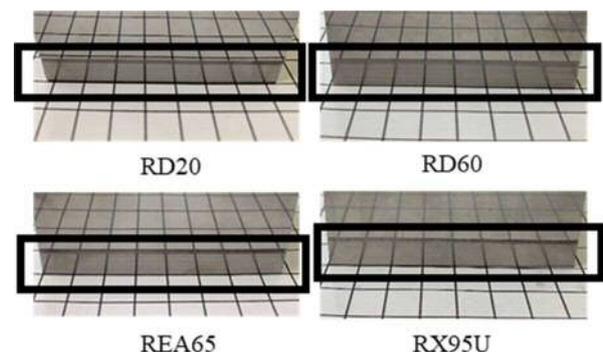


図10(b) マシニングセンタによる加工面  
(#1000 超砥粒砥石)

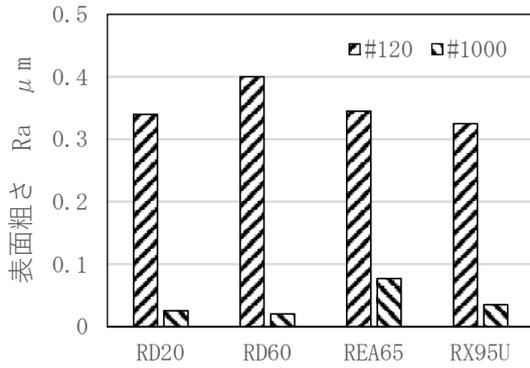


図 11(a) マシニングセンタによる加工面 (送り方向)

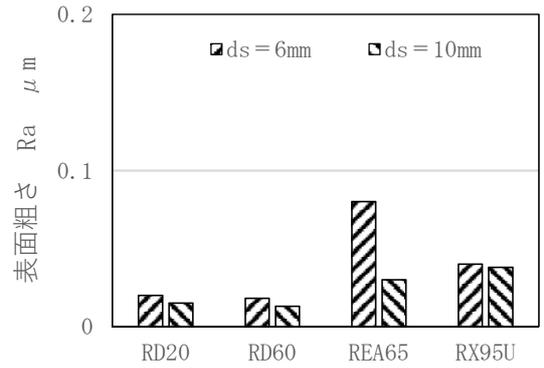


図 13(a) マシニングセンタによる加工面 (送り方向)

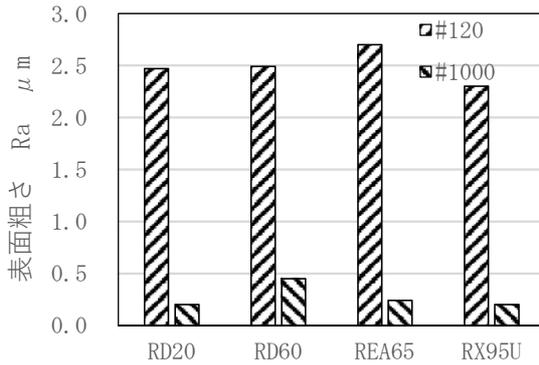


図 11(b) マシニングセンタによる加工面 (砥石軸方向)

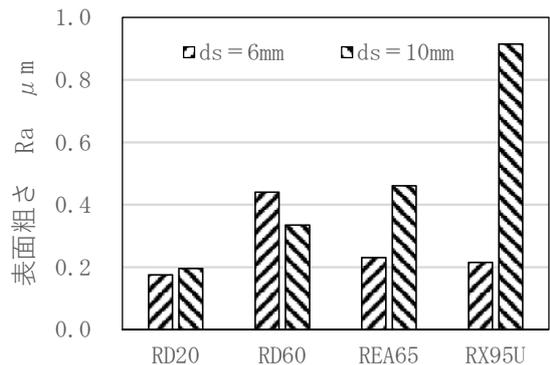


図 13(b) マシニングセンタによる加工面 (砥石軸方向)

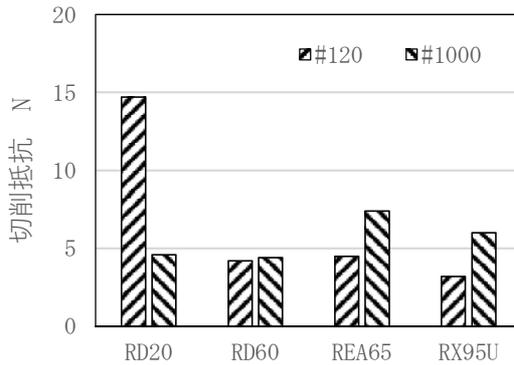


図 12 研削抵抗 (マシニングセンタ)

4. 結 言

3種の汎用工作機械(汎用旋盤, 平面研削盤, マシニングセンタ)による超硬合金の鏡面加工トライアルを行い, 以下のことが明らかとなった。

- (1) ダイヤモンド工具と汎用旋盤による切削加工は, 切込みを大きくでき, 放電白層の除去など荒加工(連続切削に限る)に適用可能である。鏡面は得られず虹面となった。
- (2) 平面研削盤による研削加工は, 入念に砥石バランスを取ることで鏡面を得ることができ, 磨き工程の省略が期待される。ただし, 対象となる加工面が平面などの幾何形状に限定される。
- (3) マシニングセンタによる加工は, 形状の自由度という点では期待できるものの, 表面粗さの異方性の観点からき工程を省略することは困難である。

謝 辞

本研究は, 九州・山口各県工業系公設試連携促進事業の中で長崎, 大分, 熊本県の工業系公設試験場と協力して実施したものです。研究進捗にあたってサポートをいただいた長崎県工業技術センター瀧内直祐氏, 大分県産業科学技術センター大塚裕俊氏, 熊本県産業技術センター川村浩二氏, 村井満氏に謝意を表します。

また, 研究を進めるに当たり, 有益な助言を賜りました鹿児島工業高等専門学校の島名賢児教授, 小原裕也助教および実験に協力いただいた上別府諒氏, 請園幸大氏, 町頭茂氏, 堀内稜太氏に感謝いたします。

研究に用いた多くの設備は財団法人JKAの補助を受けて整備したものです。記して, 謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 鈴木壽: “超硬合金と焼結硬質材料: 基礎と応用” 丸善株式会社(1986)
- 2) Ryuichi IWAMOTO: LEM21, 5, 204(2007)
- 3) 株式会社岳将 website (例えば, 超音波スピンドルユニットなど)