次世代高度電子機械産業で使われる素材の加工技術開発

宮城県産業技術総合センター 久田哲弥、渡辺洋一、齋藤佳史

サブテーマ1:無酸素銅の切削加工技術

1.諸 言

無酸素銅は放電加工用の電極材料として金型の仕上げ加工や、超鋼製金型の加工に広く使用される材料であるが、金型の微細化、高精度化に伴い電極材の加工精度の高度化が進んでいる。一 方加速器に使用される加速管本体は無酸素銅のセルで構成されており、高精度な加工技術が要求 されている。そこで本調査では無酸素銅の加工について、要求精度に応じた表面性状を得るため の最適加工条件を得るために、加工データベースを構築することを目的とし、エンドミルによる 切削加工実験を実施した。

2.調查研究内容

無酸素銅は酸素含有用が 5ppm 以下の純銅で、軟質で被加工面が傷つきやすく表面粗さを高精度 に加工するのが難しい。ソリッドエンドミルを使用する場合、一般的にはスクイ角が大きく刃先 のシャープな工具を使用し、低い送り速度、高い切削速度の加工条件で加工する。これにより被 削材の切り取り厚さが小さくなり良好な加工表面を得ることができる。また、無酸素銅を加工す る際は反応熱による工具の拡散摩耗が進行するため、コーティング材種として窒化クロム (CrN) を使用する場合も多い。本調査では市販の工具とその最適加工条件を踏まえ、無酸素銅の加工実 験を行い加工条件と表面性状の相関についての知見を得た。

実験では市販品である三種類のエンドミルを使用した。それぞれの工具について同一の加工条件にて無酸素銅を切削加工し、被加工面の表面性状の調査を観察と表面粗さの計測を行うことで 実施した。次に工具摩耗をエンドミルのニゲ面摩耗幅を計測することで評価し、加工長さと摩耗 量の相関関係について調査を実施した。

2-1.実験方法

実験には市販品である三種類の工具(以下 A・B・C とする)を使用し、表1に使用した工具の仕様を、表2に工具のスクイ面、ニゲ面の拡大写真を示した。工具はいずれもソリッドのスクエアエンドミルで直径が5.0mm、シャンク径は6.0mmである。工具AはTiAlNコーティングで 鋼材加工用、工具BはDLCコーティングでアルミ加工用、工具CはCrNコーティングで銅電極加工用として販売されているものである。表2のスクイ面の拡大写真から軟質材加工に適した工具Bと工具Cは刃先の先端角が小さくなっていることが分かった。

工具	製造者	型式	外径[mm]	シャンク径[mm]	コーティング
А	日進工具	MSE230	5.0	6.0	TiA1N
В	日進工具	AL3D 2DLC	5.0	6.0	DLC
С	ミスミ	CRN-CUEM5	5.0	6.0	CrN

【表1 実験に使用した工具】



加工実験に使用した加工機は宮城県産業技術総合センターに設置の5軸マシニングセンタを使 用した。加工機の外観と仕様について図1と表3に示した。



【図1 実験に使用した加工機(アジエシャルミー社製 HSM400U LP)】

メーカ 型式	アジエシャルミー HSM400U LP
テーブルサイズ	Φ 156mm
加工ワークサイズ	Φ 230mm×200mm(最大積載重量 25kg)
主軸回転数	最大 42,000[/min.]
軸構成	XYZBC
駆動方式	リニアモータ
工具ホルダー	HSKE-40

【表3 5軸マシニングセンタの仕様】

加工方法はダウンカット方式で行い、工具の動作について図2に示した。材料右手前(赤丸) を原点とし、工具を軸方向に切り込み(AD)、Y軸方向に走査し、退避高さまで移動後Y軸方向 の原点まで復帰させて、X軸方向にピックフィード量(RD)移動させてから、軸方向に切り込む 方式とした。



【図2 加工方法】

加工条件を表 4 に示す。工具切り込み量については仕上げ加工取り代を考慮した切り込み量と した。オイルミストは Unilube2032、切削液はユシロ化学工業株式会社製ユシローケン AP-EX-E3 を 10 倍希釈で使用した。

▲ 4 加工木什				
項目	値			
工具回転数[/min.]	10,000~40,000			
切り込み量	ADO. 1mm RD1. 0mm			
一刃送り量	10μm 50μm 100μm			
冷却方法	オイルミスト 切削液			

【表4 加工条件】

表面性状の評価は、マイクロスコープによる表面観察と粗さ計による表面粗さの評価により行った。図3にマイクロスコープの外観を、図4に表面粗さ測定機の外観を示す。マイクロスコー プはキーエンス社製マイクロスコープ VHX を使用し、表面粗さ測定機はアメテックテーラーホブ ソン社製フォームタリサーフ PGI1250A を使用した。

工具摩耗量の評価にはマイクロスコープにより工具先端のニゲ面を観察しコーティングの剥離 状態を観察した後、コーティングが剥離した箇所を含めた摩耗幅の距離測定を実施することで行 った。



【図3 マイクロスコープの外観】

【図4 表面粗さ測定機の外観】

2-1. 実験結果

2-1-1 表面性状の評価

工具Aでオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果について表5に示した。なお、 マイクロスコープ観察した場合、切削痕は黒い線となって観察される。工具回転数40000、一刃 送り量 10 μ mの条件で加工した場合の表面性状が良好であることが確認できた。次に工具Aで切 削液冷却方法により加工した加工面の観察結果について表6に示した。オイルミスト冷却方法と 比較して切削痕が少なく、良好な加工面が得られた。特に回転数20000、送り量 50 μ m が最も鏡 面に近い面となった。

回転数		10000	20000	30000	40000
	10µm	The A		and the	
刃送り量	50µm		the second		
	100µm		and the spin		

【表5 工具Aでオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果】



【表6 工具Aで切削液冷却方法にて加工した加工面の観察結果】

工具 B でオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果について表 7 に示した。全体的 に切削痕が多く発生している様子が観察された。また、一刃送り量が 10 µ m の条件では切削痕が 不規則になっていることも確認できた。表 8 に工具 B で切削液冷却方法にて加工した加工面の観 察結果を示した。なお、観察画面右上に確認できる黒い線はレンズに付着した異物である。オイ ルミスト冷却方法と比較すると切削痕が少なく良好な加工面が得られた。また、同条件の工具 A と比較すると切削痕が多くなる傾向が得られた。

【表7 工具Bでオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果】

回転数		10000	20000	30000	40000
	10µm		and and		KS
刃送り量	50µm		and the second		
	100µm				

【表 8	工具 B で切削液冷却方法にて加工した加工面の観察結果】



工具 C でオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果について表 9 に示した。一刃送 9 量が 100 μ m の加工条件では切削痕が明確に確認できた。また切削痕が二重になっている箇所も 確認できた。表 10 に工具 C で切削液冷却方法にて加工した加工面の観察結果を示した。オイルミスト冷却方法の結果と同様、一刃送り量が 100 μ m の加工条件では切削痕が明確に確認できた。オ イルミスト冷却方法と比較すると良好な加工面が得られたが、工具 A と比較し、改善の度合いが 少ない結果となった。

回転数		10000	20000	30000	40000
_	10µm	and the	C	5	1
刃送り量	50µm		S. M. M. S.	ist. Se	
	100µm				

【表9 工具Cでオイルミスト冷却方法にて加工した加工面の観察結果】

【表 10 工具 C で切削液冷却方法にて加工した加工面の観察結果】



2-1-2 表面粗さの評価

工具 A で加工した場合の表面粗さの結果について図 5 に示した。オイルミスト冷却方法と比較 して切削液冷却方法による加工方法で良好な表面粗さが得られた。特に切削液冷却方法では工具 回転数 20000、一刃送り 50 µm にて表面粗さは最小となり、表面粗さは 0.012 µm Ra 以下となっ た。前項の表面性状の観察結果からも当該条件にて良好な表面性状が得られていることが確認で きた。



【図5 工具Aで加工した場合の表面粗さ測定結果】

工具 B で加工した場合の表面粗さの結果について図 6 に示した。オイルミスト冷却方法と比較 して切削液冷却方法により加工した場合に良好な表面粗さが得られた。また切削液冷却方法によ る加工においては、工具回転数と一刃送り量によらず表面粗さはほぼ一定となり、0.1 µ m 前後と なる結果を得た。



【図6 工具Bで加工した場合の表面粗さ測定結果】

工具 C で加工した場合の表面粗さの結果について図 7 に示した。一刃送り量が $100 \,\mu$ m の条件 では切削液冷却方法により良好な表面粗さを得たが、一刃送り量が $10 \,\mu$ m、 $50 \,\mu$ m の条件では工 具冷却方法による大きな違いは得られなかった。



【図7 工具Cで加工した場合の表面粗さ測定結果】

2-1-3 工具摩耗の評価

加工方法に関しては前項と同様である。実験は表 11 に示した加工条件で実施し、一定の切削距 離を加工した後に工具のニゲ面、スクイ面の観察を図 3 に示したマイクロスコープにて行う方法 で実施した。摩耗量の評価はニゲ面のコーティングが剥離した箇所を含めた摩耗幅の距離測定を 実施することで行った。表 12 にニゲ面の観察結果を示した。切削距離 262.4m で実験を終了した が、工具 A の摩耗幅が最大となった。工具 B、工具 C はは摩耗幅は小さいものの、刃先のチッピ ングが発生している様子が観察された。これは表 2 の観察結果からも明らかなように、工具 B、 工具 C は軟材の加工用工具として、切れ味を向上させるために工具の刃先角が小さく設計されて いるためチッピングの原因になったものと思われる。

図 8 は工具摩耗量と切削距離について示したものである。切削距離が大きくなるに従いニゲ面 摩耗幅も増大する傾向が得られた。工具 B が最も摩耗量が大きくなり、工具 C は最も摩耗量が少 なくなる結果となった。特に工具 C は刃先のチッピングが発生しやすい工具でありながらコーテ ィングの効果により摩耗量が最小になったと考えられる。

項目	值
主軸回転数[/min.]	20,000
一刃送り量[µm]	100(送り速度 4,000[mm/min.])
冷却方法	切削液
切り込み量	0.1[mm] ピックフィード 1.0[mm]

【表 11 加工条件】

【表 12 ニゲ面の観察結果】





【図8 切削長さとニゲ面摩耗幅の関係】

3まとめ

無酸素銅の切削加工について、市販工具(A、B、C)を使用し加工後の表面性状、表面粗さ、摩 耗状態の調査を行い以下の知見が得られた。

(1) 工具Aが他の工具と比較して加工表面状態が良好となる。

(2) 切削液冷却方法による加工方法がオイルミスト冷却方法よりも鏡面に近い表面状態が得られる。

(3) 表面粗さの最小値は工具 A を使用した場合で工具回転数 20000、一刃送り量 50 µm、切削液 での加工条件にて得られ、0.0121 [µm] Ra を得た。

(4) 工具のニゲ面摩耗幅は工具Cが最小となり摩耗幅の増加量も最小となった。

サブテーマ2 単結晶SiCの研削加工技術

1.諸 言

物理的及び電気的特性に優れた特性を有する単結晶 SiC 材料が次世代パワーデバイス材料のひ とつとして注目されている。単結晶 SiC は硬脆材料であるために高能率な高精度加工が難しく, これまで使用されてきたシリコン材と比べて所望の加工精度を得るまでに高い加工コストを要す るなど,その実用化には解決すべき課題が多い。

本研究では単結晶 SiC ウエハを対象に、ダイヤモンド砥石を用いた様々な研削加工条件における研削抵抗値と研削加工面性状を調査したので報告する。

2. 実験方法および条件

表1に本実験に用いた研削加工条件を示す。加工対象は2インチの4H-SiC ウエハ(0001)面(新日本製鐵㈱製)であり,常圧焼結SiC ブロックに熱可塑性樹脂を用いて接着固定した。実験には,油静圧式の砥石軸とテーブル案内を搭載し,切込方向の最小設定位置決め分解能が0.01μmである超精密 CNC 成形平面研削盤を使用した。図1は研削抵抗測定時における加工部の様子である。研削抵抗の測定には水晶圧電型3成分動力計を使用した。

被削材	4H-SiC ウエハ, 2インチ, (0001) 面				
加工機	超精密 CNC 研削盤 SGU52SXSN4				
	(ナガセインテグレックス製)				
研削砥石	(1) SDC200N75BJ1(D200-W10mm)(東京ダイヤモンド工具製作所製)				
	(2) SD1000N75BL1(D200-W10mm)(東京ダイヤモンド工具製作所製)				
	(3) SD2000P100CR(D200-W12mm)(nitolex 製)				
	(4) SD2000L50BL1(D200-W8mm)(東京ダイヤモンド工具製作所製)				
	(5) SD5000P100CR(D200-W12mm)(nitolex 製)				
	(6) SD5000L50BL1(D200-W8mm)(東京ダイヤモンド工具製作所製)				
砥石周速度 V	600, 800, 1000, 1300m/min				
加工プロセス	(a)砥石(1)及び(2): 1µm×6回→0.5µm×4回→スパークアウト3回				
	(a)の前加工は砥石(1)で実施				
	(b)砥石(3), (4), (5), (6): 0.5µm×6 回→スパークアウト3 回				
	(c)砥石(6), V1300m/min の場合のみ 0.5µm×10 回→スパークアウト3 回				
	(b), (c)の前加工は砥石(2)で実施.				
テーブル速度	左右速度 8m/min				
	前後速度 50mm/min→ 最終切り込みおよびスパークアウトに 25mm/min				
研削方法	トラバース研削				
ツルーイング・	砥石(1)及び(2): 複合研削砥石,砥石(3): GC1000 ブロック,				
ドレッシング	砥石(4): GC3000 ブロック,砥石(5)及び(6): SUS304 ブロック				
研削液	ケミカルソリューションタイプ				
動力計	水晶圧電型 3 成分動力計 9257B(KISTLER 製)				

表1 実験条件



図1 研削抵抗測定時における加工部の様子

3. 実験結果

各研削砥石を使用した場合において砥石周速度を変えて平面研削加工を行い,加工時に被削材 に作用する研削抵抗を測定した。なお,被削材への研削砥石の当り位置の検出には法線研削抵抗 値 Fn を用いた。ただし,法線研削抵抗値 Fn は砥石周速度の影響を受けやすいため,実験では砥 石周速度 800m/min で当て込み作業を行った後,砥石周速度を変えて実験を行った。また,被加 工面を表面観察し,表面粗さを測定することで各研削加工条件による被削材への影響を評価した。 被加工面の観察には非接触三次元測定機(三鷹光器社製:NH-3SP)の10倍及び100倍の観察像 を,表面粗さの評価には接触式表面粗さ・形状測定機(AMETEK 社製:フォームタリサーフ PGI1250A)を使用した。

表 2~7 に各研削砥石で砥石周速度を変化させた場合の加工時の研削抵抗値と加工面の表面粗 さ及び表面観察像を示す。表中の研削抵抗値は単位砥石幅当たりの研削抵抗値であり、今回の実 験条件内において研削回数を増加させた場合に研削抵抗値がほぼ一定であったものは平均化した 値とし、研削回数を増加させると研削抵抗が増加した SD5000L50BL1 の場合は最終切込み時に得 られた最大値(max)とした。なお、砥石 SD5000L50BL1 の場合に砥石周速度 1300m/min で加工 プロセス(b)を実施したが、被加工面に加工痕が確認できなかったため、参考までに更に切り込 みを増加させた加工プロセス(c)の結果を示した。

表2のSDC200N75BJ1を使用した場合の結果から、高速な砥石周速度ほど法線研削抵抗及び接線研削抵抗は低下し、砥石周速度1300m/minで最小となった。これは、粗粒度砥石では高速な砥石周速度であれば砥石の切れ味が向上するためであると考えられる。また、表面粗さRaは全ての砥石周速度で0.3µmRa程度であった。加工面を観察すると高速な砥石周速度の場合に破砕が減少する傾向が見られ、砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。

表3のSD1000N75BL1を使用した場合の結果から、法線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど上昇 して砥石周速度1300m/min で最大となったが、接線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下し砥石 周速度1300m/min で最小となった。また、表面粗さRaは全ての砥石周速度で0.04µmRa程度であ った。加工面を観察すると高速な砥石周速度の方がやや破砕が少なくなる傾向が見られ、砥石周 速度1300m/min で最も少なくなった。

表4の SD2000P100CR を使用した場合の結果から,法線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど上昇 して砥石周速度 1300m/min で最大となったが,接線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下し砥石 周速度 1300m/min で最小となった。また、表面粗さ Ra は全ての砥石周速度で 0.05µm程度であった。加工面を観察すると高速な砥石周速度の方がやや破砕が少なくなる傾向が見られ、砥石周速度 1300m/min で最も少なくなった。

表5のSD2000L50BL1を使用した場合の結果から、法線研削抵抗は砥石周速度10000m/minまではほぼ同じであったが、砥石周速度1300m/minで最小となった。これは、#2000程度の微粒レジノイドボンド砥石の場合には、砥石周速度が過度に高速であれば研削砥石の上滑り現象が発生するためであると考えられる。接線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下し砥石周速度1300m/minで最小となった。また、表面粗さRaは全ての砥石周速度で0.03µmRa程度であった。加工面を観察すると高速な砥石周速度の方がやや破砕が少ない傾向が見られ、砥石周速度1300m/minで最も少なくなった。

表6のSD5000P100CR を使用した場合の結果から、法線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど上昇 して砥石周速度1300m/min で最大となったが、接線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下し砥石 周速度1300m/min で最小となった。また、表面粗さRaは全ての砥石周速度で0.02µm程度であっ た。加工面を観察すると高速な砥石周速度の方がやや破砕が少ない傾向が見られ、砥石周速度 1300m/min で最も少なくなった。

表7のSD5000L50BL1を使用した場合の結果から、法線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下 し、砥石周速度1000m/minで最小となった。さらに、砥石周速度1300m/minの場合には更に切り 込みを増加させなければ加工ができなかった。これは、超微粒レジノイドボンド砥石の場合には、 SD2000L50BL1の場合と同様に砥石周速度が過度に高速であれば研削砥石の上滑り現象が発生す るためであると考えられる。接線研削抵抗は高速な砥石周速度ほど低下し砥石周速度1000m/min で最小となった。また、表面粗さRaは全ての砥石周速度で0.01µm程度であった。加工面を観察 するとこれまで使用した砥石と比較して破砕が大幅に減少し、特に低速な砥石周速度の方がやや 破砕が少ない傾向が見られ、砥石周速度600m/minで最も少なくなった。

4.結 言

単結晶 SiC を様々な砥石で加工した本研究により以下のことが明らかになった。

- (1) 砥石 SDC200N75BJ1 による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1300m/min で法線及び接 線方向ともに最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.3µmRa が得られる。破砕は砥石 周速度 1300m/min で最も少なくなった。
- (2) 砥石 SD1000N75BL1 による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1300m/min で法線方向が 最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.04µmRa が得られる。破砕は 砥石周速度 1300m/min で最も少なくなった。
- (3) 砥石 SD2000P100CR による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1300m/min で法線方向が 最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.05µmRa が得られる。破砕は 砥石周速度 1300m/min で最も少なくなった。
- (4) 砥石 SD2000L50BL1 による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1300m/min で法線及び接 線方向とも最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.03µmRa が得られる。破砕は砥石周 速度 1300m/min で最も少なくなった。
- (5) 砥石 SD5000P100CR による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1300m/min で法線方向が 最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.02µmRa が得られる。破砕

は砥石周速度1300m/min で最も少なくなった。

(6) 砥石 SD5000L50BL1 による平面研削では,研削抵抗は砥石周速度 1000m/min で法線方向が 最大、接線方向は最小となった。砥石周速度に因らず表面粗さ 0.01µmRa が得られる。破砕は 砥石周速度 600m/min で最も少なくなった。

砥石周速度	研削抵抗	表面粗さ	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm	次面祖で	察画像(10倍)	察画像(100倍)
		2.77µmRz		1 . A. F. C. C.
600	Fn:1.16	$=$ 0.29 μ mRa		
000	Ft: 0.31		↔ 150µm	↔ 15µт
		V		
		2.98µmRz	Contraction Contraction	
800	Fn: 1.20	0.30µmRa	The second second	
800	Ft: 0.15			\leftrightarrow
		44	150µm	15µm
		2.70µmRz	and the second states of	The second
1000	Fn: 1.04	0.27µmRa		ALT IN THE STATE
1000	Ft: 0.14		\leftrightarrow	\leftrightarrow
			150µm	ısμm
		2.72µmRz	A DESCRIPTION OF THE OWNER	Silve States
1200	Fn: 0.88	0.28µmRa		The state of the state
1300	Ft: 0.07		\leftrightarrow	\leftrightarrow
		4	150µm	15µm

表 2 砥石 SDC200N75BJ1 による平面研削加工結果

砥石周速度	研削抵抗	ま工作を	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm	衣曲祖さ	察画像(10倍)	察画像(100倍)
		0.43µmRz		Congeration in
600	Fn: 2.49	0.04µmRa	and the second second	A STREET
000	Ft: 0.42	≣ ↑~~~~~~	→ 150µm	↔ 15um
		<u>~</u>		
		0.46µmRz		and the second
800	Fn: 2.18	0.04µmRa	and the second second	and the second second
800	Ft: 0.25		\leftrightarrow	\leftrightarrow
		<u>~</u> ↓	150μm	15μm
		0.55µmRz		2
1000	Fn: 2.89	0.04µmRa		and the second
1000	Ft: 0.27			\leftrightarrow
		× v	150µ11	15µ11
1300		0.39µmRz	and a second second second	BADA AL
	Fn: 3.04	0.04µmRa	and the second	and a support
	Ft: 0.21	<u> </u>	\leftrightarrow	\leftrightarrow
		<u>∽</u> ¥	150µm	15µm

表3 砥石 SD1000N75BL1 による平面研削加工結果

表4 砥石 SD2000P100CR による平面研削加工結果

砥石周速度	研削抵抗	実出相々	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm	衣面祖で	察画像(10倍)	察画像(100倍)
		$0.76 \mu mRz$		AND A WIE
600	Fn: 0.60	0.06µmRa		
000	Ft: 0.14	1.8µm	с) 150µm	↔ 15µm
		$0.54 \mu mRz$		and the second second
800	Fn: 0.61	0.05µmRa	And	Martin The
800	Ft: 0.08	1.8µm	↔ 150µm	↔ 15µт
		0.49µmRz		A SALES
1000	Fn: 0.75	0.05µmRa	and the second	A State Property of
1000	Ft: 0.07	1.8µm	↔ 150µт	↔ 15µт
		$0.64 \mu m Rz$	The second second	二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二十二
1200	Fn: 0.92	$0.05 \mu m Ra$	ANTI NOAVENT ANTING	
1300	Ft: 0.03	1.8µm	↔ 150µт	↔ 15µт

砥石周速度	研削抵抗	まご相を	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm	衣田祖さ	察画像(10倍)	察画像(100倍)
600		0.37µmRz		The stand of the
	Fn: 2.53	0.03µmRa		- State State
	Ft: 0.43		\leftrightarrow	\leftrightarrow
		<u>~</u> ₩	150µm	15μm
800		0.29µmRz		No No No
	Fn: 2.48	0.03µmRa		
	Ft: 0.26	<u><u></u></u>	\leftrightarrow	\leftrightarrow
		́∳	150μm	15µm
1000		$0.24 \mu mRz$		
	Fn : 2.64	0.02µmRa		and a start of
	Ft: 0.19			\leftrightarrow
		Ψ	150µ11	ısμm
1300		0.21µmRz		the second second
	Fn: 2.21	0.02µmRa	TANK STATE	- Star & C. al al
	Ft: 0.04	<u>∎</u> 1	\leftrightarrow	\leftrightarrow
		<u>∞</u> . 	150μm	<u>1</u> 5μm

表 5 砥石 SD2000L50BL1 による平面研削加工結果

表 6 砥石 SD5000P100CR による平面研削加工結果

砥石周速度	研削抵抗	ま 乱 生 水	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm	衣山祖さ	察画像(10倍)	察画像(100倍)
600		0.21µmRz		
	Fn: 1.58	$0.02 \mu m Ra$		A CAR IN THE A
	Ft: 0.26		\leftrightarrow	\leftrightarrow
		5.	150μm	15μm
800		$0.19 \mu mRz$	and the second second	
	Fn: 1.61	0.02µmRa	a line to a line of the	The state
	Ft: 0.16	£	\leftrightarrow	\leftrightarrow
		67	150µm	15µm
1000		$0.19 \mu mRz$		
	Fn: 2.29	0.02µmRa	and the second second	the second line
	Ft: 0.14		\leftrightarrow	\leftrightarrow
			150µm	Тэµт
1300		$0.18 \mu m Rz$		
	Fn : 2.63	$0.02 \mu m Ra$		and a start of the
	Ft: 0.02		\leftrightarrow	\leftrightarrow
		o√	150µm	15µm

砥石周速度	研削抵抗	表面粗さ	加工面の表面観	加工面の表面観
m/min	N/mm		察画像(10倍)	察画像(100倍)
600		$0.12 \mu mRz$		-
	Fn(max) : 8.17	0.01µmRa		
	Ft(max) : 1.06	шн <u>6 0</u>	↔ 150µm	↔ 15µm
800		0.10µmRz		
	Fn(max) : 5.37	0.01µmRa	1.2	
	Ft(max) : 0.78	6-7	↔ 150µm	↔ 15µт
1000		0.08µmRz		1
	Fn(max) : 5.65	0.01µmRa		
	Ft(max) : 0.57		↔ 150µm	↔ 15µm
1300 (参考:加工プ ロセス (c))		$0.08 \mu m Rz$		
	Fn(max) : 3.21	0.01µmRa		ja è
	Ft(max) : 0.14	0.9 m	↔ 150µm	↔ 15µm

表7 砥石 SD5000L50BL1 による平面研削加工結果