

知 識 編

1. 平面研削盤

(1) 平面研削盤による加工

平面研削加工は、平面度、平行度、直角度、表面あらさ等の精度を出す上で、最も基本的で、しかも重要な加工方法である。しかし、ファインセラミックスなどのように法線方向の研削抵抗が大きい工作物の場合、その品質を保障することは容易な作業ではない。そこで、機械の種類による特徴などから、いかなる点に考慮して作業をするべきか、機械、工具および加工方法の面から検討してみることにする。

(2) 平面研削盤の種類

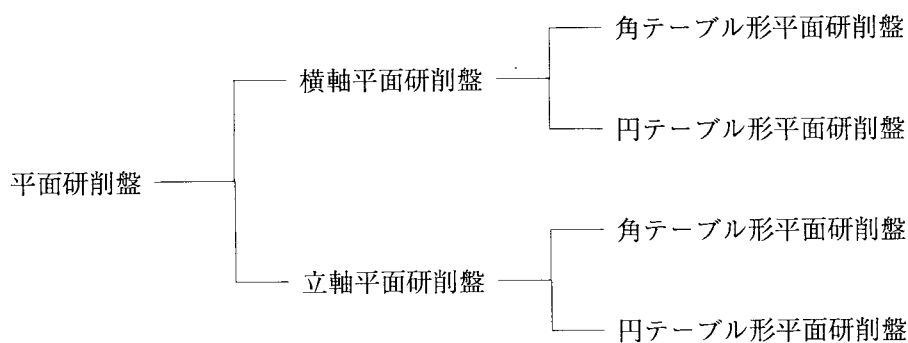


図1

横軸平面研削盤は、平面の加工ばかりでなく、端面、溝、複雑な形状の金型、ゲージ等も加工できる幅広い用途を持った機械である。

一方、立軸平面研削盤は、平面を能率よく、しかも使い易く、精度の高い面を作るのに多く使われている。

2. 立軸角テーブル形平面研削盤

ここでは、立軸でしかも、角テーブル形の平面研削盤を例に挙げて、その特徴などを考えて見たい。

(1) 構造

① キャビネット

研削時、とくに法線方向に非常に大きな力がかかってくるので機械としてはそれに耐えなくてはならないが、中でもキャビネットはとても大事な部分である。剛性だけでなく、共振を起こさない構造が望まれる。

② コラム

これも、キャビネットに劣らず重要な部分である。コラム自体の剛性ばかりでなく、共振しない構造であること、そして、キャビネットとの取付け面が大きく、しかも当りも十分でていることが重要である。

③ スピンドル

精度の高い研削を行うためにも研削盤の生命ともいえるべきもので、剛性が十分高くなければならない。ラジアル、スラスト方向にガタがあってはならない。図2に現在使用されているスピンドルを示す。これは $10\text{kg}/\text{mm}^2$ の静剛性の例で上下送りの案内面には、剛性があり、なお精度の高いクロスローラーガイドを使用しており、上下の微小な切込みにも滑らかに動く。また、剛性も高いため、高い法線方向の研削抵抗にも耐えられる。

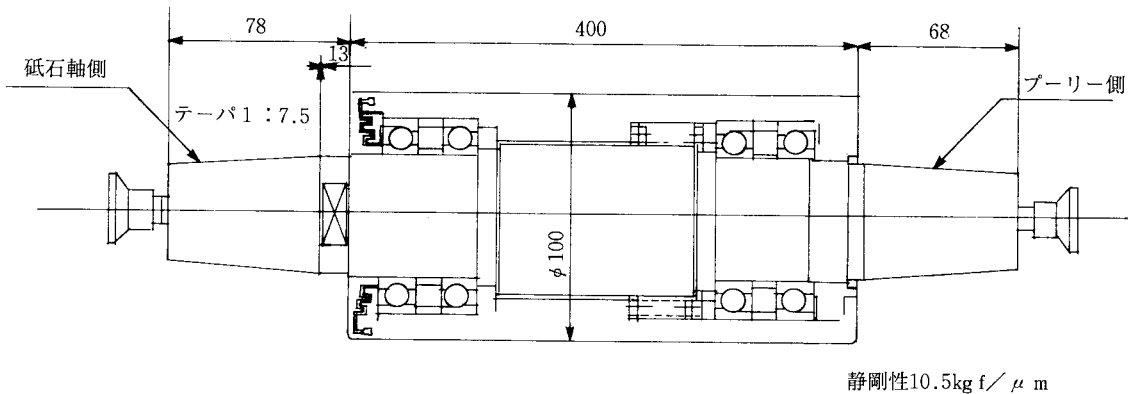


図2

④ サドルとテーブル

アリ溝形状で細かな当りを出したきさげ面が施してある。しかも大きな受台にのっているため、テーブル全面での剛性も高い。

(2) 特徴

① 無段変速回転機構

柔らかい材料から固い材料まで、その材料に適合した回転数が選択できるように、無段変速の回転機構を持っている。

② 無段変速自動送り機構

上記①と同じ理由で無段変速自動送り機構を持っている。

③ 微小切込機構

セラミックスは、法線方向の研削抵抗が金属に比べて、非常に高い。そのため正確に微小切込みができることは、工作物の製品精度を得るために必要条件である。

④ 砥石先端での研削液吐出機構

セラミックスの研削には大きなエネルギーが必要となる。そのため、砥石が熱で目づまりを起り易くなるのを防ぐため、砥石の端面より研削液を出し、砥石や工作物を冷却するようになっている。

(3) 目的

この機械の目的として、次のことが考えられる。

- ① 平面を能率よく加工する。
- ② 平面度を出す。
- ③ 平行度、直角度を出す。
- ④ 表面あらさの精度を上げる。

(4) 用途

この機械の具体的な用途として、次のようなものがあげられる。

- ① ブロックの粗研削、仕上げ研削
- ② 試験片 (JIS R1601) の研削加工

3. 平面研削に必要な周辺技術

(1) 研削加工の3要素

セラミックスのような硬脆材料の研削加工は、それぞれの作用砥粒切れ刃の引っかきの集合と考える。引っかき荷重がきわめて小さい場合は、塑性流動変形領域で切削され、なめらかな溝を生じ、割れは生じない。この形態は、金属の切削の場合と同じ性質にもとづくものと考えられる。このとき、脆性材料であるセラミックスは、“脆性”ではなく“塑性”材料である。しかし、切込み量の大きさによって研削加工は“脆性破壊”加工面を示したり、“塑性流動破壊”加工面を示したりすることが実証されている。平面研削の3要素の1番目は、微小切込みを正確にコントロールできる機構が必要である。

また、砥粒と工作物の接触によってできるクラックは、深さ方向にのびるメディアンクラックと、これに対して横方向にのびるラテラルクラックに大別できるが、セラミックスの研削に伴う盛上りは、後者に依存するところが大きく、その発生状況は、工作物の被研削性を特徴づけるものと思われる。すなわち、個々の砥粒による研削で生じるこの種のクラックは、比較的少ない加工エネルギーで切屑を生成させるか、または、切屑生成にまで達しない場合でも、後続の砥粒の負担を大幅に軽減させ得る、と考えられる。また、このような、ラテラルクラックの発生条件と、その寸法は、研削条件や砥粒先端形状に影響すると思われる、研削条件、および砥石の選択はセラミックスの加工能率を大きく左右することとなる。

つまり、①微小切込みの可能な研削機械において少ない加工エネルギーで切屑を発生させ得ること、②ダイヤモンド工具の種類、③その時の加工条件、以上3つを研削加工の3要素と呼んでいる。

(2) 加工理論

図3は超硬合金とセラミックスの湿式平面研削における法線抵抗 (F_n) と接線抵抗 (F_t) の実測値を示したものである。接線抵抗に関しては、超硬合金の方が常に高い値を示す。

研削の進行に伴う抵抗値の増加はセラミックスの法線抵抗において著しく、 F_t/F_n の値は小さくなる。

次の式は法線研削力 F_n の一般式である。

$$F_n = \frac{X_n \cdot B}{V_s + V_u} \cdot \frac{du}{dt}$$

X_n : 法線方向比研削抵抗

B : 研削幅

V_s : 砥石周速度

V_u : 工作物速度

$\frac{du}{dt}$: dt 時間に研削される
加工断面積

この式からわかるように、カップ砥石研削の場合、平形砥石による研削に比べ、研削幅 B が極端に大きくなるため、 F_n が大きくなるという不利な面がある。

しかし、図4では、アルミナセラミックス研削時の仕上げ面あらかさは、カップ砥石の方が良好な面が出ているのがわかる。また図5では人工サファイアの研削において、カップ砥石の方がチップングが少なく、品位を保っているのがわかる。

ホイール A $\phi 150 \times T7$ SDC200-R75B

周 速 : 1500m/分

切り込み : 0.015m/分

送 り : 10m/分

クロス送り : 2mm/パス

湿式

□-□ : Si_3N_4

△-△ : Al_2O_3

○-○ : 超硬

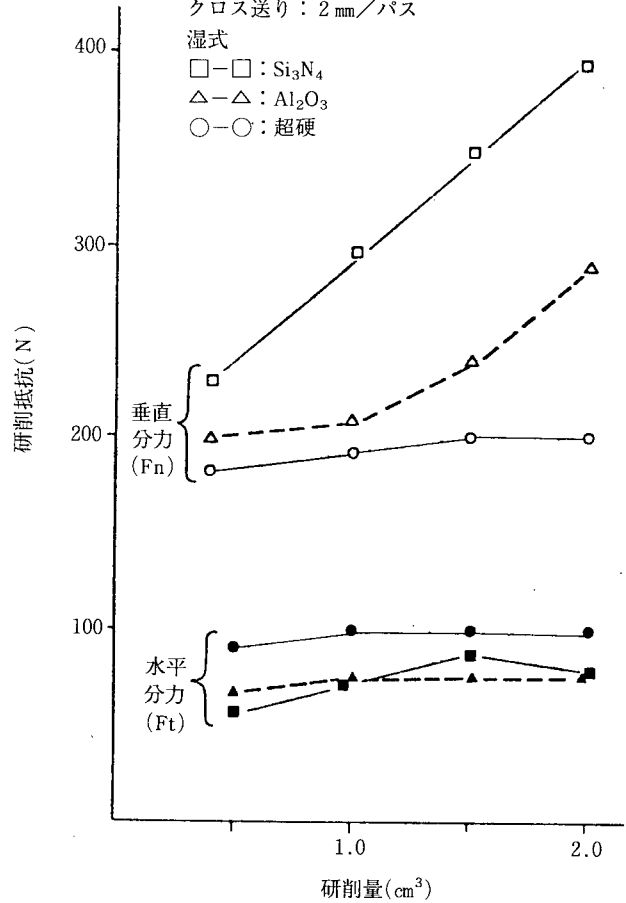


図3 セラミックス工具の研削抵抗 (辻郷)

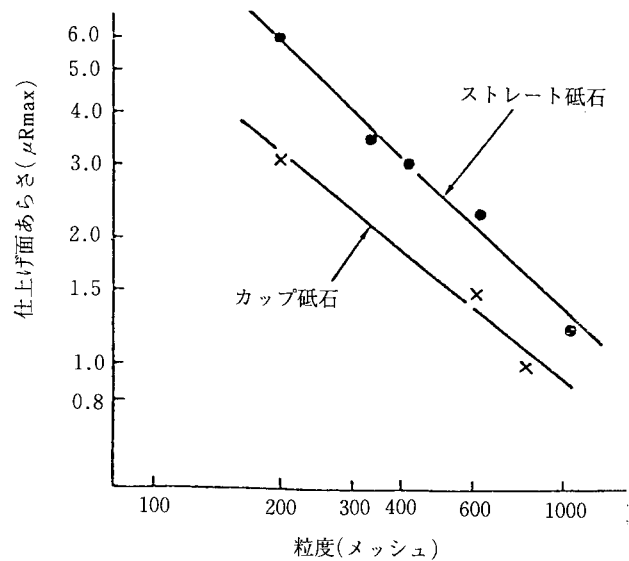


図4 セラミックス材料研削時の仕上げ面あらかさ (辻郷)

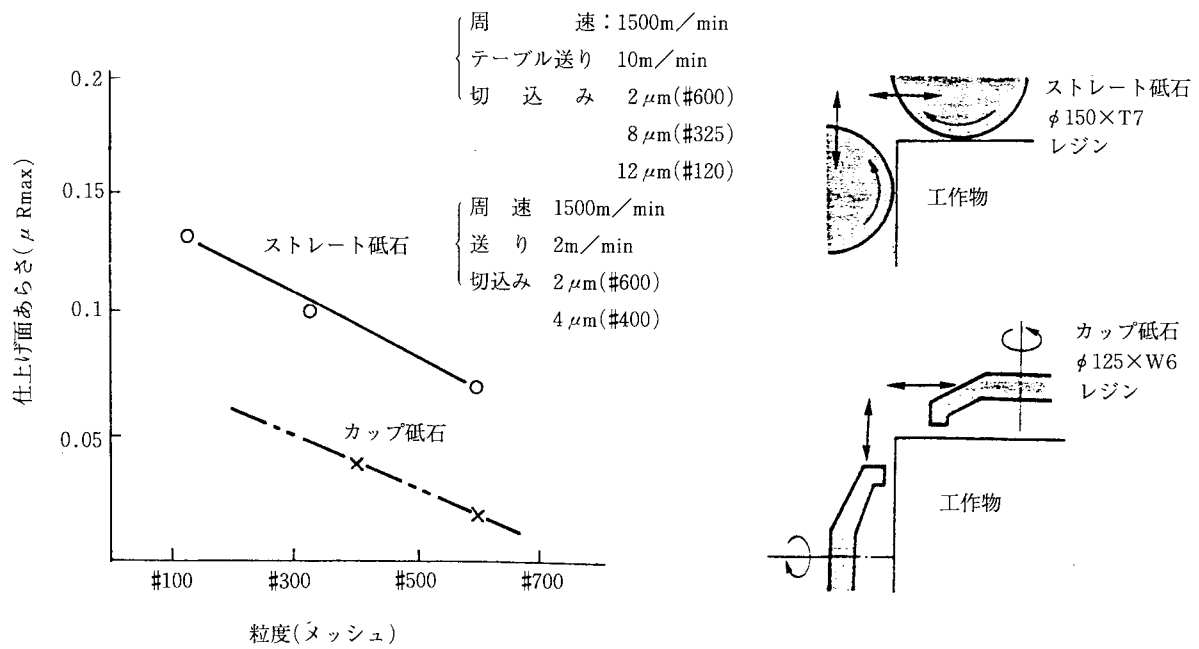


図5 人工サファイヤ研削におけるチップングと粒度 (辻郷)

(3) 加工方法

ラテラルクラックが、材料の被加工性と、より密接な関係にあると考えられるのに対し、メディアンクラックは加工物の強度特性と密接な関係にあると思われる。加工と強度について考える場合、このようなクラックの発生条件や、クラック寸法と加工条件の関係を把握することが必要となる。

一方、これまで表面状態と強度の関係は、しばしば表面あらさと強度の関係で示されて来た。図6はその例で、ほぼ $1\mu m$ よりあらい表面あらさの場合、著しい強度低下が生じることを示している。しかし、加工における強度低下は、表面あらさとして測定される表面傷よりは、あらさ計では測定できない研削条痕下に生じたクラックによると考えられる。したがって、表面あらさの測定のみでは加工による強度特性の変化は評価し得ないと思われる。

図7は、使用砥石の粒度と加工物の強度の関係を示したもので、同一粒度の砥石であらさは同じでも、研削方向により、強度は大幅に異なり、その先は、粗粒ほど

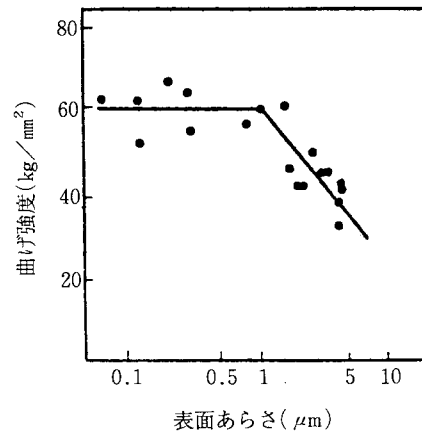


図6 窒化ケイ素の強度に及ぼす表面あらさの影響 (伊藤)

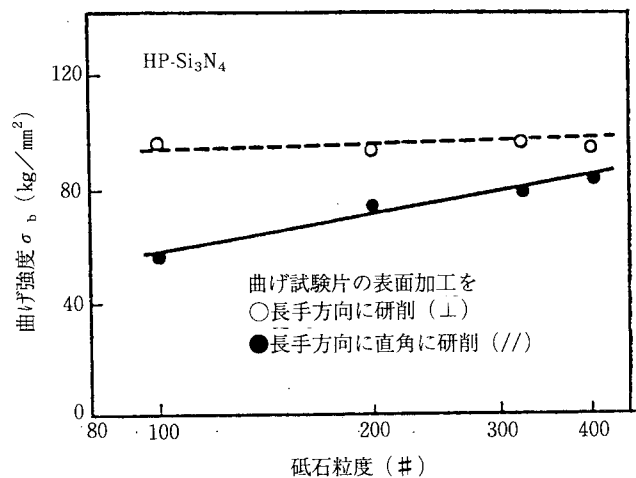


図7 窒化ケイ素の表面研削加工における使用砥石の粒度と研削方向が曲げ強度に及ぼす影響 (伊藤)

大きくなる。この粗粒砥石による強度低下は、生じるクラック寸法が増大するためと解釈でき、負荷方向が一致したとき、クラック寸法の増加によっても強度低下が生じないのは、研削による加工傷に強い方向性があり、この場合の加工傷は破壊原因とならないことも示している。

セラミックスの研削加工では、これまで述べて来たように加工に伴うクラック発生が特徴で、ときにはこのクラックの発生を積極的に取り入れることにより、能率的な研削加工を実現できる可能性がある。

しかし、一方ではこのようなクラックが加工面に残存した場合、材料の持つ強度特性を、大幅に損ない製品としての信頼性を著しく低下させる可能性がある。

したがって、セラミックスの利用に際しては、材料特性を把握した上での部品設計と加工条件の選定が必要で、加工能率に加えて製品の信頼性をも考慮した対応が必要である。

(4) 材料と研削砥石の選択

ダイヤモンド砥石の仕様は加工材料の種類と、砥石寿命、砥石能率などのニーズ、そして砥石と工作物の接触方式によって決定される。

表1にカップ砥石で研削する場合の各材料に対する推奨砥石の仕様を示すが、ニーズに関しては粗、中、仕上げ加工という大まかな区分とした。

表1 (辻郷)

材 料	推 奨 仕 様		
	粗加工用	中仕上げ用	仕上げ用
半 貴 石 水 晶	SD80-N-50M	SD2000N-50M	SD-400-N50M SD-400-N50B
石 材	SD60-R-20M	SD200-R-20M	SDC400-R-20B
フェライト	SD80-N-75M	SD140N-75M	SDC600-N75B
半 導 体		SDC200N-50M	SDC400-N50B
耐火物炉材	SD40-R-40M	SD100R-40M	
セラミックス	SDC140K-50B SDC-140N-50M	SDC230N-50B	SDC400-N50B
ガ ラ ス	SD80N-50M	SD200N-50M SDC140-N-50B	

(5) 研削油剤

ダイヤモンド砥粒は、研削温度が高くなると酸化し、先端摩耗が生じやすくなるので、セラミックスを研削する場合、研削油剤の潤滑効果を主に選択するのか、あるいは、冷却効果を主に選択するのか、といった問題は非常に重要となる。

図8にアルミナを定圧研削した場合の負荷荷重と除

去速度との関係に及ぼす研削油剤の影響を示す。研削油剤の種類として、ソリュブル形 (W-2) の場合に除去速度が最も高く、続いて、エマルジョン形 (W-1)、およびソリュション形 (W-3) の順に低くなることがわかる。

また、図9は炭化ケイ素の場合である。このときもソリュブル形を用いたときに、除去速度が最も高く、エマルジョン形、ソリュション形と続く。

次に図10は常圧窒化ケイ素の場合である。この時は、外国製のソリュブル形の油剤を用いた場合に除去速度が非常に高く、その他の場合では、顕著な差は認められない。

このように、セラミックスを研削する場合、研削液の種類によって研削性能が異なるのは、ダイヤモンドが高温酸化を生じやすく、また、一般の研削砥石と比較して、チップポケットが小さいために、目づまりしやすいことを考慮すれば、その冷却性、潤滑性および洗浄性などの違いによるものと推定される。

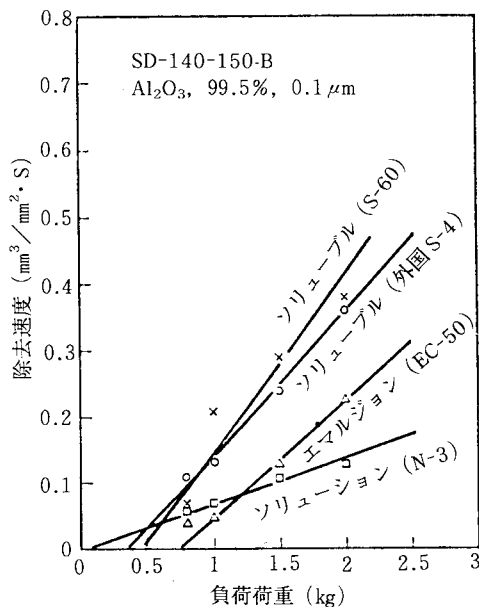


図8 アルミナの除去速度に及ぼす研削液の影響 (海野)

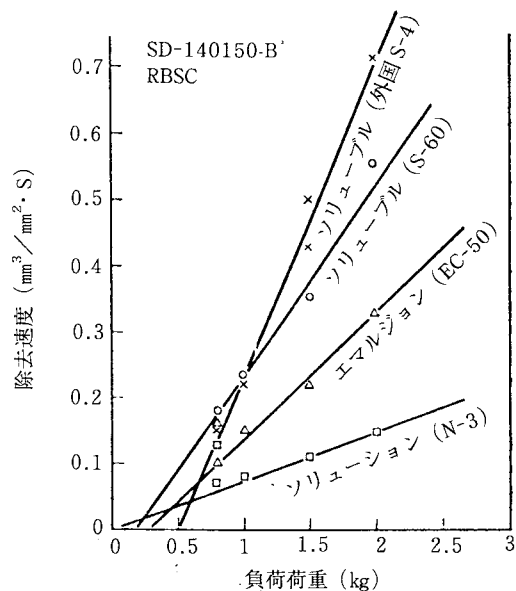


図9 反応焼結炭化ケイ素の除去速度に及ぼす研削液の影響 (海野)

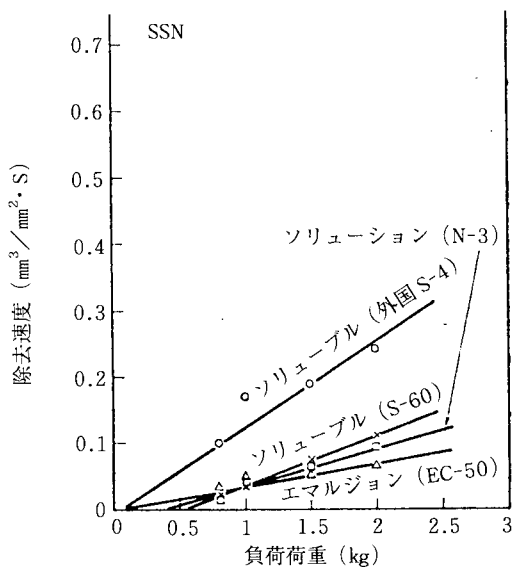


図10 常圧焼結炭化ケイ素の除去速度に及ぼす研削液の影響 (海野)

資料1. 立軸角テーブル形平面研削盤の日常点検表

所 属 _____ 機 番 _____

点 検 月 日 _____

メーカ ー _____ 型 式 _____

点検者 _____

表 1

区 分	項 番	項 目	点 検 日																														
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
始 動 前	1	機械各部の掃除は行きとどいているか																															
	2	研削砥石やベルトのカバーは完全か																															
	3	注油口に適油を供給したか																															
	4	軸受や案内面の潤滑状態は良好か																															
	5	研削液は不足していないか																															
始 動 時	6	各スイッチやリレーなどの作動は確実か																															
	7	付属電流計・電圧計は正常値を示しているか																															
	8	電動機・軸受などに異常音はないか																															
	9	機械の各部に異常な振動はないか																															
一 時 間 後	10	レバーやハンドルなどの作動は確実か																															
	11	電磁チャックの吸引は確実か																															
	12	油漏れの箇所はないか																															
一 時 間 後	13	砥石軸の軸受部に異常な発熱はないか																															
	14	電動機に異常発熱はないか																															

資料2. ダイヤモンド砥石（カップ砥石）

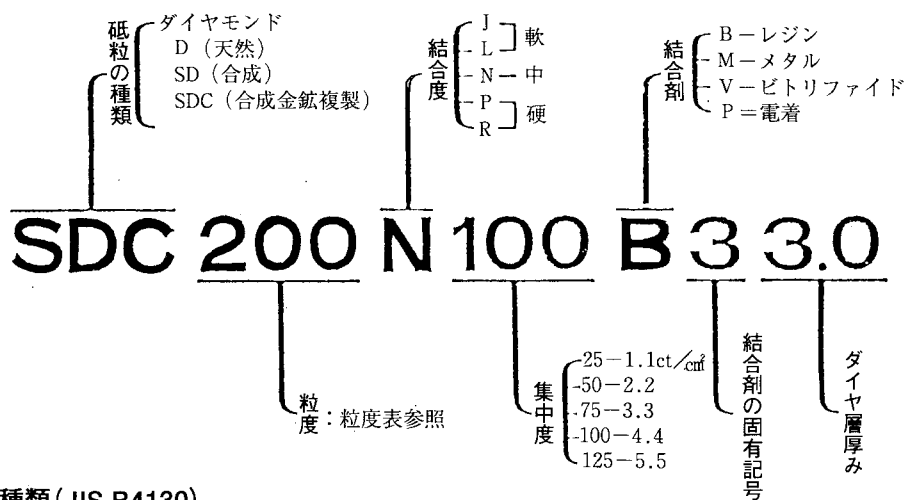
1 セラミックス平面研削用の推奨砥石

表2

粗研削用	中仕上げ研削用	仕上げ研削用
120	200	325
SD } N75B	SD } N75B	SD } N100B
170	230	400

・セラミックスの種類は多く、それぞれの材料によっても、また要求される加工品位や能率によって、砥石の粒度、結合度、結合剤などは異なる。上記の砥石は、あくまでも目安となるものである。

2 ダイヤモンド砥石の表示



3 粒度の種類(JIS B4130)

表3

16/18	18/20	20/30	30/40
40/50	50/60	60/80	80/100
100/120	120/140	140/170	170/200
200/230	230/270	270/325	325/400

備考 粒度の呼び方は、数字だけを読む。
たとえば、16/18は16, 18と、325/400は、325, 400と呼ぶ。

資料3. ツルージング用砥石およびスティック砥石

表4 一般的な推奨砥石

砥石の粒度	ビトリファイド砥石	スティック砥石
230より粗	C 60M	C 220G
230~800	C 80H	C 400G

引用文献

日刊工業新聞社	“セラミックス加工ハンドブック”	宮下 政和
〃	〃	伊藤 政治
〃	〃	辻郷 康生
〃	“ファイセラミックスの高能率機械加工”	海野 邦昭