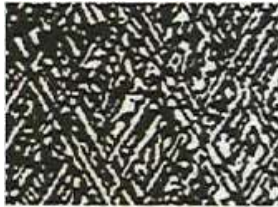


What is honing?!

ホーニング加工とは？

ホーニング加工とは、主に円筒状の内周面を、回転運動と往復運動を複合させる研磨加工をいいます。このとき加工面にはホーニング独特の網の目状のクラスハッチ模様が付きます。



特徴

1. 一般研削の約 1/20 の低速加工約 80m~100m で加工歪が少ない
2. 一般研削は線接触加工 ホーニングは面接触加工
3. 摺動面や回転部の油溜りとして、潤滑作用となる。

ホーニング加工の動向！



近年、超砥粒（ダイヤモンド・CBN）との組み合わせで、主に使用されるようになり、自動車産業などで、大きな効果を発揮しています。

写真

エンジンプロック生産ライン

ホーニング加工の利点！

サイクル短縮が可能	例	生産自動化とサイクル短縮による稼働率向上
真円度が向上する。	例	エンジンシリンダー交差 数ミクロン以内
面精度が安定する。	例	自動車エンジン生産の主流の加工法
コストダウン	例	超砥粒（ダイヤモンド・CBN）との組み合わせコスト低減効果大

加工事例



RVギアなど



2021 最先端 鏡面ホーニング加工



最近のホーニング盤の多くは、高能率を目的とした多軸化、自動定寸装置、工作物の自動供給装置

などの装着、更には高速搬送装置などを備えた全自動ホーニング盤となっている。また最近では、ホーニング工程で最適な穴形状を加工するのに必要な補正が自動的に行われるなどの新しい制御技術が開発され、不良品の解消、製品精度の安定化を保証している。

自動ホーニング盤で、砥石を拡張する基本方式（図 16.03）として、油圧によって工作物に対して砥石を定圧力で拡張する(1)安定拡張方式（定圧力切込み）と、ねじによって砥石の拡張速度を送りで規制しながら行う(2)機械拡張方式（定速度切込み）がある。機械拡張方式では、砥石拡張量の制御が簡単であることからデジタル化・NC 化が容易となる。更には砥粒刃先が摩耗または摩滅しにくく、硬くて強じんな特性から微細な切込みによる微小量ホーニングの維持が容易である立方晶窒化ほう素（CBN）、或は合成ダイヤモンド（SD）などの超砥粒砥石を使用した機械拡張方式のホーニング盤が増加する傾向にある。

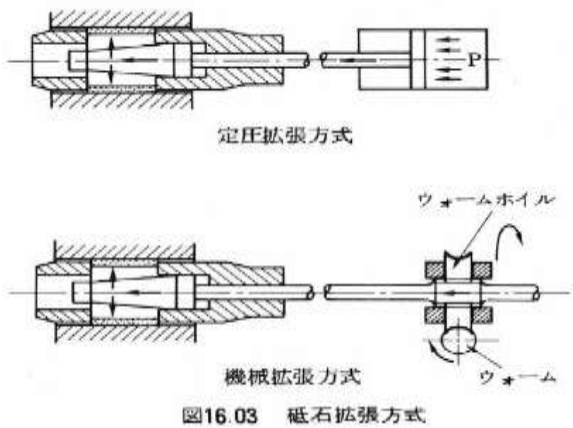


図16.03 砥石拡張方式

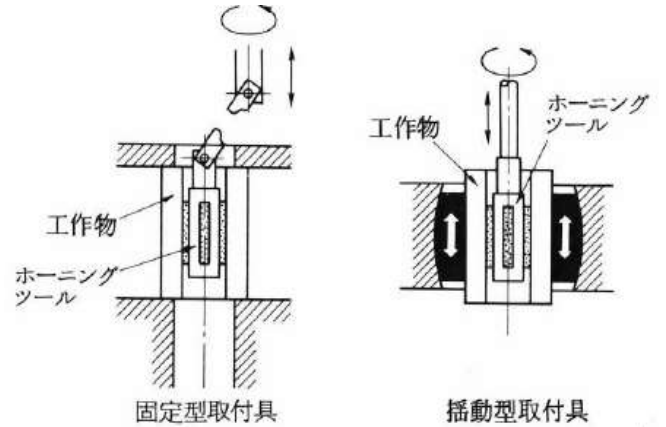


図16.04 取付具型式

ホーニング加工では、砥石が加工穴の中立軸にならうことが基本的に重要である。このことから取付具は、加工中常に砥石の中心が加工穴の中心にあり、ホーニングヘッドと加工穴が自動調心されて自由切削により、ホーニング圧力が加工穴の全面に均等にかかるような取付機工が必要である。

そのためには工作物の重量及び形状を考慮して、取付具を固定型（リジットタイプ）にするか揺動型（フロートタイプ）にするか決めなければならない。一般に工作物が軽量小形の場合には、ホーニングツールを固定し取付具をフロートさせる。工作物が重量大形の場合は、ホーニングツールをフロートさせ取付具を固定式とする（図 16.04）。

また実際のホーニング盤の運転に当たっては、ホーニング盤の具備すべき条件を満足すると共に、機械各部の熱変位量と工作精度、或は温度上昇にともなう切込み速度の変化など機械作動に関するデータ管理も必要となる。

表16.01 ホーニング砥石の表示例

砥粒の種類	粒 度	結 合 度	コンセントレーション (組 織)	結合剤の種類	処 理
合成ダイヤモンド SD	粗 粒 60, 80, 100, 120	軟 位 F, G, H, I	粗 30~60 (11, 12, 13, 14)	メタルボンド M	S ; いおう 樹 脂 油 脂
立方晶窒化ほう素 CBN	中 粒 140, 170, 200, 230, 270, 325	中 位 J, K, L, M	中 80~120 (8, 9, 10)	ビトリファイド ボンド V	
アルミナ質 A, WA	(150, 180, 220, 240, 320)	硬 位 N, O, P	密 130~160 (5, 6, 7)	レジンボンド B	
炭化けい素質 C, GC	細 粒 400, 600, 800, 1000, 1200			電 着 法 P	

注：（ ）内は、通常のホーニング砥石に対し表示される場合である。

(3) ホーニング砥石

ホーニング砥石の表示は、従来のアルミナ質及び炭化けい素質砥粒を使用した場合、JISR6210（ビトリファイド研削砥石）に準じて表示される。ダイヤモンド及び立方晶窒化ほう素（CBN）砥粒などの超砥粒は、JISB413（ダイヤモンド及び立方晶窒化ほう素ホイール）に準じて表示される。

表 16.01 にホーニング砥石の表示例を示す。図 16.05 は、ホーニング砥石の各種形状について示したものである。モールド型砥石は砥石欠隕などの損傷を防止し、砥石寿命の向上と共に、砥石管理での改善効果は大きい。また超砥粒を電着法で付着させた砥粒リーマは、穴内面を低ストローク速度で1～2回通過させることによって高能率ホーニングを実現し、切欠きのある穴加工でも高精度化が容易に可能である。

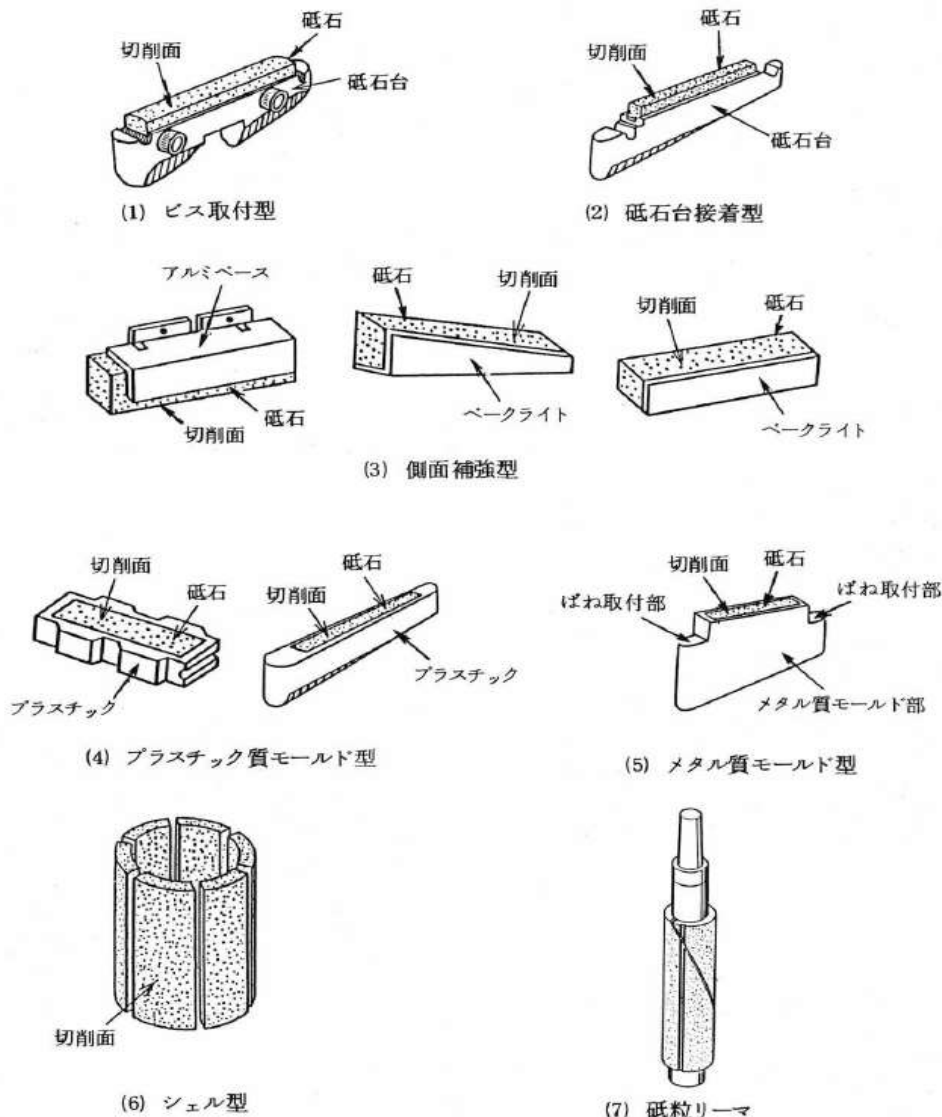


図16.05 ホーニング砥石の各種形状

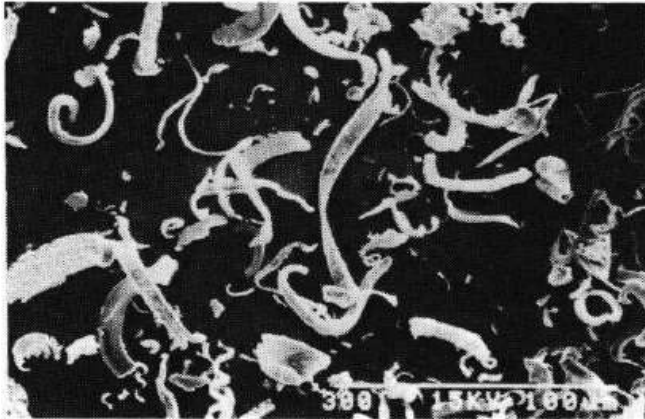
1.6.2 ホーニング機構

ホーニングは、研削加工に比較して約1/50という低速である。さらに工作物と砥石は、研削加工の線接触に対し、面接触状態で工作物表面を能率よく

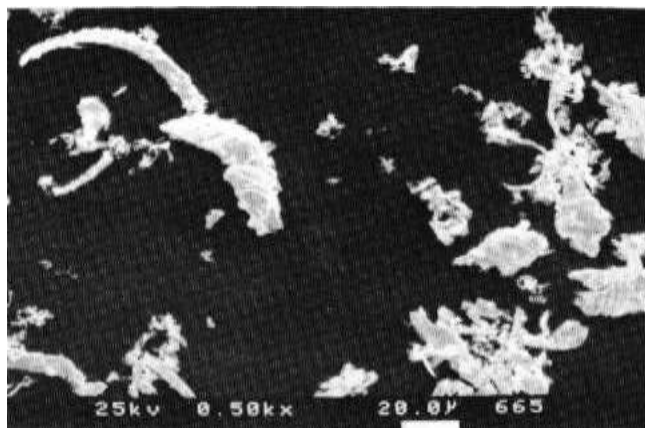
仕上げてゆく加工方法である。このような特徴ある切削機構は、ホーニング加工にとって基本的に重要なことである。

(1) 切りくずの生成

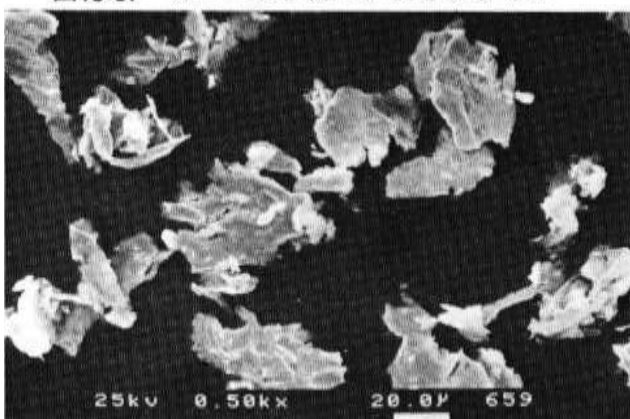
ホーニングでは、砥石と工作物が面接触状態で切削が行われる。このため砥石切削方向の縁以外では、切りくずが砥石面に逃げ場を求めるので連続形の切りくずの発生が容易でなく、塊状切りくずとなる。当然ながら、この場合切りくずの排出が問題となっ



工作物：SUJ2, HRC58/60
砥石：CBN-#230/270-K(C200)-V
図16.06 内面研削加工による切りくず



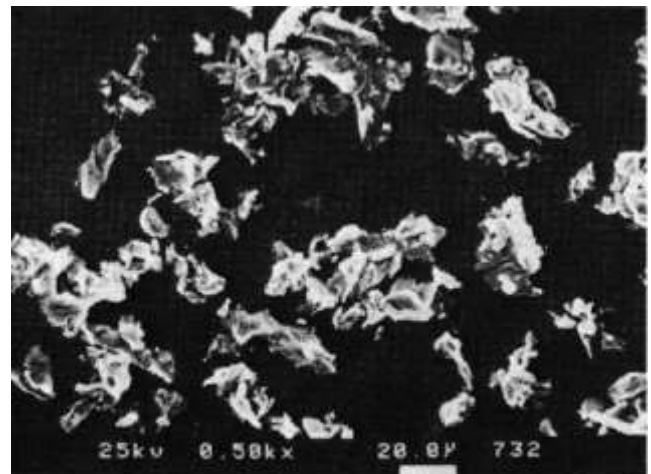
工作物：SUJ2, HRC58/60
砥石：CBN-#140/170-J(C115)-M
図16.07 ホーニング加工による切りくず



工作物：FC20, HB180/200
砥石：SD-#140/170-L(C75)-M
図16.08 ホーニング加工による切りくず

図16.06及び図16.07は、軸受鋼をCBN砥石でそれぞれ内面研削およびホーニング加工したものである。内面研削では流れ形の連続切りくずであるのに対し、ホーニングでは塊状不連続形切りくずが主体となっている。図16.08及び図16.09は、鋳鉄をホーニング加工したもので、いずれも顆粒砂状の切りくずである。

図16.10及び図16.11は、この時の砥石作業面を観察したもので、ビトリファイドボンドGC砥石と違って、メタルボンドSD砥石では砥石作業面に



工作物：FC20, HB180/200
砥石：GC-#150-L9-V(S)

図16.09 ホーニング加工による切りくず

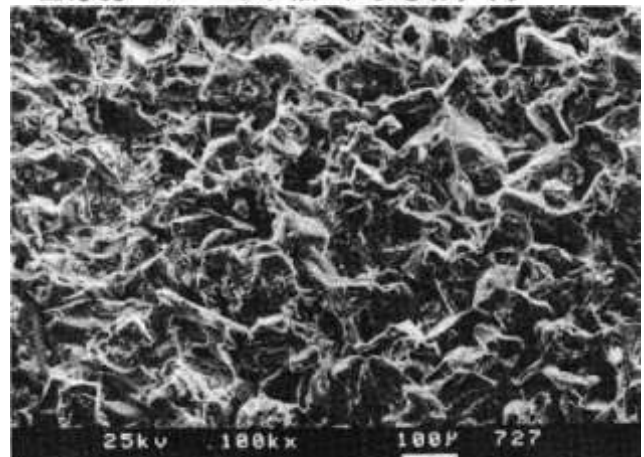


図16.10 GC-#150-L9-V(S)の砥石作業面

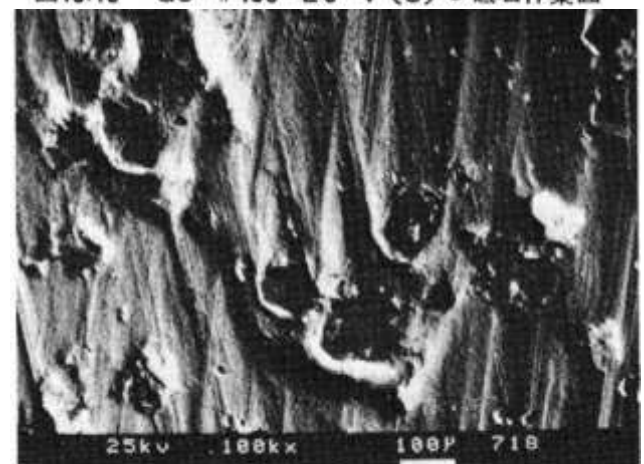


図16.11 SD-#140/170-L(C75)-Mの砥石作業面

(2) ホーニングの切削機構

従来のアルミナ質および炭化けい素砥粒を使用したビトリファイドホーニング砥石では、ホーニングの切削機構として、(1)脱落切削（ドレッシング期）、(2)定常破碎切削（定常切削期）、(3)目づまり切削（ローディング切削）の3つの形態をとることが知られている。例えば、ビトリファイド砥石の気孔に油を充填したホーニング砥石では、砥石表面からのローディング深さが僅少で常に一定値を保ちながら、切削力を維持し続けて行くローディング切削を目的としている。

図 16.12 は、ホーニング砥石の4つの摩耗形態について示してある。

(3) メタルボンド砥石の作用

最近のホーニング加工では、従来の砥粒に比較して硬くてじん性の大きいダイヤモンド、CBN 砥粒

などの超砥粒が盛んに採用されている。これに適用する結合剤（ボンド）は、他のボンド種類に比較して耐摩耗性にすぐれたメタルボンドがほとんどである。

図 16.13 は、メタルボンド砥石の切削模型図を示すもので、発生した切りくずは、砥粒の前方メタルボンド層を摩耗させてクレータを作る。他方、各砥粒は2方向のホーニング運動を受持つので、切りくずは砥粒の側面を回って流れ、図 16.14 に示すよう

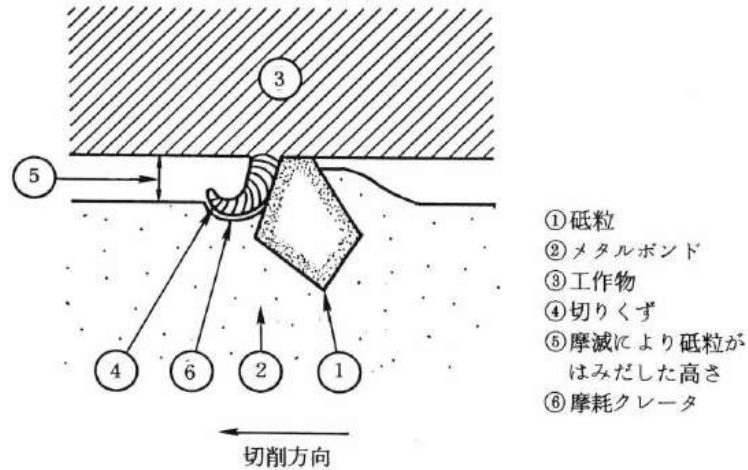
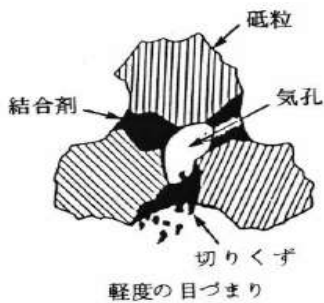
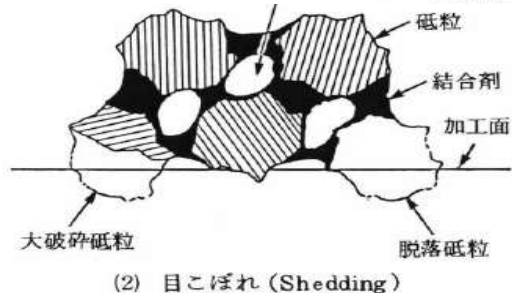
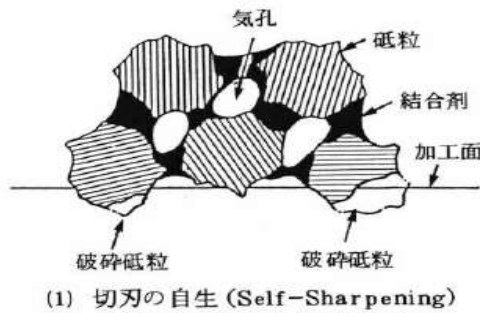


図16.13 メタルボンド系砥石の切削模型図



(3) 目づまり (Loading)

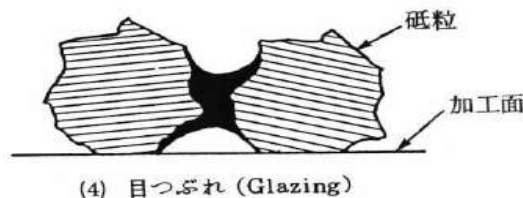


図16.12 ホーニング砥石の4つの摩耗形態

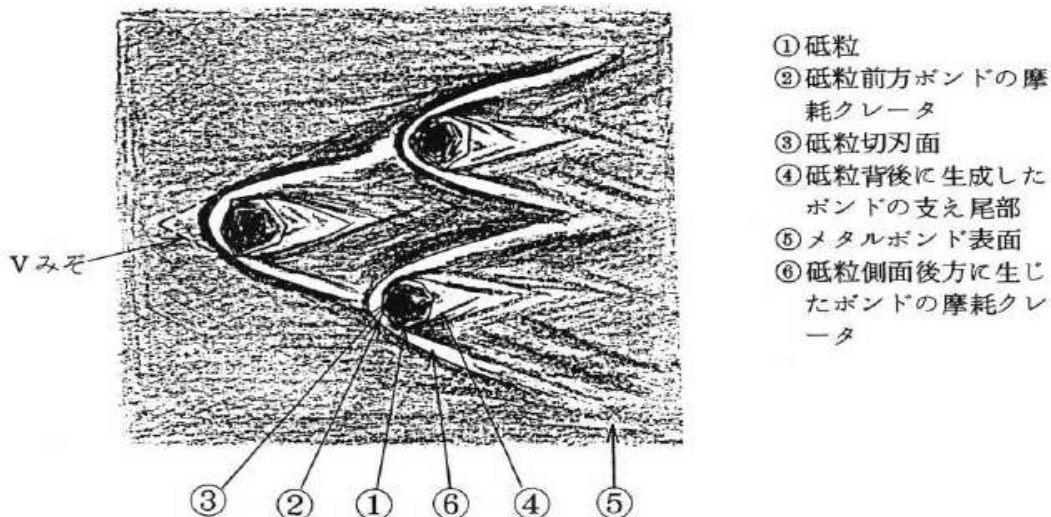


図16.14 メタルボンド系砥石作用面の模型図

にV字形の溝を作る。この溝が流路となり、切りくずが砥粒の後方に運ばれ排出される。従って砥石幅が広いと逃げ場を失った切りくずは、砥石と工作物の間に介在して加工面に傷などを生ずる。このため

1.6.3 ホーニング条件と仕上げ性能

(1) ホーニング条件の選択

ホーニング作業で加工能率を上げ、目標の精度を満足するためには、適正なホーニング条件と共に正しい砥石の選択が必要となる。図 16.15 は、ホーニング性能に影響する基本的な諸条件について示しており、表 16.02 は加工目的の4要素に対応して、ホーニング特性値について示してある。

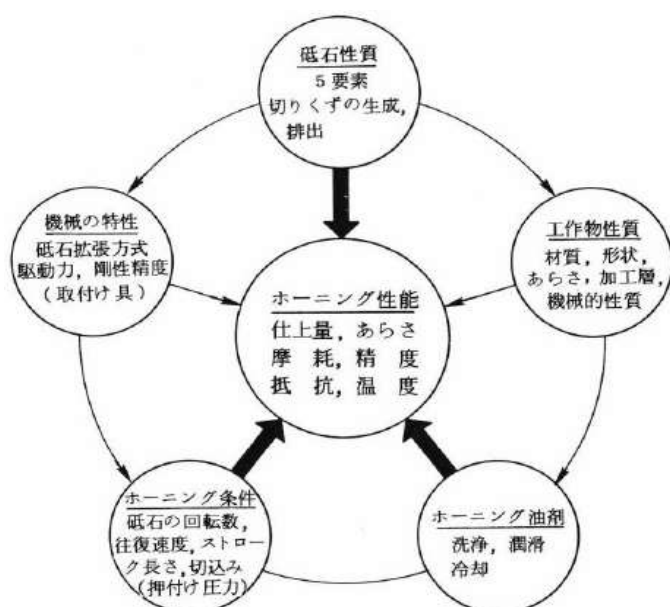


図16.15 ホーニング加工の基本的諸条件

表16.02 ホーニング特性

ホーニング特性値	加工目的の4要素		
ホーニング量 / 時間	↑ 能 率 ↓	↑ コ ス ト ↓	↑ 精 度 ↓
時間 / ホーニング量			
砥石摩耗量	↑ 精 度 ↓		
ホーニング抵抗			
切り残し量	↑ 品 質 ↓		
加工発熱			
仕上面あらさ			
表面特性			

(2) 交差角と仕上げ性能

図 16.16 は、定圧力切込み方式による油圧シリンダー部品としての軟鋼の内径ホーニングの結果である。WA 砥石の仕様は、現在この部品加工で広く実用されているものであり、比較として CBN 及び SD 砥石を試験している。

交差角は、往復運動を一定とし砥石回転速度を変化させることによって変化させてあり、従って加工時間一定では、交差角の減少に従って走行距離は増す。

超砥粒に比較して砥粒が破碎しやすく、砥石摩耗

立形ホーニング盤
定圧拡張方式
工作物：STKM-13C, HB200
 $\phi 80 \times 280 \text{ L mm}$
砥石往復速度：16.8 m/min
加工油：硫塩化系
粘度 3.0 Cst 40°C
加工時間 T : 2 min

実験砥石：4本/SET
角形， $4 \times H \times 100 \text{ mm}$
CBN・120・L (C40)・M
SD・120・L (C40)・M
角形， $10 \times T \times 100 \text{ mm}$
WA・180・H9・V (S)

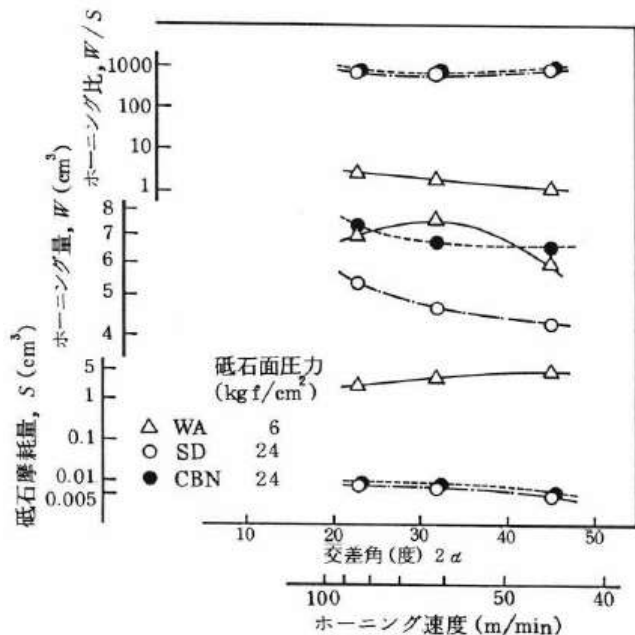


図16.16 交差角とホーニング仕上性能

量の多い WA 砥石では、交差角 30° 付近にホーニング量の最大値がある。これに対し、超砥粒砥石では、交差角が小さくなるにつれて、すなわち走行距離が長くなるに従って、ホーニング量は増加する傾向にある。

(3) 砥石圧力と仕上げ性能

図 16.17 は砥石面圧力に対する仕上げ性能で、砥石摩耗量、ホーニング量ともに砥石面圧力が大きくなるにつれて増加する。同じ砥石面圧力では、SD

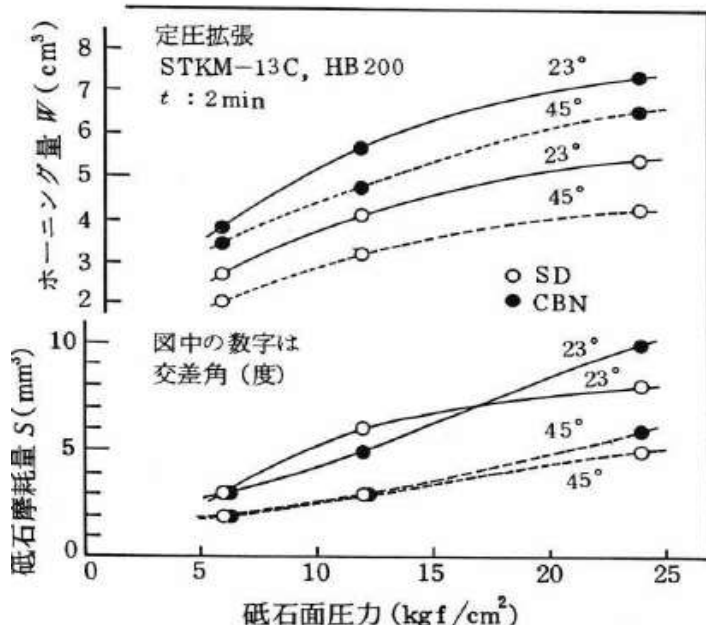


図16.17 砥石面圧力とホーニング仕上性能

砥石の方が CBN 砥石に比較しホーニング量は少ない。

定圧力切込み、定速度切込みの両方式で、スラスト、円周方向力を砥石拡張力で整理比較した場合、定速度切込みにおいても、拡張力が定圧力切込みの場合と同じであると、加工能率は同じ値を示し、拡張力に比例して増加する。

(4) ホーニング速度と仕上げ性能

図 16.18 は、砥石表面積 1 cm^2 当りの単位時間での切りくず除去率として、比材料除去率 ($\text{cm}^3/\text{min}/\text{cm}^2$) を示してある。WA 砥石では、 $V=60 \text{ m/min}$ ($2\alpha=30^\circ$) 付近で能率が最大になる傾向がみられるが、超砥粒砥石では、 V が大きくなるにつれて比材料除去率も増加している。これは図中に示す走行距離 L の増加に比例するものである。他方、砥石表面 1 cm^2 当りの単位走行距離でのホーニング量 ($\text{mm}^3/\text{m}/\text{cm}^2$) は、超砥粒砥石では 2α が大きくなるに伴って増加する傾向にある。したがって超砥粒砥石により加工時間を一定としたホーニング作業で高能率ホーニングするためには、走行距離を長くする必要からホーニング速度を大きくし、砥粒作用切刃数を増やさねばならない。

砥石往復速度は機械の方から限定され、現在 $5 \sim 25 \text{ m/min}$ にあり、従って砥石回転速度は、従来砥石で通常 $15 \sim 40 \text{ m/min}$ に対し、超砥粒砥石では 35

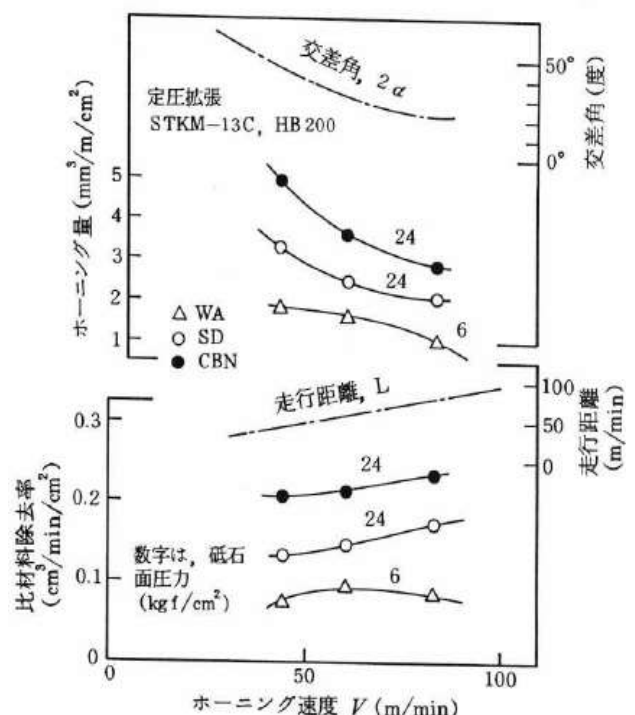
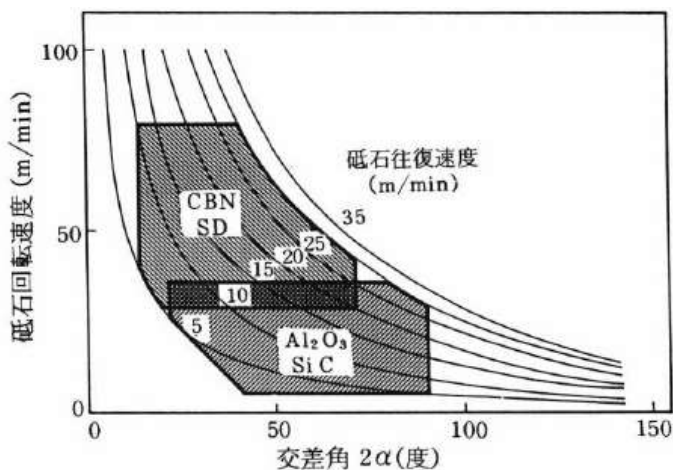


図16.18 ホーニング速度とホーニング能率



～80m/min の範囲で高速ホーニングの方が好ましい (図 16.19)。

(5) 定速度切込みと仕上げ性能

一定速度で砥石が半径方向に拡張してゆく定速度切込み方式で、設定の拡張量に等しい取りしろ量がえられるならば最も理想的である。

図 16.20 は設定切込み量 α に対するホーニング量 W について、従来の WA 砥石と CBN 砥石について比較したものである。CBN 砥石では設定の切込み量をほぼ満足し、WA 砥石では約 30—40% の取りしろ量となっている。また図 16.21 は、 d に対する W と砥石摩耗量 S の関係について示すもので、 W と S の和がほぼ d に等しいことがわかる。即ち、定速度切込みでは、砥石切込み系の剛性が充分であるならば、 W と S の和が d とほぼ一致するのが特徴である。

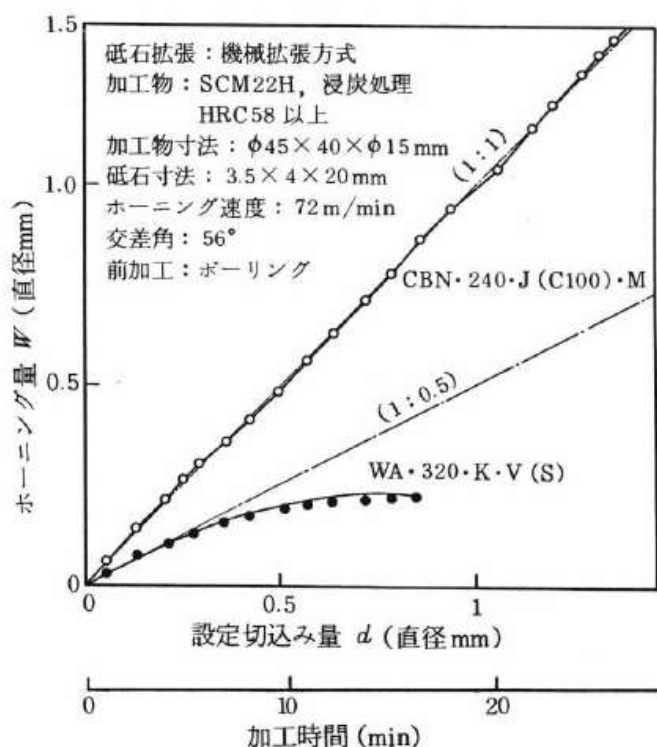
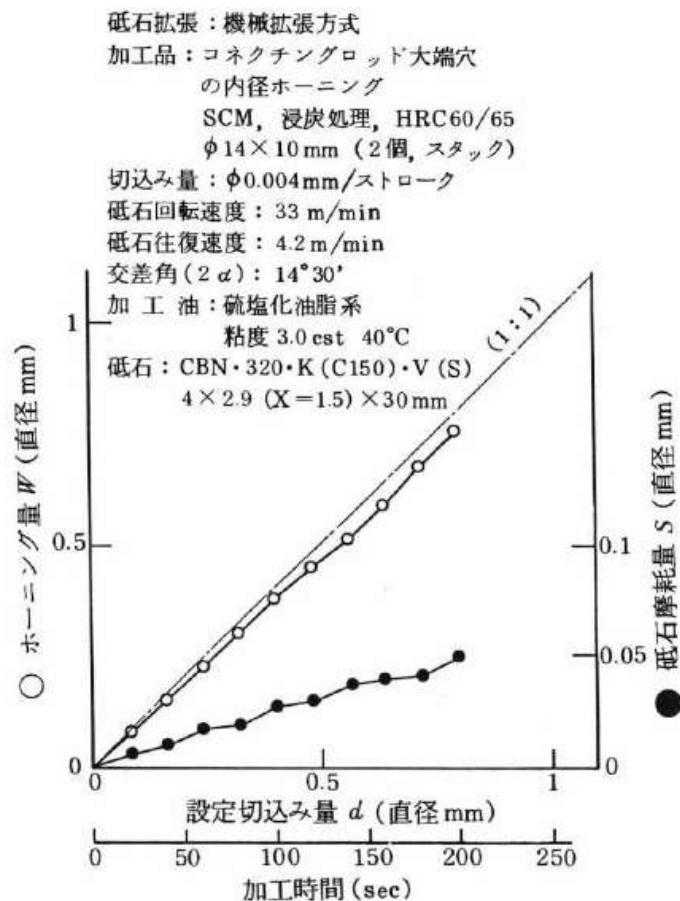


図16.20 定速度切込みとホーニング量



したがって従来の砥粒に比較して容易に破碎とか、目つぶれを生ずることなく切削能力にすぐれる超砥粒は、切込みだけ強制的に取りしろを除去してゆく定速度切込みでは非常に好都合である。

(6) 取りしろ量一定の場合の仕上げ性能

図 16.22～図 16.24 は、取りしろ量を直径で 0.02～0.04mm で一定とした場合のメタルボンド CBN 砥石による歯車の内径ホーニングの結果である。

図 16.22 より砥石圧力 P_n の増加によって、加工時間 T は短くなるが、砥石摩耗量 S も P_n に比例して急増してゆくため、単に高圧力条件とするのは好ましくない。また図 16.23 においても、低圧力 30kgf/cm² の方が砥石回転速度 V_r を大きくすることによって、 T は大幅に短縮され能率的である。したがってホーニング条件としては、砥石面圧力はより低圧力で、砥石回転速度を速くすることによって、高効率で経済的なホーニング加工が達成できる。なお交差角 2α は、小さい方が T は短く高効率となっている。これは砥石回転速度の影響によるものである。図 16.24 では砥石往復速度 V_s が大きくなると、 T は短縮され高効率となるが反対に S は増加する。砥石寿命の低下は圧力が高くなるほど顕著となる。

立形ホーニング盤

定圧拡張方式

工作物：ギヤー部品， $\phi 25 \times 14$ L mm

SCM-22，浸炭鋼

HRC58以上

前加工：ファインボーリング

取りしろ： $\phi 0.02 \sim 0.04$ mm

ホーニング精度：真円，円筒度 $6 \mu\text{m}$ 以下
面あらさ 6S 以下

工作油：硫化油脂 / 軽油 (1/1)

砥石：CBN・200・P (C100)

スチール系メタルボンド

$6.5 \times 7 \times 3$ (X) mm

4本/SET

砥石回転速度：64 m/min

砥石往復速度：4.6 m/min

ストローク長さ：11 mm

オーバートラベル：2 mm

交差角： $8^\circ 20'$

定圧拡張

SCM22，浸炭鋼

HRC 58 以上

砥石往復速度：4.6 m/min

交差角 2α ： $420 \text{ rpm} \cdots 16^\circ$

$810 \text{ rpm} \cdots 8^\circ 20'$

砥石：CBN・200・P (C100)

スチール系メタルボンド

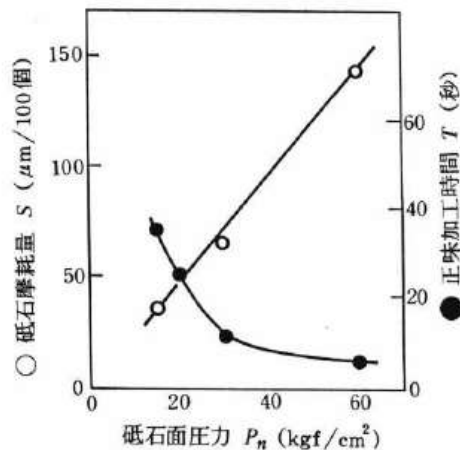


図16.22 取りしろ一定の場合の砥石面圧力と加工時間，砥石摩耗量

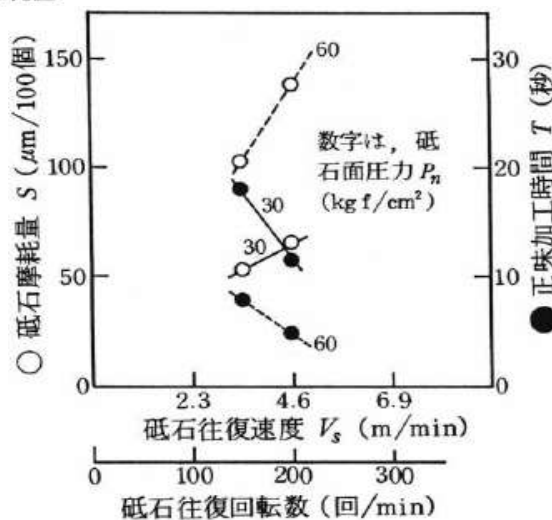


図16.24 取りしろ一定の場合の砥石往復速度と加工時間，砥石摩耗量

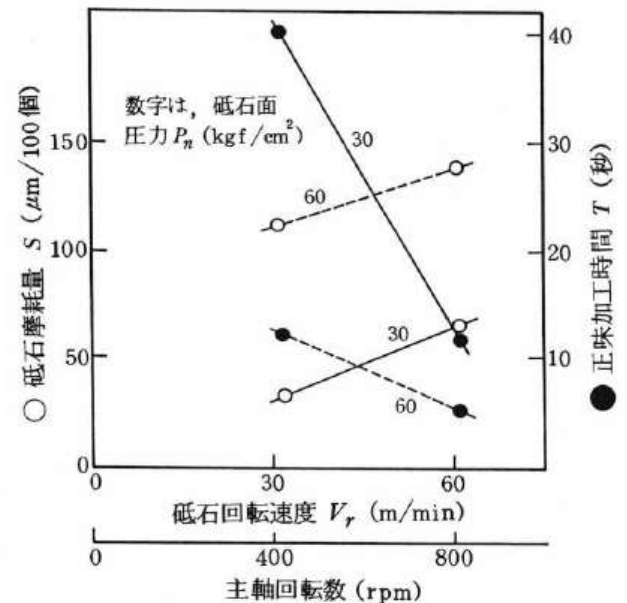


図16.23 取りしろ一定の場合の砥石回転速度と加工時間，砥石摩耗量

定圧拡張

SCM22，浸炭鋼

HRC58以上

砥石回転速度：64 m/min

交差角： $150 \text{ 回/min} \cdots 6^\circ$

$210 \text{ 回/min} \cdots 8^\circ 20'$

砥石：CBN・200・P (C100)

スチール系メタルボンド

1.6.4 ホーニング仕上げ面

(1) ホーニング仕上げ面の特徴

ホーニングされた仕上げ面の特徴は、次のようである。

- 1) 砥石・ホーニング速度・切込み速度・ホーニング油剤などを適当に組み合わせることによって、約 0.3S 以上の表面仕上げが自由に選択できる。

- 2) 砥石の回転速度と往復速度とによって、独特の網目状（クロスハッチ）仕上げ面が得られ、摺動面や回転接触部分において油溜まりの役目をし、潤滑作用に良い結果を与える。
- 3) 通常のホーニング仕上げ面の他に、粗ホーニングでの溝深さと、滑らかな表面仕上げの夫々の利点を組合わせたプラトー表面仕上げが可能である。
- 4) ホーニングされた表面層の加工歪は小さく、す

表16.03 各国の表面あらさの規格に採用されている表示法

		アメリカ	イギリス	イタリア	インド	オーストラリア	オランダ	カナダ	スウェーデン	ソ連	ドイツ	フランス	フィンランド	ポーランド	日本	ISO
1	中心線平均あらさ	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra	Ra
2	最大高さ			$R_{\max}$ (R_{tm})	$R_{\max}$				$R_{\max}$	$R_{\max}$	R_t ($R_{\max}$)	R_t ($R_{\max}$)	$R_{\max}$	$R_{\max}$	$R_{\max}$	$R_{\max}$
3	十点平均あらさ		Rz	Rz	Rz				Rz	Rz	Rz		Rz	Rz	Rz	Rz
4	自乗平均平方根あらさ			RMS		R_σ					R	R				
5	中心線の深さ										R_p	R_p				
6	相対負荷長さ			t					tp	tp	tp	(T) _{RC}		NL		
7	山頂の平均間隔			Sm					(S)	S	Ar	AR				
8	でこぼこの平均間隔									Sm						

ぐれた表面品質が得られる。

(2) 仕上げ面粗さの表示

ホーニングされた表面では、砥粒が走行した跡の特有な交差目を有するので、測る方向によって表面形状や粗さ値が異なってくる事が予想される。研井は、定圧外周ホーニングの場合について実測し、

交差角 2α が 0° または 180° 近辺という特異な場合を除いては、円周方向或いは軸方向のいずれかの方向から測定してもよいとしている。通常はホーニング表面粗さは軸方向で測定され、我が国では $R_{\max}2$ Ra および $R2$ などが使用される。この他、各国の表面粗さ規格について例示すると表 16.03 のようである。

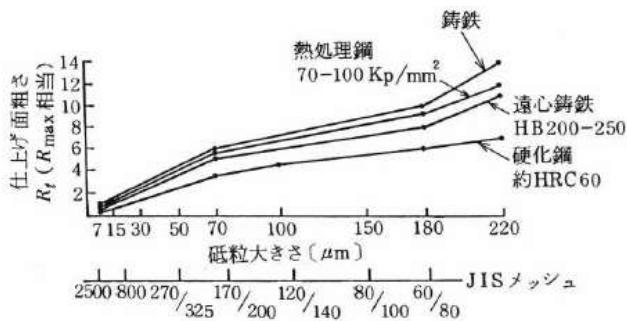


図16.25 砥粒大きさの関数としての工作物仕上げ面粗さ

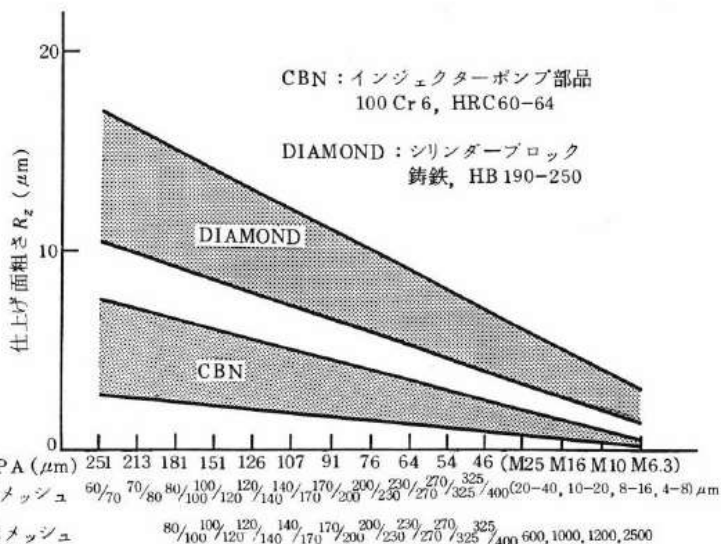


図16.26 焼入鋼—CBN，鋳鉄—ダイヤモンドのホーニング加工における粒度と表面粗さの関係

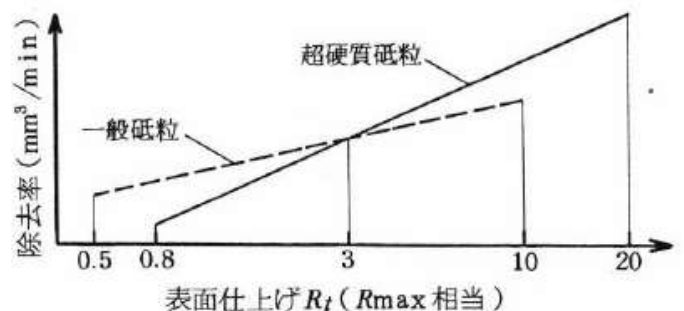


図16.27 鋳鉄のホーニングにおける各種砥粒の比較

表16.04 表面仕上げに対する選択要領

工 作 物	砥粒の種類	表面仕上 上段：Ra(ミクロンメートル μm)，下段：(マイクロインチ μ'')								
		粒 度								
		80	100	150	220	280	320	400	500	600
硬 鋼	Al_2O_3 系	0.65	—	0.50	0.45	0.30	0.25	0.12	0.08	0.03
	SiC系	25	—	20	18	12	10	5	3	1
	CBN	—	1.40*2.00	1.15	0.75	0.70	—	0.50	—	0.18
		—	55*80	45	30	28	—	20	—	7
軟 鋼	Al_2O_3 系	2.00	—	0.90*1.40	0.65	0.50*0.90	0.40	0.18*0.25	0.10*0.20	0.05
	SiC系	80	—	35*55	25	20*35	16	7*10	4*8	2
	CBN	—	1.60*2.50	—	1.75*2.00	—	—	0.65	—	—
		—	65*100	—	70*80	—	—	25	—	—
鋳 鉄	SiC系	2.50	—	0.75*1.00	0.50	0.30	0.25	0.15	0.12	0.08
		100	—	30*40	20	12	10	6	5	3
	DIAMOND	—	—	—	2.00	—	—	1.27	—	0.50
		—	—	—	80	—	—	50	—	20
アルミニウム合金 黄 銅 青 銅	SiC系	4.30	—	2.00	1.40	0.85	0.70	0.40	0.30	0.05
		170	—	80	55	33	27	15	12	2
超 硬 合 金	DIAMOND	—	—	0.75	0.50	—	—	0.18	—	0.08
		—	—	30	20	—	—	7	—	2
セラミックス	DIAMOND	—	—	1.27	1.00	—	—	0.50	—	0.40
		—	—	50	40	—	—	20	—	15
ガ ラ ス	DIAMOND	—	—	2.40	1.80	—	—	0.75	—	0.40
		—	—	95	70	—	—	30	—	15

* 2つの値が示されている場合：

小さい数字：小物部品，1 HP 又はそれ以下の駆動力によるホーニング機械でホーニングされる。

大きい数字：大物部品，2 HP 又はそれ以上の駆動力によるホーニング機械でホーニングされる。

多い鋳鉄のホーニング加工で、表面仕上げ $3\mu\text{mR1}$ ($3\mu\text{mRmax}$ 相当) 以下を必要とする場合、超砥粒により粗ホーニングし、次いで一般砥粒で仕上げホーニングすることにより高能率、経済的で且つ安定した品質の加工部品が保証される。

表 16.04 は、ホーニングすべき各種工作材料について希望する表面粗さに対し、砥粒種類及び粒度の選択要領について示してある。

(4) プラトーホーニング

エンジンのシリンダー内面は、最終段階でホーニングされる。この場合、プラトーホーニングと呼ばれる表面仕上げ構造を生成することによって、なじみ運転は実質上削減される。適切な感覚をもったホーニング面の谷間は、理想的なオイルポケットを提供する結果。エンジンのオイル消費と寿命に効果がある。図 16.28 は、シリンダー内面のプラトーホーニング状態を示すもので、その仕上げ面の断面プロ

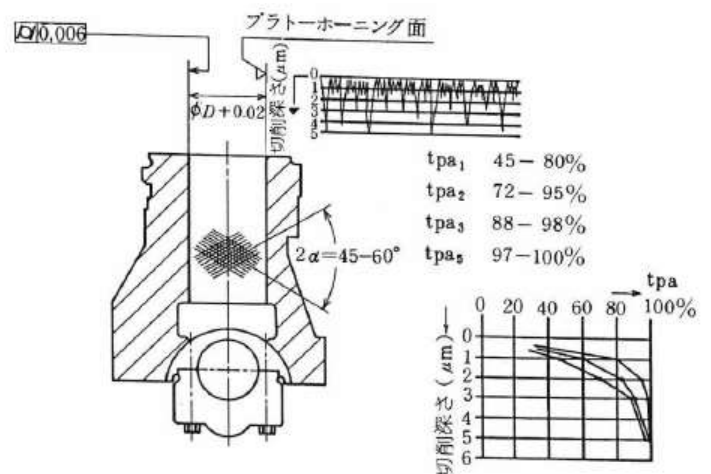


図16.28 プラトーホーニングされたシリンダーボアの状態

ファイルは、アボットコンタクトカーブ (Abbott Contact Curve) を生ずる。アボットコンタクトカーブは各々異なる切削仕上げ面の断面曲線の谷の深さに対する累積接触面積のパーセンテージを示すもので、その曲線のパターンが一定の交差内に入るようにコントロールされる。図 16.29 は、プラトーホーニング工程について示したものである。

実際の生産においては、例えば粗ホーニングは機械拡張により、プラトーホーニングは油圧拡張による。また 1 軸で 2 段の拡張機構をもち、2 種類の異

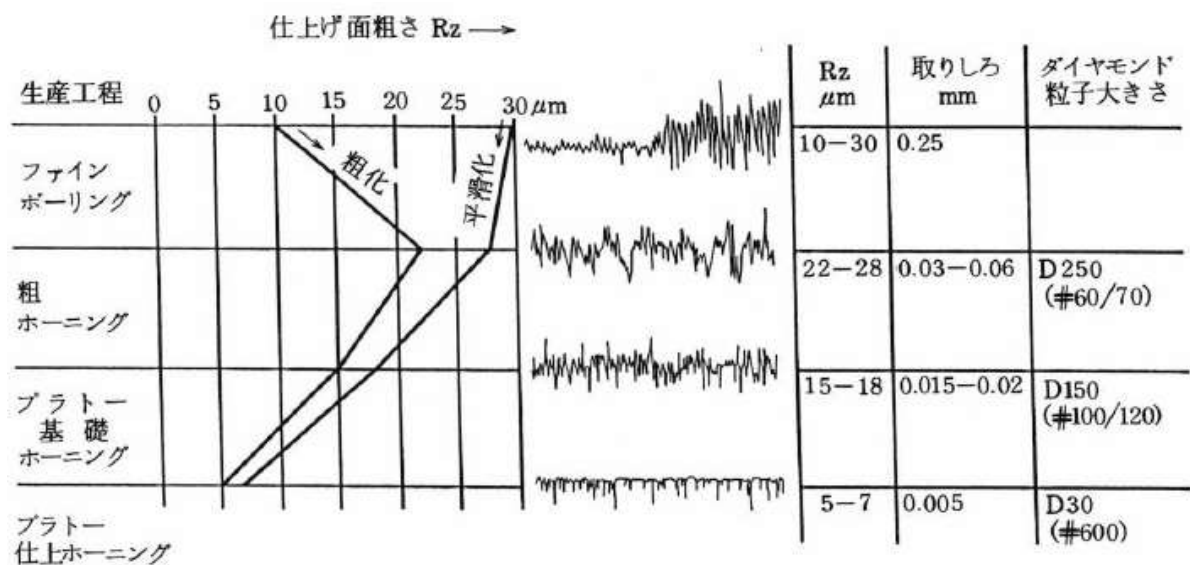
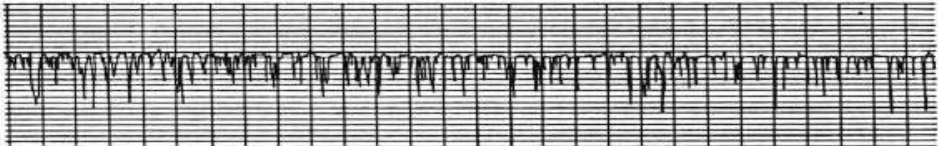


図16.29 プラトーホーニングでの表面プロファイルに対する加工段階

表16.05 プラトーホーニングの例

加工部品		シリンダーライナー	
加工材質		鋳鉄，硬度：HB240KP/mm ²	
加工物寸法		内径 135 mm，長さ 235 mm	
前加工		旋削，円筒度，真円度：0.03 mm	
テスト条件		粗ホーニング 仕上ホーニング	
機械		NAGEL 立形ホーニング機，ツール；HLD 135 So-3	
ホーニング	数/セット	6 ホーニングスティック	
砥石	寸法	13×13×150 mm，5×5×150 mm，13×13×150 mm，5×5×150 mm	
	品質	SC・60・M・KE3060，D250/410/75，SC・400・Q・KE3048，D50/410/75	
	寿命	(GC #60M-Vit)，(DIA #60/70)，(GC #4000-Vit)，(DIA #360)	
駆動ギア		トグルリンクPS65/65-500 So-2	
取付具		特殊クランプ装置	
クランク		ホーニングオイル“HONO PLUS”	
ストローク速度		18 m/min	
速度		80 r.p.m，100 r.p.m，80 r.p.m，100 r.p.m	
拡張圧力 (圧力計バルブ)		14 バール，18 バール，8 バール，8 バール	
結果			
取りしろ		0.06 mm 0.01 mm	
ホーニング時間		30 s 30-40 s 10 s 8 s	
テーパ，真円度		0.01-0.015 mm，0.01 mm，0.01-0.015 mm，0.01 mm	
寸法公差		0.005 mm，空気計測機で	
ホーニング後の表面			

(5) ホーニング仕上げ面の残留応力

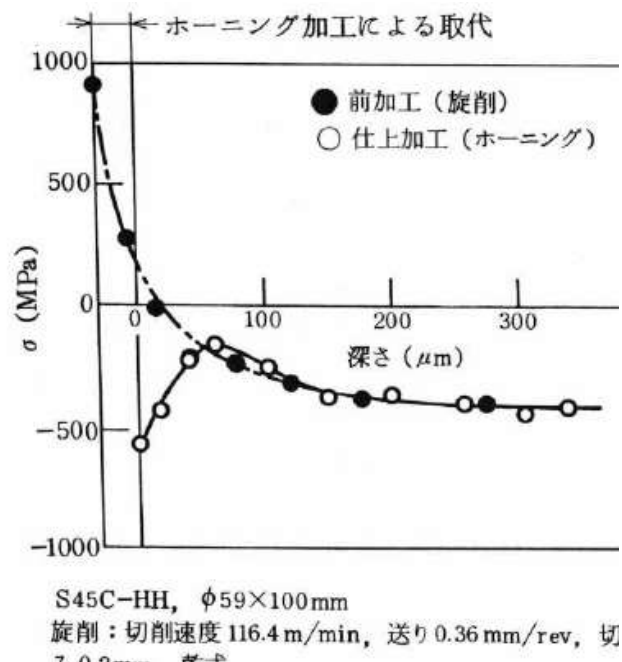
なるホーニング砥石のセットが交替で拡張する。

表 16.05 は粗ホーニング後、仕上げホーニングによるプラトーホーニング加工で、通常の GC (SC) 砥石及びダイヤモンド (D) 砥石を夫々使用した場合の仕上げ性能について比較してある。

超砥粒砥石を使用して、高速ホーニングを実施する場合、当然切削温度が高くなるので、温度と表面流動が加工変質層の深さと残留応力に与える影響が気になる。図 16.30 は、これらについて調べた結

果である。深さ 0 がホーニング加工による加工表面を表しており、ホーニング取りしろは約 $30\mu\text{m}$ である。この図から、ホーニング加工すると引っ張り応力が消え、逆に圧縮の残留応力が生じている。

一般に切削作用や熱応力は引張り残留応力を生じ、バニシ作用は圧縮応力を生じることから推定すると、高速ホーニングでも切削熱の影響よりもバニシ作用の影響の方が大きいと伝える。またこの図で、ホーニング加工の影響深さは約 $50\mu\text{m}$ で、全体としての変質層深さは、前加工である旋削に支配されている。



1.6.5 ホーニング取りしろ

(1) 取りしろの指針

ホーニング加工においては、最初高い部分から削られてゆき、全体がホーニングされた状態で最終寸法が得られる。従ってホーニング取りしろは、普通前加工精度によって決まってくる。

一般にホーニングの最少取りしろは、理論的には、前加工表面粗さの 2 倍量と、真円度・円筒度・真直度などの前加工寸法誤差との総和で与えられる。

ホーニング取りしろは、必要最小限とするのが最も経済的であるが、前加工のうねりの大きいものやテーパの大きい穴に対しては、前加工表面粗さと前加工寸法誤差の総和の 2 倍量のホーニング取りしろを必要とする。表 16.06 は、仕上げ面粗さに対する取りしろ量の目安である。

通常、小物部品のホーニング時間は僅かであるが、大物部品の場合は問題である。表 16.07 は、所要の取りしろを除去するのに必要な時間に対する指針である。

表16.06 取りしろ量－仕上げ面粗さ

$$\text{必要な取りしろ量} = \frac{(\text{前加工面粗さ}) - (\text{ホーニング面粗さ})}{100}$$

例：前加工面粗さ $1.25 R_a \mu\text{m}$
 ホーニング面粗さ $0.25 R_a \mu\text{m}$

$$\frac{1.25 - 0.25}{100} = 0.01 (\text{mm})$$

表16.07 取りしろ量－ホーニング時間

砥石主軸駆動力；3 HP

$$\text{ホーニング時間} = \frac{(\text{加工長}) \times (\text{加工直径}) \times (\text{所要の取りしろ量})}{3400}$$

例：加工長 100 mm
 加工直径 1200 mm
 取りしろ量 0.28 mm

$$\frac{100 \times 1200 \times 0.28}{3400} = 10 (\text{min})$$

表 16.08 及び表 16.09 は、超砥粒を使用した種々のホーニング作業例での、取りしろ量と加工時間について示してある。

表16.08 取りしろ量と加工時間

加工部品名	加工材料	加工物寸法(mm)		前加工	取りしろ量 (mm)	砥石	加工時間 (s)
		加工後 直径	長さ				
バルブ	ステライト HRC 45/50	3.28	9.50	研削	0.025	CBN メタルボンド	20
ビニオンギヤー	AISI 8620 鋼 HRC 58/60	15.11	22.20	粗ホーニング	0.025	CBN メタルボンド	15
バルブ	D2, 高速度 工具鋼 HRC 62	11.10	57.20	リーマ加工後 熱処理	0.100	CBN メタルボンド	20
ロッカアーム ブラケット	可鍛鋳鉄 軟	28.58	28.60	ボーリング	0.100	SiC	35
油圧シリンダー	冷間引抜鋼 軟	25.40	19.10	ボーリング	0.076	Al ₂ O ₃	20
シールハウジング	303 ステンレス鋼 軟	11.10	19.10	リーマ仕上	0.076	Al ₂ O ₃	25
ブッシング	CD-25 超硬 硬い	26.98	31.00	焼結	0.889	DIA ビトリファイド ボンド	7min
平歯車	6061-T6 アルミニウム 軟い	60.33	13.60	ボーリング	0.178	SiC	2min
ねじ歯車	C-1144鋼 軟い	17.45	10.16	ボーリング	0.064	Al ₂ O ₃	20
ヘッダー ダイスインサート	超硬 20%Co 極硬	10.73	49.20	焼結	1.140	DIA メタルボンド	10min
ボール	粉末合金 表面硬さ HRC 40	13.97	25.40	ボーリング	0.076	CBN メタルボンド	10
油圧バルブ	鋳鉄 軟い	34.93	295.28	ボーリング	0.064	DIA 電着	10

表16.09 取りしろ量とホーニング能率 (CBN及びダイヤモンド, メタルボンド砥石)

加工部品名	加工材料	取りしろ量 (mm)	砥粒 種類, 粒度	機械型式	回転速度 (m/min)	穴形寸法 (mm)	加工時間 (s)	ホーニング 能率 (mm/s)
シャフト インプット	1035 鋼 68-A	0.178	CBN 80/100	マイクロ マチック	38.9	38.1×147.32	35	0.0051
ブッシング	AMS5732 イオン窒化	0.203~0.254	CBN 80/100	サンネン	40.7	6.477×50.8	45	0.0051
バルブ	4340 HRC 55	0.381	CBN 80/100	サンネン	95.7	38.1×99.57	55	0.0069
サンギヤ	5130 H HRC 58/62	0.203~0.254	CBN 80/100	マイクロ マチック	101.1	49.53×152.4	60	0.0038
ロー ランス	超硬 非常に硬い	0.102~0.127	DIA 230/270	サンネン	31.9	6.35×38.1	45	0.0025
エンジン ブロック	鋳鉄 HB 170/229	0.127	DIA 80/100	マイクロ マチック	49.6	79.76×101.6	41	0.0030
エンジン ブロック	鋳鉄 HB 170/229	1.778	DIA 60/80	サンネン	101.9	104.65×127	240	0.0074

1.6.6 加工精度

(1) 円筒形上・真円度の修正

一般にホーニング加工では、ツール、又は工作物のどちらかをフローチングさせることによって、ホーニングヘッドと加工穴とが自動調心されて、自由切削が継続できるようになっている。すなわち砥石が内面穴内面に一拡張することによって、さツールは適当な長さで剛性をもった砥石の回転と往復運動が同時に行われることによって、前加工に発生している形状誤差（図 16.31）は、最小限の取りしろ量で修正されるとともに、円筒度・真円度・表面粗さなどの幾何学的形状精度の改善が得られる。

ホーニング加工で正確な円筒度を得るためには、ストローク長さとストローク位置を、正確に調整する必要がある。すなわち円筒度は、加工物の加工面上の任意の点を通して砥粒数、すなわちホーニング量と密接な関係がある。砥石が工作物の端部でオーバーランする瞬間の前後においては、砥石面圧力が大きくなることによって切削量は増加する。他方、ストローク速度及び交差角が極小となることによって切削量は減少する結果、これに砥石のオーバトラベルをバランスさせることによって、正しい円筒形状がえられる。

また真円度は、表面粗さと密接な関係のあること

が解っており、砥石の切込みを停止し、研削加工のスパークアウトに相当するランナウトあるいは多段ホーニングを施すことにより、仕上げ面粗さの向上に伴って真円度も改善される。

(2) 自動定寸装置

ホーニング加工が広く用いられるようになった理由の一つとして、インプロセスで自動定寸し易い加工法であったと伝える。ホーニング作業での自動定寸装置について表 16.10 に示す。しかし現在の自動定寸は、厳密な意味で云えば取りしろの制御についてであり、仕上げ面粗さ・真円度・円筒度などを自動的に制御するものではない。

(3) 多段ホーニングと高能率・高精度加工

インジェクションポンプ部品（図 16.32）は、深穴ドリリング後熱処理し、直ちにホーニング加工する。取りしろ量は、穴径によって 0.1~0.15mm の範囲にある。これを 3~4 段階に分割したホーニング工程とすることによって、高精度が容易に得られる。この多段ホーニングでは、最初の工程では取りしろの割合を多くし、後工程では表面仕上げを重視した少ない取りしろの配分とする。また被削材硬鋼

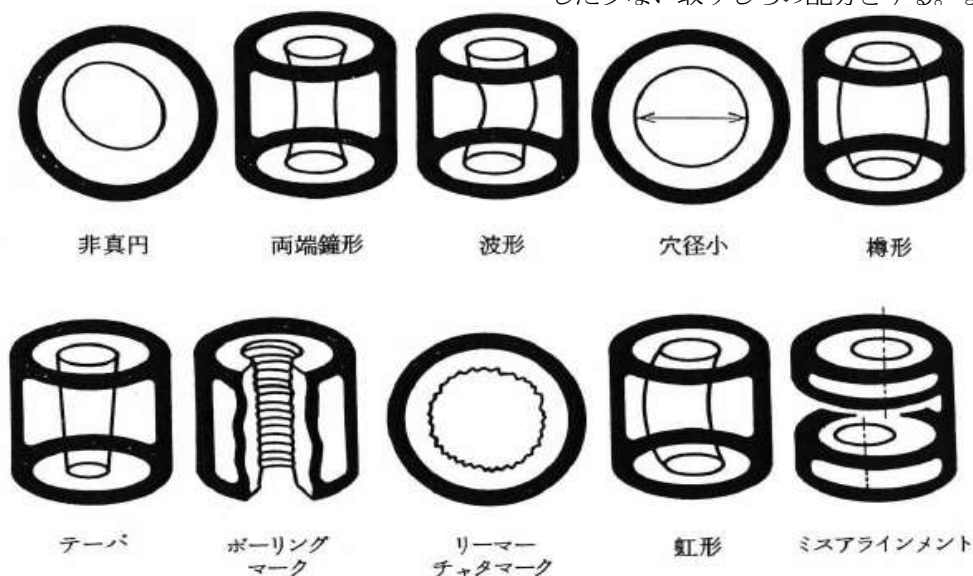


図16.31 不正な穴径の代表的な 10 例

表16.10 自動定寸装置

分類	種類	加工範囲 直径 ϕ D 長さL mm	加工形状	定寸バラツキ		寸法調整能力 mm	測定	摘要
				μ m	要因			
直接式自動定寸	ゲージバー	$\phi 40$ 以上 *L	キー溝 不可	安定性に 欠ける	加工物中の ビビリなど	不可	MAX.	
	ゲージリング	$\phi 50$ 以下 *L	*	5-15	リング摩耗	不可	MIN.	プラスチックモールド 形砥石適用。
	プラグゲージ	$\phi 10 \sim 80$ 18L以上	入口切欠 きは不可	3-5	プラグ摩耗	0.01	入口寸法 MIN.	段取時間少い。 安価。
	エアーゲージ	$\phi 90$ 以上 20L以上	入口切欠 きは不可	3-8	エアー洩れ ノズル部の 摩耗 エアーの汚染	0.01	定位置	加工面にキズがつかない。 ゲージングに時間を要 する。 高価。
	ディレク エアーゲージ	$\phi 30$ 以上 75L以上	入口切欠 きは不可	3-5		0.01		ノズル摩耗大。 取りしろ限定, 小。
	ジェット マッチック	$\phi 12$ 以上 20L以上	切欠きは 不可	3		0.025	MIN.	取りしろ限定, 小。
間接自動定寸	タイマー	*	*	—	取りしろ 前加工 寸法誤差	可	—	前加工精度が安定して いて, 取りしろが小さ いものに限る。
	機械式 拡張ゲージ					可		加工物は, ゲージが入 るに十分な余裕が必要。

備考) * 特に問題としない。

MAX.: 最大値測定

MIN.: 最小値測定

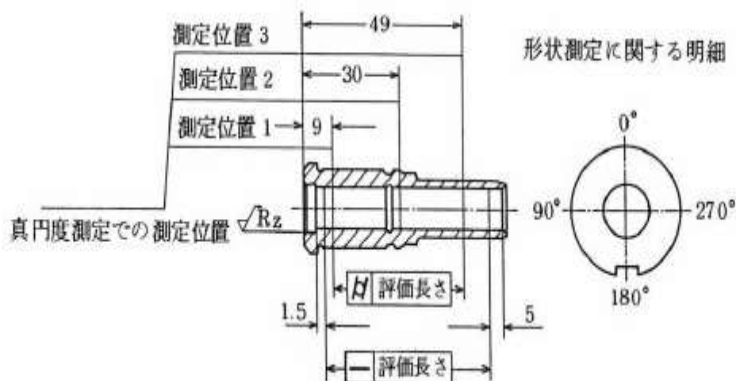


図16.32 インジェクションポンプ部品の形状精度に関する測定方法

に対し、すぐれた切削性能を有する CBN メタルボン
ド砥石が使用される。図 16.33 に示すように、細粒
砥石を使用することによって表面粗さ及び幾何学的
精度は、段階ごとに 1/2 に減少し高精度化される。
この加工ではホーニングツールを機械拡張により僅
かずつ拡張することにより、油圧拡張で加圧を持続
しつづけるよりも切削性及び制度改良の上から好結
果がえられる。更にこの加工では、自動フィードバ
ックを有するサイジングステーションにより、直径
測定及びストローク位置を変換し、円筒形状を自動
的に補正する。

また高精度を重視するため、ホーニング油は冷却
により絶えず室温に保持されて作業帯域に送られ
る。

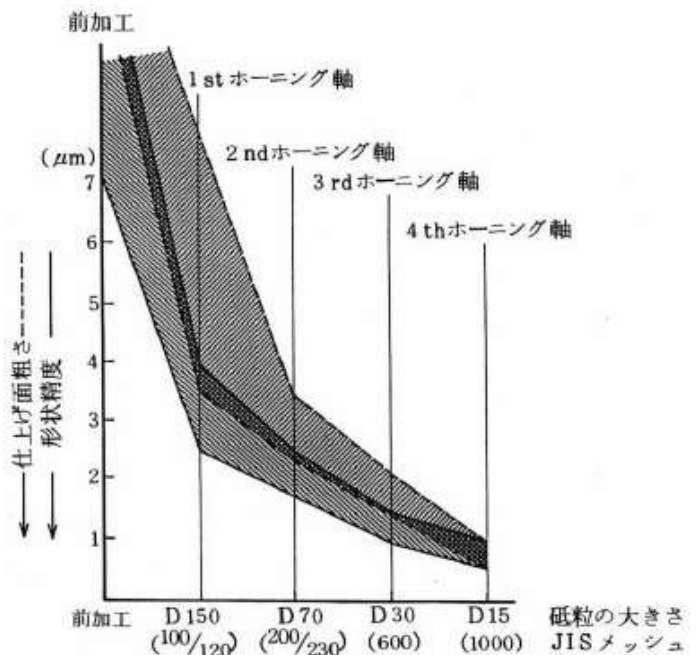


図16.33 多段ホーニングによる形状精度及び仕上げ面粗さの改善説明図

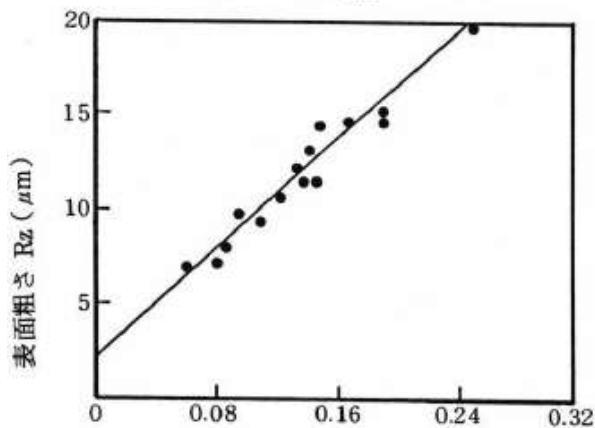
(4) ホーニングプロセスでの品質管理

均一性にすぐれ安定した部品を量産し、製品不良
を出さないことから、適応制御ホーニングの実用化
が望まれるところがあるが、実際の問題として、ホ
ーニング工程中で品質管理が困難なのは、ホーニ
ング結果の再現ができないことにある。その理由とし
て次のことが挙げられる。

ホーニング砥石：
D 213 (#60/80) 70 B

加工材料：
鋳鉄，HB 30/5=2600 N/mm²

クーラント：
ホーニング油



接線分力比 μ_t

$$\mu_t = F_t / F_n$$

F_t : 回転方向接線分力

F_n : 垂直分力 (砥石押付力)

図16.34 表面粗さと接線分力比との関係

- 1) 切込み系における摩擦力
- 2) ツールと工作物系における剛性の問題
- 3) ホーニング加工中の砥石性能の変化
- 4) ダイヤモンドあるいは CBN ホーニングツールについての鋭刃の状態が不明確である。
- 5) 種々の摩耗形態によって生ずる砥石作業面の状態により影響されるホーニング加工の変化
- 6) 工作物の前加工寸法のバラツキ

ここでは、ホーニング砥石の表面状態及びホーニング条件とは無関係に、接線分力 F_t 、またはトルクを測定することによって管理しようとするものである (図 16.35)。ただし、この場合の砥石・工作物材料・クーラントの種類は限定される。

すなわち、もし表面粗さが要求の値よりも細かい或いは粗い場合、垂直分力 (砥石押付力) F_n を、油圧力を増減するなどして補正する。ただし機械拡張方式では F_n は計算できないので、この場合は、加工中に表面粗さを直接管理する以外ない。図 16.37 は、ホーニングヘッドの溝にとりつけられた粗さセンサー (図 16.36) を使用した場合の目盛線図と、ホーニング中の表面粗さの測定例である。

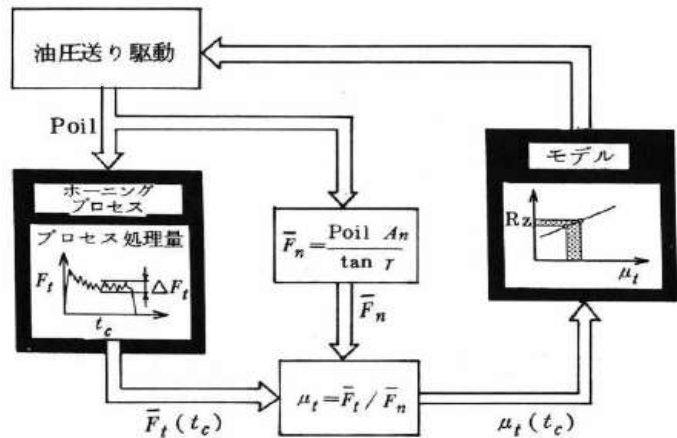


図16.35 接線分力の測定による表面粗さの管理

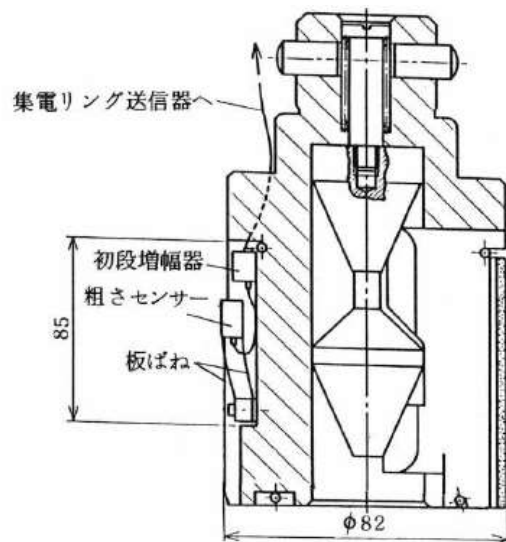
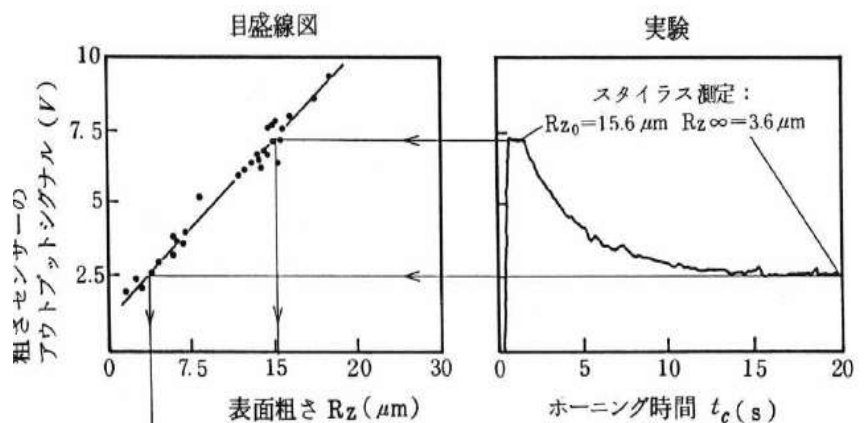


図16.36 粗さセンサーをもった内面ホーニングツール



$Rz_0=3.8 \mu\text{m}$ $Rz_\infty=15.2 \mu\text{m}$
(目盛線図より決定)

ホーニング条件：

砥石接触圧 $P_n=1.5 \text{ N/mm}^2$

ストローク速度 $V_a=0.2 \text{ m/s}$

回転速度 $V_t=0.55 \text{ m/s}$

ホーニング砥石：D 46 (#325/400) 75 R

加工材料：

鋳鉄，HB 30/5=2300 N/mm²

クーラント：ホーニング油

図16.37 目盛線図とホーニング加工中での表面粗さのインプロセス測定の実験

1.6.7 ホーニング砥石の選択

(1) 砥石選択基準

ホーニング砥石において、精度・能率・経済性の面から正しいホーニング砥石の選択が重要となってくる。従来の一般砥粒に比較し、硬くて強い超砥粒は、耐摩耗性にすぐれ、砥粒刃先がしっかりしている。特に機械拡張方式などの微小量切込みに対しても、砥石拡張量のコントロールが容易であるなどから、ダイヤモンドやCBNなどの超砥粒砥石の適用実用化が急速に拡大している。

他方、ホーニングは、低速度であり加工発熱も少ないことから、ダイヤモンド砥粒などの積極的な選択実用化が進められている。

(a) 工作物材料に対する砥石選択

表 16.11 は、一般砥粒砥石の選択について示したもので、工作材料が鋼の場合は、通常アルミナ質 (WA, A) 砥粒、鋳鉄の場合は炭化珪素質 (GC, C) 砥粒が標準的に選択される。そして砥石損耗量が少なく、切削性にすぐれた経済的な砥石性能を目的として、砥石母体の結合度を軟かくし、砥石気孔をいおう (S) で充填した処理砥石が多用される。

表16.11 工作物材料と一般砥粒砥石の選択

工作物の硬さ (HRC)	砥粒種類の選択	砥石結合度
60 以上	WA, A	G/H, G/H (S)
58—60	〃 〃	H/I, G/I (S)
52—57	〃 〃	J/K, H/I (S)
45—51	〃 〃	K/L, H/J (S)
34—44	〃 〃	L/M, H/K (S)
34 以下	鋼	N/P, H/L (S)
	鋳 鉄	L/N, K/M (S)

表16.12 工作物材料と超砥粒砥石の選択

工作物硬さ (HRC)	砥粒種類の選択	コンセントレーションの選択	摘 要
65 以上	超 硬 合 金	60～100	
	硬質クロムメッキ	60～120	
	セラミックス	35～100	
35 ～ 64	CBN	60～120	
35 以下	25～35	CBN	50～110
	調 質	SD	50～110
	生 材	SD	60～120
		SD	45～100

表 16.12 は、超砥粒砥石の選択について示すもので、CBN 砥粒は熱処理された硬鋼のホーニングの場合標準的に選択されるのに対し、ダイヤモンド (SD) 砥粒は硬脆材料と鋳鉄及び軟鋼などに対して選択される。

表16.13 一般砥粒の粒度選択

工作物硬さ (HRC)	仕 上 げ 面 粗 さ (S)							
	0.3—0.5	0.6—0.9	1.0—1.4	1.5—2.0	2.1—2.6	2.7—3.5	3.6—5	6 以上
	粒 度 (メッシュ)							
60 以上	400	280	240	180	150	—	—	—
58—60	〃	〃	〃	〃	〃	120	—	—
52—57	600	320	280	220	〃	〃	100	80 以下粗
45—51	〃	〃	〃	〃	180	150	〃	〃
35—44	〃	〃	〃	〃	〃	〃	120	100 以下粗
34 以下	鋼	800	400	320	240	220	180	120 以下粗
	鋳鉄	—	—	500	320	240	220	150 以下粗

表16.14 超砥粒の粒度選択

工作物硬さ (HRC)	仕 上 げ 面 粗 さ (S)								
	0.3—0.5	0.6—0.9	1.0—1.4	1.5—2.0	2.1—2.6	2.7—3.5	3.6—5	6—9	10 以上
	粒 度 (メッシュ)								
60 以上	2000	1200	800	500	270/325	200/230	100/120	—	—
58—60	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	100/120	—
52—57	2500	1500	1000	〃	〃	〃	〃	〃	80/100 以下粗
45—51	〃	〃	〃	600	325/400	230/270	120/140	〃	〃
35—44	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
34 以下	鋼	3000	2000	1200	800	500	270/325	140/170	100/120 以下粗
	鋳鉄	—	—	1500	1000	600	325/400	230/325	200/230

メタルボンド砥石を使用して、切りくずの排出を容易にしたり、砥粒間隔の拡大により定圧切削において砥粒の切削作用を促進するためには、コンセントレーションは低位の方が好ましい。

(b) 仕上げ面粗さに対する粒度選択

表 16.13 及び表 16.14 は、一般砥粒及び超砥粒について仕上げ面粗さに対する粒度選択を示したものである。

超砥粒においては、平均して一般砥粒の場合の 1.5～2 倍の大きいメッシュ番号（細粒）の選択が必要となる。

(c) ホーニング砥石の選択例

表 16.15 は自動車部品のホーニング加工における従来の砥石と超砥粒砥石の選択例を示したものである。従来の砥石は、ビトリファイドボンドでいおう(S)処理してあるのに対し、超砥粒では、各種ボンドシステムのなかで最も耐摩耗性の大きいメタルボンドが標準的に選択されている。特

に最近では、発刃機能をうながし、切削性を強調したブロンズ系のクラッシュブルボンドなどが多用される。

(2) ホーニング砥石の性能評価

ホーニング加工において、ホーニング砥石の性能を評価する方法として、研削加工の場合の研削比に相当するホーニング比（切削除去体積(mm³) / 砥石摩耗体積(mm³））がある。すなわち従来の一般砥石に比較して高価である超砥粒砥石を使用する場合は、高いホーニング比が望まれる。しかしこれのみを追求すると、好ましい切削性の維持が困難となる。そこで砥石コスト以外に加工時間の短縮、砥石寿命の向上による砥石交換頻度の大幅な減少などから生産性の向上はもとより、人件費・間接費の節減が可能となるなどトータルコストで評価する必要がある。

表16.15 ホーニング砥石選択例

加工物	工作物 硬 度	前 加 工	取りしろ量 (mm)	仕上面あらさ (H _{max} μm)	砥 石 選 択
コネクティングロッド	S55C HB 220/270	ファインボーリング	0.02～0.03	3～3.5	WA・220・J・V (S) SD・320・L (C115)・M
コネクティングロッド	S53C	ボ ー リ ン グ	0.03～0.04	1.6～1.8	WA・320・K・V (S) SD・600・K (C100)・M
シリンダブロック	FC 25	ファインボーリング	0.03～0.08	7～8	(R)GC・180・K・V (S) (R)SD・220・G (C80)・M
			0.02～0.025	1～4	(F)WA・220・J・V (S)
シリンダブロック	FC 25 HB 185/240	ファインボーリング	0.05～0.06	3.5～4	GC・180・K・V (S) SD・320・G (C80)・M
シリンダブロック (クランクシャフトボア)	FC	ボ ー リ ン グ	0.05～0.07	6～8	C・150・L・V (S) SD・220・G (C80)・M
シリンダヘッド (カムシャフトボア)	FC 25	ボ ー リ ン グ	0.03～0.05	2～3	C・220・L・V (S) SD・400・G (C80)・M
ミッションギア	SCr 22 HRC 60	旋削後熱処理	0.15	1.0	WA・240・J・V (S) (R)CBN・120・G (C115)・M (F)CBN・1000・H (C105)・M
ミッションギア (インプットハイギア)	ASCM17H Hv 650	旋 削 焼 入	0.12～0.17	6～7	WA・220・H・V (S) (R)CBN・120・G (C105)・M
		荒 ホ ー ニ ン グ	0.01～0.015	1.1～1.3	WA・220・H・V (S) (F)CBN・1000・G (C100)・M
ピ ニ オ ン	SNCM22 HRC 58/63	ボ ー リ ン グ	0.05～0.07	2.0	WA・220・H・V (S) CBN・400・G (C100)・M
ピニオンプラネット	SCr 22H HRC 58/62	旋削後焼入	0.08～0.10	0.7～0.9	WA・240・J・V (S) (R)CBN・240・J (C115)・M (F)CBN・1200・G (C100)・M
ロッカアーム	SCr 3 Hv 800/580	ブローチ後焼入	0.12	1.8～2.6	WA・180・H・V (S) CBN・400・I (C100)・M
ブレーキシリンダー	FC 20/25 HB 160/210	ボ ー リ ン グ	0.04～0.06	0.9～1.1	GC・600・K・V (S) SD・1000・J (C100)・M
デフギアケース	FCD 45F HB 145/165	ボ ー リ ン グ	0.03～0.05	2～2.8	C・220・K・V (S) SD・500・J (C100)・M

備考：(R) 粗ホーニング，(F) 仕上ホーニング

表16.16 ホーニング比

加工品	工作物 硬さ	砥石例	ホーニング比 (mm^3/mm^3)	ホーニング能率 (mm^3/min)	摘要
コネクティングロッド	S-C HB 200/300	SD・240/320・K/L (C100/115)・M	200～600	150～300	—
シリンダーブロック	FC HB 180/250	SD・150/320・G/H (C80/100)・M	300～600	900～2000	粗ホーニング
ミッションギア	ASCM HV 650 以上	CBN・120・G (C105)・M CBN・1000・G (C100)・M	200～600 80～150	350～1000 50～150	粗ホーニング 仕上ホーニング
ピニオン	SNCM HRC 58 以上	CBN・280・I (C120)・M	350～500	120～300	—

表16.17 砥石寿命 (個/SET)

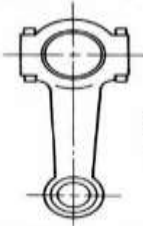
加工部品	適用砥石	工作物1個当りの 平均砥石摩耗量	砥石1SET当りの 加工出来高
ギア  ASCM17 (HRC 60)	WA-220-V (S)	8～10 μm /個	400～500個/SET
	(粗) CBN-120-C 100-M	0.5～1.2 μm /個	2,000～5,000個/SET
	(仕上) CBN-1000-C 100-M	0.3～0.8 μm /個	3,000～8,000個/SET
コネクティングロッド  S 50C (HB 260)	WA-240-V (S)	6～8 μm /個	500～650個/SET
	SD-320-C 115-M	0.3～0.5 μm /個	6,000～10,000個/SET

表 16.16 には自動車部品の例について、ホーニング比、及びその時の単位時間当りの切削除去体積 (mm^3)、すなわちホーニング能率に関するデータが示されている。その他の性能評価としては、砥石寿命に関して、砥石1セット当りの工作物の加工出来高などがある。表 16.17 は、これについて従来の砥石と超砥粒砥石との比較で示してある。同時に加工物1個当りの平均砥石摩耗量 (μm) についても示してある。

(3) 超砥粒砥石の形状精度

通常の砥石では、ホーニング加工の進行とともに砥石が消耗し、加工面になじむことによってホーニングヘッドに砥石を取り付けた状態で砥石面が構成する仮想円筒の精度、すなわちホーニングヘッドの円筒度が向上する。しかし超砥粒砥石では、磨耗が非常に少ないので、この円筒度修正機能は殆んど期待できない。したがってダイヤモンドあるいはCBN

などの超砥粒砥石では、ツルーイングにより使用前にホーニングヘッドの円筒度を 0.010mm 以下の精度で出しておく必要がある。一般には、ホーニングヘッドをツルーイング用治具として併用し、ホーニングヘッドに砥石を装填後、仕上げられた加工物あるいはそれと同寸法の穴径の治具を使用して、砥石を密接するように拡張した状態で固定し、センタを基準に所定の寸法に円筒研磨する。(図 16.38)。

更に良好な切削作用を確保するために、ツルー

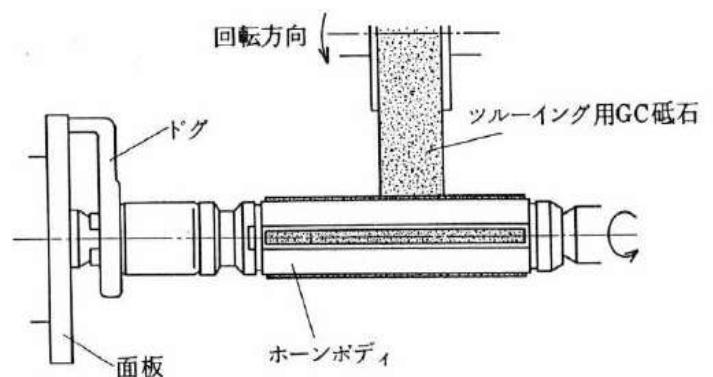


図16.38 超砥粒ホーニング砥石のツルーイング

イングで得られたホーニング砥石の形状精度を崩すことなく、ホーニング砥石の使用粒度よりも細粒で、良く濡れた軟かい G～H 硬度の GC 砥石でドレッシングすることによって、砥粒間のメタルボンドを除

去して僅かなチップポケットを創生することが大切である。この他メタルボンド砥石のドレッシング法としては、ミスト放電加工などがある。

1.6.8 ホーニング油剤の選択

(1) 油剤の選択要領

一般にホーニング油剤には、低粘度鉱油を基油として、各種油性剤や極圧添加剤を配合した不水溶性油が使用される。そして、基本的には次の3つの作用が要求される。

- 1) 砥粒切れ刃作用点での潤滑作用
- 2) 切りくずや砥石摩耗くずを運び去るための洗浄作用
- 3) 加工発熱を下げる冷却作用

ホーニング油剤は、JIS・K2241 切削油剤の分類に含まれる。実際のホーニング油剤の選択にあたっては、工作材料・ホーニング条件などにもとづき、粘度、添加剤の種類とその量、その他引火点、安全衛生などを考慮に入れて選定される。粘度は、加工能率と仕上げ面粗さに影響する。通常、高粘度とすると、仕上げ面粗さは改善されるが加工能率は低下する。

また油性剤や極圧剤などの添加剤の配合は、仕上げ面粗さ、ホーニング比に好結果を与え、砥石が原因のスクラッチ、ビビリマーク、砥石欠損などのトラブルが防止できる場合もある。

この他、不良品を出さないで高精度な加工品を安定して量産が行えるように、砥石性能の変動を最小に抑える上で、ホーニング加工での油剤の管理は非常に重要である。主要な管理項目について挙げると次のようである。

- 1) 油剤の濾過管理 油剤中の砥石の摩耗粉及び切りくずの混在は、仕上げ面の悪化、或はスクラッチなどの発生原因となる。また、これらの混在物が砥石寿命にも悪影響を及ぼす場合がある。従って加工目的に応じて適切な濾過装置を選択し、油剤は常に洗浄奈状態で使用する必要がある。
- 2) 油剤の温度管理 工作物の寸法バラツキを少なくし、安定した加工性能を維持し続け

るためには、油剤の粘度は一定でなくてはならない。このためには、油剤の温度をコントロールする必要がある。例えば冷却装置あるいは加温装置により、油剤は 20℃の一定温度でホーニング帯域に送られる。

- 3) 油剤の性状管理 ホーニング油剤の外観、粘度、添加剤の濃度、水分、混在物などの性状管理を定期的の実施し、油剤の劣化を未熟に防止することによって、種々トラブルの派生を防止できる。

(2) 水溶性油の実用化

生産ラインの自動化・省人化に伴って工場内の防火・環境衛生・集中給油などから不水溶性油剤から水溶性油剤への変換ニーズは根強いものがある。しかしホーニング加工での水溶性化は、油剤、機械そして砥石性能の変化などから種々問題あり、実用化されにくいのが現状である。通常、水溶性油を使用する場合、砥石表面にペースト状の粘着物が付着し、激しい目づまり状態となって正常ホーニングが困難となる。これは水溶性油に含まれる界面活性剤の一部が、水に不溶性粘着物となって、砥石表面に付着するためと云われる。

表 16.18 のテスト油剤は、水溶性の実用化を目的とした図 16.38 に示す焼結合金のホーニング加工で用いたものである。ホーニング油として標準の不水溶性油に対し、ソリューション型に比較して潤滑性に勝るエマルジョン型とソリュブル型を使用して希釈濃度を変えて実験したものである。

図 16.40, 図 16.41 及び図 16.42 は、ダイヤモンド

表16.18 テスト油剤の種類

	水 溶 性 油				不水溶性油
	エマルジョン型		ソリュブル型		
濃 度 (%)	6.7	3.3	6.7	3.3	—
粘 度 40℃, Cst	0.80	0.75	0.75	0.70	4.9 (30℃)
表面張力 dyn/cm	42.3	47.8	39.5	43.3	—

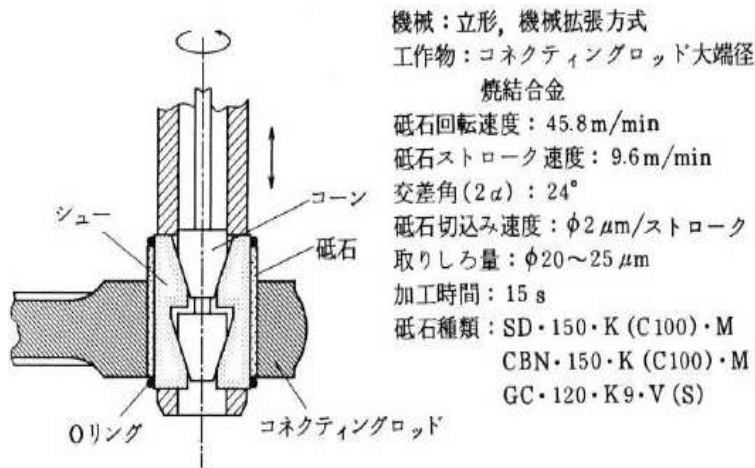


図16.39 ホーニング条件

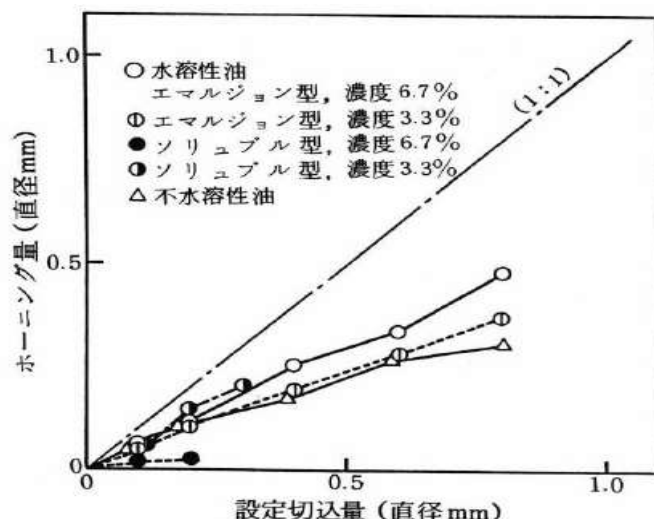


図16.41 ホーニング砥石, CBN・150・K(C100)・M の場合のホーニング油剤の効果

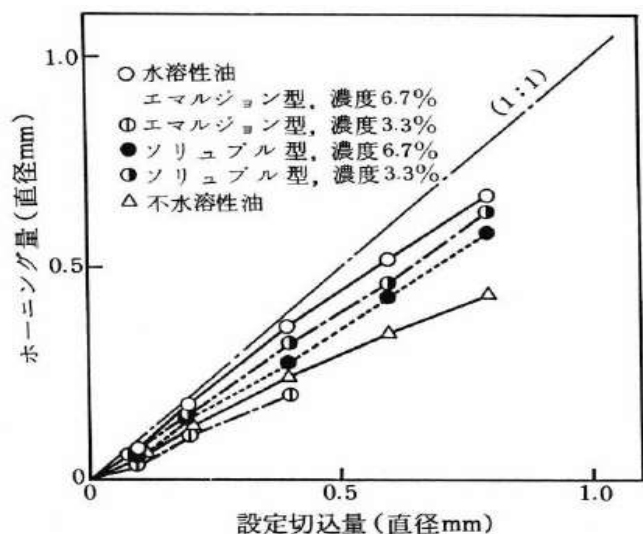


図16.40 ホーニング砥石, SD・150・K(C100)・M の場合のホーニング油剤の効果

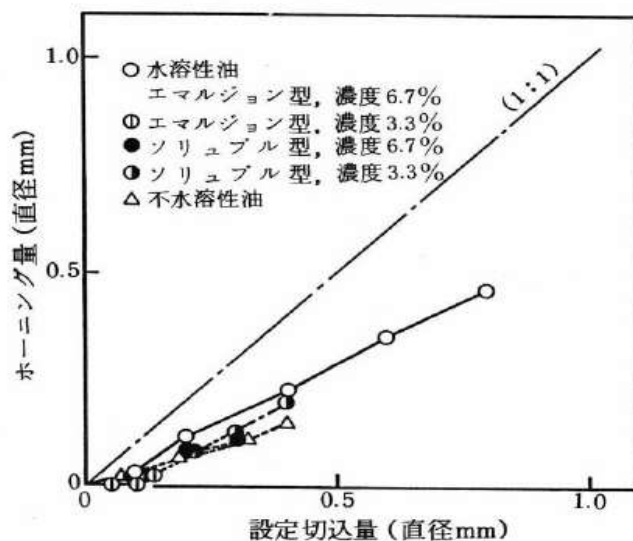


図16.42 ホーニング砥石, GC・120・K9・V(S) の場合のホーニング油剤の効果

ド(SD)、CBN 砥石及び従来の GC 砥石別にホーニング性能をみたものである。いずれの砥石もエマルジョン型の高濃度のものがよく、特に SD 砥石において好結果となっている。また、仕上げ面粗さは

GC 砥石の $0.8 \sim 1.5 \mu\text{mR}_2$ に対し、SD 及び CBN 砥石で $3 \sim 4 \mu\text{mR}_2$ であった。

1.6.9 シングルパスホーニング

最近の新しいホーニング技術として、シングルパスホーニング(ワンパスホーニング、あるいはシングルストロークホーニング)がある。

これは回転するホーニングツールによって繰返しストロークさせる通常のホーニング加工と違って、すべての取りしろ量を集中的に一回のストロークで除去しようとするものである。

図16.43は、シングルパスホーニング技術を説明した図である。ツールは、ダイヤモンドまたはCBNなどの高寿命な超砥粒の電着砥石が使用される(図16.44)。

この加工法の特徴は、盲穴或いは不連続穴に対し

ても高精度な高能率ホーニングが容易なことである。短い切りくずの鋳鉄では、非常に経済的な加工が出来るのに対し、軟鋼や硬鋼のような長い切りくず、あるいは青鋼やアルミニウムのような筋状の粘性のある切りくずの場合、電着ツール表面が目づまりしやすいので加工は容易でない。

更にこの加工では、潤滑性と冷却性の必要から、エマルジョン型水溶性油の実用化も試みられている。またこの加工方法は、工程管理上、高度の標準化が容易であることから、自動化ラインあるいはロボット化マシンへのニーズがある。

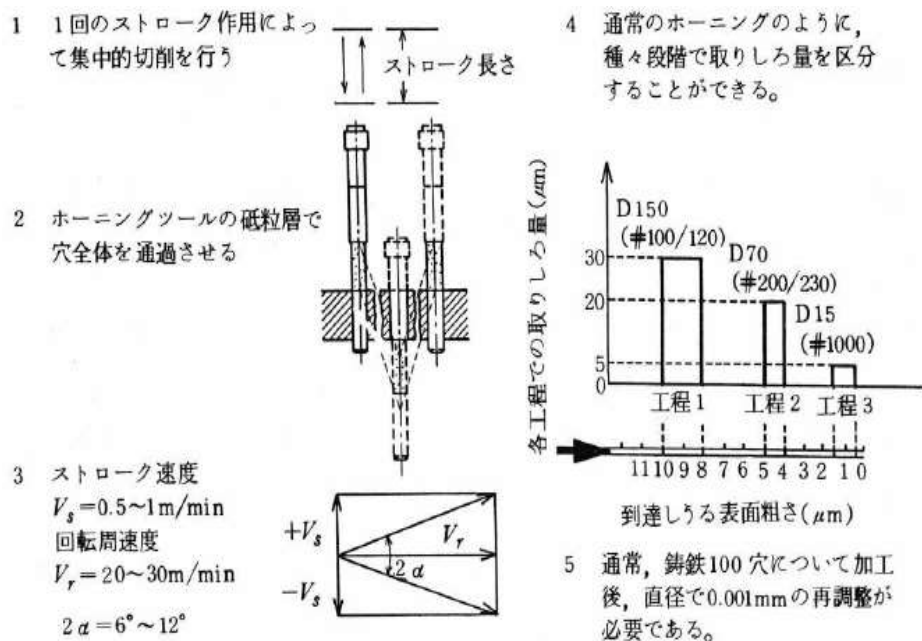


図16.43 シングルパスホーニング技術の説明

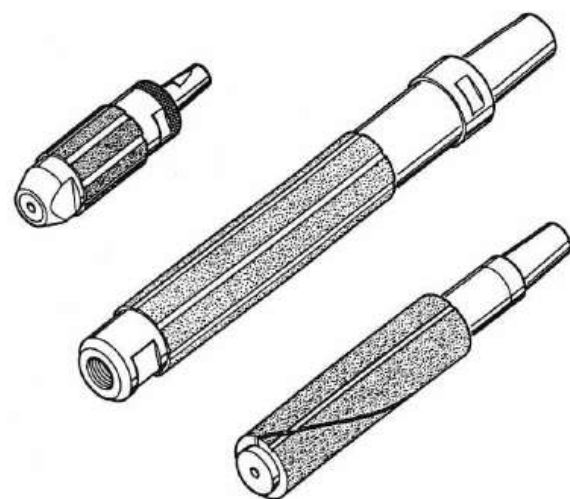


図16.44 シングルパスホーニングツール

1.6.10 ファインセラミックスのホーニング加工

各種ファインセラミックスのホーニング加工での被削性と、砥石仕上性能および砥石選択について述べる。

(1) ファインセラミックスの被削性

表 16.19 は、各種ファインセラミックスの特性値について示してある。すなわち、ほうけい酸ガラス (SiO_2)、アルミナ (Al_2O_3)、炭化けい素 (SiC)、そして同じ常圧焼結法ながらメーカーの異なる2種類の窒化けい素 (Si_3N_4) である。

そして、これらの材料についてホーニング加工

し詳細な検討結果から、それぞれに対して適切と考えられた表 16.20 に示す仕様の砥石を用いて、その被削性について実験した結果が図 16.45 である。すなわち横軸には、1本の砥石を1個の切削工具とみなした時の砥石切込み量 d をとっており、縦軸には、比切削抵抗 K_s (GPa) 及び単位体積の切りくずを生成するため必要なエネルギー K_s (J/mm³) を表している。

この図において右下にある材料ほど被削性が良い。 SiO_2 及び Al_2O_3 は、比較として加工された球状黒鉛鋳鉄 (FCD50) よりも被削性は良く、 SiC 及び Si_3N_4 は悪い。

表16.19 ファインセラミックス材の特性

セラミックスの種類		SiO_2	Al_2O_3	Si_3N_4	SiC	$\text{Si}_3\text{N}_4(\text{C})$
密度	g/cm^3	2.21	3.70	3.26	3.12	3.10
抗折力 室温	MPa	—	343	736	441	—
1200°C	MPa	—	—	392	441	—
破壊じん性値 K1C	$\text{MN/m}^{3/2}$	0.64	3.86	6.02	4.81	—
弾性エネルギー係数*	10^{-6} J/mm^3	—	159	846	226	—
硬度	HRA	82	87	91	95	91
ヤング率	GPa	70	370	320	430	—

* 曲げ強度測定による。

表16.20 砥石選択例

ファインセラミックスの種類	砥石仕様					
	砥粒の種類	粒度 (メッシュ)	コンセントレーション	硬度	結合剤の種類	砥石曲げ強さ σ_b (MPa)
Al_2O_3 , SiO_2	SD	140/170	100	K	M	140
Si_3N_4 , $\text{Si}_3\text{N}_4(\text{C})$	SD	140/170	50	J	M	100
SiC	SD	140/170	50	J	M	84
(FCD50)	SD	140/170	80	L	M	200

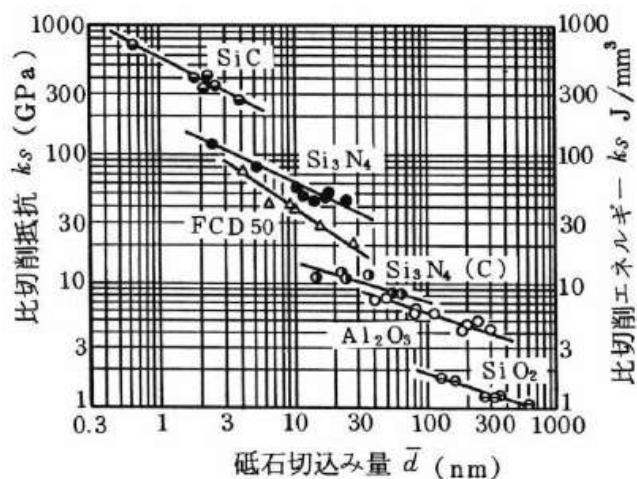


図16.45 ホーニング加工でのファインセラミックス材の被削性

(2) 砥石仕上げ性能

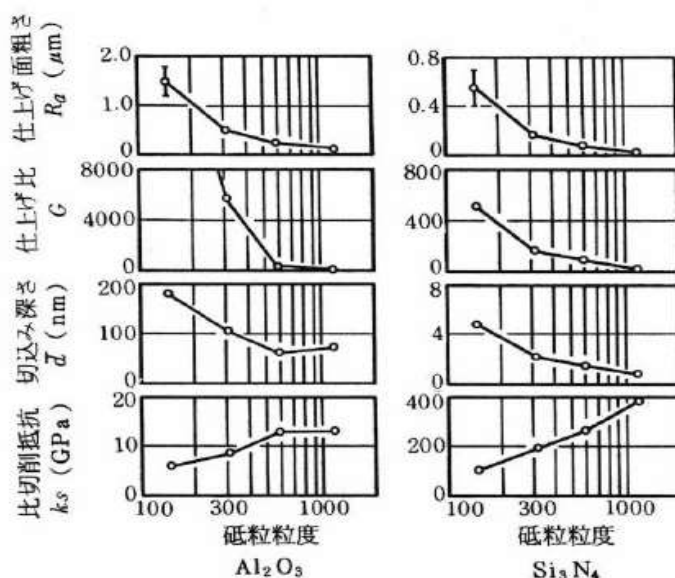
図 16.46 は、 Al_2O_3 及び Si_3N_4 を加工し、砥粒粒度による影響を調べたものである。粒度番号が大きいく砥粒径が小さくなると比切削抵抗は大きくなり、切込み深さ及び仕上げ比は小さくなり、砥石の切削性は低下する。仕上げ面粗さは、細粒度になるにしたがって急速に改善され、 Si_3N_4 を #1200 砥石で加工すると鏡面を得ることも可能である。

図 16.47 は、図 16.46 の場合の加工面プロフィールである。

(3) 砥石選択

ファインセラミックスの種類別に選択された砥石仕様表 16.20 において、砥粒種類はダイヤモンドのなかでもじん性の高い砥粒が好ましく、結合剤は砥粒支持力の大きいメタルボンドがレジンボンドあるいはビトリファイドボンドよりも適している。

そして金属加工における FCD50 材を基準とした場合、コンセントレーションは、被削性の良い Al_2O_3 及び SiO_2 に対してはより高くし、被削性の悪い SiC 及び Si_3N_4 に対しては十分低くする。砥石強度 $0b$ については、ファインセラミックス材に対しては金



適用砥石の明細

砥粒種類：SD（ダイヤモンド）

砥粒粒度：#150（#140/170），#320（#325/400）
#600（22-36 μm ），#1200（8-15 μm ）

コンセントレーション：C 100

結合剤種類：メタルボンド

砥石強度 σ_b (MPa)：140 (Al_2O_3)，100 (Si_3N_4)

図16.46 砥粒粒度が仕上げ性能に及ぼす影響

#150



#320



#600



#1200



工作物： Si_3N_4

砥石面圧力：2.3 MPa

ホーニング油：ソリューション型水溶性油
油温 0°C に保持

図16.47 ホーニング面プロファイル

属加工の場合より小さい $0b=80\sim150\text{MPa}$ の範囲が適切であり、被削性の悪い材料に対しては $0b$ をより小さくして切削性を強調したメタルボンドの選択が必要である。

1.6.11 ホーニング加工におけるトラブルシューティング

現場のホーニング加工で発生するトラブルは、いくつかの原因が重複して生ずることが多い。従ってトラブル解決のためには、詳細な分析検討が必要となってくる。

表 16.21 は、ホーニング加工精度に関するトラブルシューティングについて示してある。表 16.22 と表 16.23 は、ダイヤモンドあるいは CBN などの超砥粒を使用した場合の、ホーニング仕上げ性能及び超

表16.21 ホーニング加工のトラブルシューティング —加工精度—

[illegible]

表16.22 ホーニングトラブルシューティング —ホーニング仕上げ性能—

対 策 トラブル		ホーニング条件							超 砥 粒 砥 石							ホーニング油剤					
		切込速度を上げる	切込速度を下げる	回転速度を上げる	回転速度を下げる	ホーニング速度を上げる	2段ホーニングにする	ランアウトタイムを増す	軟目の砥石にする	硬目の砥石にする	粒度を粗くする	粒度を細かくする	コンセントレーションを上げる	コンセントレーションを下げる	砥材をダイヤモンドからCBN或は CBNからダイヤモンドに変える	同じ砥材で種類を変えてみる	モールドタイプにする	高粘度にしてみる	油剤劣化をチェックする	油剤の濾過をチェックする	油剤を再選択する
仕 上 げ 面	良すぎる	○			○				○		○			○							
	粗すぎる		○	○			○	○		○		○	○					○			
	安定しない							○	○						○						○
	加工面のキズ		○						○			○		○	○		○		○	○	○
ホー ニ ン グ 率	切れ味が悪くサイ クルタイムが長い	○		○		○			○		○			○	○	○			○		○
	高能率にすると加 工精度がくずれる			○		○	○		○					○							

表16.23 ホーニングトラブルシューティング —超砥粒砥石—

トラブル	原因	対 策
目づまり	砥石が合っていない	粒度を粗くする。 軟かい砥石にする。 コンセントレーションを低くする。
	加工条件が合っていない	切込速度を下げる。 回転速度を上げる或は下げる。
	ホーニング油剤の不具合	加工面に十分供給する。 洗浄性に富む油剤とする。
	砥石幅が広すぎる	砥石幅を狭くする。
	砥粒の目立てが不十分	ドレッシングにより十分なチップ空間を砥石作業面に創生する。
目つぶれ	砥石が合っていない	軟かい砥石にする。 コンセントレーションを低くする。 砥材をダイヤモンドからCBNに或はCBNからダイヤモンドに変える。
	加工条件が合っていない	切込速度を上げる或は下げる。 回転速度を下げる或は上げる。
	ホーニング油剤の不具合	加工面に十分供給する。 潤滑性に富む油剤とする。
	砥石寿命が短い	硬い砥石を用いる。 コンセントレーションを高くする。 砥石を大きくする。
砥石寿命が短い	砥石が欠ける	コンセントレーションを下げる。 細粒度にする。 メタルモールドタイプにする。 プラスチックモールドタイプにする。 潤滑性に富む油剤とする。
	ホーニング油剤の不具合	油剤中の切りくず、砥石粉などを十分取り除き清浄にする。

砥粒砥石に関するトラブルxシューティングである。

【文献】

- 1) 加工技術データファイル、ホーニング、6 (1982)、6、機械振興協会技術研究所

- 2) 砥粒加工研究会：砥粒加工技術便覧。(昭40)、873、日刊工業新聞社
- 3) ポール・E・グリーブ：第5回工業用ダイヤモンドセミナー発表論文集 (1978-5) 110
- 4) 寺谷忠郎：機械の研究 33-9 (1981)、1043
- 5) 辻郷康夫：機械と工具 23-10 (1979-10) 22
- 6) 研井堅・津和秀夫：精密機械 35-4 (1969-4)、22
- 7) 関西ホーニング研究会：機械技術 20-10 (1976-10)、104
- 8) 研井堅：機械の研究 23-5 (1971)、735
- 9) 奈良治郎：応用機械工学 21-2 (1980-2) 42
- 10) Gehering 社 U, クリンク：機械と工具 23-4 (1979-4)、89
- 11) H.O.Juchem, Industrial Diamond Review, 44 (1984)、214
- 12) 佐藤健児：表面工学概論 (1972)、14、養賢堂
- 13) Hans Fisher, SME、International Honing Technologies and Applications (1988)
- 15) Nagel・Maschinen-und Werkzeugfabrik GmbH, Technical Information

- 16) 上田隆司・山本明・精密機械 48-2 (1982-2), 155
- 17) William T.Dillon, SME, International Honing Technologies and Applications, (1988)
- 18) ホーニング技術研究会編、ホーニングハンドブック、(1977)、88、ホーニング技術研究会
- 19) Ernst Salje・Michael von See、SME

International Honing Technologies and Applications (1988)

- 20) 大阪府立産業技術総合研究所：産業総研ニュース 4、(1988)
- 21) 日本規格協会：不水溶性切削油剤の品質及び性能 JIS・K2241 表1 (1986)
- 22) 上田隆司・ほか4名：精密工学会 52-11 (1986)、61
- 23) 上田隆司・ほか3名：精密工学会 54-6 (1988)、130

(松森 昇)