

知 識 編

1. ラッピング（ポリシング）

セラミックス材料を機械部品として利用するために行う加工法は、主としてダイヤモンド工具（砥石）を使う研削加工が多い。しかし、最近の加工部品の要求は、寸法・形状精度や加工面あらさに重点が置かれ、研削加工のあと加工法としてラッピング（ポリシング）の精密加工法が用いられる傾向がある。

とくに、構造用セラミックスは、研削加工時に発生するチッピングや表面あらさが原因で材料の強度低下をおこすことがあり、これらを防止する意味からも、ラッピング（ポリシング）の精密仕上げの加工工程は必要条件である。

(1) ラッピングとは

ラッピングを簡単に説明すると、セラミックス材料を工具であるラップ定盤上で、ダイヤモンド砥粒と研磨液（ラップ液）を介して加圧し、こすり合わせることで超微少の除去を行う研磨法である。

① ラッピングにおける砥粒の作用

セラミックス材料のラッピングにおける砥粒の作用を模式的に示すと図1のようになり、材料除去のメカニズムは、砥粒切削による単純な切削作用ではなく、セラミックス材料の微小破砕の集積によって進行することがわかる。

すなわち、ダイヤモンド砥粒がセラミックス材料とラップ定盤との間に運び込まれ、加圧荷重により砥粒の先端と材料が接触したところに加工応力がかかり、ひずみ状態が一定限を超えると加工面にクラックが生じクラックの進展または交錯によって破片が生じ、チップとして加工物から離脱する、これがラッピングのメカニズムである。

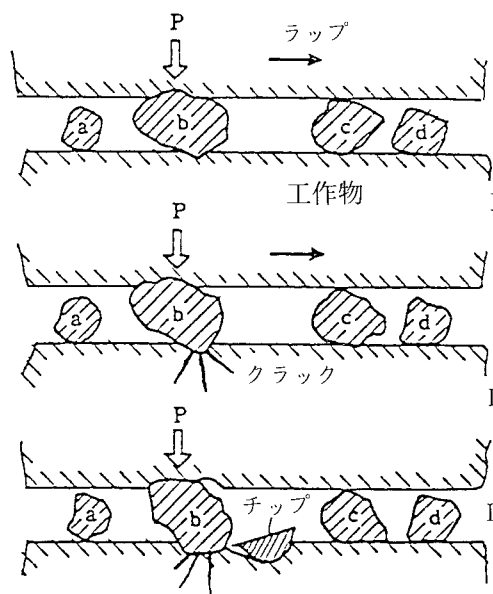


図1 セラミックスの粗ラッピングにおける砥粒の作用（今中）

② ラップ工具とラップ定盤

ラップ工具は一般的には、鋳鉄、鋼が使われ、化合物半導体にはガラスとか焼結セラミックスが用いられ、最近ではダイヤモンド固定砥粒のラップも使われつつある。ラップ定盤の材質がラッピングに微妙に影響するが、一般に硬いラップ定盤ほど加工能力が良く、ラップ定盤の減耗も少ないといわれている。また、仕上げ面あらさについては、軟らかいラップ定盤ほど細かい仕上げ面が得られる。

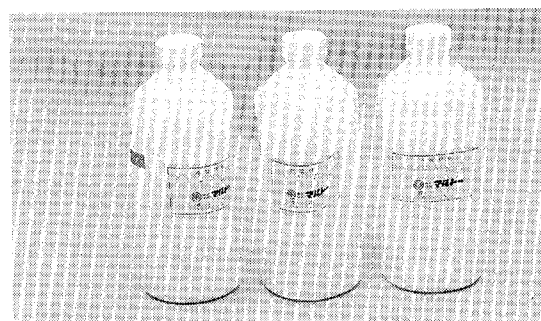


図2 ラッピングダイヤモンド液

加工精度を重視する場合においては、ラップ定盤の形状精度（平面精度）によって大きく左右されるので、減耗の少ない材質のラップ定盤を選ぶべきである。

③ 遊離砥粒によるラッピング

ダイヤモンド砥粒（9 μm 相当）を分散性のよいラップ液の中に加え、砥粒として供給する。この場合のラップ定盤は、耐磨耗性と適当なじん性と硬さのある樹脂と金属から構成されたコンビネーションタイプがよく使われる。遊離砥粒によるラッピングは、砥粒の埋込みなどの影響により、ラッピングの際の砥粒の先端の不揃い、砥粒の不規則の転動により、ラッピング面の加工精度および表面あらさにある程度制約のあることも考えられる。

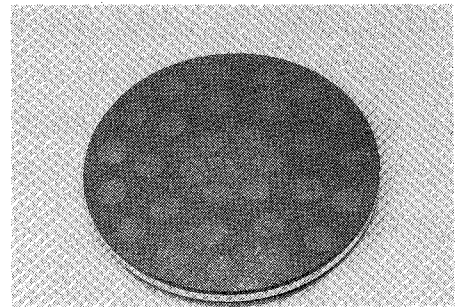


図3 コンビネーションタイプのラップ定盤

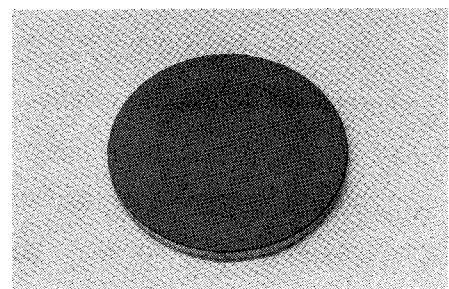


図4 ダイヤモンドラップ定盤

④ 固定砥粒によるラッピング

最近ダイヤモンド固定砥粒を使うラッピングもかなり使われるようになった。これは研削砥石と同様式から、あるいは一種のホーニングとも考えられる。ダイヤモンド砥粒をボンドする方法から分類して、メタルボンド、ビトリファイドボンド、レジンボンドなどの種類がある。

研削加工のあと加工としての精密仕上げ加工法なので、研削加工の砥石より細粒のダイヤモンド砥粒が一般には多く使われる。

セラミックス材料のラッピングとしては、ボンド部分が多気孔のボンドが加工能率がよいとの考え方もある。固定砥粒によるラッピングの冷却液は水道水よりも研削液を多用する。

(2) ポリシングとは

ポリシングとは、ラッピングよりさらに細かい砥粒を使用し、ラップ定盤は軟質あるいは粘弾性質に富む材料を用いて、ラッピングに比べてより高度の鏡面を得ることを目的としている。

ポリシングの場合、必ずしもダイヤモンド砥粒を使うものではなく、場合によっては、加工物より軟らかい砥粒を使うメカノケミカルポリシング法の精密鏡面仕上げ法もあるが、いずれにせよポリシング工程ではラッピングによる表面あらさをさらによくすると同時に加工変質層をも除去しようとするもので、ポリシング工程の能率向上には、前工程であるラッピングでの加工変質層の深さをできるだけ小さくした方がよいことになる。

① ポリシングにおける砥粒の作用

ポリシングは、材料除去の単位が小さく、一般に塑性変形を伴う破壊現象により加工が進行し、加工表面に塑性変形層が残留するといわれ、ラッピングの微小破碎の集積による加工とは違いがある。

ポリシングのメカニズムは、①砥粒先端での微小切削作用により表面の凹凸が除去される。②砥粒融点の流動説や、③化学的な作用による説などがあるが、現在のところ、ダイヤモンドの細粒を使ったクロスポリシングが主流である。(図5, 6)

② 遊離砥粒によるポリシング

セラミックス材料のポリシングは、ダイヤモンド微細粒(4 μm 相当)をポリシングの液の中に混合させたものを使い、ポリシング定盤(ポリシャ)は、硬質な部類のクロスを使うのが普通である。しかし、最近では、ポリシ面へのフチだれを嫌う意味でクロスポリシャの代わりに、セラミックス、錫、銅などのポリシング定盤が多く使われるようになってきた。参考までに、ポリシング砥粒とポリシング定盤の種類を表1、表2に表す。

表1 ポリシングに用いられる砥粒の種類(河西)

名称	化学式	結晶系	色	モース硬度	比重	融点
アルミナ(α晶)	$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$	六方	白~褐	9.2~9.6	3.94	2040°C
アルミナ(γ晶)	$\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$	等軸	白	8	3.4	2040
ダイヤモンド	c	等軸	白	10	3.4~3.5	(3600)
ベンガラ	Fe_2O_3	六方等軸	赤褐	6	5.2	1550
酸化クロム	Cr_2O_3	六方	緑	6~7	5.2	1990
酸化セリウム	CeO_2	等軸	淡黄	6	7.3	1950
酸化ジルコニウム	ZrO_2	単斜	白	6~6.5	5.7	2700
酸化チタン	TiO_2	正方	白	5.5~6	3.8	1855
酸化けい素	SiO_2	六方	白	7	2.64	1610
酸化マグネシウム	MgO	等軸	白	6.5	3.2~3.7	2800
酸化すず	SnO_2	正方	白	6~6.5	6.9	1850

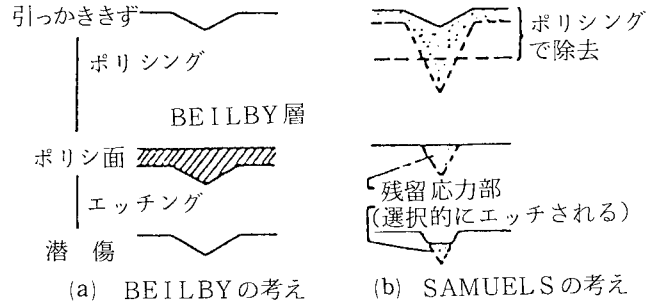


図5 ポリシ面をエッチしたときに現われる潜傷の考え方(今中)

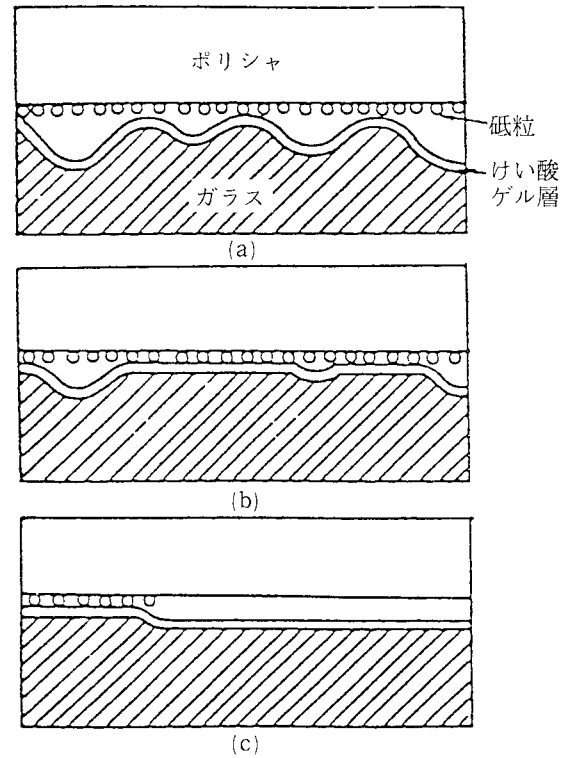


図6 ポリシングによるガラス面平滑化の模式図(今中)(GREBENSHOHIKOV)

表2 ポリシング定盤(ポリシャ)の種類(河西)

分類	ポリシャ材料	適用例
軟質金属	Pb, Sn, In, ハンダ	セラミックス加工
天然樹脂	ビッチ, 木タール, 密ろう, パラフィン, 松脂, セラック	ガラス鏡面加工
合成樹脂	アクリル, 塩ビ, ポリカーボネート, テフロン, ウレタンゴム	ガラス鏡面加工
天然皮革	鹿皮	水溶性結晶の鏡面加工
人工皮革	ポリテックス, シュプリーム, クラリーノ	Si ウエハの鏡面加工
繊維	不織布(フェルト等), 織布	金相学的ポリシング

③ 固定砥粒によるポリシング

高精度のポリシングマシンと、ダイヤモンド微細粒のポリシング定盤の開発により、固定砥粒式のポリシングもかなり一般化してきている。

ダイヤモンド砥粒のメッシュとしては、# 2000, # 4000などがポリシングの領域と考えてよい。この場合の冷却液は研削液を供給する。(図 8)

(3) ラッピング (ポリシング) マシンの種類

セラミックスは材料の平面のラッピング・ポリシングを目的とするため、ここでは回転式平面研磨機を説明する。ラッピングとポリシングは同一の運動様式を使うケースが多いため、ラッピングとポリシングのマシンは、兼用形として同一の機種を説明する。

また、ラップ定盤の運動様式から、研磨機を大別すると片面ラップ方式と、両面ラップ方式の 2 種類に分けることができる。

① 片面ラップ式ラッピング (ポリシング)

マシン

片面ラップ式は、ラップ定盤が回転と往復運動するものと、回転運動だけのものに分けることができる。前者はレンズ研磨などに多く使われるが、セラミックス材料の平面研磨の場合は、後者の回転運動方式が多用されている。この場合は、下ラップ方式で、材料保持具がラップ定盤面上方向に垂直に保持されているのが一般的である。

図 9, は二種類の研磨機の模式図だが、図 9 は、修正リングを利用して常にラップ定盤上を修正ラップする構造に特徴がある。

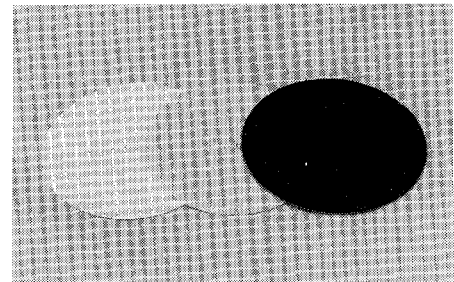


図 7 ポリシングクロス

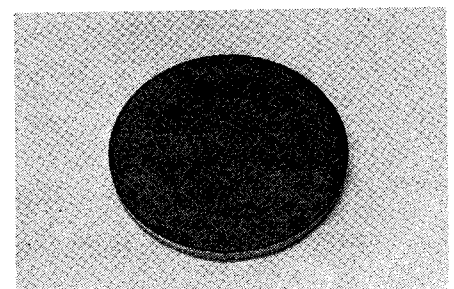


図 8 ダイヤモンドラップ定盤

② 両面研磨式ラッピング (ポリシング)

マシン

両面ラップ式研磨機は、セラミックス材料の平行平板などの作製で両面を同時に加工できることから、多くの分野で広く使われている。

図 11 のとおり、両面ラップ定盤のラップと材料の関係は、キャリヤあるいはゲージと称される。材料より薄い金属板やプラ

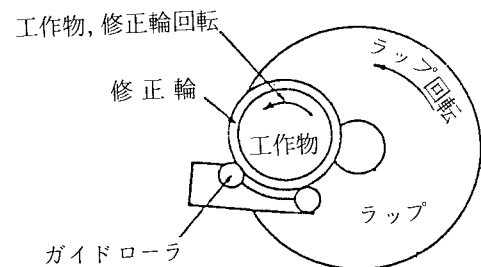


図 9 修正輪形研磨機における加工運動様式 (河西)

スチック板に保持され、上下のラップの間でラッピング（ポリシング）を行う。

この種の研磨機は、材料がキャリヤの遊星運動により、公転と自転を行うことから2モーション形の研磨機といわれたり、また上下ラップ盤に逆回転を加えれば、4モーション形の研磨機などと呼ぶこともある。

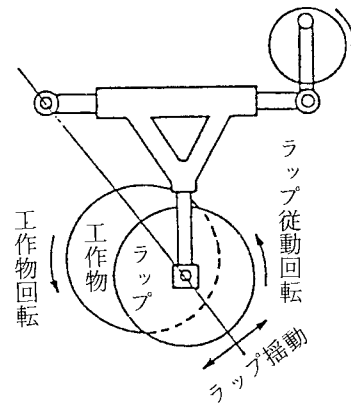


図10 レンズ研磨機における加工運動様式（河西）

2. ラッピング（ポリシング）マシンの構成

(1) 構造

ここで述べるラッピング（ポリシング）マシンの構造は、図11に示すように、片面ラップ方式で、材料保持具はラップ定盤の上方向に垂直に位置し、自転と往復運動（揺動運動）するエア加圧式の研磨装置である。

(2) 特徴

本研磨装置の特徴は、セラミックス材料の平面研磨を目的として、加圧方法に特徴がある。加圧機構はエアカウンタバランスによる差圧を利用したもので、ラップ定盤に接触してからの一定時間までの“ソフト加圧”と、研磨に必要な荷重の“研磨加圧”の二段階が自動的に行われるようになっている。セラミックス材料のように脆い材料などを破損せずに高精度ラッピング・ポリシングをするものである。

図13に研磨機の構成と図14に加工運動様式を示す。

(3) 目的

セラミックス材料の研削加工法では得ることの

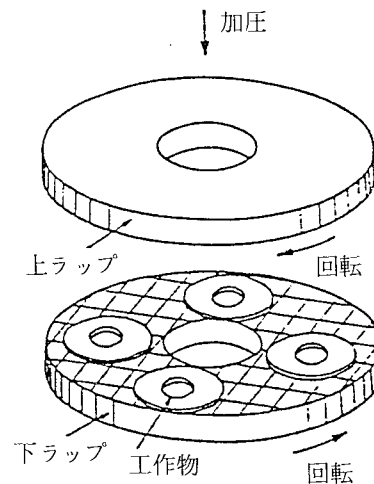


図11 両面ラップ盤の加工様式（工作物用キャリヤ省略）（河西）



図12 片面ラップ式平面研磨機

難しい鏡面仕上げを行うもので、高品質の機械部品の精密仕上げ研磨法である。研削加工で発生した加工表面の残留応力や、加工変質層をラッピングで除去し、しかるのちポリシングにより高精度仕上げを行うことを目的としている。

(4) 用 途

- ・ JIS R 1601 試験片のラッピング・ポリシング
- ・ メカニカルシーリングのポリシング
- ・ セラミックスコーティングの境界域のポリシング
- ・ 半導体製造装置のキャリアボードのラッピング
ポリシング
- ・ IC基板のラッピング
など。

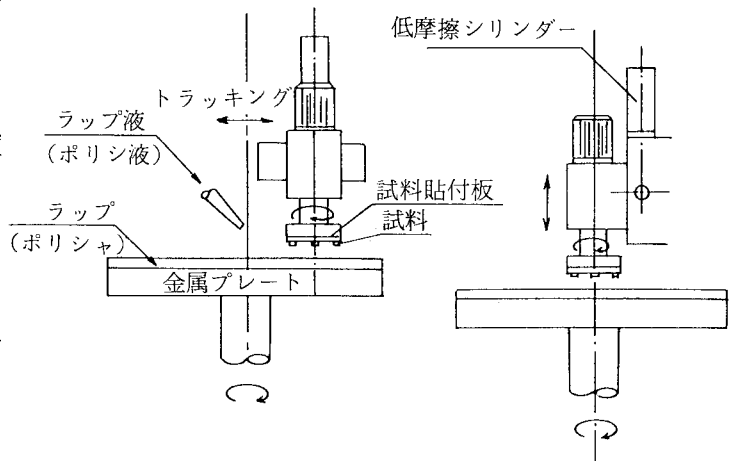


図13 研磨機の構成

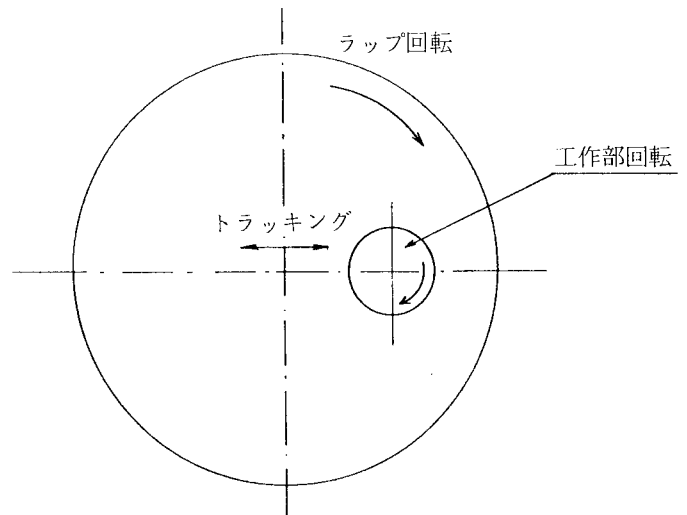


図14 加工運動様式

3. ラッピング（ポリシング）に必要な周辺技術

セラミックス材料のラッピング・ポリシング法は、一般的な研削加工法と比較すると大変に難しく、とくに遊離砥粒方式による研磨法は、材料の種類や研磨目的により、ラップ定盤とラップ剤の組合せ（ポリシングにおいては、ポリシング定盤とポリシング剤の組合せ）が異なり、研磨条件、例えばラップ定盤の回転数、加工圧などそれぞれ選定・適切な組合せをしなければならない。

ここでは、ラッピング・ポリシングの標準的研磨法として、JIS R 1601 に規定されているファインセラミックスの曲げ強さ試験法の試験片の表面研磨に目的を絞る、材料は Si_3N_4 や SiC を対象とする。（資料-1 参照）

(1) 遊離砥粒研磨による加工圧とラップ量

図15は、 $\text{NS-Si}_3\text{N}_4$ 材料を遊離砥粒の方式でラッピングする際に加工圧を変化させるとラップ量にどのような影響を与えるかを図示したものである。

グラフで示されているように、ラップ量は加工時間に比例して増大する。加工圧は、圧力の増加とともにラップ量は増えるが、圧力には比例しないことがわかる。

なお、図15で60分経過後の工作物のラップ表面あらさを測定すると、 $2.0\text{kgf/cm}^2:0.5\mu\text{mRmax}$ 、 $4.0\text{kgf/cm}^2:0.5\mu\text{mRmax}$ 、 $6.0\text{kgf/cm}^2:0.6\mu\text{mRmax}$ 、 $10.0\text{kgf/cm}^2:0.6\mu\text{mRmax}$ となり顕著な差は見られない。

この結果から考えられるのは、ファインセラミックス材料のラッピングでは、かなり高加圧の荷重が必要であるということがわかる。

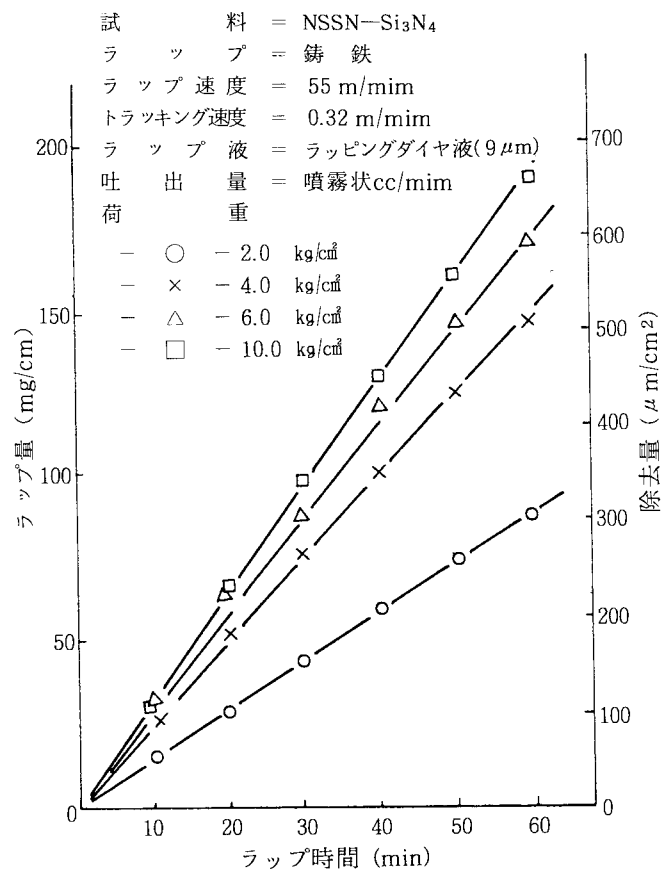


図15 遊離砥粒ラップ（鋳鉄）の荷重の変化によるラップ時間とラップ量の関係

(2) 固定砥粒研磨による加工圧とラップ量

図16は、同じくNS-Si₃N₄材料を固定砥粒方式によるラッピングで、加工圧を変化させた時、ラップ量にどのような差があるかを図示したもので、グラフでもわかるように、遊離砥粒方式と同様に加工圧加工時間の増大と共に、除去量が多いことがわかる。ただし、遊離砥粒方式と比較すると、10kgf/cm²の荷重までの領域では、固定砥粒研磨のラップ量は若干低下する。

なお、固定砥粒研磨による各荷重の60分経過後のラップ表面あらさを測定すると、2.0kgf/cm²:0.2μmRmax, 4.0・6.0・10.0kgf/cm²:0.3μmRmaxとなり、遊離砥粒研磨方式よりは表面あらさは良好であることがわかる。

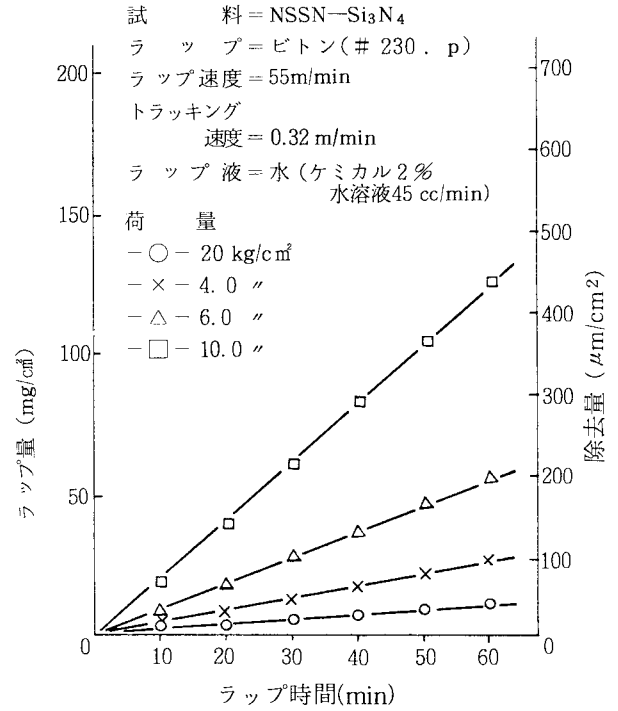


図16 固定砥粒ラップ(ビトン)の荷重の変化によるラップ時間とラップ量の関係

(3) 高荷重加工圧の場合のラップ量

加工圧10kgf/cm²以下の場合のラップ量と面あらさについては前述したが、10kgf/cm²以上の高加工圧の場合については、遊離砥粒、固定砥粒各々測定したのが、図17である。

グラフに示されているように、遊離砥粒研磨は10kgf/cm²以下では、固定砥粒研磨よりラップ量が多いことがわかる。

しかし、10kgf/cm²以上の高荷重領域では、固定砥粒研磨の方がラップ量が著しく増大する。

このことから、高能率ラップを重視する場合は、高荷重の固定砥粒研磨方式が優位であると考えられる。

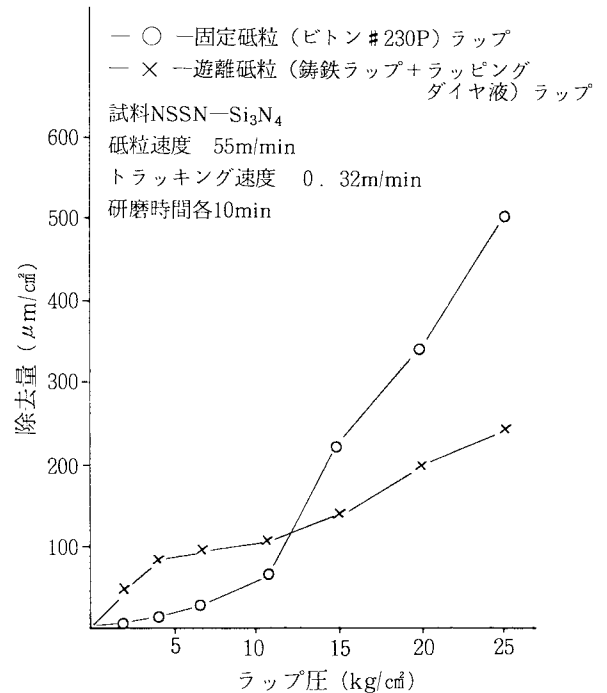


図17 ラップの違いによるラップ圧と除去量の関係

資料 1.ラッピング・ポリシングの研磨条件（標準）

表 3

	ラップ定盤 ポリシ定盤	ダイヤモンド 砥粒径	冷却法	下ラップ 回転数	保持具 回転数	保持具 往復回数	研 磨 加工圧	備 考
面出し 研磨	固定砥粒式 ▲ダイヤモンドパッド # 220 ●ダイヤモンドラップ定盤		研磨液	rpm 100	rpm 65	往復 5/min	kgf/cm ² 1.5 kg 2.0 "	平行精度不良の 材料の面出し
ラ ッ ピ ン グ	◎コンビネーションラップ ●鋳鉄ラップ ●セラミックラップ ●銅ラップ	ラッピングダイヤモンド液 ◎リキット 9 μm ●スラリー 6 μm 3 μm 1 μm 0.5 μm 0.25 μm		100	65	5/min	2.0	コンビネーション ラップ定盤は 粗ラップ 中ラップ 兼用形
ポ リ シ ン グ	◎クロス ●錫ラップ	ポリシングダイヤモンド液 ◎リキット 4 μm ●スラリー 6 μm ~ 0.25 μm		60	40	5/min	2.0 1.5	クロスは 硬質材料用を 使用
	ダイヤモンドラップ定盤	# 2000 # 4000						

研磨機：片面研磨機，下ラップ定盤 φ 250 mm（MARUTO 製）

保持具：自動，揺動形

加圧機構：エアー加圧式，ソフト加圧，研磨加圧二段式

材 料：NS - Si₃N₄

◎印：標準組合せと標準ラッピング，ポリシング工程

▲印：平行精度不良材料は，ラッピング工程の前に面出し研磨必要

●印：クロスポリシでフチだれを生じる場合は，◎印の研磨を組入れると高精度が得られる。

上記の表は，NS - Si₃N₄ 材料を研磨するときの，標準的研磨の条件である。

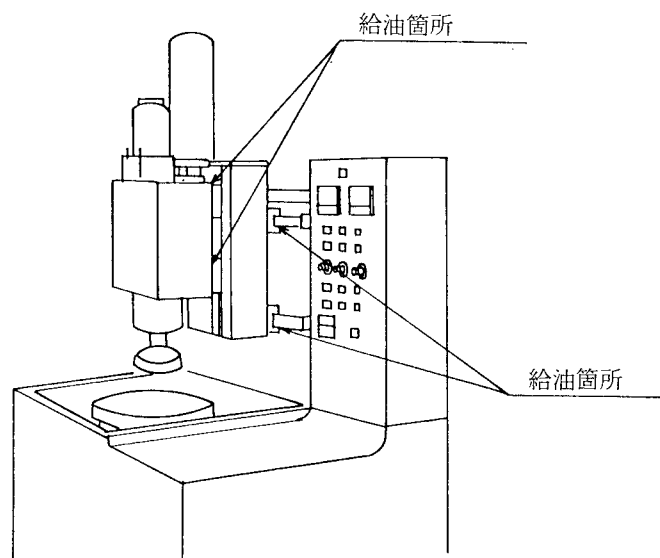
資料 2. ラッピング（ポリシング）マシン各部の点検

(1) 日常点検表

表 5

区分	項目	点 検 日										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	～31
始 動 前	1. 機械各部の掃除は行きとどいているか 2. 電源が入っているか 3. 空気圧がきているか 4. 空気圧フィルタは目詰りしてはいないか 5. 安全固定棒を外したか											
始 動 時	1. 電動機・軸受けなどに異常音はないか 2. 機械の各部に異常な振動はないか 3. ラップ定盤（ポリシ定盤）の回転はスムーズか 4. 治具の揺動方向の移動と回転はスムーズか 5. 加圧機構が正常（2段式）に作動しているか											
一 時 間 後	1. 機械の各部に異常な振動がないか 2. 電動機に異常な発熱はないか 3. 油洩れ箇所はないか											

(2) 給油箇所



- 上下ガイドレールのブロックにグリスアップ
- 揺動運動の左右ガイドレールのブロックにグリスアップ

図 18

資料 3. ラッピングにおけるトラブルの原因と対策

表 4 ラッピングにおけるトラブルの原因と対策(今中)

ト ラ ブ ル	原 因	対 策
加工能率が悪い	砥粒が不適當である。 (軟らかすぎる)	他の砥粒(硬いもの)を使用する。
	砥粒粒度が小さすぎる。	粒度の大きいものを用いる。
	粗と精密ラップ用砥粒の粒度選定が適當でない。	中間の粒度段階を入れる。
	ラッピング速度が小さすぎる。	速度を大きくする。
	前加工が悪く取りしろが大きすぎる。	前加工の精度を上げラッピング工程での取りしろを小さくする。
	ラップ剤の供給量が不適當である。	ラップ剤の供給量を増すか減少させる。
仕上げ面があら	砥粒の粒度があらすぎる。	もっと細かい粒度のものを使用する。
	ラップが適切でない。	ラップの面を滑らかにする。
	粒度が硬すぎる。	もっと軟らかい砥粒を使用する。
	ラップ液が適當でない。	ラップ液を取り換えて見る。
寸法精度が悪い	仕上面の面積が小さすぎる。	取付け具などと一緒にラッピングする。
	前加工が悪い。	前加工の精度をできるだけよくする。
	ラップの精度が悪い。	ラップの面直しを行う。
	ラップがおどる。	ラップの取付けを完全にする。
	ラップの運動が正しくない。	
	ラップの速度が高すぎる。	速度を低くする。
	ラップ剤の層が厚すぎる。	ラップ剤の供給を少なくするかラップ液の粘度の小さいものを使用する。
	砥粒の粒度があらすぎる。	粒度を細かくする。
	ラッピング時間が長すぎる。	前加工を精密にして、ラッピングの仕上げしろを小さくする。
ラップの減耗が多すぎる。	前加工の精度が悪く、ラッピングの仕上げしろが大きすぎる。	前加工を精密にし、ラッピングの仕上げしろを小さくする。
	ラップが軟らかすぎる。	他の材料を用いて見る。
	ラップの運動が不適當である。	ラップの全表面ができるだけ一様に減耗するようにする。

資料 4. 用語 解 説

用語解説（研削，研磨技術用語辞典・砥粒加工研究会編を参考とする）

ラッピング：砥粒と加工液を混ぜたものを，ラップと工作物間に入れ，両者に圧力を加えながらすべり動かせ，表面を滑らかに，かつ高精度に仕上げる加工法。

ポリシング：ラッピング砥粒より微細の砥粒を使い，工作物表面の鏡面仕上げをする加工法。

遊離砥粒：砥粒を使う状態をいう言葉で，結合剤なしの粉末状または粒状の砥粒。

固定砥粒：遊離砥粒に対する言葉で，結合剤で固定したもの。研削砥石，研磨布紙などがこれに属する。

クロスポリシング：布基材の表面にポリシング剤を塗りつけて，鏡面仕上げを行うポリシング法。

チッピング：加工時の砥粒の作用により，工作物のエッジ部に発生する微小な欠けをいう。

加工変質層：加工作用の影響により加工後に残された，あるいは発生したひずみ。

修正リング：ラップ盤の凹凸を修正し，平面精度を出す治具。

保持具の揺動駆動：工作物保持具の往復運動，トラッキングまたはオシレート駆動ともいう。

引用文献

- 図1, 加工技術データファイル：ラッピングとポリシング(財)機械振興協会技術研究所
(昭和58年3月) 69/75
- 図5, 6, 今中 治, 光学素子加工技術'83. ガラスおよび結晶材料の加工機構：5.ポリシング光学技術
協会, 13P (昭和58年9月)
- 安永・今中：メカノケミカルを応用した結晶材料の精密研磨法, セラミックス, 9〔4〕 219 (1974)
- 図5, 6, 9, 今中治編 セラミックス加工ハンドブック：ラッピング(河西), 日刊工業新聞社
111 ~ 130 P (1982)
- 加工技術データファイル：セラミックスのラッピング(今中)(財)機械振興協会技術研究所
(昭和58年3月) 71/75

参考文献

- 1) ファインセラミックスの高効率機械加工：海野邦昭著, 日刊工業新聞社 (昭和61年5月)
- 2) セラミックス加工ハンドブック：今中治編, 日刊工業新聞社 (昭和62年8月)
- 3) セラミックス加工ハンドブック：建設産業調査会 (昭和62年11月)
- 4) セラミックスの超精密加工：ニューセラミックス懇話会編, 日刊工業新聞社
(昭和59年1月)