

砥石の使い方(その3):内面研削

角田 勝俊 (株式会社ミズホ)

1. はじめに

研削加工の難しさは、切れ刃が小さく、正常な加工を行なうには、砥石と加工物の干渉条件の範囲が狭いことにある。また、寸法形状・加工精度の要求が個別となる研削加工では、砥石設計が必要になることが多い。開発試作された砥石も、目標とする性能を引き出すための砥石作用面の創成や、適切な加工条件の選択およびその条件下で制御運転可能な機構を備えた研削盤の整備を行わなければ、要求に応えることもできない。その意味において、ユーザ、機械メーカ、砥石メーカの三位一体の研削加工技術向上のための連携と創意工夫が、要求達成の必須の条件となる。

本稿では、内面研削の難しさについて、研削機構を通じて述べたい。

2. 内面研削の概要

内面研削は、高速回転する砥石を工具として、加工物の内面を円筒や非真円形状に高精度に加工する。ギア、ベアリング、およびコンプレッサ部品など多用途で用いられる。また、砥石形状を成形することで、溝や傾斜がついた形状も加工できる。他のホーニングやラップなどの内面加工と比べて、前加工に依存せず、形状や位置修正能力が優れている。加工除去性能が大きいといった利点もある反面、他の平面研削や円筒研削と比べて、一般的に難しい加工と考えられている。その理由としては、以下の点が挙げられる。

- (1) 砥石径が加工物内径よりも小さくなり、その他の研削に比べて、砥粒当たりの仕事量が増え、切れ刃摩耗が起こりやすい。
- (2) 加工物に応じて砥石が小径となるほど、砥石軸も小さくなり、剛性が低くなる。
- (3) 小径な砥石ほど、砥石周速の確保が困難となり、能率の低下を招く。
- (4) 砥石径と加工物内径の値が近いほど、砥粒が加工物表面を上すべしやすくなり、加工性能の低下を招く。

このように、加工物の内径に対する砥石径の制限は、加工による砥石作業面の劣化を早める。また、砥石と砥石軸の剛性も加工性能へ影響しやすくなる。

3. 内面研削機構

ここでは、内面研削機構について、研削条件と砥粒が受ける負荷について、理解を深める。

図1に内面研削における砥石と加工物との干渉状態を示す。ただし、加工物と砥石は剛体であり、斜線部分が削り取られる以外に変形などが起こらず、砥粒突き出し高さも変化しないものと仮定したモデル図である。研削加工において、砥粒が加工物を削り込む際の砥石切込み量 t 、砥石と加工物の径と周速度、および同一直線状に並んでいる切れ刃間隔である連続切れ刃間隔 a から、図中の最大砥粒切込み深さ g_m と切込み角 i_g を求めることができる¹⁾。内面研削においては、 g_m と i_g は、それぞれ式(1)および(2)として示される。

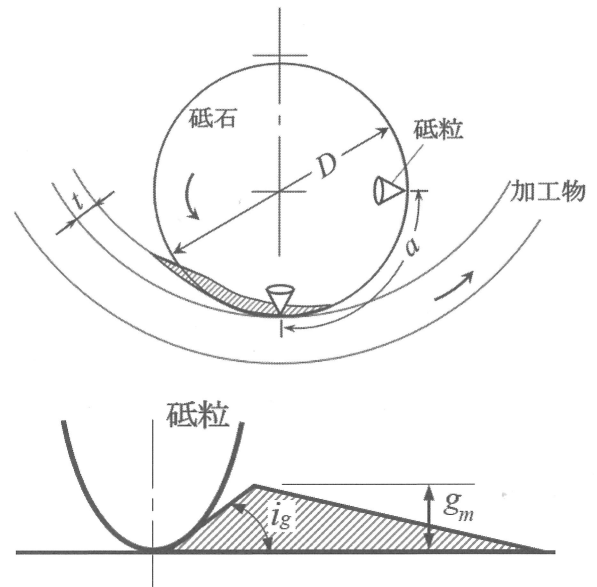


図1 内面研削における砥石と加工物との干渉モデル

$$g_m = 2a \frac{V_w}{V_g} \sqrt{t \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d_w} \right)} \quad (1)$$

$$i_g = 2a \frac{V_w}{V_g} \left(\frac{1}{D} - \frac{1}{d_w} \right) \quad (2)$$

* 株式会社ミズホ: 〒619-0216 京都府木津川市州見台7丁目30番地1

表 1 には、通常使用される内面研削と円筒研削を比較し、 i_g と g_m を算出したものである²⁾。この比較から、内面研削においては、一般的に次のことがいえる。

- (1) 内面研削では、円筒研削よりも i_g が小さくなりやすく、周速比を大きくする必要がある。
- (2) 内面研削では、周速比や加工物内径と砥石直径の比の変化で、 i_g が大きく変動する。
- (3) 砥石径と加工物径の差が小さく、最大砥粒切込み深さ g_m が小さくなりやすい。

g_m や i_g が小さくなりやすい内面研削では、他の研削加工と比べて、切りくずを排出しにくい条件に陥りやすい。さらに、実際の加工においては、砥石、加工物および加工機械系においても弾性変形するために、砥粒が加工物表面を上すべしやすくなり、切りくずの排出は、一層困難といえる。

表 1 切込み角 i_g と最大砥粒切込み深さ g_m

研削条件	内面研削	内面研削	円筒研削
加工物径 (mm)	8	20	20
砥石直径 (mm)	6	14	300
砥石回転数 (rpm)	100000	80000	2000
加工物回転数 (rpm)	3000	2000	800
最大切込み速度 ($\mu\text{m}/\text{s}$)	25	33	12.5
サイクルタイム (s)	7	7	15
使用砥石	WA 180 P	WA 100 P	WA 80 N
最大砥粒切込み深さ g_m (μm)	0.29	0.33	0.45
切込み角 i_g ($^\circ$)	0.14	0.08	0.18
周速比 (加工物周速/砥石周速)	0.040	0.036	0.027

これらから、内面研削における研削条件と、砥粒に対する負荷の関係性を表 2 で整理する。

g_m や i_g が大きいと、砥粒に対する負荷が増え、砥粒は脱落する。一方、 g_m や i_g が小さいと、砥粒に対する負荷が減り、砥粒は摩滅摩耗する。

内面研削では、 g_m や i_g が小さくなりやすいため、砥粒の摩滅摩耗が起りやすく、切れ味の低下につながる。そのため、摩滅摩耗の抑制として、靱性の高い砥粒や、砥粒が微小破砕しながら切れ味を持続させる多結晶砥粒が用いられる。さらに切れ刃数を確保し、切れ味を維持する目的として、砥粒を細粒とし、組織としては砥粒率を高めた砥石設計が多い。加えて、形状維持性能を求められ、剛性の高いビトリファイド結合剤を使用し、結合度を高めた砥石設計が多くなる。

要求達成には、研削結果と表 2 のパラメータを対比させ、砥粒に対する負荷を予測し、加工条件や砥石設計の見直しを進める。

表 2 研削条件と砥粒に対する負荷との関係性

a	連続切れ刃間隔 (mm)	長	←	→	短
V_w	加工物周速度 (m/s)	速	←	→	遅
V_g	砥石周速度 (m/s)	遅	←	→	速
t	砥石切込み量 (mm)	大	←	→	小
D	砥石外径 (mm)	小	←	→	大
d_w	加工物内径 (mm)	大	←	→	小
g_m	最大砥粒切込み深さ (mm)	大	←	→	小
i_g	切込み角 ($^\circ$)	大	←	→	小
砥粒に対する負荷		大	←	→	小

4. 砥石軸剛性

内面研削では、砥石軸の剛性が低くなり、たわみが生じやすい。砥石が均等に摩耗する場合には、切残しは加工物の直径差(傾斜と呼ぶ)を生じる。通常、加工物主軸側で傾斜を修正するが、軸の材質で剛性を変えて、傾斜を改善することも可能となる。

図 2 には、CBN 研削砥石を用いた内面研削時に、超硬 WC と S45C の砥石軸を用いた傾斜の変化を記録した加工例を示す。ドレッシング直後の加工 1 個目の傾斜を 0 とし、傾斜の推移を確認した。剛性が高い WC の方が、傾斜の変化が小さく、初期状態を維持しやすい結果が示された。砥石軸の剛性を高めて加工精度に対する影響を小さくできた例となる。

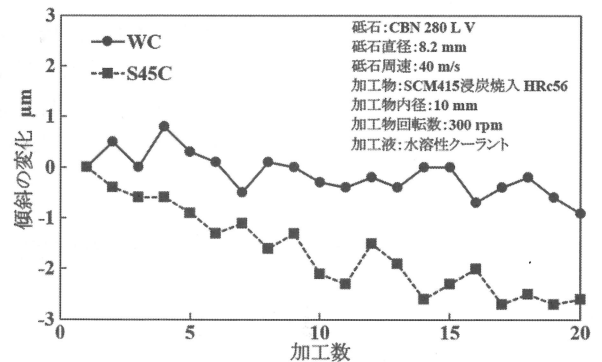


図 2 軸材質による傾斜変化の推移

5. おわりに

内面研削機構を理想的な加工モデルを用いて注視すべき点について述べた。実際の加工では、ドレッシング、加工物-砥石系の剛性の影響を受けやすく、意識を向けるべき点は一層増える。しかしながら、要求達成に向けて、砥粒に対する負荷を考慮することは、内面研削であっても、他の研削加工と同じであるといえる。

6. 参考文献

- 1) 岡村健二郎, 中島利勝, 上田稔, 内田恒二: 砥粒切れ刃による切削現象の研究(第1報), 精密機械, 32, 4 (1966), 287.
- 2) 機械振興協会 技術研究所編, 加工技術データファイル 基礎編 研削研磨加工(1973).