研削砥石の目つまりの研究 (Ⅷ)*

—目つまりの生成過程と砥石、加工材への影響およびその減少対策—

重 松 日 出 見**

Loading of Grinding Wheels (Ⅷ)

—The formation, Influence and Prevention of Loading—

Hidemi SHIGEMATU

The effects of loading on the working phenomena in grinding were already reported in the preceding papers. In this article, the formation, influence and prevention of loading of grinding wheel are described.

The results obtained are;

- (1) The conditions and quantities of loading are changed with the difference of mechanical and physical properties of the work material, and the lubricating, wetting and cooling of grinding fluids.
- (2) The adhesion type loading increases with the increase of the grinding temperature.
- (3) The quantities of loading vary considerably with change of the filtering and supplying of grinding fluids.

1. ま え が き

すでに報告したように^{1)~7)}、砥石面に対する β 線の後方散乱強度によって目つまり量を測定し、目つまり量と加工材、加工条件、研削油剤などとの関係ならびに加工現象に及ぼす目つまり量の影響を調べた。本報では以上に加えて、砥石作業面に発生する目つまりの生成過程を追究するとともに、目つまりの形態が砥石、加工材に及ぼす影響ならびに目つまりの減少対策を述べて本研究の報告を終える。

2. 目つまりの生成過程

目つまりの形態は前報²⁾で述べたように、2種類に大別できる。すなわち、主として砥石作業面の空隙部分に排出切りくずが浸入してくるもの（充てん型）と、主として砥石作業面の作用砥粒や結合剤に切りくずや加工金属が溶着してくるもの（付着型）とに分かれる。

充てん型目つまりの生成過程を顕微鏡で追跡した結果、作業を開始した直後はすき間部や気孔部に浸入している切りくずが少なく、しかも浸入切りくずの一部は図1に示すように型材や砥石の遠心力で取除かれたり、逆排出される割合が多い。そして作業の進行と共に浸入切りくずが空隙部内の砥粒や結合剤ならびに切りくず同志と溶着する割合が増して、空隙部分は図2に示すよう

に次第に切りくずで充てんされる。また図3に示すように一部の作用砥粒および結合剤への切りくずや加工金属の溶着も生じる。

このように充てん型目つまりでも研削の進行とともに付着型目つまりが発生してくるのは、加工面の温度上昇に影響されることが次の実験より明らかになった。図4の方法により、加工材を一定温度に予熱した後、テーブルの1往復ごとに0.02mmの切込み量で3往復、平面研削した砥石面に発生している目つまりの状態を図5に示す。加工材の温度が室温の場合には空隙部のみに切りくずが浸入し、50~100℃では作用砥粒や結合剤の一部に切りくずが溶着してくる。さらに温度を150~200℃にすると加工金属の溶着部が発生して、250~300℃では発達する。なお温度上昇とともに空隙部内の浸入切りくずの溶着が増している。一方、図6に示すように作用砥粒や結合剤に溶着した切りくずが研削中に取除かれても、その一部が残存すれば同種金属の接触（残存切りくず—加工材）になって、さらに溶着が起こりやすくなる。また砥粒表面に存在する空孔部⁸⁾に圧入した切りくず片と加工材との接触に伴う溶着部の発生も考えられる。

次に付着型目つまりの生成過程を図7の(i)に示す。研削初期に空隙部へ切りくずが浸入すると同時に作用砥粒や結合剤にも加工金属が溶着して、作業の進行とともに空隙部への切りくずの浸入よりも溶着部が急激に発達、成長する。そして発達、成長した溶着部は、はく落する。また溶着部の発達、成長が著しいために、図7の

*原稿受付 昭和42年9月29日

**正 会 員 神奈川大学工学部（横浜市神奈川区六角橋320）

研削砥石面

研削砥石面

作業の進行

砥石面に歯科用型材 (Surflex) を $3\text{kg}/\text{cm}^2$ で押しつけて取りはずした型面 ($\uparrow$ 部は型材に移着している切りくず)

(撮影方法V) ↓ 作業の進行

型材を取りはずした砥石面

(i) 砥石A20mV

加工材FC20

砥石周速度 $1850\text{m}/\text{min}$

切込み量 $0.01\text{mm} \times 5$ 回, 乾式

砥石面を空転(3000rpm 5分間)させた場合、遠心力によって気孔部に浸入した切りくずの P_c が気孔外に逆排出された状態

(ii) 砥石WA46 K7V

砥石寸法 $196\text{mm} \times 19\text{mm} \times 50.8\text{mm}$

加工材SNC2

切込み量 $0.01\text{mm} \times 3$ 回, 乾式

P_c : 気孔内に浸入している切りくず

P: 気孔部

撮影方向

(撮影方向H)

W_c : すき間部に浸入している切りくず

砥石 WA46, 加工材 FC20

図2 空隙部への切りくず充てん

図1 研削初期における砥石作業面の空隙部分への浸入切りくずの状態(撮影方向V)

(撮影方向V)

(撮影方向H)

(i) 作用砥粒への切りくず溶着

(ii) 作用砥粒や結合剤への加工金属の溶着(撮影方向V)

g: 砥粒 D: 切りくず溶着 M: 加工金属の溶着

図3 作用砥粒および結合剤への切りくず, 加工金属の溶着

図4 加工材の加熱方法

室温（20℃）

50℃～100℃

150℃～200℃

250℃～300℃

平面研削：砥石 WA60L，加工材S50C，
砥石周速度 1800m/min，テーブル送り速度6m/min，切込み量 0.02m×3回，乾式

図5 加工面の温度と目つまりの形態

A：砥粒への溶着切りくず
B：残存した溶着切りくず
C：残存溶着切りくずを基に発生した金属溶着部

図6 砥粒への加工金属の溶着状態（撮影H方向）

研 削 前
g₁, g₂：砥粒

研削時間40秒
K：Fの溶着部が一部はく落
L：C₂の溶着部が発達
N：G, H, Iの溶着部が成長

研削時間5秒
A, F, G, I：砥粒への加工金属の溶着部の発達
E, H, J：結合剤への加工金属の溶着部の発達
B：砥粒への加工金属の溶着部の発生
C₁, C₂：結合剤への加工金属の溶着部の発生

研削時間60秒
O：Nの溶着部がはく落，これに伴って砥粒g₂の一部が強制的に破碎されている
Q：Aの溶着部が一部はく落
R：Eの //

(i) 砥粒や結合剤への加工金属の溶着状態（撮影V方向）

図7 付着形目つまりの生成過程

加工材 純チタン
(ii) 砥石作業面の断面
（撮影方向H）

(i) 室温 (20°C)

(ii) 100°C~150°C

(iii) 200°C~250°C

加工材アルミニウム

図8 加工面の温度と溶着部 (撮影方向V)

(ii) に示すように砥石面の砥粒や結合剤ならびに空隙部分の表面が溶着部で閉鎖される。なお図8に示すように加工面の温度が高くなるほど、発達した溶着部が生成される。

以上を総括すれば、図9に示すように加工材質によって目つまりの形態が決ってくる。このように目つまりの形態が研削初期から異なるのは、機械的、物理的性質の相違、研削中の加工面の化学反応性や砥粒および結合剤との親和性の相違によるものである。つまり加工条件が一定でも上記の各項が異なれば、材料を切りくずに変えたり、材料を引き裂いたり、摩擦の各仕事によって生ずる研削熱、したがって加工面の温度上昇の割合が変わってくる。この一例を図10に示す。これは加工面から2mmのところ熱電対を挿入して、1mm研削した時の加工面の温度上昇を表わす。温度上昇は炭素工具鋼が一番低く、アルミニウムが最も高くなっているから、研削時の温度上昇の高い加工材ほど付着型目つまりが発生しやすい

砥石：砥材 WA,GC, 粒度 46~80, 結合度 H~M, 組織 5~9, 結合剤 V

砥石周速度：1500~1900m/min, 乾式

図9 研削初期の加工材質と目つまりの形態

図10 加工材別加工面の温度上昇

実験条件

使用機械 正野崎式研削

油剤試験機II型³⁾砥石 WA ϵ 0HmV

加工材寸法 長さ50mm,

横16mm, 縦16mm

荷重 2.5kg

乾式

い状態になってくるといえる。

3. 砥石, 加工材に対する目つまりの影響と減少対策

目つまりの加工現象への直接的影響は先に述べたが²⁾, ここでは2で述べた充てん型と付着型という二つの目つまり形式を論ずる。

図11の (i) に示す砥石本来の気孔部やすき間部, さらに図11の (ii) に示す研削中の砥粒の破碎や結合剤の破壊などによって、現出した後出空隙部分などに切りくずが浸入するのを防止すれば、逆に切りくずの逃げ路を閉鎖することによって砥石の切れ味が低下する。砥石面に空隙部分が存在する以上、切りくずがこれに浸入する充てん型目つまりが発生するのは止むをえないが、空隙部に浸入した切りくずが作用領域よりも内側にあるときは (たとえば図11の (i) に示すAやB) 問題も少ないが、作用領域内に存在したり (たとえば図11の (i) に示すC), また作用砥粒や結合剤に切りくずや加工金属が溶着した状態 (たとえば図11の (i) に示すD, M) の目つまりでは、同種金属の接触になって前述した悪影響が現

図11 目つまり状態と空隙部分の変化

実験条件 平面研削 砥石 GC 00, 加工材 A1B1, 切込み量 0.015mm, 乾式

図12 溶着部のはく落に伴う砥石作業面の形くずれの状態

われる。すなわち、はく落した加工金属の溶着部の移着などで加工面が著しくあれたり、さらに砥石面の溶着部の影響で加工面に焼けや、びびりが発生しやすくなる。また前述³⁾したように溶着部が、はく落する際に砥粒や結合剤の一部が強制的に破壊されて、図12に示すように砥石作業面の形状が著しく、くずれてくる。

次に既報の結果^{3)~7)}を基にして目つまりの減少対策を整理した結果を表1に示す。

充てん型目つまりで、砥石の気孔に浸入している切りくずが遠心力や研削油剤の洗浄性などによって、逆に気孔外に排出される場合には、前報³⁾で述べた一つの気孔の平面的形状が丸味型、立面的形状が平型のものほど排除されやすい傾向にある。付着型目つまりにおける砥石は、C系の方がA系に比べて溶着部の影響の程度は少なくなってくるが、はく落が少ないことや空隙部への切りくずの浸入が増してくることなどから目つまり量は逆に多くなる。なお砥材以外の因子では溶着部のはく落が不規則な状態を示すために目つまり量の差異は認められにくい。また加工面の温度上昇の程度が付着型目つまりの発生に深く影響し、乾式で付着型目つまりが発生するような条件で湿式にすると目つまり量は多くなるが³⁾、溶着部の発生が少なく目つまりの形態は付着型と充てん型の混合型に移行する。

次に研削油剤の影響として、前報⁶⁾で述べた以外に循環油剤の汙過方法の優劣によって充てん型目つまりの場合、目つまり量が著しく変わってくる。その一例を図13に示す。清浄な油剤を

表1 目つまりの減少と対策因子

対 策 因 子		減 少 状 態							
		充てん型目つまり				付 着 型 目 っ ま り			
		目つまり量		溶着部の発生		目つまり量		溶着部の大きさ	
		多	少	多	少	多	少	大	小
砥 石	材 質	C系	A系	*		C系	A系	A系	C系
	粒 度	細	粗	*		*		細	粗
	結 合 度	硬	軟	硬	軟	*		硬	軟
	組 織	密	粗	*		*		密	粗
	気 孔 大 き さ	小	大	*		*		小	大
	平面的形状		丸味形	*		*		*	
	立面的形状		平形	*		*		*	
切りくずの形状		小	大	*		*		*	
		短	長	*		*		*	
砥石の作用回数		多	少	多	少	*		多	少
ドレッシングによる砥石面形状		細	粗	*		*		細	粗
加工面の温度上昇		高	低	高	低	*		高	低
乾 式 と 湿 式		乾	湿	乾	湿	湿	乾	乾	湿
研 削 油 剤	洗 浄 性	◎		△		△		△	
	冷 却 性	○		○		△		○	
	浸 透 性 (表面張力)	(大) ◎ (小)	(大) ◎ (小)	(小) ◎ (大)	(大) ◎ (小)	(大) ◎ (小)		(大) ◎ (小)	
	潤 滑 性	◎		◎		△		◎	
	給 油 方 法	◎		◎		△		◎	
	汙 過 方 法	◎		△		△		△	

表中の *印 差異が認められにくい
○印 効果がある

△印 効果が少ない
◎印 効果が著しい

実験条件

使用機械 正野崎式研削油剤試験機Ⅱ型³⁾, 砥石 WA80 HmV, 加工材 SCr3(Rc56~58), 荷重 2.5kg, 研削油剤 Synthetic type (×70), 給油量 3.6ℓ/min, タンク容量(循環の場合)12ℓ

図13 目つまり量に及ぼす研削油剤の汙過効果

まずフィルタなしの容量 12ℓ のタンクに入れて、循環させながら研削部分に供給した場合と、流し放しの状態で常に清浄な油剤を研削部分に供給した場合の同一研削量に対する目つまり量を比較してみると、前者では循環油剤中に含まれた切りくずが砥石作業面と再会するために3倍から4倍程度増大する。また普通給油法⁶⁾で給油量が少ない場合に、砥石の円周辺の空気流層によって図14(a)の(i)に示すように、研削部分への油剤の流入が抑制される。そこで図14(a)の(ii)に示す空気流しや遮板を取りつけて油剤の流入を促進させると、表2のように目つまり量が、かなり減少してくる。次に、あらかじめ較正されたアルメルクロメル熱電対を加工表面から1.6mmのところに挿入して、研削中に加工材周辺が空気や油剤で冷却されるのを少なくする目的で、断熱材で防護して研削した結果、図15に示すように乾式に比べて湿式の方が加工面の温度上昇は低くなっている。また湿式でも水溶性に比べて潤滑性に優れた不水溶性の方が温度上昇は低い。加工面の温度上昇が高いことは空隙部での浸入切りくずの溶着や、砥粒および結合剤への加工金属の溶着現象が生じやすくなって目つまり量も多くなる。

表2 目つまり量に及ぼす空気流層の影響

空気流し や断板	砥石作業15カ所の 目つまり量の 最低と最大 (x_R) (mg/cm ²)	推定平均目つまり 量(x_t) (mg/cm ²)	目つまり率 ($\frac{1}{L}$) (%)
無	6.0~10.5	8.6±0.9	17.0~20.9
有	0.3~2.2	1.1±0.6	1.1~3.7

実験条件

円筒ブランジ研削
砥 石 A60M8V
加 工 材 S45C
研 削 量 7177mg
研削油剤 Solution type(×70)

(i) 空気流しヤ断板なし (ii) 空気流しヤ断板あり
(a) 砥石円周辺の空気流と油剤の流入状態

(b) 空気流しヤ断板取付け略図
C: 空気流しヤ断板,
F: 給油口

図14 空気流と油剤の流入状態

4. あとがき

上記実験結果をまとめると

- (1) 加工材質によって機械的、物理的性質や砥粒ならびに結合剤との化学反応性や親和性などが異なるために、加工条件が一定でも研削時の加工面の温度上昇の割合が変わってくるので、目つまりに充てん型と付着型の二つの型が生ずる。
- (2) 加工面の温度上昇が著しい加工材ほど目つまりの形態は付着型になる。また研削初期では充てん型目つまりでも研削作業の進行とともに加工面の温度が上昇してくると、砥石の一部分に付着型目つまりが発生する。
- (3) 空隙部分に浸入している切りくずが作用領域内に存在している状態や、また作用砥粒や結合剤に切りくずや加工金属が溶着している状態の目つまりが砥石や加工材に対して影響を及ぼす。

実験条件 プランジ研削, 砥石 WA46MmV,
加工材 S20C (R_B74~76), 加工材寸法 15mmφ
×30mm, 給油量 3.6ℓ/min

図15 油剤別加工面の温度上昇

- (4) 乾式では付着型目つまりが発生する状態が、湿式では目つまり量は多くなるにせよ溶着部の発生が少なくなって、目つまりの形態が充てん型と付着型の混合型に移行する。
- (5) 研削油剤の渡過方法や給油量（給油圧）が変わると、同一研削油剤でも目つまり量に及ぼす影響が変わる。

終りに始終ご指導賜った神奈川大学工学部教授正野崎友信博士に謹んで感謝の意を表します。また装置ならびに実験でお世話になった技術指導員落合勝治氏、古川進氏、小口宏君、杉山嘉隆君、根本敏則君にお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(I)，精密機械，32，5 (1966)364.
- 2) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(II)，精密機械，32，8 (1966)577.
- 3) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(III)，精密機械，32，12 (1966)820.
- 4) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(IV)，精密機械，33，2 (1967)103.
- 5) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(V)，精密機械，33，3(1967)183.
- 6) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(VI)，精密機械，33，8(1967)531.
- 7) 重松日出見：研削砥石の目つまりの研究(VII)，精密機械，34，5(1968)316.
- 8) 木村康之：砥粒粒子の開孔の測定について，砥粒加工研究会(1966-12). L. H. Van Vlack: Elements of Materials Science. Addison-Wesley Publishing Co., (1964).