

Title	研削砥石の目直しに関する研究
Author(s)	安井, 平司
Citation	大阪大学, 1973, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1923
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

研削砥石の目直しに関する研究

昭和47年10月

安井平司

目	次

第	1	章	序 章		1
第	2	章	目直し切れ刃の脆弱層とその	過渡的挙動	6
	1	緒	÷		6
	2	実験	装置および方法		7
		2 - 1	顕微鏡		7
		2 - 2	実験方法		8
	3	目直	し 切 れ 刃 の 表 面 形 態		9
		3 - 1	目直し直後の砥石作業面性状		9
		3 - 2	目直し切れ刃の平坦性		12
	4	目直	し切れ刃の脆弱層	· 	16
		4-1	目直し切れ刃の立体的観察		16
		4 - 2	脆弱層の構造		18
	5	研 削	過程における切れ刃の過渡的挙	動	22
		5-1	研削過程における切れ刃表面形態の	変化	22
		5 - 2	研削特性に及ぼす脆弱層の影響		26
	6	結	斋		26
第	3	章	砥石作業面性状の定量化		29
	1	緒	音		29
	2	実験	方法および条件		30
		2 - 1	砥石半径減耗量の測定法		30
					-
			-1-		

		2	-2	切れ	刃密度の測定法	·	31
		2	- 3	実験	条件		32
	3		目直	し過	星における砥石作業面性状の	変化	33
	4		研削	過 程	こおける砥石作業面性状の変	۲	40
		4	- 1	研削	過程における切れ刃分布の変化		40
		4	- 2	研削	過程における切れ刃面積率および		
				砥石	半径減耗量の変化		46
		4	- 3	研削	こよる砥石作業面性状の変化の数式	化	52
	5		結	論			56
第	4	훅		砥	石の研削性能の定量化	{	59
	1		緒	言		{	59
	2		実験	装置	8よび方法		60
		2	- 1	メタ	vボンド砥石の製作		60
. *		2	- 2	実験	方法		63
	3		砥石	作業	面性状による砥石の研削寿命の	D 定 量 的 基 準 (65
·		3	- 1	砥石	乍業面性状と砥石の研削寿命		65
		3	- 2	砥石	乍業面性状からみた研削焼けの熱的	解析'	71
			3 - 2	- 1	切れ刃にかかる平均研削抵抗	'	71
			3 - 2	- 2	切れ刃面積率と研削焼け	,	79
		3	- 3	砥石	D目直し間寿命の数式化	{	85
	4		砥石	作業	面性状と仕上面あらさ	{	86
	5		結	論			92

第5章	特殊目直し法による砥石の研削寿命の向上	95
1 緒	쿱 금	95
2 ドレ	ッサー回転目直し法	95
2 - 1	実験装置および方法	95
2 - 1	ー1 ドレッサー回転目直し装置	95
2 - 1	-2 実験方法	98
2 - 2	ドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石の	
	連続切れ刃間隔と切れ刃面積率	100
2 - 3	ドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石の	
	研削性能	101
3 振動	目直し法	105
3 - 1	振動目直し装置と切れ刃の分布および形状の調節概念	105
3 - 2	実験方法	109
3 - 3	振動目直しされた砥石の切れ刃分布	109
3 - 4	研削過程における切れ刃の挙動	112
3 - 5	切れ刃の分布と砥石の研削性能	115
4 結	<u>合</u> 前	119
第6章	総括	121

結

言-----126

- 3 -

第1章 序 章

近年、機械加工の自動化が急速に普及し、高精度が要求される研削加工においても数値制御の研削盤がみられるようになり、研削作業の省力化ならびに高 精度化を目標として著しい発展を遂げつつある。これに対して、研削作業条件 もより合理的な研削作業を行なうために、現状の経験的設定から研削現象を考 えた理論的設定への移行が切望されている。

研削作業条件は砥石の種類、目直し条件、雰囲気、研削盤の作動条件等によって規定され、合理的な研削作業を行なうためには、これらの組み合わせを最 適なものにし、目直し間寿命を最も長くすればよい。しかし、砥石だけをとっ てみてもその種類は非常に多数あり、仕上面あらさ、研削焼けなどの寿命判定 基準の異なる各作業目的に対して研削作業条件を最適にすることは容易ではな い。このため、研削作業条件は経験的ないしは経験的判断による二・三の予備 実験の資料でもって決定されているのが現状である。

ところで、砥石の研削性能は目直しによって加工目的に適合するように調整 され、研削することによってその研削性能が劣化する過程をたどる。目直しに よる調節は目直し条件を変化させ、砥石作業面附近に存在する砥粒の破壊およ び脱落の量を変える、すなわち、切れ刃の分布および形状(以後、砥石作業面 性状と呼ぶ)を変えることによって行なわれる。また、砥石の研削性能の劣化 は、津和¹⁾ J.Peklenik²⁾ 吉川³⁾らによれば研削することによって砥石作業面 性状が変化するために生じる。それゆえ、概念的には、目直しによって形成さ れる砥石作業面性状と各研削作業条件での研削による砥石作業面性状の変化を 定量的に明らかにし、一方、砥石作業面性状と研削焼け、研削抵抗、仕上面あ らさなどの関係が定量化されれば、最適作業条件の理論的設定は可能である。

(1)

これらに関連する従来の研究を概観すると、目直し条件と切れ刃密度の関係⁴) 目直し切れ刃の表面形態⁵)。⁶研削による切れ刃の挙動⁷)~¹⁰? 砥粒の破壊強度¹¹⁾¹²? 切れ刃 密度と仕上面あらさの関係¹³? 切れ刃面積率と寿命時の研削抵抗の関係¹⁴? などが調べられ ている。このような多くの研究が行なわれているが、これらの資料を使用して最 適研削作業条件を理論的に設定することはまだ困難である。この理由としては 幾つか考えられるが、目直し条件と目直し直後の砥石作業面性状の関係ならび に研削による砥石作業面性状の変化に及ぼす目直し条件の影響など目直しに関 する定量的な解析が行なわれていないことに帰因する。したがって、最適研削 作業条件を理論的に設定するためには、目直しによって形成される砥石作業面 性状と研削によるその変化を定量化することが急務である。

そこで、本研究では最適研削作業条件の理論的設定方法の確立をめざし、通 常良く使用される単一ダイアモンドドレッサーで目直しをする場合の目直し条 件と砥石の研削性能の関係を砥石作業面性状の観点から定量的に究明した。 また、その結果を用いて砥石の研削性能を向上させ得る目直し方法の開発を試 みた。

まず、第2章においては、研削初期に砥石の損耗が非常に大きいことから、 この非定常領域における切れ刃の挙動を究明するために、目直し切れ刃の性状 の詳細な観察および非定常領域における切れ刃の変化の追跡を行ない、切れ刃 の過渡的挙動を明らかにしている。さらに、切れ刃の過渡的挙動が研削特性に 及ぼす影響を調べている^{5)~17}。

次に、第3章においては、目直し過程における切れ刃分布および切れ刃面積 率を測定することによって、目直し条件と目直し直後の砥石作業面性状の一般 的関係を作成することを試みた。また、目直し直後から研削焼け以後の研削過 程までの切れ刃分布および切れ刃面積率と砥石半径減耗量を対応させ、切れ刃 の幾何学形状の模型を作成し、研削による砥石作業面性状の時間的推移を数式 化している¹⁸⁾¹⁹⁾。

さらに、第4章では、砥石作業面性状と研削抵抗、研削焼け、仕上面あらさ との関係を実験的に明らかにし、第3章までの結果を用いて、砥石の研削性能 の定量化を試みている^{20)~22)}。

第5章では、第4章までに明らかになった結果を用いて、砥石の研削寿命の 向上を可能にさせ得る二種類の特殊な目直し装置を考案し、その装置で目直し を施した砥石の寿命試験を行なうとともに、切れ刃の挙動を調べ、二種類の特 殊目直し装置の有用性を明らかにしている^{28)~50}。

参考文献

1)津和:精密機械, 26-4 (1960) 199

27-6(1961)409

27-6(1961)414

2) J. Peklenik : Industrie-Anzeiger, Nr. 27, 4 (1958) 27

3) 吉川:精密機械, 30-1 (1964) 112

- 4)鈴木.高橋:精密機械, 30-4 (1964) 32
- 5) 横川:応用機械工学,9月(1960)
- 6)田中.津和.河村:精密機械, 30-10(1964)809
- 7) 塩崎:マシナリー, 20-6 (1952) 723
- 8) 津和:精密機械, 27-11 (1961) 719
- 9) 武野.長岡:精密機械, 30-1 (1964) 38
- 10) 田中.津和.河村:精密機械, 31-5 (1965) 397
- 11) 吉川. 佐田: 精密機械, 26 (1960) 476
- 12) 高沢:機械工作, 9-51 (1962) 75
- 13) 例えば、織岡:機械学会誌, 63-449 (1960) 1185
- 14) 吉川: 機械学会論文集, 28 (1962) 655
- 15) 津和.安井:研摩布紙加工, 8-4 (1971) 74
- 16) 津和.安井:昭和46年度精機学会秋季学術講演会前刷集,

(昭46年11月)

- 17) H.Tsuwa, H.Yasui : Proceeding of International Grinding Conference, April 18 (1972)
- 18) 安井.津和:昭和47年度精機学会関西支部講演会前刷集,

(昭47年7月)

19) 安井.津和:昭和47年度精機学会関西支部講演会前刷集,

(昭47年7月)

20) 津和.安井:昭和45年度精機学会春季学術講演会前刷集,

(昭45年4月)

- 21)津和.東.安井:昭和46年度精機学会秋季学術講演会前刷集, (昭46年11月)
- 22) 津和、安井:昭和43年度精機学会秋季学術講演会前刷集,

(昭43年10月)

- 23) 津和.田部.安井:精密機械, 36-11 (1970) 745
- 24) H.Tsuwa, S.Tanabe, H.Yasui : Technol.Repts, Osaka Univ., 20.969(1970)
- 25) 津和.安井.中園:昭和4*5 年度精機学会春季学術講演会前刷集, (昭45年4月)

第2章 目直し切れ刃の脆弱層とその過渡的挙動

1 緒 言

研削過程における砥石作業面性状の時間的推移は目直しによって形成された 砥石作業面性状を初期状態とし、研削初期の砥石の非定常損耗領域における過 渡的変化を経て、砥石の定常損耗領域では切れ刃の摩耗となんらかの対応関係 をもって変化し、砥石の寿命とされる砥石作業面性状に至ると考えられる。従 来、これらの各過程の中で、非定常損耗領域を除く各過程については研究がな されているが、非定常損耗領域についての研究はほとんどなされていない。

すなわち、初期状態については、切れ刃の分布が目直しの運動条件に影響さ れること¹⁾ や目直し切れ刃のほとんどが微小凹凸面で構成され、一部に平坦な 切れ刃が存在すること²⁾ などが報告されている。定常損耗領域については多く の報告があるが³⁾ とくに、津和は⁴⁾光切断法を応用した切れ刃観測装置によっ て切れ刃の挙動を詳細に研究し、切れ刃の摩耗が砥石の研削性能と密接な関係 をもつことを示し、切れ刃の摩耗を統計的に取り扱うための切れ刃面積率を定 義している。また、寿命については、吉川が切れ刃面積率がある一定値に達す ると研削抵抗が切れ刃面積率のわずかな増加によって急上昇することから、こ の一定値を砥石の寿命と提案している⁵。

これらの研究に対して、砥石の非定常損耗領域における切れ刃の挙動に関す る研究はほとんど行なわれていないが、この領域においては砥石の損耗が非常 に大きく、切れ刃の破壊ないしは摩耗がしやすく、切れ刃が脆弱性をもち、不 安定な状態にあり、切れ刃の分布や形状が大きく変化すると考えられる。それ ゆえ、目直し直後から寿命までの切れ刃の分布および形状の時間的推移を明ら かにし、砥石の研削性能を定量的に把握するためには、切れ刃の過渡的挙動が

(6)

究明されねばならない。また、この領域における切れ刃が不安定であるという ことは、目直し直後の切れ刃が不安定であるということになり、目直し機構を 究明するうえにおいても、切れ刃の過渡的挙動を明らかにすることは必要であ る。

そこで、本章においては、目直し切れ刃の脆弱性を考慮すればレプリカなど の間接法による切れ刃の観察では切れ刃の表面状態が変化することを考え、直 接数種の顕微鏡を使用し

て、目直し切れ刃を詳細 に観察し、その過渡的挙 動を追跡、究明した。ま た、目直し切れ刃の過渡 的挙動が研削特性に及ぼ す影響も調べた。

- 2 実験装置および方法
 - 2-1 顕微鏡

目直し切れ刃を直接的 かつ詳細に観察するため に実体顕微鏡、微分干渉 顕微鏡および走査型電子 顕微鏡を使用した。実体 顕微鏡は切れ刃の概要を 観察するために用い、切 れ刃の詳細な観察には、



図2-1 切れ刃観察装置



, 80µ



主に微分干渉顕微鏡を使用した。微分干渉顕微鏡を使用したのは切れ刃の凹凸 が明確にわかることと、目直し切れ刃が容易に色別し得るためである。これら の顕微鏡による切れ刃の観察方法は図2-1に示す通りである。顕微鏡を保持 具に取りつけ、平面研削盤の上に置き、電磁チャックで固定させ観察する方法 である。なお、微分干渉顕微鏡では切れ刃面積率も測定した。この測定方法は 顕微鏡の接眼レンズの中に格子を撮影した反転フイルムを入れ、その格子の中 心を通る切れ刃の長さを測定する方法で、図2-2にその測定例を示す。

走査型電子顕微鏡は目直し切れ刃の表面構造を調べるために必要な高倍率の 観察の際に使用した。以上の他に、従来の結果を検討するために、レプリカ法 でも目直し切れ刃を観察したが、この場合には、レプリカに対して精度の高い 観察ができる位相差顕微鏡を使用した。

2-2 実験方法

本実験において使用した目直し条件以外の実験条件を表2-1に示す。なお、 砥石作業面上の目直し切れ刃と比較するために単粒を使用したが、単粒の目直 しはアルミニウム円

けて行なった。目直 し条件はダイアモン ドドレッサー先端摩 耗幅(以下、ドレッ サー先端幅と述べる) 20μ~1.2mm、ドレ ッサー送り20μ/rev ~360μ/rev、ドレ

板上に砥粒を取り付

表2-1 実験条件

砥石	A46M8V, WA46M8V
砥石周速	1900m/min
テーブル進り	8m/min
被削标	SK3 (Rc=60)
研削方式	乾式プランジカット
ドレッサー	単石ダイアモンドドレッサー

ッサー切り込み10μ~ 50μ の範囲で、一般 的には、ドレッサー先 端幅がドレッサー送りより も大きい条件で目直し を行なった。



図2-3 研削抵抗測定装置

研削抵抗は八角リン

グを使用して測定した。八角リングの諸寸法を図2-3に示す。

3 目直し切れ刃の表面形態

3-1 目直し直後の砥石作業面性状

目直し直後と砥石の寿 命時における砥石作業面 を比較して図2-4に示 す。ただし、(a)は目直し 直後の切れ刃を概略的に 知るために乱反射光によ って観察したもので、(h) は目直し直後と同一の砥 石作業面を正反射法で観 察したものである。目直 し直後の砥石作業面は牧



(b) 寿命時(研削焼け)

3 mm

図2-4 目直し直後と寿命時の砥石作業面の比較

野⁶⁾が報告しているように白濁色の表面をもつ砥粒によって形成されている。 そして、白濁色表面の大きさは(b)に示した寿命時における切れ刃の大きさと比較 すれば同等以上のものである。また、 定性的にみて、目直し直後の白濁色部 をもつ砥粒の分布は寿命時における切 れ刃分布と大差ないことが図2-4よ りわかる。したがって、白濁色部をも つ砥粒は目直し切れ刃であり、この目 直し切れ刃の巨視的輪郭は矢印Bに示 されるように寿命時の切れ刃と似てい る。図2-5は図2-4(a)における矢 印Aの目直し切れ刃を拡大したもので



 $10.4 \,\mathrm{mm}$

図 2 - 5 乱反射光による目直し切れ刃の表面観察

あるが、表面に流動した平坦そうな形態が観察され、目直し切れ刃の表面形態 が巨視的には平坦であるという従来の報告を一致しているように思われる。

目直しによる砥石作業面の形成機構はドレッサーによる砥粒の脆性破壊、ま たは、脱落である。脆性破壊は砥粒の破壊の形態から、図2-6に示すように 切削、一部欠損、欠損に分類されており、前述の平坦そうな目直し切れ刃は切 削ないしは一部欠損の砥粒である。それゆえ、目直し条件による砥粒の挙動の 変化と砥石作業面の表面状態は密接な関係をもつ。図2-7に目直し条件によ る砥粒の破壊および脱落形

態の変化を示す。これらの 変化については、田中²⁾ら によっても報告されている が、その報告では同一砥粒 の破壊および脱落の形態に 及ぼす目直し条件の影響を



図2-6 目直しによる砥粒の破砕形態の違い

(10)

調べたもので、主として、同一砥粒の破壊および脱落機構に重点が置かれてい る。そこで本研究は新出砥粒の破壊および脱落をも含めて、砥石作業面の形成 に及ぼす目直し条件の影響を調べたものである。ドレッサー切り込みが10μ の場合には送りの影響による破壊形態の割合に変化が認められるが、ドレッサ 一切り込みが大きくなるとドレッサー送りにはあまり影響されない。しかし、



図2-7 目直し条件による砥粒の破砕形態の変化

ドレッサー切り込みが大きくなると切削の砥粒は非常に減少し、欠損する砥 粒が増加する。このように、ドレッサー切り込みや送りによって砥粒の挙動は 変化するが、総体的には一部欠損の砥粒が多い。これらの結果から判断すると 砥石作業面上の切れ刃の分布や形状はドレッサー切り込みや送りが増加するこ とによって減少および鋭利になることが言え、転写法による従来の結果と一致 する。

3-2 目直し切れ刃の平坦性



<u>0.4 mm</u>

(b) 正反射光

(a) 乱反射光

図2-8 目直し切れ刃の平坦性

目直し切れ刃の表面形態は巨視的には平坦であり、微視的には微小凹凸面で あると、従来、報告されている²⁾直接観察によっても、巨視的には平坦らしい ことが前項で認められた。しかし、前項の観察は乱反射光による観察であった ので、その平坦度を明らかにすることができなかった。図2-8は正反射光を



図2-9 目直し切れ刃の表面性状



.0.2 mm

図2-10 破砕面がみられる特殊な目直し切れ刃 (13) 用いてその平坦度を調べたもので、(a)は乱反射光、(b)は正反射光の場合である。 (b)の結果より、白濁色部の一部に条痕が観察され、表面の一部がかなり平坦で あることがわかる。また、条痕部以外は乱反射する(写真では黒くなる)こと から、(a)の白濁色部全域が必ずしも平坦でないことがわかる。

目直し切れ刃の表面形態を微分干渉顕微鏡で微視的に観察した結果を図2-9、図2-10に示す。図2-9はA46M8Vの砥石をドレッサー切り込み30u、 ドレッサー送り270µ/revドレッサー先端幅 0.4 mmの比較的荒い目直し条件 で目直しを施したものであるが、低倍率で観察された結果と同じように、切れ 刃の表面には条痕が観察される。条痕は明確に観察される部分と不明確な部分 にわかれ、後者は、なんらかの機械的結合力はあるが、化学的な結合はしてお らず微小砥粒から形成されているように観察される。ここで、表面の色は砥粒 特有の色ではなく、微分干渉によって生じたものである。図2-10はドレッサ ー切り込み50μ、ドレッサー送り170μ/rev、ドレッサー先端幅 0.4 mmで目 直しを数回繰返した非常に荒い目直しの場合に観察された切れ刃の表面を示す ものである。条痕と同時に破砕面がはっきりと観察される。このような破砕面 は非常に目直しの荒い場合にのみ観察され、一般的には、図2-9の場合のよ うに切れ刃全面が条痕によって占められていることが多い。いずれにしても、 切れ刃表面には条痕が観察されるが、この条痕の平坦度は1 μ以下(触針式あ らさ計の標準片を利用して、顕微鏡の焦点深度が約1μであることを確かめ、 その焦点深度を使用して調べた結果による)であり、切れ刃が摩耗した場合に 生じる条痕あらさ(約1μ)よりも小さい。

条痕をもつ平坦な切れ刃は上述の実験条件だけではなく、ドレッサー先端幅 20μ~1.2mm、ドレッサー切り込み10μ~50μ、ドレッサー送り20μ/rev ~360μ/revの範囲でドレッサー先端幅がドレッサー送りよりも大きい目直

(14)

し条件で目直しをした砥石の切れ刃にもみられた。また、これらの実験はドレ ッサー送りよりもドレッサー先端幅が大きいために、ドレッサーが砥粒に重複 して接触することによって条痕が生じる可能性も考えられたので、ドレッサー 先端幅20μ、ドレッサー切り込み約30μの目直し条件で非常に摩耗した砥石に ネジ切り状の目直しを施したが、やはり、目直し切れ刃表面上には条痕が観察 された。

以上は乾式目直しの場合で湿式の場合には詳細には検討していないが、目直 しをする際に研削盤に附属している研削油剤給油装置のバルブを全開にしてエマル ジョン型の研削油剤をかけたが、A46M8V砥石の作業面上には平坦な条痕を もつ切れ刃が多数観察された。

ところで、このような平坦な表面をもつ目直し切れ刃は、従来のレプリカ観



0.1 mm

図2-11 目直しされた単粒の表面性状

察の結果によると、結合剤切れ刃に多く見られることが報告されている²⁾ 図 2 -11に図 2 - 9 と同じ目直し条件で目直しを施した場合のA 砥粒の表面を示 す。目直しされたA 砥粒の表面にも砥石作業面上の切れ刃と同様に条痕が観察 され、平坦で条痕をもつ切れ刃が結合剤でないことがわかる。とくに、不明確 な条痕は結合剤と良く似ているが、A 砥粒表面上にも観察され、不明確な部分 も結合剤でないことを明らかにしている。以上A 砥石およびA 砥粒の場合につ いて、目直し切れ刃が平坦で条痕をもつことを示したが、その他にも、WA 46M8 V 砥石や WA、C、GC および SA 砥粒の場合にも同様に観察され、従来、 レプリカによる間接的観察によって報告されている微小凹凸面をもつ切れ刃²⁾ は全く観察されなかった。これらの結果、単一ダイアモンドドレッサーによっ て目直しを施された砥石の目直し切れ刃は条痕をもつ平坦な表面形態をしてい るといえる。

4 目直し切れ刃の脆弱層

4-1 目直し切れ刃の立体的観察

目直し直後の切れ刃表面は条痕をもつ平坦な面であることがわかったが、実 体顕微鏡で観察すると白濁しており、砥材と異った性質のものに見受けられた。 そこで、切れ刃の側面も観察し得る砥石側面の幾つかの砥粒を選んで、切れ刃 の側面からも観察してみた。その例を図2-12(a)に示す。 切れ刃側面観察結 果からもわかるように、切れ刃の表面形態は平坦であるが、その平坦を有する 切れ刃の表面層は白濁色を呈し、砥粒の母材とは異っている。この結果から、 砥粒の表面層はドレッサーによって変質させられていることがわかり、その強 度は母材と比較して弱くなっていることが考えられる。

目直し切れ刃表面層の機械的強度を定性的に把握するために、木片

(16)



側 面

(a) 摩擦前

図2-12 目直し切れ刃の立体的観察

とナイロンブラシで切れ刃の表面を摩擦した結果を図2-12(b)に示す。図より表面層は木片 とナイロンブラシによって容易に除去され、その下層面に微小凹凸面らしき表 面をもつ鋭い形状の砥粒が顕出していることがわかる。この結果は、目直し切 れ刃が非常に脆弱であることを示し、研削に耐え得るかどうかは疑問であるこ とを示唆する。また、このような脆弱層は従来見い出されておらず、従来の転 写法や触針法による目直し切れ刃の分布測定にも何らかの影響を及ぼしていた ものと考れられる。というのは、目直し切れ刃が非常に脆弱なため、転写法や 触針法で切れ刃分布を測定する際の荷重によって切れ刃の表面が変化し、測定 に誤差を与えることが考えられるためである。図2-13は研削過程における 砥石作業面上の切れ刃の高さ方向の分布を触針法で測定(荷重 0.2*9*)したも のであるが、目直し直後の高さ方向の切れ刃分布だけは非常にばらついている⁷

ドレッサーセカリンショ10μ

neu ha san dana maa dala kana Manta da da na mata kata kata marakataka da dala mata katika da a da anka anka m

An and the second term of the second s

これは、目直し

切れ刃が平坦で

あることを考え

ればおかしく、 脆弱層が影響し

ているものと考

えられる。した 図2-13 触針法による切れ刃分布の測定例 がって、目直し

研削回数

0

10

直後の切れ刃の高さ方向の分布測定は触針法では困難であると考えられる。

4-2 脆弱層の構造

条痕をもつ平坦な目直し切れ刃の表面構造を調べるために、ドレッサー先端 幅20μ、ドレッサー送り100μ/rev、ドレッサー切り込み50μの目直し 条件でWA単粒にネジ切り状の目直しを施した後、走 査型電子顕微鏡で砥粒の



(19)



図 2 - 15 レプリカによる目直し切れ刃の表面変化
 (a)直接観察 (b) 1 回目のレプリカ (c) 5 回目のレプリカ

表面を観察した結果を図2-14に示す。(a)は砥粒表面を低倍率で観察した結 果である。二本の条痕が観察されるが、その一つはドレッサー条痕であり、他 は触針式仕上面あらさ機のダイアモンド触針(0.5 *β*)によって目直し後につ けられたものである。脆弱層は0.5 *β*という非常に軽い荷重しかかけられてい ないダイアモンド触針によって変形し、目直し切れ刃の高さ分布の触針法によ る測定は非常に困難であることを示している。(b)は(a)のドレッサー条痕の中心 部を高倍率で観察したものであるが、ドレッサー条痕内部には多数の微少亀裂 が観察され、目直し切れ刃の機械的強度が弱い理由を明らかにしている。

以上の目直し切れ刃の脆弱性を考えれば、従来のレプリカ観察による目直し 切れ刃の表面形態が微小凹凸面であるという報告と本実験の結果とは矛盾しな くなる。図2-15は目直し切れ刃の直接観察とレプリカによる間接観察を比 較したものである。(a)は直接観察、(b)は同じ切れ刃の第1回目のレプリカで観 察、(c)は同じく5回目で観察した結果である。第1回のレプリカによる観察で すでに直接観察した結果とは異っており、レプリカ法の場合では条痕部の面積 が著るしく減少している。多数の切れ刃について同じ試みをしたが、条痕部の 面積の減少は同じく著るしかった。条痕部の面積が減少する理由はレプリカを 取る際に、前述した機械的結合はしているが化学的な結合はしていないように 観察される部分が酢

酸メチルで押し流さ れるためと考えられ る。第1回目のレプ リカでは黒色部が非 常に広い範囲にわた って観察されるが、



(21)

この黒色部はレプリカに微少な砥粒が附着し(反射顕微鏡でレプリカの裏面を 観察すればみられる。)光を通さないために生じたもので、上述の推定を裏付 けるものである。次に、第1回目のレプリカで消えなかった条痕部もレプリカ 作業を繰り返えすと第5回目のように条痕が完全に除去され、微小凹凸面がそ の下層部から顕出してくる。一般に、レプリカを採取する場合には清浄なレプ リカを得るために、数回のレプリカ作業を行なうのが普通であるから、前述し たように、レプリカによる観察では目直し切れ刃の表面形態が微小凹凸面であ っても矛盾しない。

以上の結果から、図2-16に模型的に示すように目直し切れ刃の表面構造 は微小砥粒によって形成されているような非常に弱い部分と少し強度はあるが 研削に耐え得る程の強度はもたない微小亀裂によって形成されている部分をも つ脆弱層で構成されていることがわかる。

5 研削初期における切れ刃の過渡的挙動

5-1 研削過程における切れ刃表面形態の変化

目直し切れ刃の表面形態および表面構造が明らかになったので、次に、それ らの性状をもつ目直し切れ刃が研削によってどのように変化するかを調べた。 図2-17は同一切れ刃の研削過程における変化を追跡したものである。研削 長0.5 mでは目直し直後と同じように観察されるしかし、詳細に検討すると、表面 脆弱層よりも下の部分に観察される破砕面が目直し直後には顕微鏡の焦点深度 内に入らずぼけているが、0.5 mでははっきりと観察される。また、研削長0.5 mの方が目直し直後よりも白濁色の濃さが薄くなり、目直し直後にははっきり と観察された切削溝のような条痕が研削長0.5 mでは不明確になっている。こ のような結果は、脆弱層が研削することによってすぐに除去されるものではな

(22)



(a) 目直し直後



(b) 研削長 0.5 m



(c) 研削長 3 m



(d) 研削長15 m



(e) 研削長 85 m



(f) 再目直し

図2-17 研削による切れ刃表面形態の変化

(23)

く、研削によって徐々にとれていくことを示す。このことは、脆弱層が微小砥 粒ないしは多数の微小亀裂によって構成されているという図2-16の目直し 切れ刃のモデルの妥当性を裏ずけるものである。

次に、研削長3mにおいては白濁色脆弱層はほとんど除去され、図2-15 で述べた微小凹凸面が観察される。また、一部には摩耗した痕跡(黄色の部分)が認められる。ただし、白濁色脆弱層が除去される研削長は図においては3 m附近と考えられるが、幾つかの切れ刃を追跡したところ、研削初期過程で脆 弱層が除去されることは明らかであるけれども、その研削長はかなりばらつい ている。研削長15mでは、研削によって微小凹凸面が摩耗し、摩耗条痕が明 確に観察される。さらに、研削長85mでは切れ刃は完全に摩耗し、切れ刃表 面が摩耗条痕でおおわれ、切

れ刃としても寿命になる。そ して、85 mの摩耗した切れ 刃を目直しすると、切れ刃は 大きな破壊をするが、一部に は平坦な白濁色の部分が残さ れている(従来の分類では一 部欠損)。この白濁色平坦部 は、研削すると上述の変化を する。

以上の結果により、目直し 切れ刃の表面形態の研削過程 における変化を模型的に表わ すと、図2-18のようにな



図 2 - 1 8 研削による切れ刃 表面の変化模型

る。すなわち、まず、 目直しによって条痕 をもつ平坦な表面形 態の脆弱な切れ刃が 生成される。そして、 研削初期に脆弱層が 除去され微小凹凸面 が切れ刃表面に現わ れる。その後、研削 過程が進むにつれて、 微小凹凸面が摩耗し、 摩耗条痕が観察され るようになる。ある 程度研削過程が進む と切れ刃全面が摩耗 し、平坦化し、切れ 刃としての性能が劣 化する。そこで、目 直しを行なうと、ま た、前述の目直し切 れ刃になる。



図2-19 研削過程における研削抵抗の変化



図2-20 研削過程における切れ刃面積率 の変化

5-2 研削特性に及ぼす脆弱層の影響

研削過程における研削抵抗の変化を図2-19に示す。研削抵抗は目直し直 後において高く、研削初期には研削過程とともに減少する。そして、研削長2 m附近で極小値を示し、その後は研削過程とともに徐々に増加し、ある研削長 附近から急激に増加する傾向を示す。研削抵抗が研削初期に減少しているのは、 工作物表面上の温度が低く、切削するための力が大きくなることも考えられる が、主に、切れ刃の過渡的挙動が影響しているのではないかと考えられる。図 2-20に研削過程における切れ刃面積率の変化を示すが、研削初期に一度減 少し、その後、研削過程が進むにつれて増加しており、図2-19の研削抵抗 の変化と対応している。したがって、脆弱層が研削初期の研削抵抗に大きな影 響を及ぼすと考えることは妥当であると思われる。

6 結 論

目直し切れ刃の脆弱性を考え、数種類の顕微鏡を用いて切れ刃を直接観察す ることによって、目直し切れ刃の表面形態および表面構造を究明するとともに 研削初期における切れ刃の過渡的挙動を追跡、観察した結果、以下の事柄が明 らかになった。

- 1)目直しされた砥粒の表面は白濁色をしており、その白濁色面積は同じ 砥粒の寿命時における切れ刃逃げ面と比較すると同等以上である。そ して、白濁色表面の一部が切れ刃として観察される。また、目直しさ れた砥粒数と寿命時の切れ刃数はほぼ一致する。
- 2)目直しによる砥粒の破壊の大きさおよび脱落はドレッサー切り込みが 増加するとふえる。また、ドレッサー切り込みが小さい範囲では、ド レッサー送りを速くするとともに増加するが、ドレッサー切り込みが

大きくなると送りの影響は少なくなる。

- 3)乾式、湿式の目直しにかかわらず、砥石および砥粒を目直しした際に 生成される切れ刃の表面形態は条痕をもつ平坦な面である。 すなわち、従来報告されている微小凹凸面は観察されない。
- 4)目直し切れ刃の表面層には微小亀裂および機械的に保持されていると 思われる微小砥粒が観察される。それゆえ、表面層は非常に脆弱であ り、触針式仕上面あらさ機のダイアモンド触針を走査させても変形す る。
- 5)従来報告されている微小凹凸面はこの脆弱層の下に存在し、レプリカ 観察ではこの脆弱層が除去されるために、微小凹凸面が観察し得るよ うになる。
- 6)研削過程における目直し切れ刃の表面形態は研削初期に脆弱層が徐々 に取りさられ、微小凹凸面が顕出し、その後、研削過程が進むにつれ て摩耗するという変化をする。
- 7)研削過程における研削抵抗の変化は研削初期に高く、ある研削過程まで減少し、その後、徐々に増加する傾向をもつ。切れ刃面積率も同じような変化を示す。したがって、研削初期に研削抵抗が高いのはなんらかの意味で脆弱層が影響している可能性が非常に強い。

参考文献

- 1) 鈴木. 高橋: 精密機械, 30-4 (1964) 32
- 2) 田中.津和.河村:精密機械, 30-10(1964)809
- 3) J.Peklenik: Industrie Anzeiger, Nr.27.4 (1958) 27
 武野.長岡:精密機械, 30-1・(1964) 38
 田中.津和.河村:精密機械, 30-11 (1964) 845
 田中.津和.河村:精密機械, 31-5 (1965) 397
 須藤:精密機械, 31-9 (1968) 606
- 4) 津和:精密機械, 26-4 (1960) 199

27-6(1961)409

27-6(1961)414

- 5) 吉川:精密機械, 30-1 (1964) 112
- 6) 牧野: 機械試験所報告, 第51号 (1964.8月) 13
- 7)津和.安井:昭和45年度精機学会春季学術講演会前刷集,

(昭45年4月)

第3章 砥石作業面性状の定量化

1 緒 言

研削現象が切れ刃による工作物材料の塑性流動および破壊現象であるという 観点に立てば、個々の切れ刃の研削現象の集積、すなわち、統計的研削現象と して現われる研削抵抗や研削焼けなどの巨視的研削加工現象が砥石作業面性状 と密接な関係にあることは容易に考えられる。近年、この概念を基礎として多 くの研究が行なわれ、切れ刃の摩耗と砥石の寿命¹⁾、切れ刃の分布と仕上面あ らさ²⁾ などの関係がかなり定量的に明らかにされ始めている。

このように、砥石の研削性能を定量化するために必要である砥石作業面性状 と巨視的な研削加工現象の関係は定量的に究明されつつあるが、一方、研削に よる砥石作業面性状の変化については、ほとんどの報告が定性的なもので、定 量的に取り扱ったものは少ない。とくに、目直しは砥石の初期状態の砥石作業 面性状を決定する重要な要素であるが、研削過程における砥石作業面性状の変 化に及ぼす目直し条件の影響についての報告は定性的にも見い出されない。目 直し条件が変われば初期状態が変化することは報告されており、初期状態が変 われば砥石作業面の研削による変化形態が異なることは十分考えられる。それ ゆえ、研削加工現象を系統的かつ定量的に究明するためには、前述の影響を明 らかにする必要がある。

ところで、目直し条件は普通ドレッサーの運動条件によって規定されている が、この運動条件と目直し直後の砥石作業面の性状とは一義的関係をもつもの ではなく、目直し直後の砥石作業面の性状には目直し作業過程(以後、目直し 過程と呼ぶ)が影響する。例えば、荒い目直し後と細かい目直し後の砥石作業 面を同一目直し条件で目直しを施しても、目直し直後の砥石作業面の性状が異

(29)

なることは明らかである。鈴木らは、目直し過程の影響をなくすために、あら かじめ非常に細かい目直し条件で目直し作業を繰り返し、砥石作業面を一定に したとし、その後、目直し条件を変えることによって、目直し条件と切れ刃分 布の関係を求めている³⁾。しかし、同じ目直しを繰り返せば砥石作業面性状が 一定の状態になるという報告はみられず、また、一定の状態になったとしても 砥石作業面を一定にするための予備目直しが変化すれば、目直し条件と切れ刃 分布の関係は変わると考えられ一般性に乏しい。したがって、目直し過程も含 めた目直し条件を規定しなければ、研削過程における切れ刃の分布および形状 の変化に及ぼす目直し条件の影響を求めたとしても、その結果は限定された研 削作業条件のみしか使用し得ず、研削による切れ刃の分布および形状の系統的 かつ定量的な変化を求めることは困難である。

そこで、本章においては、まず、目直し過程における砥石作業面性状を詳細 に調べ、目直し過程を含む目直し条件と砥石作業面性状の関係を究明した。次 に、各種目直し条件で目直しを施した砥石の研削による砥石作業面性状の変化 および砥石半径減耗量の増加形態を調べ、その結果を用いて各種砥石および広 範囲の目直し条件に適用可能な研削による砥石作業面性状の変化の数式化を試 みた。

2 実験方法および条件

2-1 砥石半径減耗量の測定法

砥石半径減耗量の測定方法は幾つか提案されているが、最も高精度な測定法 は転写法である⁴⁾。転写法は摩耗した砥石の表面形状を他の工作物(例えば、 軟鋼)に転写し、その摩耗高さを仕上面あらさ機で測定する方法で、図3-1 にプランジカット研削の場合の転写法による砥石半径減耗量の測定方法の一例

を示す。図よりわかるよ うに転写法による砥石半 径減耗量の測定に対して は砥石作業面附近に基準 面となる部分が必要であ るが、従来、この基準面 としては目直し直後の砥 石作業面が使用されてい る。しかし、目直し切れ 刃、巨視的には目直し直 後の砥石作業面の脆弱性 を考慮すると、転写する 際に目直し直後の砥石作 業面を基準面とするのは 問題がある。そこで、本 実験においては、脆弱層 の影響を省くために、図 3-2のように研削長2 mの砥石作業面を基準と して使用した。





図 3 - 2 目直し切れ刃の脆弱性を考慮 した砥石半径減耗量の測定法

2-2 切れ刃密度の測定法

従来良く使用されている切れ刃密度の測定法は砥石作業面をカーボン紙や煤
をつけたガラス板上に 転写して測定する方法 である⁵⁾。しかし、こ れらの方法では目直し 切れ刃の脆弱性を考え ると、第2章で述べた ようにある程度の誤差 が含まれることになる。 そこで、本実験におい



図 3-3 切れ刃密度の測定方法

ては、第2章で述べた顕微鏡の接眼レンズ内の格子を利用し、0.7 mm幅内を通 過する切れ刃を測定することによって、切れ刃密度の測定を行なった。ただし、 測定に際しては、一つの砥粒が幾つかの切れ刃によって構成されていても、こ れを一つの切れ刃と数え、また、図3-3に示すように、格子内に含まれず、 一部が格子にかかっている切れ刃については、格子の両側線、AAとBBにかか る切れ刃数が同じであ

るとして、一方の側 だけの切れ刃数を算 入した。

2-3 実験条件 表3-1に本実験 において主に使用し た実験条件を示す。 なお、目直しはドレ ッサー先端幅の方が 表3-1 実験条件

14 石	A46M8V
	WA46M8V
	A46ImV
磁石圆建	1900m/min
〒-ブル連度	8m/min
被削材	SK3(焼>れ Rc=60)
研削方式	プランジカット研削

ドレッサー送りよりも大きい、すなわち、ネジ切り状目直しにならない範囲で 行った。これは、ネジ切り状目直しを繰り返えせば砥石作業面が砥石軸方向に 対して均一な形状を保ち得ないと考えられるためである。

3 目直し過程における砥石作業面性状の変化

任意の表面状態のA46M砥石に同じ目直し条件で目直しを繰り返えした場合 の砥石作業面上の切れ刃密度の変化を図3-4に示す。総ドレッサー切り込み 量(ドレッサー切り込み量×繰り返えし回数)が少ない初期過程においてはド レッサー送り360μ/rev、切り込み10μのように切れ刃密度が変化する が、総ドレッサー切り込み量が増加すると、各目直し条件とも切れ刃密度はほ ぼ一定となる。この一定値の切れ刃密度を目直し条件に対して示すと、図3-5のようにな

り、切れ刃密

度はドレッサ

ー送りおよび

切り込みを増 加すれば減少

する。ただし、

ドレッサー切

.

り込みの増加

よりもドレッ

サー送り速度

の上昇の方が

切れ刃密度の



図 3 ー 4 目直し過程における切れ刃密度の変化

減少率が大きく、

ドレッサー切り

込みよりも送り

の方が切れ刃密

度に与える影響

は大きい。

これらのこと から、砥石と砥 石周速が一定な らば各目直し条 件に対応する切 れ刃密度があり、 切れ刃密度の減 少率、すなわ ち、砥粒の破 壊の形態でい えば、砥粒の 脱落および欠 損の増加率は 砥粒がドレッ サーに見掛け 上大きな面積 (以後、見掛 け衝突面積と



述べる)で衝突するような目直し条件を用いれば大きくなることが考えられる。 ただし、ドレッサー送りと切り込みでは切れ刃密度の減少率は異なり、ドレッ サー送りを大きくすることによって見掛け衝突面積を大きくする方が切れ刃密 度の減少率は高い。ここで、見掛け衝突面積は図3-6に示すように、砥粒の 進行方向と 直角な面の砥粒とドレッサーの仮想最大接触面積であり、ドレッ サー送りおよび切り込みが大きくなれば大きな見掛け衝突面積でドレッサーに 衝突する砥粒が多くなる。それゆえ、ドレッサーによる砥粒の大破壊または脱 落は砥粒がドレッサーに衝突した瞬間に破壊するのではなく、ある程度砥粒と ドレッサーの接触面積が大きくなるまでは、第2章で述べた脆弱層が構成され るような非常に小さな破壊を起すものと考えられる。そして、大破壊や脱落は 砥粒とドレッサーの接触面積が増加した後、砥粒にかかる力が大きくなること によって、砥粒内の欠陥部や砥粒と結合剤の接触部、または、結合剤の機械的 強度の弱い部

分に大きな応

力が発生する ために生じる ものと思われ

る。

図 3 - 7 に 図 3 - 4 と同 時に測定した 目直し過程に

おける切れ刃

面積率の変化

を示す。

(°/。) ta 5 170 10 µ 3 30р 30р 50р 0 ₩ 4 10 µ 30 µ 50 µ ৽৾৾৹ Ó ē 360 **Ž** ð 360 0 3 θ 個 0:0 Φ ወ 0 R 2 そ A46M8V 狭石 1 1900 m/min 5 0.6 mm 0 10 200 300 400 総ドレッサー切り込み量 tso(μ) 目直し過程における切れ刃面積率の変化 図 3 - 7

(35)

ドレッサー送り170

μ/rev、ドレッサ

ー切り込み30µお よび50µのように

バラツキもあるが、

各目直し条件の目直

し過程における切れ

刃面積率の変化を総 合的に判断すると、

切れ刃密度と同様、

切れ刃面積率も総ド

レッサー切り込み量

が増加するとほぼ一



図 3-8 目直し条件と定常領域における 切れ刃面積率の関係

定値になる。しかし、ドレッサー送り170μ/rev、切り込み50μの目直し 過程における切れ刃密度と切れ刃面積率を対照すればわかるように、切れ刃密 度と切れ刃面積率では一定値になる総ドレッサー切り込み量にはある程度の差 が認められる。また、図3-8に示す目直し条件と一定値の切れ刃面積率の関 係から、一定値の切れ刃面積率はドレッサー送りを速くしても、総体的に切れ 刃密度ほど減少する傾向はみられず、目直し条件に対する切れ刃面積率は切れ 刃密度と同様な傾向をもたないことがわかる。これらの切れ刃密度と切れ刃面 積率の目直し条件に対する差異は切れ刃面積率が切れ刃密度と切れ刃の大きさ によって表わされることを考えれば、各目直し条件によって切れ刃の大きさ、 すなわち、砥粒の破壊の形態でいえば、一部欠損の大きさが変化するために生 じるものと考えられる。 同一砥石作業面上における切れ刃の平面形状を同一の直径 d (m) をもつ円 と考え、切れ刃密度を n。(個/m²)、切れ刃面積率を n (%)とすれば、



込み10 μの場

合を除き、ドレッサー送りが大きい方が切れ刃直径が大きくなることがわかる。 これは、ドレッサー送りが小さい場合には同一砥粒がドレッサーに衝突する回 数が多くなるためと考えられる。すなわち、ドレッサー送りが小さい場合には 大破壊が少ない点では、切れ刃径は大きくなるが、大破壊しなくとも小さな一 部欠損の積み重ねという点では切れ刃径は小さくなり、図3-9の結果は、切 れ刃の大きさには後者の衝突回数の影響の方が大きいことを示す。次に、図3 -10に目 直し過程における連続切れ刃間隔の変化を示す。図より、連続切れ 刃間隔はある程度の

バラツキを示すが、 総ドレッサー切り込 み量が大きくなると ほぼ一定値になって いることがわかる。 同一日 刃密大きでは 切れ刃の大きさが各目 直し条件でほぼ一定 となっているので、 この結果は妥当であ る。

これらの切れ刃密 度、切れ刃面積率お よび連続切れ刃間隔 が総ドレッサー切り 込み量が大きくなる とほぼ一定値になる という結果はA46M 砥石だけではなく、

A46I砥石および

3 A46M8V 碰 ъ (mm) D 周速 1900 m/min 磁石 先端幅 0.6 mm Ŀ1. 2 讈 σ Ð Ð Ā D ē ñ R Ø 0 0 ¥ 0 1 ₽ 170 µ/rev 170 µ/rev 170 µ/rev 360 µ/rev 360 µ/rev 360 µ/rev 10 µ 0000000 30 µ 50 µ 10 µ 30 µ 50 µ 杭 뻸 0 100 200 300 400 総ドレッサ切り込み量 tsd(µ) 図 3 - 10 目直し過程における連続 切れ刃間隔の変化 **∩**⊳ (¶mm²) 5 0- A46M a O a - WA4 6M a 4 ٥ -4461 度 3 ₩ R 2 1900 m/min 磁石 閣選 0.6 mm ドレッサー合物場 ₹ ドレッサー達り 170 µ/rev 12,17-17122+ 10 j 1 ₽ 0 50 100 150 総ドレッサー切り込み量 tso(山) 各種砥石の目直し過程に 図 3 - 11

₩A46M砥石についてもみられる。図3-11および図3-12に両砥石の目 直し過程における切れ刃密度および切れ刃面積率の変化を示す。両図より、

^{3~11} 各種低石の日直し週程に おける切れ刃密度の変化

A46M砥石

よりもA46I

°°5

3 ₩4

業 3

2 R

1

0

図 3 - 1 2

色

ねれ

砥石の方が切

れ刃密度およ

び切れ刃面積

率が小さく、

結合度の低い

- 砥石は同じ目
- 直し条件でも

砥粒の脱落が

多いことがわ

かる。また、

WA46M砥石

の場合もA46M砥石よりも切れ刃密度および切れ刃面積率が小さいが、これは、 結合度が同じなのでwΑ砥 粒の方がA砥粒よりも破壊しやすいことを示し、砥 粒の破壊強度につ いて一般に言われ

50

ている結果と一致 する。

以上の結果から、 目直し過程におけ る切れ刃密度およ び切れ刃面積率の 変化は図 3 - 1 3



O- A46M

- WA46M

6 A46I

1900 m/min

0.6 mm

170 µ/rev

150

砥石周建

ドレッサー充端幅

FL.H-WARH 10 µ

ドレッサー送り

100

総ドレッサー切り込み量 tsd(u)

切れ刃面積率の変化

各種砥石の目直し過程における

目直し過程における砥石作業面 $\boxtimes 3 - 13$ 性状変化

(39)

のようになると考えられる。すなわち、同じ目直しを繰り返えすと、切れ刃密 度または切れ刃面積率はBB'ないしはCC'のようにあるバラツキ幅をもつが、 ほぼ一定の値で定常的に変化し(定常目直し領域と呼ぶ)、目直し条件を変え るとB'CまたはC'Dのような過渡的な状態(過渡目直し領域と呼ぶ)を経て CC'またはDD'のような定常的な切れ刃密度または切れ刃面積率になる。この 際、過渡的な変化形態の B'C や C'D は変化前後の目直し条 件によって決定され るもので、本実験においては詳細に究明していないため明確に検討し得ないが ドレッサー送り170µ/rev、切り込み50µの一定値からドレッサー送り 170 µ / rev、切り込み10 µ の一定 値に移行するための総ドレッサー切り込 み量は200μ以上である結果を得ている。また、その反対の場合には200μ 以下であるという結果も得ている。したがって、目直し作業は作業時間および 目直し直後の砥石作業面性状から考えて、荒い目直しから細かい目直しへの移 行は不適当であり、細かい目直しを必要とする作業では最初から細かい目直し を繰り返す方が有効であると言える。以上のことから、同-目直し条件で目直 しを繰り返えし、一定の状態になった砥石作業面性状を目直し過程の基準にす れば、目直し過程を明らかにすることにより目直し過程を含む目直し条件と砥 石作業面性状とは一義的関係があることがかなり広範囲の砥石について言える。

4 研削過程における砥石作業面性状の変化

4-1 研削過程における切れ刃分布の変化

A46M砥石の研削過程における切れ刃密度の変化を図3-14に示す。ただ し、目直し条件としては図3-4における目直し過程の最終状態を使用した。 切れ刃密度はドレッサー送り170μ/rev、切り込み10μの研削初期を除 き、研削過程において大きな変化を示さないが、目直し切れ刃の脆弱性を考慮

(40)

すると、他の目直 し条件の場合でも 研削初期にはそれ 以後の研削過程よ りも大きな変化が あるものと思われ る。研削初期以後 の切れ刃密度の変 化は研削長2mを 基準としてほぼ土 10%以内である。 それゆえ、研削初 期を除く研削過程 における切れ刃密 度は研削による切 れ刃の破壊、脱落 および新出を問題 としないならばー 定と言え、したが って、目直し条件 と研削過程の切れ 刃密度は一義的関 係をもつとみなせ る。図 3-15 は



図3-14 研削過程における切れ刃密度の変化



図3-15 目直し条件と切れ刃密度の関係

(41)



めたもの

である。図より、切れ刃密度はドレッサー送りと切り込みによって影響される が、ドレッサー切り込みはある程度以上大きくしても切れ刃密度に大きな影響 を与えないことがわかる。これは、前項で述べた目直し切れ刃の密度と同じ傾 向であり、本実験の目直し条件の範囲では切れ刃密度はバラツキなどを考慮す れば目直し条件によって三種類程度に分類するのが良いと考えられる。その分 類の行ない方は、170μ/rev、10μのドレッサー送りおよび切り込みの目 直し条件の場合の切れ刃密度が最も密、360μ/revの30μおよび50μが 最も粗、その他の条件はそのほぼ中間とするものである。

定常目直し領域における砥石作業面を初期状態とする場合の研削過程におけ る切れ刃密度は以上の通りであるが、過渡目直し領域の場合にも同様な変化を 示す。図3-16はドレッサー送り170μ/rev、切り込み10μの目直し条 件で砥石作業面を一定にし、その後、目直し条件を変化させ過渡状態における 研削過程の切れ刃密度の変化を調べたものである。図より、過渡目直し領域の 砥石作業面を初期状態とする方が、図3-15の定常目直し領域の場合よりも 研削過程における切れ刃密度の変化は多少大きいが、その変化はやはり±10 多の範囲に入っていることがわかる。ここで、360µ/rev、50µの切れ刃 密度の方が360µ/rev、10µよりも密になっており、図3-15の結果と 反対になっているが、これは、後述するように過渡目直し領域の方が目直し直 後の切れ刃密度が密にもかかわらず、切れ刃面積率が小さくなっていることを 考えると、図3-15の結果では脱落または欠損になっていたものが図 3-16 では大きな破壊をした一部欠損の切れ刃となっている結果であり、図3-15 の結果と矛盾しないものと考えられる。同じ過渡状態の目直し直後の砥石作業 面を調べた結果で

11360 µ/rev.

50 µ の方が 360 µ/rev、10 µ よ りも粗であり、上 述の考察は妥当で ある。それゆえ、 過渡目直し状態で は再現性のある結 果を出すためには 多くの実験を要し、 バラツキ幅も定常 目直し取る必要が



図 3-17 各種砥石の研削過程における 切れ刃密度の変化

あるものと思われ

る。

以上はA46M

砥石の場合である

が、その他、A46I

および WA46M砥

石についても、研 削過程における切

れ刃密度はほぼー

定である。図3-

17は目直し過程

が定常領域におけ

るA46I および



₩A46M砥石の研削過程における切れ刃密度の変化を示すものである。両砥石 の場合とも、研削過程における切れ刃密度はほとんど変化していない。切れ刃 の破壊や脱落が生

じやすいWA砥石
 やA46I 砥石で
 も研削過程におけ
 る切れ刃密度が変
 化しないことから
 研削過程における
 切れ刃密度の一定
 性は結合度I以上



図 3-19 切れ刃の摩耗と連続切れ刃間隔 の変化

(44)

の少なくともA系砥石、拡張すれば、C系やSAなど種類の異なる砥石につい ても得られることが十分考えられる。また、研削条件が苛酷でなく、研削時間 が進むとともに切れ刃が摩耗する本実験のような場合には、結合度を変化させ ることは目直しによって切れ刃の密度を変化させることになる。

切れ刃分布の一方の表示法である切れ刃密度については以上の通りであるが、 他方。連続切れ刃間隔も砥粒切り込み深さを介して研削現象と密接な関係をも つ重要な切れ刃分布の表示法であり、検討してみた。研削過程における連続切 れ刃間隔の変化を図3-18に示す。ただし、 本測 定は図3-14の切れ刃密 度の測定と同じ時に行なったものである。図より、全ての目直し条件における 研削過程の連続切れ刃間隔は研削初期に急激に長くなり極大値を示し、その後、 研削過程が進むにつれて短かくなることがわかる。前述したように切れ刃密度 は研削長にかかわらずほぼ一定であるから、連続切れ刀間隔が研削過程におい て変化するのは切れ刃逃げ面の大きさが変化するためである。すなわち、図3 -19に示すように、切れ刃密度が同じであっても、研削初期のように切れ刃 逃げ面摩耗面積が小さければ、切れ刃が走査線にかかる割合が少ないため、連続 切れ刃間隔は長くなる。一方、砥石の寿命時のように切れ刃逃げ面摩耗面積が 大きくなれば連続切れ刃間隔は短かくなる。したがって、研削過程における切 れ刃密度が一定、すなわち、切れ刃の摩耗過程によって砥石作業面が変化する ような研削では、連続切れ刃間隔は切れ刃の摩耗面の大きさ、統計的には、切 れ刃密度が一定なので切れ刃面積率の変化と対応して変化する。

切れ刃面積率と連続切れ刃間隔の関係を図3-20に示す。図より、連続切 れ刃間隔は切れ刃面積率が増加するとともに短かくなるが、その減少形態は目 直し条件、いいかえれば、切れ刃密度にあまり影響されないことがわかる。ま た、切れ刃面積率がある程度大きくなると、連続切れ刃間隔はほとんど減少せ

(45)



る。

4-2 研削過程における切れ刃面積率および砥石半径減耗量の変化 研削過程におけ

る切れ刃面積率お よび砥石半径減耗 量の変化を図3-21および図3-22に示す。ただ し、両測定とも図 3-14の切れ刃 密度と同時に測定 したものである。



図 3 - 21 研削過程における切れ刃面積率 の変化

切れ刃面積率



そして、その

増加形態は目直し直後の切れ刃面積率が大きい程急速である。また、研削過程 がある程度進むと切れ刃面積率の増加率が大きくなるような傾向がすべての目 直し条件の場合にみられる。

砥石半径減耗量は研削長が短かい場合には、減耗量が少なく、また、転写面 の仕上面あらさが減耗量に比較して小さくないので精度の高い測定がし得ない ため、ある程度のバラツキは認められるが、図3-22以外の研削過程におけ る砥石半径減耗量のデーターも含めて総合的に判断すると、研削長に対して図 3-22に示す二直線を組み合わすことによって近似される。そして、その近 似式は、

$$\Delta R = \begin{cases} \Delta R_1 (L-2) & (折点以前) \\ & \dots (3-2) \\ \Delta R_1 (L_f - 2) + \Delta R_2 (L - L_f) & (折点以後) \end{cases}$$

ここで、L:任意の研削長 (m)

△R:研削長2mからLまでの砥石半径減耗量 (μ)
 △R₁.△R₂:折点前後の単位研削長当りの砥石半径減耗量 (μ/m)
 L_f:折点までの研削長 (m)

で表わされ、本実験における ΔR_1 および ΔR_9 は 0.28 (μ / m)および 1.14 (µ/m)である。 詳述すれば、研削長2mを基準とすると、 砥石半径減耗量 は研削焼けが現われる附近までは研削長に対して緩勾配で直線的に変化し、そ の後、研削長に対して急勾配で直線的に変化するようになる。ただし、突然摩 耗速度が変化することは考えられないので、当然研削焼けが生じる附近では直 線的な変化はすることはないものと思われる。また、研削焼け後の直線関係は いくらでも続くというわけではなく、切れ刃の摩耗面が大きくなることによっ て、切れ刃が脱落および破壊を起すことは十分考えられるので、限界があるも のと思われる。このような、研削焼け附近で砥石半径減耗量が急増するのは、 本実験に使用した焼入れたSK3のみだけでなく、S45Cについても生じる。 図3-23はS45Cを研削した場合の研削過程における砥石半径減耗量であ る。工作物全面に青い研削焼けがみられる研削長 61 m 附 近で砥石半径減耗量 の増加形態が変化し、急速に増加していることがわかる。したがって、砥石半 径減耗量の急変には研削焼けが大きな影響を及ぼしているものと考えられる。 また、図3-21と図3-22とを対照すると、前述した切れ刃面積率の増加 率が大きくなるのは、砥石半径減耗量の急増点附近、すなわち、研削焼けが現 われる附近であり、切れ刃密度は研削焼け後もほとんど変化しないので、研削 焼けによる砥石半径減耗量の急上昇、すなわち、切れ刃の摩耗速度の増加のた

(48)

め、切れ刃の摩耗面 が急速に大きくなる 結果であると考えら れる。

研削焼けによって 切れ刀の摩耗速度が 増加するのは、工作 物の温度上昇による 工作物の再焼入れ硬 化現象の発生、酸化 膜生成による工作物 と切れ刃の摩耗現象 の変化、切れ刃逃げ 面増加による上すべ り現象の発生(切れ 刃と工作物の接触圧 力が増加する)など が考えられる。図3 -24は酸化膜発生 前と後の工作物表面 状態の変化を調べる ために、研削過程に おける工作物表面の ビッカース硬さの変



図 3 - 2 3 S45C の研削による砥石半径 減耗量の変化



図3-24 工作物表面性状に及ぼす 研削焼けの影響

(49)

化を求めたものであ

る。ただし、各プロ ットは工作 物表面 15ケ所の平均値で ある。また、図にお いて、研削長5mでは は研削焼けはみられ ず、25mでは極く 薄い茶色の研削焼け が、35mでは工作 物全面に青色の研削 焼けが発生している。 荷重100 8以外では工作物 の表面硬度は酸化膜が発生し た方が硬度が大きく、その大 きさは酸化膜が厚い程大きい。 また、研削長5mの研削焼け が見られない場合と研削焼け が青くみられる、すなわち、 酸化膜が厚い場合とではその 硬度比は約1.5倍もある。し たがって、その理由は明確に し得ないが、酸化膜発生時の 工作物表面硬度の上昇が大き



図3-25 各種砥石の研削過程における 切れ刃面積率の変化



結合度の影響

く影響してい

ることは明ら

かであろう。

以上の引着のよう

ない

れて面面した

してい

してい

したい

してい

したい

してい

したい

してい

しい

しい



直し状態の場

合でも、また、A46I砥石およびWA46M砥石についてもみられる。A46I 砥石およびWA46M砥石の研削過程における切れ刃面積率および砥石半径減耗 量の変化を図3-25、図3-26および図3-27に示す。A46Iのように 結合度の低い砥石でも、研削過程における切れ刃面積率が増加し、また、砥石 半径減耗量がA46M砥石と同じであることから、前項で述べたように、本実験 のように苛酷でない研削条件では、砥石作業面が切れ刃の摩耗過程によって変 化することがわかる。それゆえ、切れ刃の摩耗過程が砥石半径減耗量と関係す ることを考えると、切れ刃密度は一定なので、切れ刃面積率は砥石半径減耗量 となんらかの対応関係があるものと考えられる。WA46M砥石でも、WA砥粒 がA砥粒よりも耐摩耗性が大きいため⁶⁾⁷⁾、図3-27のように研削長に対す る砥石半径減耗量が少ないが、同様な対応関係が考えられる。 4-3 研削による砥石作業面性状の変化の数式化

研削初期以後の研削過程 においては切れ刃密度がほ ぼ一定であり、切れ刃面積 率が砥石半径減耗量となん らかの対応関係をもつこと を前項までに明らかにした。 そこで、これらの結果から、 研削過程における砥石作業 面の変化過程を考えてみる と、切れ刃密度はほぼ一定

なので、砥石作業面の変化



図3-28 砥石半径減耗量と切れ刃 面積率の関係

過程は従来いわれているように個々の切れ刃の逃げ面の大きさが増加する過程⁸) 統計的な意味では、切れ刃面積率の増加過程とみなせる。そして、 砥 石 半 径 減 耗 量 が 研 削過程に対して直線関係にあるので、砥石半径方向に切れ刃が一 定の摩耗速度で摩耗すると考えると、切れ刃の逃げ面、または、切れ刃面積率 の増加過程は個々の切れ刃の立体的幾何学形状が決まれば決定しうる。

そこで、研削長2m以上の任意の研削過程における砥石半径減耗量 $\triangle R_{l}$ と 切れ刃面積率の関係を前節の結果から検討してみると、その関係は図3-28 $ictx^{3}$ 、fxわち、切れ刃面積率 η_{l} は砥石半径減耗量 $\triangle R_{l}$ の二次曲線で近似する ことができ次式で表わされる。

 $\eta_{l} = (C \triangle R + \sqrt{\eta_2})^2 \dots (3-3)$

(52)

ここで、C:砥石と目直し条件によって決定される定数

また、任意の砥石作業面上の切れ刃面積率はその定義から、

$$\eta_{\ell} = \left(\begin{array}{c} n_{p} \\ \mathcal{S} \\ w_{p \ell i} \end{array} \right) \times 10^{2} = n_{p} \\ \overline{w}_{p \ell} \times 10^{2} \\ \cdots \\ (3-4)$$

ここで、 ₩_{pℓ1}: 任意の研削長 L における個々の切れ刃逃げ面の大きさ ₩_{pℓ}: 任意の研削長 L における個々の切れ刃逃げ面の大きさの 平均値

で表わされる。したがって、(3-3)式および(3-4)式より

$$\overline{W}_{p} \ell \stackrel{\text{\tiny top}}{=} \frac{1}{n_{p}} \left(C \triangle R + \sqrt{\eta}_{2} \right)^{2} \times 10^{2} \dots \left(3 - 5 \right)$$

が導き出され、切れ 刃逃げ面の大きさは 砥石半径減耗量の二 乗で増加するような 変化をする。それゆ え、切れ刃の平均的 な幾何学形状(統計 的幾何学形状と呼ぶ)は図3-29に示 すような円錐台や角



図 3 - 2 9 切れ刃の統計的幾何学形状の一例

(53)

錐台のような非常に簡単なモデルで表わすことができる。今、統計的幾何学形 状を円錐台とすると、(3-4)式および(3-5)式は、

$$\eta_{\theta} = \left(\sqrt{\pi n_{\rm p}} \cdot \tan \theta \cdot \triangle \mathbf{R} \times 10^{-2} + \sqrt{\eta_2}\right)^2 \dots (3-6)$$

ここで、20:円錐台の頂角

$$\overline{W}_{p,\ell} = (\sqrt{\pi} \tan \theta \cdot \triangle R \times 10^{-2} + \sqrt{\frac{\eta_2}{n_p}})^2 \times 10^{-2} \dots (3-7)$$

で表わされ、切れ刃面積率および切れ刃逃げ面摩耗面積は目直しによって決定 される切れ刃密度および切れ刃の統計的幾何学形状によって決定される。すな わち、研削過程における砥石作業面の変化過程は目直し条件によって決定され る切れ刃密度と切れ

刃の形状によって一 義的に決定される。 (3-7)式を用 いて、目直し条件お よび砥石の種類を変 えた場合の切れ刃の 統計的幾何学形状を 求めると、図3-30 のようになる。図よ り、切れ刃の統計的 幾何学形状は頂角が



図 3-30 目直し条件と切れ刃の統計的 幾何学形状の関係

(54)

ほぼ150°から160° の円錐台によって表 わされ、目直し条件に よって大きな差がない ことがわかる。以上は、 焼入れした工具鋼SK3 を研削した場合の結果 であるが、SK3は硬 度が高く、研削する場 合に切れ刃がある程度 破壊するために、図3 ー28のような砥石半 径減耗量と切れ刃面積 率の関係がたまたま得

られたとも考えられる。



図3-31 砥石半径減耗量と切れ刃面積率 の関係に及ぼす工作物の影響

そこで、S45Cを研削した場合の研 削 過程における砥石作業面の変化を調べ ることによって、上述の結果の一般性を検討してみた。図3-31はその結 果 であり、S45Cの場合の砥 石 半径減耗量と切れ刃面積率の関係を示したもの である。図より、S45Cの場合でも砥石半径減耗量と√7との間には近似的に 直線関係があり、(3-6)式が成立することがわかる。ここで、SK3と S45Cとでは、傾きが異なっているが、これは、S45Cの測定 時の方が多小 切れ刃密度が少なかったことに関係し、(3-6)式より切れ刃の頂角を計算 してみるとSK3が約156°、S45Cが約152°であり、ほとんど変化がな い。したがって、一般の鋼材研削に際しては、切れ刃の破壊の割合はあまり変 らず、それゆえ、切れ刃の形状には工作物の影響は少ないものと考えられる。

5 結 論

研削過程における砥石作業面性状の変化を目直し条件を含めて数式化するた めに、目直し過程における砥石作業面性状の変化、研削過程における砥石半径 減耗量、切れ刃分布、切れ刃面積率などの変化を調べた結果以下の事柄が明ら かになった。

- 同一目直し条件で目直しを繰り返せば、砥石作業面性状は一定となり、
 目直し過程に影響されなくなる。そして、その一定値は目直し条件により変化する。
- 2)一般に使用される目直し条件では、目直しによって形成される低石作業 面性状のバラツキを考えると、目直し条件を大きく変化させなければ顕 著な差はでない。また、過渡目直し過程ではバラツキが大きいことから、 希望する砥石作業面性状を目直し過程において目直し条件を変化させる ことによって得るのは困難である。
- 3)同一目直し条件で目直しを繰り返し、一定の状態にした砥石作業面性状を基準にとれば、砥石作業面性状は目直し過程を含む目直し条件で決定し得る。
- 4)研削過程における切れ刃密度は研削初期には多少変化するが、それ以後 はほとんど変化せず一定とみなせる。そして、その一定値は目直し条件 と対応する。
- 5)研削過程における切れ刃面積率は、研削初期には脆弱層が除去されるた め減少するが、その後、漸増し、研削焼けが生じる附近から急増する。
- 6)研削長2mを基準とする研削過程における砥石半径減耗量は、研削焼け

が生じる附近でその勾配は変るが、研削過程に対して近似的に直線的に 増加する。そして、この勾配の変化が生じる原因は研削焼けによる工作 物表面硬度変化の影響が大きい。

- 7)砥石半径減耗量と切れ刃面積率とは研削焼け以後の研削過程も含めて、 近似的に二次関数で表わされる。
- 8)砥石作業面上の切れ刃の平均的な形状(切れ刃の統計的幾何学形状)は 角錐台や円錐台などの模型で表わし得る。
- 9)以上の結果を用いれば、研削による砥石作業面性状の変化形態は目直しによって一義的に決定され、次式で示される。

 $\eta_{\ell} = (\sqrt{\pi} n_{p} \cdot tan \theta \cdot \triangle R \times 10^{-2} + \sqrt{\eta_{2}})^{2}$

参考文献

- J.Peklenik: Industrie-Anzeiger, Nr.27, 4 (1958) 27
 吉川:精密機械, 28-10 (1962) 562
 田中.津和.河村:精密機械, 31-5 (1965) 397
- 2)織岡:日本機械学会誌, 63-499(1960)1185
 長谷川:大阪大学博士論文(1972)
- 3) 鈴木. 高橋: 精密機械, 30-3 (1964) 246
- 4) 砥粒加工研究会: 砥粒加工技術便覧, 日刊工業社 (1965) 983
- 5)佐藤:精密機械,16-3(1950)77 竹中:日本機械学会論文集,26.163(1960)403
- 6)田中.津和:精密工作法,共立出版(1964)165
- 7) 高沢. 横山: 機械学会講演会前刷集(1958.10月)
- 8) 津和:精密機械, 27-6 (1961) 409

第4章 砥石の研削性能の定量化

1 緒 言

砥石に目直しを施した後、研削作業を行なうと砥石作業面上の切れ刃の状態 が次第に変化し、作業目的に適合しない研削加工現象、すなわち、砥石の寿命 が生じ砥石に再び目直しが必要とされるようになる。砥石の研削性能はこの目 直しから寿命までの時間間隔(目直し間寿命)によって評価されるが、研削作 業の目的によって寿命判定基準(例えば、研削焼け、仕上面あらさ)が異なり、 また、同じ基準であっても寿命とする値が変化し、さらに、研削作業において は一種類の判定基準を用いることは少ないので、砥石の研削性能を巨視的な研 削加工現象から単純に評価することは困難である。例えば、良い仕上面あらさ が得られる限界と研削焼けまでの工作物除去量とを基準とする場合では、同じ 砥石の研削性能の評価が異なることは良く知られていることである。

寿命判定基準としては、上述の研削焼け、仕上面あらさの他に、びびり、砥 石半径減耗量、加工変質層などの研削作業目的に密着した基準と、これらの基 準と物理的に関係する研削抵抗、振動などが考えられるが、この中で、びびり や振動が研削盤の剛性や砥石の巨視的表面状態に関係する¹⁾ことを除けば、他 の基準は砥石作業面性状と対応関係があることは従来の報告で明らかである^{2)~5)} したがって、砥石の研削性能を切れ刃という微視的観点でとらえ、研削による 砥石作業面性状の変化ならびに砥石作業面性状と研削抵抗や仕上面あらさなどの各寿 命判定基準との関係が全研削条件に対して究明されれば、砥石の研削性能を一 般的かつ定量的に評価することが可能である。

このような観点からすれば、前章までに研削による砥石作業面性状の時間的 推移が定量化されたので、砥石の寿命時における砥石作業面性状が明らかにさ

(59)

れれば砥石の研削性能を定量化することが可能である。砥石の研削寿命につい ては、吉川が研削抵抗を寿命判定基準として使用し、切れ刃面積率がある値に なると上すべりする切れ刃が多くなり、切れ刃面積率に対する研削抵抗の増加 が非常に大きくなることから、切れ刃面積率がこの値になった時を寿命として いる⁶⁾。また、仕上面あらさと切れ刃分布との関係は実験的、理論的に多くの 報告がある。しかし、研削寿命の場合には、切れ刃の分布を考慮しておらず(上すべりは砥粒切り込み深さに関係するので、一般的概念としては連続切れ刃 間隔も考慮する必要があると考える)、また、仕上面あらさの場合には、解析 的理由から切れ刃の逃げ面を考慮したものは少ない。さらに、その他の寿命判 定基準についてはほとんど研究されていない。

そこで、本章においては、砥石作業面性状と研削焼け、研削抵抗、砥石半径 減耗量および仕上面あらさなどとの関係を実験的に明確にし、砥石の研削性能 を定量化することを試みた。なお、実験にあたっては、市販の砥石では寿命時 における切れ刃の分布や逃げ面の大きさを調節することが困難である。したが って、切れ刃の分布や逃げ面の大きさと各寿命判定基準との関係を明確にする ことが難しいので、非常に粗な切れ刃の分布や大きな逃げ面をもつことの可能 なメタルボンド砥石を製作した。その結果、砥石作業面性状と仕上面を除く他 の寿命判定基準との定量的関係を見い出し、目直し条件を含む砥石の研削性能 の数式化を行ない得た。

2 実験装置および方法

2-1 メタルボンド砥石の製作

切れ刃分布を調節するには砥粒率を変えたり、目直し条件や方法を変えたり することによって、一般のビトリファイド砥石でも成し得る。しかし、寿命時

(60)

において非

常に粗な分

布を作るた

めには、前

者では砥粒

- 率および結
- 合剤率を少
- なくし、組

織を祖にし

なければな

らないが、

その場合に

は結合度が

- 減少し、切
- れ刃が研削
- によって脱

落する。そ

れゆえ、砥

石寿命の判定基準である研削焼けや大きな研削抵抗が生じる切れ刃面積率を作 り得ない。一方、目直し条件や方法を変える調節では、寿命時における連続切 れ刃間隔はせいぜい2~3mmであり、著者らが開発した特殊目直し装置を使用 しても5mm程度である⁸⁾。したがって、一般のビトリファイド砥石では粗な分 布と同時に大きな切れ刃面積率を作ることは困難であると考えられる。そこで、 本研究では、砥粒の保持力が強いメタルボンドを用いることにより、従来の砥

表4-1 圧縮・焼結条件

ボンドの材料	-60mesh 球状砲全粉と-60mesh電解 銅粉を重量比2、3:7 の割合2ポールミル に2 混合
正编条件	2.4ton/cm ² 両押し
統結条件	850°c ドマ 2 時间保持



図4-1 メタルボンド砥石の成形法

石では得難い粗な 連続切れ刃間隔(約15mm 程度)と 同時に大きな切れ 刃面積率を作成し た。



図4-2 メタルボンド砥石の製作法

表4-2 メタルボンド砥石の諸寸法

41 径	内	径	幅	
180 mm ^ф	150 mm [¢]		10 mm	

を知ることによって定めたものである。圧縮には、200 tm電子 管万能試験機 を用い、焼結は窒素雰囲気中で行なった。以上の過程を経た後、砥石の安全性 を高めるため、図4-2に示すような過程でサイジングを行ないボンド密度の 上昇をはかった。製作された砥石の寸法は表4-2に示す通りである。

このような過程で製作された砥石の作業面に砥粒を顕出させる方法としては 電解研摩を用いた。電解研摩に際しては、砥粒を台金に取り付け、研削盤のド レッサーで作業面を切削し、砥石の偏心を取り除いた。そして図4-3に示す ように台金に取り

付けたまま表4-3の電解研摩条件

で、陰極として直

径200㎜のリン

グ状電極を用いて、

砥石表面からボン

ドが均一に除去さ

れるように電解研

摩を施した。なお、 砥石作業面以外の

場所は研摩されな

いように絶縁塗料

をぬった。

2 - 2

実験方法

実験は大部分表

4-4の研削条件

で行なったが、一部異なる場合にはそれぞれの場合に記す。なお、目直し条件 がA46M砥石とメタルボンド砥石で異なるのは、メタルボンド砥石の場合に は荒い目直しを施すと実験結果で示すように、寿命に至るまでの研削長が長す ぎるので、実験をより容易にするためメタルボンド砥石には細かい目直しを施 したためである。

連続切れ刃間隔および切れ刃面積率は図4-4に示すように、実体顕微鏡を

表4-3 電解研摩条件

電解液	リン酸
電流密度	0.15A/cm ²
時間	約2時間



図4-3 メタルボンド砥石の電解研摩の方法

研削盤に取

表4-4 研削条件

り付け、光

源と顕微鏡

を正反射の

位置関係に

くるように

し、第2章

で述べたよ

うな格子を

切ったフイ

ルムを接眼

レンズの中

に入れるこ

とによって

測定した。

この際の最

小目盛は 48

μ、線の幅

- は5μであ
- り、線の幅
- は切れ刃の
- 摩耗幅より

も十分小さ

いので、線

便用砥石	メタルボンド、砥石 A#10, 砥粒率40%。		
	メ9ルボンド砥石A#20,砥粒率40%。		
	A46M7V10W		
研削条件	ユン1"研創盤		
	砥石周遠度:2000m/min		
	-〒-ブル送り速度:8m/min		
	切込み:10µ/stroke		
目直し条件	ドレッサー : 単社タイアモンドドレッサー		
	先端膚耗幅1.2mm		
	ドレッサー切込み		
	2.5µ(ナタルボンド磁石)		
	(A46M) µ (
	ドレッサー送り		
	20µ/rev (メタルボンド破石)		
	170µ/rev (A46M)		
被削材	SK3 (焼入れRc≒60)		
	(幅10mm,長さ100mm)		
研削方式	乾式 フランジカット方式		



図4-4 切れ刃観測装置

(64)

の幅による誤差はほとんどないものと考えられる。研削抵抗は第2章に示した 八角リングを使用した。また、仕上面あらさは小坂式触針仕上面あらさ計で測 定した。

なお、研削焼け発生時の連続切れ刃間隔および切れ刃面積率の測定は、研削 焼けが工作物全面にわたって瞬間的に生じることは少なく、一部に焼けが生じ、 それが広がる方が多いので、焼けた部分の切れ刃面積率や連続切れ刃間隔を測 定した。

砥 石 作 業 面 性 状 に よ る 砥 石 の 研 削 寿 命 の 定 量 的 基 準 3

3 - 1砥石作業面性状と砥石の研削寿命

10

メタルボンド砥石A #10 (砥粒率 40 %)、A #20 (砥粒率 40 %)および A 4 6M 砥石の研削過程における切れ刃分布と形 状の変 化を連続切れ刃 間隔と 切れ刃面積

率を対応さ





面積率の測

点は連続切

れ刃間隔お

よび切れ刃

(65)

定開始点であり、白点と黒点は研削焼けの有無を表わしている。図において、 研削過程が進むにつれて、連続切れ刃間隔は減少、すなわち、右から左へ移動 し、切れ刃面積率は増加している。A #10のメタルボンド砥石のように非常に 粗な切れ刃分

布をもつ砥石がこのような

結果を示すことは

とは、連続切

- れ刃間隔が長
- くても切れ刃
- の破壊は少な
- く、巨視的に
- は切れ刃が摩
- 耗していくこと
- とを示す。
- 研削焼けはこの摩耗過程の途中で生じ、

その時点にお

- ける切れ刃面
- 積率はほぼー

定值約 4.5 %

で、連続切れ

刃間隔にはほ





図4-7 切れ刃摩耗長さの分布 (A[#]10メタルボンド砥石)

とんど無関係である。この 結果、研削焼けは砥石作業 面上における任意の一円周 上に存在する切れ刃群がも つ切れ刃の摩耗長さの総和 (切れ刃面積率)と対応し て生じることが考えられる。 なお、大きな摩耗長さをも つ切れ刃による工作物表面 の温度上昇によって研削焼 けが生じる可能性も考えら れるのでこれを検討する。 図4-6および図4-7は A46M砥石およびA #10 メタルボンド砥石の研削焼 けが発生した場合と発生し ていない場合の切れ刃摩耗 長さの分布を比較したもの である。図において、切れ 刃面積率 4.8 % または 4.9 **%**の方が研削焼けが発生し



図 **4** - 9 テーブル送り速度と接線 研削抵抗の関係

ている場合である。A #10のメタルボンド砥石における研削焼けが生じてい ない場合とA46M砥石の研削焼けが生じている場合を比較すると、切れ刃摩 耗長さは明らかにメタルボンド砥石の方が大きい。また、焼けが生じる場合と

(67)
生じない場合の同じ砥石の 最大切れ刃摩耗長さの個数 には大きな変化はない。こ れらの結果から、研削焼け は一個の摩耗長さの大きい 切れ刃によって生じるので はなく、摩耗切れ刃群によ る熱集積によって生じるこ とがわかる。以上の結果は、 吉川が切れ刃面積率と研削 抵抗の関係から、切れ刃面 積率8%附近を砥石の寿命 としている報告⁶⁾と定性的 には一致する。

そこで、次に切れ刃面積 率と研削抵抗の関係を調べ てみた。図4-8および図 4-9は切れ刃面積率をパ ラメータとし、テーブル送 り速度と工作物単位幅当り の垂直および接線研削抵抗 の関係を示したものである。 図において、切れ刃面積率



4 %を過ぎて少量研削後、全てのテーブル送り速度で研削焼けが発生した。図

(68)

より、研削焼けが生じる前後の4%および7%で研削抵抗に大きな変化がみら れるが。研削焼けが発生する研削抵抗はテーブル送り速度によって異なってい ることがわかる。また、切れ刃面積率が一定の場合には、テーブル送り速度が 速くなるにしたがって、研測抵抗が増加することがわかる。図4-10および 図4-11は切れ刃面積率に対する研削抵抗の急変をより明確にするために、 図4-8および図4-9の結果を切れ刀面積率と研削抵抗の関係に書き変えた ものである。切れ刃面積率4%附近までは、切れ刃面積率と研削抵抗とは近似 的に直線関係にあるが、切れ刃面積率4多附近から研削抵抗は急増しており、 吉川の報告⁹⁾と定性的に一致する。しかし、4%附近での研削抵抗はテーブル 送り速度が速くなるにしたがって増加しており、この点では吉川の実験結果と は異なる。テーブル送り速度が速くなると研削抵抗が増加するのは従来の報告10 にもあり、本実験の結果と一致するが、その物理的意味は明らかでない。すな わち、同一砥石作業面性状でテーブル送り速度のみを変えれば、個々の切れ刃 の砥粒切り込み深さないしは切り屑断面積が変化し、その結果、研削抵抗が変 化するとも考えられる。しかし、図4-12 に示すようにメタルボンド砥 石を 使用して連続切れ刃間隔を変え、砥粒切り込み深さを変えても研削抵抗は大き な変化をせず、テーブル速度によって研削抵抗が変化する物理的意味は本研究 では明らかにし得ない。ただし、テーブル送り送度を速くするのと、連続切れ 刃間隔を長くするのとでは、砥粒切り込み深さは同じように大きくはなるが、 その際に生成される切り屑の形状ないしは平均切り屑断面積はテーブル速度の 変化と連続切れ刃間隔の変化とでは異なるので、その影響があるものとは推察 される。物理的内容は明らかではないが、テーブル速度を変えれば垂直研削抵 抗が変ることから、切れ刃と工作物の平均接触圧力が変化することは考えられ る。切れ刃すくい面ないしは側面での接触面積は切れ刃逃げ面での接触面積に

(69)

比較して非常に小さい ので、垂直研削抵抗の 変化は切れ刃逃げ面の 大きさから考えると、 後述するように、切れ 刃逃げ面での接触圧力 の総和が変化と対応す るためである。ただし、 このように考えると、 テーブル送り速度が遅 くなれば平均接触圧力

が低くなるので、摩擦



係数を一定とすると、切れ刃面積率一定では、切れ刃逃げ面での摩擦力が減少 するにもかかわらず研削焼けが生じるのが問題となる。このことについては、 テーブル送り速度が遅くなれば単位時間、単位面積当りの工作物を通過する切 れ刃数が増加し、熱エネルギーは大きな変化をしない結果と考えられる。

研削抵抗がある切れ刃面積率になると急上昇するのは、吉川の考察⁶⁾による とその附近では上すべりする切れ刃、すなわち、無効切れ刃が急速に増加し、 その結果、研削抵抗が増大するためとされているが、本実験の結果ではテーブル送 り速度を変えても切れ刃面積率一定の附近で研削抵抗が急変していることから 考えると、上すべりの影響は少ないものと考えられる。なぜなら、テーブル送 り速度を遅くすると砥粒切り込み深さは小さくなり、したがって、上すべりす る切れ刃はテーブル送り速度が速い場合よりも切れ刃面積率が少ない状態で増 加が激しくなり、研削抵抗が急変するはずであるが、そのような傾向はみられ ない。それゆえ、研削抵抗が急上昇するのは、上すべりの影響も考えられるが、 前章で述べたように研削焼けによる工作物表面硬度の変化が大きく影響してい るものと考えられる。

したがって、目直し後、研削を行なうと切れ刃が摩耗し、切れ刃面積率が増 加する。同時に、砥石半径減耗量および研削抵抗も増加し、ある研削抵抗にな る切れ刃面積率で、研削焼けが現われ始める。その結果、工作物表面性状が変 化し、砥石半径減耗量および研削抵抗が急激に増加するようになる。砥石半径 減耗量、研削焼け、研削抵抗を寿命判定基準とする砥石の研削寿命点は、上述 のどの寿命判定基準を用いても同じであり、目直し間寿命はほぼ同じになるで あろう。

3-2 砥石作業面性状からみた研削焼けの熱的解析

3-2-1切れ刃にかかる平均研削抵抗

研削焼けは切れ刃によって工作物を切削、塑性流動したり、切れ刃と工作物 が弾性接触(極く微視的には切れ刃の先端で塑性接触していると考えられるの で熱発生があると考える)する際に発生する熱量が工作物に残存し、集積する ことによって工作物表面上

に発生する。詳述すると、 工作物表面上に残存する熱 によって工作物の酸化が著 しくなり、その酸化膜の干 渉色が研削焼けとして見い 出される。それゆえ、砥石 作業面性状と研削焼けとを 関連ずけるためには、個々



図4-13 切れ刃および切れ刃による 切削時の模型図

の切れ刃によって発生する熱量、その熱量の工作物に残存する割合、工作物の 酸化時間を明らかにする必要がある。個々の切れ刃に発生する熱量は個々の切 れ刃がなす仕事量、すなわち、個々の切れ刃にかかる研削抵抗とその持続時間 を明らかにすることによって求められる。そこで、本項では切れ刃にかかる平 均研削抵抗を求める。

切れ刃にかかる研削抵抗を求めるにあたって次の仮定を置く。

- (1)切れ刃すくい面および側面にかかる接触圧力は切れ刃と工作物が弾性接触している際には、その時点の工作物の弾性応力σ。と接触面積で、また、切削の際の切れ刃側西および塑性流動の際のすくい面と側面はBowden Taborの押し込み理論¹¹⁾が成り立ち、工作物の塑性流動応力σ_pと接触面積によって決定される。
- (2)切削の状態の切れ刃すくい面にかかる力は旋削におけるバイトのすくい面 にかかる力と同様に考え得る。
- (3)切れ刃逃げ面の接触圧力は切削および塑性流動の場合には工作物の塑性流動応力と逃げ面面積によって、また、弾性接触の状態では、その時点の工作物の弾性応力σ。と逃げ面面積によって決定される。
- (4)切れ刃のモデルとして図4-13に示すような角錐台モデルを使用する。(j)切れ刃が工作物を切削している場合

$$f_{Nc} = \sigma_{sn} \cdot w' \cdot w_{2} \cdot \cos \phi - \sigma_{st} \cdot w' \cdot w_{2} \sin \phi + 2 \sigma_{p} \cdot \overline{g}_{cs} \cdot w_{1} \cdot \tan \alpha$$
$$+ \sigma_{p} \cdot w_{1} \cdot w_{2} \qquad \dots \dots \dots \dots \dots (4 - 1)$$

上式において、fnc:切れ刃が工作物を切削している状態での切れ刃に

かかる垂直研削抵抗 (kg/個)

(72)

 σ_{sn} :切り屑せん断面にかかる圧縮応力 $(kg/m \hat{n})$

 σ_{st} :切り屑せん断面にかかるせん断応力 (kg/m²)

 σ_{p} :工作物の塑性流動応力 (kg/mn)

g cs: 切れ刃が工作物を切削している状態での切れ刃と

工作物の切れ刃側面での接触高さ (mm)w1,w2:切れ刃側面およびすくい面の長さおよび幅

(mm)

w':切り屑せん断長さ (nn)

α :切れ刃側面と研削に平行な面とのなす角

第1項、第2項においてせん断角々は切れ刃の研削長 ℓ_{o} と切り屑の長 さから求めた小野の概念¹²⁾を使用し、さらに、前章で求めた切れ刃の統 計的幾可学形状から求めた切れ刃すくい角が一60°以上であることを 考えると、10°以下と考えられ、 $\sin \phi = 0$ 、 $\cos \phi = 1$ とし得る。した がって、 $\sigma_{sn} \geq \sigma_{st}$ は数値的に大きな差は考えられないので、第2項は 第1項に対して無視し得る。次に、第3項の切れ刃と工作物の接触高さ 夏 c_{s} は幾可学計算から求まる平均砥粒切り込み深さを用いると1 μ 以下 であり、また盛り上がり等を考慮に入れて非常に大きな場合を考えて も数 μ 程度であり、極端な場合の仕上面あらさと砥石切り込み量の和を とったとしても十数 μ である。これに対して、切れ刃の平均摩耗面の長 さ \overline{u} の大きさは切れ刃面積率 η を1%、切れ刃密度 n_{p} を5 (個 $/m\pi$) としても、 $\eta = n_p \cdot \overline{w}^2 \times 10^2 \qquad \cdots \cdots (4-2)$

より、数+ μ になる。それゆえ、一般に \overline{g}_{cs} は w_{1},w_{2} に比較して非常 に小さいと考えられ、また、 α は前章の結果より -60° 程度以上である ため $wn \alpha < 2$ 以下であるので、第3項は第4項に比較して無視し得る。 したがって、(4-1)式は近似的に次式で表わされる。

 $f_{N_{c}} = \sigma_{sn} \cdot w' \cdot w_{2} + \sigma_{p} \cdot w_{1} \cdot w_{2} \qquad \dots \qquad (4-3)$

(ii)切れ刃が工作物を塑性流動する場合

上式において、f_{Np}
 :切れ刃が工作物を塑性流動させている状態での切れ刃にかかる垂直研削抵抗

の朝鮮のためる生産可用式の

(kg/個)

grf, grs: 切れ刃が工作物を塑性流動させている状

態での切れ刃すくい面および側面の切れ

刃と工作物の接触高さ (***)

β :切れ刃のすくい角

(4-4)式においても前式同様、近似的に次式で表わされる。

 $f_{Np} \stackrel{!}{=} \sigma_p \cdot w_1 \cdot w_2 \qquad \cdots \cdots \cdots \cdots (4-5)$

(74)

(ji)切れ刃工作物上を弾性接触状態ですべる場合

上式において、f_{Nc} : 切れ刃と工作物が弾性接触している状態 での切れ刃にかかる垂直研削抵抗

(kg/個)

- g_{ef}, g_{es}: 切れ刃と工作物が弾性接触している状態

での切れ刃すくい面および側面の切れ刃

と工作物の接触高さ (****)

近似的に $f_{Ne} = \sigma_e \cdot w_1 \cdot w_2 \cdots (4-7)$

以上のことから、砥石と工作物の単位接触面積当りの垂直研削抵抗Fnは 砥石と工作物との接触面積に含まれる切削、塑性、弾性の切れ刃の割合をk。、 kp、keとし、切れ刃密度をnpとすると、

で表わされ、(4-2)式を代入すると、

 $F_{n} \coloneqq (k_{c} \cdot \sigma_{p} + k_{p} \cdot \sigma_{p} + k_{e} \cdot \sigma_{e}) \quad \eta \times 10^{-2} + k_{c} \cdot n_{p} \cdot \sigma_{sn} \cdot w' \cdot w_{2}$ $\dots \dots \dots \dots \dots (4 - 9)$

(7.5)

となる。ここで、工作物を除去するための垂直研削抵抗、すなわち、(4-9)) 式の第2項は切れ刃のすくい角が変化しなければ同じである。それゆえ、前 章の結果によれば切れ刃の統計的幾何学形状は研削過程において変化しないの で、第2項は研削過程において一定であるといえる。いいかえれば、研削過程 が進むにつれて、切れ刃の摩耗面の大きさが増加するのでw2は増加し、一つ の切れ刃によって排出する切り屑の大きさは増加するが、全排出切り屑量は同 一であるため、上すべりする切れ刃が増加するということがいえる。それゆえ、 (4-9) 式は、

 $F_n = (k_c \cdot \sigma_p + k_p \sigma_p + k_e \sigma_e) \quad \eta \times 10^{-2} + C_1 \dots \dots \dots \dots (4 - 10)$



ke、kp、keの割合いが変化することが考えられる。この結果、切れ刃逃げ面 と工作物との接触による垂直研削抵抗、すなわち、第1項は切れ刃の摩耗面の 大きさに影響されることになるが、図4-12の結果から考えてその影響は少 ないものと考えられる。すなわち、図4-12において切れ刃分布を大幅に変 化させても切れ刃面積率が一定ならば垂直研削抵抗はほぼ一定であり、(4-10)式の第2項が一定なので、切れ刃の摩耗面の大きさによる影響は少ない と考えられる。それゆえ、切れ刃逃げ面における平均接触圧力Pは、弾性応力 の。が塑性応力のpよりかなり小さいものと考えられるので、

のように表わされ、研削過程における k_o + k_p は近似的に一定とみなせる。この結果、 P は砥石作業面性状に無関係な定数と考えることができる。したがって、一つの切れ刃にかかる平均垂直研削抵抗 f_n は、

で表わされる。

本実験の場合の f_n は、図4-13より単位研削幅当りの研削抵抗 F_N が近似的に、

$$F_{N} = m\eta + n \qquad \cdots \cdots \cdots \cdots (4 - 13)$$

ここで、
$$m = 0.33$$
 (kg/mm・%)
 $n = 0.1$ (kg/mm)

で表わされるので、接触孤をℓ。とすれば、

$$f_{n} = \frac{F_{n}}{n_{p}}$$
$$= \frac{F_{N}}{n_{p} \cdot \ell_{c}} \qquad \dots \dots (4 - 14)$$

となり、本実験条件より幾何学的に計算したℓ。≒ 1.3 mmを代入すると、次式で 表わされる。

同様な考え方から、一つの切れ刃にかかる平均接線研削抵抗 ft は、

$$f_t = \mu P \cdot w_1 \cdot w_2 + \frac{C_2}{n_p}$$
$$= \frac{\mu P \eta \times 10^{-2} + C_2}{n_p} \qquad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots (4 - 16)$$

ここで、μ:切れ刃逃げ面における切れ刃と工作物の摩擦係数

となり、図4-14より

(78)

で表わされる。

3-2-2 切れ刃面積率と研削焼け

一個の切れ刃により被削材の単位面積に与えられる熱量 q は平均的にみて全 っ ての切れ刃が切り屑を排出すると仮定すれば、

 $q = q_s + q_{ff} + q_r + q_{fs}$ (4-18)

- qff:切れ刃すくい面での摩擦による熱量 (cal)
- qr : 切れ刃逃げ面での摩擦による熱量 (ad)

q_{fs}:切れ刃側面での摩擦による熱量 (all)

と考えられる。この中で、すくい面での摩擦による熱量のほとんどは切り屑に 奪われてしまうと考えられる。また、q_{fs}は切れ刃側面の接触面積が逃げ面と 比較して非常に小さいので、q_rに対して無視し得る。したがって、(4-18))式は近似的に次式で表わされる。

切り屑せん断面で発生する熱量 qs'は(4-16)式より、

ここで、J:熱の仕事当量 (kg・cm/cat)

また、切れ刃逃げ面で発生する熱量 qr'は、

(79)

で表わされる。

これらの q's およびq' の一部は工作物へ残りが切り屑ないいしは 切れ刃 に流入するが、J.C.Jaeger¹³⁾によれば流入割合 α_s は次式によって求められる。

$$\alpha_{s} = \frac{k_{1}\sqrt{L_{1}}}{0.796 k_{2} + k_{1}\sqrt{L_{1}}} \qquad \dots \dots (4-22)$$

 $L_1 = \frac{v \ell}{2 K_1} > 5$ (4-23)

ここで、
$$k_1$$
:工作物の熱伝導率 ($at/cm \cdot sec'C$)
 k_2 :スライダーの熱伝導率 ($at/cm \cdot sec'C$)
 $k_1 = \frac{K_1}{C_1 \rho_1}$
 K_1 :工作物の温度伝導率 (cn/sec)
 C_1 :工作物の比熱 ($at/g'C$)
 ρ_1 :工作物の密度 (g/cn)
 V :フライダーの速度 (cm/sec)
 2ℓ :スライダーの長さ (cm)

切り屑せん断面におけるスライダーとしては長さ w'、幅 w2 の切り屑が考えられ、また、切り屑せん断速度 Vs は、



L = 1 m

L = 70 m





L = 1 m



L = 70 m

(b) A[#]20(砥粒率40%)



L = 1 m

(c) A 4 6 M



L = 20 m

200 µ

図4-15 切りくずの観察

$$V_{g} = V \cdot \frac{\cos \beta}{\cos (\phi + \beta)} = V$$

$$w' = \overline{g}_{cs} \cos \phi$$

- であるので、
- $g_{cs} = 2 \times 10^{-4}$
- (cm), ølt
- 少し大きめに
- 考えて Ø = 10・
- とすると、 w'
- $= 7 \times 10^{-4}$
- (cm)を得る。
- せん断面にお

ける熱伝導率

は $k_1 = k_2$ と考えられるので、 $C_1 = 0.1$ L, $\rho = 0.79$ とし、 工作物への流入 割合 α_s を求めると、L = 8.4 より、 $\alpha_s = 0.78$ である。実際には、切り屑の 熱容量は非常に小さいので、切り屑温度が上昇し、工作物の熱伝導率よりもか なり小さくなる*。また、寿命時の切り屑が図4-15に示すように 大きいこ とから \overline{g}_{cs} もかなり大きくなると思われるので、 α_s はさらに 大きくなること

秖

On On

00 01

図4-16 切れ刃と工作物の接触模型図

v

*温度が上昇すると熱伝導率は小さくなる

が考えられる。同様にして、切れ刃逃げ面での摩擦熱量の工作物への流入割合 を求めると、α。≒1である。以上のことから、一個の切れ刃により被削材に 与えられる平均の熱量 q'は近似的に、

$$q' = 0.8 q_{s'} + q_{r'}$$
 $(4 - 24)$

である。したがって、一つの切れ刃によって工作物の単位面積に与えられる熱量 q は次のように表わされる。

そこで、次に、この熱量が工作物表面に全て蓄積されると考えて、工作物表面 の熱蓄積量を考えてみる。工作物がテーブル送り速度 v で移動しているとき、 図4-16に示すように、研削面上の一点 0_0 が 0_n まで移動する間に 砥石は ℓ_o V/vの距離だけ回転するので、工作物が切れ刃から受ける熱量 Q は、連続 切れ刃間隔を a とすると、次式で表わされる。

$$Q = q \cdot \frac{\ell_c \cdot V}{v \cdot a}$$
$$= \frac{\ell_c \cdot V}{J \cdot v \cdot a} \left(\frac{8C_2}{n_p \cdot w_2} \times 10^{-2} + \mu \cdot Pw_1 \times 10^{-1} \right)$$
$$\dots (4 - 27)$$

上式から研削焼けを考えると、研削焼けは切れ刃がかなり摩耗した状態で生 じ、上式の第1項は切れ刃が摩耗すると熱量が減少するので、研削焼けは第2 項の影響によって生じることがわかる。すなわち、研削焼けが生じる熱量Qb は次式で表わされる。

$$Q_b \stackrel{\text{\tiny{μ-$}}}{=} \frac{\mu \cdot P \cdot \ell_c \cdot V \cdot w_{1b}}{J \cdot v \cdot a_b} \times 10^{-1} \qquad \dots \dots \dots \dots (4-28)$$

ここで、wib:研削焼けが生じる時のwi

a_b :研削焼けが生じる時の連続切れ刃間隔 切れ刃面積率 η(%)は、

4

でも表わされるので、(4-28)式は、

$$Q_{b} = \frac{\mu \cdot P \cdot \ell_{c} \cdot V \cdot \eta_{b}}{J \cdot v} \times 10^{-3} \qquad \dots \qquad (4 - 30)$$

ここで、 η b:研削焼けが生じる時の切れ刃面積率(%)

となり、研削焼けの熱量 Q_bは同一研削条件ならば、切れ刃面積率一定値で生 じる。また、他の条件が一定ならば送り速度に反比例し、接触圧力に比例する ので、図4-10 にみられるように、送り速度が遅くなり、垂直研削抵抗が小 さくなっても、研削焼けが生じることがわかる。

3-3 砥石の目直し間寿命の数式化

前項までの結果から、研削抵抗、研削焼けおよび砥石半径減耗量を寿命判定 基準とする砥石の寿命は砥石作業面性状からみれば切れ刃面積率一定の値で表 わし得ることがわかった。そこで、次に、目直し直後から寿命までの研削長 L_f を第3章の結果を用いて数式化してみる。

(3-6)式より、砥石半径減耗量△Rは

$$\Delta R = \frac{\sqrt{\eta_{\ell}} - \overline{\eta_2}}{\sqrt{\pi \cdot n_p} \cdot \tan \theta} \times 10^2 \qquad \dots \qquad (4 - 31)$$

ただし、 ΔR : (μ), n_p : ($個 / m_n^2$), η : (%)

と表わせるから、寿命点における研削長および切れ刃面積率を L_f (m)および η_f とし、脆弱層を除去するのに必要な研削長をC (m)とすれば、(3-2) 式より、

$$L_{f} = \frac{\sqrt{\eta_{f}} - \sqrt{\eta_{c}}}{\Delta R_{1} \cdot \sqrt{\pi \cdot n_{p}} \cdot \tan \theta} \times 10^{2} + C \dots (4 - 32)$$

ここで、n。:研削長Cにおける切れ刃面積率

となる。前項までの結果より、砥石寿命時の切れ刃面積率 η_f が一定値である ことを見い出し、また、ΔR₁、 n_p、 η_c、 θ は目直し条件によって 決定され る定数であることを示したので、目直し条件を決定することによって、砥石の 寿命が決定し得ることが(4-32)式よりわかる。表 4-5は、寿命時の切 れ刃面積率を4%とし、第3章で求 めた各定数を(4-32)式に代入 して計算した目直し間寿命と研削焼 けが生じるまでの研削長とを比較し たものであるが、両者は非常に良く 一致していることがわかる。

FL-97-	ドレッサー	寿命	寿命
送嚏度	切心み	(推定)	(実験)
H/tev)	(µ)	(m)	(m)
170	10	13	15
170	30	22	22
170	50	23	25
360	10	18	22
360	30	35	25
360	50	37	35

4 砥石作業面性状と仕上面あらさ

研削過程における仕上面あらさの変化を図4-17に示す。各砥石とも研削 初期には仕上面あらさが良く、研削過程が進むにつれて仕上面あらさが悪化し、 その後一定値になる傾向がある。また、仕上面あらさはA46M→A[#]20→A [#]10の順で砥粒が大きくなるにつれて悪くなり、とくに研削過程がある程度進 んだ状態ではA46M砥石に比較してメタルボンド砥石の仕上面は非常に悪く なっている。

表415

砥石の研削寿命

図4-18は

研削初期と寿

命附近の砥石

市所近の磁石
 による仕上面
 を観察したものである。研
 前初期では仕上面を形成している研削条

痕の幅は砥石



図4-17 研削過程における仕上面あらさの変化





1

L = 1 m(a) A [#]10 (砥粒率40%)



L = 1 m(b) A [#]20(砥粒率40%)



図4-18 仕上面の観察

によって大き な差は認めら れないが、メ タルボンド砥 石の研削距離 70 m 2A46M の研削距離20 mを比較する と大きな差が 認められ、メ タルボンド砥 石の研削条痕 が非常に大き くなっている。 切れ刃が摩 耗すれば、塑 性的な上すべ りをする切れ 刃による盛り 上がり高さは 大きくなる傾 向を示すが、 この盛り上げ られた材料が



図 4 - 2 0 送りを与えた場合の仕上面あらさの変化 (寿命附近)

他の切れ刃によって全て切削されていないことを図は示す。とくに、メタルボ ンド砥石は切れ刃密度が少なく、また研削時間とともに切れ刃逃げ面面積が急 速に増加するので一つの切れ刃によって仕上面に生成された大きな幅の研削条 痕、言いかえれば、大きな盛り上がりが残る確率が大きくなる。それゆえ、研 削時間とともに、急速に仕上面あらさが悪化するものと考えられる。

ある研削過程までプランジカット研削を行なった後、工作物に送りを与えて 仕上面あらさの変化を調べた結果を図4-19と図4-20に示す。 前者は研 削初期の砥石、後者は研削寿命附近の砥石の場合である。ただし、工作物の送 りは 1 mm /s trokeである。両図から、工作物送り回数が 増 加 す る に 従っ て、 仕上面あらさは向上し、最終的にはある一定値に収束することがわかる。そし て、その収束値は研削初期の砥石、すなわち、切れ刃の摩耗程度の小さい方が Rmax = 0.5 μ、また、寿命附近の砥石、すなわち、 摩耗程度の大きい 切れ刃 では Rmax ≒1µであり、研削初期の砥石の方が良い。図4-21は 研 削 初期 と寿命附近の砥石に送りを与えた場合の仕上面あらさが一定値に収束した時点 での工作物仕上面を観察したものである。図より、研削初期と寿命附近の状態 では大きな変化が認められるが、砥石によっては大きな変化はなく、また、メ タルボンド砥石ではプランジカットの場合のような広い研削条痕がみられない ことがわかる。これらの結果は、プランジカット研削では切れ刃密度が少ない ため、一つの切れ刃によって大きな研削条痕が生成されるが、送りを与えた場 合にはプランジカットによって生成された広い条痕上に多数の切れ刃が通過す るために、広い条痕が消滅することを示す。

砥石作業面上の切れ刃分布の他に切れ刃逃げ面が仕上面あらさに大きな影響を及ぼす という以上の結果を考慮すると、トラバース研削による仕上面の向上は次のように説明し得る。

(89)







(b) A [#]20 (砥粒率 40%)





すなわち、図4-22

にモデルを示すように、 トラバース研削では、 通常考えられているよ うに送り S の部分でか なりの切削を行ない、 その他の部分では切削 されないで切り残され た材料を多くの切れ刃 によって除去する。す



図4-22 トラバース研削

トすることで仕上面あ

なわち、スパークアウ

らさを良くする。それゆえ、仕上面あらさを良くするためには、送りを小さく し、切れ刃分布を密にし、さらに、盛り上がりを小さくするために、切れ刃逃 げ面の大きさを小さくすればよい。しかし、この場合にも、図4-19と図4 -20よりわかるように限界があり、その限界を決定するものは切れ刃の表面 形態であると考えられる。研削初期においては、第2章で述べたように切れ刃 は微小凹凸面構造をもち、寿命附近では切れ刃はほとんど摩耗している。それ ゆえ、前者は微小な切り屑を出すことが可能であるが、後者は仕上面がある程 度まで良くなると、スパークアウトしても全ての切れ刃が上すべりし、仕上面 は微小な盛り上がり、ないしは切れ刃と工作物の凝着効果によって構成される ようになり、微小な切り屑は排出できないと考えられる。したがって、後者は 前者よりも良い仕上面を作り出すことはできないものと考えられる。

以上、仕上面あらさに及ぼす砥石作業面性状の影響については定性的な究明

しかなし得なかったが、さらに、追求すれば、切れ刃分布、切れ刃の表面構造 など目直しと密接な関係をもつ要素と仕上面あらさ、ひいては、目直しと仕上 面あらさとの定量的関係を導き出すことは十分可能であろう。

5 結 論

研削砥石の性能を定量化するため、非常に粗な切れ刃分布と同時に、大きな 切れ刃面積率をもつことができるメタルボンド砥石を製作し、砥石作業面性状 と研削抵抗、研削焼け、砥石半径減耗量および仕上面あらさの各寿命判定基準 との関係を調べた結果、以下の事柄が明らかになった。

- 切れ刃面積率が5%附近になると、研削焼けが生じ、研削抵抗および砥 石半径減耗量は急上昇する。したがって、これらの寿命判定基準による 砥石の寿命はほぼ同じとなる。
- 切れ刃にかかる平均垂直研削抵抗 f_n および、接線研削抵抗 f_t は切れ刃 面積率および切れ刃密度によって決定され、次式で表わされる。

$$f_n = \frac{10^{-2} P \cdot \eta + C_1}{n_p}$$
$$f_t = \frac{10^{-2} \mu \cdot P \cdot \eta + C_2}{n_p}$$

3)切れ刃により発生する熱量が全て工作物表面に蓄積されると仮定するな らば、研削焼けが生じる熱量Qbは次式で表わされる。

$$Q_{b} = \frac{\mu \cdot P \cdot \ell_{c} \cdot V \cdot \eta_{b}}{J \cdot v} \times 10^{-3}$$

4) 砥石の目直し間寿命は目直し条件のみで決定され、その研削長 L_f は次のように表わせる。

$$L_{f} = \frac{\sqrt{\eta_{f}} - \sqrt{\eta_{c}}}{\Delta R_{1} \cdot \sqrt{\pi \cdot n_{p}} \cdot \tan \theta} \times 10^{2} + C$$

したがって、砥石の研削寿命を向上させるためには、切れ刃の分布を 粗にし、切れ刃の幾何学形状を鋭くできるような目直しをすればよい。 5)仕上面あらさは切れ刃の通過数が増加するとともにある一定値まで向上 する。そして、その一定値は切れ刃の表面性状により影響され、切れ刃 が摩耗した場合よりも微小凹凸面構造をもつ方が良い仕上面あらさを得 ることができると言える。

参考文献

- 1) 稲崎.米津:機械学会論文集, 34-263 (1968)
- 2)小野:新潟大学工学部研究報告.6巻.123頁
- 3) 松井. 庄司:機械の研究, 19-10 (1967) 1341
- 4) 吉川.佐田:精密機械, 26-9 (1960) 529
- 5) 貴志. 江田: 精密機械, 38-4 (1972) 355
- 6) 吉川:精密機械, 30-1 (1964) 112
- 7) 例えば 織岡:日本機械学会誌, 63-499 (1960) 1185
- 8)津和.田部.安井:精密機械, 36-11(1970)739
- 9)吉川:精密機械, 28-5 (1962) 286
- 10)小野:日本機械学会論文集,18-74(1952)15
- 11) F.P.Bowden.D.Tabor
 - : The Friction and Lubrication of Solids II, Oxford (1950)
- 12)小野:研削仕上, 槇書店 (1966) 26
- 13) J.C.Jaeger: Pro.Roy.Soc., N.S.W., 76 (1942) 203

第5章 特殊目直し法による砥石の研削寿命の向上

1 緒 言

個々の砥石の研削性能は目直しによって一義的に決定され、砥石作業面上の 切れ刃分布を粗にし、切れ刃の統計的幾何学形状を鋭くすれば、砥石の研削寿 命が向上することを前章までに明らかにした。しかし、従来の単一ダイアモン ドドレッサー、多石ダイアモンドドレッサー、インプリドレッサーによる目直 しでは、目直し条件を苛酷にしても切れ刃分布に大きな変化はなく、大きな寿 命向上は望めない¹)。 また、クラッシュドレッシングでは目直し直後の切れ刃 分布は粗にすることができるが、少量研削後においてはダイアモンドドレッサ ーの場合とあまり変わらなくなる欠点がある²。

そこで、本章においては、切れ刃分布や統計的幾何学形状を調節することの 可能な特殊目直し装置を二種類考案し、それらの装置で特殊目直しを施した場 合の砥石作業面性状の変化を調べるとともに砥石の寿命試験を行なった。その 結果、両装置とも市販のビトリファイド砥石の研削寿命を大きく向上させ得る ことがわかり、考案した特殊目直し装置の有用性が明らかになるとともに、前 章までの裏付けが得られた。

2 ドレッサー回転目直し法

2-1 実験装置および方法

2-1-1 ドレッサー回転目直し装置

単一ダイアモンドドレッサーで目直しをする場合、ドレッサー先端幅が砥石一回転当りの ドレッサー送り量よりも大きいときには、砥石作業面は巨視的に平坦になるので、砥石作業面 上の切れ刃の分布はドレッサーによる砥粒の脱落ないしは欠損によってしか変化しない。 そこで、切れ

刃の分布をさら らに大きく調

- 節する方法と
- しては、図5



図5-1 ネジ切り状目直しが施された砥石

うなドレッサ

-1に示すよ

ー先端幅がドレッサー送り量よりも小さい、いわゆる、ネジ切り状の目直しが 考えられる。この方法では、図における斜線部分がドレッサーによってすべて 除去され、残った部分の砥粒の一部が切れ刃として作用するため切れ刃分布を 大きく調節することは可能である。しかし、一般にドレッサー送り速度に対し て砥石周速が非常に大きい

ことと、ドレッサーの摩耗 がドレッサー先端幅が小さ い場合に大きいことを考え ると常にネジ切り状の目直 しを施すことは困難である。 この場合、現在使用されて いる研削盤のドレッサー送 り機構を速くし、ドレッサ ーが摩耗してもネジ切り状 の目直しができるように改 良することが考えられるが、 研削盤のテーブルの慣性力



1. ハンドル 2. 回転円板 3. ゴムローラ 4. ドレッサ 5. 歯 車

図5-2 ドレッサー回転目直し装置の外観



図5-3 ドレッサー回転目直し装置の構造

が大きく、急発進、急停 止装置を考えなければな らず、目直しの精度、高 価という点で問題がある と思われる。

そこで、図5-2およ び図5-3に外観と構造 を示すようなドレッサー 回転目直し装置を考案し た。図5-2においてハ ンドル(1)を回せば回転円 板②と砥石駆動用ゴムロ - $\overline{2}$)が同時に回転し、

<u>10 mm</u>	砥石表面 削減率(%))	ピッチ (mm)
	0	
	25	4.2
	33	2.8
	40	2.1
	45	1.4
	50	1.0
	60	2.8
	75	4.2
	75	6.3

図5-4 ドレッサー回転目直し装置で目直し が施された砥石作業面

回転円板上に取り付けられ たドレッサー④が砥石作業 面を砥石軸方向にある間隔 で溝を切って行く。この溝 の間隔は歯車⑤を交換する ことにより任意になされる。 本装置は静的なものである が、ハンドルの部分にモー ターを直結し、駆動させれ ば、砥石を回転させながら



図5-5 砥石表面削減率の概念

目直しすることも可能であり、実際の目直しに使用することも可能であると考 えている。図5-4にドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石作業面 の転写図を示す。この図で、黒色部がすべて切れ刃になるとは限らないが、削 減率0の普通目直しを施した砥石では、切れ刃が非常に密分布しているのにド レッサー回転装置を用いた砥石では削減率に応じて切れ刃が減少しており、こ の装置を用いれば種々の切れ刃分布をもつ砥石を作り得ることがわかる。なお ここで、削減率とは図5-5に示すようなドレッサー回転目直し装置で目直し が施された砥石作業面における溝の間隔の周期(ピッチ)をP、溝の幅を a と した場合の砥石表面削減率 a/P×100(本章において名付ける)の略称であ る。

2-1-2 実験方法

実験条件を表5-1に示す。なお、目直し条件は前回の影響によって切れ刃 に附着した溶着金属や空孔のあいだの切り粉などを取り除くため、単一ダイア モンドドレッサーを使用する普通の目直しをドレッサーの切り込み204 で数 回行ない、最後の一

回をドレッサー切り 込み10µで行 なっ た。ドレッサー回転 目直し装置による目 直しは、このような

通常の目直しを施し

表5-1 実験条件

砥 石	A46MmV	205×19×50.8	
被削材	炭素工具鋼	SKI(HRC≒62) 幅×長さ 10×100	
研削条件	砥石周速 テーブル造度 切り込み	1900 m/min 8 m/min 10 μ/stroke	-
研削方式	乾式平面研削	プランジカット方式	

たのちに切り込み100μで行なった。

連続切れ刃間隔および切れ刃面積率は津和が考案した原理を応用した図5-6に示す砥石アナライザーを用いて測定した? 砥石半径減耗量は第3章で述べ た方法で測定した。ただし、基準面としては目直し直後の砥石作業面を用い、 脆弱層は考慮していない。消費電力は研削盤に取り付けたアンメーターでモー ターに流れる電流を測定した。その電流値に電圧を掛けることによって求めた

なお、



図5-6 砥石アナライザーの外観

切り込みで研削した場合の研削量を表わす。

2-2 ドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石の連続切れ刃間隔

と切れ刃面積率

ドレッサー回転目 直し装置で目直しを 施した砥石の研削過 程における連続切れ 刃間隔および切れ刃 面積率の変化を図5 - 7 および図5-8 に示す。両図の最終 プロットは工作物全 面に青色の研削焼け が生じた研削回数で あり、図中の数字は 削減率とピッチを示 す。連続切れ刃間隔 および切れ刃面積率 は研削過程が進むに つれて、前者は減少、 後者は増加し、前章 までの結果と同じ傾 向を示す。そして、 それらの減少率およ



図5-7 研削過程における連続切れ刃 間隔の変化



図5-8 研削過程における切れ刃面積率 の変化

(100)

び増加率は削減率が大きい。すなわち、目直しによって形成された砥石作業面 上の切れ刃密度が小さい程少ない。また、全面研削焼けが生じた最終プロット の連続切れ刃間隔および切れ刃面積率は削減率が増加するにしたがって、前者 は増加、後者は減少する傾向がある。これは、被削材の幅が広いので、研削焼 けが幅全体にわたって瞬間的に生じることは少なく、被削材上に部分的に生じ、 その部分から全面に広がる傾向があるので、部分的に焼けが生じてから全面に 焼けが生じるまでに、削減率の少ない方が切れ刃面積率が急速に増加するため と考えられる。すなわち、普通目直しの条件が同じであるので、統計的幾何学 形状は削減率にかかわらずほぼ一定と考えられ、また、部分的に焼けが生じは じめる以降においては砥石半径減耗量も大きな差はないと考えられるので、第 3章(3-6)式より切れ刃面積率は切れ刃密度のみに影響されるため、削減 率の少ないもの程切れ刃面積率が大きくなり、また、連続切れ刃間隔が短かく なっているものと考えられる。

2-3 ドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石の研削性能
 図5-9はドレッサー

回転目直し装置で目直し を施した砥石の寿命試験 を行ない、砥石表面削減 率と寿命点までの総研削 量との関係を示したもの である。この図から、総 研削量と削減率との間に は二次曲線で近似し得る ような関係があり、普通



(101)

目直しの場合と比較してド レッサー回転目直し装置で 目直しを施した場合には寿 命が数倍から10倍ものび、 砥石作業面上の切れ刃密度 を粗にすればするほど砥石 の研削寿命が大きくのびる ことがわかる。ただし、寿 命までの総研削量が溝の幅 aや周期 P に影響されずに 削減率のみに関係している 傾向があるが、これは、 本実験におけるaやP が小さく、また、一様 な間隔で目直しを施し ているため、切れ刃の 分布が一様となり削減 率が切れ刃の分布や切 れ刃面積率に一義的に 関係するためであろう。 例えば、極端な場合で あるが砥石作業面の半 円だけを削除し、残り の半円で研削を行なっ

削減率(%) および ピッチ(mm)	研削回数	砥石半径 滅耗量(µ)
0	100	7.5
40	200	12.0
2.1	100	6.5
46	430	27.0
1.4	100	11.0
50	450	42.0
1.0	100	27.0
33	200	16.5
2.8	100	10.5

表5-2 砥石表面削減率と砥石半径 減耗量の関係



図5-10 砥石表面削減率と消費電力の関係

(102)

た場合には、まったく寿命が のびないという結果がでてい る。

表5-2に砥石半径減耗量 と削減率の関係を示す。研削 過程における砥石半径減耗量 を追跡していないので、詳細 に検討することはできないが. 研削100回では砥石半径減 耗量は削減率によってバラツ キを示す。とくに、ピッチ 1 mm、削減率 50% の場合 には大きな砥石半径減耗量 を示すが、これは、図5-4からわかるように非常に 細かいピッチで砥石表面が 削減されているために、砥 粒を保持している結合剤の 除去が行われたり、また、 切れ刃先端の鋭利なものが 増加したりし、研削初期にお ける切れ刃の破砕、脱落が 大きくなるためと考えられ



図5-11 研削過程における仕上面あらさの 変化



大きくなるためと考えられ。図5-12 砥石表面削減率と仕上面あらさの関係 る。しかし、研削100回以後の研削過程においては定常的に摩耗し、研削100回
につき 5 µの砥石半径減耗量を示し、削減率にかかわらず定常的な摩耗を行っ ているものと考えられる。図 5 - 10は研削初期における削減率と消費電力の 関係を示すものである。削減率 50 % では消費電力は約 30 % 下がり、ドレッ サー回転目直し装置で目直しを施した砥石の研削性能はこの点でも普通目直し のものより良好な結果を示す。

以上のように、ドレッサー回転目直し装置を用いれば砥石の研削寿命は大き く向上するが、ここで、この装置を用いた場合の仕上面あらさを検討しておく。 図5-11は、ピッチ1㎜、削減率50%の場合と普通目直しの場合の研削方 向に直角な方向の仕上面あらさを研削回数で表わしたものである。両方の場合 とも研削回数が増加しても初期の仕上面あらさは変化せず、仕上面あらさは研 削初期の砥石作業面性状によって決定されるようである。ただし、前章で述べた 結果では、研削初期には良く研削過程が進むにつれて悪くなり、その後、ある 一定値に達しているが、図における研削初期はこの一定値附近の研削過程に近 いものであり、前章の結果と矛盾しないものと思われる。図5-12は、 削減 率と研削方向に直角な方向の仕上面あらさの関係を示したものである。この図 から、削減率が増加するにしたがって仕上面あらさが悪くなることがわかる。 したがって、ドレッサー回転目直し装置を使用すれば砥石の研削寿命は向上す るが、仕上面あらさは悪くなり、この点では問題を残す。しかし、前章で述べ たように、仕上面あらさは工作物を送れば良くすることができ、また、一般の 研削においては最終工程の目直しだけは細かい目直しをすることが多いので、 普通目直しの場合でも最終工程では目直し条件を変えねばならず、最終工程以 外では仕上面あらさが多少悪くても問題にならないことを考えると、ドレッサ ー回転目直し装置は非常に有用な目直し装置であると考えられる。

3 振動目直し法

3-1 振動目直し装置と切れ刃の分布および形状の調節概念

振動目直し装置を図5-

13に示す。 振動目直し装置 はダイアモンドドレッサー②、 ドレッサーに大きな振幅を与 えるための振幅拡大ホーン③。 そのホーンに振動を与える振 動子④、振動子に振動を発生 させる超音波振動発振器⑦お よび振動子取付台⑤によって 構成される。振動目直しは振 動子取付台を研削盤のテーブ



① 砥石 ②999952>Fドレッサー ③機巾拡大ホーン ④ 版動子 ⑤ 植動子取付台 ⑥ ダイヤルヤーシャ ⑦ 超音流版動発根器 ⑧電磁チャック ③ 19 = 7* ⑩ 滅運機

図 5-13 振動目直し装置

ル上の電磁チャック⑧で固定し、まず、ドレッサーに振動を与えないで普通の 目直しを行ない、ドレッサーの砥石作業面に対する位置を決め、その後、ダイ アルゲージ⑥で所定の切り込みを設定し、ドレッサーに振動を与えながらテー ブル縦送りをす

ることによって なされる。この 際、テーブルの 横送りがあると ドレッサー切り 込み量が変化す るので、横送り





(105)

はクランプ9によって固定される。また、テーブル縦送りは減速機10の速度比 を変えることによって種々に変化させることができる。

この振動目直し装置による目直しを、普通目直しの後にドレッサー切り込み を与えずに行うと、理論的には図5-14に示すような砥石作業面附近のドレ ッサー先端の軌跡に従って、目直しが行われる。図5-14は砥石作業面を展 開したものであるが、この図において、ドレッサー先端の軌跡は

ここで、y,x:任意の時間 tにおける砥石作業面に対する垂直お

よび平行な方向のドレッサーの位置

α	:時間t=0におけるト	「レッサーの角位置
A 2	:ドレッサーの振幅	(µ)
f	:ドレッサーの振動数	(cps)
D	:砥石直径	(<i>mm</i>)
N	:砥石回転数	(rpm)
Т	= ^{πDN} 60f	

の正弦曲線で表わされる。それゆえ、普通目直しのように砥石作業面上におけ る全ての砥石が目直しされるわけではなく、ドレッサー先端が砥石に接触する 部分のみが除去される。したがって、普通目直しの場合よりもはるかに大きく 切れ刃の分布を調節することができる。また、振動目直しでは、普通目直しの ように砥石作業面と平行な方向から砥粒がドレッサーに衝突するのではなく、 砥粒に交差角θ(砥石作業面とドレッサー先端軌跡がなす角度)で衝突するの で、普通目直しの場合よりも切れ刃の平坦部および形状が図5-14で示した ように小さくかつ鋭くなると考えられ、切れ刃の統計的幾何学形状を鋭利にさ せ得る可能性がある。ただし、交差角 θ は

で表わされ、本実験の場合には $T = 1.4 \, \text{mn}$ 、A=40µであり、普通目直し後のド レッサー切り込みを0とすると $\theta = 5^\circ$ となり、切り込みを10µとすると $\theta = 1.5^\circ$ となる。

振動目直しによる切れ刃の分布および形状の調節は、以上のことを基礎概念 として、実際には、ドレッサーの切り込み、送り、先端幅、振幅および振動数 などの各運動条件の組み合わせによって行われる。ドレッサー切り込みは図5 -15に示すように 砥石作業面の削除率に影響する。そして、砥粒の破壊が理 論通り行われるなら

ば、図より、ドレッ サー振幅の A/2 を 越える切り込みによ って形成される切れ 刃分布は A/2 の時 の切れ刃分布に普通 目直しによって切れ 刃分布が粗になって いることを考慮する だけで決定される。



図5-15 ドレッサー切り込みと砥石作業面 の巨視的形状

(107)



刃分布に

影響するが、振動目直しの場合にはこの他にドレッサー送り sとドレッサー先 端幅の比 d/s が砥石作業面の除去率と直接的に関係し重要な値となる。図5 -16は d/sの値を考慮した場合の 砥石作業面の 模型展開図である。図より わかるように、ドレッサーの軌跡どおりに砥石作業面が形成されるならば、 d/sの値によって 砥石作業面の形成形態は 三種類にわかれる。すなわち、 d/s<1、 d/s=1、 d/s>1に分類され、 d/s<1の場合は オジ切り 状目直しとなるので、振動目直しでは不適切である。 d/s>1の場合には ド レッサー 軌跡の干渉現象により切り 刃の分布を非常に粗にすることが可能であ る。最後に、ドレッサー振幅および振動数についてであるが、前者は交差角と 除去深さに影響し、後者は交差角および除去率に関係する。 3-2 実験方法

実験条件を表5-3に示す。 切れ刃の分布はガラス板上に厚 さ約10μの媒をつけ、その上 に砥石作業面を転写し、顕微鏡 でガラス板上の切れ刃の跡を観 察することによって測定した。 詳述すると、砥石作業面上の3 個所の部分で30×10(m²) の面積を取り出し、切れ刃密度 はこれらの面積内に含まれる総 個数を総面積で割ることで、ま た、連続切れ刃間隔は長さ 30 mm、幅40μの線上の個数を 1 mm間隔ごとに10個所測定し、

総切れ刃数で総測定長さを割る

表5-3 実験条件

横便 器用		平面研削盤	Jung
		超音波発振器	超音夜工業社
		=, ケル 磁 重振 動 子	目上
砥		磁石の種類	A46MmV
石		外径	180mm
	*	砥石周重度	1900 ^m /min
a		送り速度	0.15mm/rev
E		切込什	10山(秋间)
L		FLy#-	単石ダイヤモンド
k	超	発振器出力	350W
俳	1	周波教	22.5 KC
יי	The second	振幅	20µ
	ø	砥石圈連度	1900 ^m /min
		进一建度	0.15mm/rev
	Ĩ	切之升(翻题)余)	0,10,20,30µ
被		材質	SK300 A9Hv800
H.		寸法	100 X10 mm ²
研		研削速度	1900 ^m /min
制		古於王	10µ/stroke
k		送り建度	(17ンジ研制)
14		テーブル速度	8 ^m ∕min
'1		研削剂	なし

ことで求めた。この転写法は第2章で述べたように脆弱層の除去および切れ刃 の破壊を伴なう可能性があり、定量的測定には問題があるが、本実験では砥石 作業面に小さな凹凸ができるため、顕微鏡による直接観察では切れ刃の判別 が難しいことと、多少の誤差が生じたとしても定性的には切れ刃分布の測定値 が信頼し得るという考えからこの方法を採用した。

3-3 振動目直しされた砥石の切れ刃分布

振動目直しを施した砥石の砥石作業面の状態を図5-17に示す。前項で述 べたドレッサー先端幅 d とドレッサー送り s による干渉効果を考慮して、 d = 150~200 μ のd/s =1とd = 300 μ のd/s =2 およびd/s =1 で2 回目直しを施した場合のドレッサー切り込み0 μ , 10 μ , 30 μ の条件 につい て示してい

(d/s=2)

(d/ss1)

切り込け

0 10 - 12 x

10 ju 47) "

デ オ 20 μ

177

і л

30 u

著風日道し

÷ •, •

る。また、

参考のため

普通目直し

を施した場

- 合も示した。
- 図より、普
- 通目直しよ
- りも振動目
- 直しを施し

た方が砥石

図 5 - 17 砥石作業面の性状に 及ぼす 振動目直し条件の影響

.....

作業面上の

切れ刃分布が粗になることがわかる。縞模様が観察されるのは、振動目直しによって砥石作業面上の砥粒が間欠的に破壊ないしは脱落させられていることを示し、前項で述べた概念に従って砥石作業面が形成されていることを明らかにしている。それゆえ、他の条件で縞模様が観察されないのは、ドレッサー軌跡が 干渉し、模様が消去されるか、または、砥粒の破壊が大きく模様を形成するだけの切れ刃が残留しなかったためと考えられる。

これらの分布状態を数量的に取り扱うため、顕微鏡で切れ刃の分布を測定し た結果を図5-18 および図5-19に示す。 図5-18は 目直し条件と切れ 刃密度との関係を求めたものである。振動目直しを施した場合には切れ刃密度 が非常に粗になり、振動目直し装置を使用すれば切れ刃分布を広範囲に調節し

得ることがわかる。また、振動目 直し条件に対する切れ刃密度はド レッサー切り込みを増加すれば、 d/s≒1の1回および 2 回目直 し、 d/s ≒2 の目直しのいずれの 場合も同じような傾向で粗になる が、ドレッサー切り込みを一定に すれば、 d/s≒2の目直しは d/s≒1の目直しよりも 密にな り、d/s≒1の1回および 2回 目直しではほとんど変化がないこ とがわかる。 d/s ≒2の目直し はドレッサー軌跡の干渉現象があ るため、 d/s ≒1の 目直しより も理論的には切れ刃分布が粗にな るべきであるが、実際の目直しで はドレッサー軌跡通りに砥粒が破 壊しないで大きく破壊する可能性 が強いことと、砥石作業面の理論 的除去率が非常に大きくなること で、普通目直しによって形成され た砥石作業面が全てなくなり、理 論的には除去された砥石作業面部 の砥粒が切れ刃として新作業面に



図 5-18 振動目直し条件による 切れ刃密度の変化



図5-19 振動目直し条件による 連続切れ刃間隔の変化

顕出するため、切れ刃密度が密になると考えられる。この考察は d/s ≒ 1 の 1回目直しでは縞模様が観察されるのに、 d/s ≒ 2 では ドレッサー 切り込み 0 μを除いて縞模様が消却されることから妥当であると考える。 d/s ≒ 1 の 2回目直しが1回目直しと切れ刃密度に大きな変化がないのも同様のことと考 えられる。

図5-19は図5-18と同じ砥石作業面の連続切れ刃間隔を振動目直し条 件によって比較したものであり、図5-18と同様なことが考察されるが、そ の他にドレッサーの切り込み量を多くすると d/s = 2 の場合には連続切れ刃 間隔があまりのびていないのに、 d/s = 1 の1回および 2 回目直しの場合に は大きくのびているのがみられる。ドレッサー切り込み量の増加に対する切れ 刃密度の減少率は同様な傾向を示すにもかかわらず、連続切れ刃間隔の増加率 に変化がみられるということは、切れ刃の大きさの分布が目直し条件によって 異なるということであり、振動目直しによって切れ刃形状の調節が可能である ことを示す。すなわち、 d/s = 1 の場合、ドレッサー切り込みを増加すれば 切れ刃の統計的幾何学形状が鋭くなることがみられ、目直し条件を種々に変え ることによって切れ刃の統計的幾何学形状をさらに変化させ得ることは可能と 考えられる。

以上、ドレッサーの送り速度、振幅および振動数を一定にし、ドレッサーの 切り込みと先端幅を変化させた場合の切れ刃分布を調べたが、さらに、一定に した三つの条件を変化させると砥粒の破壊形態の数量的調節、すなわち、切れ 刃の分布や統計的幾何学形状の調節を細かく広範囲にし得ることは十分考えら れる。

3-4 研削過程における切れ刃の挙動

ドレッサー切り込み 0 μで 振動目直しを施した砥石で寿命試験した場合の研

(112)





(c)研削回数 200回



(b) 研削回数 30回

(a) 目直L直後



(d)研削寿命(研削回数500回)

図5-20 研削過程における切れ刃の挙動

削過程における切れ刃の挙動を図5-20に示す。(a) は目直し直後の砥石作業 面に煤をつけ、その面をレプリカに取り観察したものである。それゆえ、(a)の 切れ刃で煤がついて黒くなっている部分は砥石作業面上の切れ刃であるが、煤 がうまくつかない場合や第2章で述べた脆弱層がガラス面上への転写やレプリ カ採取の際に除去された可能性もあるので、煤がついていない部分も切れ刃と して存在することが考えられる。このため、目直し直後の切れ刃を明確に把握 することは困難であるが、切れ刃面上に条痕が観察されることから考えて、定 性的に砥石作業面を 観察することは可能 である。そこで、(a) 上で観察される三つ の平坦で条痕をもつ 砥粒または結合剤(明確には区別し難い)の部分の研削過程 における変化を調べ たのが(b)、(c)、(d)で ある。これら三個所 のうち、(A).(C)の二 個所は研削30回で 全て、または、ほと んど除去され、残る (B)は研削過程におい てほとんど影響をう けず、寿命時になっ て始めてその一部が 影響を受ける。した がって、Bの部分は 振動目直しを施され



図5-21 研削過程における砥石半径減耗量 と切れ刃の挙動 (ドレッサー切り込み0μ)



と切れ刃の挙動

(ドレッサー切り込み10μ)

た谷の部分と考えられ、振動目直しによっても第2章で述べた目直し条痕がつ くことがわかる。

(114)

このような切れ刃の挙動を砥石半径減耗量の変化とともに数量的に調べた結 果が図5-21 および図5-22である。 両図は目直し直後の切れ刃数に対す る研削過程における切れ刃数の百分率をドレッサー切り込み 0 μと 1 0 μ に つ いて示したものである。ただし、目直し直後の切れ刃数はそれぞれ128個と 121 個である。 両条件の場合とも、 研削初期の砥石半径減耗量が多く、切れ 刃数が減少している。砥石半径減耗量が多いのは普通目直しの場合と同じであ るが、切れ刃数が減少するのは第3章で述べた普通目直しの場合と異なってい る。これは、普通目直しによって生成された切れ刃が研削初期の過渡的挙動を 経ると極く小さい部分しか切れ刃として残留しないことを考えると、普通目直 し後振動目直しを施す場合、振動目直しによってその小さな切れ刃として作用す る部分が除去される可能性が強いことと、振動目直しによって切れ刃の形状が 鋭くなり、研削することによって破壊することが原因と考えられる。研削初期 以後においては、切れ刃の破壊が非常に少なくなるのに対して、一度砥石作業 面より後退した切れ刃や新出切れ刃が砥石作業面に顕出し、寿命附近において は目直し直後の切れ刃数とほぼ同数になる。したがって、研削初期以降におい ては、振動目直しの場合においても巨視的には切れ刃は摩耗過程を示すものと 考えられる。

3-5 切れ刃の分布と砥石の研削性能

振動目直し条件に対する砥石の目直し間寿命の変化を図5-23に示す。 図 より、砥石に振動目直しを施せば普通目直しに比較して寿命が飛躍的に向上し、 その向上率はドレッサー切り込み量が増加するにつれて上昇することがわかる。 図5-24と図5-25に振動目直しによって形成された砥石作業面上の切れ 刃間隔と砥石の目直し間寿命の関係を示す。総体的には、切れ刃密度が減少し、 連続切れ刃間隔が長くなれば寿命がのびるが、 d/s = 1 で 2 回目直しを施し た場合にはほとんどのびない。 これは、前述したように、2回 目直しをする場合にはドレッサ ー軌跡の干渉現象のため、新砥 石作業面と谷との深さが浅くな り、少量の研削で谷の部分の砥 粒が切れ刃として顕出し、振動 目直しによって、切れ刃密度を 粗ないしは連続切れ刃間隔を長 くした効果が消滅する結果と考 えられる。その他にも、切れ刃 の幾何学形状が鋭いため研削初 期に破壊し、砥石半径 減耗量が非常に大きく なる結果、谷の部分の 砥粒が切れ刃として顕 出し、切れ刃密度が急 速に密になることも考 えられる。しかし、図 5-18 および図5-19 より切れ刃の統計 的幾何学形状が1回目 直しと2回目直しでほ とんど変化がないので、



図 5 - 2 3 振動 目直しを施された砥石の 目直し間寿命



(116)

切れ刃の幾何

学形状による

影響は少ない

ものと考えら

れる。図5-

26はドレッ

サー切り込み

- 30 μ で 2 回
- 目直しを施し

た場合の砥石

半径減耗量を

他の目直し条

件と比較した

ものである。

研削初期にお

ける砥石半径

減耗量は普通

目直しの場合

が最も少ない

が、振動目直しの中では前

述したように

700 ●書通目直し ■音波振動目直し 600 d,≰ ⊧1 🕁 500 d∕s = 2 + 1/5キ1で二国施にも場合 国 400 00 न्न ३०० 0 00 廣 200 100 Φ æ 0 5 連税切れ刃自爾Q(mm)

図5-25 連続切れ刃間隔と目直し間寿命の関係



図 5 - 2 6 目直し条件と砥石半径減耗量の関 係(ドレッサー切り込み30 μ)

切れ刃分布が最も粗であるにもかかわらず、寿命が他の振動目直し条件の場合 と比較してほとんどのびないドレッサー先端幅150 μ で 2 回目直しの場合に

(117)

砥石半径減耗量が最も小さく、上述の考察を裏付けている。なお、 d/s ≒1 の場合には砥石半径減耗量が大きくても、新砥石作業面と谷までの深さが深い ために寿命がのびることも同図から明らかになっている。

ドレッサー切り込み深さの目直し間寿命に及ぼす影響は以上の通りであるが、 次に d/s の影響を図5-27に示す。ただし、この実験で使用したドレッサーは頂角110°の円錐形に整形したダイアモンドであり、 d/s はドレッサー 先端を摩耗させ、先端幅を変えることによって変化させた。図において、連続 切れ刃間隔は d/s \approx 1.8 附近で、また、砥石の目直し間寿命は d/s \approx 1 附 近で最大値を示している。連続切れ刃間隔がd/s>1で最大値を示すのはドレッサー 軌跡の干渉現象のためであるが、 d/s>1.8 で連続切れ刃間隔が短かくなるのは、 すでに述べたように干渉が大きすぎ新砥石作業面と谷底との深さが浅くなるた めと考えられる。また、 d/s \approx 1 附近で寿命が最大値となるのも、すでに述 べたように d/s>1 では干渉現象のため切れ刃分布は粗になるが新砥石作業 面から谷底

までの深さ

が浅くなる

ので、研削 過程におけ る切れ刃の 顕出率が高

くなるため

と考えられ

る。



砥石の目

直し間寿命に及ぼすドレッサー切り込みおよび d/s の影響を調べた以上の結 果より、振動目直しの場合には切れ刃分布を調節するだけではなく、研削過程 における新出切れ刃の数が問題となり、これを考慮に入れた振動目直し法が今 後要求される。しかし、いずれにしても切れ刃分布および形状の調節は可能で あり、砥石の研削寿命を向上させ得ることは明らかである。この一方、仕上面 あらさは、振動目直し法の場合もドレッサー回転目直し法と同様仕上面あらさ が普通目直しよりも悪くなるという結果を得ている。プランジカット研削では 切れ刃分布を粗にすれば仕上面あらさが悪くなるのは前節においても示してい るが、第4章で述べたように、テーブル送りを与えることによって仕上面あら さを良くすることは可能である。また、原田³によって、ドレッサーのかわり に超硬板を使用すれば鏡面研削が可能なことが明らかにされている。したがっ て、今後さらに改良すべき点は多々数えられるが、振動目直し法は砥石の目直 しに非常に有用であると考えられる。

4 結 論

砥石の研削寿命を向上させるために、切れ刃分布や切れ刃の統計的幾何学形 状の調節が可能と考えられるドレッサー回転目直し装置と振動目直し装置を考 案し、それらの装置で目直しを施した砥石作業面性状を調べるとともに、砥石 の寿命試験を行った結果、次の事柄が明らかになった。

- ドレッサー回転目直し装置を使用すれば切れ刃分布を非常に粗に調節し 得る。また、振動目直し装置を使用すれば、切れ刃分布の他に切れ刃の 統計的幾何学形状の調節もできる可能性がある。
- 2)これらの特殊な目直し装置で目直しを施すと、普通目直しの場合と比較 して、砥石の研削寿命は大きく向上し、その向上率は数倍から10倍に

もなる。

- 3)これらの特殊な目直し装置で目直しを施した砥石の研削過程における切れ刃の挙動は破壊や脱落も多少あるが、巨視的なみかたをすれば摩耗過程とみなせる。
- 4)ドレッサー回転目直し装置で目直しを施した砥石の研削寿命は砥石表面 削減率の増加、すなわち、切れ刃分布の減少とともに伸び、消費電力は 減少する。また、砥石半径減耗量は研削初期には砥石表面削減率によっ て影響されるが、それ以降は影響されない。
- 5)振動目直しされた砥石の研削寿命は目直し直後の切れ刃分布だけでは判断し得ず、目直し後の砥石作業面と谷までの深さも考慮に入れねばならない。
- 6)両特殊目直し装置で目直しを施された砥石の仕上面あらさは普通目直し と比較して悪くなる。

参考文献

1)横尾、瀬戸、田戸:精密機械,36-9(1970)643
2)田中、津和、河村:精密機械,31-5(1965)397
3)原田:精密機械,34-3(1968)166

第6章 総 括

研削盤の自動化による研削作業の高能率化が近年著しく発展しているのに対して、研削作業条件はまだ経験的な設定がなされており、研削現象を考えた理論的設定方法の確立が切望されている。

研削作業条件を理論的に設定するためには、各作業条件における砥石の研削 性能を定量化する必要がある。この定量化に際しては、砥石の研削性能が砥石 作業面性状によって変化することを考えると、各作業条件のもとでの砥石作業 面性状の変化の定量化ならびに砥石作業面性状と研削焼けや仕上面あらさ等の 各寿命判定基準との関係を定量的に明らかにしなければならない。従来、これ らに関する多くの研究がなされているが、まだ十分でない。とくに、目直し条 件と寿命時の砥石作業面性状の関係や研削による砥石作業面性状の変化に及ぼ す目直し条件の影響など、目直しに関する事柄が明確になっておらず、研削作 業条件の理論的設定に対して、大きな問題となっている。

そこで、本研究は最適研削条件の理論的設定方法の確立をめざし、通常良く 使用される単一ダイアモンドドレッサーで目直し作業を行なう場合の目直し条 件と砥石の研削性能の関係を砥石作業面性状を媒介として定量化し、さらに、 その結果を用いて砥石の研削性能を向上させ得る目直し装置の開発を試みたも のである。

本研究の結果明らかになった事柄はそれぞれの章の結論で述べたので、ここではそれらを通観して主要な事柄のみを記述する。

(1) 第2章では、目直し切れ刃を数種の顕微鏡で直接観察し、目直し切れ刃の表面形態が従来報告されているような微小凹凸面で構成されているのではなく、条痕は有するが非常に平坦な面であることを明らかにした。また、

走査型電子顕微鏡による目直し切れ刃の表面形態、ならびに、研削初期の 砥石の非定常損耗領域における切れ刃の追跡を行うことによって目直し切 れ刃の表面構造を究明し、平坦な面は微小亀裂または微小砥粒によって構 成され、非常に脆弱であることおよびその脆弱層の下層部には微小凹凸面 が存在することを示した。そして、レプリカ法で目直し切れ刃の表面形態 を観察することによって、従来行われているレプリカ法では脆弱層が除去 されるため、微小凹凸面が観察されることを確めた。さらに、目直し切れ 刃の脆弱層が研削抵抗に及ぼす影響を調べ、研削初期には脆弱層が影響す るため、研削抵抗が高くなることを示した。

(2) 第3章では、まず同一目直し条件で目直しを繰り返した場合の砥石作業 面性状の変化を調べた。そして、総目直し切り込み量が小さい時には目直 し前の砥石作業面性状の影響を受けるため砥石作業面性状は変化するが、 ある程度総目直し切り込み量が大きくなると砥石作業面性状は目直し過程 に影響されずほぼ一定の状態になることを各種目直し条件および砥石につ いて見い出した。また一般に使用される目直し条件を用いて砥石作業面性 状を調節するには、目直しによって形成される砥石作業面性状のパラツキ を考えれば、目直し条件を大きく変化させる必要があることを示した。と くに、過渡目直し過程では砥石作業面性状のバラツキが大きいことから、 希望する砥石作業面性状を目直し過程において目直し条件を変化させるこ とによって得ることは困難であることを明らかにした。さらに、同一目直 し条件で目直しを繰り返し、一定の状態になった砥石作業面性状を目直し 過程の基準にとれば、砥石作業面性状を目直し過程を含む目直し条件で決 定し得ることを明らかにした。

次に、目直し直後から研削焼け以後の研削過程までにおける切れ刃密度、

切れ刃面積率および砥石半径減耗量などを測定し、以下の事柄を見い出した。

- (i) 研削過程における切れ刃密度は研削初期には、多少変化するが、それ 以後はほとんど変化せず一定とみなせる。そして、その一定値は目直し 条件と対応する。
- (ii) 切れ刃面積率は研削初期には脆弱層が除去されるため減少するが、それ以後研削焼けが生じる附近までは漸増し、研削焼け以後に急増する。
- (ii) 砥石半径減耗量は研削焼けが生じる附近で勾配が変るが、研削過程に対して近似的に直線関係で増加する。
- (V) 砥石半径減耗量と切れ刃面積率は近似的に二次関数で表わし得る。

そして、これらの結果より、研削による砥石作業面性状の変化は切れ 刃逃げ面摩耗面積、言いかえれば、切れ刃面積率の増加による変化とみなせ ること、また、切れ刃の統計的幾何学形状が円錐台や角錐台などの非常 に簡単な模型で表わせることを明らかにした。さらに、円錐台の模型を 使用して、研削による砥石作業面性状の変化が目直し条件によって決定 される np. θ. 72 を用いて、

 $\eta_{\theta} = (\sqrt{\pi \cdot n_{\rm p}} \cdot \tan \theta \cdot \Delta R \times 10^{-2} + \sqrt{\eta_2})^2$

で表わし得ることを示し、目直し条件によって、一義的に決定されることを明らかにした。

(3) 第4章では、まず、通常使用されているビトリファイド砥石では作成困難である粗な切れ刃分布とともに大きな切れ刃面積率をもつことのできる メタルボンド砥石の作成方法を示した。そして、ビトリファイド砥石とメ タルボンド砥石を使用し、研削焼けが生じる砥石作業面性状を詳細に究明 し、研削焼けは切れ刃面積率5%附近で生じ、連続切れ刃間隔にはほとん ど影響されないことを明らかにした。また、砥石作業面性状と研削抵抗の 関係を調べ、研削焼けが生じる附近までは研削抵抗は近似的に直線的に増 加し、研削焼けが発生する附近で急増することを示した。これらの結果、 砥石半径減耗量の変化が研削抵抗と同様な結果であることが前章で得られ ていることを考えると、研削焼け、研削抵抗および砥石半径減耗量を砥石 の寿命判定基準とする場合には砥石の寿命は切れ刃面積率4~5%の間に あり、目直し間寿命はほぼ同じであることが明らかになった。

次に、砥石作業面性状と研削抵抗の関係を解析し、さらに、その解析結 果を利用して、工作物表面に研削焼けが発生する熱量が近似的に次式で表 わせることを示した。

$$Q = \frac{\mu \cdot P \cdot \ell_c \cdot V \cdot \eta_b}{J \cdot v} \times 10^{-3}$$

また、前章の結果を用いて研削焼け、研削抵抗および砥石半径減耗量を寿 命判定基準とする場合の目直し間寿命を次式で表わした。

$$L_{f} = \frac{\sqrt{\eta_{f}} - \sqrt{\eta_{c}}}{\Delta R_{1} \cdot \sqrt{\pi \cdot n_{p}} \cdot \tan \theta} \times 10^{2} + C$$

上式より、目直し間寿命を長くするためには、切れ刃分布を粗にし、切れ 刃の統計的幾何学形状を鋭くすれば良いことが明らかになった。

最後に、砥石作業面性状と仕上面あらさの関係を調べ、仕上面あらさに は切れ刃分布、切れ刃逃げ面の大きさおよび切れ刃の表面形状が影響する ことを確かめた。そして、仕上面あらさを良くするためには切れ刃分布を 密にし、切れ刃逃げ面面積を小さくし、さらに、逃げ面を微小凹凸面構造 にすればよいことを示した。

(4) 第5章では、前章までの結果を考え、砥石の研削寿命を向上させ得る二 種類の特殊な目直し装置を考案した。ドレッサー回転目直し装置と振動目 直し装置で、前者は切れ刃分布を非常に粗にし得るもので、後者はその他 に統計的幾何学形状も調節可能なものである。そして、これらの目直し装 置で目直しを施した砥石の寿命試験を行い、その研削寿命は単一ダイアモ ンドドレッサーで目直しを施した場合に比較して数倍から10倍も向上す ることが明らかになった。また、消費電力を比較すると少なく、定常損耗 領域における砥石半径減耗量はほとんど変化しないことを確かめた。さら に、切れ刃の挙動を調べたが、研削による破壊や脱落は少なく摩耗する切 れ刃が多いことが見い出された。

結

言

終りに本研究の遂行にあたり、終始かわらぬ御指導、御鞭撻を頂いた恩師大 阪大学津和秀夫教授に深甚の謝意を表わすとともに、いろいろ御教示を賜わっ た大阪大学田中義信名誉教授、山田朝治教授、築添正教授、井川直哉教授、牧 之内三郎教授、中川憲治教授ならびに精密工学科の諸教官に厚く御礼申し上げ ます。また、明田勇蔵助教授、難波義治助教授、大森義市講師はじめ津和研究室 ならびに井川研究室の方々に厚く感謝する次第です。

最後に、本論文を作成するにあたり、御助言と御助力を賜わった熊本大学松 尾哲夫教授を始め熊本大学工学部生産機械工学教室の諸教官に厚く御礼申し上 げます。