

SNCM26およびSCM21鋼の

円筒プランジ研削について

横尾 嘉道・瀬戸 雅文・田戸 保

Cylindrical Plunge Grinding for SNCM26 and SCM21 Steels

Yoshimichi YOKOO, Masafumi SETO, Tamotsu TADO

Abstract

This paper describes some experiments with cylindrical plunge grinding to select the adaptive wheels and the grinding conditions for SNCM26 and SCM21 steels. The main results obtained are as follows.

- (1) The best of the used wheels is WA46KMV.
- (2) The peripheral speed 1900m/min and the velocity ratio 40 are the best of the grinding conditions.
- (3) Three types of wheel wear are observed with increasing infeed rate.
 - (i) In the 1st region, grinding wheels wear a little mainly by attritious wear and grain fracture.
 - (ii) In the 2nd region, grinding wheel wear changes rapidly from attritious wear and grain fracture to bond fracture.
 - (iii) In the 3rd region, grinding wheels wear mainly by bond fracture.

1. 緒言

円筒プランジ研削は円筒トラバース研削と並んで工作物の円周外面の精密研削加工に多く用いられているが、現在では重研削加工にも相当利用されている¹⁾。しかしながら、研削加工結果に影響する因子は非常に多く、幾多の先進研究者の手により、その機構の解明が急がれているが、精密研削加工の分野でさえ、その一部を除いては不明なところが多い。まして重研削加工の分野では、まだ研究成果の発表されたものは数少ない現状である。

著者らは歯車・軸用として広く用いられているSNCM26およびSCM21を円筒プランジ研削する場合の加工条件とそれらを重研削加工するのに適した研削砥石を選定する目的で実験的研究を行った。実験結果の判定資料として砥石損耗量、研削抵抗ならびに工作物表面あらさなどを測定したが、砥石の選定に当たっては、一定研削量に対する砥石損耗量を主体的に考え、他のものを補助的な参考資料とした。

2. 実験装置、供試材料ならびに実験方法

2.1 実験装置ならびに供試材料

実験に使用した装置ならびに供試材料は表1に示す通りであるが、研削盤の砥石車回転速度、テーブル送り速度および砥石切込み速度はいずれも無段変速できるように改造したものである。

2.2 実験方法

実験の方法は表2に示す通りである。数種の砥石を用いてその性能を比較するのに、まずどのような加工条件で行うべきかが問題であるので、比較する加工条件の選定を最初に行った。この場合は速度比として20、40ならびに60の3種類を、研削速度として1900ならびに1700 m/minの2種類を採用した。つぎに選定した加工条件(研削速度1900m/min, 速度比40)によって、表1に示した4種の砥石につき切込み速度を表2の6種類に変化させて実験を行った。いずれの実験においても、工作物はマンドレルに固定し、一つの実験条件に対して2分間のプランジ研削を行い、スパーク・アウトは行わなかった。

*宇部工業高等専門学校機械工学科教室

表1. 実験装置および供試材料

(1) 円筒 研削盤	近藤製作所製 GLOSS 450H型 (砥石軸駆動用電動機 2.2KW) 研削しうる最大長さ 470mm 研削しうる最大直径 120mm							
(2) 工作物	種別	成分 (%)						ブリネル 硬度
		C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	
	SNCM26	0.14	0.26	0.93	1.51	0.48	2.96	343
	SCM21	0.16	0.28	0.69	0.99	0.16	—	236
	共に熱処理したもの 寸法 (D×T×H) 120×10×24							
(3) 研削 砥石	WA60KMV, WA60LMV WA46KMV, WA46LMV 寸法 (D×T×H) 305×27×127							

表2. 実験方法

(1) 研削方式	円筒プランジ研削 (湿式)	
(2) 目直し 条件	(A) ドレッサ	単石1カラット
	(B) 砥石軸回転数	1800 r.p.m.
	(C) 目直し速度	360mm/min (0.2mm/rev)
	(D) 切込み	25μで2往復 (注油)
(3) 加工条件	(A) 研削速度	1900, 1700* ^m /min
	(B) 速度比	20*, 40, 60*
	(C) 切込み速度	0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0mm/min
	(D) 研削油剤	エマルジョン1%溶液. 20 ^l /min
	(E) 研削時間	2分間 (スパークアウトなし)

註 *印は加工条件を比較する時のみ使用

砥石損耗量の測定は転写法によって行い、損耗量の少ない時には前実験²⁾と同様に仕上面検査機を利用したが、損耗量の多い時には、この方法が行えないので、型板を工具顕微鏡で測定してその値より算出した。

研削量は、研削前後の工作物直径をマイクロ・メータで測定し、それらの値より算出した。

研削抵抗は、心押合側センタにストレイン・ゲージを張り、その出力を動ひずみ計を通じて記録計に導き、記録した曲線より平均の抵抗値を算出した。

工作物表面あらさの測定は、東京精密製のサーフコム2B型によりカット・オフ0.8mmで円周上8箇所での平均あらさ(Ra)を測定し、その平均値を求めた。

3. 加工条件の選定結果ならびに考察

この実験では、工作物としては SNCM26 を、研削砥石としては WA60KMV を使用した。表2の加工条件のうち、研削速度を 1900m/min 一定として(B)の速度比を変えた場合を図1-a, bおよびcに、速度比を40一定として(A)の研削速度を変えた場合を図2-aおよびbに示す。砥石損耗量は切込み速度との関連よりは研削量との関連がより重要と考えられるので、図1-aおよび図2-aにおいては横軸に研削量を採用した。これより一般に多く用いられている研削比は

$$\text{研削比} = \frac{\text{損耗量}}{\text{砥石研削量}} = \frac{\text{横座標の値}}{\text{縦座標の値}}$$

としてその概略値を知ることができる。

図1-a からわかるごとく、砥石損耗量はいずれもは

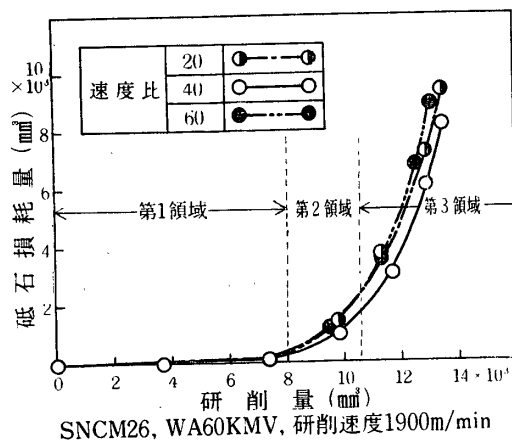


図1-a 速度比を変えた場合の砥石損耗量と研削量との関係

じめ研削量に比例してわずかずつ増加するが、研削量 $8 \times 10^3 \text{mm}^3$ ぐらいから急激に増加する。この急速に曲る点は渡辺氏³⁾ が提唱した臨界外力が働いている点（以下臨界点という）と考えられる。そして、この臨界点までは、砥石の減耗を支配していたものは主として砥粒の摩滅摩耗と破碎摩耗であるので砥石の損耗量は少ない。しかし臨界点を過ぎると、砥石の減耗は主として脱落摩耗に支配されるようになるので、砥粒の脱落が急激に多くなり、砥石損耗量は急激に増大するものとする。以上のことや、後に検討する研削抵抗ならびに工作物表面あらさのことを総合して考えれば、砥石損耗の形態として、次の3つの領域に分けて考えると都合がよい。

- (1) 第1領域……主として砥粒の摩滅摩耗ならびに破碎摩耗により砥石が損耗する領域。
- (2) 第2領域……砥粒の摩滅摩耗・破碎摩耗が砥粒の脱落摩耗に急激に変化する領域。
- (3) 第3領域……主として砥粒の脱落により砥石が損耗する領域。

また、3種の速度比間の差はわずかであるが、速度比40の場合の砥石損耗量が最も小さい。

つぎに研削抵抗について言えば、図1-b からわかるごとく、接線抵抗 (F_T)・法線抵抗 (F_N) とともに切込み速度 1.0mm/min までは切込み速度にほぼ比例する（第1領域）が、臨界点近く（第2領域）でその増加の割合は小さくなり、その後（第3領域）は切込み速度の増加とともにゆるやかに増加する。また速度比の異った3者間の相違について述べれば、 F_T では顕著な差はないが、 F_N では速度比40の場合が最も小さく、したがって抵抗

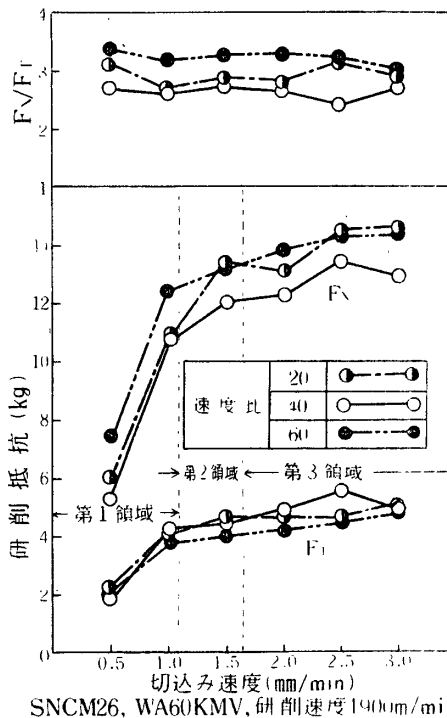


図1-b 速度比を変えた場合の研削抵抗と切込み速度との関係

比も最小である。

つぎに工作物表面あらさについていえば、図1-cか

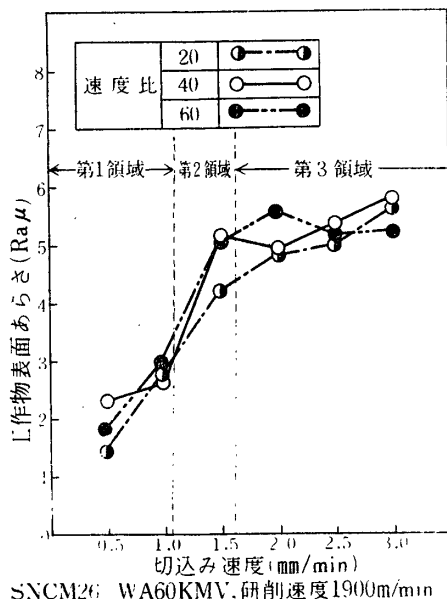


図1-c 速度比を変えた場合の工作物表面あらさと切込み速度との関係

らわかるごとく、表面あらさは切込み速度の増加につれて増加するが、その増加の傾きが始めゆるやかで中頃は急で終りにまたゆるやかになり、緩—急—緩の形をなし

ており、この変化は前述第1—第2—第3領域に対応している。第1領域では、砥粒の脱落はほとんどなく、砥石の表面で工作物表面がこすられるのみであるから表面あらさも小さいが、第2領域では急増していく脱落砥粒によって工作物が傷つけられるので、表面あらさも急上昇するようになる。それより切込み速度の大きい第3領域では、脱落砥粒の数は増加するが、工作物はほぼ一定の大きさの砥粒で傷められるのみであるから、表面あらさはさほど増加しないものとする。また同図より、速度比の異った3者の表面あらさは大差ないといえる。

つぎに研削速度の影響についていえば、図2-a から

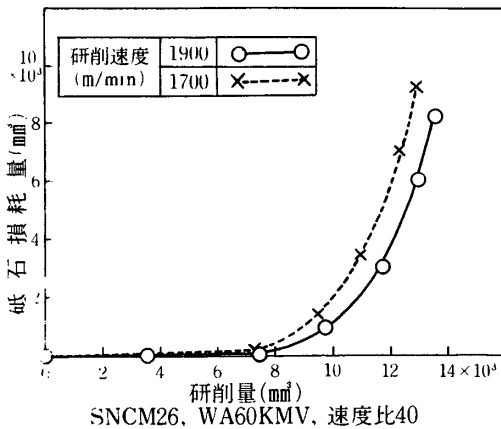


図2-a 研削速度を変えた場合の砥石損耗量と研削量との関係

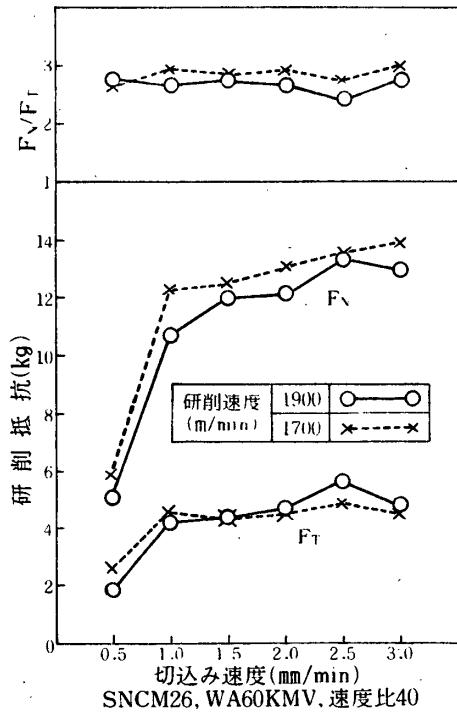


図2-b 研削速度を変えた場合の研削抵抗と切込み速度との関係

わかるように、同一量研削するのに、研削速度 1900m/minの方が明らかに砥石損耗量が少いといえる。これについては、砥粒切削は負のすくい角であるが、佐々木氏ほか2名⁴⁾が述べているごとく、研削速度を高くすれば、切くずは生成され易くなり、研削抵抗の実測の結果は、図2-bに示すごとく、接線抵抗ではあまり差異はないが、法線抵抗では研削速度 1900m/minの場合が明らかに小さな値を示している。

以上のようにして砥石損耗量、研削抵抗ならびに工作物表面あらさに及ぼす加工条件の影響を調べたが、実際に研削する場合には砥石損耗量が経済的にみて一番問題になると考えられるので、それに重点を置くことにした。そこで実験を行った範囲内で最も砥石損耗量の少なかった研削速度 1900m/min、速成比40を研削砥石の比較加工条件として採用することにした。

4. 研削砥石の比較実験結果ならびに考察

4.1 SNCM26加工用研削砥石の比較

前述の加工条件で表1の研削砥石を用いて実験した場合の砥石損耗量、研削抵抗および工作物表面あらさの値を図3-a, bおよびcに示す。これらの図においてWA46LMVの砥石の場合は、研削量で $9.9 \times 10^3 \text{mm}^3$ まで、切込み速度で1.5mm/minまでしか示していないが、これは一段上の切込み速度(2.0mm/min)では研削動力が過大となってブレイキ音を発し、砥石の回転が停止しそうなったので研削を中止したためである。

図3-a から、粒度60の砥石では結合度をKからLに

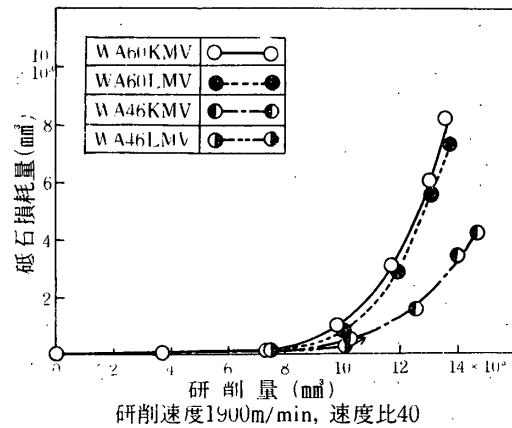


図3-a 砥石を変えてSNCM26を研削した場合の砥石損耗量と研削量との関係

変えて硬くしても、砥石損耗量は大差なく、多少減少している程度であるが、粒度を60から46に変えると砥石損

耗量は格段に減少しているといえる。この点から見て、重研削の場合には結合度を変えて硬くするよりも、粒度をあらくした方が砥石損耗量は少なくてすむといえる。

次に、接線方向の研削抵抗は研削砥石の種類によって大差ないが、法線方向のそれは研削砥石の60K→60L→46K→46Lの順に大きくなっていることが図3-bよりわかる。また、図3-aおよびbより、60Kおよび

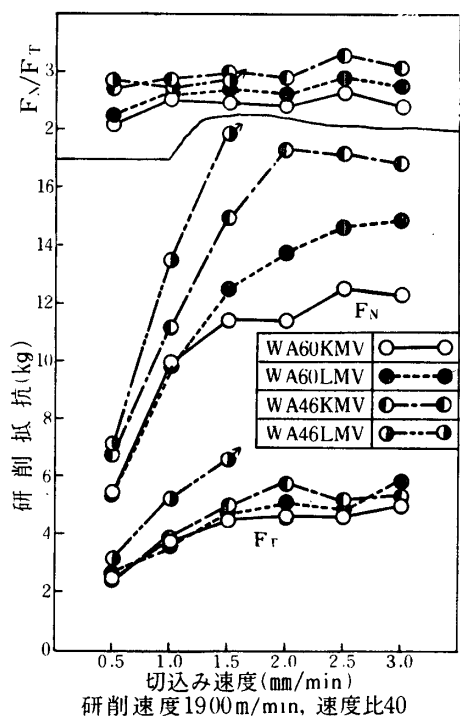


図3-b 砥石を変えてSNCM26を研削した場合の研削抵抗と切込み速度との関係

60Lの砥石が研削量約 $8 \times 10^3 \text{mm}^3$ (切込み速度1.5mm/min)で臨界点に達するのに、46Kの砥石は研削量約 $12 \times 10^3 \text{mm}^3$ (切込み速度2.0mm/min)で臨界点に達するので、そこまでは抵抗が直線的に増加することになり、それ以上で比較的高い法線抵抗値となることは止むを得ないことであると考えられる。むしろ、切込み速度1.5mm/minまでは46Kの法線抵抗が60Lのそれと大差ないことを考えれば、重研削の場合には、結合度を硬くするよりも、粒度をあらくした方が好ましいことを裏付けているものと考えられる。次に工作物表面あらさについては、図3-cより、前に述べた緩-急-緩の傾斜で表面あらさが大きくなっているといえる。ここで特筆したいのは、切込み速度1.5mm/minでは全般的にみて粒度のあらい#46の砥石の方が#60の砥石の方より工作物の表面あらさが小さいことである。これは上述の切込み速度に

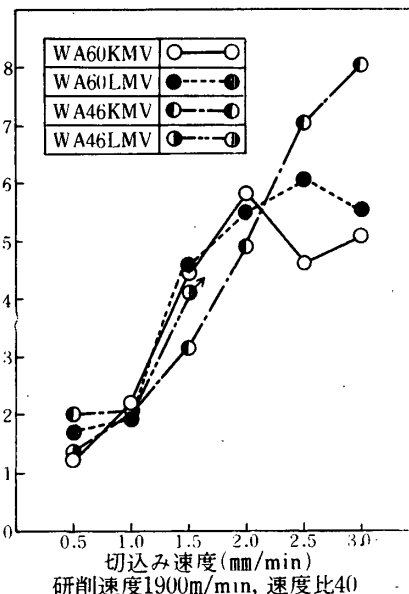


図3-c 砥石を変えてSNCM26を研削した場合の工作物表面あらさと切込み速度との関係

おいては、#46の方は第1領域に近く(第2領域にあるが)砥粒の脱落が少ないのに比べ、#60の方は砥粒の脱落が多く、これらが工作物の表面を損傷して表面あらさを悪くしていると考えられる。

次に、この実験中における研削抵抗(F_N 成分)の時間的変化の様子を示すと図4の通りである。同図より第1

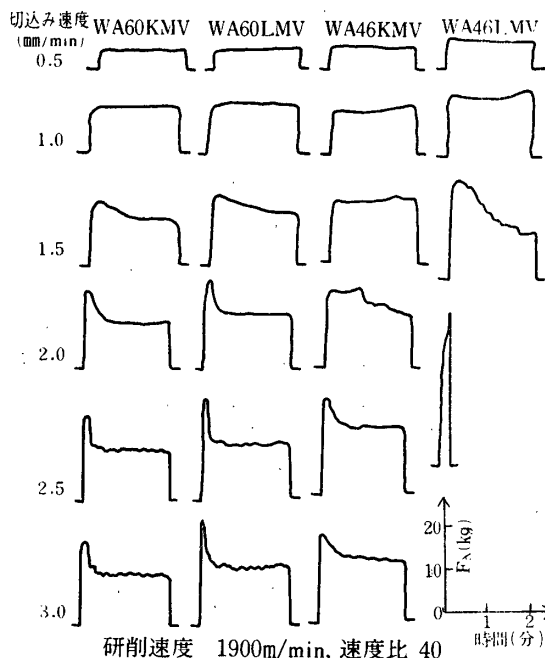


図4 砥石を変えてSNCM26を研削した場合の研削抵抗(F_N 成分)の時間的変化

領域の臨界点に達する前 (#60の砥石で切込み速度 1.0 mm/min 以下, #46の砥石で切込み速度1.5mm/min 以下の時) の抵抗の値は漸増するものもあり, 漸減するものもあるが, 大体においてほぼ一定値を示す。つぎに第2領域の臨界点近傍 (#60の砥石で切込み速度 1.5mm/min, #46の砥石で切込み速度2.0mm/minの時) の抵抗の値は全体的に漸減の傾向がある。また, 第3領域の臨界点以上 (#60の砥石で切込み速度 2.0mm/min 以上, #46の砥石で切込み速度2.5mm/min以上の時) の抵抗値は研削開始とともに一時大きな値になるが, 急速に低下して, 後ではほぼ一定の値に落付いて行く傾向がある。

4.2 SCM21加工用研削砥石の比較

前述の条件にて SCM21を研削した場合の砥石損耗量, 研削抵抗ならびに工作物表面あらしの値を図5-a, bならびにcに示す。

図5-aからわかるごとく, SCM21を研削した場合の

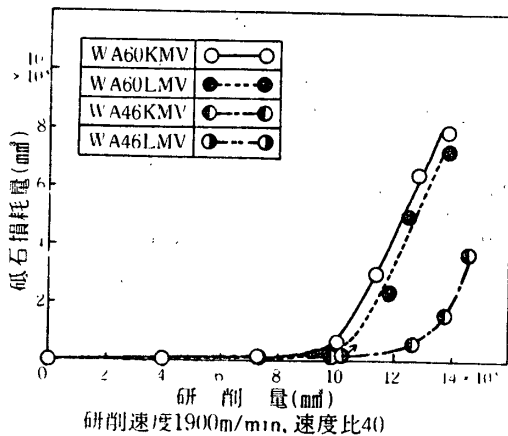


図5-a 砥石を変えてSCM21を研削した場合の砥石損耗量と研削量との関係

砥石損耗量は SNCM26を研削した時と傾向は似ているが, 後者に比べて臨界点は右に寄っており, 第1領域にはいる範囲が広い。これはR. A. Dahlin氏ら⁵⁾が示すように, 前者が後者よりも硬度が低い点に原因があると思われる。しかし, 臨界点を過ぎると砥石損耗量は SNCM26より急速に増大する傾向がある。

つぎに, 図5-bからわかるごとく, SCM21を研削した場合の研削抵抗も SNCM26の時とほとんど変わらないが, どちらかといえば前者の法線抵抗が全般的に小さい。

工作物表面あらしについても, 図5-c からわかるごとく, SNCM26を研削した場合と大差ないが, WA46K

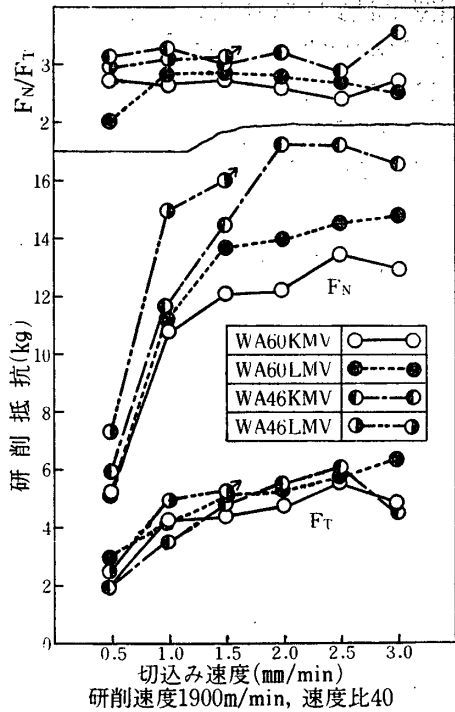


図5-b 砥石を変えてSCM21を研削した場合の研削抵抗と切込み速度との関係

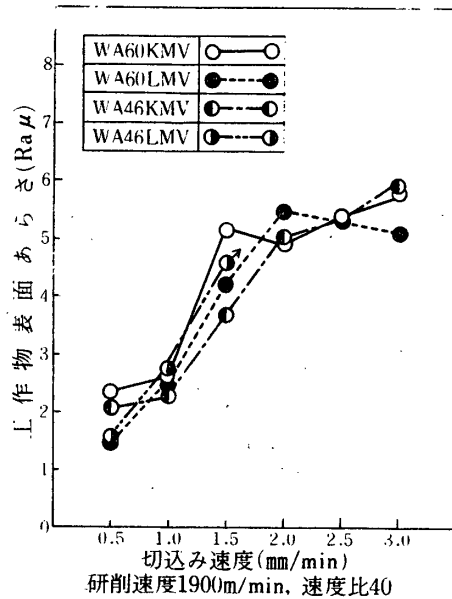


図5-c 砥石を変えてSCM21を研削した場合の工作物表面あらしと切込み速度と関係

砥石の切込み速度 2.5 および 3.0mm/min の場合にかなり大きい値を示しているのが目立つ。これについては SCM21の延性が大であることが原因ではないかと考える。

5. 論 結

WA砥石によってSNCM26およびSCM21の円筒プランジ研削を行った本実験で得られたおもな結果はつぎの通りである。

- (1) 本実験で行った範囲内では、加工条件としては研削速度 1900m/min, 速度比40の時が砥石損耗量は最も少ない。
- (2) SNCM26ならびにSCM21のいずれの場合も、研削砥石としてはWA46KMVが最もよいように思われる。
- (3) 切込み速度を変えて研削を行った場合、砥石損耗量, 研削量ならびに工作物表面あらさはつぎの3つの領域に区別することができる。

(i) 第1領域

砥石の減耗は主として摩滅摩耗や破碎摩耗に支配されてその損耗量は少なく、切込み速度に比例して増加する。研削抵抗は接線・法線両分力ともに切込み速度に比例して増加する。工作物表面あらさは切込み速度の増加とともにゆるやかに増加する。

(ii) 第2領域

砥石の減耗は摩滅摩耗や破碎摩耗から脱落摩耗へ変換する区間で、砥石の損耗量も急変し、研削抵抗も第1領域の比例関係が失われる。工作物表面あらさは急激に大きくなる。

(iii) 第3領域

砥石の減耗は主として脱落摩耗に支配されて砥石の損耗は多く、切込み速度の増加につれて急増する。研削抵抗は両分力ともにゆるやかに増加する。工作物表面あらさは、第2領域の急増後、一般的にゆるやかな増加お続ける。

なお、本研究は精機学会の鉄鋼材料の重研削に関する研究分科会の共同研究の一部であり、本分科会の主査熊本大学工学部松尾哲夫教授はじめ各委員の方々の御指導の賜であり、ここに感謝の意を表します。また、本実験に材料の提供その他で種々ご便宜を与えて下さいました三菱製鋼長崎製鋼所、住友金属工業小倉製鋼所、クレトイン株式会社ならびに日本陶器小倉営業所のご好意に深く感謝します。

参 考 文 献

- 1) 研削加工研究会：研削加工条件に関する調査結果，技研所報，7，5（昭46）163.
- 2) 横尾，瀬戸，田戸：研削性能に及ぼす目直し速度の影響，精密機械，36，9（1970）645.
- 3) 渡辺半十：砥石の結合度に関する研究（第1報），精密機械，27，1（1961）8.
- 4) 佐々木，岡村，宮島：砥粒の切削機構について（第2報），日本機械学会論文集，29，199（昭38）533.
- 5) R. A. Dahlin, W. R. Backer: Cylindrical Abrasive Machining, Machinery, (1965) 8-11, p. 310.