センタレス研削盤動力計の試作とアルジルのセンタレス研削*

—アルジルの研削加工に関する研究 (第1報)—

財満 鎮雄**・高橋 幸男***・下江 汪****・滝水 莞爾****

Study of centerless grinding of alusil with trial made centerless grinding dynamometer*

Studies on grinding of alusil (1st Report)

UDC 621.924 : 669.715'782-14

ZAIMA Shigeo**・TAKAHASHI Yukio***

SHIMOE Hiroshi*** and TAKIMIZU Kanji****

The grinding machinability of alusil by centerless grinder is discussed in this paper in comparison with that of mild steel having almost the same hardness as alusil. The grinding energy, in particular, centerless grinding energy has hitherto been considered very difficult to be measured. However, a digital type grinding dynamometer was manufactured for trial for this measurement by applying a recently developed measuring circuit, in which pulse signal is used as a sort of time measuring scale. The dynamometer was found to be very useful, because it attains good stability and high accuracy and can readily and directly indicate instant power changes.

The results were summarized as follows.

The grinding torque and its tangential component of alusil were slightly less than those of mild steel having almost the same hardness as alusil. But the grinding time for a certain decrement of diameter in alusil was longer than that for the same decrement in mild steel. The roughness of finished surface after centerless grinding was superior in alusil to that in mild steel by NF-roughness. However, as the results of the minute observation of the both surfaces, the surface of mild steel was better finished than that of alusil.

(Received Feb. 6, 1968)

1. 緒 言

最近、ピストン材など耐熱、耐摩耗高力アルミニウム合金鋳物として開発されてきた高ケイ素アルミニウム合金“アルジル”はその機械加工が困難なためいくつ問題をかかえている。ここにアルジルの研削加工を対象として、平面研削およびセンタレス研削におけるその被加工性を検討し、あわせてアルジルの研削に最適の加工条件を見出すための実験的研究を実施したゆえんである。

本報では主としてアルジルのセンタレス研削を取扱うが、従来から研削動力の測定に関する研究は少なく、とくにセンタレス研削の場合には文献、資料なども皆無に等しい状況であるので、この際著者らの試作したセンタレス研削用動力計についても簡単に説明を加える。

2. 試作せるセンタレス研削盤動力計

2.1 研削盤動力計の概要

ここで試作した動力計は、最近開発されてきたパルス

信号を1種の時間測定用スケールとして用いる測定回路を応用したデジタル型動力計で、安定した高精度のしかも瞬時の微小動力変化にも容易に追従した直続動力計であることがわかった。

Fig. 1 はセンタレス研削中における研削動力測定回路の概要を示す。研削盤主軸の両端に歯数90枚、モジュール1.25に成形した2枚の歯車を取付け、これらの歯車上

Fig. 1 Illustration of centerless grinding dynamometer.

* 本報は軽金属学会第32回春期大会 (42-5-24) にて講演したものの一部である。

** 静岡大学工学部 (浜松市) Shizuoka University, (Hamamatsu)

*** ㈱日進機械製作所 Nisshin Machine Tool Co. Ltd.

**** 静岡大学大学院 Shizuoka University

にそれぞれピックアップ1, ピックアップ2を固定する。これらのピックアップより一定のパルス信号を発信し、研削力による主軸のねじれに基ずく位相差を時間的な位相差になおした方形波上のパルス数としてカウントする。すなわち、研削トルクをひずみに変換するひずみ体として研削砥石軸のねじり角を利用し、ねじり角を電気信号の位相差にA-D変換する位相差変換装置と、その変換したトルク信号をデジタル計測するカウンターからなっており、そのブロックダイアグラムはFig. 2のようである。さらに、アルミニウム合金展伸材の穴あけ抵抗の測定の際に試作したデジタル型工具動力計¹⁾と類似した考え方によったものである。Photo. 1はその使用状況を示す。

2.2 ねじれ角の位相差変換

直径一定のトーシヨンバーのねじれ角 ϕ とトルク T の関係は、トーシヨンバーの全長および直径をそれぞれ l および d とし、材料の剛性率を G とすれば

$$\phi = \frac{32lT}{\pi d^4 G} \quad (1)$$

で与えられる²⁾。本報で使用したトーシヨンバー、すなわち研削砥石軸の材質はニッケル・クロム・モリブデンはだ焼鋼 SNCM であり、 $G=8470 \text{ kg/mm}^2$ とすれば

$$\phi = 2.24 \times 10^{-8} T \quad (2)$$

ねじれ角 ϕ とトルク T ($\text{kg} \cdot \text{mm}$) は比例関係にあるが、ここで試作動力計の軸に対する最大感度 $T=200 \text{ kg} \cdot \text{mm}$ を代入すれば

Fig. 2 Block diagram of centerless grinding dynamometer.

Photo. 1 View of centerless grinding dynamometer.

$$\phi = 4.48 \times 10^{-6} \text{ (rad)} \quad (3)$$

となる。これをひずみに換算すれば 3.83×10^{-7} となり、抵抗線ひずみ計の最大感度がひずみで 10×10^{-6} であることを考慮すれば、抵抗線ひずみ計では測定不可能な範囲で測定できることになる。

Fig. 1における等しいピッチをもつ2つの歯車 W_1 , W_2 を側面からみてFig. 3のように考える。ピックアップ1(固定側)およびピックアップ2(可動側)にたとえば電磁型ピックアップ³⁾を使用すれば、これは永久磁石を内蔵した一種の電磁式発電機であり、ピックアップを貫いている永久磁石による磁場で歯車状凹凸をもつ強磁性体である回転子の回転のため、一定波形の電流を生ずる。回転子 W_1 , W_2 が理想的に等しいピッチであるとすれば、磁束の変化する時間的な関係は全く等しいはずであるから、ピックアップ1およびピックアップ2には全く同じ周期の交番電流が発生する。研削によつて砥石軸がトルクを受けてFig. 3のAの位置よりBまでねじれると ϕ の位相差が生じる。そこで回転子の歯車を z , ピックアップ1と2の隔りを β rad とすれば

$$\beta = 2\pi m/z + \gamma \quad (4)$$

ここで $m=0, 1, 2, \dots$ 回転子の1ピッチは $2\pi/z$ で、これは出力波形の1波長 2π に相当する。したがって、 $\phi: 2\pi = \gamma: 2\pi/z$ より

$$\phi = \gamma z \quad (5)$$

$m=0$ すなわち、1ピッチ以内の変位では $\gamma=\beta$ として

$$\phi = \beta z \quad (6)$$

つぎに、位相差 ϕ を時間差に換算すれば、回転子の1ピッチは $60/nz$ であるから ϕ に相当する時間差 t_{ph} は

$$t_{ph} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{60}{nz} \phi \quad (7)$$

ただし、 n は回転子の毎分回転数

ゆえに、(5)式より

$$t_{ph} = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{60}{n} \gamma \text{ (sec)} \quad (8)$$

となる。

2.3 位相差の測定

Fig. 4は(8)式で示された出力波形の位相差を方形波に成形する方法で、図中、 A_1 , A_2 はそれぞれピックアップ

Fig. 3 Phase converting principle.

1 および 2 の出力波形, B_1, B_2 はそれぞれ A_1, A_2 を方形波に成形したもの, C_1, C_2 はそれぞれ B_1, B_2 を微分回路に導いてえたパルス, D_1, D_2 はそれぞれ C_1, C_2 を整流したもの, D_1, D_2 をサイラトロンまたはフリップフロップに加えて E のような方形波とする順序を示す。この方形波の時間間隔は(8)式に非常に高い精度で一致する。

Fig. 4 Wave formation.

Fig. 5 Phase converting process.

この方形波 E のオン時間を測定するため水晶発振器からえられる基準パルスを Fig. 5 のようにして利用する。すなわち, 図において位相差方形波 A と基準パルス B が同時にオンした時間のみオン動作する AND 回路を通すことにより, 位相差時間に一致しただけの基準パルスが図 C のようにこの。基準パルスの周波数を f とすれば位相差方形波 A の 1 波当りのパルス数 c_1 は

$$c_1 = f \cdot t_{ph} = (30/\pi n) \cdot \gamma \cdot f \dots \dots \dots (9)$$

回転子の回転数 n の影響を除くため図 D に示すようなオン時間 t をもつ方形波と C を再び AND 回路に通じると, 図 E のようにパルスが残る。このパルス数 c_t は

$$c_t = c_1 \cdot \frac{t}{60/nz} = \frac{\gamma f z}{2\pi} \cdot t \dots \dots \dots (10)$$

となり, 回転数 n に無関係な計数値となる。この計数値をカウンターの値として読みとれば, 研削トルクのデジタル計測ができることになる。なお, 測定精度の上からは出力波形の一周期に比べ, 積算時間 t は大きい方が精度の向上が期待される。

Fig. 6 は本報における研削盤動力計を用いて静的トルクを 200 kg·mm ごとに増加, 減少させた場合の較正図であるが, 直線性が完全に保持されていることがわかる。

3. 実験要項

3.1 供試試料

供試試料としては Table 1 の化学成分をもつ過共晶合金で, グラファイト型鑄造した船形試験片を T 4 処理したのち, 直径 20 mmφ, 高さ 40 mm に旋削仕上を施したものを用いた。なお, 鑄造の際初晶ケイ素の微細化剤としてニューアルミン No. 220⁴⁾を用いて処理した。

その組織は Photo. 2 にみるように板状に微細化した初晶ケイ素(試験荷重 50 g の微小ビツカース)かたさで

Fig. 6 Calculation-curve of grinding torque.

Table 1 Chemical composition of specimen used.

	Si (%)	Fe (%)	Cu (%)	Mg (%)	Mn (%)	Ni (%)	Ti (%)	Al (%)
Alusil	23.5	0.25	2.35	0.98	0.02	0.74	0.02	bal.

$H_v \approx 726$ が柔らかい基地 ($H_v \approx 41.6$) の中に散在した組織であることがわかる。普通のかたさ測定法によればビツカースかたさ (試験荷重10kg) で $H_v \approx 120$ 程度で、アルミニウム合金の中でも格別高いかたさのものとはいえないが、機械加工とくに切削加工の困難な材料であることはさきに示したところである³⁾。

なお、比較のためアルジルとほぼ等しいかたさをもつ軟鋼 ($H_v \approx 119$) についても検討をおこなった。

3.2 使用機械および砥石

日進機械製作所 GR-150 型センタレス 研削盤 (主軸回転数 1614 rpm) を使用し、冷却液としてシミロンA (並級) を使用した。研削砥石は WA60L と A60L の2種類である。

3.3 研削条件

調整車の回転数は普通センタレス研削で採用されてい

Photo. 2 Microscopic structure of alusil ($\times 500$)

Table 2 Grinding torque and its tangential component of alusil.

Grinding wheel	Grinding decrement of diameter Rev. of regulating wheel	Grinding decrement of diameter					
		2 μ	20 μ	40 μ	80 μ	120 μ	160 μ
WA60L	14 rpm	— —	3.65 76.3	4.54 90.8	5.01 100.2	7.13 142.6	7.51 150.2
	19 rpm	— —	6.73 134.4	8.20 164.0	8.65 173.0	8.96 179.2	7.68 153.6
	25 rpm	— —	— —	3.36 67.2	8.07 161.4	9.60 192	9.09 199.8
A60L	14 rpm	— —	3.36 67.2	1.92 38.4	1.92 38.4	6.72 134.4	13.43 268.6
	19 rpm	— —	3.36 67.2	2.68 53.6	5.76 115.5	6.72 134.4	7.46 149.2
	25 rpm	— —	— —	2.69 53.8	4.48 89.6	3.84 76.8	5.04 100.8

values in upper space: Tangential component in kg.
values in lower space: Grinding torque in kg $\cdot$ cm.

Table 3 Grinding torque and its tangential component of mild steel.

Grinding wheel	Grinding decrement of diameter Rev. of regulating wheel	Grinding decrement of diameter					
		2 μ	20 μ	40 μ	80 μ	120 μ	160 μ
WA60L	25 rpm	— —	11.21 kg 224.2 kg/cm	13.44 268.8	10.45 209.0	6.32 126.4	9.49 189.8
A60L	14 rpm	— —	4.82 96.4	6.72 134.4	5.38 107.6	5.76 115.2	6.72 134.4
	19 rpm	— —	4.48 96.4	3.36 67.2	8.06 161.2	3.84 136.8	6.72 134.4
	25 rpm	— —	4.48 96.4	3.36 67.2	10.1 202.0	10.7 214.0	9.60 192.0

values in upper space: Tangential component in kg.
values in lower space: Grinding torque in kg $\cdot$ cm.

Fig. 7 Relation between grinding energy and grinding decrement of diameter or grinding weight in alusil.

る範囲内で14, 19および25 rpmの3種類に変化させ、そのそれぞれの回転数において試料の直径減少量を2, 20, 40, 80, 120および160 μ の6種類に変化させた。

3.4 研削動力の測定その他

研削トルクは研削前に試料の直径、重量を測定しておき、同じ直径減少量の研削を数回連続して実施し、その都度カウンターの読みを記録してその算術平均より求める。また、研削終了後無負荷で数回連続してカウンターの読みを記録し、その算術平均を求める。そして研削前後のカウンターの読みの差を研削エネルギーとした。

研削表面は顕微鏡写真およびNF粗度計によって測定した。

4. 研削トルクと研削エネルギー

アルジルと軟鋼の研削トルクおよびその接線方向分力をそれぞれ Table 2 および Table 3 に示す。トルクおよび接線方向分力は調整車回転数をませば増大し、切込みの増加に従って増大する傾向を示し、かつアルジルと軟鋼を比較すれば軟鋼の方がトルクおよび接線方向分の値が大きい。アルジルは瞬間的なトルクおよび接線方向分力は小さいが、研削時間が長くなり被研削性がよいとはいえない。しかし、軟鋼ではトルクおよび接線方向分力は大きい、短かい研削時間で所定寸法に研削できるので被研削性はよいといえる。(旋削では切込みはそのまま直径減少量となるが、研削では直径減少量が大き

Fig. 8 Relation between grinding energy and grinding decrement of diameter or grinding weight in mild steel.

いときはその量を1度に切込むことは不可能で、ある切込み速度で数秒間研削して所定の直径減少量にする。)

砥石の目づまり状態はアルジルの方が軟鋼に比べて非常に多いようで、アルジルの研削面には特有の研削焼けが認められた。

研削エネルギーはアルジルおよび軟鋼についてそれぞれ Fig. 7, Fig. 8 のようになる。これから研削条件が研削エネルギーにおよぼす影響についてつぎのことが認められる。すなわち、(1) 直径減少量および研削重量の増加に応じて研削エネルギーは増加し、研削エネルギーはトルクおよび研削時間に比例する。(2) 研削砥石 WA60L と A60L の両者が研削エネルギーにおよぼす影響はほぼ同じである。(3) 軟鋼の場合よりもアルジルの方がいくぶん研削エネルギーが大ききようであるが、これは同一寸法を切込むに際しアルジルの方が研削時間が長いことを意味する。(4) 調整車の回転数は実験範囲では研削エネルギーにほとんど影響を与えない。

5. 研削仕上面

アルジルおよび軟鋼のセンタレス研削仕上面の表面状況を NF 粗度計で計測した結果をそれぞれ Fig. 9, Fig. 10 に示す。また、この場合のアルジルおよび軟鋼の表面状況を写真で示せばそれぞれ Photo. 3, Photo. 4 のようになる。NF 粗度からみれば軟鋼よりアルジルの場合がいくぶんよいようであるが、このことは表面状況の写真からもみるように、軟鋼の方が砥石の切味がよく研削方向に平行な砥粒の研削痕模様ははっきりと認められ、アルジルでは研削面が砥石の切味よりむしろ押つぶされたように平滑化して NF 粗度の値がよかったものと思われる。研削砥石では写真からみれば大差ないが A60L より WA60L の方が研削はやや正常に行なわれるようであった。

また、調整車の回転数、直径減少量などの研削条件は

Fig. 9 Surface roughness in alusil.

Photo. 3 Observation of grinding surface in of alusil. (Grinding speed: 2030 m/min) **Photo. 4** Observation of grinding surface of mild steel. (Grinding speed: 2030 m/min)

実験範囲では表面状況に大きな影響を与えないといえる。

6. 結 言

以上、アルジルのセンタレス研削にあたりデジタル型研削盤動力計を試作して、アルジルのセンタレス研削性を軟鋼のそれと比較しながら検討した。その結果、

1) 従来から研削動力とくにセンタレス研削動力の測定は非常に困難視され、正確に測定することは望めないように思われていたが、ここに試作したセンタレス研削

盤動力計は取扱いも比較的容易、高精度も期待でき、実用性も十分であることがわかった。

2) センタレス研削における研削トルクおよびその接線方向分力は単位時間あたりの直径減少量がおおよそ 20 μ のときそれぞれ 60~200 kg $\cdot$ cm, 3~10kg であり、軟鋼の場合の 70~270 kg $\cdot$ cm, 4~13kg に比べるとやや小さい値を示している。

3) 同一直径減少量に対する研削時間では軟鋼の場合に比べ、アルジルではやや長時間を要する。

4) センタレス研削による試料表面は NF 粗度で 80~

Fig. 10 Surface roughness in mild steel.

120 であり、調整車の回転数および直径減少量によってほとんど影響されない。

p. 362 より

and C. J. McHargue. Trans. metall. Soc. A.I.M.E., **239** (10), 1604-1611, Oct., 1967.

- * Thermodynamic conditions for spinodal decomposition in a multicomponent system. G. Bernard, R. Hocine, and C. H. P. Lupis. Trans. metall. Soc. A.I.M.E., **239** (10), 1600-1604, Oct., 1967. pp. 378-381. (Noted in Metal Finish. Abstr., **9** (3), 168, May/Jun., 1967.)
- * Dendritic solidification of aluminium-copper alloys. P. K. Rohatgi and C. M. Adams. Trans. metall. Soc. A.I.M.E., **239** (11), 1737-1746, Nov., 1967.

PROPERTIES

- * Strength and ductility of 7000-series wrought-aluminium alloys as affected by ingot structure. H. W. Antes, S. Lipson, and H. Resenthal. Trans. metall. Soc. A.I.M.E., **239** (10), 1634-1642, Oct., 1967.
- * Plasticity of aluminium-silver alloys. V. Gerold and G. Mayer. Z. Metallk., **58** (10), 698-702, Oct., 1967. (In German.)
- * The effect of quenching rate on the ageing characteristics of some aluminium-zinc-magnesium alloys. (Einfluss von Abschreckgeschwindigkeit auf die Auslagerungsbedingungen von Aluminium-Zink-Magnesium-Legierungen) A. J. Bryant. Z. Metallk., **58** (10), 684-691, Oct., 1967. (In German.)

本研究の実施にあたり(社)軽金属協会アルミニウム科学技術振興委員会の切削性研究グループ委員会(委員長森永卓一博士)の諸氏の絶えざるご指導、ご鞭撻があった。付記して深甚なる謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 財満, 岡崎: 精機学会昭和40年度春期大会 (40-45) にて講演, 精密機械, 投稿中.
- 2) たとえば, 機械学会編, 機械工学便覧 (昭43改訂5版), 4-78.
- 3) 財満, 小野: 機械の研究, **6**, 10 (1954), 869.
- 4) 商品名 (赤リン微細化剤), 小木曾鋳材研.
- 5) 森永, 財満, 飯尾: 日本金属学会誌, **30**, 5 (1961), 463.

- * Effect of temperature on the penetration of heavy kiloelectronvolt ions in monocrystalline solids. II. Various ions in gold, aluminium and tungsten. L. M. Howe and D. A. Channing. Can. J. Phys., **45** (8), 2467-2482, Aug., 1967.
- * Development of ultra-high strength, low-density aluminium sheet and plate composites. E. V. Sumner. Final Rep. Jul. 1, 1965-Jun. 30, 1966. N67-31181. 91pp., Jul., 1966. (Abstracted in Sci. & tech. Aerospace Rep., **5** (17), 3081, Sep. 5, 1967.)
- * Aluminium alloy 5456 materials data handbook. J. Sessler and V. Weiss, ed. N67-30010. 128pp., May, 1966. (Abstracted in Sci. & tech. Aerospace Rep., **5** (16), 2912, Aug. 23, 1967.)
- * Study of crack initiation phenomena associated with stress corrosion of aluminium alloys. M. S. Hunter. Q. Rep. Dec. 26., 1966-Mar. 25, 1967. N67-28834. 101pp., Apr. 24, 1967. (Abstracted in Sci. & tech. Aerospace Rep., **5** (15), 2729, Aug. 8, 1967.)
- * The influence of reactor radiation on the ageing behaviour of an aluminium-copper 4% alloy. (Der Einfluss von Reaktorbestrahlung auf das Auslagerungsverhalten einer Aluminium-Kupfer 4%-Legierung.) K. D. Olshausen. N67-34273.1 08pp., Jan., 1967. (In German.) (Abstracted in Sci. & tech. Aerospace Rep., **5** (20), 3680, Oct. 23, 1967.)
- * The effect of specimen diameter on the flow stress of aluminium. I. R. Kramer. Trans. metall. Soc. A.I.M.E., **239** (11), 1754-1758, Nov., 1967.