球状黒鉛鑄鉄の被切削性について* 621-9-011:669-13

正会員 田 中 重 芳** 正会員 松 井 正 己**

On the Machinability of Spheroidal Graphite Cast Iron

Shigeo Tanaka, Setki Matsui

We have compared the machinability of spheroidal graphite cast iron with that of cylinder cast iron, ordinary cast iron, and cast steel by measuring the durability of cutting tools, the cutting force, and the type of chips. The durability of cutting tools has been measured by applying the facing method, and the cutting force with S. E. M. lathe tool dynamometer.

We have obtained the following conclusions.

- (1) The durability of tools in case of cutting spheroidal graphite cast iron is much larger than that of ordinary cast iron and cylinder cast iron, but smaller than that of cast steel.
- (2) The cutting force in case of cutting spheroidal graphite cast iron is slightly larger than that of cylinder cast iron.
- (3) The chip type in case of cutting spheroidal graphite cast iron is much better than that of cylinder cast iron.

1. 緒 言

1948 年 Morrogh により Ce 処理による鑄鉄黒鉛の球状化成功が Foundry 誌に発表され⁽¹⁾, つづいて 1949 年 Mg 処理による黒鉛球状化が Gagnebin によつて Iron Age 誌に発表されて⁽²⁾ 以来この球状黒鉛鑄鉄の研究は欧米, 日本をとわず活潑に行われ, 球状化理論, 顕微鏡組織, 物理的機械的性質, 製造上の諸問題がだんだん明らかにされつつある。このたび東洋工業株式会社の好意により球状黒鉛鑄鉄の入手ができたので, この鑄鉄の性質のうち切削性をとりあげ, これを普通の鑄鉄と比較してみた。なお球状黒鉛鑄鉄の被切削性については Gagnebin⁽³⁾, Kahles⁽⁴⁾, 等の論文及び Metcut Research Associates⁽⁵⁾ による報告等があるが, わが国ではいまだまとまつた論文はみうけないようである。さてこれらの論文によると球状黒

鉛鑄鉄にくらべてきわめて被切削性が良好で被切削面は鋼の如く平滑でありチップは又鋼の如くまいたものがえられるといわれている。そこではたして球状黒鉛鑄鉄の被切削性が普通鑄鉄に比べてかくの如く良好であるかどうかをバイトの寿命, 切削抵抗, チップの形状の三つでしらべることにした。

一般に被切削性は工具の摩耗, 切削抵抗, 仕上面あらさ, チップの形状, 切削温度で比較されるが, 仕上面あらさはチップの形状から又切削温度は切削抵抗から推察できるので本実験には上記の三点で比較してみた。

2. 被切削性試験

2. 1 バイトの寿命試験

本実験では材料, 時間の関係から簡易試験法(正面削り試験法)を用いた。この理論及びこの方法の妥当性については精密機械誌 17 巻 9 号の「特殊高速度鋼バイトの寿命試験」⁽⁶⁾ を参照されたい。

2. 2 切削抵抗試験

* 昭和 27 年 1 月 11 日 精機学会広島地方講演会にて発表

** 山口大学工学部

S. E. M. 式切削抵抗試験機を用いて主分力のみを測定した。

2.3 チップの形状比較試験

チップの形状は肉眼で流断型、剪断型、裂断型に分類して比較した。もちろんこれらの型は一種類のみでなく、互に入りまじつてあらわれるので判別しにくいのもあつたが大体の見当はついた。流断型の仕上面の方が裂断型のそれよ*

*り良好であるのはいうまでもない。

3. 使用バイト

SK00 及び高速度鋼第三種の 1/2in 角完成バイトを用いた。その成分及び熱処理、硬さは次の如くである。

3.1 成分、硬さ

成分 バイト	C	W	Cr	V	Co	硬さ Rc
SK 00	0.6~0.9	26~30	4.0~5.0	1.0~2.0	14~16	63.6
H 3	0.65~0.85	15~17	3.5~4.5	0.5~0.1	3.5~4.5	59.8

3.2 熱 処 理

熱処理 バイト	焼入温度 C°	焼入保持時間分	焼戻温度 C°	保持時間 分	焼戻実施回数
SK 00	1350~融点直下	0.5~1	600±5	25	2
H 3	1200	0.5~1	590	20	1

又バイトの角度は寿命試験の場合図1の如くクサビを用いてすくい角をあたえたが、切削抵抗、チップ採取の際はバイトにじかにすくい角をあたえた。諸角度は次の如くである。

の三種類を用いた。なお鑄鋼、普通鑄鉄の二種類についての実験は以前に行ったものをここに転用した⁽⁷⁾。被削材の形状寸法は図2の如くである。

図 1 バイト

試 験 角 度	寿命試験	切 削 抵抗測定	チップ形状比較試験
取 付 角 δ	45°±4°	53°	60°
す くい 角 α	11°	10°	0°, 10°, 19°, 27°
前 逃 げ 角 γ	4°±2°	11°	8°
双 先 角 β	75°	69°	32°, 72°, 63°, 55°

4. 被 切 削 材

球状黒鉛鑄鉄 No. 1, No. 2, シリンダ鑄鉄

(1) Life Test (2) Cutting Force Test
Chip Type Test

Nodular } D=300φ Cast steel } D=400φ
Cylinder c. i. } d=34φ } d=34φ
 } t=30 Cast Iron } t=100

図 2 被削材の形状、寸法

被切削材の成分、機械的性質は次の如くである。

4.1 成 分

被 削 材	成 分	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Mg
球状黒鉛鑄鉄	No. 1	3.7	2.78	0.61	0.018	0.02	0.13	—	1.02	0.08
球状黒鉛鑄鉄	No. 2	3.0	2.35	0.27	0.027	0.027	0.12	—	1.10	0.11
シ リ ン ダ 鑄 鉄		3.06	1.65	0.79	0.36	0.082	0.23	0.23	0.63	—
鑄 銅		0.53	—	1.03	—	—	0.89	—	—	—
普 通 鑄 鉄		3.38	1.59	0.44	—	0.147	—	—	—	—

4. 2 機械的性質

4.2.1 球状黒鉛鑄鉄

		σ_B kg/mm ²	伸%	断面収縮率%	H_B
鑄放し	No.1	71.5	1.6	1.4	269
	◇	65.0	1.4	1.4	269
	No.2	73.1	2.0	2.1	248
	◇	76.3	2.4	2.1	248
焼 鈍	No.1	52.0	6.0	7.7	197
	◇	53.9	2.0	2.1	241
	No.2	56.8	3.0	4.2	160
	◇	50.7	5.8	7.7	174

4.2.2 シリンダ鑄鉄

σ_B kg/mm ²	抗折力 kg	たわみ mm	H_B
27.3	2110	3.3	229

以前に実験した鑄銅、鑄鉄については H_B が 129, 130 であった。なおそれ以外の機械的性質は測定しなかった。

又球状黒鉛鑄鉄は次の如き条件で高周波電気炉を使用して製造された。

(a) 原材料配合

スエーデン鉄……90kg

鉄 板……10kg

(b) Mg 合金及びその添加量

Cu—Mg (70:30)

添加量……Mg 0.5%

(c) イノキュレーション

0.5% Si の割で添加。

(d) Mg 処理温度……1500°C

(e) 焼 鈍

850~900°C×2H 及び 700°C×5H

3. 実 験 方 法

上記の材料を American Tool Works の全歯車式主軸台, 8Ft, 振り 470mm に従う国産旋盤にとりつけ正面削り及び円筒旋削をする。

正面削りの際には切込 0.5mm, 送り 0.4 mm/rev に一定にして回転数を 40, 55, 73, 103, 145, 200, 274, 382rev/mm にかえて実験した。実験の方法, 要領は精密機械誌 17 巻 9号「特殊高速度鋼バイトの寿命試験」⁽⁸⁾ を参照されたい。

円筒旋削においては切込を .3mm, 2.5mm, 2 mm, 1.5mm, 1mm, 0.5mm, 送りを 0.23 mm/rev, 0.26mm/rev, 0.29mm/rev, 0.35 mm/rev にかえて回転数は 29, 40, 55 rev/mn を採用した。

なおいづれも乾切削である。

6. 実 験 結 果

6. 1 正面削り試験

以下の各実験値はバイトがへたつた時の円板

バイト	回 轉 数	73 rev/mn	103 rev/mn	145 rev/mn	200 rev/mn	274 rev/mn	382 rev/mn
	被 削 材						
SK 00	球状黒鉛鑄鉄 No.1	—	—	250	200	160	120
	球状黒鉛鑄鉄 No.2	—	—	234	192	148	—
	シ リ ン ダ 鑄 鉄	264	200	150	114	—	—
	鑄 銅	—	—	338	267	209	—
	普 通 鑄 鉄	321	232	174	137	—	—

バイト	被 削 材	回 轉 数					
		40 rev/mn	55 rev/mn	73 rev/mn	103 rev/mn	145 rev/mn	200 rev/mn
H 3	球状黒鉛鑄鉄 No.1	—	—	264	206	154	112
	球状黒鉛鑄鉄 No.2	—	—	226	204	154	—
	シ リ ン ダ 鑄 鉄	244	186	140	106	—	—
	鑄 銅	—	—	—	346	261	199
	普 通 鑄 鉄	—	—	184	142	103	—

の直径 (mm) をあらわす。なおこの値は二回くりかえしてえた平均値を示している。

以上の値から V_m と N とを対数方眼紙にあれば図3の如くなる。この図から n と c は次の値がえられる。

SK 00	球状黒鉛鑄鉄 No.1	$VT^{1/7.7}=102.3$
切込	球状黒鉛鑄鉄 No.2	$VT^{1/7.7}=95.1$
0.5mm	シ リ ン ダ 鑄 鉄	$VT^{1/11}=57.5$
送り	鑄 銅	$VT^{1/8.7}=134.2$
0.4	普 通 鑄 鉄	$VT^{1/11}=69.4$
mm/rev

図 3

この V—T 曲線を図4、図5に示す。

6.2 切削抵抗試験

以下の各実験値は二回くりかえしてえた値

H3 切込 0.5mm 送り 0.4mm/rev	球状黒鉛鑄鉄 No. 1	$VT^{1/12.8}=58.0$
	球状黒鉛鑄鉄 No. 2	$VT^{1/12.8}=58.0$
	シ リ ン ダ 鑄 鉄	$VT^{1/16.1}=29.3$
	鑄 銅	$VT^{1/13}=102.4$
	普 通 鑄 鉄	$VT^{1/16.1}=39.9$

図 4 V—T曲線

図 5 V—T曲線

の平均である。なお切削抵抗は球状黒鉛鑄鉄とシリンダ鑄鉄とを測定した(鑄銅、普通鑄鉄の切削抵抗は測定していない)。

6.2.1 切込、送りの影響

切削速度は 24m/mn に一定に保った。

(a) SK 00

切込 mm	送り mm/rev	球状黒鉛鑄鉄No.1 kg	球状黒鉛鑄鉄No.2 kg	シリンダ鑄鉄 kg
3	0.23	123	135	120
	0.26	123	152	125
	0.29	144	159	144
2.5	0.23	102	104	101
	0.26	110	120	103
	0.29	123	131	120
2	0.23	82	87	82
	0.26	92	92	85
	0.29	100	99	97

(b) H 3

切込 mm	送り mm/rev	球状黒鉛鑄鉄No.1 kg	球状黒鉛鑄鉄No.2 kg	シリンダ鑄鉄 kg
3	0.23	135	134	132
	0.26	144	143	140
	0.29	153	155	143
2.5	0.23	117	116	103
	0.26	120	119	113
	0.29	131	131	123
2	0.23	87	90	84
	0.26	96	96	93
	0.29	106	107	100

これをグラフで示すと図6となる。

図 6 切削抵抗の一例

6. 3 チップ形状比較試験

SK00 バイトを用い、すくい角 $0^\circ, 10^\circ, 19^\circ, 27^\circ$ を切込を 2, 1.5, 1, 0.5mm, 送りを 0.23, 0.26, 0.29, 0.35mm/rev, 切削速度を 16, 22, 30 mm/mn にかえて切削し各場合に生じたチップを採取して比較した。なお被切削材は球状黒鉛鑄鉄 No. 1 とシリンダ鑄鉄である。

この時のすくい角-切込-チップ型の状態図は図7である。

図 7 チップ型の一例

この図の F は流断型, S は剪断型, C は裂断型を示している。

7. 実験結果に対する考察

7. 1 バイトの寿命試験

図4, 図5からわかるように, 球状黒鉛鑄鉄

の場合のバイトの寿命は鑄鋼と普通鑄鉄との間にある。球状黒鉛鑄鉄の機械的性質が鑄鉄と鋼の中間的な値を示すのと全く同様である。

球状黒鉛鑄鉄は普通鑄鉄より抗張力、伸び、硬さ等すぐれている上に、寿命も著しく伸びており、被切削性が非常によいことがわかる。

又シリンダ鑄鉄は普通鑄鉄に比べ抗張力、硬さ等すぐれ、いわゆる高級鑄鉄であるが、この時のバイトの寿命は普通鑄鉄の時より低く被切削性は劣る。次に最大生産量切削速度⁽⁹⁾、最低加工費切削速度⁽¹⁰⁾を各材料について計算すると次の如くなる。なおこの計算では

バイト取換、取付調整時間=5mn

$$\frac{\text{バイト消耗費, 再研直費}}{\text{バイトに関する費用を除く他の費用}} = 0.08$$

とした。

被 削 材	最大生産量切削速度 m/mn		最低加工費切削速度 m/mn	
	SK00	H3	SK00	H3
球状黒鉛鑄鉄 No.1	64.7	42.0	59.5	40.0
球状黒鉛鑄鉄 No.2	60.2	42.0	55.3	40.0
シ リ ン ダ 鑄 鉄	40.2	22.4	37.8	21.5
鑄 鋼	88.3	74.7	81.8	71.1
普 通 鑄 鉄	48.5	30.5	45.7	29.3

このように球状黒鉛鑄鉄は鑄鋼には及ばないが普通鑄鉄より3割、シリンダ鑄鉄より5割も切削速度をあげることができる。

7. 2 切削抵抗試験

図6からわかるように球状黒鉛鑄鉄はシリンダ鑄鉄に比べて切削抵抗がましているが、その量はわづかでほとんど変らないとみてよろしい。これも鋼と鑄鉄との中間値とみることもできる。球状黒鉛鑄鉄はシリンダ鑄鉄に比べ抗張力が非常に大きいので、切削抵抗もかなり大きくなると予想したが、予想に反しかくの如き僅かの増加におわつたのは球状黒鉛鑄鉄の被切削性がよいので、バイトの摩耗が少く、切味をよく保つためと考えられる。

7. 3 チップ形状比較試験

図7から次のことがいえる。

(a) 球状黒鉛鑄鉄もシリンダ鑄鉄もともに

送りをますと F→S, S→C の傾向がある。

(b) 切削速度をますと球状黒鉛鑄鉄は送り小の時は S→F, 送り大のときは F→S の傾向がある。又シリンダ鑄鉄は F→S, S→C の傾向がある。

(c) すくい角をますと球状黒鉛鑄鉄は S→F の傾向がある。又シリンダ鑄鉄は切込大の時は S→F の傾向にあり、切込小の時はたいして変らずむしろ S→C の傾向がある。

(d) 切込をへらすと球状黒鉛鑄鉄は S→F の傾向がある。又シリンダ鑄鉄は F→S, S→C になる傾向がある。

一般には切込がへるほど、すくい角がまずほど、切削速度がまずほど、送りがへるほど C→S, S→F の傾向があるといわれるが、上記の如く必ずしもそうならないのはバイトの双先の摩耗がきいていると思われる。図7からわかるようにチップの形状についても球状黒鉛鑄鉄はシリンダ鑄鉄より流断型の範囲がひろくほとんど裂断型は示さない。

9. 結 語

球状黒鉛鑄鉄、シリンダ鑄鉄、普通鑄鉄、鑄鋼の被切削性をバイトの寿命、切削抵抗、チップの形状で比較した。その結果次のことがわかつた。

(1) バイトの寿命の点からいうと球状黒鉛鑄鉄は鑄鋼には及ばないが、普通鑄鉄、シリンダ鑄鉄よりはるかに寿命が大である。

(2) 切削抵抗は球状黒鉛鑄鉄はシリンダ鑄鉄より多少ましているが、量はわづかである。

(3) チップの型の点では球状黒鉛鑄鉄はシリンダ鑄鉄に比べはるかに良好である。

終りに球状黒鉛鑄鉄試料提供に関し、絶大なる援助をたまわつた東洋工業株式会社ならびに実験を手伝われた当工学部機械工場の諸氏に深謝する。

文 献

- (1) H. Morrough & J. W. Grant; Foundry Trade J. July 8, 15, 22, 29 (1948)
- (2)(3) A. P. Gagnebin; Iron Age, Feb. 17, 24,

April 28 (1949)

(4) J. F. Kahles; Metal Progress, Feb. (1951)

(5) Metcut Research Associates; U. S. Air Forces Machinability Report (1950)

(Published by the Curtiss Wright Corp.)

(6)(7)(8) 田中重芳, 松井正巳; 精密機械誌 17 巻 9 号 (1951)

(9)(10) 例えば「切削学綱要」(クロネンベルグ, 蒲池正夫訳) 参照

研削砥石の結合度の研究 (第 3 報)

621.922.2:539.61

結合度の基準について

正会員 大 越 諄* 正会員 渡 辺 半 十**

1. 緒 論

前報⁽¹⁾で述べた如く, 例えば結合度の表示記号は同一でもその内容は各社各様区々であるので, 今ここで機械的一定条件の下に一般市販砥石の結合度の現況を確かめ, 更にこの結果から平均的な結合度の基準を求めて置くことは, 国産砥石の品位向上の爲ばかりでなく, 研削作業者にとつても誠に重要なことである。

そこで筆者等は既報⁽²⁾の重型大越式結合度試験機に依り内外国産の各粒度, 組織, 砥粒, 及び結合剤の砥石約 600 点に就き結合度の状況を測定調査した結果略々上記の目的を達したので, ここに報告する次第である。

幸いに本研究結果を基として最近結合度の表示及び検査の JIS が決められる事になったことは, 砥石及び研削加工の将来にとつて正に劃期的な事柄であると思う。

2. 実 験 要 領

1. 試験機と条件

大越式結合度試験機 (東京衡器製作所にて試作), 荷重 38kg の場合と 50kg の場合, ビット外-内径: 12mm×6mm

2. 測定砥石

ノルトン会社及び国産 A, B, C, D, E, F, G, H 会社: 計 9 社製品, A-Vit: 368 種, WA-Vit:

83種, C-Vit: 114 種, GC-Vit: 34種, A-Sil: 19 種, A-Res: 4 種, A-Rub: 4 種, 計 624 種の各粒度: (16~220), 結合度(記号): (H~U) 組織番号: (3~6) のものに就いて測定した。

3. 結合度の指示

結合度の強弱の指示は便宜上, 上記条件下に於けるビットの喰込深さ d を以つてした。但し結合度数としては続報⁽³⁾する如く, この d の逆数を以つて表わす方が, 合理的である。

3. 測 定 結 果

1. ビット喰込量 d と結合度記号順位数 Z との関係

結合度記号 A を 1 とし, B を 2, C を 3 (以下同様) 等の順位数 (Z) で表わし, d と Z の関係を求めると 図-1 の例図に示す通り, 一般に Z が高くなるにつれて d は逆拋物線の傾向で減少し, 両者の関係は 図-2 の如く半対数方眼紙上では直線的となるものである。即ち

$$d = K_1 \cdot b^Z \dots\dots\dots (1)$$

常数 b は $d-Z$ 直線の勾配を示すことになる。この b は 図-3 に見る通り, 会社砥石で異り, 0.85~0.93 となつてゐるが, 平均値は 0.9 である。

2. ビット喰込量 d と粒度(番号) G との関係 図-4 の例図に見る通り, 一般に両者は双曲線関係にあり, 対数方眼紙上では直線的となる。即ち

$$d = K_2 \cdot G^{-m} \dots\dots\dots (2)$$

* 東京大学工学部

** 工業技術庁機械試験所