

鑄鉄系材料の被削性に関する研究(第1報) : 金属組織による切屑生成機構・切屑抵抗の相違について

その他(別言語等)のタイトル	Studies on the Machinability of Cast Irons (Part 1) : Differences in Chip Formation and Cutting Forces in Accordance with Microstructure
著者	菊地 千之, 宮本 武
雑誌名	室蘭工業大学研究報告
巻	5
号	2
ページ	729-740
発行年	1966-08-25
URL	http://hdl.handle.net/10258/3273

鑄鉄系材料の被削性に関する研究 (第1報)

— 金属組織による切屑生成機構・切屑抵抗の相違について —

菊地千之・宮本 武

Studies on the Machinability of Cast Irons (Part 1)

— Differences in Chip Formation and Cutting Forces —
in Accordance with Microstructure

Kazuyuki Kikuchi and Takeshi Miyamoto

Abstract

The purpose of this paper is to point out the relationship between microstructure and machinability in each of three types of cast irons. The writers employed such work materials as have flake free graphite in matrix of pearlite, spheroidal free graphite in matrix of ferrite, and ferrite and pearlite microstructure respectively. These materials were tested to determine the chipformation and cutting forces and also to observe the built-up edge and flank adhesion.

The writers discussed not only the influences on chipformation, cutting forces and built-up edge exerted by the differences of microstructures of work materials but also the effects of feed and rake angle in cutting process.

I. 緒 言

鑄鉄系材料は一般に鋼と比較して脆く切削し易い材料とみなされている。しかしながら鑄鉄系料の性質は成分、熱処理条件などによって広範囲に変化するため、その被削性も大幅に変化し、加工が困難なものも存在する。

鑄鉄系材料の被削性に影響を与える主たる因子は金属組織、強度、硬度および展延性などであるが、これは又 matrix の強度と組織の中に存在する遊離黒鉛の形状、大きさおよびその分布状態によって左右される。鑄鉄系材料の遊離黒鉛は組織の上から matrix が炭素鋼と考えられるから、炭素鋼の中に黒鉛が片状、いもむし状および球状になって埋め込まれているものと考えられる。従って快削鋼における硫化物や鉛が炭素鋼の被削性に対して大きな影響を与えると同様な考え方でこれをみる事が出来ると思われる。

本報告はこの観点から鑄鉄系材料における matrix および遊離黒鉛の相違による切屑生成および切削抵抗の相違について実験観察を行なった結果である。

II. 実験方法

実験に供した被削材は matrix の状態がフェライト形、ブルスアイ形およびパーライト形で

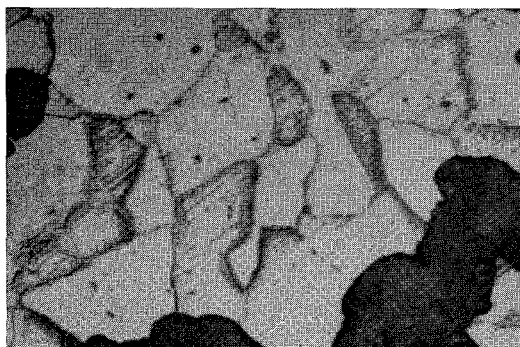
黒鉛形態は片状黒鉛，球状黒鉛の2種類である。被削材の成分，かたさ熱処理条件を表-1に示した。又図-1に顕微鏡写真を示したが，これより明らかな如くフェライト形，ブルスアイ形は黒鉛形態が球状をなし，パーライト形では片状をなしている。

表-1 供試材料の成分，かたさおよび熱処理条件

成 分 (%)	種 類				
	パーライト形 片状黒鉛鑄鉄	フェライト形球状黒鉛鑄鉄		ブルスアイ形球状黒鉛鑄鉄	
全 炭 素	2.84	3.24		0.51	
シリコン	1.51	2.68		2.26	
マンガン	0.35	0.24		0.77	
りん	0.104	0.054		0.057	
い お う	0.05	0.024		0.024	
かたさ HB	156	175	154.5	217	179
熱処理条件	鑄放し	鑄放し	高温焼鈍 900°Cで2hr加熱 700°Cで15hr加熱炉冷	鑄放し	高温軟化焼鈍 フェライト形と同じ



(A) パーライト型片状黒鉛 ×158



(B) フェライト形球状黒鉛 ×150



(C) ブルスアイ形球状黒鉛 ×150

図-1 被削材顕微鏡写真

切屑生成機構の金属組織による相違を観察するために被削材形状を肉厚 3 mm の中空円筒状として族盤に取付け、Stopping Tool を用いて二次元乾切削を行い各条件に対応する切屑を作り顕微鏡写真撮影を行い検討した。

切削抵抗の主分力と送り分力は外径 180 mm, 内径 80 mm で長さ 660 mm の中空円筒型被削材を用い、乾式準二次元長手旋削を行ない、抵抗線ひずみ計を利用した工具動力計によって測定した。

切削条件は切込 2 mm, 送り 0.075~0.3 mmpr および切削速度 15~350 mpm の範囲で変化させた。使用工具は超硬工具 ST-2, G-1 で刃型形状は前すくい角 0° , 横すくい角 $-5^\circ, 0^\circ, 10^\circ$ に変化させた。前逃げ, 横逃げ角はともに 6° である。

III. 実験結果および考察

III-1. 金属組織機と切屑生成機構

鑄鉄系材料において matrix 中に存在する遊離黒鉛自身の強度はきわめて低いものであるから、matrix 中に生ずる遊離黒鉛の形態によってその切屑生成も異なったものとなる。

一般に金属切削において脆いとされるものは、(1) せん断面近傍において、巨大な内部クラック或は金属内欠陥が小数だけ存在する場合と (2) 小型な応力集中点が多数存在する場合の二つがある。(1) のような場合その切屑生成はせん断面全面にわたってクラック伝播を生じて破断し不安定なせん断型切削となり、(2) の場合にはクラックの拡大には塑性変形を伴い、せん断面に働く垂直応力による微小クラックの接着回復もあるので、かなりのひずみに耐えた後に破断状態に達する。このため切屑生成は応力集中点が小型で密接しているほど安定な流れ型切削となる。鑄鉄系材料における遊離黒鉛の形態によって上述の如き応力集中点を形成するものと考えられる。

III-1-[a] パーライト形片状黒鉛鑄鉄

図-2 にパーライト形片状黒鉛鑄鉄の切屑生成顕微写真を示した。切削条件は切込 0.25 mm で (A), (B) は切削速度 15 mpm, 50 mpm, すくい角 10° , (C) は切削速度 15 mpm, すくい角 0° の場合である。図-1 および図-2 から知れる如く、黒鉛はパーライト組織の結晶粒界に介在し細い針状をなしているため mean spacing も著しく小さい。従って片状をなす各々の黒鉛に対する応力集中度は大であり mean spacing が小であることとあいまって Griffith クラックの伝播による脆性破断を起し易い。このことは丁度硫黄快削鋼における硫化マンガが小針状として鋼中に介在し、この針状の先端における応力集中、クラック伝播の発生が鋼の脆性を著しく高める作用をなしていることと対応している。

従って図-2 にみられる如く、黒鉛に沿う巨視的破断滑りが相互に連続して亀裂型とせん断型の中間的切屑を生成している。matrix のパーライトは殆んど塑性変形を示さず、すくい面に

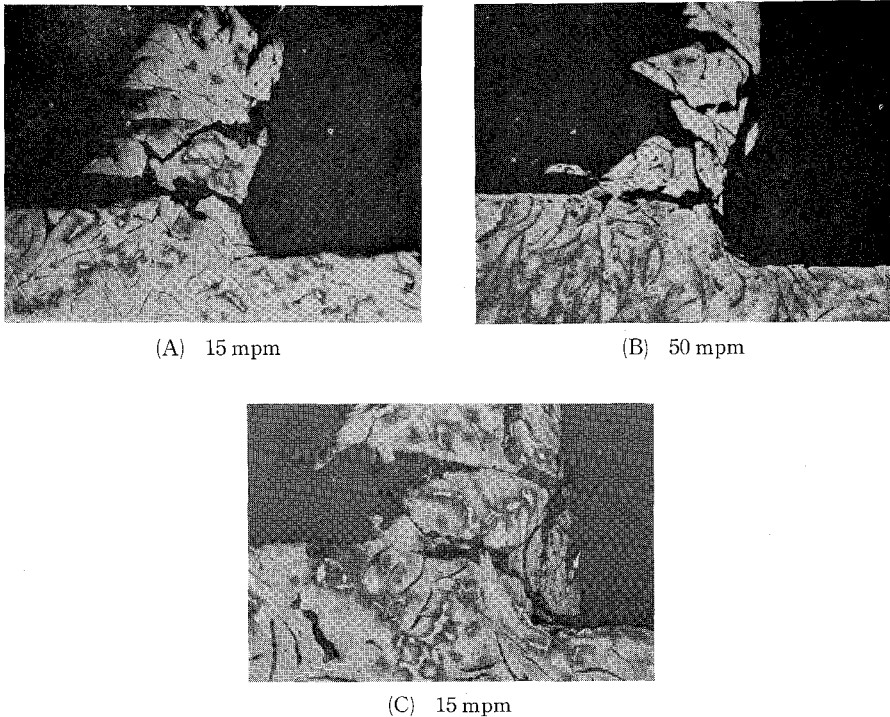


図-2 パーライト形片状黒鉛鑄鉄の切屑生成

切削条件：工具 G-1 [0, [var 0] 0, 6, 0, 0, 0]; 切削幅 3 mm; 切込 0.25 mm, 切削速度 15, 50 mpm; 切削剤, 乾燥

において破断滑りを起したブロックの集積がみられる。

パーライト形片状黒鉛鑄鉄における切屑生成は黒鉛片による脆性が支配的で、黒鉛によるすくい面潤滑作用は多くを期待出来ないものと思はれる。

III-1-[b] フェライト形球状黒鉛鑄鉄

図-3 にフェライト形球状黒鉛鑄鉄の切屑生成顕微鏡写真を示した。切削条件は切込 0.25 mm, 切削速度 15, 50, 100 mpm ですくい角 10° の場合である。この材料は図-1 に示した如く比較的軟かいフェライト中に黒鉛が球状化して存在しているため、鉛削鋼における遊離鉛の小球の大型化したもので mean spacing が大きい場合とみることが出来よう。

この材料の場合は黒鉛が球状であるため応力集中度が小であり、且つ matrix が軟質であるため塑性迂りが期待出来ると思はれる。実際図-3 にみられる如く、安定した非常に連続した切屑が観察されしかもフェライト matrix は明瞭な塑性迂りをみせている。このことは球状黒鉛に対する応力集中による Griffith クラックの伝播によるよりはフェライト結晶粒と黒鉛との境界における転位の発生とこれに伴う塑性変形が支配的なためと思はれる。従って黒鉛は図-3 にみられる如く低速、高速いずれの場合についてもフェライト matrix の変形に応じて流

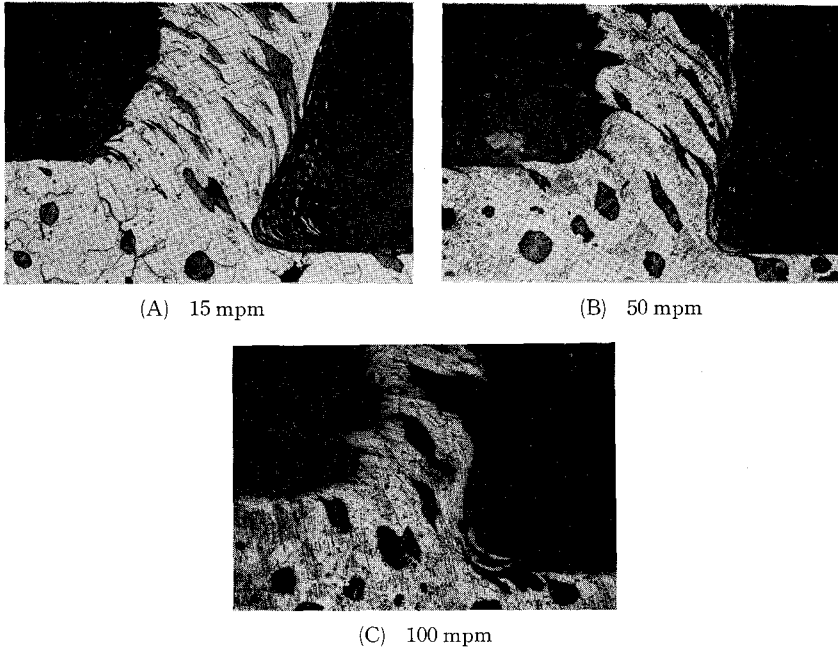


図-3 フェライト形球状黒鉛鑄鉄の切屑生成
切削条件： 工具 G-1 [0, 10, 0, 6, 0, 0, 0]; 切削幅 3 mm;
切込 0.25 mm; 切削剤, 乾燥

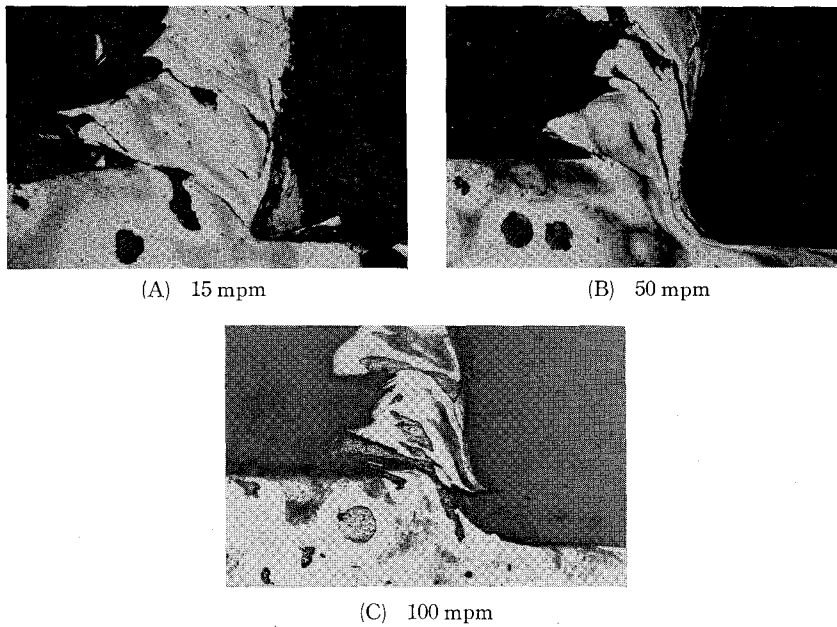


図-4 プルサーアイ形球状黒鉛鑄鉄の切屑生成
切削条件： 工具 G-1 [0, 10, 0, 6, 0, 0, 0]; 切削幅 3 mm; 切込 0.25 mm;
切削速度 15, 50, 100 mpm; 切削剤, 乾燥

れる。このためにフェライト形球状黒鉛鑄鉄における切屑生成は球状黒鉛による脆性と同時に黒鉛の潤滑作用が相当期待出来るものと思われる。

III-1-[c] ブルスアイ形球状黒鉛鑄鉄 (パーライト+フェライト matrix)

図-4にブルスアイ形球状黒鉛鑄鉄の切屑生成顕微鏡写真を示した。切削条件は切込 0.25 mm, 切削速度 15, 50, 100 mpm, すくい角 10° である。この材料は図-1に示した如く比較的硬くて脆いパーライト matrix 中に同心の黒鉛とフェライトが存在したものである。この写真にみられる如く黒鉛が球状化しているため、パーライト matrix で片状黒鉛鑄鉄の場合のような著しい脆性はみられない。しかしパーライト matrix の脆性のためフェライト形球状黒鉛よりは脆い。すなわちこの材料の場合にはパーライト matrix の脆性と黒鉛の脆性が複合的に作用して全体の脆性を形成している場合であり、黒鉛部とパーライトとフェライトの境界を連続してクラックが発生するものと考えられる。

図-4にみられる如く切屑全体が若干の塑性変形をみせると同時に、せん断変形を受けた黒鉛部からクラックがパーライトとフェライトの境界に沿って伸び巨視的滑りを生じているのが観察される。又切屑生成の脆性的傾向はフェライト形球状黒鉛鑄鉄とパーライト形片状黒鉛鑄鉄の間にあることは図-2, 図-3の写真から明らかである。

III-2. 金属組織と切削抵抗

III-2-[a] 切削抵抗の切削速度特性

図-5, 図-6にパーライト形片状黒鉛鑄鉄, フェライト形およびブルスアイ形球状黒鉛鑄鉄の切削速度に対する切削抵抗の変化を示した。鑄鉄系材料の切削においては同図にみられる如

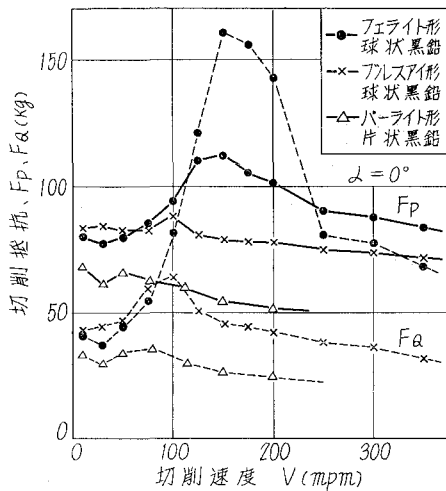


図-5 切削速度に対する切削抵抗の変化
 切削条件: 工具, 超硬 G-1 [0, 0.6, 6, 10, 0, 0.5];
 送り 0.25 mmpr; 切込 2 mm; 切削剤, 乾燥

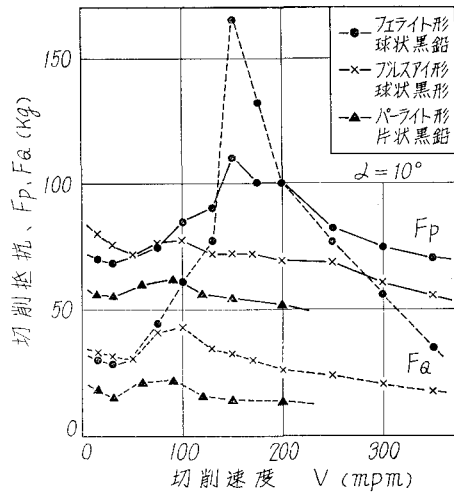


図-6 切削速度に対する切削抵抗の変化
 切削条件: 工具, 超硬 G-1 [0, 10, 6, 6, 10, 0, 0.5];
 送り 0.25 mmpr; 切込 2 mm; 切削剤, 乾燥

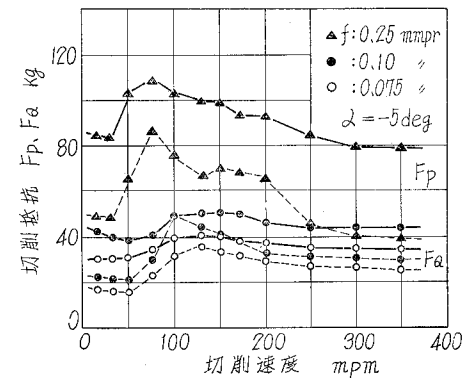
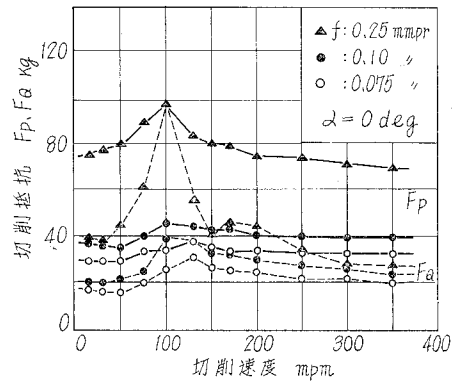
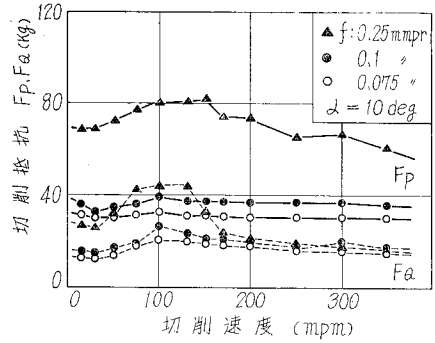
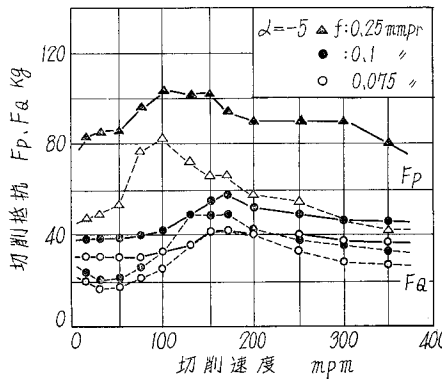
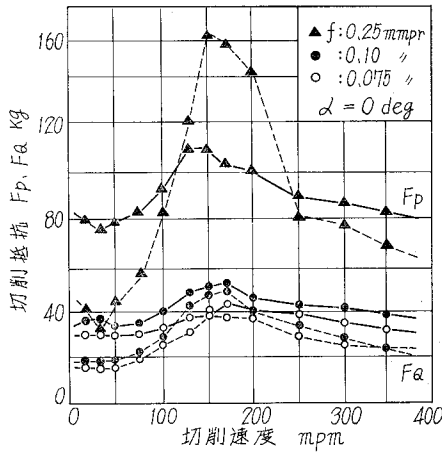
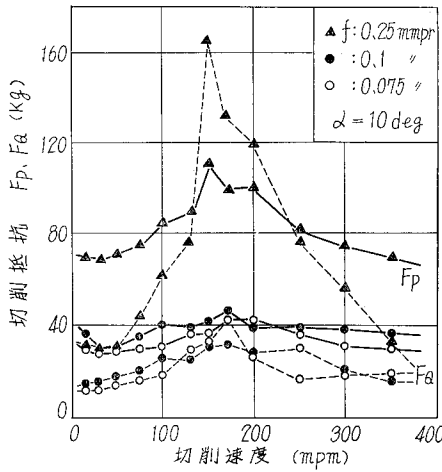


図-7 送り変化に対する切削抵抗と切削速度との関係

切削条件: 被削材, フェライト形球状黒鉛鑄鉄;
 工具, 超硬 G-1 [0, var. 6, 6, 10, 0, 0.5];
 切込 2 mm; 切削剤, 乾燥

図-8 送り変化に対する切削抵抗と切削速度との関係

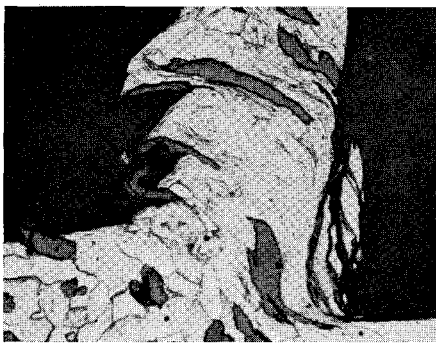
切削条件: 被削材; フェライト形球状黒鉛鑄鉄,
 工具, 超硬 ST-2 [0, var. 6, 6, 10, 0, 0.5];
 切込 2 mm; 切削剤, 乾燥

く鋼の場合の切削に比べて甚しく異なつた様相を示す。すなわち切削抵抗は切削速度の変化に対応して極大値と極小値を示している。その変化の程度は材料の matrix および黒鉛形態によって異なるが、フェライト形球状黒鉛鋳鉄において特に著しい。又パーライト形球状黒鉛鋳鉄、ブルスアイ形球状黒鉛鋳鉄では切削速度増大に伴い最大値を示す速度は 100 mpm 付近でこれ以後は鋼の場合と同様漸減する。これは切削速度 15~30 mpm にかけて生ずる構成刃先の形態が刃先において極端な鋭角をなしているが、最大値を示す速度では幾分平坦な形となり、130 mpm では薄い層をなして存在し、有効すくい角を変化させるからである。フェライト形球状黒鉛鋳鉄における切削抵抗の不規則性は工具横逃げ面に生ずる溶着物のためである。この逃げ面溶着物を flank built up といい、すでに K. J. Trigger, L. B. Zylstra, B. T. Chao¹⁾ および I. Ham, K. Hitomi, G. L. Thuering²⁾ 等によって報告されている。

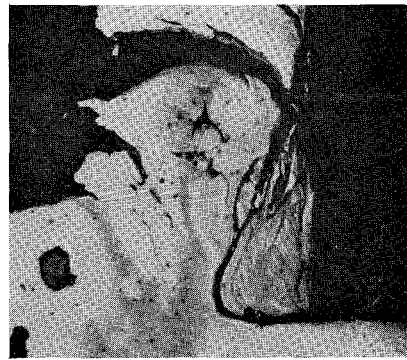
図-7, 図-8 は送りをパラメータとして切削速度の変化に対する切削抵抗の変化を示した。同図から明らかな如く送りの減少にともない切削抵抗は減少している。又 flank built up による切削抵抗の最大値は、送りの減少にもなつて高速域に移動している。すくい角の変化に対する切削抵抗の変動は図-5~8 に明らかな如く、いずれの材料に対しても高すくい角になる程著しい。しかし鋼の場合と同じく、切削抵抗については一般的傾向として高すくい角になるにしたがって切削抵抗は減少している。

III-2-[b] 構成刃先と切削抵抗

従来構成刃先は鋳鉄系材料には出来ないとされて来たが、前項に示した図-3, 図-9 の写真および図-5, 6 から明らかな如く、材料に適当な ductility があれば明瞭な通常の構成刃先が発生する。図-9 (B) の材料は熱処理を施した場合であるが図-4 (A) と比べても構成刃先は大きい。ブルスアイ形球状黒鉛鋳鉄の場合、matrix 中に占めるフェライト、パーライトの量によって通常の構成刃先の生成が左右されるものと思われる。



(A) フェライト形球状黒鉛



(B) ブルスアイ形球状黒鉛

図-9 鋳鉄系材料の構成刃先

切削条件： 図-3, 図-4 に同じ (B) 材料は高温軟化焼鈍材

[a] 項で述べた如くフェライト形球状黒鉛鋳鉄においては flank build-up の生成が著しい。これを図-10 に示した。flank build-up は通常の構成刃先と異なり、切削速度 130~200 mpm の間で急激に成長し、リボン状となって工具横逃げ面に沿って流出する。

図-10 から明らかな如く flank build-up は工具すくい角、切削速度によって影響される。さらに工具材種ならびに被削材が熱処理によって ductility を増すと附着量が多くなる。同図に明らかな如く、すくい角 0° の場合、切削速度 75 mpm から附着し始め、170 mpm で最大となりその後は減少する。一方すくい面上の通常構成刃先は小さくなり、その変質した堆積物がうすく 300 mpm 位まで附着している。すくい角 10° の場合には flank build-up の最大は切削速

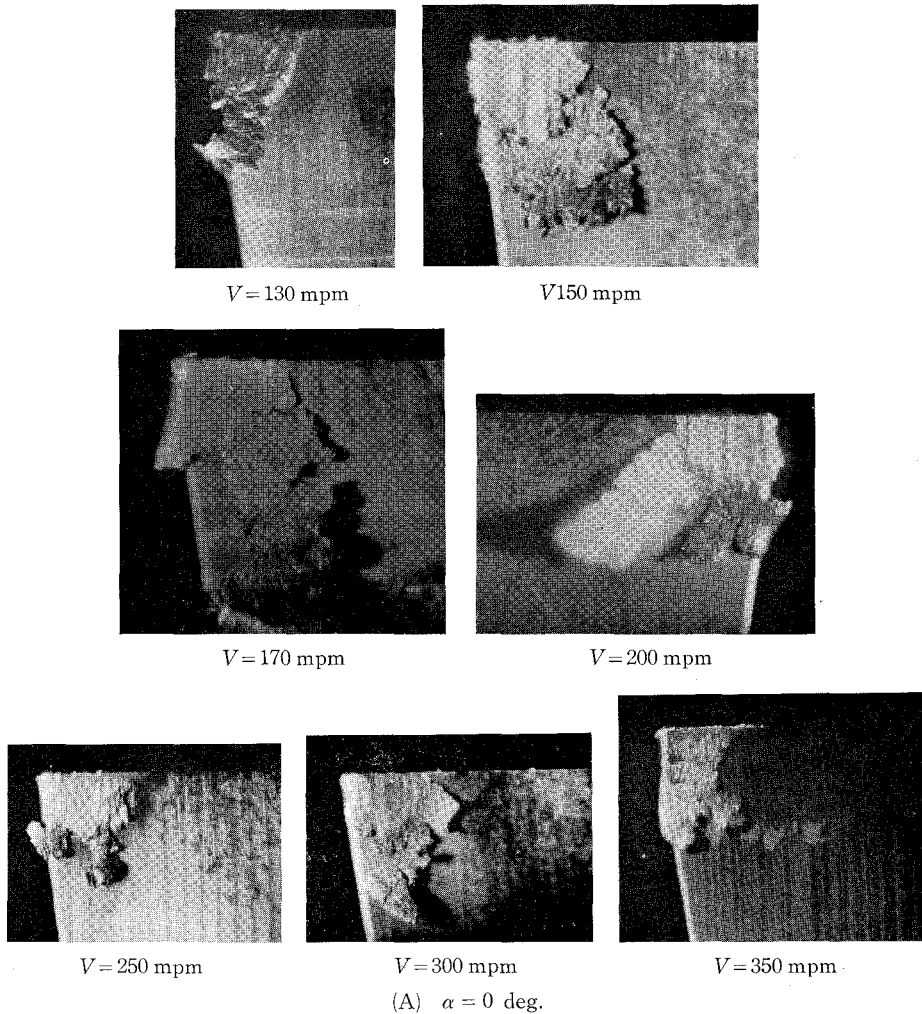
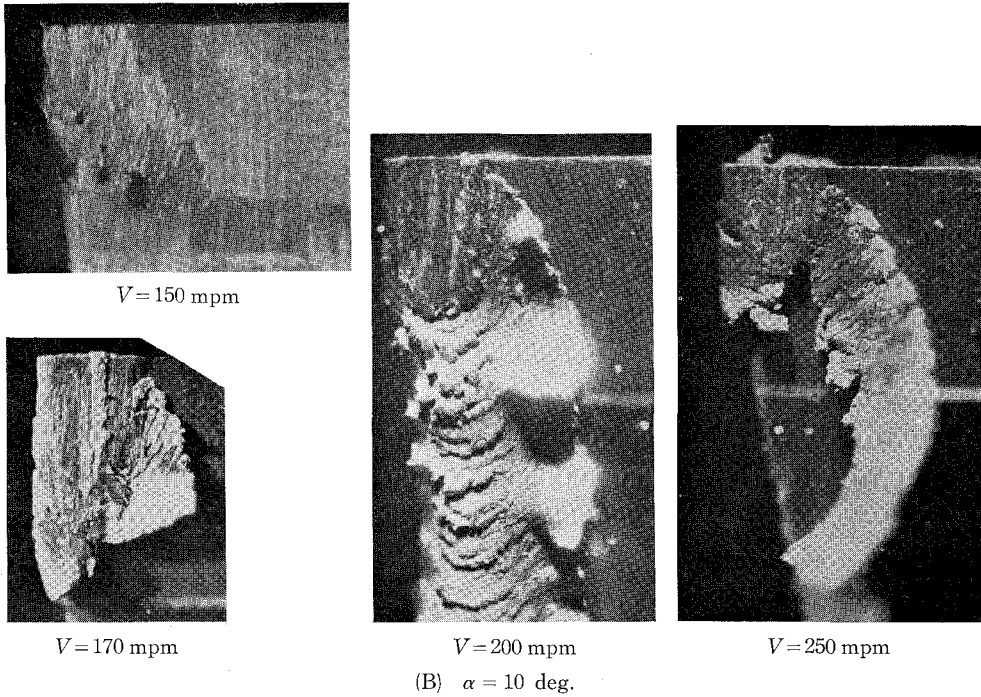


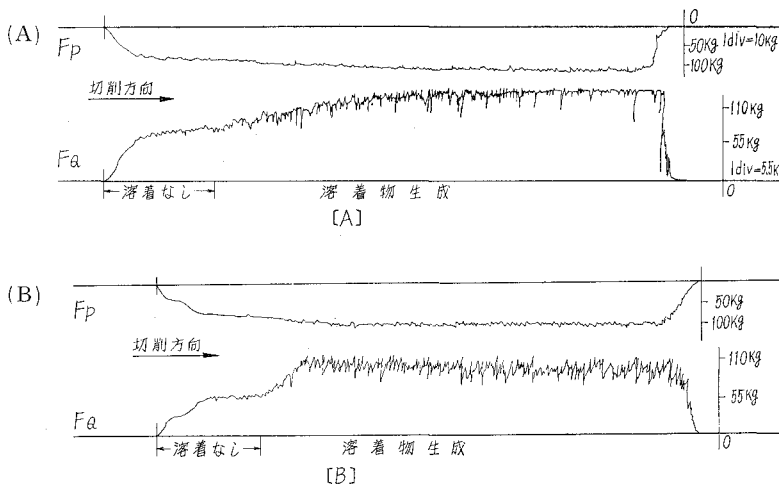
図-10 (A) フェライト形球状黒鉛鋳鉄切削において生成される flank build-up

切削条件： 工具 G-1 [0, 0, 6, 10, 0 0.5]; 送り 0.25 mmpr; 切込 2 mm



図—10 (B) フェライト形球状黒鉛鋳鉄切削において生成される flank build-up.

切削条件： 工具 G-1 [0, 0, 6, 6, 10, 0.05]; 送り 0.25 mmpr; 切込 2 mm



図—11 逃げ面溶着現象による切削力の変動

- (A) 切削速度 130 mpm; 工具, 超硬 G-1 すくい角 0 度
- (B) 切削速度 100 mpm; 工具, 超硬 ST-1

度 130 mpm で示される。

図-11 は超硬工具 G-1, ST-2 で切削した場合に起る flank built-up 生成による切削抵抗の変動状態を示した。同図および図-5 から明らかなように、工具材種によってもその生成の状態が異なる。超硬工具 G-1 より超硬工具 ST-2 の方が著しくない。このことは切削速度上昇による切削温度の上昇とあまって、工具である超硬合金中に含まれる、コバルトの量の相違および E. M. Trent⁹⁾ の実験にみられるように WC は TiC に比べてフェライトに対して、より溶着を生じやすいためであると思われる。又 flank built-up の生成は通常構成刃先の消失期において最大になるとと思われる。なぜならば flank built-up の生成と通常構成刃先の生成を横型的に説明すると次の如くなる。すなわち図-12 において、

構成刃先が発生せず、工具すくい面における切削速度による温度上昇で材料の熱軟化現象が起らないものとするれば切削抵抗の切削速度に関する関係は (a) の如くなる。

しかし低速度で構成刃先を生成する場合にはよく知られて居るように、見かけのすくい角が大きくなるため (b) の如くなる。又 flank built-up が生成する場合には (c) の如くなる。構成刃先および flank built-up とともに発生しない場合、工具すくい面における材料の熱軟化から、切削抵抗と切削速度の関係は (d) の如く表わされる。以上のダイヤグラムを総合して図-6 におけるフェライト型球状黒鉛鑄鉄の切削抵抗と切削速度の関係に対応させると (e) の如くなる。

すなわち flank built-up および構成刃先の両者を考慮した切削抵抗の速度特性が得られる。

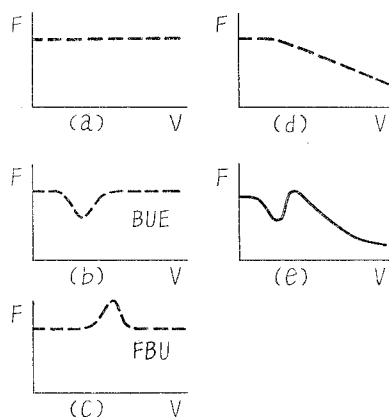


図-12 切削速度変化に対する BUE と FBU の関係

IV. 結 言

鑄鉄系材料における matrix および遊離黒鉛の形態が異なる 3 種の材料について切削実験および顕微鏡写真による観察の結果次の結果を得た。

(1) パーライト形片状黒鉛鑄鉄における切屑生成は亀裂型とせん断型の中間的切屑生成をする。matrix のパーライトは殆んど塑性変形を起さず、黒鉛片による脆性がより支配的で、黒鉛によるすくい面潤滑作用は多くを期待出来ないものと思われる。

(2) フェライト型球状黒鉛鑄鉄による切屑生成は matrix のフェライトが軟質であるため、塑性変形を示し安定した流れ型切屑生成に近いものとなり、球状黒鉛による脆性と同時に黒鉛の潤滑作用が相当期待出来るものと思われる。

(3) プルスイア形球状黒鉛鑄鉄における切屑生成はパーライト matrix の脆性と黒鉛の脆

性が複合的に作用して全体の脆性を形成しているため、フェライト形球状黒鉛鑄鉄とパーライト形片状黒鉛鑄鉄の中間的な状態である。

(4) 切削抵抗の変動はフェライト形球状黒鉛鑄鉄において著しく、ブルスアイ形球状、パーライト形片状黒鉛鑄鉄は鋼の切削におけると同様な傾向を示す。これは flank built-up がフェライト形球状黒鉛鑄鉄の場合生成されるためである。flank built-up の生成を模型的に説明したが、切削速度 150 mpm 前後で最大値となる。

(5) 通常の構成刃先は 3 種類の材料について、いずれの場合も発生するが、flank built-up の生成は通常構成刃先消失期において最大になると思われる。

終りにのぞみ本研究の実施に当り、終始御懇篤な御指導、御助言を賜った北大工学部精密工学科星光一教授ならびに臼井英治助教授に深甚なる感謝の意を表す。また本実験実施にあたり終始熱心に助力された大竹康夫氏（日本製鋼所）、川上一字氏（小松製作所）、菅原直好氏（日新製鋼）、増田肇甫氏（三池製作所）に感謝の意を表す。

本研究の一部は昭和 38 年度北海道科学研究費の助成により行なわれたもので、ここに記して謝意を表す。

(昭和 39 年 4 月 8 日精機学会春季大会学術講演会に発表)

(昭和 41 年 4 月 30 日受理)

文 献

- 1) K. J. Trigger: L. B. Zylstra, & B. T. Chao, Trans. ASME, 74, 1017 (1952).
- 2) I. Ham, K. Hitomi, & G. L. Thuering: Trans. ASME, 83-B, 142 (1961).
- 3) E. M. Trent: Journal of the Iron and Steel Institute. 201, 1001 (1963).