55 2
研究
被削材種および切削速度と切りくず生成現象との関係*
切りくず生成現象に関する実験的研究(第1報)
田口三生* * 横山一男* * 白石政市** *
Types of Chip Formation in Machining of Several Metals at Various Cutting Speeds
Experimental Study on Chip Formation Phenomena (1st Report)
Mitsuo TAGUCHI, Kazuo YOKOYAMA, Masaichi SHIRAISHI
Orthogonal cutting of eight kinds of the work materials including cast irons, steels and
copper alloy was experimentally photographed at the cutting speeds ranging from 10 mm/min
to 200 m/min, in order to organize systematic knowledge on the formation, separation and the
final shape of the chip. The results of these tests were as follows:
The chip formation phenomenon exhibits characteristic variation of its type at various
cutting speeds, inherently to the cut metal. Various steels and the brass show similar
tendency of chip formation whereas cast irons behave differently. When the cutting speed is
increased, the chip formation mechanism changes from crack type to shear type, and from
shear type to flow type. The shape of the chip meantime changes from the powder or
fragmental chip to the spiral chip, and from the spiral chip to the helical or tangled chip.
At low speed, the chip is mostly separated from the workpiece at the point of the tool tip,
while, at high speed, it is separated at the place far from the tool tip.
1. 緒言
切りくず生成現象が切削速度および被削材の種類によ
り顕著な変化を受けることは従来から知られていること
であるが,近年加工の自動化に伴い処理しやすい切りく
ずを生成することが現実の重要な要求であることから,
生成された切りくずの形状そのものがどうなっているか
ということとともに,さらに通常用いられるチップブレ
ーカの効果を予測するため,切りくずの破断分離が切り
くずの生成される刃先で起こるかあるいは切りくず生成
後刃先から離れた位置で起こるかということも問題とな
る.
そこで本研究は鋳鉄としてそれぞれの間に強度で相当
な差異の認められる普通鋳鉄FC15,高級鋳鉄FC30お
よび球状黒鉛鋳鉄FCD50を,鋼については構造用炭素
鋼S45C,鉛快削鋼,イオウ快削鋼SUM32およびステ
ンレス鋼SUS 304を,さらに銅合金として六四黄銅BsT
3の合計8種類の被削材を切削速度10mm/minから
200m/minの広範囲において二次元切削したときの切り
くず生成機構の種類,切りくずの形状および切りくずの
破断分離状況がどのように変化するかを詳細に調べる目
的で,これらの切削現象をマイクロフラッシュおよび高
速度カメラにより撮影観察した結果1)～9)につき述べる.
2. 実験方法
切削速度10mm/mimおよび40mm/mimの極低速切
削現象は図1(a)に示すような横フライス盤のテーブル
の送り運動を利用して二次元切削を行い,その現象を側
面から2台のマイクロフラッシュ(毎秒4コマ)により
連続写真に撮影した.さらに切削速度1.4m/minから
200m/minまでの切削現象は同図(b)に示すようなパイ
プ状被削材を旋盤(無段変速式)に取付け,その端面の
切削現象を側面からマイクロフラッシュ(毎秒2コマ)
および高速産カメラ(毎秒400～10000コマ)により瞬間
および連続写真に撮影した.また同時に切削抵抗を測定
し,加工後の仕上面あらさも測定した.工具は超硬P10,
P40,K10,K40を用い,すくい角は5°,15°,20°,30°,
逃げ角は5°とした.切込みは0.3mm,切削幅は3mm
である.表1は各種被削材の化学成分および機械的性質
を示したものである.
3． 実験結果および考察
3. 1 切りくず生成機構の定義
切りくず生成機構の分け方には大越諄博士により提案
されたものと米国内の文献にみられるものとがあるが,
本実験の結果を分類すると大越式分類の4種類のものが
* 原稿受付 昭和49年4月23日. 昭和48年度精機学会
秋季大会学術講演会(昭和48年10月8日)にて発表.
** 正会員 新居浜工業高等専門学校 (新居浜市八雲町
7-1)
*** 新居浜工業高等専門学校
4 4精密機械 41 巻 6 号

被削材種および切削速度と切りくず生成現象との関係 55 3
(a) (b)
よくあてはまる.そこでまずこの4種類の切りくず生成
機構につき定義し,以下この定義に基づき切りくず生成
機構を分類することにする.なお切りくずが破断分離す
る現象を高速度カメラにより観察すると図2に示す二つ
のタイプが認められる.ここで切りくずが刃先から分離
するものとは同図(a)に示すように切りくずが工具刃先
のところで完全に被削材から分離する場合を,また切り
くずが刃先から離れた位置で分離するものとは同図(b),
(c)に示すように,切りくずは刃先を通過した位置で分離
する場合を表す.
3.1. 1 き裂形の切りくず生成機構
図3(1)(a)に示すように工具が被削材に圧入し切りく
ずがすくい面上にまだあまり盛り上がらないうちに,刃
先から斜め下方に向かいき裂が進行し始め途中で(b)に
示すごとくき裂は方向を斜め上方に変えて進行する.さ
らにき裂が進展すると(c)のように切りくずは工具によ
り片持ちはりの曲げモーメントを受けて回転運動をしな
がらすくい面上をすべり上がる.さらに切りくずは回転
運動を続け,ついにき裂が自由表面に達すると,(d)のよ
うに切りくずの末端が被削材の自由表面から破断分離し
(a)
(c) (b)
図 1 実験装置
表 1 被削材の化学成分および機械的性質
切りくずが刃先から分離しているもの
切りくずが刃先から離れた位置で分離しているもの
図 2 切りくずの破断分離現象
1 9 7 5 年 6 月 4 5

55 4 田口三生, 横山一男, 白石政市
(d) (c) (b) (a)
(1) き裂形切りくずの生成過程
(d) (c) (b) (a)
(2) むしれ形切りくずの生成過程
(d) (c) (b) (a)
(3) せん断形切りくずの生成過程
一片の切りくずが生成される場合が多い.しかし一部分
の切りくずは刃先ではき裂が自由表面までには達せず,
切りくずが刃先から離れた位置に移動したときはじめて
分離するものもある.き裂形の切りくずは工具の進行に
伴って回転運動をし,最後に切りくずの末端が被削材の
自由表面から破断分離するのが特徴である.
3.1. 2 むしれ形の切りくず生成機構
図3(2)(a)に示すように工具が被削材に圧入後刃先か
らき裂が進行し始め,き裂は途中で(b)に示すごとく斜
め上方に方向を変え始める.その直後(c)のように斜め
上方にせん断すべりを起こすと同時に切りくずの先端が
被削材の自由表面から破断する.そして切りくずは(d)
に示すようにせん断面上を直線すべり運動をしながらす
べり上がり破断分離する場合が多い.しかし一部分の切
りくずは刃先では部分的な破断を起こし,それが原因と
なって切りくずが刃先から離れた位置に達したときはじ
めて分離するものもある.むしれ形の切りくずは切りく
ず生成過程の前半はき裂を発生しながら回転運動をし,
後半はせん断すべりを起こしながら直線運動をして生成
されるのが特徴である.
3.1. 3 せん断形の切りくず生成機構
図3(3)(a),(b)に示すように工具が被削材に圧入して破
線で示す塑性変形領域境界線が自由表面に達し,切りく
ずはすくい面上に大きく盛り上がる.さらに工具が進行
すると(c)に示すように刃先からせん断面に沿ってせん
断き裂が進行し始め,(d)のように切りくずの先端が自由
表面から破断し,せん断面上を直線すべり運動を行いな
がらすべり上がり被削材から分離する.しかし大部分の
切りくずは刃先では部分的な破断を起こし,それが原因
(b) 連続切りくず
(continuous chip)
(a) 波状切りくず
(wavy chip)
となって刃先から離れた位置に達してから分離
する.せん断形では自由表面で切りくずと被削
材の間に破断が起こり,せん断面上を切りくず
が直線すべり運動をしながらすべり上がり被削
材から破断分離するのが特徴である.
結局き裂形とせん断形の根本的相違はき裂形
では切りくずはすくい面に接する回転運動をす
るのに対し,せん断形の切りくずはせん断面上を直線す
べり運動する点にある.
3.1. 4 流れ形の切りくず生成機構
流れ形の切りくずを分類するとCIRP Group C の
'Terminology and Procedures for Turning Research'
(p.38)に記載されている2種類の分類がよくあてはまる
(すなわち波状切りくずと連続切りくずである).図4(a)
に示す波状切りくず(wavy chip)は周期的にせん断すべ
りが起こるが,せん断き裂は発生せず破断には至らない
連続した切りくずで自由表面側は大きな波状をしてい
る.(b)に示す連続切りくず(continuous chip)は常に一
定の塑性変形により切りくずが生成され自由表面側はな
めらかな形状をしている.これら二つのタイプの流れ形
切りくずは六四黄銅の切削においてよく経験されるもの
である.
3. 2 切りくず生成機構の時間的経過
切削速度40mm/minの極低速で普通鋳鉄FC 15, イ
オウ快削鋼SUM 32および六四黄銅BsT 3を切削した
ときの現象を連続写真に撮影して,各種の切りくず生成
機構が発生する時間的経過を観察した結果を示すと図5
のようになる.
同図(a)に示すように普通鋳鉄ではき裂形,むしれ形
およびせん断形の三つのタイプの切りくずが全く不規則
な順序と時間的間隔で生成され,これらの間には周期性
は認められない.なお高級鋳鉄でも同様の現象が認めら
れる.
次に(b)に示すようにイオウ快削鋼ではき裂形および
せん断形の二つのタイプの切りくずが生成されるが,同
じタイプの切りくずが継続して生成される時間はねずみ
図 3 不連続形切りくずの種類
図 4 流れ形切りくずの分類
4 6 精密機械 41 巻 6 号

被削材種および切削速度と切りくず生成現象との関係 55 5
鋳鉄に比べ全般的に増大する傾向を示す.ま
た構造用炭素鋼S45Cはき裂形のみの切り
くずを生成する.
さらに(c)に示すように六四黄銅ではせん
断形のみの切りくずが生成される.
すなわちねずみ鋳鉄では切りくずの生成が
不規則であるのに対し鋼および黄銅では規則
的なのは,ねずみ鋳鉄は鋼および黄銅に比べ
材質の不均一性が大きいことに基づくものと
思われる.
3.3 切削速度と切りくず生成機構との関
係
図6は切削速度10mm/minの極低速から
200m/minの範囲で表1に示した8種類の材
料を切削し,切削速度の増加に伴う切りくず
生成機構の変化を示したものである.極低速
域では構造用炭素鋼S45Cはき裂形の切り
くずを,イオウ快削鋼SUM32はき裂形とせ
ん断形の切りくずを,さらにステンレス鋼
SUS 304はせん断形,き裂形およびむしれ形
の切りくずを生成するが,切削速度の増加に
伴いき裂形,むしれ形およびせん断形は次第
に減少し,ある速度以上ではすべて流れ形の
切りくずを生成する.なお鉛快削鋼はき裂形
の切りくずは生成しない.極低速域でせん断
形のみの切りくずを生成し,速度の増加に伴
いせん断形が減少して流れ形が増加し,ある
速度以上では流れ形のみの切りくずを生成す
る.
普通鋳鉄FC15と高級鋳鉄FC30は極低速
域でせん断形,き裂形およびむしれ形の切り
くずが混在するが,速度の増加に伴いむしれ
形は消滅し大部分はせん断形,一部き裂形の
切りくずを生成する.球状黒鉛鋳鉄は全速度
域を通じてすべてせん断形の切りくずを生成
する.
六四黄銅は鉛快削鋼と同じように極低速域
でせん断形,速度の増加に伴い流れ形が増加
し,ある速度以上では流れ形のみの切りくず
を生成する.なお本実験に使用した黄銅は表1に示すよ
うに鉛の含有量は非常に少ないので鉛入り黄銅とは異な
り流れ形の切りくずを多く生成する.
以上の点から一般に切削速度が非常に小さいときは大
部分き裂形,むしれ形あるいはせん断形の切りくずを生
成するが,切削速度が増大するとせん断形あるいは流れ
(a) 普通鋳鉄FC15(工具K10,すくい角30°)
(b) イオウ快削鋼SUM32(工具P40,
すくい角15°)
(c) 六四黄銅BsT3(工具K10,
すくい角5°)
形の切りくずが増加する.これは低速域では加工硬化度
が高く10),切削温度も低いので,材料のぜい性的性質が
強く作用してき裂形,むしれ形あるいはせん断形の切り
くずを生成するのに対し,切削速度が増大すれば加工硬
化度は減少し10),切削温度も上昇して材料の延性が増す
ため,せん断形あるいは流れ形の切りくずを生成するも
切削速度:40mm/min,切込み:0.3mm,切削幅:3mm,二次元切削
図 5 切りくず生成機構の時間的経過
切込み:0.3mm,切削幅:3mm,○:FC15(工具K10,すくい角30°),
●:FC30(工具K10,すくい角30°),〓:FCD50(工具K10,すく
い角30°),△:S45C(工具P40,P10,すくい角15°),▲:SUM32
(工具P40,すくい角15°),□:鉛快削鋼(工具P40,すくい角15°),
■:SUS 304(工具P40,P10,すくい角20°),×:BsT3(工具K40,
K10,すくい角5°)
図 6 切削速度と切りくず生成機構との関係
1 9 7 5 年 6 月 4 7

55 6 田口三生, 横山一男, 白石政市
パウダチップ
(powder chip)
フラグメンクルチップ
(fragmental chip)
スパイラルチップ
(spiral chip)
ヘリカルチップ
(helical chip)
タングルドチップ
(tangled chip)
のと思われる.
そして各材料とも材質の相違に基づく材料
固有の切りくず生成機構を示しており,鋼と
黄銅はその機構がよく似ているが,鋳鉄は前
者とは著しく異なることがわかる.
3. 4 切削速度と切りくず形状との関係
8種類の材料を各種の切削速度で切削して
生成される切りくずの形状を分類すると図7
に示すような5種類に大別されるが,パウダ
チップ(powder chip)およびフラグメンタル
チップ(fragmental chip)は奥島 ・人見によ
る切りくず形状の分類11)から,スパイラルチ
ップ(spiral chip),ヘリカルチップ(helical
chip)およびタングルドチップ(tangled
chip)はCIRP GroupCの'Terminology
and Procedures for Turning Research'(p.
40)の分類から引用したものである.そして
この分類法に基づき切削速度の増加に伴う切
りくず形状の変化を示したものが図8であ
る.これより普通鋳鉄FC15,高級鋳鉄FC30はどちら
も極低速域ではパウダチップであるが切削速度が3m/
minを超える速度域ではフラグメンタルチップが生成さ
れる。そして球状黒鉛鋳鉄は極低速域ではフラグメンタ
ルチップであるが,切削速度が3m/minを超える領域
では2ないし3巻き程度のスパイラルチップに変化す
る.鋼は切削速度の増加に伴いフラグメンタルチップ →
スパイラルチップ→ ヘリカルチップあるいはタングルド
チップに変化する.六四黄銅も鋼と同様な変化をする
が,鋼よりも低速域からヘリカルチップを生成する.
すなわち各材料とも切りくずは切削速度が増大すれば
長く連続する傾向を示す.そして鋼および黄銅はよく似
た形状であるが,鋳鉄は前者と比べ著しく短い切りくず
を生成する。
3. 5 切削速度と切りくずの破断分離形態との関係
切りくずが刃先から分離している現象と刃先から離れ
た位置で分離している現象を高速度カメラにより撮影
し,切削速度の増加に伴う切りくず分離現象を比較して
示したものが図9である.同図で曲線の上側の領域は切
りくずが刃先から分離する比率を,曲線の下側は刃先か
ら離れた位置で分離する比率を示す.これよりどの被削
材も切削速度が非常に小さいところでは刃先から分離す
る比率が大きいが,切削速度が増大すると刃先から離れ
た位置で分離する比率が増加する.そして鋳鉄以外の金
属はある速度以上になると切りくずはすべて刃先から離
れた位置で分離する.鋳鉄は切削速度が増加しても切り
くずの一部は刃先から分離する.
この原因を調べるため普通鋳鉄FC15,高級鋳鉄FC
図 7 切りくず形状の種類
切込み,10.3mm,切削幅:3mm,○:FC15(工具K10,,すくい角
30°),●:FC30(工具K10,すくい角30°),〓:FCD50(工具K10,す
くい角30°),△:S45C(工具P40,P10,すくい角15°),▲:SUM32
(工具P40,すくい角15°),□:鉛快削鋼(工具P40,すくい角15゜),
■:SUS304(工具P40,P10,すくい角20°),×:BsT3(工具K40,
K10,すくい角5°)
図 8 切削速度と切りくず形状との関係
4 8 精密機械 41 巻 6 号

被削材種および切削速度と切りくず生成現象との関係 55 7
30,球状黒鉛鋳鉄FCD50,構造用炭素鋼S45Cおよび
六四黄銅BsT3を切削速度40mm/minで切削したとき
の切りくず分離状況を示したものが図10である.き裂
形の切りくずを生成する場合は切りくずが刃先から分離
する比率が大きいのに対し,せん断形の場合は刃先から
離れた位置で分離する比率が大きくなる.そしてき裂形
とせん断形の切りくずが混在する場合は両者の中間的な
値をとる.
以上の点から切削速度が非常に低いとき
はき裂形の切りくずを生成する場合が多い
ため刃先から分離する比率が大きくなるの
に対し,切削速度が増大するとせん断形あ
るいは流れ形の切りくずが増すため刃先か
ら離れた位置で分離する比率が大きくな
る.
ねずみ鋳鉄では切削速度が増大しても
20%程度はき裂形の切りくずを生成して
いるため,切りくずの一部分は刃先から分
離している.これは鋼および黄銅では認め
られない特徴である.
3. 6 切りくずの破砕性
切りくずの破断分離現象は切りくずの破
砕性に影響を与えることが考えられるの
で,破砕性を調べるため構造用炭素鋼S45
C,イオウ快削鋼SUM32および鉛快削鋼
を各種の切削速度で切削したときの切りく
ずをそれぞれ30個ずつ採集してその重量
を測定し,切りくず1個あたりの平均重量
を求めた.そして切削速度の増加に伴う切
りくず1個あたりの重量の変化を示すと図
11のようになる.なお矢印は1個ずつの
重量のばらつきの範囲を示す.同図より非
常に低速域では快削鋼の切りくず1個あた
りの重量はS45Cより小さいとはいえな
いが,切削速度が増加すると快削鋼のほう
がS45Cより小さくなる.図9でみるよ
うに切削速度が10m/minを超える速度域
では各材料は刃先から破断を起こさないに
もかかわらず,この速度域で快削鋼のほう
がS45Cより破砕性がはるかによくなる
ということは快削鋼がS45Cより切りく
ずの衝突破砕する性質が大きいことを示し
ており,これは快削鋼の切りくず生成現象
の一つの特徴と考えられる.
4. 結論
以上の検討結果をまとめると次のようになる.
(1) 切りくず生成現象は金属材料固有の特性をもって
いるが,鋼と黄銅はその現象がよく似ており,鋳鉄
は前者とは著しく異なる.
(2) 切削速度が増大すると切りくず生成現象は変化す
るが,一般的にき裂形 → せん断形 → 流れ形あるいは
切込み:0.3mm,切削幅:3mm,○:FC15(工具K10,すくい角30°),
●:FC30(工具K10,すくい角30°),〓:FCD50(工具K10,すくい角
30°),△:S45C(工具P40,P10,すくい角15°),▲:SUM32(工具
P40,すくい角15°),口:鉛快削鋼(工具P40,すくい角15°),■:SUS304
(工具P40,P10,すくい角20°),×:BsT3(工具K40,K10,すくい角
5°)
図 9 切削速度と切りくず分離形態との関係
切削速度:40mm/min,切込み:0.3mm,切削幅:3mm,二次元切
削,FC15,FC30,FCD50(工具K10,すくい角30°),S45C(工具
P40,すくい角15°),BsT3(工具K40,すくい角5°)
図 10 切りくず生成機構と切りくず分離形態との関係
1 9 7 5 年 6 月 4 9

55 8 田口三生, 横山一男, 白石政市
せん断形 → 流れ形に変化する.切りくずの形状はパ
ウダチップあるいはフラグメンタルチップ→ スパイ
ラルチップ → ヘリカルチップあるいはタングルドチ
ップに変化し長く連続する傾向を増す.そして切り
くずは低速では刃先から大部分分離するが,切削速
度が増大すると刃先から離れた位置で分離するよう
になる.
(3) 鋳鉄は流れ形の切りくずは生成しないで,切削速
度が増大しても切りくずの一部分は刃先から分離し
短い切りくずを生成する.
(4) 連続した切りくずを生成するときは切りくずは刃
先から破断分離を起こさない.そして快削鋼の切り
くずは刃先から破断分離を起こさないが,他の金属
と比べ衝突破砕する性質が大である.
おわりに本研究を行うにあたり終始ご懇切な
ご指導をたまわった京都大学 ・奥島啓 〓 教授,
星鉄太郎助教授に厚くお礼申し上げます.
参考文献
1) 田口三生,横山一男,白石政市:普通鋳鉄切削
機構の動的観察(第1報),精密機械,34,10
(1968)674.
2) 田口三生,横山一男,白石政市:普通鋳鉄切削
機構の動的観察(第2報),昭和43年度精機学
会秋季大会学術講演会前刷(1968)3.
3) 田口三生,横山一男,白石政市:普通鋳鉄切削
機構の動的観察(第3報),昭和44年度精機学
会秋季大会学術講演会前刷(1969)251.
4) 田口三生,横山一男,白石政市:高級鋳鉄およ
び球状黒鉛鋳鉄の切削機構(第1報),昭和45
年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1970)
57.
5) 田口三生,横山一男,白石政市:高級鋳鉄およ
び球状黒鉛鋳鉄の切削機構(第2報),昭和46
年度精機学会春季大会学術講演会前刷(1971)
55.
6) 田口三生,横山一男,白石政市:鋼および銅合金の極低
速域における不連続形切りくず生成機構,第49期日本機
械学会全国大会講演論文集,No.710-11(1971)1.
7) 田口三生,横山一男,白石政市:低速域における炭素鋼
の切りくず生成現象,昭和47年度精機学会秋季大会学術
講演会前刷(1972)49.
8) 田口三生,横山一男,白石政市:快削鋼の低速域におけ
る切りくず生成現象,昭和48年度精機学会秋季大会学術
講演会前刷(1973)49.
9) 田口三生,横山一男,白石政市:ステンレス鋼の切りく
ず生成現象,昭和49年度精機学会秋季大会にて発表予
定.
10) 佐田登志夫:加工による表面あらさの形成,表面あらさ
に関するシンポジウムテキスト(切削性研究会)(1965)
36.
11) 奥島啓弍:切りくず形状の分類と処理性の評価,切りく
ず処理に関するシンポジウムテキスト(切削性研究会)
(1973)3.
切込み:0.3mm,切削幅:3mm,S45C,SUM32,鉛快削鋼(工具
P40,すくい角15°)
図 11 快削鋼と構造用炭素鋼の切りくず破砕性の比較
5 0 精密機械 41 巻 6 号