

基礎加工学

切削加工 I (切削理論 I)



鈴木 孝明

087-864-2343 (大学居室)
087-887-1873 (FROM香川)
suzuki@eng.kagawa-u.ac.jp
http://www.eng.kagawa-u.ac.jp/~suzuki/



長所

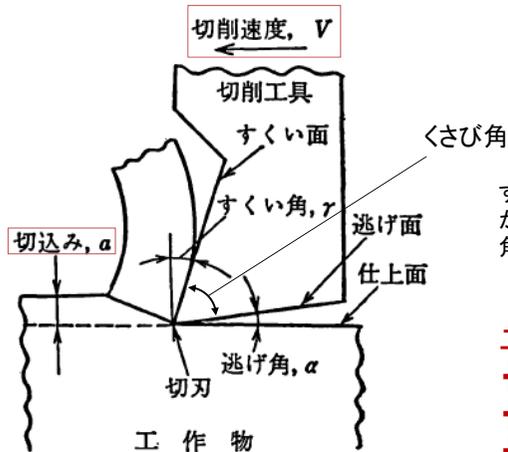
- 1) たいいていの材料は切削加工できる。
切削の絶対条件は材料が刃物より軟らかいこと。ダイヤモンドなどの硬質の刃物が容易に使えるようになった昨今では、切削不能な材料は非常に少ない。
- 2) たいいていの形状は切削加工で作ることができる。
削るためには、刃物と工作物の相対運動が絶対に必要であるので、複雑な形のくぼみや、刃物が到達できないような陰の部分は削れないが、他の加工法に比べると制限が少ない。
- 3) 高能率の荒加工から高精度の仕上げ加工までができる。
普通の切削で10 μ m程度、超精密切削ではnmオーダーの加工精度が得られる。
- 4) 生産数量の多少に応じて、能率の良い加工ができる。
汎用機から自動盤までの各種工作機械を使いわけできる。
- 5) 切削で消費するエネルギーは他の加工法に比べて小さい。

表 2.1 単位体積を除去するに要するエネルギーの概略値

加工法	所要エネルギー (J/mm ³)
切削 (一般)	1~10
研削 (仕上げ)	20~60
	60~200
切斷	10~30
ベルト研削	10~30
電解研磨	1~10
放電加工	10 ² ~10 ³
電子ビーム加工	10 ⁶
レーザー加工	10 ⁶
(室温の鋼を溶融するに要するエネルギー)	10

欠点

- 1) 切りくずが出る。材料の無駄が多くなりやすいから、製品の価格の中で材料費の占める割合が大きい場合には切削は不利。また、切りくずが作業の邪魔をして問題になることがある。
- 2) 刃物を介して工作物に力を加えなければならない。その力の大きさと方向によっては工作物、刃物および工作機械に有害な弾性変形などが生じる。
- 3) 切削で消費するエネルギーの95%以上は熱に変わり、温度上昇をもたらす。熱膨張による寸法変化、刃物の磨耗の促進、切削面表層の結晶組織の変化などをまねく。
- 4) 切削によって起こる塑性変形は、切りくずの内部だけにとどまらず、仕上面表層にも及ぶことが多く、熱の影響と相まって、加工変質層を作りやすい。

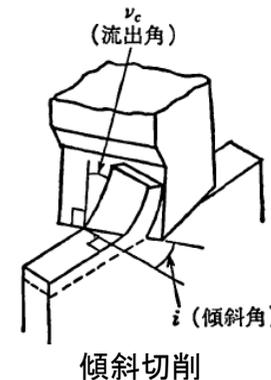


すくい角は一般に大きい方が切れ味が良いが、大きくなりすぎると、くさび角が小さくなり、切刃強度が低くなる。

二次元切削の切削条件

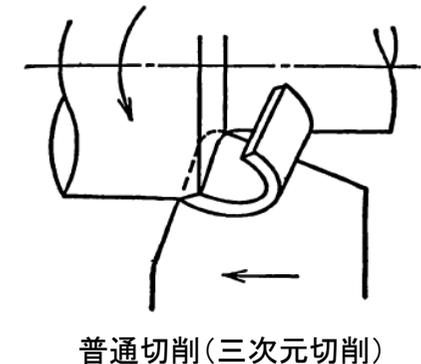
-
-
-

図 3.3 二次元切削における各部の名称



切刃に対して、工具を傾けて削る

切りくずは切刃から傾いた方向に出ていくため、切削抵抗も傾いた方向にはたらく



切刃が複数の直線や曲線でできている

2つの直線切刃とそれらをゆるやかに結ぶ円弧状切刃





切りくず

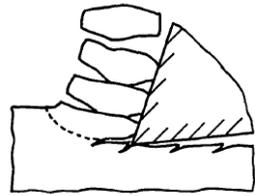


図 5.8 むしれ型切りくず

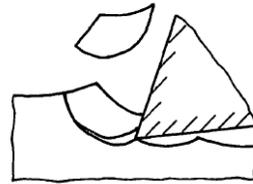


図 5.9 き裂型切りくず

機構:発生するクラックが、その断面を完全に貫通する

- ・普通铸铁や青铜のようなもろい材料の切削で発生
- ・切削抵抗が変動
- ・き裂が切削予定面より下方に向かって発生し、仕上面は粗くなる
- ・もろい材料は切りくずの受けるひずみは小さいため、切削抵抗の平均値も小さい



切りくずの連続性を高める (き裂形→せん断形→流れ形へと変える) ためには、してやればよい。

- 1) 切りくずの が大きくなるようにする。
切りくずの延性をきめるおもな要因
 - ① 被削材質(化学成分、熱処理、冷間加工など)
 - ② 温度:切削中の変形仕事によってせん断面の温度はかなり上昇する(鋼の普通の切削で400℃程度)
 - ③ 切削中に受けるせん断ひずみ:大きくなると延性が減る
 - ④ 切削油剤による冷却とレピンダー効果
- 2) 切りくずが作られるときに受ける が小さくなるようにする。
せん断角φが大きくなるようにすればよい。定性的には次のようにすればφが増す。
 - ① 工具のすくい角を大きくする
 - ② 切削油剤などで工具すくい面と切りくずの間に潤滑し、摩擦力を減らす
 - ③ 切削速度を増し、すくい面温度を上昇させ、摩擦力を減らす
 - ④ 切りくずと工具すくい面の接触面積を減らすように、すくい面の形を工夫する



切りくずと工具すくい面との間の高い圧力と大きな摩擦抵抗、および、切削熱によって切りくずの一部が加工硬化して刃先の前方に溶着して発生

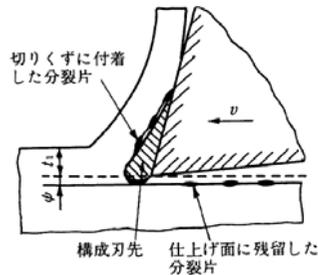


図 5.10 構成刃先の生じたときの切削状態

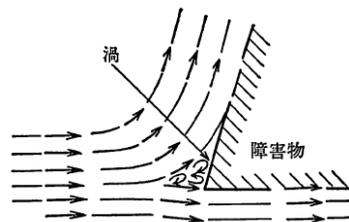
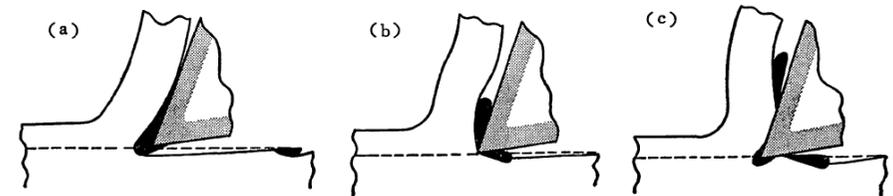


図 3.21 障害物による渦の発生

功罪両面で切削作用に非常に大きな影響を与える。

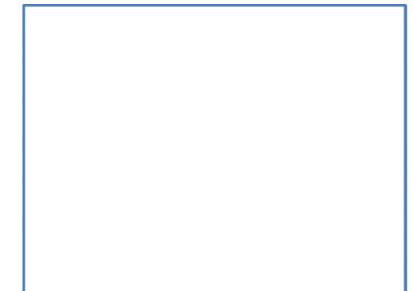
- 工具の刃先を保護する。
- × を劣化させる。

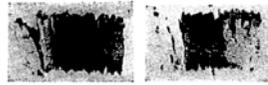
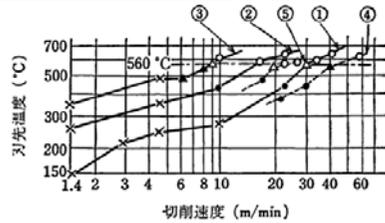
各場合に応じて構成刃先をうまく制御することが絶対に必要



刃先としては不安定

- ・成長と脱落をくり返す場合が多い
- ・脱落した破片は、仕上面と切りくずの両方に付着して残る





符号 構成刃先の状態
(a) × 構成刃先なし (割断形切りくず)

(b) ● 安定した構成刃先



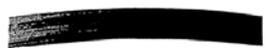
(c) ▲ 全幅で周期的に成長・脱落をくり返す構成刃先



(d) △ 両端で周期的に成長・脱落をくり返す構成刃先



(e) ○ 構成刃先なし (全面光沢)



番号	送り量 (mm)	被削材温度 (°C)	切削方式
1	0.1	室温	2次元切削
2	"	200 (±30)	"
3	"	400 (±30)	"
4	"	室温	3次元切削
5	0.2	"	"

被削材: 0.4% 炭素鋼
工具: P10 超硬, すくい角 0°
他の条件は表示のように変化

図 3.25 切りくずの摩擦面の観察による構成刃先の存在状況の判定

図 3.24 切削速度と刃先温度および構成刃先の関係

切削中に刃先温度が上昇して、被削材の再結晶温度をこえると、
[] は失われ、[] も消失する。



i) [] の減少

- 抵抗の減少はすくい角が小さいときには顕著。
- すくい角が大きくなって30° に近づくと、付着する構成刃先が小さくなり、抵抗はほとんど変化しなくなる。
- 切削動力も減るため、工作機械を能力いっぱいを使う場合、構成刃先がつけば余計に削ることができる。

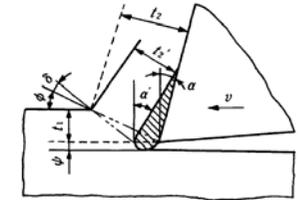


図 5.11 構成刃先の影響の概念図

ii) [] の減少

- 工具先端が構成刃先でおおわれると、摩擦しないため、磨耗もおこらない(常に安定した構成刃先がついている場合)。

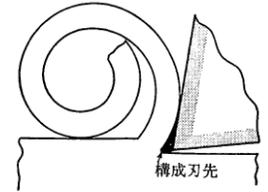


図 3.28 構成刃先によって作られる渦巻形切りくず

iii) [] の向上

- 切りくずは、構成刃先によって上向きにカールさせられ、渦巻形になって折れやすい。



i) [] の増大

- 構成刃先の輪郭は凹凸がはげしく、成長脱落によってその形が常に変化するので、構成刃先によって作られた仕上面は粗く、しかも不規則な形になる。

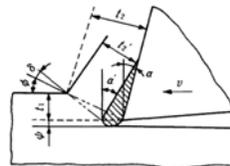


図 5.11 構成刃先の影響の概念図

ii) [] の低下

- 構成刃先の先端は工具の刃先より突き出しており、切削予定面より深く削る(過切削量)傾向がある。
- 過切削量は不安定に変動するので、仕上寸法精度が低下する。

iii) [] 劣化

- 構成刃先が脱落してその破片が仕上面に残ると、鋭いクラックが生じ、その底部は応力集中源となって疲労強度が低下する。
- 破片は著しく硬化しており、不均質な表面は外観、耐食性などの点で好ましくない。

iv) [] の発生

- 工具面に溶着した構成刃先が脱落する際、工具の一部も一緒に持ち去って、[] をおこすことがある。
- 超硬合金やそれ以上の硬ぜい工具材料でおこりやすい。



1) 切削工具のすくい角を [] にする。

ただし、刃先強度が低下するから、工具材料に比べてかなり軟らかい材料を削る場合にしか適用できない。

2) 切削工具のすくい面を [] を防ぐ。

潤滑性の高い切削油剤は低速軽切削に対してある程度有効であるが、普通の実用切削条件下では完全な潤滑は期待できない。

3) 工具の刃先温度を [] 以上にして、[] がおこらないようにする。(一番現実的な方法)

- 切削速度を上げる(高速切削)
- 送りを増す(高送り切削)
- 工具のすくい角を小さくする
- 工作物を加熱して削る(加熱切削)





構成刃先の発生を完全に防ぐことができない場合

小型化

- 1) 工具のすくい角を大きくして30° に近づける。
- 2) 切削油剤で潤滑する。
- 3) 。
(一般の3次元切削では送りを小さくし、
工具のアプローチ角を大きくする。)

安定化

SWCバイトのような特殊な刃形が有効。切刃部に負角の部分の設けると、ここに被削材が停留し、安定した構成刃先が作られる。

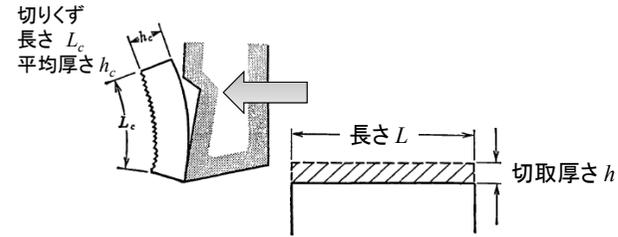


図 6.15 SWC 切削



 を判断するための重要な値

切りくずが作られるときに受けるひずみに直接関係する量で、切削抵抗や発熱量の大小の目安となる。



金属を削る場合には、切りくずになると厚さが2~5倍になり、長さはそれに逆比例して短くなる。(体積変化はほとんど無い。)

$$hL = h_c L_c \text{より、}$$

$$\text{切削比: } \frac{h}{h_c} = \frac{L_c}{L} = C_h \leq 1$$



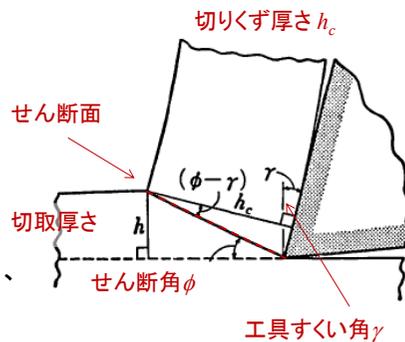
幾何学的関係から

$$\frac{h}{\sin \phi} = \frac{h_c}{\cos(\phi - \gamma)}$$

これを、切削比: $C_h = \frac{h}{h_c}$ で整理すると、

$$\tan \phi = \frac{C_h \cos \gamma}{1 - C_h \sin \gamma}$$

 と、 から切削比を求めれば、せん断角を算出できる



刃先がAからBに進行する間に、母材中の□ABCDの部分せん断面方向にせん断変形して□A'B'C'D'の切りくずになる

この変形によるせん断ひずみ γ_s は、

$$\gamma_s = \frac{AA'}{BE} = \frac{AE + EA'}{BE} = \cot \phi + \tan(\phi - \gamma)$$

すくい角 γ がわかっていれば、せん断角 ϕ を求めることによって、せん断ひずみも算出できる。

一般に、

$$\cot \phi \gg \tan(\phi - \gamma)$$

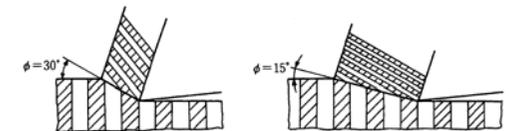


図 5.13 せん断角 ϕ による切りくずのひずみ

母材の縦縞が切りくずに入ったときの変形は、せん断角が小さい方がはげしい





- ① 工具すくい面の温度を上昇させ、摩擦力を減らすので、が増し、が増して、切りくず形態を、き裂形→せん断形→流れ形と変化させる。
- ② せん断角の増加によってが減る。
- ③ 構成刃先の発生を防ぎ、仕上面を平滑にする。
- ④ 切削工具と工作物が熱膨張し、過切削をおこして加工精度を低下させる。
- ⑤ 切りくずが工作機械のベッドやテーブルに熱を伝え、不均一な加熱によって熱変形をおこさせ、加工精度を低下させる。
- ⑥ を促進する。(最大の問題)
- ⑦ 工具に塑性変形をおこさせ、切削不能にすることがある(高速度鋼工具などで)。
- ⑧ 工具内に熱応力を生じさせ、熱き裂を生じさせることがある(セラミック工具などで)。
- ⑨ 切りくずの温度があまり上がると延性が増し、折れにくくなり、切りくず処理が困難になる。
- ⑩ 切削仕上面表層に (次回説明)を作る。

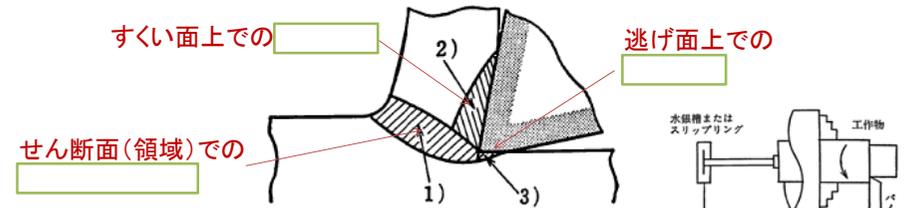


図 3.51 切削熱の発生する場所

図 3.53 工具-工作物熱電対法

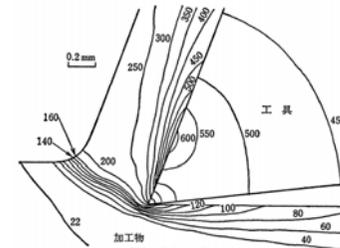


図 3.52 刃先近傍の温度分布の計算結果 (A. O. TAY 氏か: PIME, 188 (55): 627, 1974)
 被削材: 0.13% C 快削鋼, 工具: 超硬合金, すくい角: 20°, 逃げ角: 6°,
 切取り厚さ: 0.274 mm, 切削深: 9.5 mm, 切削速度: 78 m/min

工作物と切りくずはこれらの熱源に対して動くため、かなり複雑な温度分布を生じる。温度勾配は1mm当たり度という急なところもある。

実用上一番重要なのは工具のすくい面上の温度であり、「工具-工作物熱電対法」によって比較的簡単に測定できる。



切削温度の上昇を少なくする方法

- ① 発熱量、すなわち、 (時間当たり、切削体積当たり) を少なくする。(切削速度、送り量および切込みを減らし、工具のすくい角を大きくする、などが有効であるが、いずれも切削能率を低下させることになる。)
- ② の高い工具や被削材を用いる。
- ③ 工具や工作物の太さや厚さを増して伝熱経路を広げる。
- ④ 冷却能力の高い などを使って冷却する。(高効率切削では効果が少ない。)



切削温度の上昇を防ぐことはあきらめて、切削能率を高めるために、より高い切削温度に耐えられる工具材料を開発してきたのが、19世紀以来今日もつづく発展の流れである。



1. せん断ひずみの大きさは、どのように定義されるか。
2. すくい角 10° の切削工具で長さ100mmの部品を削ったとき、切りくずの長さが35mmであった。この場合の切削比、せん断角および切りくずが受けたせん断ひずみを求めよ。[0.35、 20° 、2.9]
3. 固体どうしの乾燥摩擦に関しては、よく知られている摩擦の法則 (AmontonまたはCoulombの法則とよばれる;経験則)がある。これはどのようなものか。
4. すくい角 0° のバイトで切取り厚さ0.20mmの2次元切削を行うとき、切削速度 V_1 で削ったら切りくず厚さは0.60mmだったが、 V_2 に増速したら0.50mmに減った。この場合、切削抵抗の主分力と背分力はそれぞれ何%減少したであろうか。ただしこの被削材の $\phi=55^\circ$ とする。[11%、22%]

