

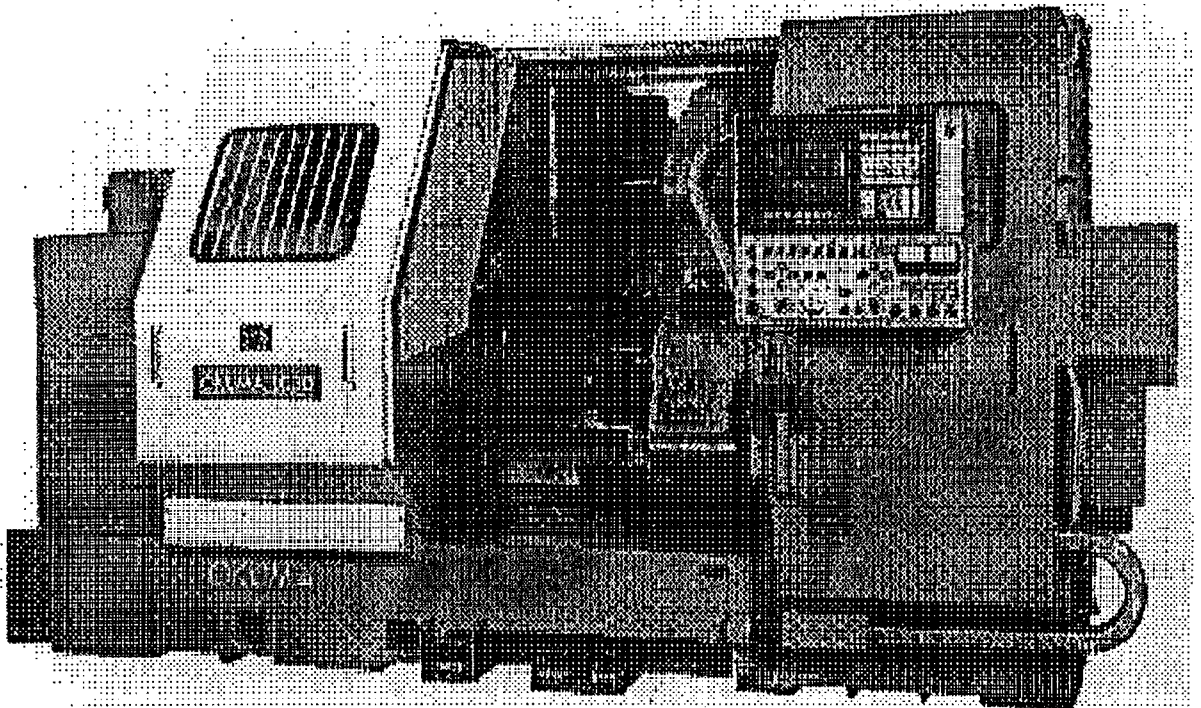
付録 6

補助教材 No. 11

「切削加工の基礎知識」

機械加工作業者の技術力向上のために

切削加工の基礎知識



職業訓練大学校

職業訓練研修研究センター



第1章 切削のための条件

- 1-1 加工法の分類と切削加工
- 1-2 切削加工の3条件
- 1-3 切削条件の設定
- 1-4 切削仕上げしろ
- 1-5 仕上げしろに影響する諸元
- 1-6 切削動力の計算法

第2章 切りくず生成のメカニズム

- 2-1 切りくずの生成機構
- 2-2 切りくずの形態
- 2-3 せん断角と切りくず接触長さ
- 2-4 切削抵抗
- 2-5 切削熱と切削温度
- 2-6 構成刃先の発生
- 2-7 構成刃先の防止
- 2-8 仕上げ面の生成
- 2-9 加工変質層
- 2-10 びびりの発生と防止
- 2-11 被削性と難削材

第3章 切削油剤の使用効果

- 3-1 切削油剤の種類
- 3-2 切削油剤に必要な性質
- 3-3 切削油剤の潤滑と冷却
- 3-4 切削油剤の選定

第4章 切削工具と切りくず

- 4-1 刃先各部の名称
- 4-2 刃先各部の働き
- 4-3 バイトの種類と用途
- 4-4 チップの呼び記号
- 4-5 切りくず処理

第5章 工具の摩耗と寿命

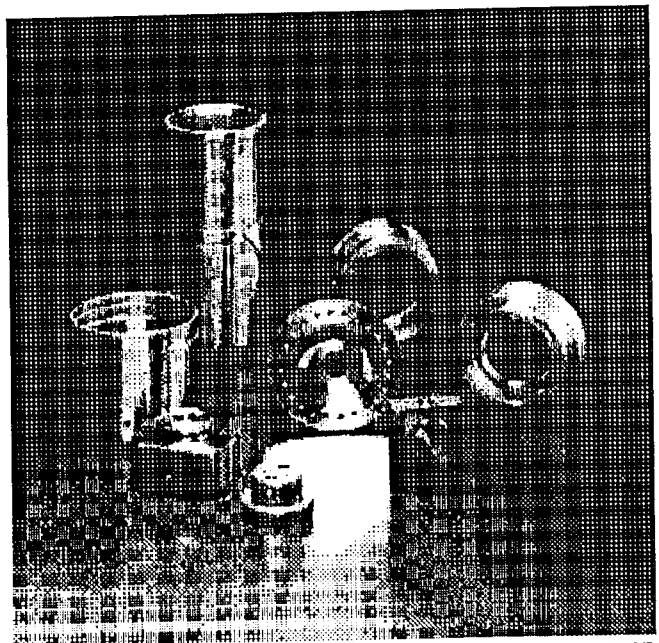
- 5-1 工具の損傷形態
- 5-2 逃げ面摩耗とすくい面摩耗
- 5-3 工具寿命の判定
- 5-4 工具損傷の対策

第6章 工具材種の選定

- 6-1 切削工具材種の分類
- 6-2 高速度工具鋼
- 6-3 超硬合金工具
- 6-4 コーティング
- 6-5 サーメット
- 6-6 セラミック
- 6-7 超高压焼結体

第1章 切削のための条件

- 1 - 1 加工法の分類と切削加工
- 1 - 2 切削加工の3条件
- 1 - 3 切削条件の設定
- 1 - 4 切削仕上げしろ
- 1 - 5 仕上げしろに影響する諸元
- 1 - 6 切削動力の計算法



1-1 加工法の分類と切削加工

素材を目的とする形状および寸法に仕上げる方法、すなわち加工法は次の3つに大別される。

1. 変形加工法：鋳造、鍛造、転造などの加工法
2. 付着加工法：溶接、接着、圧着、メッキなどの加工法
3. 除去加工法：各種の切削加工、超音波加工、放電加工など

切削加工は、刃物を利用して素材の不要部を切りくずとして除去する加工法であることから除去加工法に含まれている。

しかし、不要部を切りくずとして除去する加工法、つまり切削加工法は、狭義にはバイトやフライスを利用する切削加工法のほかに、砥石や砥粒を利用する砥粒加工法（一般には研削加工）がある。そこで、切削加工法はさらに次のように分類されている。

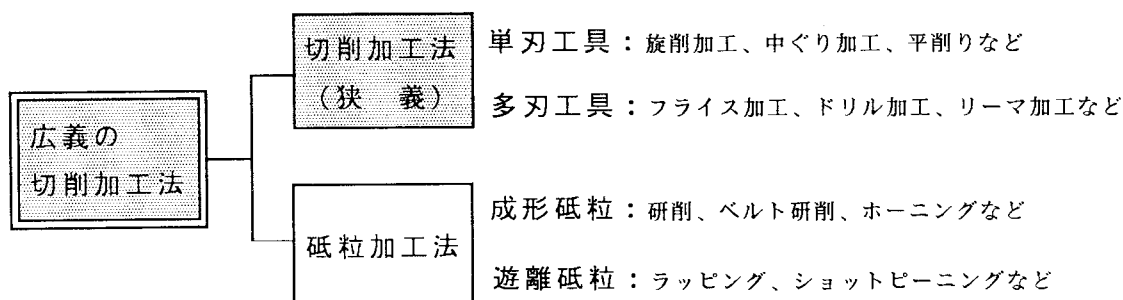


図1-1 切削加工法の分類

上記のように、切削加工は素材の不要部を除去する加工法であり、このため、切削工具（以下、工具という）と被削材の間には次の3つの相対運動がなされなければならない。

1. 主運動

工具あるいは被削材の回転（または直線）運動。旋盤では主軸の回転運動がこれに相当する。

2. 送り運動

一定の量で工具を移動させ、被削材の加工面に広がりを与える運動。旋盤では1回転当たりの送り運動がこれに相当する。

3. 位置調整運動

工具（または被削材）の位置決め運動あるいは切込み運動。一般には切込み量を設定するための運動をいう。

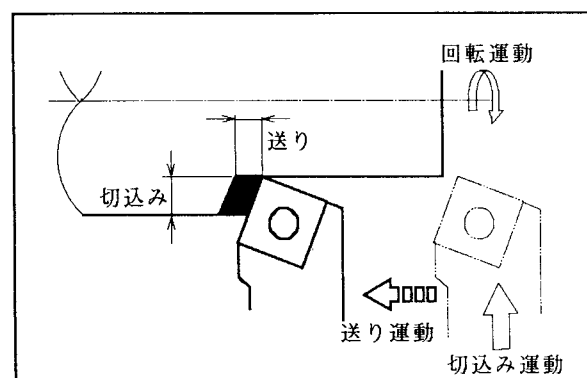


図1-2 切削運動

1 - 2 切削加工の3条件

工作機械における3つの切削運動、すなわち主運動、送り運動、位置調整運動は、旋盤作業ではそれぞれ次のような条件設定によって、工具と被削材の相対運動が調整され、切削加工が行われる。

1. 主運動

主軸の回転運動がこれに相当する。これは単位時間当たりの主軸回転数（rpm）で設定される。しかし、主軸回転数は被削材の直径の大小によって、工具が被削材を切削する速さが異なる。そこで、切削の条件を一定にするために、単位時間当たりに被削材を切削する速さ、すなわち、切削速度（m/min）から主軸回転数を計算で求め、主運動の条件設定を行う。

2. 送り運動

送り運動は主軸が1回転する間に工具が移動する量、すなわち、送り（mm/rev）で設定することができる。

3. 位置調整運動

被削材を切削するための位置調整運動は、すなわち切込み運動であり、切込み運動は1回当たりの切込み（mm）で設定される。

このように、工作機械の切削運動はそれぞれ、切削速度、送り、切込みの3つの条件を設定することによって、工具と被削材の相対運動が決定し、切削加工が行われるのである。

そして、切削速度、送り、切込みを切削の3条件と呼んでいる。

図1-4に切削の3条件によって得られる単位時間（min）当たりの切削量を示す。すなわち、送りと切込みで切りくずの断面積が決定し、さらに切削速度を加味することによって切削量（つまり、切りくず排出量）が決定する。

汎用旋盤では回転数の変速段数が少ないこともあって、経験的な判断から主軸の回転数を設定し切削を行っているようであるが、NC旋盤では、切削条件を常に一定に保つために、切削速度から主軸の回転数を導き出す必要がある。

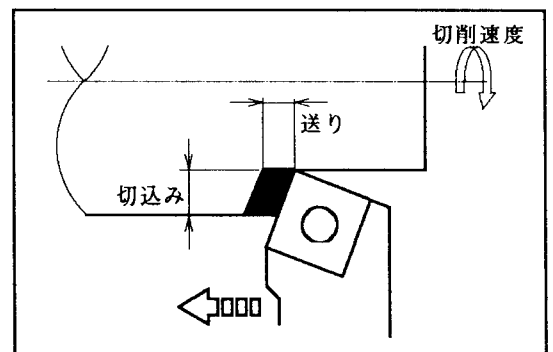


図1-3 切削加工の3条件

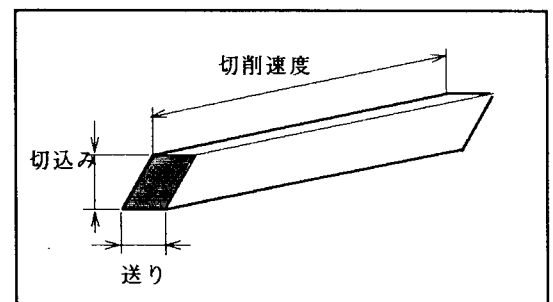


図1-4 1分間当たりの切削量

1 - 3 切削条件の設定

ここでは切削の3条件、すなわち、切削速度、送り、切込みの設定方法について述べる。切削条件の適否は、切削能率、切削抵抗、切削動力、工具寿命、加工精度などに直接影響を与える重要な要素である。切削条件の適切な設定ができることが加工作業者としての必須の条件であるといっても過言ではない。

1. 切削速度

切削速度とは、工具が被削材を削る速さのことで、この大きさによって主軸回転数を求めることができる。その計算式は次式で表すことができる。

a. 切削速度と主軸回転数の関係

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot N}{1000} \dots\dots ②$$

b. 主軸回転数は次式に変換して求める

$$N = \frac{1000 \cdot V}{\pi \cdot D} \dots\dots ①$$

ただし、
 V：切削速度 (m/min)
 N：主軸回転数 (rpm)
 D：被削材の直径 (mm)
 π：円周率 (3.14)

注1. 1000はmとmmの換算値である。
 注2. πの3.14は小数点以下を省略し、3として計算する。
 注3. 計算は筆記でなく、暗算で行うこと。上位2桁以下の計算は無意味である。

【例題】直径120mmの被削材を、切削速度90m/minで切削する場合の、主軸回転数を求めなさい。

(解答) D = 120、V = 90を②式に代入して主軸回転数を計算する。

$$N = \frac{1000 \times 90}{3 \times 120} = 250 \qquad \text{答 } \underline{\underline{250 \text{ rpm}}}$$

主軸回転数を決定するためには、はじめに切削速度の大きさを決定しなければならないが、切削速度は工具や被削材の種類によって標準となる目安がある。説明の詳細は後述するが、とりあえず表1-1を参考にするとよい。

なお、表1-1の数値には幅があるが、一般に超硬工具では、仕上げ切削は切削速度を大きめにとり、荒切削では切削速度を低めにとる。

表1-1 鋼を削る場合の切削速度の目安

工具材料	切削速度の目安 (m/min)
ハイス	20 ~ 30
超硬合金	90 ~ 120
サーメット	120 ~ 150

2. 送り

切削を行う場合、加工面に広がりを与えるためには、被削材の回転方向に対し、直角に工具を移動させなければならない。これが送り運動であり、送り運動は被削材の1回転当たりの送りの大きさと与えることができる。

一般に、送りは記号 f でその大きさを指示する。

[送りの表し方の例]

$$f = 0.15 \text{ mm/rev}$$

なお、NC旋盤では送りを1分間当たりの移動量、すなわち送り速度で指定することもある。この場合は、次式から送り速度を求める。

[送り速度の計算式]

$$F = f \times N$$

ただし、 F : 送り速度 (mm/min)

f : 送り (mm/rev)

N : 主軸回転数 (rpm)

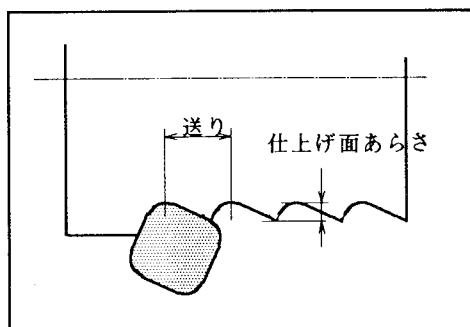


図1-6 送りと仕上げ面あらさ

送りの大きさは図1-6のように仕上げ面あらさに大きく影響する。一般に送りの目安は、仕上げ切削では小さく ($f=0.05\sim0.1$)、荒切削では大きく ($f=0.2\sim0.3$) する。

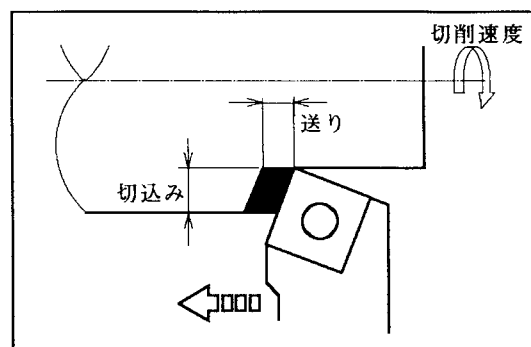


図1-5 送りと切込み

3. 切込み

被削材への工具の食込み量が切込みである。送りと切込みで切りくずの断面積が決定することになる。一般に、切込みは記号 t でその大きさを指示する。なお、旋盤での切込み t は、通常直径値で与える。

[切込みの表し方の例]

$$t = 5 \text{ mm}$$

*この場合、工具の食込み量は2.5mmとなる。

切込みは、仕上げ切削では小さく (表1-2参照)、荒切削では大きく (3~5を目安) する。ただし、小さすぎると切れ刃が上すべりを起こし、工具寿命の低下や仕上げ面品位の低下を招くので注意する。また、切込みの上限は、送りや切削速度とともに、切削にかかる所要動力との関係 (後述) から判断し、決定する。

1-4 切削仕上げしろ

被削材を所要の形状、寸法、仕上げ面あらしに仕上げるために、前加工では仕上げしろを残す。JIS B 0172では切削仕上げしろについて、表1-2のようにその大きさを規定している。なお、切削にともなうさまざまな要因によって、仕上げしろの大きさは影響を受ける(次項参照)。

表1-2 加工方法と仕上げしろ

加工方法	仕上げしろ (mm)	仕上げしろの大きさに影響する事項															
旋削	0.1~0.5 (直径に対し)	a. 端面および内面切削では、仕上げしろは小さめにする。 b. 仕上げにヘールバイトを使用する場合は、 特に0.05~0.15mmとする。 c. 仕上げにダイヤモンドバイトを使用する場合は、 特に0.05~0.2mmとする。															
中ぐり	0.05~0.4 (直径に対し)	a. 中ぐり棒が片持ちの場合は、切削抵抗によってたわむことがあるので、仕上げしろは小さめとする。 b. 両端支持の場合は、a.の場合より大きめにする。 c. 両刃を使用する場合には、0.10~0.15mmとする。															
フライス削り	0.1~0.3	a. 仕上げにエンドミルを使用する場合は、 0.05mmとする場合もある。 b. 上向き削りの場合は、切りはじめにおいて切れ刃が上すべりし、所定の切込みが得られないことがあるので注意する。 c. 正面フライスの場合は、仕上げしろを大きめとする。															
平削り	0.2~0.5	仕上げに平剣バイトを使用する場合は、 特に0.03~0.1mmとする。															
形削り	0.1~0.25	仕上げに平剣バイトを使用する場合は、 特に0.03~0.05mmとする。															
立削り	0.1~0.2	仕上げに平剣バイトを使用する場合は、 特に0.05~0.1mmとする。															
リーマ仕上げ	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">穴径 (mm)</th> <th>仕上げしろ (mm)</th> </tr> <tr> <th>をこえ</th> <th>以下</th> <th></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>-</td> <td>10</td> <td>0.1~0.5</td> </tr> <tr> <td>10</td> <td>20</td> <td>0.2~0.7</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>-</td> <td>0.2~1.0</td> </tr> </tbody> </table>	穴径 (mm)		仕上げしろ (mm)	をこえ	以下		-	10	0.1~0.5	10	20	0.2~0.7	20	-	0.2~1.0	a. 良い仕上げ面および精度を得るためには、 小さめの仕上げしろで切削することが望ましい。 b. 鋳鉄および切りくずはけのよい軟金属の場合の 仕上げしろは、鋼の場合よりも大きめにできる。 c. 多みぞりや下リーマなどによる前加工を施すことにより、 仕上げしろは、左表の数値の約1/2程度にできる。 d. 直径に比して長さが大きい穴の場合は、 仕上げしろは大きめにとる。
穴径 (mm)		仕上げしろ (mm)															
をこえ	以下																
-	10	0.1~0.5															
10	20	0.2~0.7															
20	-	0.2~1.0															

1-5 仕上げしろに影響する諸元

仕上げしろの大きさに影響する切削の諸元として、以下に示すことがあげられる（JIS B 0712から抜粋）。

- | | |
|----------------|--|
| 1. 工作機械の剛性 | 工作機械は高い精度と剛性を持つことが望ましい。機械の剛性が比較的低い場合には、たわみも大きくなり、びびりが生じやすくなるために、所定の加工精度が得にくい場合がある。そのようなときには、仕上げしろは小さめにする。 |
| 2. 切削工具の切れ味 | 切削工具の切れ味は良好であることが望ましい。すなわち、すくい角が小さすぎたり、切れ刃が十分に鋭利でないと所定の寸法が得にくい。切削工具が食い込みやすい材料（例えば黄銅）を切削する場合には、工具のすくい角を小さめにする。この場合、すくい角を大きくしすぎると所定の寸法が得にくい。 |
| 3. 切削工具の取付け剛性 | 切削工具の取付け剛性は高いことが望ましいが、低い場合には、前加工による変形を取り除くのにじゅうぶんで、しかもできるだけ小さめの仕上げしろで切削することが望ましい。 |
| 4. 被削材の材質 | 通常、被削材の材質によって仕上げしろの標準値は変わらないが、とくに硬い材料では仕上げしろを小さめにする。ただし、加工硬化や析出硬化の激しい材料で仕上げしろが小さすぎると、仕上げ工程における工具摩耗が著しく、加工精度も低下することがある。
熱膨張係数の大きい材料では切削熱による変形が大きいので、前加工における変形を取り除くのにじゅうぶんで、しかもできるだけ小さめの仕上げしろで切削するのが望ましい。 |
| 5. 被削材の形状および寸法 | 被削材の直径に比して長さが著しく長く、切削抵抗によるたわみのおそれがある場合には、前加工による変形を取り除くのにじゅうぶんで、しかもできるだけ小さめの仕上げしろを残すことが望ましい。薄肉の材料の場合もこれに準ずる。
切欠きやみぞをもつ不均一な形状の被削材の場合は、内部応力の変化や熱変形によってひずみを生ずるおそれがあるので、仕上げしろは小さめにする。
被削材の形状および寸法からたわみやびびりが生じやすい場合には、小さめの仕上げしろで切削することが望ましい。 |
| 6. 被削材の取付け替え | 仕上げ削りのために被削材を取付け替える場合には、取付け替えの誤差を見込んで仕上げしろは大きめにする必要がある。 |
| 7. 被削材の取付け剛性 | 被削材の取付け剛性が低い場合には、切削抵抗によって取付け状態が変わる可能性があるため、仕上げしろは小さめにするのが望ましい。 |
| 8. 寸法公差の等級 | 寸法公差の等級の高いことが要求される場合には、仕上げしろは小さめにするのが望ましい。 |
| 9. 仕上げ面の表面あらさ | 良い仕上げ面を得るためには、仕上げしろを小さめにするのが望ましいが、被削材や切削条件によっては、仕上げしろが小さめであると構成刃先が付着しやすくなる。ただし、リーマ仕上げのように低速軽切削を要する加工では、仕上げしろを小さめにするにより、かえって構成刃先の付着を防止して良い仕上げ面が得られる。 |
| 10. 切削速度 | 被削材の形状、寸法その他の理由により切削速度をじゅうぶん速くできない場合、仕上げしろを小さめにする、構成刃先によって仕上げ面が荒らされたり、所定の寸法および精度が得られない場合があるので、仕上げしろは大きめとすることが望ましい。ただし、リーマ仕上げの場合は、この限りではない。また、びびりが生じやすい切削速度領域で切削する場合には、仕上げしろを小さめにする。 |
| 11. 切削油剤 | 切削油剤の冷却能力が大きい場合には、切削熱による変形が少ないので、仕上げしろは多少大きめにする事ができる。 |

1 - 6 切削動力の計算法

切削の3条件によって単位時間当たりの切りくず排出量が決定することはすでに述べた。この切りくず排出量を多くすることが切削の能率を高めることになるのであるが、工作機械の能力には限界があり、切りくず排出量をむやみに大きくすることはできない。そこで、切削の3条件から、切削に必要な動力を求め、それが工作機械の許容動力内であるかどうかの判断をする。切削動力の計算法を次に示す。

【切削動力の計算式】

$$Ne = \frac{t \times f \times v \times Ks}{60 \times 102 \times \eta}$$

- Ne : 切削動力 (kw)
- t : 切込み (mm)
- f : 送り (mm/rev)
- v : 切削速度 (m/min)
- Ks : 比切削抵抗 (kg/mm²)
- η : 機械効率 (約 0.8)

なお、比切削抵抗は被削材の材質や送りなどの切削条件などによって変わる。およその目安を表1-3に示す。

表1-3 各種被削材の比切削抵抗

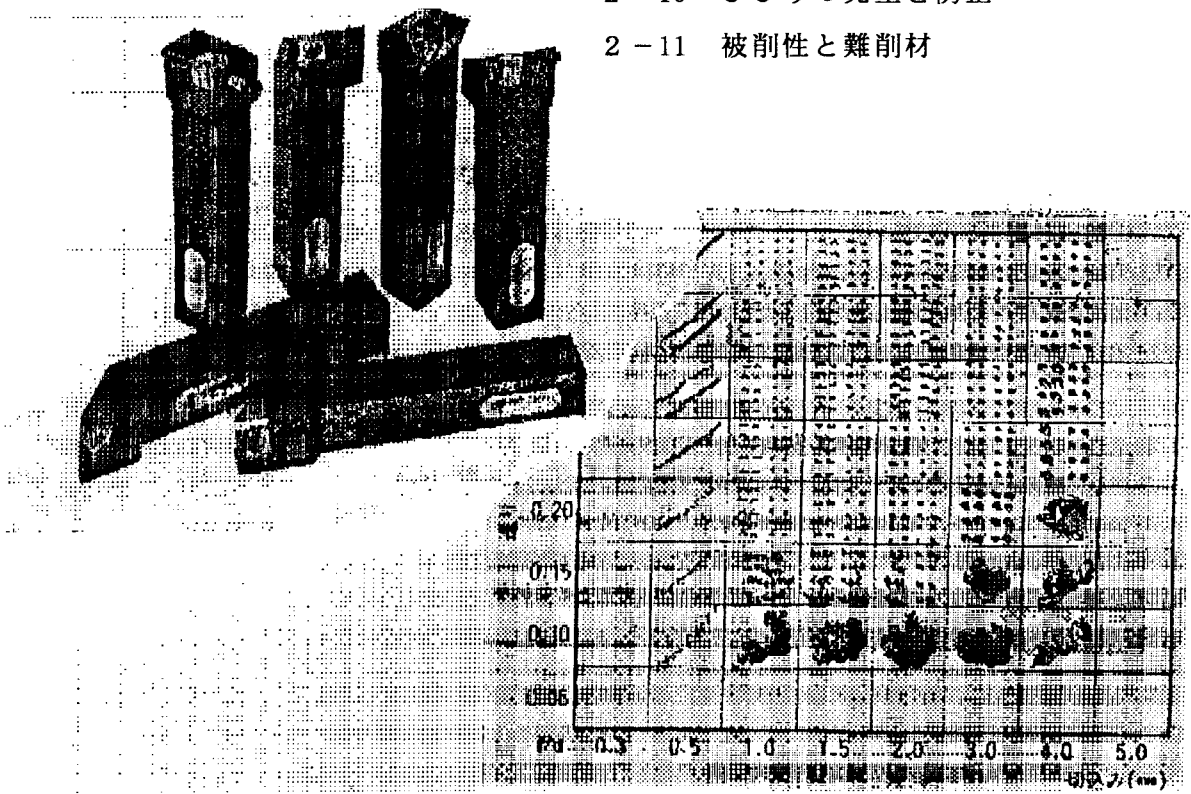
被削材材質	引張強さ (kg/mm ²)	送り (mm/rev)				
		0.1	0.2	0.3	0.4	0.6
軟鋼	52	361	310	272	250	228
中鋼	62	308	270	257	245	230
硬鋼	72	450	360	325	295	264
SCM	73	450	390	340	315	285
SNCM	90	307	265	235	220	198
铸铁	H _B 200	211	180	160	140	133

【例題】 軟鋼を切込み4mm、送り0.2mm/rev、切削速度90m/minで切削するときの切削動力を求めなさい。

(解答)
$$Ne = \frac{0.2 \times 4 \times 90 \times 310}{60 \times 102 \times 0.8} = 4.56 \quad \text{答 } \underline{\underline{4.56 \text{ kw}}}$$

第2章 切りくず生成のメカニズム

- 2-1 切りくずの生成機構
- 2-2 切りくずの形態
- 2-3 せん断角と切りくず接触長さ
- 2-4 切削抵抗
- 2-5 切削熱と切削温度
- 2-6 構成刃先の発生
- 2-7 構成刃先の防止
- 2-8 仕上げ面の生成
- 2-9 加工変質層
- 2-10 びびりの発生と防止
- 2-11 被削性と難削材



2-1 切りくずの生成機構

切削加工では、工具が被削材の不要部を除去して、所要の形状に被削材を加工する。このときに生成する被削材の不要部が切りくずである。

切りくずがどのようにして生成されるかを知ることは、切削にともなって発生する種々の問題を解決する上できわめて重要なことである。ここでは、2次元切削モデルを提示しながら切りくずの生成機構を調べることにする。

1. 切りくずのせん断

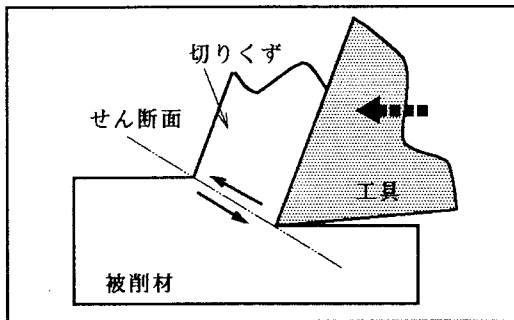


図2-1 切りくずのせん断

工具の切削力とそれに抵抗する被削材との間にせん断力が働く。このせん断力に被削材が抵抗しきれないとき、被削材の一部はせん断され、切りくずが生成する。

図のように、せん断は工具の進行方向に対し上方向に作用し、被削材と切りくずの境界面をせん断面という。

2. せん断領域

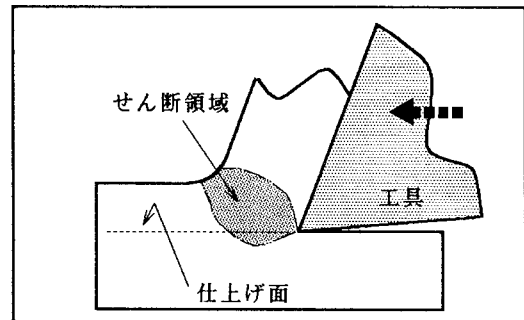


図2-2 せん断領域

実際に切りくずが生成するときは、図2-1ほどはっきりしたせん断面にはならない。被削材は切削力に抵抗し、変形し、そしてついにせん断にいたると考えられる。

この被削材の変形する領域をせん断領域という。せん断領域は切削熱の発生や切削面の加工硬化などに影響する。

3. 切りくずの厚さ

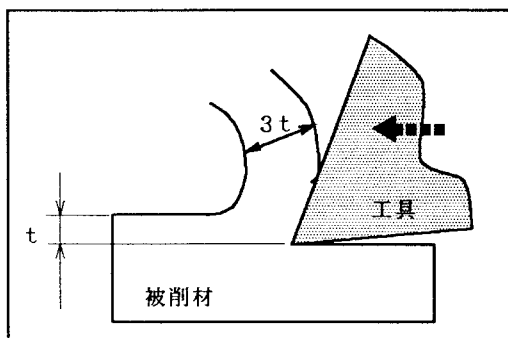


図2-3 切りくずの厚さ

切りくずの厚さは切込みの約3倍になるといわれている。つまり、切削にともなう被削材の変形が、生成する切りくずの厚さに影響しているのである。

切りくずが厚くなるということは、それだけ被削材を変形させていることになり、切削力もそれに応じて増大することになる。また、切りくずに触れるとやけどをするほどの切削熱を発生している。

2-2 切りくずの形態

切削によって生成される切りくずの形態は、刃先の形状、材料の材質、切削条件などによって変化するが、一般に切りくずの形態は次の4種に分類されている。

1. 流れ形切りくず

すくい面にそって連続的に生成される切りくずで、切削抵抗の変動が少なく、良好な仕上げ面が得られる。一般に延性材料の切削で、すくい角が大、切込み・送りが小さく高速切削、切削油を用いる、などの場合に生成されやすい。

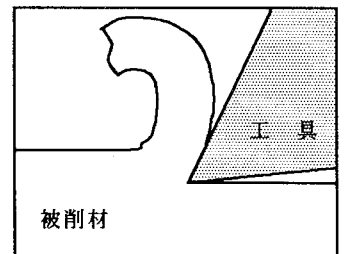


図2-4 流れ形切りくず

2. せん断形切りくず

断片的な素片が連続的に生成される切りくず。鋼類の切削で、切込み、送りが大きい場合に生じやすい。流れ型切りくずよりも仕上げ面は悪くなる。

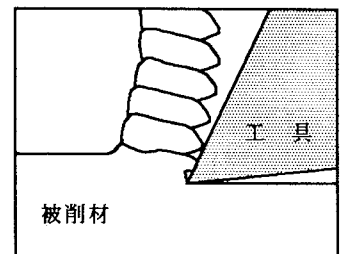


図2-5 せん断形切りくず

3. むしれ形切りくず

切りくずがすくい面に粘りついて流出が妨げられ、刃先にたまり、切削の進行によってついには刃先前方に裂け目が生じるようにして切りくずが生成する。延性材料を切削する場合に生じやすいが、切削条件によって流れ型切りくずにも変わることもある。

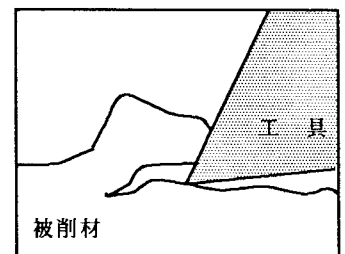


図2-6 むしれ形切りくず

4. き裂形切りくず

切削時、ほとんど塑性変形を起こさず、刃先前方にき裂を生じながら生成する切りくず。鋳鉄などのようなもろい被削材を切削する場合に生成されやすい。

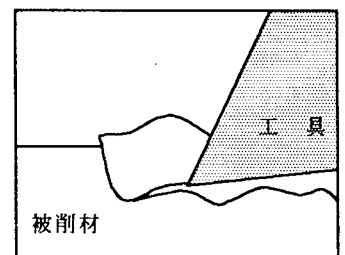
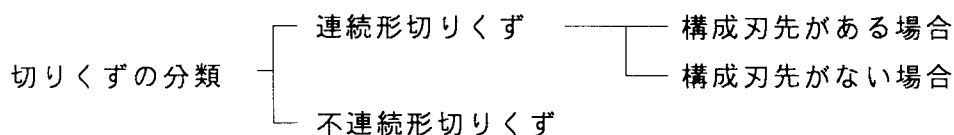


図2-7 き裂形切りくず

なお、実際の切削では、切りくずの形態を明確に区別するのは困難であるので、一般には、下記のように連続形切りくずと不連続形切りくずに分類している。



2-3 せん断角と切りくず接触長さ

切削条件を変えると、切りくずの生成状況も変わる。こうした変化に大きく影響するのがせん断角である。

せん断角は図2-8で示すように、仕上げ面に対するせん断面の傾きの大きさをいう。

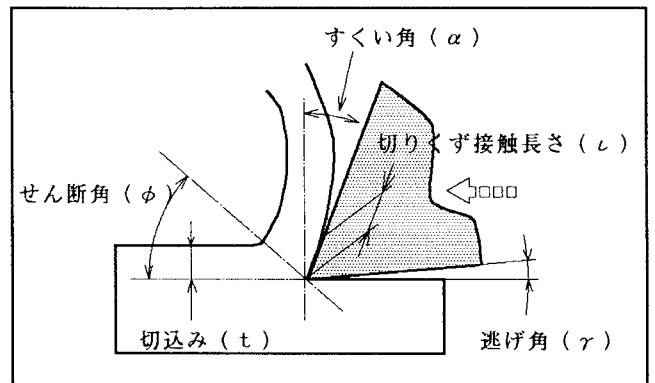


図2-8 すくい角とせん断角

1. せん断角

仕上げ面に対するせん断面の傾きの大きさをいう。一般にせん断角が大きくなると被削材の変形量は小さくなり、切削力が少なくてすむ。一方、せん断角が小さくなると被削材の変形量が大きくなり、大きな切削力が必要になる。

2. すくい角

仕上げ面の垂直面に対する切れ刃の傾きの大きさをいう。一般にすくい角が大きいとせん断角は大きくなり、すくい角が小さいとせん断角が大きくなる。

3. 逃げ角

仕上げ面に対する切れ刃の逃げの大きさをいう。逃げ角が小さいと切りくずがつまったり、逃げ面が材料をこすったりする。また、逃げ角を大きくするほど刃物角が小さくなり、切れ刃の強度が低下する。

4. 切りくず接触長さ

不要部が切りくずとして除去される時、工具のすくい面上を切りくずがすべる長さをいう。切りくず接触長さが大きいほど、工具の摩耗が早く、また大きな切削熱が発生する。

次に、図2-9を参考にしながら、せん断角の大小が切削にどのような影響を与えるかを考えてみる。

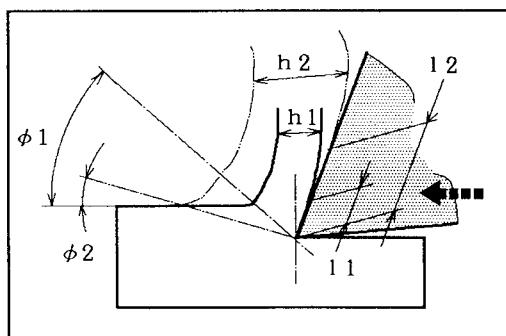


図2-9 切りくずの厚み

a. せん断角が小さいと、切りくずの厚さが増し、大きな切削力が必要になる。また、切りくずの接触長さが増し工具摩耗を大きくする。さらに、被削材の変形やすべり摩擦によって大きな熱が発生する。

b. せん断角が大きくなると、切りくずの厚さが薄くなるとともにカールしやすくなる。その結果、切りくず接触長さが短くなり切削力が減少する。また、熱の発生も少ない。

c. したがって、切削を行うにはせん断角を大きくすることが望ましい。一般にせん断角を大きくするには、工具のすくい角を大きくとる、切削速度を大きくするなどの方法がある。

2-4 切削抵抗

図2-10は被削材と工具との間に生じている力の関係を示したものである。このように、工具が被削材を削ろうとする力(R')は、逆に被削材が工具を押しもどそうとする力(R)を生じさせている。この工具を押しもどそうとする力を切削抵抗という。

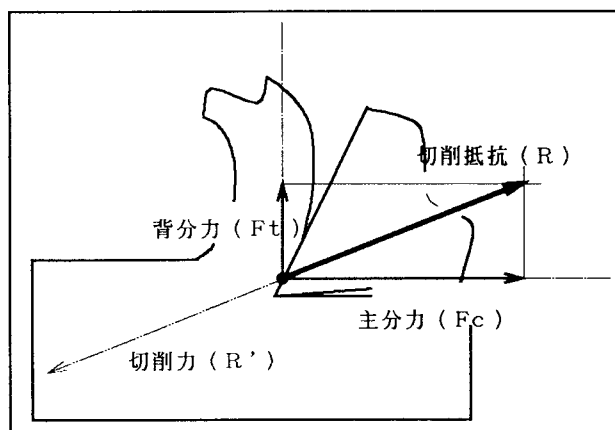


図2-10 2次元切削モデルにおける切削抵抗

切削抵抗(R)は、主分力(F_c)と背分力(F_t)に分解できる。工具進行方向の抵抗が主分力であり、被削材垂直方向の抵抗が背分力である。

また、図は2次元切削モデルであるが、実際の加工では送り方向の抵抗もあり、これを送り分力と呼んでいる。

以上3つの分力を切削抵抗の3分力という。

切削抵抗の各分力は、それぞれ次のような特徴がある。

1. 主分力

3分力の中でもっとも大きく作用し、切削動力の大部分を消費する。

2. 背分力

すくい角やコーナ半径など工具の刃先形状によって大きく変化する。背分力が大きいとびびりが発生しやすくなる。

3. 送り分力

他の2分力と比較すると小さい。横切れ刃角の大小がその大きさに影響する。

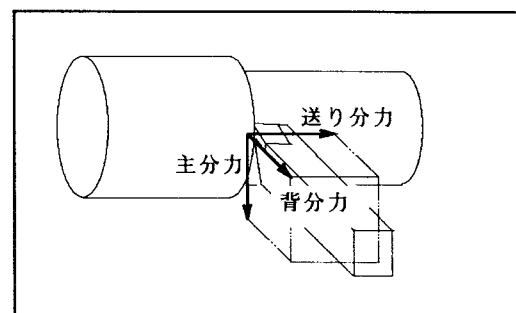


図2-11 切削抵抗の3分力

切削を行う場合、切削抵抗は大きさが小さく、変動が少ない方が好ましい。しかし、切削抵抗は種々の状況によってその大きさは変動する。切削抵抗を変動させる要因の代表例を次に示す。

1. 連続形の切りくずは比較的安定した切削抵抗であるのに対し、不連続な切りくずは切削抵抗が絶えず変動している。
2. 構成刃先(後述)が生じるときは、切削抵抗は激しく変動する。
3. 同一条件では切削速度が大きいほど、切削抵抗は減少する。
4. 乾式切削よりも湿式切削のほうが切削抵抗は少ない。
5. すくい角が大きくなるほど切削抵抗(主として背分力)は減少する。

2-5 切削熱と切削温度

切削加工では、切削時に発生する熱によって、切りくずは焼けて排出され、また被削材や工具も次第に熱くなっていく。切削によって発生する熱を切削熱、切削熱の大きさを切削温度という。

1. 切削熱の発生

熱を発生させる要因として、切削時における次の3つの仕事をあげることができる。

- a. 被削材から切りくずを
せん断するための仕事
- b. 切りくずと工具とのすべり摩擦
- c. 工具の刃先で被削材をひきさく仕事

以上の切削時における3つの仕事は、ごく一部がひずみエネルギーとなって被削物内に残るが、他のほとんどは熱エネルギーに変換され、切りくず、被削材、工具を加熱する。

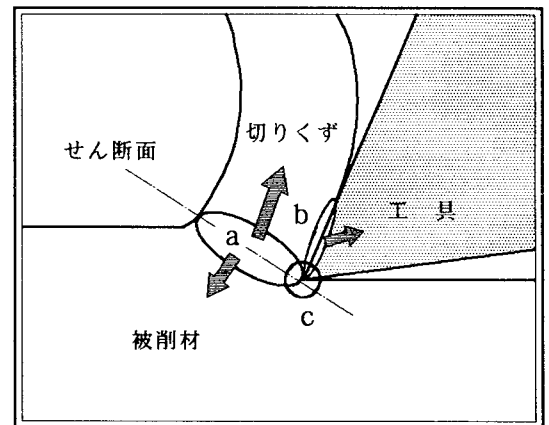


図 2-12 切削熱の発生

2. 切削温度の上昇が切削に与える影響

切削時の熱の発生によって切削温度が上昇すると、次のような影響を切削に与える。

- a. 工具、被削材および工作機械が熱膨張や熱変形を起こし、加工精度が低下する。
- b. 刃先温度の上昇によって、切れ刃の軟化や摩耗を助長し、工具寿命を短くする。
- c. 被削材の再結晶温度以上に切削温度が上昇すると、構成刃先が消滅する。
- d. 切りくずと工具との摩擦応力の減少によって、切削抵抗が減少する。

このように、切削温度が上昇すると、構成刃先発生防止や切削抵抗の減少という良い効果も得られるが、加工精度や工具寿命に対しては悪い影響を与える。いずれを優先するかの問題については、一般には、NC旋盤で十分な切削油剤を供給しているように、加工精度の維持向上および工具寿命の延長を優先している。

2-6 構成刃先の発生

切削時に、工具のすくい面上に切りくずの一部が付着していることをよく見かける。これは、切削の進行にともなって、切りくずがすくい面上に、層状にたい積凝着したもので、非常に硬い組織になっている。そして、このたい積物は、二次刃先になって切れ刃のかわりに切削を行うこともあり、構成刃先と呼ばれている。図2-13に構成刃先を示す。

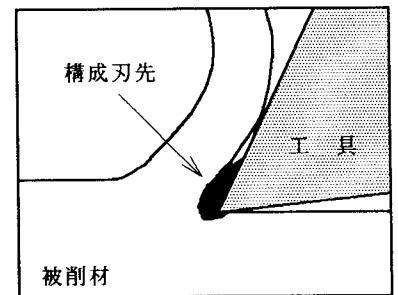


図2-13 構成刃先

構成刃先は、軟鋼、黄銅、ステンレス、アルミニウムなどのように延性に富んだ被削材に発生しやすい。また、被削材の材質と親和性の高い工具材種を用いる場合にも発生しやすい。

また、構成刃先は、図2-14で示すように発生、成長、分裂・脱落という過程を、きわめて短時間のうちに繰り返し、発生している。

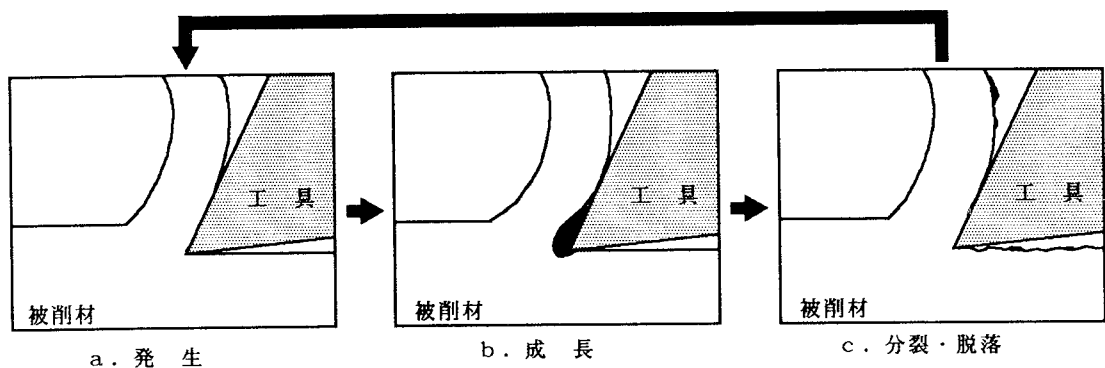


図2-14 構成刃先の生成

構成刃先は二次刃先になって切れ刃を保護する役目もするが、一般には、構成刃先の発生によって、次のような悪い影響を切削にもたらす。

1. 構成刃先の生成・脱落などにより、切込みの深さが変化し、切削抵抗が絶えず変動する。
2. 構成刃先の先端部の丸味は成長にしたがって大きくなる。その結果、仕上げ面の品位を著しく低下させる。
3. 切りくずのせん断作用を悪化させ、残留応力や加工変質層を大きくする原因になる。
4. 構成刃先は切れ刃に強固に付着しており、脱落時に切れ刃を欠損させる原因になる。

したがって、通常の切削では、構成刃先の発生を防ぐための、切削条件等の改善を図る必要がある。

2-7 構成刃先の防止

構成刃先はある程度の温度と圧力によって生成する。しかし、もともと被削材の一部から生成されたものであるから、被削材の再結晶温度以上になると、二次刃先としての硬さを失い、構成刃先は切りくずと共に流出してしまう。

以上のことを考慮して、工具や切削条件などの設定をすると構成刃先の発生を防止することができる。以下、構成刃先の発生を防止するためのいくつかの方策を示す。

1. 切削速度について

耐熱性に富む工具材料（超硬工具やサーメットなど）は、切削速度を高くして切削温度を上げ、被削材の再結晶温度以上で切削するようにする。

2. 切込み・送りについて

超硬工具やサーメットでは、切込み・送りを大きくして切削温度を高めて構成刃先の発生を防止する。一方、耐熱性の低い高速度工具鋼では、切削温度を高くすると刃先が軟化してしまうので、構成刃先発生に必要な温度と圧力がかからないように、切込み・送りを小さくする。

3. 切削油剤について

潤滑能の高い不水溶性切削油剤を給油すると、工具刃先と被削材のすべり摩擦が小さくなり、切りくずが流出しやすくなる。したがって構成刃先は発生しにくくなる。

冷却能の高い水溶性切削油剤を給油すると、高速切削での刃先軟化の防止、あるいは、被削材や工作機械の熱影響の軽減などに役立つが、切削温度の低下によりかえって構成刃先の発生を促進させることにもなる。

4. 工具材料について

工具材料と被削材の親和性が高いほど構成刃先は発生しやすい。鋼切削の場合、サーメット、超硬工具、高速度工具鋼の順に鋼との親和性が高くなる。仕上げ切削で超硬工具よりもサーメットのほうがきれいに仕上がるのは、親和性が低く、構成刃先の影響が少ないことが大きな原因になっている。

5. 工具刃先の形状について

すくい角が30度以上になると構成刃先は発生しなくなる。したがって、刃先強度の低下をもたせない程度にすくい角を大きくする。しかし、超硬工具の場合は、切削温度を維持する上でも、すくい角は小さいほうが構成刃先の防止に役立つ。

6. その他

面あらしがよく、鋭利な切れ刃稜の工具を使用し、切りくずの流出性をよくする。

断続切削や不連続な切りくずが発生するような場合には、構成刃先の成長が妨げられ、構成刃先の影響が少ない。このような状況を意図的に設定し、構成刃先発生防止に役立てていることがある。

2-8 仕上げ面の生成

切削加工の目的は、被削材を所要の形状、寸法、および要求される仕上げ面の品位をもつ製品をつくりあげることにある。

以下、仕上げ面の生成について、その構成および理論あらさについて述べる。

1. 仕上げ面の構成

仕上げ面は、次に述べる工具進行方向と送り方向の2つの要素から構成される。

a. 工具進行方向の仕上げ面

被削材から切りくずが除去されるときに仕上げ面が生成される。流れ型の切りくずでは良好な仕上げ面になるが、図2-15のように構成刃先の影響を受けると、仕上げ面の品位は著しく低下する。

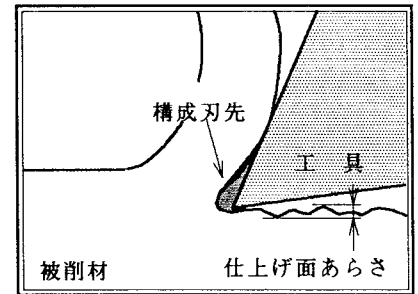


図2-15 構成刃先の影響

b. 送り方向の仕上げ面

図2-16で示すように工具刃先の形状および送りの大きさによって、仕上げ面のあらさが異なる。一般に、送りが小さいほど仕上げ面あらさはよくなる。また、工具先端部のコーナ半径が大きいほど仕上げ面あらさはよくなる。ただし、コーナ半径が大きくなると背分力が増し、びびりが発生しやすくなる。びびりが発生すると仕上げ面あらさは著しく低下する。

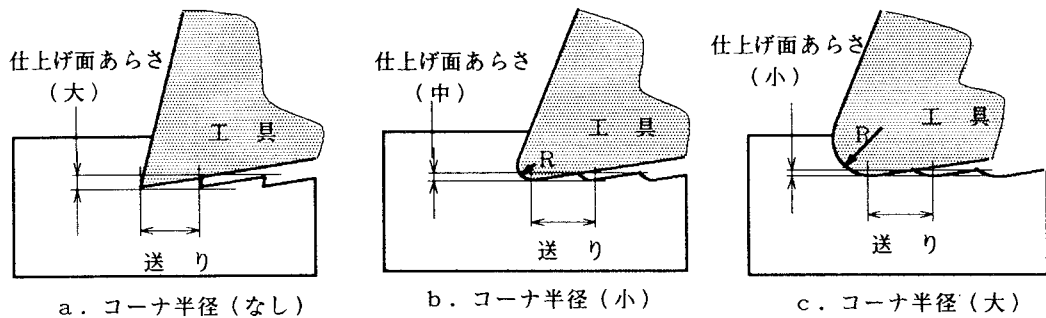


図2-16 コーナ半径と仕上げ面あらさ

2. 理論あらさ

仕上げ面のあらさは、下記のように計算で求めることができる。これを理論あらさというが、実際の加工で得られる仕上げ面あらさは、理論あらさよりも精度は低くなる。

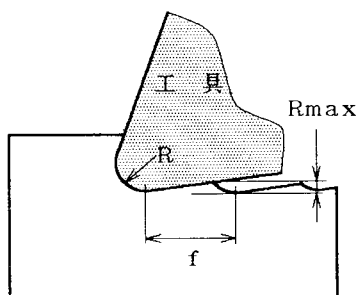


図2-17

【理論あらさの計算式】

$$R_{\max} = \frac{f^2}{8R}$$

ただし、

R max : 仕上げ面あらさ
f : 送り (mm/rev)
R : コーナ半径 (mm)

実際の仕上げ面あらさ			
鋼の場合	理論あらさ×(1.5~3)	鋳鉄の場合	理論あらさ×(3~5)

2-9 加工変質層

切削における被削材除去部の変形や仕上げ面と工具との摩擦などによって、被削材表面は内部結晶組織と異なった状態になる。これを加工変質層という。

加工変質層では、加工硬化や残留応力などが生じており、それらは被削材の形状および寸法の精度維持、製品の経年変化、あるいは摩耗・疲労・腐食などによる製品寿命の低下などに大きく影響する。したがって、切削にあたっては加工変質層をできるだけ薄く、また均一にする方策を考えなければならない。

以下、加工変質層を薄くするための方策のいくつかの例を示す。

1. 仕上げ面に大きな影響を与えるせん断領域を小さくする。このため、せん断角が大きくなるような、あるいは流れ形切りくずになるような切削条件および切れ刃形状にする。
例えば、切削速度を速くする、送りを小さくする、すくい角を大きくするなど。
2. ステンレスなど延性の高い被削材では、切れ刃稜の丸みや工具摩耗（特に逃げ面摩耗）による切削抵抗の増大を防ぐ。
例えば、ろう付けバイトなら切れ刃稜を鋭利に研削する、スローアウェイバイトならホーニング無しのものであるなど。
3. 構成刃先が発生すると、切れ刃先端部が丸くなり加工変質層の厚さを増大させる。構成刃先が発生しないような切削条件にする。
例えば、すくい角を大きくする、切削速度を速くする、サーメット、セラミックなどの耐溶着性の高い工具材種を使用するなど。
4. 切削油剤を供給し、切れ刃と被削材のすべり摩擦を減少させる。しかし、潤滑性の高い切削油剤は切れ刃の食い付きを悪くし、上すべりを起こす。このため加工変質層が厚くなるので注意する。
5. 微小切込みは、4.と同様に切れ刃の上すべりを起こして加工変質層が厚くなる。
6. 加工変質層の厚さは、通常1mm以下とされている。したがって、上記の例を参考にしながら荒切削後は仕上げ切削を行う。

2-10 びびりの発生と防止

切削中に工具などが激しく振動し、被削材の仕上げ面にびびり跡を残す現象を**びびり**という。びびりは、工作機械の剛性不足あるいは切りくず生成時などに、振動系を強制的に加振させる**強制びびり**と、工具と被削材との間で振動系が外乱を受けて振動が増幅される**自励びびり**とに大別される。

図2-18にびびり発生的主要原因を示す。

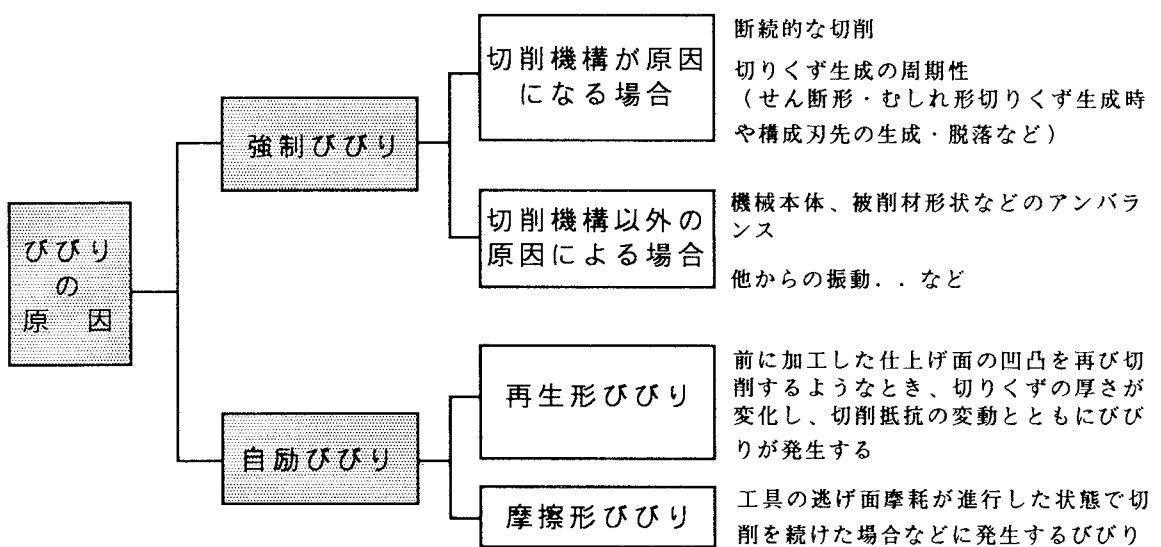


図2-18 びびりの分類と発生的主要原因

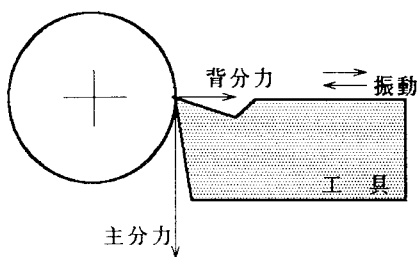


図2-19 自励びびり

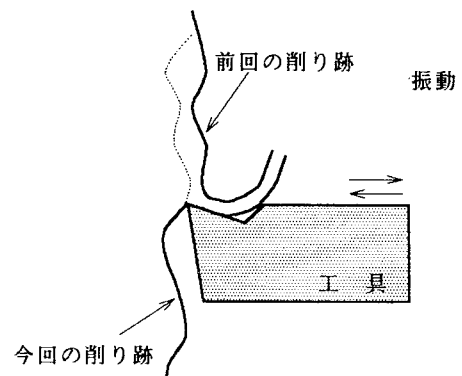


図2-20 再生形びびり

【びびりの防止対策】

1. 振動系

びびりは、工作機械、被削材、工具などのそれぞれが持つ固有振動数と、それらが組み合っできる振動系の固有振動数の前後で発生するといわれ、びびりが発生しやすい領域が何箇所か存在する（図2-20参照）。このため、びびりが発生したとき、切削速度や送りなどの削条件を変えてやるとびびりがおさまる場合が多い。

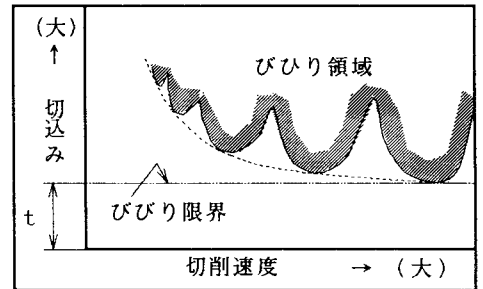


図2-20 びびり限界

2. 切削条件

次のような処置を行い、びびりの様子を見る。

- a. 切削速度を変える
- b. 切込みを小さくする
- c. 送りを大きくする

3. 工具形状

- a. すくい角を大きくする
- b. 切込み角を大きくする
- c. コーナ半径を小さくする
- d. 逃げ角を小さくする
- e. 前切れ刃角を大きくする
- f. シャンクを太くする
- k. 逃げ面の摩耗が大きくならないうちにチップを交換する

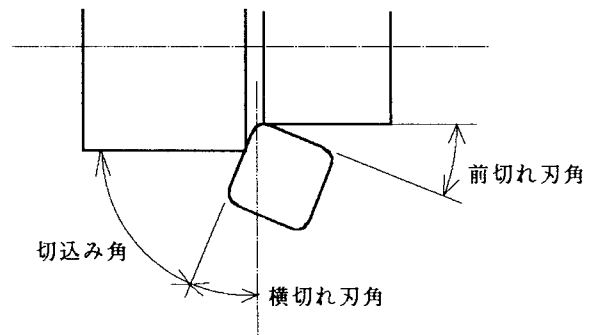


図2-21 工具の切れ刃角

4. 工具・被削材の取付け

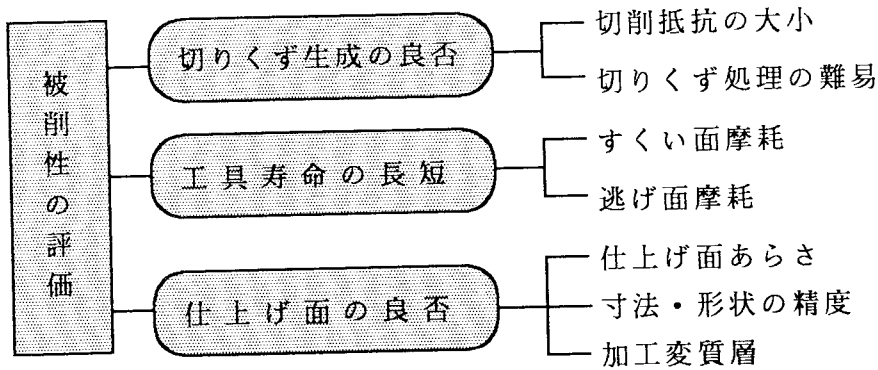
- a. 工具や被削材の突出し量をできるだけ小さくする
- b. 刃先の高さを被削材の中心に合わせる
- c. 工具や被削材の締付けを確実にする
- d. 長い被削材はセンターや振れ止めを使用する
- e. 回転時のバランスをよくする

5. 工作機械

- a. 剛性の高いものを使用する
- b. 各部のがた・ゆるみをなくす
- c. 吸振装置を利用する

2-11 被削性と難削性

被削性 (Machinability: マシナビリティ) とは、被削材の削りやすさを表すもので、次のようなことから各種被削材の被削性が評価されている。



被削性を数値で表すものとして被削性指数がある。これは、鉛快削鋼を100とした場合の各種被削材の削りやすさの割合を示したものである。表2-1に各種被削材の被削性指数を示す。被削性指数が大きいほど削りやすく、被削性指数が小さいほど削りにくい。

表2-1 各種被削材の被削性指数

被削材	被削性指数	被削材	被削性指数
鉛快削鋼	100	フェライト系	65~50
鋼	軟	ステンレス鋼	マルテンサイト系 55~40
	中		オーステナイト系 50~35
	硬		インコイロ901 30~10
鋳鉄	70~50	耐熱合金	インコネル718 15~6
SCr420	65		ステライト21 15~6
黄銅	200~600	工具鋼	30~25
アルミニウム	300~1500	チタン合金	30~20

また、被削性指数4.5以下を一般に難削材と呼んでいる。難削材を切削する場合には、使用機械、使用工具、各種取付具などの剛性を高め、十分な防振対策を行った上で、図2-23のようなことを考慮して切削を行う。

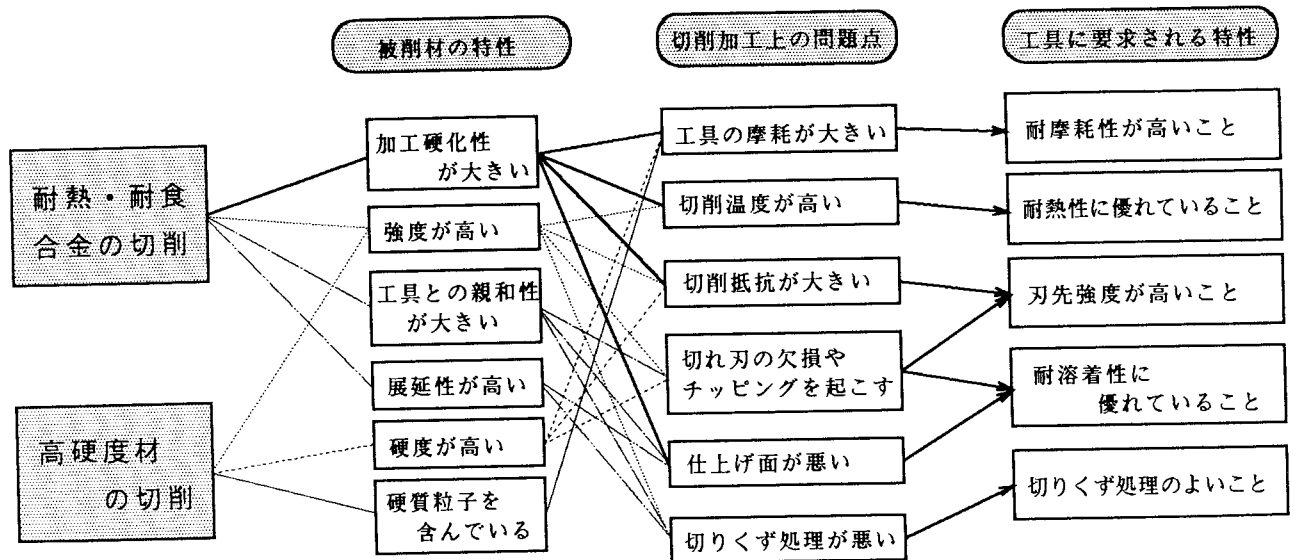
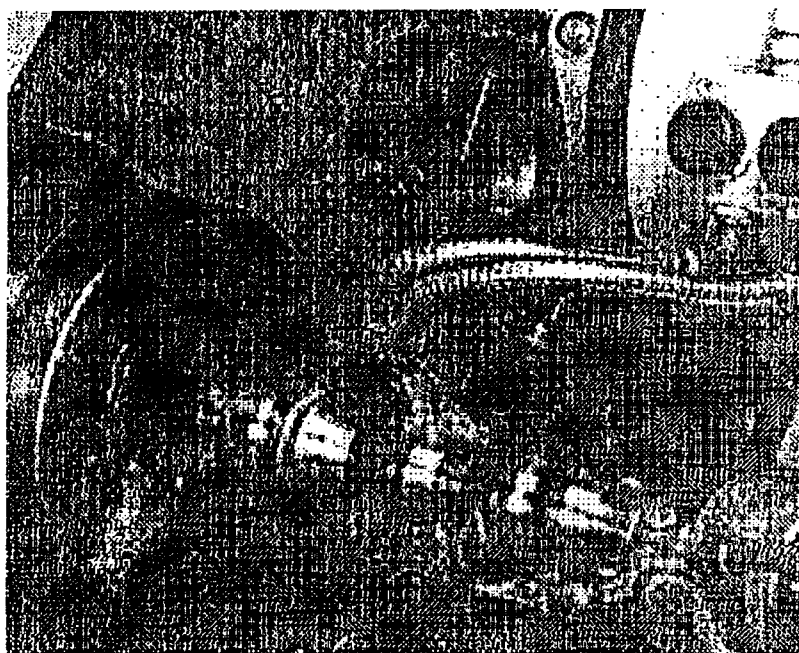


図2-23 難削材加工の問題点と対策 (住友電気工業カタログから)

第3章 切削油剤の試用効果

- 3 - 1 切削油剤の種類
- 3 - 2 切削油剤に必要な性質
- 3 - 3 切削油剤の潤滑と冷却
- 3 - 4 切削油剤の選定



3-1 切削油剤の種類

切削油剤は、水に希釈しないで使用する不水溶性切削油剤と、水に希釈して使用する水溶性切削油剤とに大別される。

一般に、不水溶性切削油剤は潤滑能が高く、水溶性切削油剤は冷却能が高い。したがって、高速度工具鋼などによる低切削領域では不水溶性切削油剤が、超硬工具・サーメットなどによる高速切削領域では水溶性切削油剤が利用される。

以下、J I Sによる不水溶性切削油剤および水溶性切削油剤の種類とその特徴を述べる。

1. 不水溶性切削油剤

鉱油を基油として、これに動植物油、エステル油を油性剤として加えた混合油で、次の1種と2種に分類される。

- | | |
|-----|----------------------------|
| 1 種 | : 極圧添加剤を含まない混合油 |
| 2 種 | : 極圧添加剤を含む混合油で、不活性形と活性形がある |

1種は、動粘度および脂肪油分によって1~6号に細分し、2種は動粘度、脂肪油分、塩素分、銅板腐食によって1~6号および11~17号に細分される。

極圧添加剤は塩素系と硫黄系があり、塩素系のものは不活性形であるが、油膜保持の耐熱温度が約400°Cと低い。塩素系のものは銅板腐食が著しい活性形であるが、油膜保持能力が約800°Cと高い。

2. 水溶性切削油剤

水で希釈した油液の外観、および鉱油と界面活性剤の割合によって、W1種とW2種に分類される。

- | | |
|-----|---|
| W1種 | : <u>エマルジョン形</u> と呼ばれ、水に溶かすと界面活性剤により水と油が混合して白濁する。希釈倍率20~50倍で用いる。 |
| W2種 | : <u>ソリュブル形</u> と呼ばれ、油分が少なく界面活性剤が主成分になる。浸透性がよく、水に溶かすと透明または半透明になる。
希釈倍率60~100倍で用いる。 |

それぞれ、pH、塩素分、耐食性によって1~3号の3種に細分される。弱アルカリ性であり、W1種はW2種に比べて冷却効果は低いが、希釈倍率を小さくすると油分による潤滑効果が期待できる。

3-2 切削油剤に必要な性質

切削油剤を使用することの主たる目的は、切削の改善を図ることである。具体的には次のようなことを目的とする。

- a. 切りくずの生成と流出をよくする。
- b. 仕上げ面あらさおよび寸法精度を維持・向上させる。
- c. 切削抵抗を減少させる。
- d. 工具寿命を延長させる。

以上のことから、切削油剤に求められる性質をまとめると次のようになる。

- a. 冷却性が優れていること（熱の吸収）。
- b. 潤滑性が優れていること（熱の発生源の抑制）。
- c. 流動性がよいこと（油切れがよい、付着消耗が少ない）。
- d. 防錆・耐食性に優れていること（錆、変色、塗装の剥離を起こさない）。
- e. 引火点が高いこと（高温でも着火しない）。
- f. 作業性がよく、変質しないこと（発煙、劣化が少ない）。
- g. 衛生的に悪影響を与えないこと（かぶれ、悪臭がない）。
- h. 安価で入手しやすいこと（経済的）。

しかし、冷却性と潤滑性は相反する性質であり、上記のすべてを満足する切削油剤はない。そこで、切削加工の目的、方法などから切削油剤の使用目的を明確にし、それに応じた切削油剤の選択が必要になる。

以下、切削油剤の選択にあたって、考慮すべきことがらを示す。

- a. 切削油剤によって得られる効果
 - ① 効果の限界（例. 高速切削での油膜維持の限界）
 - ② 効果の大きさ（例. 工具寿命の延長か、熱影響による精度低下の防止）
 - ③ マイナス効果（例. 潤滑効果がもたらす工具寿命の低下）
 - ④ 作業性の悪化（例. 発煙、飛散、悪臭、かぶれなど）
 - ⑤ 次工程への影響（例. 塗装前処理の容易さ）
- b. どの作用を重視するか
潤滑効果、冷却効果、切りくず処理 など
- c. 経済性
購入価格、必要量、劣化寿命、消耗率、管理の容易さ など
- d. 給油方式
噴流（流下）式、高圧噴流（ジェット注油）式、噴霧注油法など供給法
に対する切削油剤の特性

3-3 切削油剤の潤滑と冷却

切削における切削油剤の効果は、潤滑効果と冷却効果に集約される。以下、切削油剤が切削に与える影響について述べる。

1. 切削温度について

- 潤滑効果は、切りくずおよび被削材と工具とのすべり摩擦を減少させ、熱の発生源を抑制し、切削温度を下げる。
- 冷却効果は、切削温度を下げ、切れ刃の軟化や機械や被削材の熱膨張を防ぐ。

2. 切削抵抗について

- 潤滑効果は、すべり摩擦の減少とともに切りくずのせん断角を小さくし、切りくずのせん断を容易にする。

3. 構成刃先について

- 潤滑効果は、低速切削領域で構成刃先の発生を防止する。
- 冷却効果は、高速切削領域では切削温度を下げ、構成刃先を発生させる原因になる。

4. 工具摩耗について

- 潤滑効果の高い切削油剤は、切れ刃の被削材への食い付きを妨げ、工具摩耗を促進させる。
- 冷却効果は、切れ刃の軟化を防止するが、熱き裂の原因になる。

5. 高速度工具鋼での効果

- 上記の理由から、切れ刃軟化の防止、切削抵抗の減少、仕上げ面あらかの向上、構成刃先発生防止など、潤滑効果が有効に作用する。

6. 超硬合金工具での効果

- 高速切削領域では、切削油剤の潤滑効果はその限界を越え、冷却効果は切削温度の低下とともに切削作用を悪くする。しかし、機械・被削材等の熱膨張による加工精度の低下を防ぐのに大きな効果をもたらす。

7. フライス加工などの断続切削における効果

- 冷却効果は、切削・非切削の加熱・冷却の温度変化を大きくし、切れ刃の熱疲労による熱き裂の原因になる。
- アップカットでは潤滑効果が認められるが、ダウンカットでは油膜がぬぐい去られ潤滑効果は少ない。

3-4 切削油剤の選定

1. 切れ刃の耐熱温度が低く、構成刃先が生じやすい高速度工具鋼による鋼切削では、切削油剤の効果は大きい。以下に示すように、それぞれの状況に応じて切削油剤を供給する。
 - a. 仕上げ面を向上させるには極圧油、工具寿命を延長させるには活性度の低い極圧油、あるいは混合油、不水溶性切削油を用いる。
 - b. 軽切削は混合油、重切削は極圧油にする。
 - c. 非鉄金属の切削には、鉱油または混合油、あるいはpHの低い不水溶性切削油剤とする。
 - d. 浸透性を必要とする場合には、粘度と表面張力の低い切削油剤とする。
2. 水溶性切削油剤は冷却効果をもっとも優先されるとき、不水溶性切削油剤は潤滑性、反溶着性が重要とされる場合に用いる。
3. 鉱油、動植物油、脂肪油は潤滑作用の効果の限界温度が低く、低速・重切削にその使用が限られる。また、極圧油で変色、腐食されやすい非鉄金属の切削にも使用される。
4. 低炭素鋼や難削材の切削では、仕上げ面をよくするために極圧油が使用される。極圧添加剤が鋼と反応して、せん断強さの低い塩化鉄や硫化鉄の生成物をつくり、これが潤滑の油膜として作用し、切りくずの反溶着性を高めているとされる。
5. 汎用機で超硬工具を使用する場合、下記の理由から乾式切削を行うことが多い。
 - a. 切れ刃の耐熱温度が高い。
 - b. 切りくずとの溶着現象が少なく、構成刃先の影響が少ない。
 - c. 高速切削により高品位な仕上げ面が得られる。
 - d. 切削油剤の効果の限界を越え、場合によってはマイナスの効果になる。
 - e. 熱衝撃によって切れ刃にき裂を発生させやすくする。
 - f. 高速切削では切削油剤の発煙、飛散などにより作業性を悪くする。しかし、高速切削による被削材、工作機械などへの熱影響は加工精度に大きな影響を与え、連続切削を行うNC加工ではその影響を無視することはできない。そこで通常NC加工では不水溶性切削油剤が用いられる。
6. 鋳鉄は乾式切削が一般的である。これは潤滑作用により切れ刃が上すべりを起こし工具摩耗が助長されることによる。しかし、切りくずの飛散防止や仕上げ面の改善を図るためには、防錆性の高いエマルジョン形不水溶性切削油剤を用いる。
7. アルミニウムとその合金は、被削性がよく高速切削ができるため、乾式切削をすることが多いが、切りくずの流出性をよくするために不水溶性切削油剤や軽粘度の鉱油が用いられる。この場合、極圧添加剤を含むもの、pHの高いものは使用しない。

第4章 切削工具と切りくず

- 4-1 刃先各部の名称
- 4-2 刃先各部の働き
- 4-3 バイトの種類と用途
- 4-4 チップの呼び記号
- 4-5 切りくず処理



ア	イ	ロ	ハ

4-1 刃先各部の名称

図4-1にスローアウェイバイトの刃先各部の名称を、表4-1に刃先各部が切削に与える影響を示す。

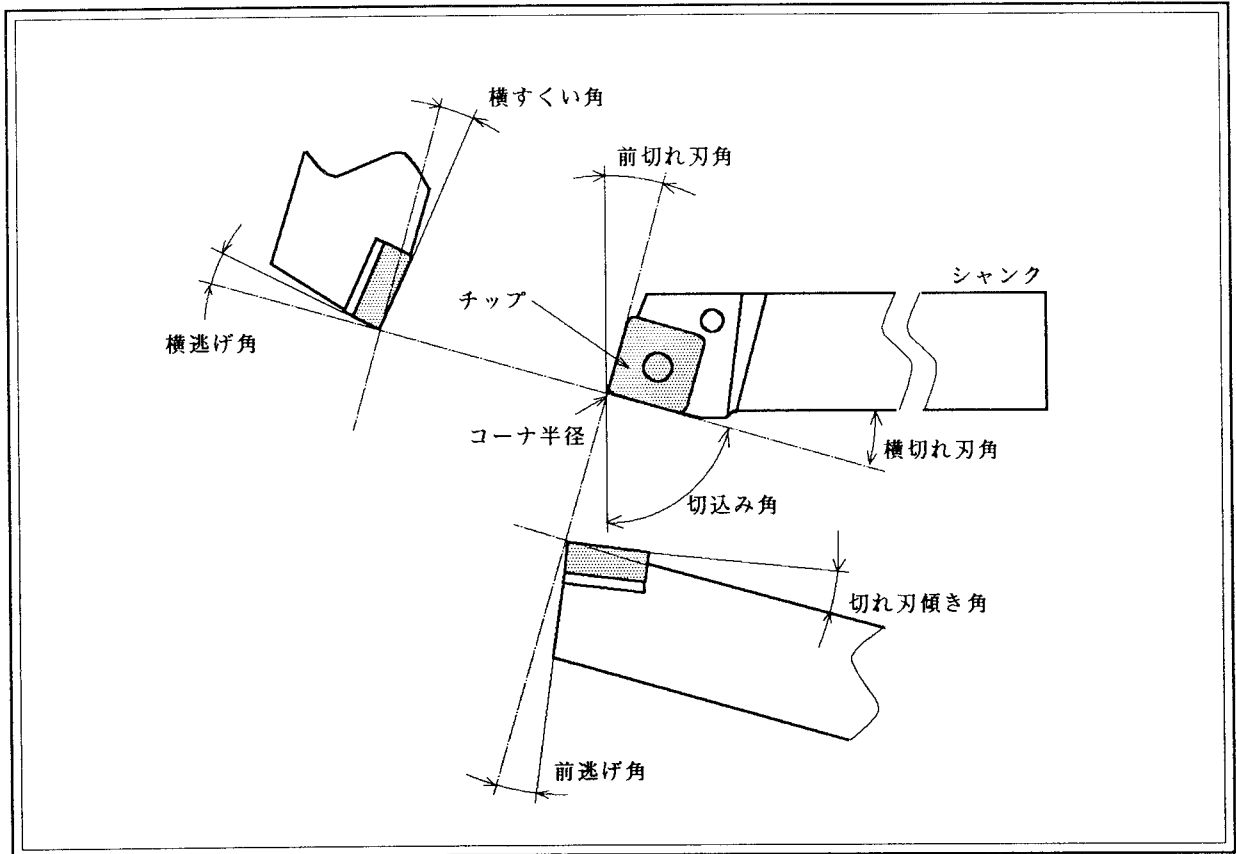


図4-1 刃先各部の名称

表4-1 刃先各部が切削に与える影響

刃先各部の名称	切削に与える影響	切れ刃強度	切削温度	切削抵抗	切れ味	工具寿命	仕上げ面	びびり	切り流出方向
切れ刃傾き角		●		●					●
横すくい角		●	●	●	●	●			●
逃げ角		●			●	●	●	●	
前切れ刃角							●	●	
横切れ刃角		●		●		●		●	●
コーナ半径		●		●		●	●	●	●

4-2 刃先各部の働き

1. 切れ刃傾き角と横すくい角

- a. 切れ刃傾き角は上すくい角ともいい、横すくい角と共に工具すくい面を構成する。
- b. 図4-2で示すように、プラスのすくい角をポジ（ポジティブの略）、マイナスのすくい角をネガ（ネガティブの略）と呼んでいる。
- c. 図4-3で示す横すくい角も同様にポジとネガに分類され、切れ刃の2つのすくい角によって切りくずの流出方向が決定する。したがって、工具を選定する場合には2つのすくい角のポジ、ネガを考慮する必要がある。

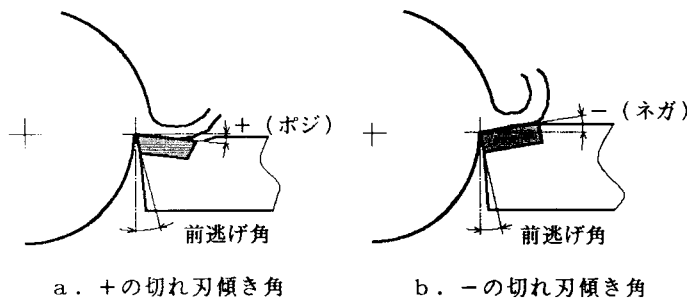


図4-2 切れ刃傾き角

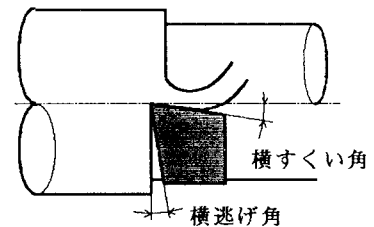


図4-3 横すくい角と横逃げ角

- d. すくい角がポジの場合、次のような影響を切削に与える。
 - ① 切りくずのせん断が容易になり、切れ味がよくなる。
 - ② 切りくずは切れ刃後方に連続して流れ、被削材や工具に切りくずがからみやすくなる。
 - ③ すくい角と逃げ角によって刃物角が減少し、切れ刃強度が低下する。これによって、チッピングが生じやすくなる。
 - ④ 逃げ面を設ける必要があり、チップの片面しか使用できない。

以上のことから、一般にポジの工具は、展延性の高い（ステンレスなど）、柔らかい（アルミなど）、被削性がよい（銅合金など）などの被削材の切削や、高品位な仕上げ面が要求される仕上げ切削などに使用される。

- e. すくい角がネガの場合、次のような影響を切削に与える。
 - ① 切れ味は悪くなるが、切れ刃強度が高くなる。
 - ② 切りくずが被削材側に流れ、被削材や工具との衝突によって分断されやすくなる。
 - ③ 切りくずの衝突によって仕上げ面が傷つきやすい。
 - ④ 逃げ面を設ける必要がなく、チップの両面を利用できる。

以上のことから、一般にネガの工具は、重切削、断続切削など作業条件が安定しない場合に多く利用される。

2. 逃げ角

- 逃げ角を大きくすると、切れ刃強度が低下して、切れ刃のチッピングや欠損の原因になる。また、びびりも発生しやすくなる。
- 逃げ角を小さくすると、摩耗や損傷による刃先後退にともない、逃げ面摩耗が著しく成長し、工具寿命が短くなる（図4-4参照）。
- 一般には、鋼切削で $5^{\circ} \sim 8^{\circ}$ 、非鉄金属の切削で 7° 程度の逃げ角が設定されている。

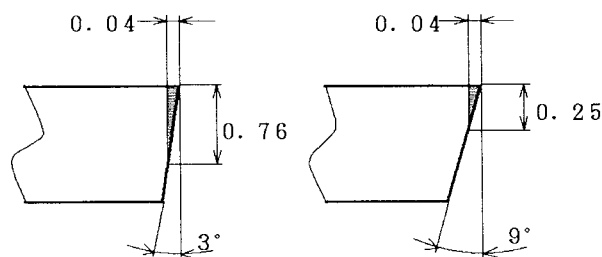


図4-4 逃げ角と逃げ面摩耗

3. 前切れ刃角と横切れ刃角

- 図4-5に前切れ刃角と横切れ刃角が切削に与える影響を示す。
- 前切れ刃角の大小は、仕上げ面あらさに大きく影響する。
 - 前切れ刃角が大きくなるにつれて、仕上げ面あらさは悪くなる。
 - 前切れ刃角が小さくなるにつれて、仕上げ面あらさはよくなる。しかし、背分力の増大とともにびびりが発生しやすくなる。

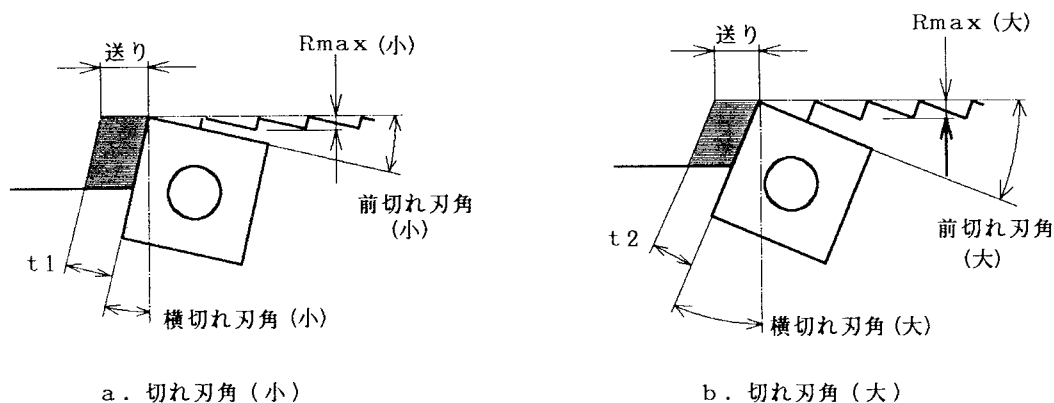


図4-5 切れ刃角の影響

- 横切れ刃角の大小は、切りくずの厚みに大きく影響する。
 - 同じ送りでも、横切れ刃角が大きくなるほど切りくずの厚みは減少する。この場合、切れ刃の単位長さにかかる切削抵抗が減少して刃もちはよくなるものの、背分力の増加によってびびりが発生しやすくなる。
 - 横切れ刃角が小さくなるほど、切りくずの厚みが増大する。

表4-2 横切れ刃角の一般的な選定基準

横切れ刃角を大きくする場合	横切れ刃角を小さくする場合
①仕上げ切削のとき	①荒切削のとき
②細くて長い形状の被削材を切削するとき	②硬くて発熱量の大きい被削材を切削するとき
③機械の剛性が低いとき	③機械に剛性があるとき

4. コーナ半径

- a. コーナ半径は、通称、ノーズ半径と呼ばれるもので、刃先先端部の丸味のことをいう。
- b. コーナ半径によって、図4-6のように刃先に集中する切削力を分散させ、切れ刃のチッピングや欠損を防止する。
- c. 図4-7で示すように、コーナ半径の大小は仕上げ面あらさに大きな影響を与える。

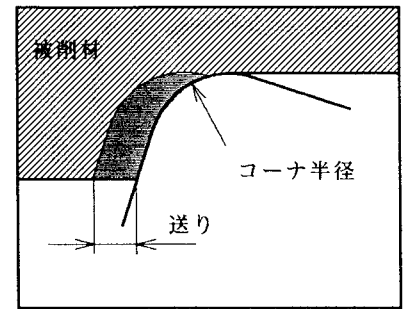


図4-6 コーナ半径と切りくず形状

- ① コーナ半径が小さいほど、仕上げ面あらさは悪くなり、チッピングや欠損が生じやすくなる。
- ② コーナ半径が大きいほど、仕上げ面あらさはよくなるが、びびりが発生しやすくなる。

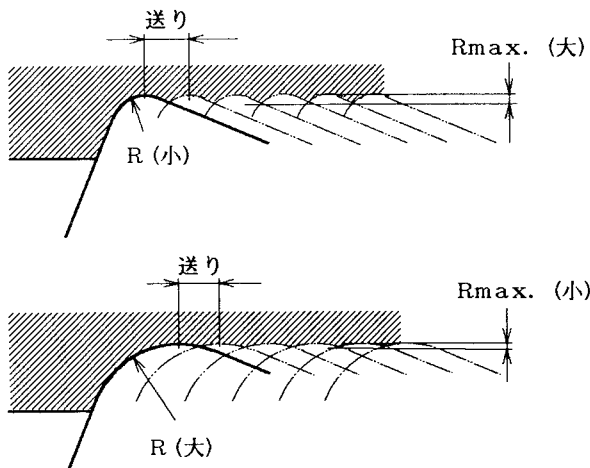


図4-7 コーナ半径と仕上げ面あらさ

【理論あらさの計算式】

$$R_{max} = \frac{f^2}{8R}$$

ただし、 R_{max} : 仕上げ面あらさ
 f : 送り (mm/rev)
 R : コーナ半径 (mm)

- d. コーナ半径は、一般に送りの2~3倍のものを利用する。鋳鉄の場合はやや大きくともよい。

表4-3 コーナ半径の一般的基準

- e. 表4-3は切込みとコーナ半径の大きさの関係を示したものであるが、一般に、送りで計算した場合と、表から求めた場合のいずれか大きい方のコーナ半径を採用する。

切込み (mm)	コーナ半径 (mm)	
	鋼、アルミ、銅合金	鋳鉄、非金属
3以下	0.4	0.8
4~9	0.8	1.6
10~19	1.6	2.4
20以上	2.4	3.2

4-3 バイトの種類と用途

NC旋盤では主としてスローアウェイバイトを使用する。スローアウェイバイトは切れ刃を持つチップとチップを保持するシャンクとからなり、図4-8で示すように用途によってさまざまな形状のものがある。

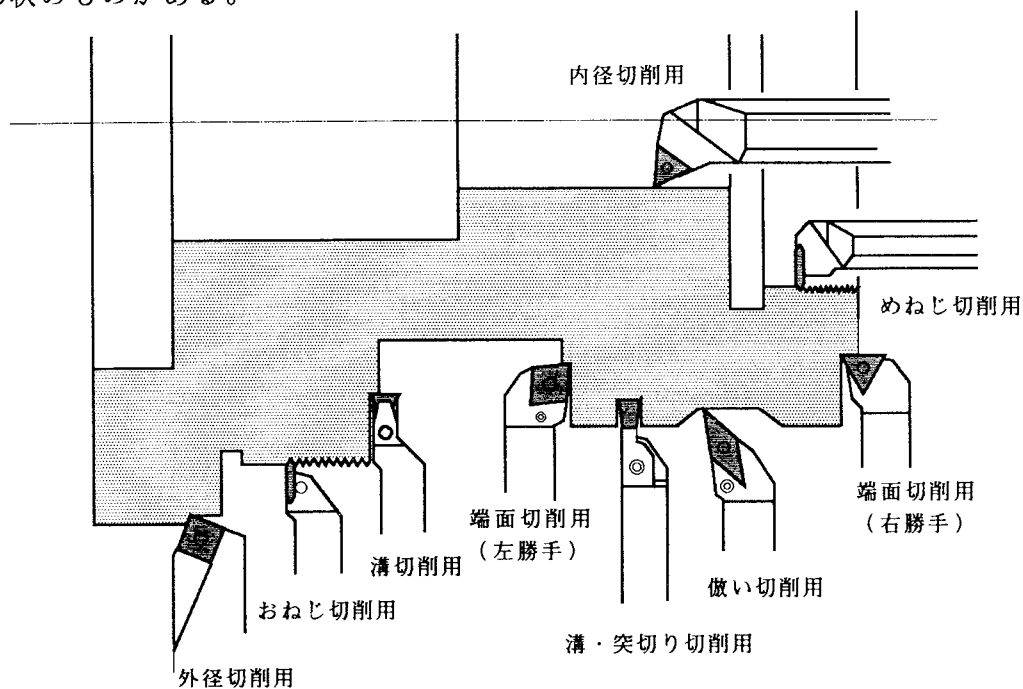


図4-8 バイトの種類と用途

チップはホルダのクランプ機構によってシャンクに固定される。図4-9はチップの代表的なクランプ方式の例を示したものである。それぞれのクランプ方式には次のような特徴がある。

a. クランプオン方式

クランプ強度は大きいが押さえ金により切りくずが流れにくくなる。

b. レバーロック方式

チップの交換が容易であるが、クランプ強度は低下する。

c. 偏心ピン方式

構造が簡単で安価であり、チップ交換も容易であるがクランプ強度は低い。

以上のほかにもさまざまなクランプ方式があるが、使用目的にあったクランプ方式のホルダを選択する必要がある。

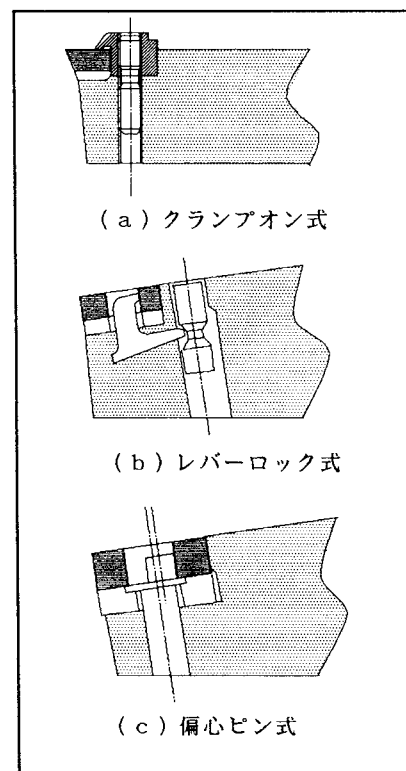


図4-9 チップのクランプ方式

4-4 チップの呼び記号

スローアウェイチップには、その種類を表すために呼び記号がつけられている。したがって、使用するホルダの形状や加工の方法などに応じて適切な呼び記号のスローアウェイチップを選択する必要がある。図4-10にJISで定めるチップの呼び記号を示す。なお、呼び記号は工具メーカー独自の表記方法もあるので、工具メーカーのカタログを参照しながらスローアウェイチップを選択するとよい。

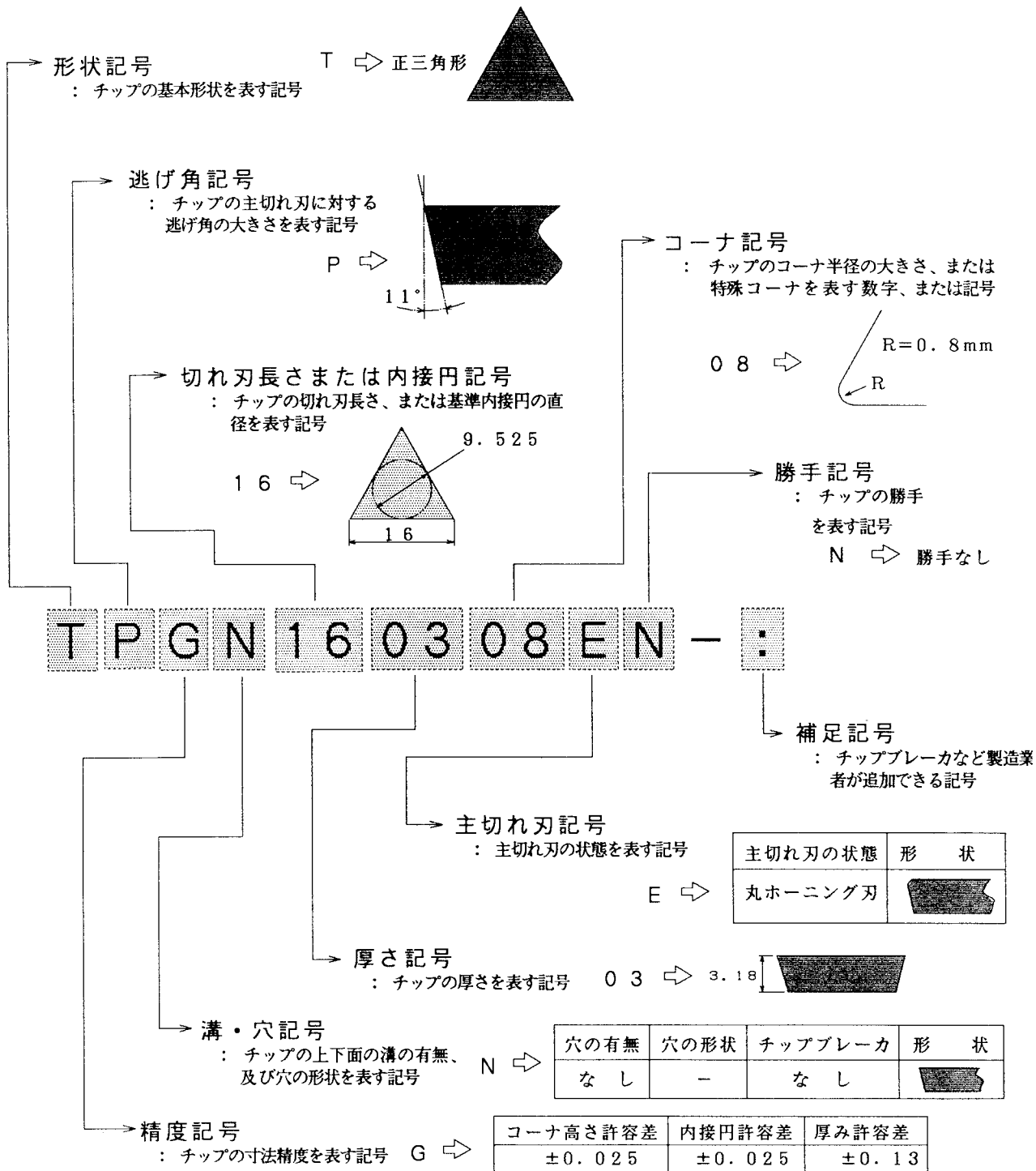


図4-10 チップの呼び記号

4-5 切りくず処理

連続した切りくずを生成する被削材の切削では、切りくずが工具や被削材にからみつき、切れ刃の欠損や仕上げ面の損傷を引き起こす原因になる。また、細かく飛散する切りくずを生成する場合でも、びびりの発生や安全面で問題になる。

高速切削でしかも連続切削が主流になっている今日では、切りくず除去や欠損工具の交換のために機械を一時停止させることは、生産の効率を著しく低下させることになる。

このように、切りくず処理の方法が生産性に大きく影響する。そしてそれは現場作業者が解決すべき極めて重要な職務となる。

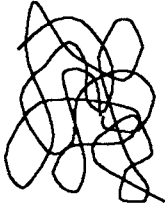
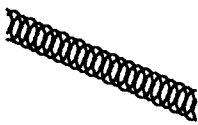
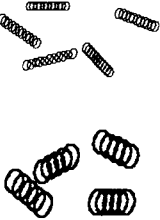
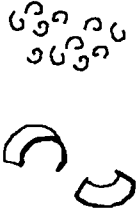
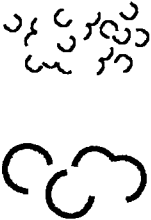
ここでは、切りくずの生成とその処理について述べる。

1. 切りくずの形態とその影響

切りくずの形態は連続形切りくずと不連続形切りくずで大別される。それをさらに詳細に分類したものが、表4-4で示すA形からE形の切りくずである。

表の分類で適正な切りくずとされるのが、1から数巻のカール状となるC形およびD形切りくずである。

表4-4 切りくずの形態とその影響

区分 項目	A 形	B 形	C 形	D 形	E 形
形態					
カール長さ	カールしない	50mm以上	5mm以下 1~5巻	1巻前後	1巻以下、半巻
備考	不規則連続形状 工具や被削材などにからみ、切れ刃の欠損、仕上げ面の損傷、除去のための一時停止など、切削にとって極めて不具合な切りくず。	規則的連続形状 汎用旋盤では切りくず飛散を防止する意味で都合がよいが、NC旋盤など連続切削を行う上での切りくずの搬送処理に不都合になる。	良好	良好	不良 切りくずの飛散、びびりの発生、仕上げ面不良、切削抵抗の増大、発熱大、などをともなう

2. 切りくずの切断

表4-4で示したように、1～数巻で切断されたカール状の切りくずが良好とされる。こうした切りくずの生成は、切削条件、切れ刃のすくい角や横切れ刃角によって決定する切りくずの流出方向、およびチップブレーカによる切りくずの強制切断が大きく影響する。なかでも、チップブレーカの働きを有効に作用させることが切りくず切断の決め手となる。A形、B形のような連続形切りくず生成の場合、チップブレーカが有効に働いていないことが大きな原因になっている。

チップブレーカが有効に作用するとき、一般に切りくずは、次のような形態で切断される。

a. 被削材衝突形

切りくずが上向きカール（円弧状）で生成され、被削材端面に衝突して切断する。すくい角が小さいときに生じやすい。

b. うずまき形

a. と同様に上向きカールの切りくずであるが、被削材端面で巻き込まれ、その後のカール半径増大によって切断する。すくい角が大きいときに生じやすい。また、送りが大きいときは被削材衝突形に、送りが小さいときはうずまき形になりやすい。

c. 逃げ面衝突形

上向きカールにくわえて横向きカールが働き（円すい状）、切りくずは被削材の外周面に沿って流れた後、工具の逃げ面に衝突して切断する。

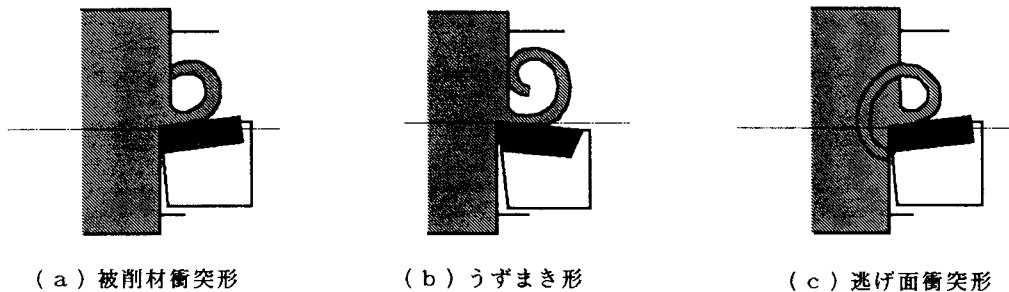


図4-11 切りくず切断の形態

【参 考】 切りくず処理が生産性に及ぼす影響（三菱金属工具カタログより）

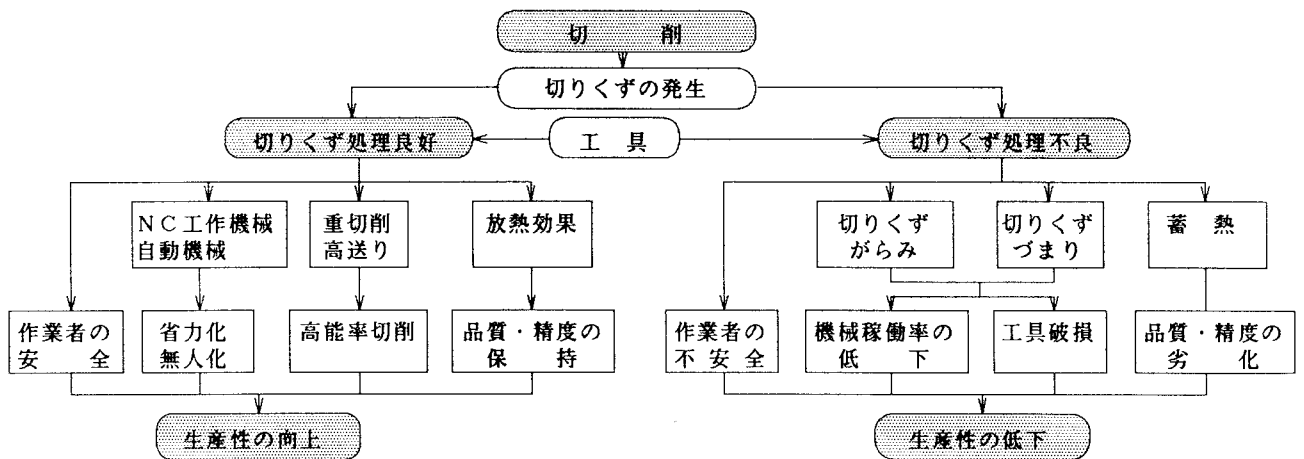


図4-12

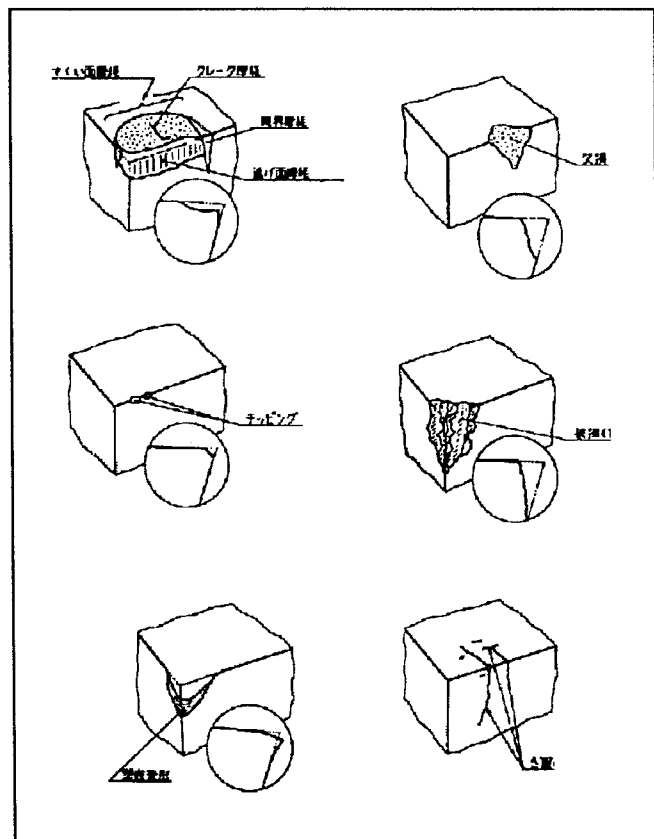
第5章 工具の摩耗と寿命

5-1 工具の損傷形態

5-2 逃げ面摩耗とすくい面摩耗

5-3 工具寿命の判定

5-4 工具損傷の対策



5-1 工具の損傷形態

切削中の工具は、切りくずと被削材とのすべり摩擦、切削抵抗、切削熱など、さまざまな要因によって次第に損傷し、ついには切削不能にいたる。製品に不良品を出さないためには、工具が切削不能にいたるまでに工具交換をしなければならないが、この工具交換時期を工具寿命と呼んでいる。そして、工具寿命による工具交換時期を適切に判断し、不良品の発生を防ぎ、生産の効率をあげることが作業者の重要な責務となる。

ここでは、工具寿命の判断の一助となる工具の損傷形態について述べる。

図5-1は工具損傷の代表例を示したものである。こうした工具損傷をまとめると図5-2のようになる。

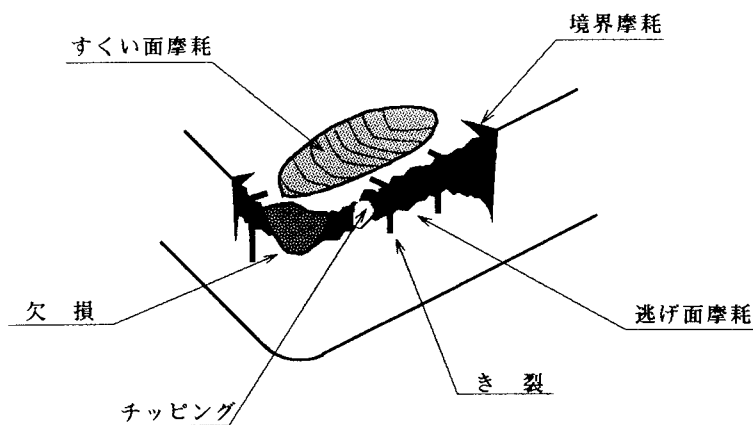


図5-1 工具の損傷形態

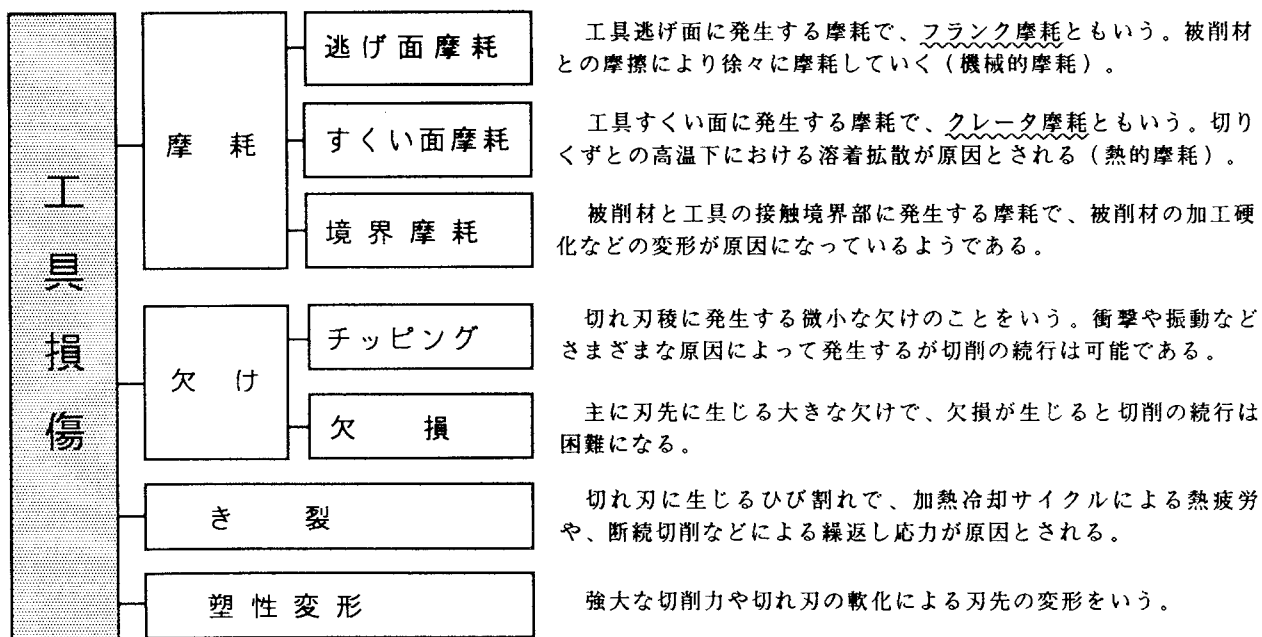


図5-2 工具損傷とその発生要因

5-2 逃げ面摩耗とすくい面摩耗

工具損傷にはさまざまな形態があるが、逃げ面摩耗とすくい面摩耗の2つの工具摩耗が工具寿命の重要な決め手となる。ここでは、2つの工具摩耗について、その進行経過と寿命判断について述べる。

- 逃げ面摩耗は、前切れ刃と横切れ刃の逃げ面に発生する摩耗で、被削材とのすきとり摩耗が主な原因とされる機械的損傷である。フランク摩耗ともいう。
- すくい面摩耗は、すくい面上に発生するクレータ状の摩耗で、高温下における切りくずとの溶着拡散が主な原因とされる熱的損傷である。クレータ摩耗ともいう。

1. 逃げ面摩耗

逃げ面摩耗は図5-4で示すように、一般に初期摩耗、定常摩耗および急激摩耗の経過をたどり、これを工具の寿命曲線と呼んでいる。

- 初期摩耗は、鋭利な切れ刃の微細なチッピングが原因とされ、これによって切れ刃がなじみ、安定した切削が行われるようになる。
- 定常摩耗は、切削時間の経過と共に摩耗が次第に進行していく過程を示したもので、安定した切削が行われる。
- 急激摩耗は、逃げ面の摩耗幅がある限界を過ぎると、急激に摩耗が進行する経過を示したもので、ついには切削不能にいたる。

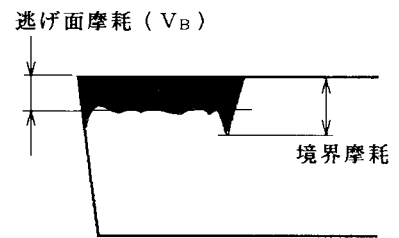


図5-3 逃げ面摩耗

一般に、定常摩耗から急激摩耗に移行する境界部が工具寿命を判断する目安になる。図5-4では逃げ面摩耗幅約0.4mmがそれに相当する。

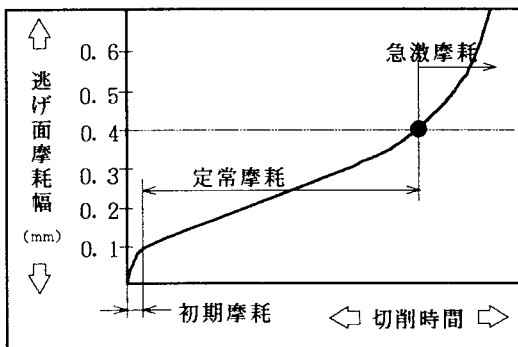


図5-4 逃げ面摩耗の寿命曲線

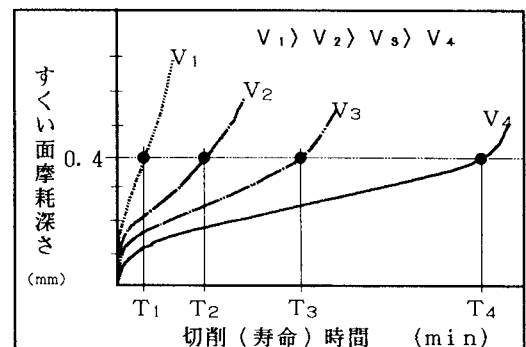


図5-5 切削速度と逃げ面摩耗

図5-5は切削速度 ($V_1 \sim V_4$) を変化させたときの逃げ面摩耗の寿命曲線を示したもので、切削速度が速い (V_1) ほど工具寿命は短く、切削速度が遅いほど (V_4) ほど工具寿命は長くなる。

2. すくい面摩耗

すくい面摩耗の大きさは、図5-6で示すように、すくい面上のクレータ状のくぼみの深さ（クレータ深さ）で表される。

また、すくい面摩耗は図5-7で示すように、クレータ深さと切削時間は比例する関係にあり、それをまとめると次のようになる。

- a. すくい面摩耗は、切削速度が速くなるほど、クレータ深さの進行線図は急こう配になる。つまり、すくい面摩耗の進行が早い。
- b. クレータ深さが深くなると、刃先強度が弱まり、ついには刃先の欠損を起こす。
- c. すくい面摩耗による工具寿命の判断は、クレータ深さ0.05~0.1mmがその目安になっている。

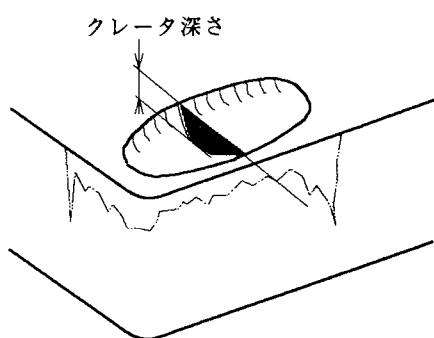


図5-6 逃げ面摩耗

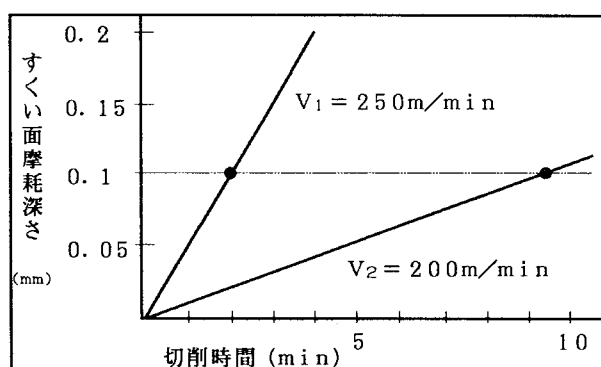


図5-7 すくい面摩耗の進行線図

工具摩耗による工具寿命の判断は、逃げ面摩耗とすくい面摩耗のいずれが早く寿命限界に達するかによる。

通常、超硬工具による鋼切削では、切削速度150 m/min以下では逃げ面摩耗が、切削速度150 m/min以上ではすくい面摩耗が、工具寿命の判断の目安になる。

5-3 工具寿命の判定

切れ刃は切削の進行にともない、機械的摩耗、熱的摩耗、き裂、欠けなどにより次第に損傷していく。そして、ついには切削不能の状態になる。これで工具寿命がつかたともいえるが、製品に不良品を出さず、工具の再研削時間を短縮するなど、効率的な生産を行うためには、切削不能にいたる前に工具寿命の判断をしなければならない。

通常は、一定の損傷状態に達するまでの切削時間を工具寿命とし、工具交換時期あるいは工具再研削時期を判断している。以下、工具寿命の判定法のいくつかの例を示す。

1. 被削材加工面の劣化による寿命判定

切れ刃の損傷と共に、被削材に“むしれ”や“てかり”が生ずるようになる。このような仕上げ面劣化の状態を観察し、工具寿命を判定する。

2. 被削材の寸法変化による寿命判定

切れ刃損傷による刃先後退や被削材の異常な熱膨張などにより、寸法精度が次第に悪化する。加工寸法の測定や異常発熱の観察などにより工具寿命を判定する。

3. 切りくずの変化による寿命判定

切れ刃の損傷と共に、切削抵抗が増大し、発熱も大きくなる。これによって、切りくずの色変化や火花が生じるようになる。また、すくい面摩耗が大きくなると、大きなすくい角と狭いチップブレイカをつけたと同じになり、切りくずがからみやすくなる。このような切りくずの生成状態を観察することによって工具寿命を判定する。

4. 機械所要動力の増大による寿命判定

工具損傷にともなう切削抵抗の増大と共に、機械の所要動力も増大する。機械に設置された電流計の指針の変化を観察し、工具寿命を判定する。

5. 切削時間や加工個数のカウントによる寿命判定

経験的あるいは実験的判断により、工具寿命までの切削時間や加工個数をあらかじめ設定しておく方法である。1. から4. で示した判定法が作業者の判断にゆだねられるのに対し、だれでも一定の寿命判定ができるという利点がある。

6. 工具摩耗による寿命判定

逃げ面摩耗幅とすくい面摩耗深さの大きさ（図5-8、図5-9および表5-1参照）から工具寿命を判定する。いずれか一方のうち、早く一定量の工具摩耗に達したときを工具寿命とする。

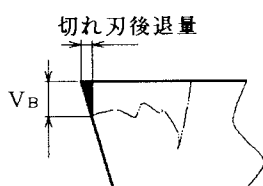


図5-8 逃げ面摩耗幅

表5-1 逃げ面摩耗の寿命判定基準

摩耗幅 (mm)	適 用
0.2	精密軽切削、非鉄合金の仕上げ切削
0.4	特殊鋼などの切削
0.7	鋳鉄、鋼などの一般切削
1~1.25	普通鋳鉄などの荒切削

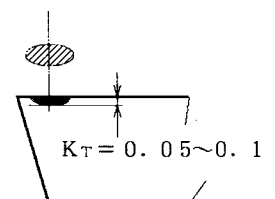


図5-9 すくい面摩耗深さ

5-4 工具損傷の対策

切削によって工具切れ刃が損傷することは避けられないが、それが、著しい工具寿命の短縮、寸法精度や仕上げ面精度の悪化、異常発熱などをともなう場合は、切削の方法そのものを再検討する必要がある。

表5-2は工具の損傷形態に応じて検討されるべきことがらをまとめたものである。

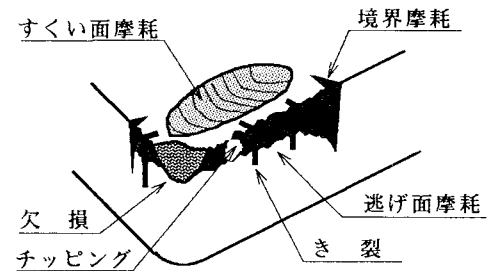


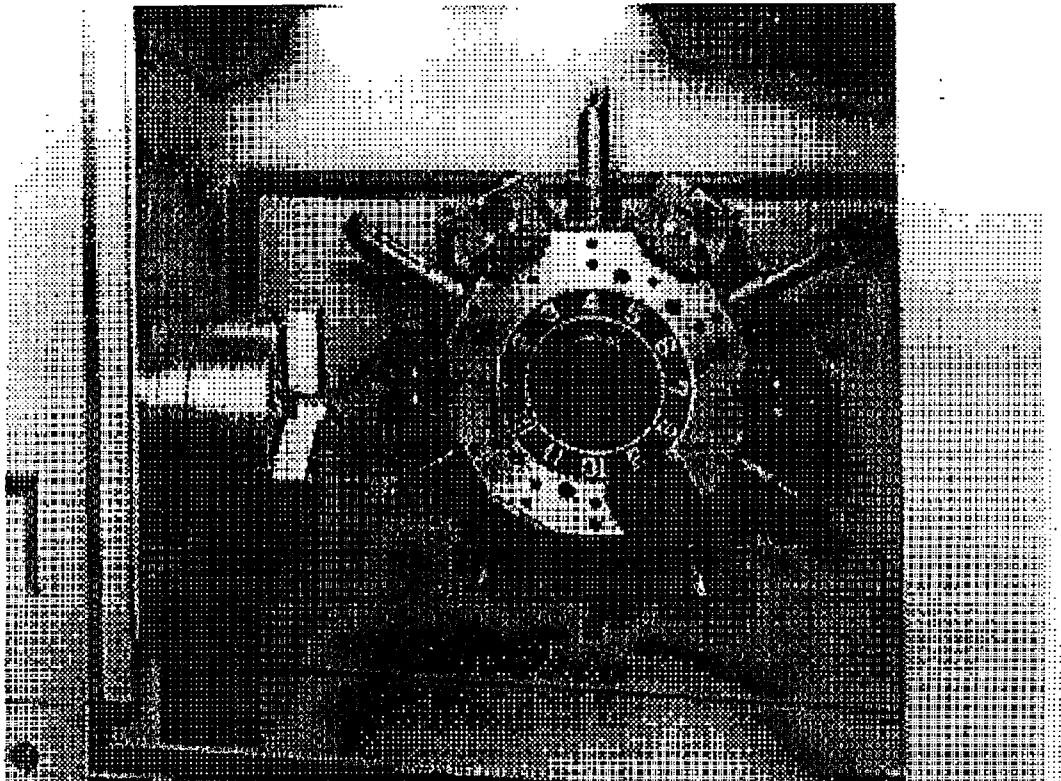
図5-10 工具の損傷形態

表5-2 工具損傷の対策

工具損傷の種類	対 策		
	工 具 材 種	工 具 形 状	切 削 条 件
逃げ面摩耗	耐摩耗性の高い材種を使用 超硬→コーティング →サーメット	逃げ角を大きくする 前切れ刃角を大きくする コーナ半径を大きくする	切削速度を下げる
すくい面摩耗	耐熱・耐摩耗性の材種を使用 P種>M種>K種 超硬→コーティング →サーメット	すくい角を →ネガからポジに変更 →大きくする チップブレイカの形状を変える	切削速度を下げる 送りを小さくする
チッピング	靱性の高い工具材種を使用 P10<P20<P30 切りくずが溶着しにくい工具材種にする 超硬→サーメット	ホーニングで切れ刃を強化する すくい角を →小さくする →ポジからネガに変更 コーナ半径を大きくする 横切れ刃角を大きくする (切込み角を小さくする)	切削速度を上げて構成刃先の影響を小さくする 送りを小さくする
欠 損	靱性の高い工具材種を使用 P10<P20<P30	ホーニングで切れ刃を強化する シャンクを太くする 横切れ刃角を大きくする	送り、切込みを小さくする 切削速度を下げる
き 裂	高靱性材種を使用 P20<P30 P20<M20	すくい角を大きくする	切削速度を下げる 送り、切込みを小さくする 乾式切削にする
塑性変形	耐熱性の高い工具材種を使用 P種<M種<K種		切削速度を下げる 送り、切込みを小さくする

第6章 工具材種の選定

- 6-1 切削工具材種の分類
- 6-2 高速度工具鋼
- 6-3 超硬合金工具
- 6-4 コーティング
- 6-5 サーメット
- 6-6 セラミック
- 6-7 超高压焼結体



6-1 切削工具材種の分類

切削工具材種は、工作機械や工具保持具の性能向上とともに著しい進歩をしており、それを分類すると図6-1のようになる。

また、工具材料に要求される性能をまとめると次のようになる。

- a. 高温下での硬さの低下が少ないこと（耐熱性）。
- b. 硬さが高く摩耗に強いこと（耐摩耗性）。
- c. 粘り強く欠けにくいこと（高靱性、抗折力大、耐欠損性）。
- d. 切削力に耐える強さであること（圧縮強さ）。

しかし、上記の性能をすべて満足する工具材種はない。用途に応じて適切な選択をする必要がある。図6-2に耐摩耗性と靱性について、各種工具材種の特性を示す。

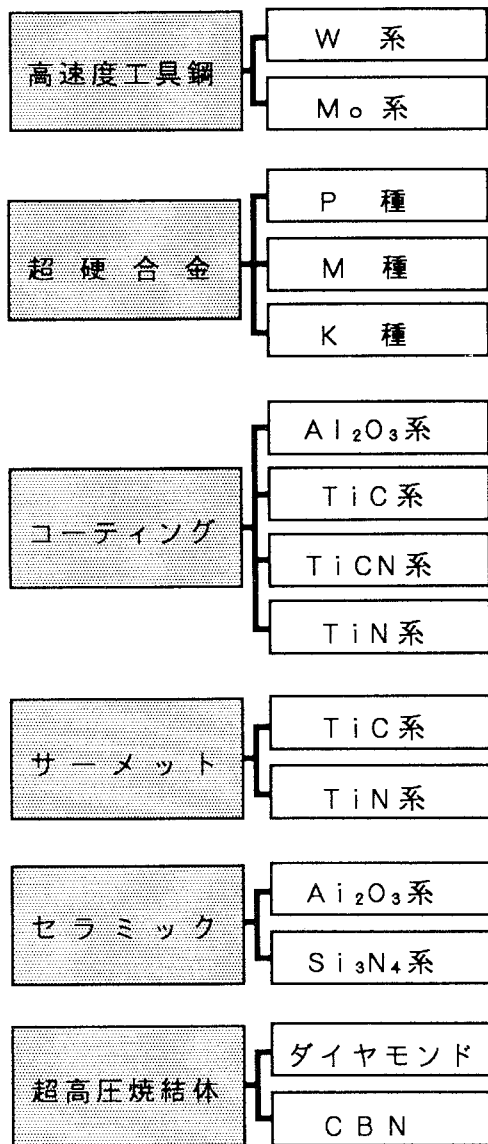


図6-1 工具材種の分類

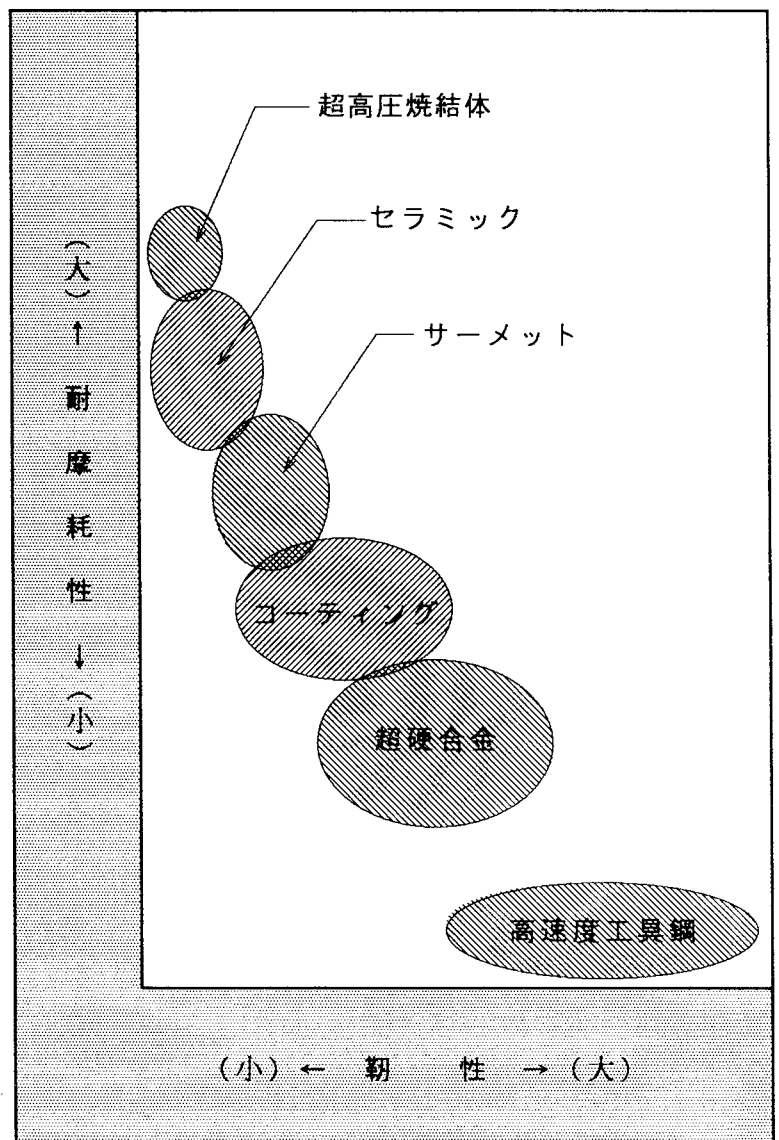


図6-2 工具材種の特性概念

6-2 高速度工具鋼

高速度工具鋼は、ハイス (High Speed Steel の略) の名で知られる合金工具鋼である。それまでの炭素工具鋼や合金工具鋼に比べ高速切削 (20~30m/min) が可能なことからこの名称がつけられた。

超合金やサーメットのよう焼結合金工具が主流になり、切削速度100m/minを越す高速・重切削が一般化している今日では、耐熱性・耐摩耗性ともに低く、低速切削用の工具材種に類している。

しかし、超合金などの高速切削用工具材種に比べ、靱性が高く欠けにくい、刃先形状の成形が容易であるなどの特長があり、バイトやフライスなど種々の工具に高速度工具鋼が利用されている。

高速度工具鋼は、タングステン (W) を主成分とするタングステン系高速度工具鋼と、タングステンを減らしその分モリブデン (Mo) を添加したモリブデン系高速度工具鋼に大別される。JISでは、材料記号をSKHとし、13種を規格化している。

図6-3に各種工具材料の高温硬さ、表6-1に高速度工具鋼の種類と主な用途を示す。

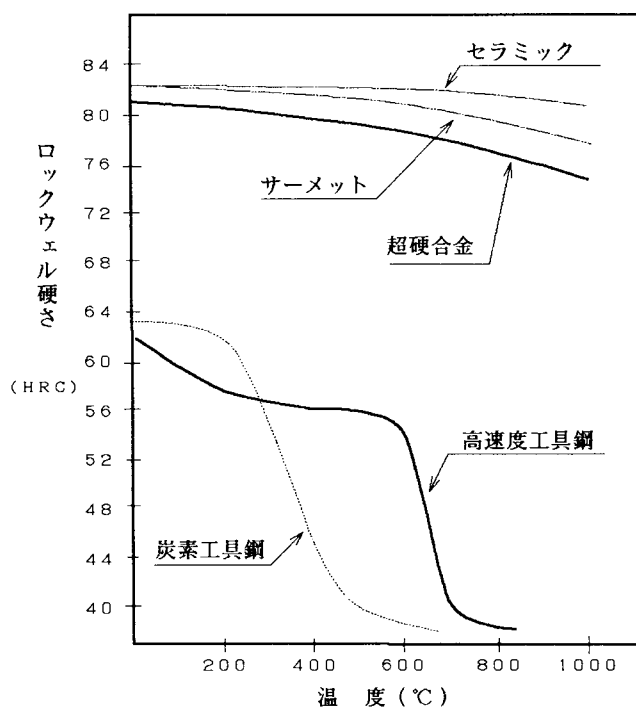


図6-3 工具材料の高温硬さ

表6-1 高速度工具鋼の種類と主な用途

分類	記号	主な用途
タングステン系	SKH 2	一般切削用その他各種工具
	SKH 3	高速重切削用その他各種工具
	SKH 4	難削材切削用その他各種工具
	SKH 10	高難削材切削用その他各種工具
モリブデン系	SKH 5 1	靱性を必要とする一般切削用その他各種工具
	SKH 5 2	比較的靱性を必要とする高硬度材切削用その他各種工具
	SKH 5 3	
	SKH 5 4	
	SKH 5 5	比較的靱性を必要とする高速重切削用その他各種工具
	SKH 5 6	
	SKH 5 7	
	SKH 5 8	靱性を必要とする一般切削用その他各種工具
	SKH 5 9	比較的靱性を必要とする高速重切削用その他各種工具

6-3 超硬合金工具

超硬合金は、炭化タングステン（WC）、炭化チタン（TiC）、炭化タンタル（TaC）などの微粉末を、コバルト（Co）を結合材として成形・焼結したものである。

JISでは切削用の超硬合金をP種、M種、K種の3種に分類し、それぞれの用途を定めている。

なお、P種、M種、K種の一般的な特徴は、次のようになる。

P種：耐摩耗性、耐溶着性に優れ、鋼類などの連続した切りくずを出す切削に適する。

M種：P種、M種の間中に位置し、耐摩耗性および靱性の両方を兼ね備えている。ステンレスなどせん断形の切りくずを出す切削に適する。

K種：圧縮強さ・抗折力が高く、靱性に優れている。鋳鉄や非鉄金属などの不連続な切りくずを出す切削に適する。

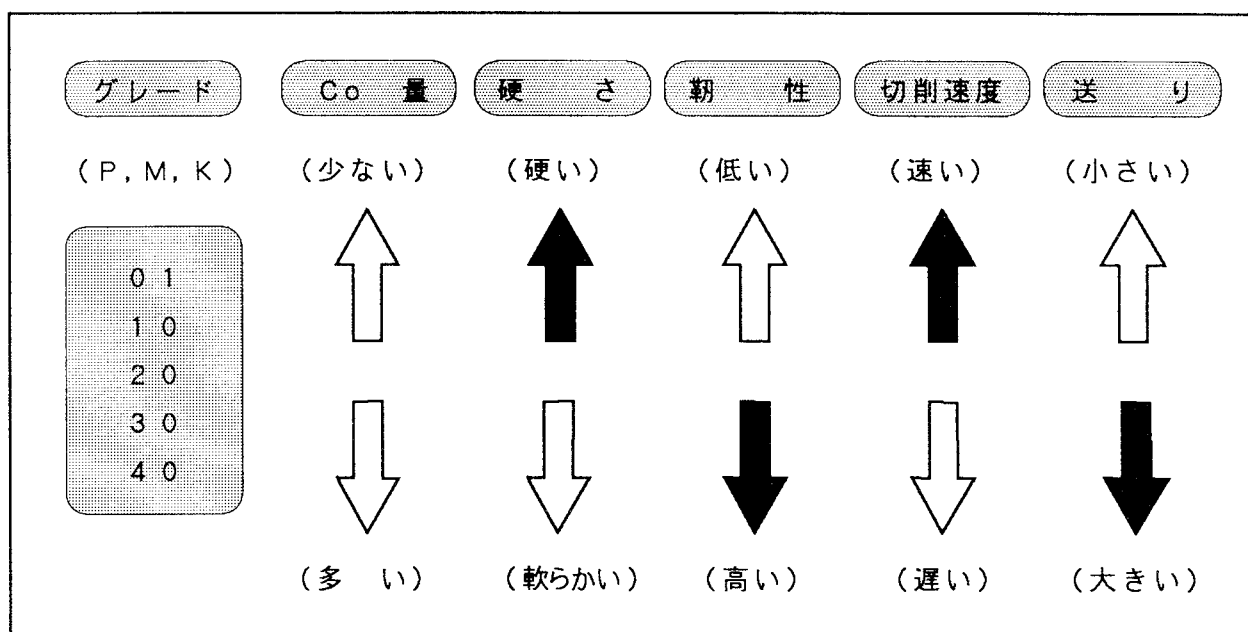


図6-4 超硬合金のグレードと特性

図6-4は、超硬合金の各グレードにおける特性を示したものであるが、このようにそれぞれが特徴を持っており、したがって、超硬合金を使用するにあたっては、使用目的に応じた、適切な材種を選択が必要である。

JISでは、切削用超硬合金の使用選択基準を表6-2（次ページ）のように規定している。

表6-2

切削用超硬合金の使用選択基準 (JIS B 4053⁻¹⁹⁸⁷)

大分類	使用分類記号	被 削 材	作 業 条 件
P	P 0 1	鋼	高速で小切削面積のとき、または加工品の寸法精度や表面の仕上げ面程度の良好なことを望むとき。ただし、振動がない作業条件のとき。
	P 1 0	鋼	高～中速で小～中切削面積のとき、または作業条件の比較的良いとき。
	P 2 0	特殊鋳鉄 (連続形切りくず)	中速で中切削面積のとき、またはP系列中もっとも一般的な作業のとき。
	P 3 0		低～中速で中～大切削面積のとき、またはあまり好ましくない作業条件のとき。
	P 4 0	鋼	低速で大切削面積のとき、P 3 0より一層好ましくない作業条件のとき、小型の自動旋盤の一部、または大きなすくい角を使用したいとき。
M	M 1 0	鋼 耐熱合金 鋳鉄および特殊鋳鉄	中～高速で小～中切削面積のとき、または鋼・鋳鉄に対して共用したいときで、比較的作業条件の良いとき。
	M 2 0		中速で中切削面積のとき、または鋼・鋳鉄に対して共用したいときで、あまり好ましくない作業条件のとき。
	M 3 0		中速で中～大切削面積のとき、またはM 2 0より悪い作業条件のとき。
	M 4 0		低速のとき、大きなすくい角や複雑な切れ刃形状を与えたいとき、またはM 3 0より悪い作業条件のとき。
K	K 0 1	鋳鉄	高速で小切削面積のとき、または振動がない作業条件のとき。
		高硬度鋼 硬質鋳鉄	極低速で小切削面積のとき、 または振動がない作業条件のとき。
		非金属材料 高シリコン アルミニウム 鋳物	振動がない作業条件のとき。
	K 1 0	鋳鉄および特殊鋳鉄、鋼 (不連続形切りくず) 高硬度鋼	中速で小～中切削面積のとき、またはK系列中の一般的な作業のとき。ただし、鋼の場合は、低速または小切削面積のとき。 低速で小切削面積のとき、 または比較的振動がない作業条件のとき。
		非鉄金属 非金属材料 複合材料 耐熱合金 チタンおよびチタン合金	比較的振動がない作業条件のとき。
	K 2 0	鋳鉄	中速で中～大切削面積のとき、または大きな靱性を要求される作業条件のとき。
		非鉄金属 非金属材料 複合材料 耐熱合金 チタンおよびチタン合金	大きな靱性を要求される作業条件のとき。
K 3 0	引張り強さの低い鋼 硬さの低い鋳鉄 非鉄合金 耐熱合金	低速で大切削面積のとき、 あまり好ましくない作業条件のとき、 または大きなすくい角を使用したいとき。	

表6-3 超合金材種の各社対照表

分類	タンガロイ	ダイヤモンド	イゲタロイ	ダイジェット	特性
P01				SR05	 大 大 大 大 大
P10	TX10S TX10D	STi10 STi10T	ST10P ST15E	SR10	
P20	TX20 UX25 TX25	STi20 STi25	ST20E	SRT SR20	
P30	UX30 TX30	STi30	A30N A30 ST30E	SR30	
P40	TX40	STi40T	ST40E	SR40	
M10	TU10	UTi10T	U10E	UMN UM10 DX25	 大 大 大 大 大
M20	TU20	UTi20T	U2	UM20	
M30	UX30		A30N A30		
M40	TU40	UTi40T	A40	UM40	
K01	TH03	HTi05T	H2	KG03	
K10	TH10	HTi10	H1 H10E G10E G1	KT9 KG10	
K20	G2	HTi20	G2	KG20 CR1	 大 大
K30			G3	KG30	

【超合金材種選択の目安】

超合金のPMK分類で、P20、M20、K10がそれぞれの標準材種になる。したがって、一般に超合金を使用する場合、被削材に応じた標準材種を選択にはじまり、さらに、その使用による工具損傷の状態、加工精度などから図6-5のようなことがらを考慮しながら、他材種に移行していく方法がとられる。

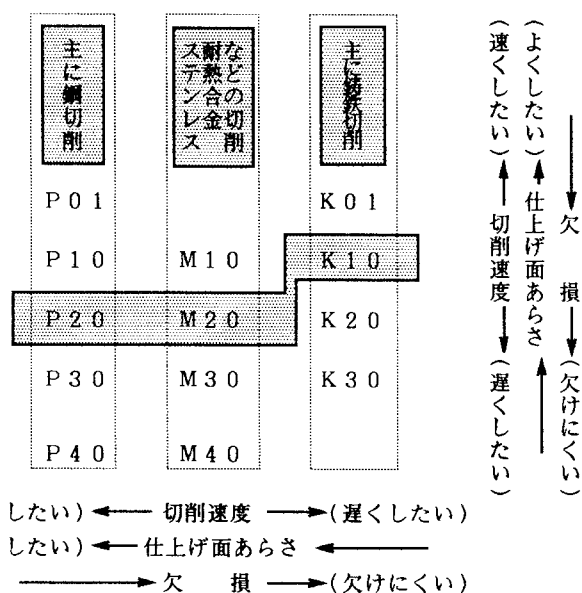


図6-5 超合金材種選択の目安

6-4 コーティング

コーティングは、耐摩耗性、耐熱性、耐溶着性に優れた炭化チタン (TiC)、窒化チタン (TiN)、酸化アルミニウム (Al₂O₃) などを、超合金の表面に被覆 (コーティング) した工具材種である。

形態からすれば表面被覆超合金になるが、コーティングの名で知られており、母材である超合金の持つ靱性と、コーティング層の耐熱・耐摩耗性により、従来の超硬工具に比べ、より高速・重切削が可能な切削工具として広く使用されている。

コーティングは、コーティング層の状態や種類により、図6-6のような種類のものがある。

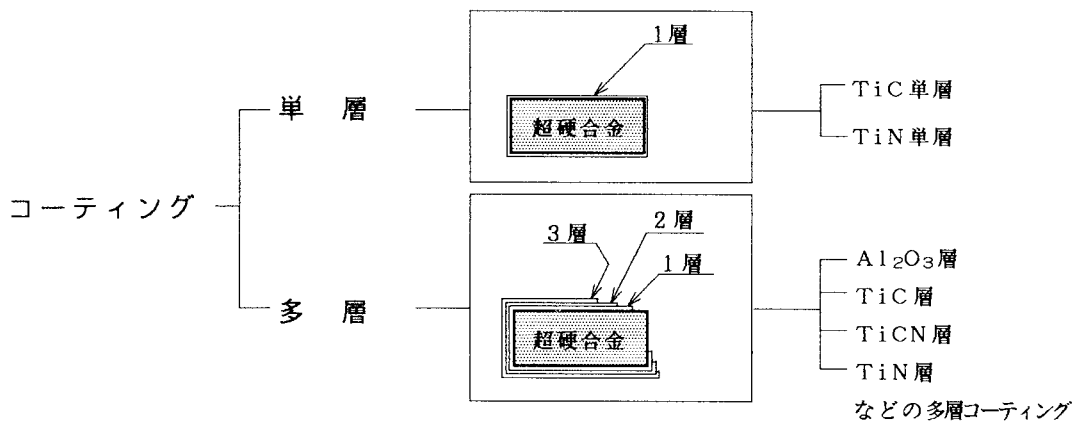


図6-6 コーティングの種類

一般に、Al₂O₃層が主体になるAl₂O₃ (アルミナ)系コーティングは耐摩耗性に優れ、高速切削に適している。その他のコーティング層が主体になる、TiC (炭化チタン)系コーティング、TiCN (炭窒化チタン)系コーティング、TiN (窒化チタン)系コーティングは靱性に優れ、中～重切削、フライス削りの断続切削などに適している。

なお、表6-4は主な工具メーカーのコーティングと超合金との対応を示したものである。

超合金に比べて、鋼切削、鋳鉄切削の両方に利用でき、その用途は広い。しかし、高精度な仕上げ面あらしが要求される切削にはコーティングは適さない。

表6-4 コーティング材種各社対照表 (住友電気工業カタログから)

超硬の グレード	イゲタロイ		ダイヤチタニット		タンガロイ	
	Al ₂ O ₃ 系	TiC系 または TiCN系	Al ₂ O ₃ 系	TiC系 または TiCN系	Al ₂ O ₃ 系	TiC系 または TiCN系
P01	AC05		U66		T822	
P10	AC10	AC815	U615	B221	T802	
P20		AC720	U77		T803	T553
P30	AC25	AC835	U88	B331		
P40						
K01	AC05		U66		T821	
K10	AC10G	AC805		B221	T801	T530
K20		AC815	U77		T802	
K30					T803	

6-5 サーマット

サーメットは、TiC（炭化チタン）に結合材としてNi（ニッケル）やMo（モリブデン）を加えて、成形・焼結した工具材種である。超硬合金がWC（炭化タングステン）を主成分とすることから、超硬合金とは別な工具材種として扱われている。

従来、サーメットはTiCを主成分とし、耐熱・耐摩耗性に優れている反面、靱性が低い欠点があり、高速仕上げ切削に利用されていた。最近では、TiCに加えてTaC（炭化タンタル）やTiN（窒化チタン）などを加えて、靱性を強化したTiC系強靱サーメット、TiN系サーメットが広く利用されている。

サーメットの靱性改善により、超硬合金のP20～P30に相当する荒切削などの一般切削が可能なた種が多く登場しているが、一般的には、耐熱・耐摩耗性に優れていることや、切りくずが溶着しにくく構成刃先の影響が少ないなどの特徴を考慮して、高速での仕上げ切削に利用されることが多い。

表6-5に主な工具メーカーのサーメットと超硬合金との対応を示す。

表6-5 サーマット材種各社対照表 (住友電気工業カタログから)

超硬の グレード	イグタロイ		ダイヤチタニット		タンガロイ		ダイジェット	
	TiC系	TiN系	TiC系	TiN系	TiC系	TiN系	TiC系	TiN系
P01		T05A		NX22		N302		NIT10
P10		T12A		NX23		N308		NIT
P15				NX55	X407	N310		NIT20
P20		T25A		NX99		N350	SUZ	
P30						NS540		
P40								

表6-6 【参考】各種硬質物質および金属の諸特性

(住友電気工業カタログより)

物質名	比重	硬さ(mHv) (kg/mm ²)	ヤング率 (×10 ³ kg/mm ²)	熱伝導率 (cal/cm·sec°C)	熱膨張係数 (×10 ⁻⁶ /°C)	融点 (°C)
炭化タングステン(WC)	15.6	2,150	70	0.3	5.1	2,900
炭化チタン(TiC)	4.94	3,200	46	0.04	7.6	3,200
炭化タンタル(TaC)	14.5	1,800	29	0.05	6.6	3,800
炭化ニオブ(NbC)	8.2	2,050	35	0.04	6.8	3,500
窒化チタン(TiN)	5.43	2,000	26	0.07	9.2	2,950
酸化アルミニウム(Al ₂ O ₃)	3.98	3,000	42	0.07	8.5	2,050
立方晶窒化硼素(CBN)	3.48	4,500	71	3.1	4.7	-
ダイヤモンド(C)	3.52	>9,000	99	5.1	3.1	-
コバルト(Co)	8.9	-	10~18	0.165	12.3	1,495
ニッケル(Ni)	8.9	-	20	0.22	13.3	1,455

6-6 セラミック

セラミックは、 Al_2O_3 （酸化アルミニウム、アルミナ）を主成分にして酸化物、窒化物、炭化物などを添加した微粉末を成形・焼結させたもので、超硬合金の主成分であるWCの省資源に利する工具材料として開発されたものである。高温硬さが高く、耐溶着性、耐摩耗性に優れ、超硬合金の数倍の速さで切削できる特徴がある反面、靱性（特に、抗折力）が低いという欠点があり、超硬合金では切削困難な高硬度材料の切削や鋳鉄・非鉄金属の高速仕上げ切削など、その用途は限られていた。しかし、セラミックの靱性改善により用途は次第に広がりつつある。

最近のセラミックには、その色調に白色と黒色とがある。白色セラミックは Al_2O_3 を主成分とする Al_2O_3 系セラミックであり、黒色セラミックは Al_2O_3 系セラミックでTiCを多く含むものと、 Si_3N_4 （窒化けい素）を主成分とする Si_3N_4 系セラミックとがある。

一般に、白色セラミックは高温硬さ、耐摩耗性に優れているが靱性が低い。一方、黒色セラミックはTiCなどの添加によって、従来の Al_2O_3 系セラミックの靱性を大幅に改善したものである。また、 Si_3N_4 系セラミックは超硬合金に匹敵する強靱性をもつ黒色セラミックである。図6-7にセラミック材種の分類を示す。

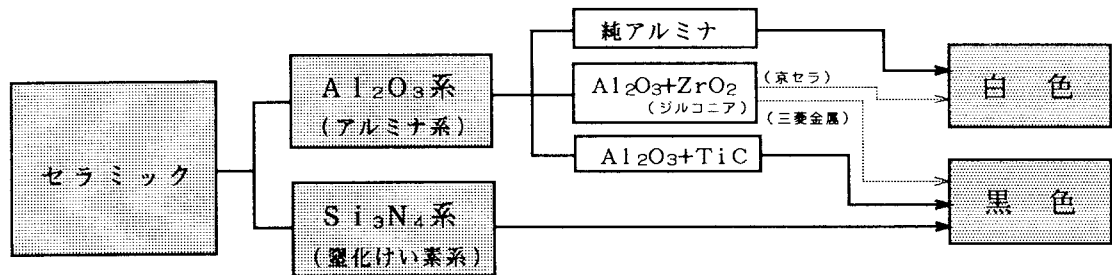


図6-7 セラミックの分類

セラミックの用途は、一般に次のようになる。

- Al_2O_3 系（白色）：鋳鉄、鋼の高速仕上げ切削
- Al_2O_3 系（黒色）：高硬度材の切削、鋳鉄の断続切削
- Si_3N_4 系：鋳鉄の荒、断続、高送り切削
- 鋳鉄切削はセラミックの威力が発揮されるが、アルミニウムやステンレスの切削には適さない。

表6-7 セラミック材種各社対照表

（東芝タンガロイカタログから）

表6-7に主な工具メーカーのセラミックの対照表を示す。

イゲタロイ		ダイヤチタニット		タンガロイ		京セラ	
Al_2O_3 系	Si_3N_4 系	Al_2O_3 系	Si_3N_4 系	Al_2O_3 系	Si_3N_4 系	Al_2O_3 系	Si_3N_4 系
NB90S		XD3		LXA		A-65	
NB90M				LX21		SN80	
				LX21		SN60	
	NS10		XE2		FX920		KS8000
			XE7				IS-8

6-7 超高压焼結体

超高压焼結体は、ダイヤモンドの微結晶や立方晶窒化ほう素（CBN）の微粉末を、図6-8のように超合金の基台に、超高压高温下で焼結・接合した高硬度の工具材料である。

主成分からダイヤモンド系超高压焼結体とCBN系超高压焼結体に分類されている。

ダイヤモンド系は、主成分である炭素（C）と鉄鋼系材料の鉄（Fe）との親和性が高く、鉄鋼系材料の切削は工具寿命が短く不適であるが、アルミや銅などの非鉄金属やセラミックスや強化プラスチックなどの非金属材料の切削に適している。

CBN系は、ダイヤモンド系に比べて硬さは劣るものの、被削材との親和性は少なく、焼入れ鋼、硬質鋳物、耐熱合金などの難削材切削に利用されている。

表6-8に主な工具メーカーの超高压焼結体の対照表を示す。また、超高压焼結体工具の切削条件の一例を表6-9に示す。

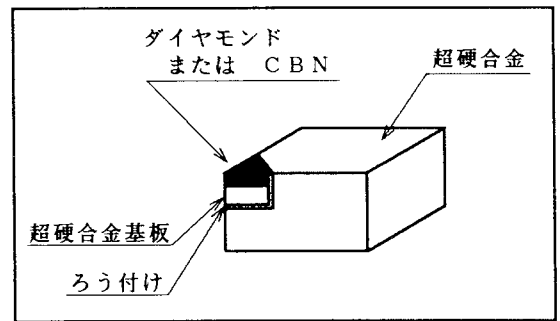


図6-8 超高压焼結体工具の構造

表6-8 超高压焼結体各社対照表 (東芝タンガロイカタログから)

	イゲタロイ	ダイヤチタニット	タンガロイ
ダイヤモンド系	DA100	MDC	DX160
	DA150		DX140
	DA200		DX120
CBN系	BN100	MBC	BZN
	BN200		BX290 BX270

表6-9 超高压焼結体工具の切削条件

(東芝タンガロイカタログより)

分類	被削材	切削速度 (m/min)	切込み (mm)	送り (mm/rev)	
ダイヤモンド系	アルミニウム	300~1500	0.05~0.2	0.05~0.2	
	アルミ合金 (10%Si含有相当)	200~1300	0.05~0.2	0.05~0.2	
	アルミ合金 (18%Si含有相当)	200~600	0.05~0.2	0.05~0.2	
	銅・黄銅	100~1000	0.05~0.2	0.05~0.2	
	りん青銅	100~500	0.05~0.2	0.05~0.2	
	カーボン	100~300	0.1~0.2	0.05~0.2	
	ガラス繊維・プラスチック	100~1000	0.1~0.2	0.02~0.2	
	超合金 セラミックス	10~20 80~150	0.02~0.2 0.1~0.2	0.02~0.2 0.05~0.2	
CBN系	炭素鋼・合金鋼	100~120	0.1~0.5	0.05~0.2	
	焼入れ鋼	炭素工具鋼	100~120	0.1~0.5	0.05~0.15
		合金工具鋼	100~120	0.1~0.5	0.05~0.15
	普通鋳鉄	300~500	0.1~0.5	0.05~0.2	
	チルド鋳鉄・特殊鋳鉄	150~200	0.1~3	0.05~1.5	
	鉄系焼結合金	180~180	0.1~0.5	0.05~0.2	
	耐熱合金	100~200	0.1~1	0.05~0.15	

図6-10

各種工具材料の切削条件

(住友電気工業工具カタログから)

被削材	作業内容	工具材種	切削条件		
			切削速度 (m/min)	送り (mm/rev)	切込み (mm)
普通鋼 (S45C) 合金鋼 (SCM435) (H _B 220 ~ 300)	微小切削	TiN系 サーメット	100 200 300	0.1 0.2 0.3 0.4 0.5	1.0 2.0 3.0 4.0 5.0
	軽切削	TiN系 サーメット			
	中切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
	重切削	TiC系 コーティング Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
軟鋼 (SS41) 合金鋼 (SCM415) (SCr420) (H _B 130 ~ 220)	微小切削	TiN系 サーメット			
	軽切削	TiN系 サーメット			
	中切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
	重切削	TiC系 コーティング Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
ステンレス鋼 (SUS304)	軽切削	TiN系 サーメット			
	中切削	TiN系 サーメット			
		TiC系 コーティング			
		Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
	重切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
ダイス鋼 (SKD11) (H _{RC} 25以下)	軽切削	TiN系 サーメット			
	中切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
	重切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
焼入れ鋼 (SCN415) (H _{RC} 45以上)	軽切削	CBN系 超高压焼結体			
		Al ₂ O ₃ 系 セラミック			
普通铸铁 (FC25) (H _B 250)以下	軽切削	Al ₂ O ₃ 系 セラミック			
	中切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
	重切削	TiC系 コーティング			
ダクタイル铸铁 (FCD45) (H _B 150 ~ 250)	軽切削	Al ₂ O ₃ 系 セラミック			
	中切削	Al ₂ O ₃ 系 コーティング			
アルミニウム合金 (ADC12)	一般切削	ダイヤモンド系 超高压焼結体			
		K10超硬合金			

100 200 300 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 1.0 2.0 3.0 4.0 5.0

(下限) |—————(最適条件)—————| (上限)