

環境対応工具について

Cutting Tools for Environment

キーワード

環境, ドライカット, 潤滑, 冷却, 切りくず

工具製造所技術一部

飛弾野文英

■ 摘要

切削工具が社会から要求される性能は、単に環境への配慮ばかりではなく従来にも増して高速化・高能率化である。一見、背反するこれらのテーゼを満足させるためには切削工具に皮膜するコーティングの性能が鍵となる。コーティングの持つ様々な機能を考え、目的に最適な工具の要件を紹介する。

■ Abstract

The features which are demanded to cutting tools by society are not only solicitude for environment but also high speed and high efficiency. In order to be satisfied with both of antinomies these, the coating features are very important factors and it must be a key to solve the problems. Referring various functions of coating and introducing optimizational tool elements as for best cutting tool.

1. 環境と切削工具について

大量生産と大量消費の時代と言われる今 20 世紀の終焉に近づく今年は、不二越の創立 70 周年に当たる。

創業以来の商品である切削工具も種々の点で転換期を迎えている。産業革命以降、人類は熱エネルギーを機械エネルギーに変換する方法を手にする、機械産業は「物を所有する事が幸福」のテーゼの基に、如何に大量に物を生産し、如何にそれらの消費サイクルを早めるかを追求し続けてきた。日本でも 1960 年代には驚異的な高度成長を成し遂げたが、この成長は欧米から技術導入したり、独自で開発した大型設備による大量生産と、「使い捨て」を美德とした大量消費によってもたらされたものであった。1970 年代に入ってから、オイルショックの他エネルギー危機が叫ばれた事もあって、省エネルギーの気運も高まり、各種機械も小型化し、エネルギー消費の少ない設備機械が考案され、同時に、より高い生産性を実現できる加工法が研究、実用化された。工作機械の進歩、加工法の改善は工具の開発を促し、不二越も '70 年代後半には業界で初の長寿命、高速切削を

実現できる PVD 法による TiC コーティングを切削工具用に開発、発売しニーズに応えた。また切削に用いられる切削油剤の改良も進み、潤滑性を向上させるために硫黄(S)、燐(P)、塩素(Cl)などの極圧添加剤を含んだものが普及した。これらの物質は機械加工の飛躍的な能率向上に役立った。こうして産業の各分野での大量消費、大量生産は成功したが、生産、消費さらにそれらの廃棄に伴う種々の問題物質、特に二酸化炭素による地球温暖化は、地球環境上の非常に深刻な問題の一つとなった。このため市場動向も従来の生産活動の加速度を上げる動きから、動きを規制・制御する方向へと変わりつつあり(図1)、切削工具に要求される性能もその例外ではない。

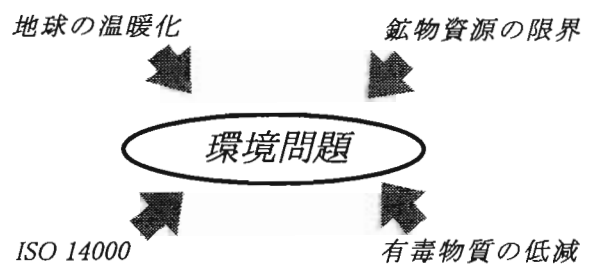


図1 市場動向の変化

2. 切削加工に使用されるエネルギーについて

冒頭では、産業の地球環境、作業環境に対する動向について述べたが、この項では切削工具が環境問題解決に如何なる役割を果たすことができるかを考えてみる。

先ず切削加工に使用されるエネルギーは、切削に直接関与する主軸に使用されるエネルギー、切削油剤の循環、高圧クーラント、作動油などの油圧ユニット、

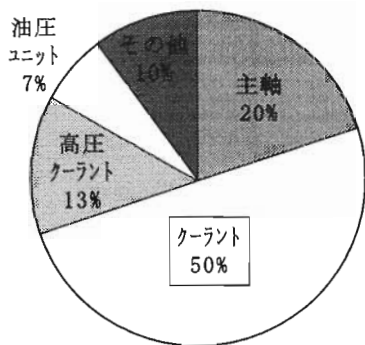
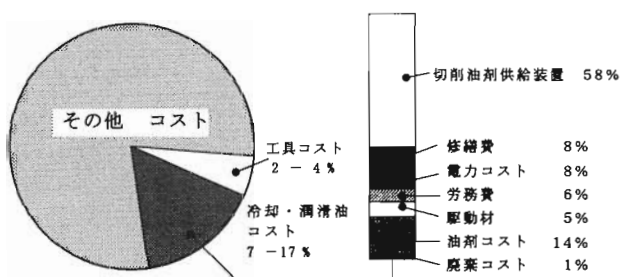


図2 マシニングセンタのエネルギー消費例



インサートチップ工具で200m³まで水溶性切削油剤を使用する工作機のコスト

出典：WZL

図3 主要工作機における切削油剤コスト例

その他となっている。これらの使用されるエネルギーは、工作機械の種類によっても加工される状況によっても異なってくるが一部のマシニングセンタでは、その使用エネルギーの50%以上も切削油剤に費やす場合がある(図2)。この場合、切削油剤を使用しなければ使用エネルギーを半減させることができるし、設備から切削油剤の供給装置それに何時かは劣化する油剤の廃棄コストが不要になる。欧州特にドイツなどでは切削油剤の削減と廃棄処理法の法制化がされており、油剤の廃棄費用を含む維持、管理費は切削油剤そのもののコストより大きい(図3)。同じくドイツの例では、加工費用の17%との調査結果もある。

次いで、工作機械の性能の向上と、その機能を十分に発揮できる切削工具の発達による効果について説明する。工作機械の性能向上により、例えばマシニングセンタは、機械剛性の向上、スピンドル回転数の高速化、サーボドライブやボールネジを使ったテーブル送り速度の高速化とそれに追従する演算速度を持つNC装置の出現等で、瞬時のエネルギーレベルは従来よりも高くても、1サイクルの合計エネルギーでは遙かに従来より少ない加工が可能になった(図4)。また、高硬度の被削物に対しても、微少切り込みだが高速で粗・仕上げ加工が一挙にできトータルコストで従来の、加工物の熱処理前・後の粗加工そして仕上げ加工に比して有利になってきている。

このように機械加工時のエネルギー消費を少なくさせるために、切削油剤を使用しない(又は最小量だけ使用して)乾式切削(以下ドライ切削と呼ぶ)の要求が高まっており、使用される切削工具はドライ切削でも、発生する熱や圧力に耐え得る性能を持たなければならない。

マシニングセンターの加工例

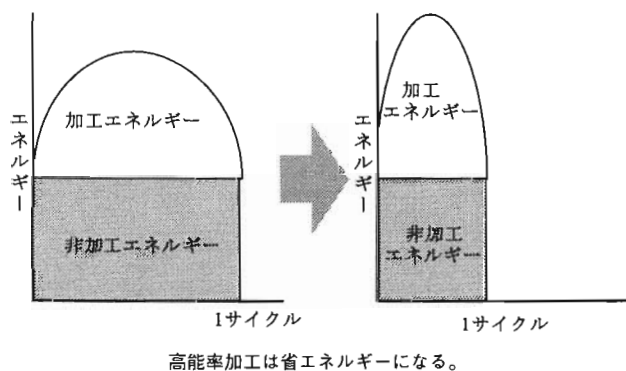


図4 高速機械加工でのエネルギーメリット

3. ドライ切削工具について

3.1 ドライ切削の問題点と工具が具備すべき点

ドライ切削工具について知るためには、湿式(以下ウェットと表す)の切削について理解しなければならない。切削工具を使用する際の切削油剤の役割は、大きく分けると潤滑、冷却そして切りくず排除の媒体などである。①潤滑作用は工具のすくい面及び逃げ面と被削材、切りくずに潤滑膜を作り切削抵抗を減少させる。②冷却作用は工具、被削材及び切

表1 切削油剤の効果

項目	油剤による効果
潤滑	工具と被削材及び切りくずに潤滑膜を作り、切削抵抗を減少
冷却	工具と被削材及び切りくずの摩擦、或いは被削材の塑性変形によって生じた熱を速やかに奪い去る。
切りくず排出	切りくずを油剤の圧力により物理的に排除する。
仕上げ面保護・防錆	切削加工直後の活性化された被削面を酸化その他から保護する。

表2 ドライ切削による悪影響

項目	切削油剤を使用しない時の影響
潤滑	切りくずと工具すくい面間での摩擦抵抗の増大、二次的に切削熱の上昇。
冷却	発生熱が工具強度を弱めると共に、被削面をも劣化させる。
切りくず排出	切りくず詰まりを起こす。工作機を停止し切りくずの除去が必要。
仕上げ面保護・防錆	錆も含めた酸化などが発生。

表3 切削油剤の代替技術

項目	油剤に代わる代替技術
潤滑	セミドライ法を使用。 潤滑性を持ったコーティングの採用
冷却	冷却エアーの使用 耐熱性、放熱性のあるコーティングの使用
切りくず排出	切りくず分断が容易な工具形状 エアー、吸引

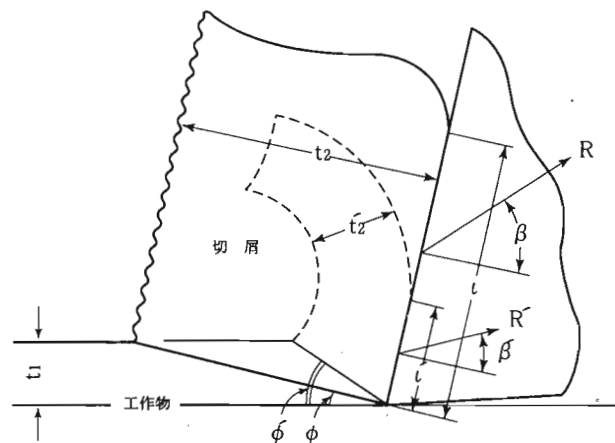


図5 切削油剤による切屑生成の変化

りくずの摩擦や塑性変形により生じた熱を速やかに奪い去る。③切り屑排出は切りくずを切削油剤の圧力により物理的に排除する。④仕上げ面の保護、防錆等(表1)、(表2)、(表3)。

これらの中で、最も注目したい潤滑作用の効果については、図5のように説明される²⁾。

切り込みが t_1 の工具のすくい面が潤滑され切削の摩擦係数が減少すれば、図に示すように出てくる切りくずの厚みが t_2 から t_2' に減少する。この時、刃面と切りくず間の接触面積も減少する事などから、切りくずのカールが強くなる。最終的には切削動力は減少し、切削時発生する熱も減少する。これらの

総合効果により仕上げ面粗さ、加工変質層を減少させ所用動力、工具寿命の改善をもたらす。以上が潤滑作用の概略であるが、切削油剤を使用しない切削を行うには、この潤滑作用を如何にして切削油剤なしで達成できるかが鍵と考えられる。又切削油剤の直接効果としての冷却作用は工具、被削材両方の冷却を行うことで工具すくい面での溶着及び拡散摩耗を防ぐ効果があるのは言うまでもない。

切削油剤を使用しない場合、即ちドライ切削では次項で述べる特別な処置を施さぬ限り種々の問題が生じる。

3.2 切削油剤の代替技術

以上に述べたように切削油剤を使用した加工には幾つもの利点があるが、環境面で使用できないとなると、これらの効果を行う代替技術が必要となってくる。表2にその技術の一例を示す。以下にこれら代替技術特に潤滑効果について述べたい。

a) セミドライ(4~5 cc/h 程度の切削油剤を切削点に噴霧する方式)法について

潤滑効果を求める一つの方法にセミドライ法がある。この方法は極微量(4~5cc/h)の植物油を切削点に吹きかけて潤滑の効果を得ている。

セミドライ法を使用したドリル加工の例を図6に示す。セミドライ法の効果の原理は単に微細な(油粒径が $1\mu\text{m}$ 以下と言われている)油粒が切削点での被削材と刃物の潤滑を助けるためだけではなく、Rehbinder効果³⁾と呼ばれ、切削が進行している刃先や剪断面に生じる活性化された表面エネルギーの高い亀裂面や溶着面に油分子が作用し、エネルギーレベルを下げ、結局は切削の摩擦係数を低下させ効果もあると思われるが詳細は機会を改めて紹介したい。

b) コーティングによる効果

次に同じく潤滑効果を目的として、摩擦係数の小さな皮膜を工具の上にコーティングする方法が考えられる。前項で述べたように一般的には工具すくい面上の摩擦係数が低下すれば、切れ刃にかかる切削抵抗は小さくなる。この効果を確認するためにトライボメータを使用した各種コーティング膜の測定を行った。図7に試験条件を示す。

この結果、2種類のボールにコーティングされた皮膜の摩擦係数は図8のようになった。

ボール素材がSUJ2, SUS440Cのいずれの場合もWC/Cコーティングが他の膜と比較して摩擦係数

S50C プラチナドリル φ6

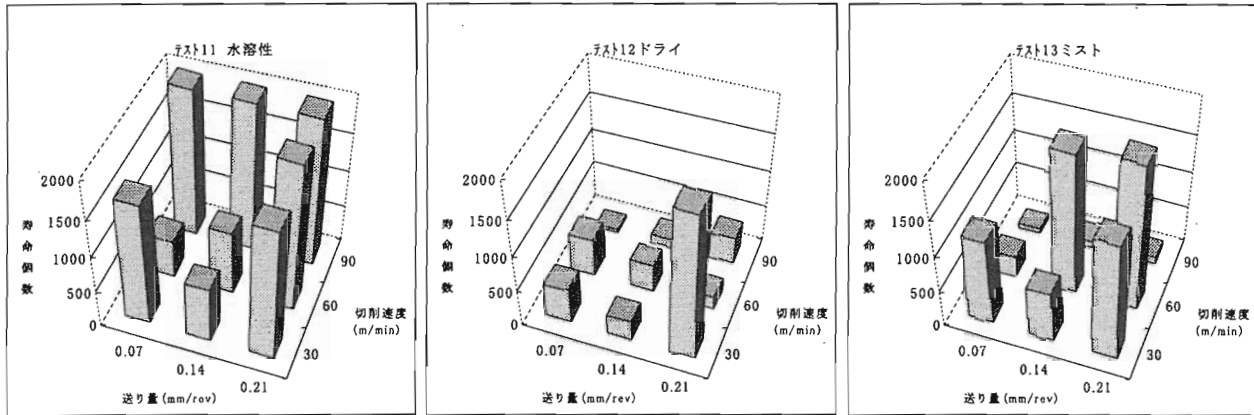
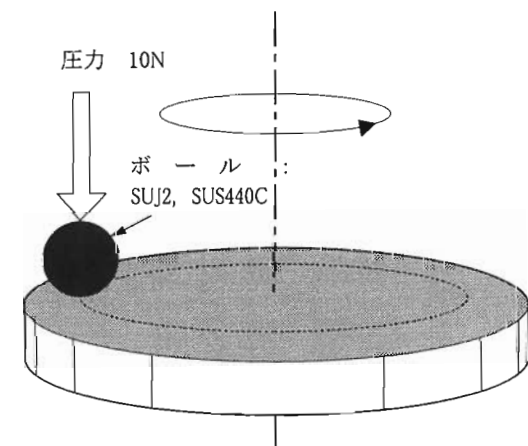


図6 セミドライ法を使用したドリル加工の例



回転円盤：コーティング
+SKH51円盤 (Ry0.2μm)

図7 CSEM Tribometerによる摩擦係数測定

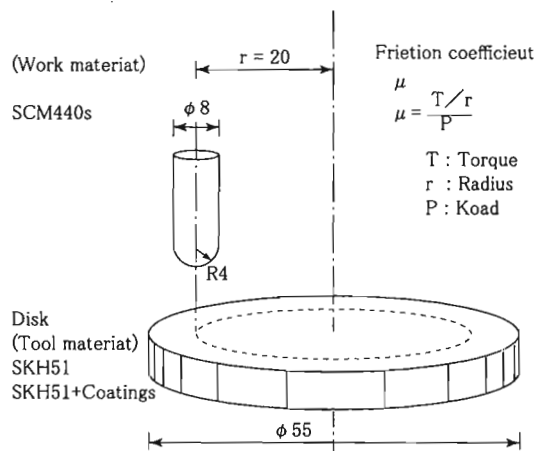


図9 ピンオンディスク法による摩擦度の測定

Tribometerによる各種コーティング膜の
摩擦係数

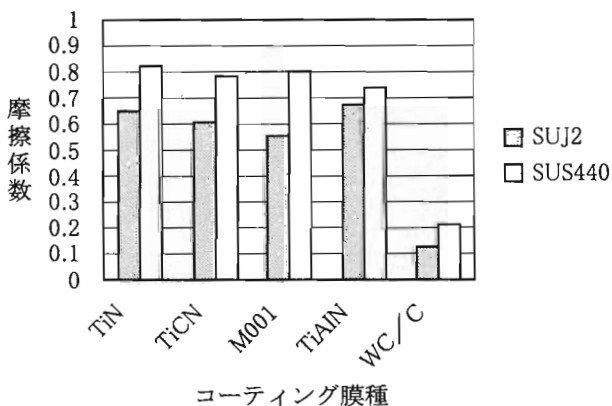


図8 各種コーティング膜の摩擦係数

が1/4~1/5と低く、前項で述べたように切くず排出性が良くなり切削抵抗が減ると考えられる。しかし、摩擦係数が小さく、切り屑とすくい面との接触面積が極端に少なくなると切削抵抗が刃先の

極めて先端部にのみ加わり、元々脆性材料であるコーティング層がそれにより剥離したり刃先本体部がチップングにより欠如する事がある。又切削工具用のコーティング皮膜は高温下でのすくい面と切りくず、逃げ面と被削物表面の溶着の度合いを左右する事⁴⁾が分かっている。皮膜コーティングの種類と溶着による摩耗の進行度合いを図9のように実験した。これはピンオンディスク法 (Pin-on-disk) と呼ばれ図のように鋼 (この場合はSCM440) 製で先端が球状のピンを高速鋼製の円盤上に押しつけ、押しつけ圧力の違いと、こすりの速度でピンが溶着による摩耗で減耗する度合いを測定した。

その結果 (図10), 円盤の回転速度が500min⁻¹の時は付加圧力が50Nの場合も150Nの場合もピンの減耗量にコーティングの種類による差はない。ただ円盤の回転速度が1000min⁻¹に上昇した場合、高圧150NではTiCの減耗量が小さい。このこと

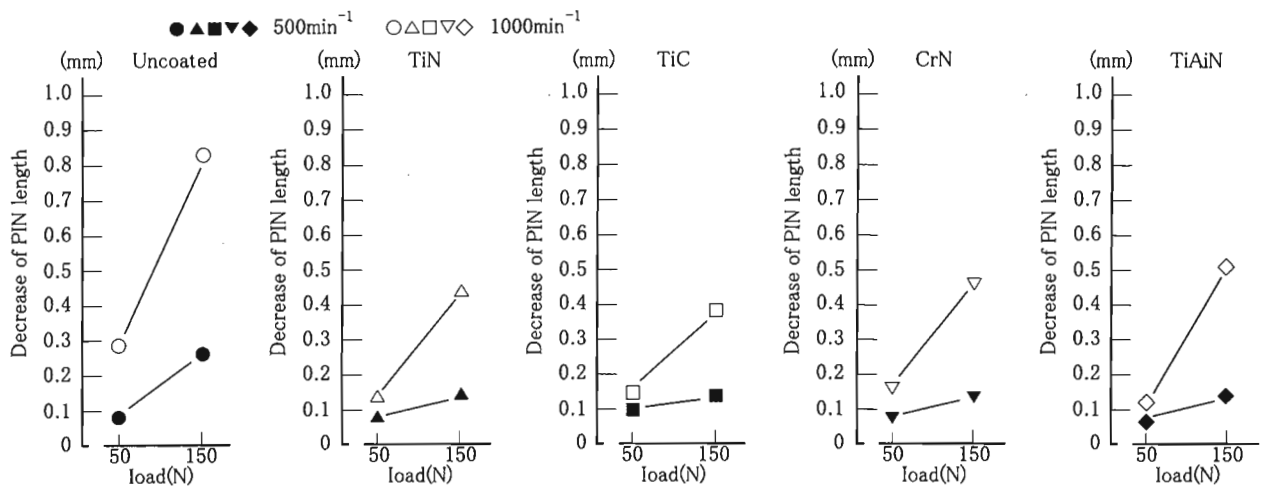


図10 各コーティングによる溶着摩耗

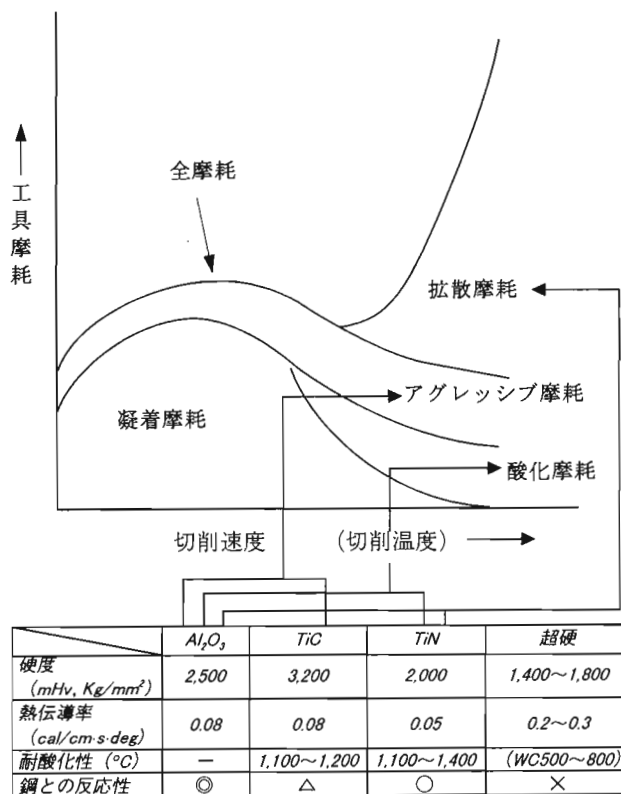


図11 工具摩擦形態と皮膜物性³⁾

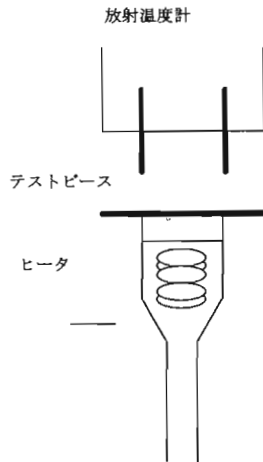
より高速・高圧の耐溶着性はTiCが良いことが分かる。それにコーティング役割としては母材の保護もせねばならぬので、ドライカットに使用される工具用のコーティング皮膜の特性は、①硬質皮膜の硬さ(耐摩耗性)②硬質皮膜の耐熱性③硬質皮膜と被削材の溶着性のバランスがとれたものである必要がある⁵⁾。この理由は切削速度に伴って上昇する切削温度、工具摩耗の形態と皮膜コーティング自体の物性と密接に関係している(図11)。次に冷却効果について述べる。流体、特に液体

の熱媒体としての効率是他の状態と比較しても格段に高い。そのため切削油剤を使用しないドライ切削では冷却効果を期待する代替技術として、-30~-70℃の冷風を切削点に吹きかける技術が研究されている。⁶⁾

ここでは、切削により発生し切削工具に流れ込み蓄積されている熱を、空中に放出する放熱性(Emissivity)がコーティング皮膜の種類により異なる事を示す。図12に示すのはヒータ上に置かれた各種コーティング皮膜されたステンレス板が、どの程度加熱され易く(受熱し易く)また、板に貯まった熱がどの程度放熱し易いかを、板の上部にある放射温度計で測定したものです。結果はテストした、コーティング物質の中ではCrNが受熱しにくく、TiAlNが放熱の性能として優れている事が分かる。発生した熱量にもよるが、ある種の皮膜は放熱即ち冷却に効果があることが分かる。

c) 工具母材の効果

切削工具母材に必要な特性として、切削時発生する高温下での母材強度、硬度そしてアグレッシブ摩耗に耐えうる硬質物質の分布状況が重要になってくる。例えば高速度鋼の場合、硬質物質である炭化物の分布状況により、切りくずにより擦過され生じるクレータ摩耗の程度が異なってくる。超硬工具の場合もタングステンカーバイド粒の大きさ、密度そして結合材で支えられたマトリックスとしての強度が同じく高温下での工具母材として必要です。最近ではドライカット時の過酷な状況に耐えるために超硬材料の耐熱面で弱点となっている結合材(バインダ)がより少ないバインダレス超硬素材も登場してきている。



表面材種	加熱勾配	放熱勾配	SUS基準
	30sec→90sec	10sec→30sec	
	°C/sec		
SUS	0.17	0.62	1.00
TiN	0.17	0.15	0.23
TiC	0.24	0.70	1.11
TiAlN	0.28	0.85	1.37
CrN	0.14	0.27	0.43

図 12 放射特性比較

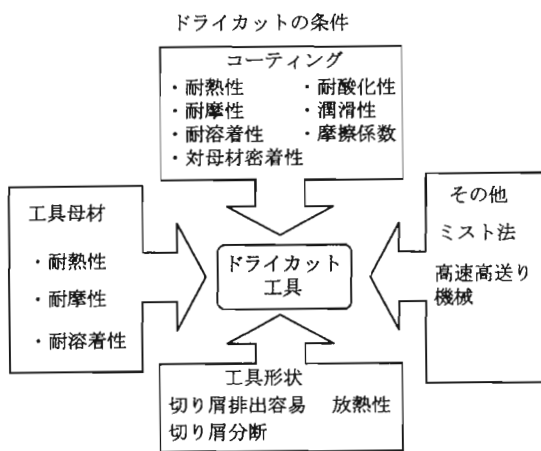


図 13 ドライカットの要件

4. 環境対策を脱んだ今後の工具

以上に述べたように、切削工具開発の立場で環境を改善するには、切削油剤を使用しない切削、つまりドライ切削が切削油剤供給のための設備、空間、実際にそれを稼働させるエネルギーそして最後に使用済み切削油剤を処理し廃棄する際に生じる様々な問題を解決すると考えられる。しかし実際に、このドライ切削を実現するためには、上述した切削を行う際の発生熱、潤滑性、切りくず処理の難易性など単に切削工具のみならず、使用する工作機も含めて解決すべき問題は多い(図13)。

5. おわりに

来る 21 世紀は、切削工具を使用する上で、益々地球及び作業環境に優しさが求められる。また工具製造に関しての工程もその例外ではない。切削工具製造上の素材、粗加工、熱処理、研削、コーティング、製品包装そして客先で使用された廃棄切削工具のリサイクルに至るまでの配慮を、せねばならない。

文 献

- 1) 近藤猛男; MEX 金沢 '98 テクニカルセミナ
- 2) 臼井英治; 切削・研削工学上, 共立出版 (1971)
- 3) H.Optz und G.Osternann, Stahl und Eisen 79, S, 514~522(1959)
正野崎友信, 不二越技報, 30(1), (1974) など
- 4) 山縣一夫ほか2名; CVD コーテッド超硬合金, 機械技術, 45(11), 1997
- 5) M. Yasuoka, S.Taniguchi, N.Kato; Coference on Tribology in Manufacturing Processes '97
- 6) 加藤範博, 安岡学; 新素材, 10 (1993)
- 7) 横川宗彦; 型技術, 13(10), (1998) など

d) 工具刃先形状

ドライカット用工具刃先形状は、高速切削、高温下での強度の維持や放熱性は勿論のこと、切りくずの除去が容易になるよう短くカール、分断されるよう考慮すべきです。b)項で述べたようにコーティング皮膜の物性もその因子となります。



飛弾野文英

'76 入社
'82~'87 ナチ, オーストラリア駐在
'87~'92 工具技術開発 新素材工具開発
 従事
'92~'98 ナチ, アメリカ駐在
'98/3月より現職