

D

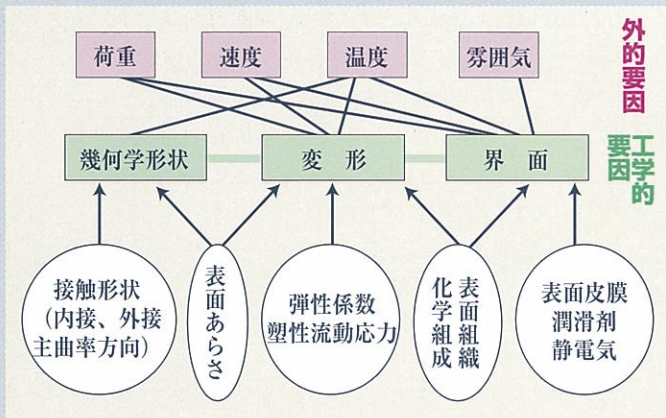
摩擦・摩耗に関する評価方法

潤滑ハンドブックによる定義では、摩耗は“摩擦による固体表面の逐次減量現象”とされている。この摩擦・摩耗は古くて新しい問題とか永遠の課題と言われているが、それは摩擦・摩耗の現象は非常に多くの因子が入り組んで、しかも因子どうしが敏感な影響を与える複雑な問題であるためである。ちなみに、ころがり摩擦に関係するとされる代表的な因子を第1図¹⁾に示す。

摩擦・摩耗の現象を解析するためには、種々の因子の作用を一つ一つ解きほぐす必要がある。例えば、第1図のころがり摩擦の場合では、材料が関与する領域だけでも、弾性係数と塑性流動応力の機械的性質から、化学組成や表面組織などの金属学的性質まであげられる。最近は、非常に多くの新材料が世に送り出されており、新材料-新材料、新材料-従来材料などの新たな材料の組合せが発生し、機械設計および機械保全のため基礎資料がないとの問題に直面している。これらの資料作りとして、摩擦・摩耗試験機を用いた摩擦・摩耗データの採取が急がれている。

本報告は、当社が提供できる種々の摩擦・摩耗試験方法の一部を機能別分類で、また試験後の摩擦対を調査し、摩擦・摩耗現象を解析する物性評価法について概要を紹介する。

<参考:日本塑性加工学会編:塑性加工におけるトライボロジー(1988)>



第1図 ころがり摩擦に関する諸因子

D-1

摩擦・摩耗試験方法の概論

1) 滝 晨彦 : 潤滑, Vol. 30(1985) No.1, p.22

2) 堀切川 一男: プロジェクトX Tribologist “米糠でつくった驚異の新素材” 講談社 2002

3) 日本潤滑学会第19期摩耗研究会: 摩耗データ収集報告(1975-3)

一般的には、ある材料の物理的特性や機械的性質は、特性値を測定する試験機の種類が異なっても、ほぼ同一の値を示すか、あるいは適当な換算式を使うことによって、他の試験機で得られた値とリンクさせることができるとされている。

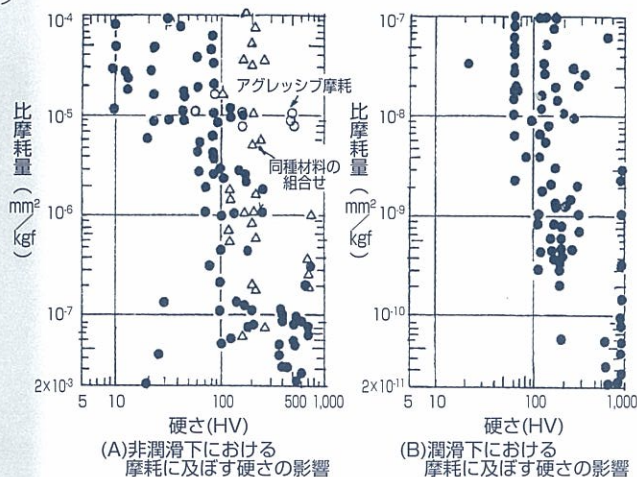
しかし摩擦試験の場合は例外で、同じ材料でも試験片形状・試験方式・雰囲気条件などが異なると全く異なった特性値が得られることが多い。

堀切川²⁾は“同じ材料でも摩耗現象は100億倍違う”と述べている。従って、摩擦・摩耗のデータ採取に当っては、対象とする実際の現象がどのような条件下にあるのかを分析把握し、それに近い条件下で評価試験を実施することが必要となる。

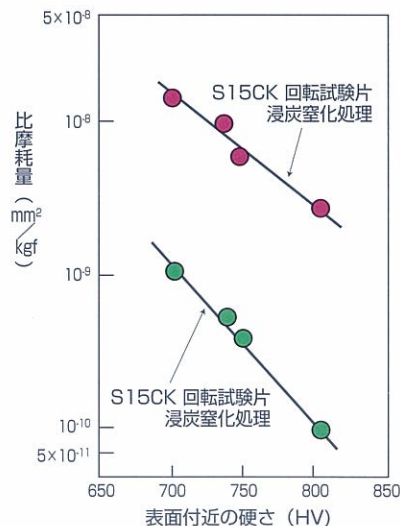
第2図には日本潤滑学会(現日本トライボロジ

学会) 摩耗研究会³⁾が1973~74年に摩擦・摩耗に関する試験・研究を行っている機関を対象に行ったアンケート結果から得られた情報をまとめたものである。さまざまな手法・試験機で行った摩耗試験では、試験材硬さと比摩耗量の関係は全体的には負の相関を持つように見えるが、同一硬さでも比摩耗量は非常に広く分布していることが分かる。しかし、限定した試験条件下では、例えば第3図に示すように、硬さとの間にきれいな負の相関を抽出することができるようになる。

このように管理された摩擦・摩耗条件下で試験を行うことによって、輻輳していると考えていた現象の支配要因を把握することができ、さらに摩耗対策を見出すことも可能となると言える。



第2図 摩擦面の硬さと摩耗の関係³⁾
(日本潤滑学会摩耗研究会)



第3図 試料表面付近硬さと比摩耗量の関係

摩擦・摩耗試験方法の分類

ここでは試験法を、弾性接触を基本とした“汎用摩擦・摩耗試験法”、塑性加工法に応じた“塑性加工モデル摩擦・摩耗試験法”“その他の試験法”に分類し、それぞれについて紹介する。

汎用摩擦・摩耗試験法

単純な摩擦面形式を有し、垂直力と摩擦力の測定値から容易に摩擦係数を算出する試験法として汎用摩擦・摩耗試験法がある。

試験片の一方が常に相手側の新しい面で摩擦される処女面摩擦による試験と、同じ面同士が繰返し摩擦を行う試験があるが、簡単な機構および試験材料の必要体積が少ないなどの利点から後者が一般的に用いられている。摩擦対はマクロな変形を受けることなく弾性接触し、その運動様式から次の分類ができる。

当社が評価可能な設備を分類に当てはめて第1表に示した。

- (1)球体-平板の直線運動（バウデン・レーベン式、ヘイドン式表面特性評価装置）
- (2)ピン-平板の周回運動（ピン-ディスク式、高温摩擦摩耗試験機）
- (3)円筒-円筒の周回運動（二円筒式摩擦・摩耗試験機、西原式摩耗試験機）
- (4)円筒-平板の周回運動（大越式迅速摩耗試験機）

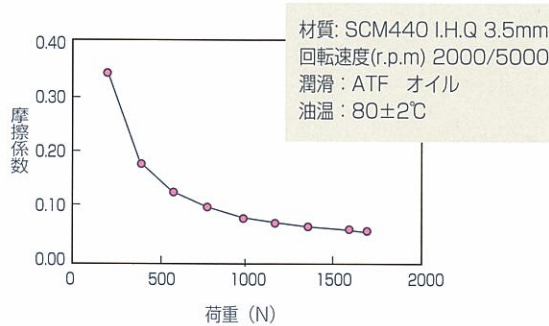
ヘイドン式表面特性評価装置は、原理的にはバウデン・レーベン式と類似の試験法であるが、圧子は数種類用意されており点接触および面接触の方式が選択できる。

ピン・ディスク式は、ピン先端形状で点・面接触の選択が可能であり、摩耗率（単位摩擦距離当たりの摩耗量）を一定に保ちやすい特長があり、汎用性に優れた試験法とされる。

二円筒式摩擦・摩耗試験機は円筒どうしの回転運動であるため、試験速度が他の試験機に比べ格段と速いほか、面圧・すべり速度・潤滑剤の導入量を大きく取ることができる特長がある。

二円筒式摩擦・摩耗試験機を用いて、SCM440材を高周波焼入れして作成した試験片の摩擦係数を求めた例を第4図に示す。

押付け荷重により摩擦係数が安定して推移するのが明瞭に把握できる。



第4図 二円筒式試験機による摩擦係数測定結果

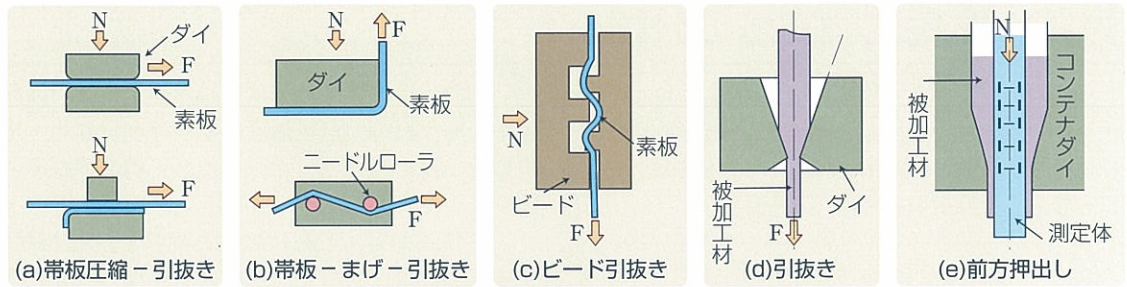
塑性加工モデル摩擦・摩耗試験法

塑性加工用の工具、被加工材および潤滑剤の摩擦・摩耗特性を定量的に評価するために、対象とする塑性加工法の接触面に相似あるいは類似の摩擦面形式を採用して、被加工材に塑性変形を起させながら、各加工法に特有の摩擦・摩耗特性を評価するのが塑性加工モデル摩擦・摩耗試験法で、多数の方法が開発されている。

第5図にその例を示す。

第1表 汎用摩擦摩耗試験機一覧表

分類	名称	圧力 N	評価項目	備考 (使用雰囲気)
		速度 mm/sec		
球体-平板直線運動 	バウデン・レーベン式	1~40 0.06~4.0	摩擦係数	大気
	ヘイドン式表面特性評価装置	0~19.6 0.5~100	摩擦係数 摺動痕跡	大気・オイル
ピン-平板周回運動 	ピン-ディスク式	49~2,940 2,000~20,000	摩擦係数 摩耗量	大気
	高温摩擦摩耗試験機	49~4,900 30~6,000	摩擦係数 摩耗量	大気(~800℃)・オイル
円筒-円筒周回運動 	二円筒式摩擦・摩耗試験機	0~9,800 200~18,300	摩擦係数 摩耗量・振動	大気・オイル
	西原式摩耗試験機	245~2,450 1,260	摩耗量 転動疲労寿命	大気・オイル(滴下)
円筒-平板周回運動	大越式迅速摩耗試験機	0~185 50~4,000	摩耗痕跡 摩耗重量	大気



第5図 塑性加工モデル試験機 (F:引抜き力 N:圧縮力)

(a)(b)(c)は、板成形時の潤滑性や表面処理鋼板の特性評価に活用される。(d)(e)は線・棒材の引抜き・前方押し出し加工で特性の評価に活用される。鍛造を対象とした試験法として、リング圧縮試験・スパイクテスト・後方押し出し試験などがある。

るが、これらの評価試験を当社では最大荷重1,600Tonの機械式プレスを用いて実施可能である。

その他の摩擦・摩耗試験法

これまであげた試験法は、正常な運転状態にある機械類や塑性加工時に一般的に見られる摩擦・摩耗の形態を主な対象としているが(凝着摩耗)、その他の試験法として土砂や硬い摩耗粉などの硬質粉体が介在する摩耗形態(アブレッシブ摩耗)を対象とした試験法、高圧流体による損傷を評価するエロージョン試験法などがある(第2表参照)。

第2表 その他の摩耗試験機

名称	基準磨耗剤	負荷条件	評価項目	備考(使用雰囲気)
プラスチック摩耗試験機	#80 研磨砥石 Al ₂ O ₃	1~5kgf 32.5rpm	摩耗量	大気
土砂摩耗試験機	SiO ₂ 粉 約φ200μm	4.5~13kgf	摩耗量 表面損傷度	---
荒田式溶射皮膜評価試験機	Al ₂ O ₃ 70g/回 50~70メッシュ	加速エア 50~500m/min.	摩耗量	大気
ジェット・エロージョン 腐食試験機	弱酸・弱アルカリ性 スラリー液#110	流速 3~15m/sec.	摩耗量 表面損傷度	室温~60℃
キャビテーション・エロージョン 試験機	上水	周波数 18KHz 最大振幅 60μm	摩耗量 表面損傷	室温

D-3 摩擦・摩耗現象の物性評価

摩擦・摩耗現象の特徴は次にあると言われている。
 (1)接触面表面皮下の極く薄い領域に働く大きな応力勾配下における塑性変形。
 (2)発熱による表面温度上昇。
 (3)摩擦・摩耗により新鮮面が繰り返し露出することにより、化学活性に富んだ状態となり相手材または雰囲気と反応を起こす。
 従って摩擦・摩耗現象を解釈するために、塑性変形・温度上昇・反応による影響を接触表面近傍の微小領域での把握が必要となる。トライボロジックなアプローチをするためには、これらの状況

を巨視的な領域から原子レベルの領域まで把握する必要がある。

近年、微小領域解析技術・分析機器は目まぐるしく発展しており、物性をナノスケールで評価することが容易に行えるようになり、それらの機器を駆使した調査・研究が数多く進められている。マクロからナノスケール領域までの物性把握のために用いられる解析設備の代表的なものを第3表に示す。

第3表 微小領域解析使用設備

分類	使用設備	観察内容
接触表面塑性流動	TEM、SEM X線回折装置	メタルフロー 転位密度・セル構造
表面反応(拡散)現象	X線回折装置、SIMS オージェ分析装置および SAM、EPMA	表面汚染度 酸化皮膜分析 元素拡散・浸透把握
表面微細形状把握	レーザー顕微鏡 表面粗さ計	凹凸、ピットの三次元測定
表面機械的性質	ナノ・インデンター ナノ・テンサイルテスター	微小領域弾性率 微小部硬さ 微小物体引張試験

摩擦・摩耗に関する評価方法について概要を紹介した。冒頭に述べたように摩擦・摩耗現象は、あらゆる物に関与する身近な現象でもあり、さまざまな角度・手法で取り組まれているもので、限られた紙面では述べ尽くされ難いものである。

本報は概説とは言いながら、ごく一部の評価方法の紹介しかできなかった。当社では、これらの標準的な評価法以外にも、課題に応じた最適なテーラーメイド摩擦・摩耗試験法をその都度構築しながら評価を行うことが可能である。従来の評価法では解決できなかった諸課題についても、当社の技術適用で解決に向かう道が見出されるものと考えている。

[材料評価事業部 技監 中村守文]