

磨 耗 の 研 究

(日本鐵鋼協會第 19 回講演大會講演 昭和 13 年 4 月)

小坂 誠市郎*

A. RESEARCHES ON ABRASION

S. Kosaka

SYNOPSIS :—First the author investigated the progress of abrasion, and found that it consists of the following three stages viz., the severe procedure due to unevenness of initial surface, the irregular procedure due to work hardening and the regular procedure.

Next the author clarifies that the abrading surface is in the work-hardened condition, the degree of working corresponding to the condition of friction.

Thus the observed results from the abrasion tests are complicated as they are combinations of both destructive and work-hardening actions.

According to the results of the experiments on materials which are generally considered to have no work-hardening property, such as ordinary glass, some oil stones and animal bones, the abrasion per unit run is proportional to the rubbing pressure and is independent to the speed.

This result of experiments is considered to show the general form of the destructive action of friction.

The abrasion of metal is not commonly in compliance with the general form mentioned above; this difference should be based on the work-hardening property of metal itself.

By using the rate of this difference, we can easily treat the irregularity of metal abrasion.

Finally the author observed microscopically the internal structure of the abrading surface with special samples, and found that it is formed of the three layers viz., the fibric layer, the work-hardened layer and the ground layer.

These layers make a marked difference concerning to their direction relative to that of rubbing, and we can clearly observe this difference on the abrasion-time curve by suddenly changing the rubbing direction.

一般に機械の良否は機構、強度、精度及壽命等に依り判定せられる。

従て設計及製作の技術的對照は常に之等に存す可きであり。最初の 2 項は直接機械の成立の可否を決定するから従來之等に関する研究は種々行はれて居るが壽命の研究は之が設計及製作時には必然的存在理由を持たぬ所から理論的及實驗的探究の困難と相俟て遅々として進歩しない。

機械の壽命到來は機械部分の破壊又は磨耗に基因する機構の規定以外の運動又は同一原因による停止に関するものである。實際工場に於る機械減却の原因は統計的に磨耗が大部分を占める。破壊による一時的或は局部的の故障は多くの場合その部分の取換又は改良補強等に依り根本的に回復し得るものであるが總ての部分に並行に進行する磨耗は如何ともなし難い。

斯の如き見地からすれば磨耗狀況が摩擦條件其の他により如何に變化するかを知り其極小點を掴み得れば機械設計製作上益する所大なるは信じて疑はざる所之本研究に着手せし所以である。此目的のため行た金屬其他に就ての實驗結果の概要を述べる。

* 日立製作所龜戸工場

1. 一般に金屬面が磨耗する場合之は最初其急激で後次第に緩慢となり遂には一定の割合で磨耗する様になる。此初期磨耗の急進性は従來の研究に依り明瞭に認められた事實であり、其原因は大體初表面の凹凸によるものと考へられて居る。

しかし其主因は初表面凹凸の存在によるものではないと考へられる。此推定の根據は次の様である。

a. 初表面の凹凸量を機械的に實測し、之と比重及磨耗を生ずる面の面積とを組合せて算出した凹凸部の重量と最初の急激な磨耗（以後假に非定常磨耗と呼ぶ事にする）の總重量とは一致せず兩者の比が 10 以上に達する場合が少くない。

b. 磨耗進行面の凹凸量と磨耗量とを測定し乍ら實驗すると一般に兩者は同時刻に定常にならずして甚しく相違する。

c. 磨耗部分の材質が決り表面仕上程度が決れば前記の考へからすれば自然非定常磨耗の總量は定まる可きであるが實際は之が 壓力 速度等に依り著しく變化する。

d. 非定常磨耗が定常磨耗より却て緩慢な事がある。

e. 一定の條件で定常磨耗進行中、突然條件の一つ或は

一つ以上を変更すると（例へば速度、壓力等を突然変更すると）此處に一定の非定常磨耗が起り後に定常となる、即表面凹凸に殆ど關係無く非定常磨耗が存在する。

f. 表面に凹凸のある間の磨耗は呼稱壓力より壓力高く呼稱面積より面積の少い状態で進行するが之を考へ入れて壓力及面積の同時に變化する定常磨耗の積分を考へても之は實際の非定常磨耗の様子とは一致せず、時には全く反對の事がある。

以上は非定常磨耗の主因を初表面凹凸としては説明の困難な事柄であるが之を所謂加工硬化に依るものと考へると實に良く説明し得る。磨耗進行面に加工硬化が起る事は全然別の方面からも充分觀察し得るので筆者は非定常磨耗存在の主因を加工硬化なりと推定した。此推論に基けば非定常磨耗が定常磨耗より如何なる場合に急激に或は緩慢になるか等も可成り正確に推知し得る。

勿論上記の硬化とは所謂硬度上昇ではなくて、磨耗に對する抵抗の増又は減を意味するものである。

2. 摩擦條件例へば速度、壓力等を一定に保ち唯初表面の凹凸程度のみを種々變へると非定常磨耗の初期が之に相應して種々に變るが中期以後は殆ど其様子を変化しない。此事から非定常磨耗の初期が直接表面凹凸に左右されて居る事が判る。

以上から吾人は磨耗の一般的過程を次の如く考へ得る。

$$N = K + L + M \quad N: \text{總磨耗} \quad K: \text{初磨耗}$$

$$L: \text{過渡期磨耗} \quad M: \text{定常磨耗}$$

初磨耗は初表面凹凸に依る比較的急激な磨耗、過渡期磨耗は磨耗進行面の磨耗抵抗の一定状態に落付くまでの磨耗である。

3. 以上から摩擦場所の問題は之を漠然と一體として考へるより次の如く二方面に分けて考へると大變都合が良い

a. 摩擦の加工作用（之と金屬の加工硬化性とが組合はされて磨耗進行面の磨耗抵抗が種々變化する）

b. 摩擦の破壊作用（所謂磨耗）

4. 金屬間磨耗に於ける一つの金屬の磨耗率は壓力、速度、滑油の有無等で其の値を變へる事は勿論、假令之等の條件を一定に保ても相手金屬の種類が變れば著しく變化するものである。斯の如き點から金屬の磨耗率を論ずる場合にはその相手金屬を一定にして比較す可きである事が主張されて居るが、前節に述べた如く一つの金屬の磨耗抵抗も決して絶對的のものではなく摩擦條件により種々變化する

から磨耗を精密に研究するには一つの金屬の磨耗抵抗を一定なりと考へ之を標準とする事は不可である。

實驗に依れば砥石その他二三の物質は磨耗抵抗が摩擦條件に殆ど關係無く一定であるので之を標準とすれば上の様な點に煩はされる事無く諸金屬の磨耗率を比較し得る。

砥石に加工硬化なしと考へた根據は次の二つである。

a. 初期磨耗に過渡期を伴はぬ。

b. 摩擦條件の突然變更にも過渡期磨耗が起らない。

5. 硝子、ハードアーカンサス、アロキサイト及牛骨等に就て實驗の結果之等は過渡期磨耗を伴はぬ、故に之等も加工硬化の性質無く磨耗抵抗は常に一定のものと思はれる

6. 上記の物質の磨耗は（アロキサイトを標準として）壓力に正比例し速度に關係無い。

金屬に若し加工硬化性が無ければ同様な結果になるものと思はれるが實際は 壓力-磨耗率、速度-磨耗率は可成り著しい曲線性のものである。

7. 或る速度 壓力に於ける一金屬の磨耗率から他の速度壓力に對する磨耗率を第6項の關係を用ひて算出すると之は實際のものとは可成り相違するのが普通で、之等實際値及計算値の比を考へると之が加工に依る磨耗抵抗の増減割合を示す事になる。

$$\frac{v_0[m]_{p_0} \times \frac{P}{P_0}}{v[m]_p} = R$$

$v_0[m]_{p_0}$: 速度 v_0 , 壓力 p_0 なる時の磨耗率

$v[m]_p$: 速度 v , 壓力 p なる時の磨耗率

上式に於て R は v_0, p_0 にて定常磨耗進行中の磨耗進行面の磨耗抵抗と v, p にての夫との比である。

8. 實驗に依れば定常磨耗進行中の突然變速或は突然變壓に依り現はれる過渡期磨耗は R 値が1より小さい場合負であり、大きい場合正である。但し其過渡期があるためにその無い場合より總磨耗量が増す様な過渡期を正としその反對の過渡期を負としその増又は減じた量を量とする。即過渡期磨耗は磨耗進行面の磨耗抵抗の變化に關する履歴現象に外ならない。

9. 速度-磨耗率或は壓力-磨耗率關係の曲線性が前述の如く金屬の加工硬化性に依るとすると、金屬を豫め加工する事に依り直接此曲線狀況を變化せしめねばならない。事實、實驗によれば此曲線狀況は著しく豫加工の影響を受

1) 其後の實驗に依れば極低速側に於ては加工程度の影響は勿論、更に破壊機構の形式に關しても何等かの問題が起きつゝある様である。

けり加工履歴の増大と共に低壓側又は高速側に轉移する。

10. 第9項から更に摩擦の加工作用が壓力の増減と共に増減し、速度の昇降と反比例的に増減する事が判る。

11. 磨耗進行面内部を特殊な方法で顕鏡觀察すると明瞭に次の事柄を認め得る。即ち磨耗部分の内部は表面から順次三階程 即、纖維層、加工硬化層及生地よりなる。尙之等は摩擦方向に關して著しい方向性を有する（向きの性質は少い、例へば 90° 回轉して觀察すると大いに上の三階程の様子が異なるが 180° 回轉しては大同小異である）。

12. 第11項の事實から磨耗進行面の磨耗抵抗は方向性のあるものと思はれるが、若しあるとすれば一定の方向に摩擦して定常磨耗進行中突然その摩擦方向を變換すれば必ずやそこには過渡期磨耗が起らねばならない。事實、摩擦方向の變換には例外無く過渡期が隨伴する。

13. 摩擦方向變換點に隨伴する過渡期磨耗の量は方向變換角が 90° までは次第に増し、それ以上では却て減少し 180° になると殆ど 0 となる。

14. 磨耗進行面の最表層を形成する纖維組織の一部又は全部は、突然増壓又は摩擦方向變換により殆ど瞬間的に磨耗し去る。

磨耗の機構を全面的に論ずる事は甚困難であるが其の一部或は大部が疲勞破壊に依り進行しつつある事は當然考へられるので磨耗表面に近く疲勞破壊點に到るまでの中間疲勞層が多少なりとも存在するであらう事は想像に難くない。

此様な状態で突然摩擦壓力が増加すると、それまでの輕負荷ではどうやら破壊離脱に到らなかつた中間疲勞層の若干が一時に破壊し去る事は當然考へられる事である。（以下此疲勞層の突然破壊に依る急激な磨耗を J で示す一過渡期磨耗は加工硬化層の生長及消耗に關する磨耗である）。

15. 突然増壓點に隨伴する J 磨耗の量は増壓割合の大きい程多い。

16. 摩擦方向變換點に隨伴する J 磨耗の量は變換角度が 90° までは次第に増加し、それ以上では却て減少し、 180° に到て遂に殆ど 0 となる。

17. 實驗に依れば R 値を減少させる如き變速の際にも J 磨耗が起る。

之等から吾人は途中摩擦條件變更を行ふ金屬の磨耗の一般的過程を次の如く考へ得る。

$$N = K + L + M + J + L + M + \dots$$

以上は一つの磨耗進行中の砥面を標準として行つた金屬の磨耗に就ての實驗で摩擦係数は殆ど一定であつたが故意に標準面の凹凸程度を變更して行つた實驗によると（之が眞に摩擦係数を變へた意味になるか何うかは更に検討を要するが）摩擦の破壊作用は摩擦係数の S 乘以比例して増減する。S の値は物質の種類に依り決る數で、ハードアーカジサスの場合 4.7、牛骨の場合 3.2 となる。（金屬の場合 2 となる事が鈴木博士により報告されてゐる）但し、上の凹凸程度の變更に際しては常に凹凸の形狀の相似性を害はぬ様にしなくてはならない、此條件を無視すると摩擦係数の増加により却て磨耗を減少する様な場合が少くない。

18. 磨耗箇所例外なく發生する粉末の總量は摩擦條件により種々變化するが、此變化は必ず次の三つの形式の何れかをとりねばならない。

i 粉末の大いさの増減

ii 粉末の數の増減

iii 上の兩者の組合せ

實驗によれば磨耗粉末の大いさは一種の物質では大體摩擦係數にのみ關係し、壓力、速度には殆ど關係しない、即壓力による磨耗率の變化は殆ど粉末の數の増減によるものである。

（R 値と粉末の大いさの關係は粒徑測定の精度の點で充分論じ得られない）。