表面圧延の耐摩耗性におよぼす影響について*

河 本 実** 伊 吹 幸 彦**

Effect of Surface Rolling on the Abrasion Resistance of Steels

by Minoru KAWAMOTO and Yukihiko IBUKI

In this investigation we made experiments to obtain the effect of surface rolling on the abrasion resistance of steels by the Amsler abrasion testing machine under the conditions of dry and lubricated states.

A surface rolling apparatus was specially designed for this investigation. The materials applied to tests was 0.34% carbon steel. Surface rolling pressure was 258, 326, 411 and 517 kg/mm² by Hertz's formula, and experiments were also made on steels without surface rolling for comparisons.

In the abrasion tests the materials paired with the specimens were gray cast iron and were fixed, while the specimens were rotated at the peripheral velocity of 0.5 m/s. Experiments were made till the rubbing distance of about 5.74 km under dry state and 57.4 km under oil lubrication. Amount of wear, moment of friction and temperature were measured. As the results, it was cleared that the abrasion resistance of the steels surface rolled is generally superior to that of the steels not surface rolled.

1. 緒 言

表面圧延が非常に簡単な操作により、疲れ限度を著しく上昇せしめることについて、すでに明らかにされているが、これが耐摩耗性¹⁾に対するもの、または他の研究の一部としておこなわれたものなどがあるが、その結果は条件の相違などのためにまちまちであり、これが表面圧延を実用した場合の耐摩耗性の点に不安を感じさせているように思われる。したがって、これを明らかにすることは表面圧延を実際に機械部品に実施する上にきわめて重要なことであると考え、本研究を行つた次第である。なお本研究においては乾燥状態および潤滑状態における実験を行い、かつ圧延力を弾性理論によるヘルツ式で計算した接触圧力で表わすことにより、表面圧延条件を幾分でも普遍的に示そうとした。すなわちヘルツ式は弾性限度内においてのみ適用しうるものであり、表面圧延においては弾性限度を超過しているから、ヘルツ応力はこの場合理論的な意味をもつものではない。しかし、かかる弾性限度を超過したヘルツ応力は、また表面圧延における加工による効果の程度を表わす一つの尺度と見なすことができよう。もちろん、かかるヘルツ応力さへ等しければ、

圧延条件が異なつても常に同一効果が得られるとは考えられないが、同一程度の圧延効果を得るために、圧延条件の相違によりヘルツ応力を変化させるべき割合は、圧延荷重を変化させるべき割合よりもはるかに小さいため、弾性限度を超過したヘルツ応力は、表面圧延における圧延効果の程度を表わす一つの尺度とみなすことができ、これによつてある程度の普遍性が得られるのである。

2. 供試材料および試験片

実験に供した材料は Table 1 にしめたとき化学成分を有する半硬鋼で、相手材料としては市販の鼠鋳

Table 1. Chemical Composition of Materials.

Composition %				
C	Mn	S	P	Si
0.34	0.48	0.028	0.016	0.24

鉄を使用した。試験片の形状、寸法は Fig. 1 に示すときのもので、下試験片が供試材料、上試験片が相手材料となるものである。試験片の作製にあつて、供試材料を試験片に成形後、圧延する時は試験片の円端表面の両端部を圧延することが困難であるので、棒状試験片に表面圧延を施した後、これを輪切りにして試験片を作製した。

* 原稿受付 昭和29年7月7日
** 正員 京都大学工学部

Fig. 1. Specimen.

Fig. 2. Apparatus of Surface Rolling.

表面圧延装置は Fig.2 に示すときのもので、この装置を旋盤の双物合に取付け、旋盤センター間に取りつけた供試材料を所要の寸法に切削直後圧延する。圧延荷重は同図のナットを締めることにより、あらかじめ常数の検定されている加圧ばねを撓ませることにより加える。ばねの撓みは図のダイヤルゲージにて測定し、かつダイヤルゲージの目盛が圧延中常に一定を保

Fig. 3. Form of Roller.

つよう双物合の位置を調節しながら圧延を行つた。Fig. 3 に圧延に使用した圧延ローラの形状、寸法を示した。なお、このローラは 0.41% 炭素鋼にて作製し、高周波焼入後研摩仕上げたものである。

圧延は供試材料を仕上バイトで仕上げた直後、この装置により圧延荷重 50, 100, 200, および 400 kg の 4 種で、送り 0.04 mm/rev. にて圧延し

Table 2. Roughness of Surface.

Rolling Pressure kg/mm ²	0	258	326	411	517
Roughness of Surface μ	2	0.75	0.8	1.6	1.8

た。これらの表面圧延力を、ヘルツ式を用いて計算した表面圧延圧力で表わすと、それぞれ 258, 326, 411, および 517 kg/mm² となる。また圧延後の試験片の表面粗さを小坂式表面検査機にて測定した結果を参考までに Table 2 に示した。なお比較のため圧延を施さない試験片についても実験したが、この試験片の表面および相手材料試験片表面はいずれも仕上バイトで仕上げた後 0000 番 エメリ紙で研摩仕上げたものを使用した。

3. 実験方法

実験に使用した試験機はアムスラー摩耗試験機で、実験は上試験片を固定し、下試験片を毎分 200 回転(周速度 0.5 m/s)にて運転した。乾燥状態の場合は 2×10^4 回転ごとに取りはずして摩耗量を測定し、総回転数 2×10^5 (摩擦距離 5.74 km) まで実験し、潤滑状態の場合は摩耗量がきわめて小となるため、最初の三、四回のみ 2×10^4 、以後約 25×10^4 回転ごとに取りはずして摩耗量を測定し、総回転数 2×10^6 (摩擦距離 57.4 km) まで実験した。上下試験片に加えるべき接触荷重としては、乾燥状態の場合 5 および 10 kg の 2 種、潤滑状態の場合 50, 100, および 200 kg の 3 種とした。潤滑材としてはスピンドル油を使用し、歯車ポンプにより試験片の接触開始部に 550 cc/min 給油し、使用後の油をいったん下試験片下部の油溜めにため、これを濾過して再び歯車ポンプに送り循環せしめた。なお試験中は絶えず摩擦モーメントを読み取り、同時に上試験片に取付けた熱電対温度計によつて各状態における温度を測定した。

摩擦係数 μ は試験機より読み取られた摩擦モーメント M より次の式にて算出した。

$$\mu = \frac{M}{Pr} \frac{\alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{2 \sin \alpha}$$

ただし P は接触荷重、 r は下試験片の半径、 2α は上下試験片接触部の下試験片における中心角 (68.5°) である。なお試験片の受ける圧力としては平均接触圧力、すなわち荷重を接触部の投影面積 2.7 cm^2 にて除した値をもつて表わした。すなわち荷重 5, 10, 50, 100, および 200 kg は平均接触圧力それぞれ 1.85, 3.7, 18.5, 37 および 74 kg/cm² となる。

なお試験片の取付けに際しては、試験片表面を金属顕微鏡にて検査し、圧延方向と摩耗試験機の回転方向が一致するようにした。また潤滑状態の場合は摩耗量がきわめて小さいため、初期摩耗が大きな影響をあた

える恐れがあるので、 2×10^4 回転相当のすり合わせを行つた後実験を行つた。

4. 実験結果

(1) 乾燥状態における場合 実験の結果を Fig. 4~Fig. 8 に示した。Fig. 4 および Fig. 7 はそれぞれ接触圧力 1.85 および 3.7 kg/cm^2 における供試材料の摩耗量と、総回転数および摩擦距離との関係を示したもので、図に示した摩耗量は総摩耗量を供試材料試験片の最初の表面積 15.1 cm^2 にて除した値、すなわち単位表面積当りの摩耗量である。なお接触圧力 3.7 kg/cm^2 のものは摩耗が急激で実用上無意味と思われるので、実験の都合上 3 種の実験より実施できなかった。Fig. 6 は実験中摩擦モーメントおよび温度がどのように変化するかの一例を示したもので、図の曲線が総回転数 2×10^4 ごとに不連続になっているのは、試験片秤量の目的で試験機を停止したためである。

Fig. 6. Test Results (Rolling Pressure 258 kg/mm^2 , Mean Pressure 1.85 kg/cm^2 at Dry State).

Fig. 4. Wear of Materials Tested (Mean Pressure 1.85 kg/cm^2 at Dry State).

Fig. 7. Wear of Materials Tested (Mean Pressure 3.7 kg/cm^2 at Dry State).

Fig. 5. Test Results (Mean Pressure 1.85 kg/cm^2 at Dry State).

Fig. 8. Test Results (Mean Pressure 3.7 kg/cm^2 at Dry State).

Fig. 5 および Fig. 8 はそれぞれ接触圧力 1.85 および 3.7 kg/cm^2 における試験片の温度上昇、摩擦係数、摩耗量、および相手材料摩耗量と、表面圧延圧力との関係を総合的に示したもので、温度は実験中の最高温度を、摩擦係数は摩擦モーメントの運転開始初期を除いたほ

Fig. 9. Wear of Materials Tested (Mean Pressure 18.5 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

Fig. 10. Test Results (Mean Pressure 18.5 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

Fig. 11. Wear of Materials Tested (Mean Pressure 37 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

Fig. 12. Test Results (Mean Pressure 37 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

Fig. 13. Wear of Materials Tested (Mean Pressure 74 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

Fig. 14. Test Results (Mean Pressure 74 kg/cm^2 at Oil Lubrication).

ば平均値と思われる値より計算した値を示した。なお2個以上の試験片について実験を行ったものに対してはその平均値を示した。またFig.5における摩耗量は 20×10^4 回転後、すなわち供試材料摩擦距離57.4 km, 相手材料摩擦距離30.2 kmにおける単位表面積当りの値であり、Fig.8の摩耗量は実験結果比較のつこう上その半分の摩擦距離の値を示したものである。

(2) 潤滑状態における場合 実験の結果をFig.9~Fig.14に示した。Fig.9, Fig.11, およびFig.13はそれぞれ接触圧力18.5, 37, および74 kg/cm²における供試材料の摩耗量と、総回転数および摩擦距離との関係をFig.4と同様に示したものである。Fig.10, Fig.12, およびFig.14はそれぞれ接触圧力18.5, 37, および74 kg/cm²における摩擦係数、摩耗量、および相手材料摩耗量と、表面圧延圧力との関係をFig.5と同様に総合的に示したもので、この場合の摩耗量は 20×10^5 回転後、すなわち供試材料摩擦距離57.4 km, 相手材料摩擦距離302 kmにおける単位表面積当りの値である。なお温度上昇は潤滑材を使用する関係上ほとんど認められなかった。

5. 実験結果の考察

(1) 耐摩耗性について まず乾燥状態の場合、摩擦距離の増加に伴って摩耗量の増大する状態を見ると、Fig.4およびFig.7に見られるごとく、初期摩耗を除けば摩耗量は摩擦距離の増加に伴ってほぼ直線的に増大しているが、Fig.4の場合、圧延を施したものは幾分抛物線的に増大し、比較的初期においては圧延を施さないものに比較して幾分摩耗量が大きくなっているが、それ以後は摩擦距離の増加に伴って摩耗量の増大する割合は減少し、結局表面圧延を施さない場合の摩耗量とほぼ同程度となつてゐる。なお相手材料の摩耗量は供試材料試験片が圧延を施してあると否にかかわらず、Fig.6に一例を示したごとく、摩擦距離の増加に伴って常にほぼ直線的に増大している。Fig.7において圧延圧力258 kg/mm²の場合は供試材料および相手材料の摩耗はなほだしく、実験を中止せざるをえなかつたが、これより圧延圧力の少し高い326 kg/mm²のものは摩耗量は少なくなつてゐる。次に摩耗量と圧延圧力との関係を見ると、接触圧力1.85 kg/cm²の場合は、Fig.5に見られるごとく、摩耗量は圧延の有無および圧延圧力の大小にあまり関係しない。しかし接触圧力3.7 kg/cm²の場合はFig.8に見られるごとく、摩耗量が大きいのみならず、おのおの場合における摩耗量の相違が著しく、摩耗がかなり不安定なことを示しており、この接触圧力は実用の域を超過し過大なものと思われる。

次に潤滑状態の場合、摩擦距離の増加に伴って摩耗

量の増大する状態を見ると、Fig.9, Fig.11, およびFig.13に見られるごとく、圧延を施さないものはほぼ直線的に、圧延を施したものは抛物線的に増大している。もつともFig.13の場合はいずれも直線的であるが、この場合は接触圧力が高く、摩耗量もきわめて多いので例外とする。図中摩耗量が階段的に増大しているときものもあるが、これは摩耗量がきわめて小さいために生ずる測定誤差に基づくものと思われる。これらより表面圧延はごく初期の時期を除き耐摩耗性によい結果をあたえるものと考えられる。つぎに摩耗量と圧延圧力との関係を見ると、Fig.10, Fig.12, およびFig.14に見られるごとく、接触圧力の低い場合においては圧延圧力の大きいほど摩耗量は少なくなつており、接触圧力の高い場合にはFig.14に見られるごとく、圧延の有無および圧延圧力の大小にあまり関係しないといふことができる。

以上のことより、ローラによる表面圧延を施すことは潤滑の良好でない、接触圧力の大きな、苛酷な条件にて使用される機械部分に対しては効果がないが、一般に耐摩耗性向上に役立つといふことができる。

(2) 摩擦係数について 摩擦モーメントは実験中絶えず変動している。もつとも潤滑状態で接触圧力が低く、摩擦モーメントの小さい場合はきわめて安定し、ほとんど一定の値を示すが、一般には決して一定の値を示しているとは限らない。したがつて一定の摩擦係数の値を見出すことは困難なことが多い。前記の各図に示した摩擦係数はすべてほぼ平均値と思われる摩擦モーメントの値より計算したもので、したがつて以下の考察においても全体的な傾向として述べるのであつて、決して瞬間的な摩擦係数の値でないことをこゝとわつておく。

まず乾燥状態の場合、圧延圧力と摩擦係数との関係を見ると、Fig.5に見られるごとく圧延の有無、圧延圧力の大小にはほとんど関係なく、ほぼ一定の値を示している。Fig.8の場合は摩耗が急激で、かつ実験の種類が少なく、これより充分なことは論じえないが、圧延圧力258 kg/mm²の場合を圧延を施さないものと比較すると、その摩耗量が非常に大きいにかかわらず、摩擦係数はあまり変わらない。また圧延圧力326 kg/mm²の場合とも比較して、大体圧延圧力の大きくなるに従つて摩擦係数は低下するものと推定される。

次に潤滑状態の場合、圧延圧力と摩擦係数との関係を見ると、Fig.10, Fig.12, およびFig.14に見られるごとく、いずれも圧延圧力の大きいほど摩擦係数が少なくなつてゐるが、接触圧力の高いFig.14の場合はその差は少なくなつており、大体摩擦係数の大小は摩耗量の大小と同様な傾向にあるといえる。次に接

Fig. 15. Relation between Load or Mean Pressure and Coefficient of Friction Concerning Rolling Pressure (Oil Lubrication).

触圧力と摩擦係数の関係を見るに、Fig. 15のごとく、圧延を施した方が圧延を施さないものに比して例外なく摩擦係数が少ないことを示している。すなわちロー

ラにより表面圧延を実施することは摩擦を少なくするという点から見れば一般に有効であるといえることができる。

6. 結 論

1. 一般に表面圧延を施したものはこれを施さないものに比較し、摩耗の進行は最初比較的急速であるが、以後緩慢となり、摩耗が進行しにくくなる傾向が認められる。
2. 一般に潤滑状態が悪く、接触圧力の大きな苛酷な条件の下において使用される機械部分に表面圧延を施すことは、耐摩耗性向上に効果はないが、一般にはよい結果をあたえるものと思われる。
3. 表面圧延を施すことは摩擦係数を小さくする上に有効である。

注：一

1) 「鉄道業務研究資料」, 第8巻, 第1号 (昭和26年)

懸濁粒子の圧縮率について*

岡田辰三** 吉沢四郎** 桑島謙臣*** 伊藤竜象***

On the Compressibility of Suspended Particle

by Shinzo OKADA, Shiro YOSHIZAWA, Kaneomi KUWASHIMA and Ryuzo ITO

Abstract

In this paper, a new relationship between compressibility of suspension and those of its components were led considering the effect of the interfacial actions at the surface of suspended particle.

The approximations, showing us the possibility that the compressibility of suspended particles could be determined graphically, were obtained by using some assumptions and were verified experimentally by measurements of sound velocity in suspension and its density.

The value for the compressibility of the particle in question derived from these approximations with the suitable quantity of the constant " β " was in good agreement with the values obtained by another investigators.

1. 序 論

これまで固体の等温圧縮率はもっぱら直接法によって測定されていたのであるが、固体の断熱圧縮率の測定には音速度法によるのが妥当であり、かつきわめて有利なことが認められてきた。ここに筆者らは特にコロイド溶液の分散粒子のような微粉体の断熱圧縮率を音速度法によつて求める一つの試みを報告する。

均一な液体、溶液、およびコロイド溶液などのいわゆる流動体の断熱圧縮率(以下単に圧縮率という)はそれを媒体として音波を伝播させたときの音速度とその媒体の密度とから Laplace の式を用いて簡単に計算することができる。

$$\beta = 1/V^2 d$$

ここに β : 媒体の圧縮率 (cm^2/dyne),

V : 媒体中の音速度 (m/sec),

d : 媒体の密度 (g/cc).

* 原稿受付 昭和29年7月20日

** 正員 京都大学工学部工業化学教室

*** 京都大学工学部工業化学教室