The Society of Materials Science, Japan

520 キャビテーションピーニングによる鋼の摺動特性の向上

岡山大学 ○關 正憲　東北大学 祖山 均
岡山大学 藤井正浩　広島国際大学 吉田 彰

Improvement in Sliding Property of Steel by Cavitation Peening

Masanori SEKI, Hitoshi SOYAMA, Masahiro FUJII and Akira YOSHIDA

1 緒 言

自動車が市街地を走行する際，全損失の半分以上を機械損失が占め，機械損失の約40%がピストンにおける摺動抵抗によるものである[1]．現在，ピストンの摺動抵抗低減やなじみ性向上，耐焼付き性向上には主に硬質皮膜が用いられている．著者らはキャビテーションピーニング（以下，CP と記す）による硬さの増加によって，鋼歯車の疲労寿命と疲労強度が向上することを示した[2),3)]．CP の主な特徴は剛体接触することなく，ピーニング効果を付与できる点にある．そこで本研究では，CP による表面粗さの増加が小さいことに着目し，鋼の摺動特性に及ぼす CP の影響について検討を行った．

2 試験片の製作

本研究では摺動特性を調べるために，リングとディスクの滑り接触による摺動試験を行った．リングは外径25.6mm，内径20mm，高さ15mm であり，ディスクは外径40mm，高さ10mm である．どちらの試験片も炭素鋼（JIS：S45C）で製作され，焼入れ焼戻し（リング：焼入れ1103K×2.5hr 油冷，焼戻し453K×2.0hr 水冷，ディスク：焼入れ1133K×2.5hr 油冷，焼戻し493K×2.0hr 水冷）の後，研削仕上げが施された．摺動特性に及ぼす表面粗さの影響を比較するため，一部の試験片には，研削仕上げの後，バフ研磨による研磨仕上げを施した．

本研究では，研削および研磨仕上げしたリングとディスクの表面に水中 CP[4)]を施した．CP 条件はノズル直径2mm，高速水噴流の噴射圧力30MPa である．CP 処理中，鉛直下方向に噴射した高速水噴流に対して，試験片を水平方向に移動させ，CP 処理時間を試験片ごとに 2～16s/mm の間で変化させた．本研究の CP で用いたノズルは B，C の2種類であり，スタンドオフ距離はそれぞれ80mm，85mm である．試験片の表記名は，ノズルの種類，CP 処理時間によって表され，表記名の最後に研削仕上げの場合には G，研磨仕上げの場合には L を付けた．なお，CP を施していない研削および研磨仕上げした試験片をそれぞれ NPG，NPL とした．

3 試験片の性状

図1にディスク表面の断面曲線における算術平均粗さ P_a，粗さ曲線における算術平均粗さ R_a と CP 処理時間の関係を示す．この図より，研削仕上げの後 CP を施した試験片に着目すると，CP 処理時間の短い場合，NPG に比べ，表面粗さはあまり変わらなかったが，CP 処理時間が長くなると表面粗さは増大した．研磨仕上げの後 CP を施した B02L～B16L では，CP を施すことによって表面粗さが大きくなった．また，バフ研磨によるうねり成分の多くがカットオフ波長 0.25mm より大きかったため，そのうねり成分が除去されたことにより，研磨仕上げの試験片の P_a と R_a に大きな差が生じたと考えられる．

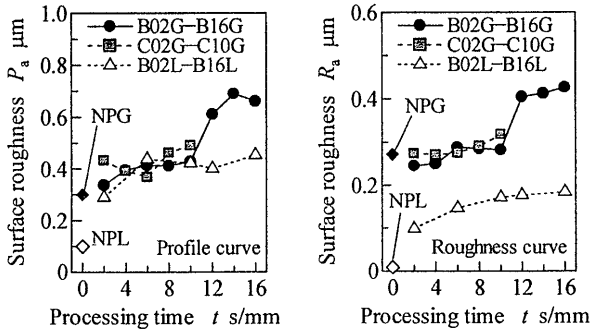

Fig.1 Surface roughness of disks

ディスク断面の硬さ分布はマイクロビッカース硬度計により測定され，その硬さ分布からディスクの表面硬さが得られた．研磨および研削仕上げのディスクに関わらず，CP を施すことによって表面硬さが約 50～140HV 増加した．また，CP による加工硬化層はディスク表面から深さ約 0.25～0.30mm の範囲であった．短い CP 処理時間でも CP によるディスクの表面硬さの増加が得られたが，CP 処理時間を長くしてもディスクの表面硬さが大きく増加することはなかった．

NPG と NPL の表面圧縮残留応力はそれぞれ-158MPa，-382MPa であったが，CP を施すことによりディスク表面の圧縮残留応力が-1000MPa～-1250MPa 程度に増大し，表面硬さと同様にピーニング効果が得られていることを確認した．しかし，研磨および研削仕上げの違いや CP 処理時間の違いによる表面圧縮残留応力の差はみられなかった．

4 摺動試験方法

本研究の摺動試験には油潤滑摩擦摩耗試験機[5)]を用いた．回転する上部軸継手に取り付けられたリングに，下部軸に固定されたディスクを押し付け，リング側軸を回転させ，滑り接触条件下で摺動試験を行うものである．試験部はオイルバス内にあり，片あたり防止のためのジンバル機構が設けてある．法線荷重はてこの原理を利用して下部軸より加えられた．試験中はトルクアーム近傍に設置されたロードセルにより摩擦力の測定を行い，摩

NII-Electronic Library Service

The Society of Materials Science, Japan

擦力と法線荷重からリングとディスク間の摩擦係数μを求めた．本試験の潤滑油として無添加タービン油（ISO VG68 相当）を使用し，リングとディスクの接触部分を完全に浸した状態にして毎分 300ml で循環させた．本試験は滑り速度 V_s=0.5m/s，油温 T=313K の条件で行われ，初期面圧を p_0=0.25MPa として滑り距離 250m ごとに 0.25MPa ずつ試験面圧 p を上げていくステップロード方式で行った．本研究では，試験片の摩擦係数μが 0.3 を越えたときの試験面圧 p を焼付き面圧 p_s とし，そこで摺動試験を終了させた．また，試験片の摩耗量は最小測定値 10^{-4}g の質量計を用い，摺動試験前後の試験片の質量の差により算出された．

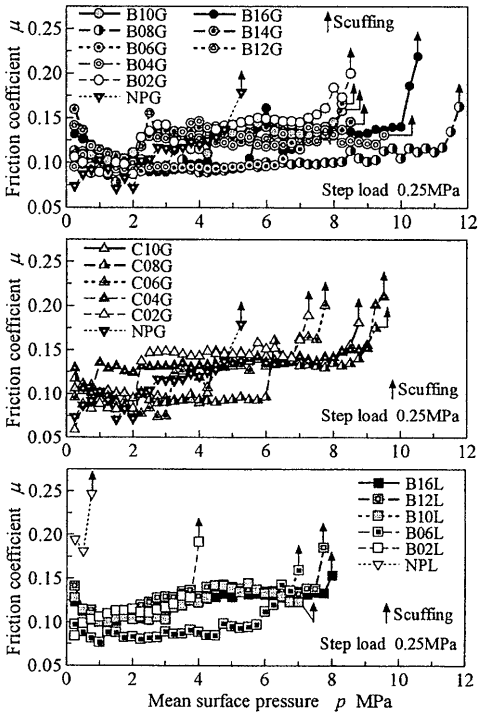

Fig.2 Relationships between friction coefficient and mean surface pressure

5 摺動試験結果

図 2 に試験面圧 p と試験片の摩擦係数μの関係を示す．研削および研磨仕上げした両試験片ともに p_0=0.25MPa の摩擦係数μは CP 処理時間が長い試験片ほど高くなった．その後，p_0=0.25MPa の摩擦係数μの大きさに関わらず，p=0.5～2.0MPa ではμ=0.1 程度となった．まず研削仕上げの試験片に着目すると，p=2.0MPa 以降において CP 処理時間の長い試験片の摩擦係数μはμ=0.10 付近で推移したが，CP 処理時間の短い試験片はμ=0.15 付近まで上昇した．図 1 で示したように，CP 処理時間が長くなると，ディスクの表面粗さが大きくなる傾向にあったことから，表面粗さの谷部に油が溜まりやすくなり，ミクロプール効果 [6]によって潤滑効果が高まり，摩擦係数μの増加が抑えられたと考えられる．一方，CP 処理時間の短い試験片では表面粗さがあまり大きくなかったことから，試験面圧 p の増加によりリングとディスクの真実接触面積が増大し，摩擦係数μが増加したと考えられる．

焼付き面圧 p_s に着目すると，研磨仕上げの試験片では，CP 処理時間が長くなると焼付き面圧 p_s が増加する傾向がみられた．一方，研削仕上げの試験片では，CP 処理時間と焼付き面圧 p_s の相関関係はみられなかったが，CP を施すことによって明らかに焼付き面圧 p_s が増加し，特に B08G は NPG に比べ，2 倍以上の焼付き面圧 p_s であった．

図 3 に試験片の摩耗量の変化を示す．図 3 より，摩耗量と CP 処理時間の明確な相関関係はみられなかったが，CP を施すことによって試験片の摩耗量が減少していることがわかる．

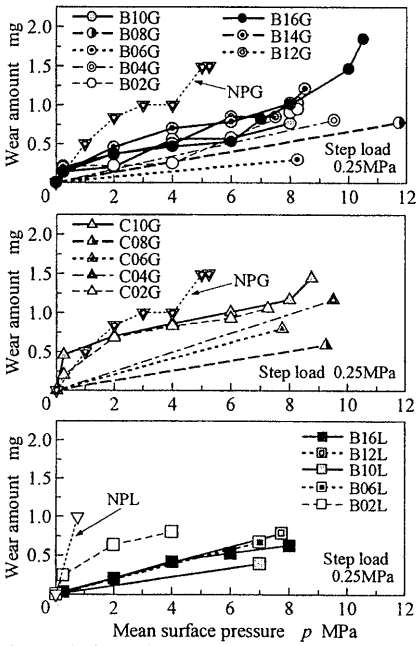

Fig.3 Relationships between wear amount and mean surface pressure

6 結　言

本研究では，CP によって鋼の焼付き面圧が向上するとともに，試験片の摩耗量が少なくなることを確認した．したがって，CP には鋼の摺動特性を向上させる効果があると考えられる．

なお本研究の一部は，日本学術振興会科学研究費補助金［基盤研究(A) 20246030］によったことを記す．

参考文献

1) 荻原秀実，軽金属学会シンポジウム，**74th**，1-8 (2004).
2) M.Seki, H.Soyama, M.Fujii and A.Yoshida, Tribology Online, **3-2**, 116-121 (2008).
3) 關正憲，祖山均，藤井正浩，吉田彰，日本材料学会第 57 期学術講演会講演論文集, 165-166 (2008).
4) H.Soyama, K.Sakai, D.Odhiambo and M.Saka, JSME Int. J., **A**, **46-3**, 398-402 (2003).
5) 三島進，吉田彰，藤井正浩，關正憲，トライボロジスト，**48-2**，135-142 (2003).
6) 青木勇，当舎勝次，ショットピーニング技術，**13-1**，8-13 (2001).

NII-Electronic Library Service