809 キャビテーション・ショットレス・ピーニングによる

鋼ローラの面圧強さ向上に関する基礎的研究

A Fundamental Study on Improvement in Surface Durability of Cavitation Shotless Peened Steel Rollers

正 関 正憲 (岡山大) 正 祖山 均 (東北大)

正 吉田 彰 (岡山大) ○学 三嶋 孝洋 (岡山大院)

Masanori SEKI, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Okayama

Hitoshi SOYAMA, Tohoku University, 6-6-01, Aoba, Aramaki, Aoba-ku, Sendai

Akira YOSHIDA, Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Okayama

Takahiro Mishima, The Graduate School of Okayama University, 3-1-1, Tsushima-Naka, Okayama

1. 緒言

キャビテーション噴流を用いたピーニング方法をキャビテーション・ショットレス・ピーニング⁽¹⁾ (以下, CSP と記す) という。これはキャビテーション気泡の崩壊時に生じる衝撃力によって材料表面にピーニング効果を付与する技術である。CSP を施すと, 浸炭硬化鋼の回転曲げ疲れ試験において, ショットピーニングを施した場合よりもさらに疲れ強さが増大したという報告⁽²⁾がある。そこで本実験では, 鋼歯車の面圧強さ向上を目的として, CSP の適用性について検討を行った。気中または水中キャビテーション噴流による CSP を鋼ローラに施し, CSP 条件におけるノズル径, 噴射圧力, 噴射時間が鋼ローラの表面性状ならびに面圧強さに及ぼす影響を検討した。ここで, 気中キャビテーション噴流とは, 大気中に噴射した低速水噴流の中心に高速水噴流を噴射させたものであり, 水中キャビテーション噴流とは, 水中で高速水噴流を噴射させたものである。

2. 試験ローラと実験方法

2.1 試験ローラ 図1に本実験で用いた試験ローラ対の形状および寸法を示す。試験ローラはクロムモリブデン鋼で製作され, 調質処理, 研削仕上げの後, 60rpm で回転させたローラ円周面に CSP が施された。表1に本実験で用いたローラの製作条件, 表面粗さ R_z , 表面残留応力 $\sigma_y(r)$ ならびに表面硬さを示す。CSP を施していない試験ローラの表記名は NP とし, CSP を施した試験ローラは CSP 条件の違いにより表記名をつけた。なお, 表面粗さと表面残留応力はローラ円周面において, それぞれ軸方向と円周方向

に計測された値である。残留応力は, X 線として $\text{CrK}\alpha$ 線を用い $2\theta\text{-sin}^2\psi$ 法により測定された。表1より, CSP を施したすべての試験ローラの表面残留応力と表面硬さが増加した。一方, 試験ローラの表面粗さは CSP 条件によって, 増加または減少した。

図2にレーザ顕微鏡によるローラ円周面写真とその鳥瞰図を示す。図2より, CSP を施しても研削痕が残っており, NP と比べても表面状態があまり変わらないことがわかる。

2.2 実験方法 本実験では, ばね負荷式二円筒滑り転がり疲れ試験機を使用し, 試験ローラを低速側 (ローラ周速度 4.50m/s, 滑り率-25.7%), 相手ローラを高速側 (ローラ周速度 5.65m/s, 滑り率+20.4%) として疲れ試験を行なった。負荷の基準にはヘルツの最大接触応力 $p_{\max}$ を用いた。使用した潤滑油は極圧添加剤を含む EP3090 ギヤ油であり, 油温 $313\pm 4\text{K}$ でローラ接触部に圧力給油した。試験機には振動感受スイッチが設置されており, ローラの損傷による異常振動が発生した際には, 試験機が自動停止するように調整されている。試験機が自動停止したとき, あるいはピッチング面積率が 5%に達したときの試験ローラ繰返し数をローラの破壊寿命 N とした。

Fig.1 Shapes and dimensions of test roller pair

Table 1 Manufacturing conditions of rollers

Specimen	Test roller								Mating roller
	NP	A1P2T1	A1P2T3	A1P3T1	A1P3T3	W1P3T3	W2P3T05	W2P3T3	
Material	SCM440								SCM420
Heat treatment	Thermal refining								Case hardening
Finishing	Grinding	Cavitation shotless peening after grinding							Shot peening after grinding
Injection type	---	Air				Water			---
Nozzle diameter mm	---	1				2			---
Injection pressure MPa	---	20				30			---
Injection time min	---	10	30	10	30	30	5	30	---
Surface roughness R_z μm	2.98	1.97	3.38	3.38	2.05	3.27	2.26	2.47	2.16
Residual stress $\sigma_y(r)$ MPa	-62	-405	-322	-372	-381	-421	-363	-388	-358
Vickers hardness HV	343	365	361	359	373	357	361	354	800

*Shot peening condition : 90m/s shot velocity, 0.2mm shot diameter, 620HV shot hardness, 200sec peening time, 0.25mmA arc height, 2400% coverage

Fig.2 Circumferential surface of test rollers before test

Fig.3 Observation of failed test roller

3. 転がり疲れ試験結果

3.1 損傷形態 図3に損傷した試験ローラの円周面写真と軸直角断面写真を示す。本実験で生じたローラの損傷形態は、表面き裂発生に起因するピッチング損傷であった。図より、損傷形態がローラ円周面で転がり方向に広がった扇形をしていることがわかる。さらに、ローラ円周面で発生したき裂が円周面下転がり方向に進展していることが確認できる。

3.2 疲れ寿命 図4に $p_{max}=1400\text{MPa}$ として疲れ試験を行ったときの各試験ローラの疲れ寿命 N を示す。なお、A1P2T3とA1P3T1の疲れ試験は行っていない。図4より、CSPを施したすべての試験ローラの疲れ寿命が向上していることがわかる。また本実験では、気中キャビテーション噴流よりも水中キャビテーション噴流を用いたCSPの方が疲れ寿命が向上している。さらに噴射時間の長い方が疲れ寿命が向上する傾向がみられた。

図5に疲れ試験中における試験ローラの表面粗さ R_z の

Fig.4 Fatigue life of test rollers

Fig.5 Surface roughness of test rollers during fatigue test

経時変化を示す。CSPにより初期表面粗さが増加した試験ローラにおいて、疲れ試験初期段階でのなじみ効果で表面粗さが減少していることから、ピーニング効果が得られていると考えられる。

本実験の範囲内では、噴射時間を長くした水中キャビテーション噴流によるCSPが鋼ローラの面圧強さ向上に適することがわかった。

4. 結言

- (1)CSPによって、鋼ローラ円周面付近の硬さと圧縮残留応力は増大し、鋼ローラの表面粗さはCSP条件により増加または減少した。
- (2)鋼ローラの損傷形態は、すべてピッチング損傷であった。
- (3)CSPを施した鋼ローラの疲れ寿命が向上し、気中キャビテーション噴流に比べ、水中キャビテーション噴流によるCSPを施した鋼ローラの疲れ寿命が特に向上した。
- (4)噴射時間を長くしたCSPによって、鋼ローラの疲れ寿命が向上する傾向がみられた。

なお本研究の一部は、Taiho Kogyo Tribology Research Foundationからの助成によったことを記す。

参考文献

- (1)ショットピーニング技術協会編著、金属疲労とショットピーニング、(2004)、134、現代工学社。
- (2)祖山均・斉藤健一、キャビテーション・ショットレス・ピーニングとショット・ピーニングの比較、ショットピーニング技術、14-2、(2002)、72-73。