

## 鋼球の転がり疲労に及ぼす熱処理と残留応力の影響

## Influence of Heat Treatment and Residual Stress on Rolling Fatigue of Steel Ball

(株) 天辻鋼球製作所 (正) \*阿野 亮介

(株) 天辻鋼球製作所 (非) 大崎 浩志

Ryosuke Ano\*, Hiroshi Ohsaki\*

\*Amatsuji Steel Ball Mfg. Co., Ltd.

## 1. はじめに

転がり軸受は私たちの暮らしと産業を支える重要な機械要素の一つであり、その使用環境は近年ますます多様化・過酷化している。本研究では、転がり軸受用鋼球に着目し、SUJ2の高い信頼性を得るために、熱処理特性と鋼球製造時のピーニング処理によって形成される圧縮残留応力が転がり疲労寿命に及ぼす影響について検証した。

## 2. 試験内容

転がり軸受用鋼球の製造工程における熱処理やピーニング処理の条件をTable 1のように変化させ、9.53mmの試験鋼球 Sample(a)～(o)を製作した。Sample(a)～(i)は熱処理特性の影響を調べるためにピーニング処理は実施せずに熱処理条件のみを変更し、様々な熱処理特性を持たせた。一方、Sample(j)～(o)は熱処理条件を統一し、残留応力の影響を調べるためにピーニング処理条件のみを変更した。ピーニング処理はFig. 1に示す設備を使用し、ドラム回転数、インペラ回転数および処理時間を変更することで、付加される圧縮残留応力の値に強弱を持たせ、さらに Sample(j)～(l)と Sample(m)～(o)はピーニング処理前後の研磨量を変化させ、圧縮残留応力の分布状態を変えた。Figure 2にSample(j)～(o)の残留応力分布を示す。

前述のように様々な熱処理特性および残留応力分布を持たせた Sample(a)～(o)を Table 2 に示す条件で転がり疲労特性を評価し、その結果を組織観察やX線回折測定の結果から考察した。

Table 1 Heat treatment and peening conditions of sample balls

Sample	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o
Quenching temperature, K	1103			1133			1163			1133					
Tempering temperature, K	403	433	463	403	433	463	403	433	463				433		
Drum velocity, rpm	-	-	-	-	-	-	-	-	-				60		
Impeller velocity, rpm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	200	300	500	200	300	500
Peening time, min	-	-	-	-	-	-	-	-	-	90	120	120	90	120	120
Peak position of residual stress	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Inside of ball			Ball surface		

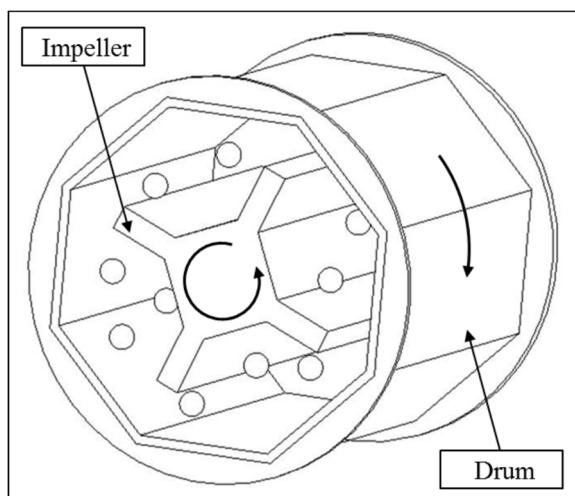


Fig. 1 Peening machine

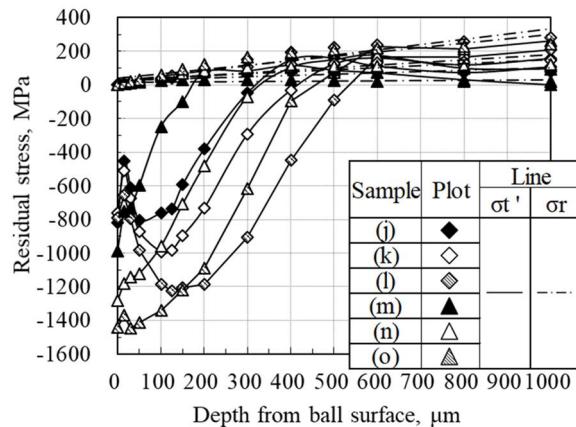


Fig. 2 Residual stress curves of sample (j)～(o)

Table 2 Conditions of fatigue test

Test bearing	6206
Load, kN ( Dynamic )	11.8±7.8
	Curve of dynamic load
Spindle velocity, rpm	2000
Lubricant	Spindle oil (ISO-VG8)
Maximum Hertzian contact stress, GPa	4.8 (at 19.6kN)

### 3. 試験結果と考察

#### 3.1 試験鋼球の転がり疲労寿命に及ぼす熱処理特性の影響

Sample(a)～(i)の転がり疲労寿命試験結果をFig. 3に示す。Figure 3および後述のFig. 4については、いずれのプロットも鋼球のはく離発生時としており、試験時間が1000hに至った時点で打切りとしている。

焼入温度を1103K, 1133K, 1163Kと変更し、焼戻温度を433Kに統一したSample(b), (e), (h)について $L_{10}$ 寿命を比較すると100倍以上の差があり、転がり疲労寿命に及ぼす熱処理条件の影響が大きいことが分かる。Sample(b), (e), (h)はいずれもHRC64程度と同程度の硬さを有していたが、転がり軸受用鋼球の疲労寿命は硬さのみでは評価できず、マトリックスへのカーボン固溶量、旧 $\gamma$ 結晶粒の平均粒径も大きく影響していることを明らかにしている。

次節において残留応力が鋼球の転がり疲労寿命に及ぼす影響を調べる際、熱処理条件を最適な条件に統一し、ピーニング条件のみを変更することとしたが、硬さ以外の様々な熱処理特性が鋼球の転がり疲労寿命に及ぼす影響を検証した結果から、Sample(j)～(o)に対する最適な熱処理条件として焼入温度1133K、焼戻温度433Kを選定した。

#### 3.2 試験鋼球の転がり疲労寿命に及ぼす残留応力の影響

熱処理条件を焼入温度1133K、焼戻温度433Kに統一し、残留応力が鋼球の転がり疲労寿命に及ぼす影響を調査するために様々なピーニング条件で処理されたSample(j)～(o)の転がり疲労寿命試験結果をFig. 4に示す。

Figure 3に示したピーニング処理を実施していないSample(e)の $L_{10}$ 寿命に対し、同一熱処理条件であるSample(j)～(o)の $L_{10}$ 寿命がいずれも短いことから、主としてピーニング処理による圧縮残留応力の形成に伴い鋼球の転がり疲労寿命が短くなったものと考えられる。

### 4. まとめ

様々な熱処理特性、残留応力の値、ならびに残留応力分布状態を持たせた試験鋼球を製作し、それぞれが転がり疲労寿命に及ぼす影響について清浄環境下で検証した。主な結果は以下の通りである。

- (1) 鋼球の転がり疲労寿命は熱処理特性に影響され、同程度の硬さであっても、カーボン固溶量および旧オーステナイト結晶粒の平均粒径により大きく異なる。
- (2) 鋼球の転がり疲労寿命は圧縮残留応力の付加領域の大きさに影響され、その領域が大きいほど転がり疲労寿命は短い傾向にあった。

### 文献

- 1) 阿野亮介・藤井正浩・大崎浩志：鋼球の転がり疲労に及ぼす熱処理と残留応力の影響、トライボロジスト, 60, 2 (2015) 136.
- 2) 阿野亮介・藤井正浩・大崎浩志：鋼球の転がり疲労過程における残留応力変化の観察、トライボロジスト, 61, 6 (2016) 393.

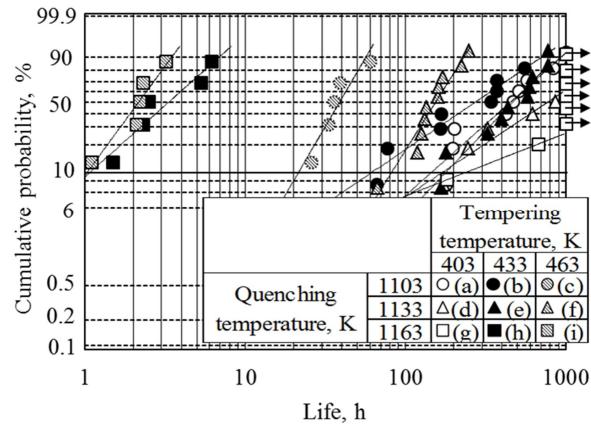


Fig. 3 Weibull plots of rolling fatigue lives of sample (a)～(i)

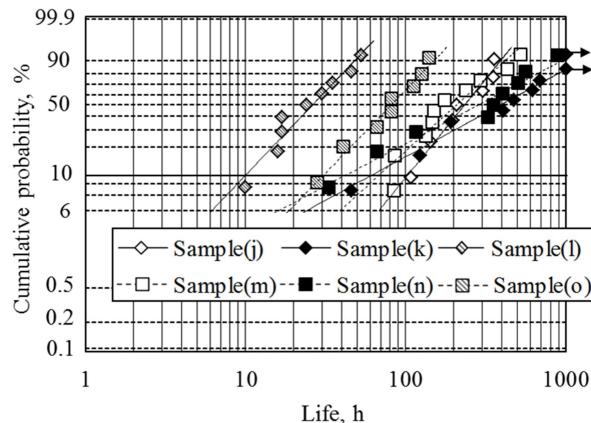


Fig. 4 Weibull plots of rolling fatigue lives of sample (j)～(o)