参考文献

- 1) 小林昭：精密機械，Vol.20，No.12，昭29—12（第5報）
- 2) 小林昭：精密機械，Vol.21，No.10，昭30—10（第7報）
- 3) 竹中規雄，古橋一尊：日本機械学会講演会前刷，昭30-10-16，第4部，No.421.
- 4) 佐藤健児：精密機械，Vol.22，No.4，昭31-4.
- 5) 佐藤健児：精密機械，Vol.22，No.12，昭31-12
- 6) 松井正巳：精密機械，Vol.22，No.11，昭31-11
- 7) 小林昭：日本機械学会誌，Vol.60，No.457，昭

- 32-2.
- 8) 竹山秀彦：精密機械，Vol.22，No.3，昭31-3.
- 9) 小林昭：精密機械，Vol.20，No.7，昭29-7.（第2報）
- 10) 竹山秀彦：精密機械，Vol.16，No.7，昭25-7.
- 11) 竹中規雄：日本機械学会講演会前刷，昭30-10-16，第4部，No.422.
- 12) 佐藤健児：「切削理論（1）」，誠文堂新光社，p.51.
- 13) 小林昭：精密機械，Vol.20，No.9，昭29-9.（第4報）

平面の超仕上に関する研究（第5報）*

— 平面超仕上面の残留応力について —

正 会 員   松 井   正   己**

Studies on Flat Superfinishing (Part 5)

— On the Residual Superfinishing Stress —

Seiki MATSUI

In this paper, the author measured the residual stresses induced in the flat superfinishing worked layer by the chemical etching method (Heyn's method). Further, the hardening effect was checked by measuring the hardness of the surface layer with a micro-Vickers hardness tester. The main results of experiments are as follows.

- (1) The superfinishing produces residual compressive stresses.
- (2) The higher the superfinishing pressure, the greater the surface residual stress.
- (3) The greater the hardening effect, the greater the residual stress.

1. 緒 言

筆者はこれまで平面超仕上の切削機構，鏡面仕上機構などについて一連の研究を行ってきたが，本報ではそれに関連して平面超仕上面の残留応力について2，3の考察を加えることにする。

2. 残留応力の測定法

残留応力を測定する方法としては次の二つが考えられる。

- (1) X線回折による方法
  - (2) 薄板の曲率の変化を測定する方法（腐蝕溶去法）
- 本研究では比較的容易に実験が行える後者の腐蝕溶去

法を用いた。もちろんこの場合に得られる応力は面全体にわたっての平均的な値である。

なお一般に機械加工面の残留応力は切削方向とそれに直角な方向の二軸応力が考えられ，これについては R. G. Treuting と W. T. Read が一般的な計算式を導き¹⁾，この式を応用して研削仕上面，ラッピング面の残留応力が測定された²⁾。

しかし巾に対して長さの長い試験片を使う時にはその長手方向（切削方向）のみの応力を考え，巾方向（切削方向に直角な方向）の応力を無視していわゆる単軸応力として計算して差支えない。このような場合については D. G. Richards により一般的な計算式が導かれており³⁾，これを応用して切削仕上面⁴⁾，研削仕上面⁵⁾，ショットピーニング面⁶⁾などの残留応力が測定されている。

筆者の場合も簡単にするために単軸残留応力の場合だ

* 昭和32年4月8日精機学会講演会で発表

** 東北大学工学部

けを考えることにする。

さて D.G. Richards の導いた計算式は式 (1) のごとくである。(図 1 参照)

図 1

$$\sigma = \frac{E(h-a)^2}{6} \frac{d(1/\rho)}{da} - \frac{E(h-a)}{2} \frac{1}{\rho} - \frac{1}{h-a} \int_0^a \sigma da \quad (1)$$

ここで E : 縦弾性係数, h : 試験片の始めの厚さ, a : 表面から問題の層まで除去する前後の曲率の差 (表面が凸側を正とする), σ : 表面から a mm の問題の層における残留応力 (引張応力を正とする)。

しかしこの式 (1) で σ を求めようとする, その式の第 3 項にこれから求めんとする σ の積分が含まれており逐次近似法によらねばならぬ。

これは非常に不便なので筆者らは川田氏が上式を適当に変形して導かれた次の計算式 (2) を用いることにした。⁷⁾

$$\sigma = \frac{E(h-a)^2}{6} \frac{d(1/\rho)}{dc} - \frac{2E(h-a)}{3} \frac{1}{\rho} + \frac{E}{3} \int_0^a \frac{1}{\rho} da \quad (2)$$

すなわち実験によつて除去した深さ a と曲率 $1/\rho$ の関係曲線を求め, この曲線から上式の $\frac{d(1/\rho)}{da}$, $1/\rho$,

$\int_0^a \frac{1}{\rho} da$ を計算し σ を出すわけである。

なお曲率の変化の測定にはコンパレータを用いるか, また光干渉法が応用される。筆者らの場合は日本光学製の仕上面検査機を使用した。

3. 実験方法

3.1 試料

筆者らの用いた試料は 1% C の炭素鋼で試料両面を切削, 研削した後, 片面 (曲率測定面) を軽くラップ仕上し, それからこれらの前加工の影響を除くために 630°C で 1 時間真空焼鈍, 炉中除冷を行つた。なお試料の形状

は短冊形でその寸法は $40 \times 8 \times 2$ (長さ $\times$ 巾 $\times$ 厚さ) である。

3.2 超仕上作業

上記の試料の片面を前報⁹⁾ と同じ実験装置, 実験方法で超仕上する。なお実験条件は次のごとくである。

(1) 砥石……GC #280 R_H 80

(2) 切削条件

(i) 運動条件…平均切削速度 $v = 6$ m/mn, 最大傾斜角 $\theta = 35^\circ$, 切削時間 $\tau = 5$ 分

(ii) 砥石圧力…1 ~ 4 kg/cm²

(v) 切削液…軽油

3.3 残留応力の測定法

上記のごとく超仕上を行うと, 試料は加工層の残留応力によつて長手方向に加工面凸に変形する。この試料を

図 2 のごとく油粘土に埋め, その中に 2% HNO_3 溶液を注入し適当時間腐蝕させる。次にこの腐蝕液を流し出しよく水洗してから試料を取り

図 2 残留応力の測定法

り出し, ペンゼンで清拭し乾燥後化学天秤で重量を測定し腐蝕量を求め, 試料の比重から腐蝕深さ a を計算する。同時に日本光学式仕上面検査機を用いて試料の曲率 $1/\rho$ を測定する。このようにして a と $1/\rho$ の関係曲線を実測し, 上述の (2) 式を用いて σ を計算で求める。

3.4 改良微小硬度法

次に 2, 3 の試料について超仕上後残留応力を測定する前に筆者らが先に報告した改良微小硬度法⁹⁾ によつて加工硬化の程度を調べた。すなわち明石製作所製の微小硬度計を使い, 荷重を 25gr から 50gr おきに 1000gr までかえてその時の硬度を測定し, 一方その時の圧痕の対角線の読みから圧子の貫入深さを計算で求め, 硬度と貫入深さとの関係曲線を求める。なお一つの荷重について試料面 5 箇所で測定しその平均をとる。

4. 実験結果及び考察

4.1 残留応力分布の 1 例

次に実験結果の例を示そう。図 3 は実測された $a - 1/\rho$ の関係曲線で, 図 4 はこれから求められた σ の分布を示す。

これから超仕上面の残留応力は圧縮応力であり, その応力はこの条件で表面下 20 μ 位まで存在することがわかる。なおこの応力分布の形は H. R. Letner と H. J. Snyder が求めたラッピング面の残留応力分布¹⁰⁾ によく

図3 $a - \frac{1}{\rho}$ の関係曲線の1例

図4 残留応力の分布の1例

似ており、しかも彼等の場合より最表層部の残留応力が低く、応力の及ぶ範囲の深いことも筆者らの試料は1% C 炭素鋼で彼等のは焼鈍マンガン鋼であり、また筆者らの超仕上圧力が彼等のラッピング圧力より高いことを思えばよく説明がつく。

また上述のごとく超仕上面の残留応力が圧縮応力であることは超仕上作用が切削効果以上にパニッシュ効果を受けていることを示しており、このことは筆者が前に報告した超仕上抵抗の解析結果¹¹⁾と良くあつている。

4.2 表面の残留応力と摩擦力の関係

上述のごとく超仕上面の残留応力には超仕上抵抗（一般にこれは切削項と摩擦項を含んでいる）の摩擦項、すなわち摩擦力が大きな影響を及ぼすことが想像されるので、次にこの摩擦力とその際の超仕上表面の残留応力の関係を調べた。

図5はその実験結果を示す。なお摩擦力は砥石圧力にある一定の摩擦係数（この実験条件では0.15）をか

図5 表面の σ と摩擦力の関係

けたものである。この実験結果から摩擦力、従つて砥石圧力の大きい程表面の圧縮残留応力は大きくなることがわかる。

4.3 表面の残留応力と残留応力の及ぶ深さの関係

次の図6は表面の残留応力と残留応力の及ぶ深さ（圧

図6 表面の σ と σ の及ぶ深さの関係

縮残留応力が0になるまでの深さ）の関係を示す。これから表面の残留応力の大きい程残留応力の及ぶ深さも僅かに深くなることわかる。

4.4 残留応力と加工硬化の関係

図7は改良微少硬度法による実験結果の1例を示す。

図7 改良微少硬度法による実験の1例

また表面下5 μの平均硬度増加と表面下5 μの平均残留応力の関係を図8に示す。

これから加工硬化の程度の大い程残留応力も大きいことがわかる。

図8 表面下5 μの平均硬度増加と平均の σ 関係

5. 結 論

筆者は本報において超仕上面の残留応力を腐蝕溶去法で求め、これについて2, 3の考察を行つた。

以下得られた実験結果を記列すると

(1) 超仕上面の残留応力は圧縮応力でその分布状態は

ラッピング面のそれとよく似ている。

(2) 超仕上面の残留応力が圧縮応力であることから超仕上作用が切削効果以上にバニッシュ効果を受けていることがわかる。

(3) 超仕上抵抗の摩擦項，従つて砥石圧力の大きい程表面の圧縮残留応力は大きくなる。

(4) 表面の残留応力の大きい程 残留応力の及ぶ深さも僅かに深くなる。

(5) 超仕上面の加工硬化の程度の大きい程 残留応力も大きい。

終りに当り本研究について 御指導を賜つた東北大学佐藤教授，実験の補助，図面の作成等で協力を得た庄子榮祐君ならびに砥石について 援助を受けた呉製砥所に深く謝意を表する。

(1957, 8月23日 受付)

文 献

- 1) R.G. Treuting and W.T. Read : J.App. Physics, Vol.22, No.2 (1951), 130.
- 2) H.R.Letner, H.J.Snyder, L.V.Colwell 諸氏の研究がある。
- 3) D.G. Richards : Proc. Soc. Experimental Stress Analysis, Vol.3, No.1 (1945), 40.
- 4) 浅枝敏夫, 奥島啓武, 高沢孝哉諸氏の研究がある。
- 5) J.Frith, E.G.Thomsen 諸氏の研究がある。
- 6) 浅枝敏夫, 広瀬正吉, 大野明, D.G.Richards, J.O.Almen 諸氏の研究がある。
- 7) 川田雄一 : 機械学会誌, Vol.55, No.406 (1952)16.
- 8) 松井正己 : 精密機械, Vol.22, No.11 (1956), 477.
- 9) 松井正己 : 精機学会講演会前刷 (1956), 17.
- 10) H.R.Letner and H.J.Snyder : Trans. AS ME, Vol.75, No.5 (1953), 873.
- 11) 松井正己 : 註 8) に同じ。

玉軸受軸の回転中の振動に就いて

第2報 種々外的条件の振動におよぼす影響*

正会員 奥野源次郎** 川 口 格**

On the Vibration of a Rotary Shaft with Ball Bearing in Its Rotating State (Part 2)
The Effects of the Various Outer Conditions on the Axial Vibration of the Shaft

Genjiro OKUNO and Itaru KAWAGUCHI

The effects of the various outer conditions on the axial vibration of the shaft in its rotating state were observed. The results obtained were : (1) When the mounting of the ball bearing was incorrect, the amplitude of the axial vibration increased remarkably with increase of the number of rotations of the shaft, and it reached 17.2μ , at its maximum, even in the state of no load. (2) When the mounting of the ball bearing was comparatively correct, the amplitude was 2 to 4μ , and it showed a tendency to increase with the increase of the number of rotations in the state of no load. (3) The amplitude usually increased with the increase of the load of the tangential braking force, but the inclinations of the curves of the amplitude vs. the number of rotations of the shaft indicated interesting variation for the different tangential braking forces. (4) When the rotating power was transmitted by a rubber belt, the amplitude was very unstable.

1. 緒 言

回転軸の振動に就いて種々実験が行われている。しかし現在迄行われた実験は，殆んど軸の半径方向の振動に

就いてであり，軸の危険性を主目的にしたもので，軸方向の振動に就いては殆んど実験が行われていない。軸方向の振動は他の外的条件に左右されない限り ボールベヤリングの軸方向遊隙，外輪，内輪の溝横振れ，ボールの径の不揃，ボールおよび内外輪の剛性等によつて影響されることは明らかである。故にベヤリング軸を他の外的

* 昭和29年4月24日精機学会春季講演会にて一部発表

** 大阪府立大学工学部