

Fig. 2. Effect of quenching temperature on cementite content

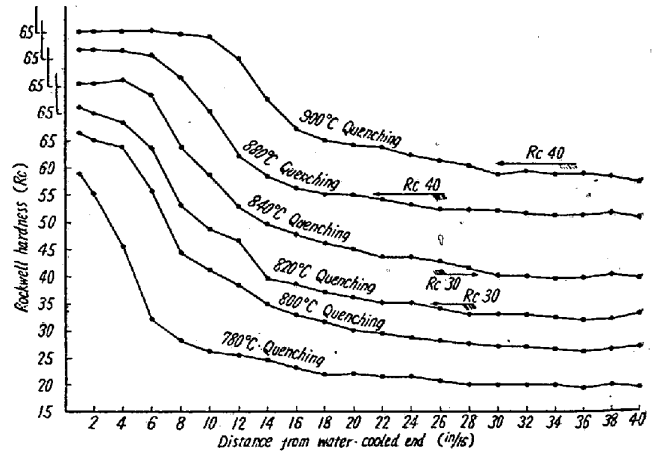


Fig. 3. Effect of quenching temperature on end quench curve

る。

IV. 結 論

以上製鋼法の相異により焼入感受性に非常なる相異を来たし、硬度、圧壊荷重ではその差異は僅かであるが、残存する Fe_3C 量には可成りの相異を来たす。即ち、 Fe_3C の固溶速度が相当異なるのである。筆者が第2報で述べたがこの Fe_3C の固溶速度は N 量に関係するものと、しからざるものとがあることが判明した。後者については未だ原因が不明であるが、これは鋼の“Virginity”に依存するものと考えられる。S-K-F のリング材は非金属介在物等はいくつかあるがオーステナイト状態で安定であつて、焼入感受性に敏感でない。このことは Fe_3C の固溶速度にも関係し、800°C~880°C の間の Fe_3C の固溶は非常に安定している。このために実際の現場作業の際焼入温度の変化によつて余り Fe_3C の固溶程度に変化なくて、作業者にとつて焼割れ、結晶粒の生長その他の心配もなく、且つ又この程度の Fe_3C の残存により軸受の寿命の最大な所を継持するに何等の困難をも感じない。

(60) 軸受鋼の研究 (IV)

(リング状試片の内部応力に及ぼす焼戻温度の影響)

Studies on Ball-Bearing Steels (IV)

(Effect of Austenitizing Temperature on Internal Stress of Ring-Type Test Pieces)

Manabu Ueno, Lecturer, et alius.

工業技術院機械試験所 工〇上 野 学

明治大学工学部 工 村 外 志 夫

Fig. 2 は焼入温度とセメンタイト含有量との関係を示す。素材の時は3種の鋼とも約 15% Fe_3C がフェライト地に点在している。今HとRの挙動をみると、Rは非常に溶込み易く 800°C より直線に固溶する傾向を示し、880°C で残存する Fe_3C 量は僅か 1% 程度になる。ところが、H では 840°C まで固溶しにくい、840°C 以上になると急に固溶し始めて 880°C で R と同じ Fe_3C 量となる。しかるに S-K-F の素材をみると、800°C までに可成り Fe_3C は溶込み、800°C 以上 880°C までの間 Fe_3C の溶込みが緩慢になつている。上記の実験事実を考察すると、S-K-F は実際に現場で焼入作業中に保持している焼入温度範囲では Fe_3C の固溶程度は安定である、即ち焼入感受性について敏感でない。R、H の鋼はこの焼入温度範囲の僅かの変化でも Fe_3C の固溶程度が著しく変化するので、焼入感受性に敏感である。

(4) 一端焼入試験について：R と H の試料について一端焼入曲線に及ぼす焼入温度の影響を求めた。H の試料についての関係を Fig. 3 に示す。これより H の試料では 820°C より焼入の際にのみ中間組織があらわれる不連続部分があらわれる。然し R の試料では 820°C、840°C、880°C 焼入温度にてこの不連続部分を生ずる。この一端焼入曲線より油焼入した場合丸棒の中心の硬度が Rc63 と Rc55 を示す時の丸棒の臨界直径を求め、これと焼入温度との関係を求め報告する。

(5) 結晶粒度について：各焼入温度に3時間保持して徐冷する、即ち徐冷法を用いて結晶粒度を求める。そして結晶粒度に及ぼす焼入温度の影響を求めて報告す

I. 緒 言

一般に金属の場合どのような処理，操作を行つても，必ず内部応力の発生をとまなうのである．内部応力を考える場合，まず，その測定法の種類，発生の原因，除去法並びにこれと関連した各種現象が問題となる．測定法の種類のうちには (1) 機械的方法 (2) X線以外の物理的方法 (3) X線的方法の 3 種がある．(1) の機械的方法の内には (a) E. Heyn, G. Sachs 等による円筒体の内部応力の測定法，(b) 薄いパイプの内部応力を求める方法，即ち内部応力の分布が一方で高い引張りで，他の表面で圧縮応力を示すように均一に応力が変化しているものでは切裂法 (slitting method) を用いる測定法，(c) 板及び細い棒の内部応力の測定法等がある．然しボール・ベアリングの如きリング状試片の内部応力の測定法はまだ確立されていないので，著者はリング状試片の円周方向の内部応力と半径方向の内部応力を求める計算式を導びき，その計算式に基づいて軸受鋼のリング状試験片を焼入焼戻処理したものについて，内部応力を実験的に求めた．かくして焼入によつて生じた内部応力が焼戻温度によつて如何に変わるかを本稿にて報告する．

II. 数学的考察

Fig. 1 に示す如くリングの内面から任意点 r まで切削した時，外半径 b が Ab だけ変化したとする．しかる時この切削によつて生じた外半径位置に於ける円周方向のひずみ ϵ_θ は Ab/b となる．

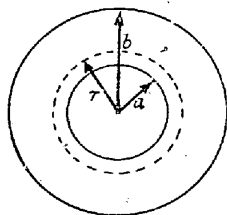


Fig. 1

内部応力のあるリングを内面から r 点まで切削した時の力学的効果は， a から r までの応力が消失し， r 面が自由面となつたことである．即ち， r 面に垂直に作用していた半径方向内部応力 σ_r が消失した為，外半径点に Ab/b の円周方向ひずみが発生したとみるのである．このひずみ Ab/b は内半径 r の中空円柱に大きさ σ_r の内圧が加つた時の外半径点に於ける円周方向ひずみと等しい．これは内圧を受ける円柱の弾性問題を解けばよく普通の弾性学の教科書から容易に，

$$\frac{\Delta b}{b} = (\epsilon_\theta)_b = \frac{1}{E} \{ (\sigma_\theta)_b - \nu(\sigma_r)_b \} = \frac{1}{E} (\sigma_\theta)_b = \frac{2r^2 \sigma_r}{E(b^2 - r^2)}$$

故に r 点に於ける半径方向内部応力は， r 点までの切削による実験データ ω であらわされ，

$$\frac{\sigma_r}{E} = \frac{\omega}{2} \left(\frac{1}{R^2} - 1 \right) \dots\dots\dots (1)$$

(b : 外半径 Δb : 内径を切削した時に生ずる外半径の寸法変化 E : ヤング率 r : 任意の半径 ω : $\Delta b/b$ R : r/b)

となる． r 点に於ける円周方向内部応力 σ_θ は釣合方程式，

$$\sigma_\theta = R \frac{d\sigma_r}{dR} + \sigma_r$$

から求まる．故に

$$\sigma_\theta = \frac{1}{2} \frac{d\omega}{dR} \left(\frac{1}{R} - R \right) - \frac{\omega}{R^2} + \frac{\omega}{R} \left(\frac{1}{R^2} - 1 \right) = \frac{1}{2} \frac{d\omega}{dR} \left(\frac{1}{R} - R \right) - \frac{\omega}{2} \left(\frac{1}{R^2} + 1 \right) \dots\dots (2)$$

(1) (2) 式により任意点 r の残留応力は r 点までの切削データ ω により算出出来る．本実験では内面から切削して外面までは切削しないから外面附近の応力はでない．

然し外面は内面と等しい冷却条件であるので応力も内面とほぼ同様な形であることが推定出来る．

III. 試料と実験方法

実験に使用した素材は軸受鋼第 2 種で，その化学組成は Table 1 に示す通りである．

Table 1. Chemical composition of ball-bearing steel.

| Composition | C (%) | Si (%) | Mn (%) | P (%) | S (ppm) |
|--------------------------|-------|--------|--------|-------|---------|
| Type of steel | | | | | |
| Ball-bearing steel No. 2 | 1.10 | 0.34 | 0.45 | 0.020 | 0.022 |

| Composition | Cr (%) | Cu (%) | Ni (%) | N (%) |
|--------------------------|--------|--------|--------|-------|
| Type of steel | | | | |
| Ball-bearing steel No. 2 | 1.42 | 0.11 | 0.28 | — |

内部応力の測定に使用した試験片は外径 110mm，内径 60mm，厚さ 10mm のリング試片である．実験を行つた熱処理法は Table 2 に示す如く，焼入温度を一定としておき焼戻温度を変えて，その際に表われる内部応力の変化を求めた．

Table 2. Heat treating methods used for the experiment.

| Mark | Quenching method | Tempering method |
|------|---------------------------|--------------------|
| No.1 | 840°C×40 mm oil quenching | As quenched |
| No.2 | " | 130°C×1h Tempering |
| No.3 | " | 150°C×1h " |
| No.4 | " | 180°C×1h " |
| No.5 | " | 200°C×1h " |

上記の熱処理したリング試片の外径を標準のゲージ・ブロックを基準とした理研製の測微指示計で測定する。その際試験片の円周を8等分し、それぞれの所にマークしておき、その各部分の外径を測定する。そして8個の平均をもつてその外径とする。測微計の精度は ±0.2μ 程度である。

次にリング試片の内径をグラインダーで 1mm~2mm づつ切削し、切削し終つた後に各試片の外径を前述の方法で測定し、8個の平均外径を求め、そして切削しない前と切削後の外径の変化量より 2ab が求められる。ab より ω が求められ、これを (1) (2) 式に導入することにより、σ_r と σ_θ とを求めることが出来る。

IV. 実験結果と考察

上述した如き実験方法により ω を求め、ω と R との関係曲線を求める。この曲線の切線が (2) 式の dω/dR を示すことになる。これらの値を (1) (2) 式に代入して、各試片について R, ω, σ_r/E, σ_θ/E の関係を求める。紙上の都合上 No.1. 即ち焼入したままの試料について上記関係を求めると Table 3 の如くなる。

Table 3 より R と σ_r/E, R と σ_θ/E の関係曲線を求めると Fig. 2 の如くなる。斜線で示した部分が始めの内面である。この Fig. 2 からわかるようにσ_r/E 即ち半径方向の内部応力は円周方向の応力に比して非常に僅かである。そのため σ_r/E×10 の曲線を Fig. 2 に示した。円周方向の内部応力は内面近くは引張り応力であり、それから少し内部に入るにつれて圧縮応力になり更に引張り応力になり、中心部は圧縮応力となる。R=0.57 の所、即ち b=55mm にすると r=31.4mm となる。半径 r=31.4mm の所では σ_θ/E=36.64×10⁻⁴

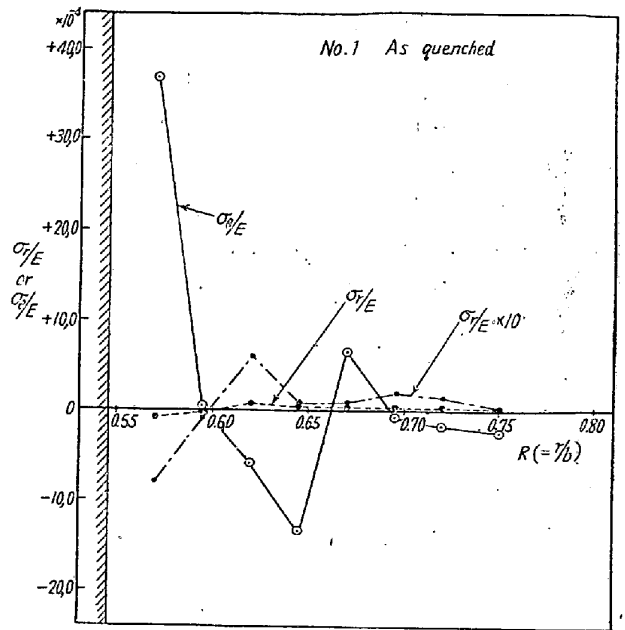


Fig. 2 Relation between R and σ_θ/E or σ_r/E of No.1. specimen.

となる。E (ヤング率) は鋼の場合に 21000 kg/mm² とすれば、σ_θ=36.64×10⁻⁴×21000 kg/mm² となる。即ち、σ_θ≐76.9 kg/mm² となる。故に焼入れたままでは内面より約 1.4mm の内部は約 76.9 kg/mm² の引張応力の内部応力が発生していることになる。130°Cにて焼鈍するとこの内面近くの σ_θ が引張応力で、且つ又焼入のままよりも内部応力が高くなる。

他のものについては発表の当日に報告する。

V. 結 論

実験結果より判断すると、130°Cで焼戻すると焼入のままよりも内面の内部応力は高くなり、150°Cで焼戻するとこの内部応力が減じ、更に 180°Cで焼戻すると150°Cよりもかえつて内面の内部応力が増加する。これは筆者が軸受鋼の研究(第1報)⁹⁾にて発表したごとく 180°Cで残留オーステナイトが分解してマルテンサイトに変態して膨脹現象を伴うためにもとづくものと考えられる。200°Cで焼戻すると 180°Cで増加した内部応力が減少する。

Table 3. Relation between R, ω, σ_r/E, σ_θ/E of No.1 specimen.

| R | 0.57 | 0.595 | 0.62 | 0.645 | 0.67 | 0.695 | 0.72 | 0.75 |
|------------------------------------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|-------|-------|
| ω | -0.56 | 0.12 | 0.76 | 0.04 | 0.12 | 0.36 | 0.28 | 0.04 |
| σ _r /E×10 ⁺⁴ | -0.79 | 0.109 | 0.607 | 0.028 | 0.073 | 0.192 | 0.131 | 0.016 |
| σ _θ /E×10 ⁺⁴ | 36.64 | 0.312 | -6.12 | -13.468 | 6.357 | -1.141 | -1.82 | -2.27 |