

Fig. 1. Design curves at 500°C

示した。図中0.1hにおけるクリープ破断強度は、500°Cにおける高温引張強度を示し、又0.0001%/hにおける最小クリープ速度は500°C、300hクリープ試験結果から求めた値を取った。この結果符号A(Cr-Mo-V鋼)がやはりクリープ破断強度最強で、次いで符号C(Ni-Mo-V鋼)と符号D(1%Cr-Mo鋼)、最も弱いのは符号B(Ni-Cr-Mo鋼)と符号E(2.5%Cr-Mo鋼)であるが符号CおよびDあるいは符号EおよびBは共に前者が短時間強度は優り、長時間になる程後者が優った結果であつた。この結果は短時間高温引張試験の結果で、その材料の耐クリープ性の優劣を比較すると、誤まる恐れのあることを示している。

クリープ破断後の伸びは符号Aは12~13%で可成り低いが、符号B、C、Dは20~30%、符号Eは30%以上の伸びを生じた。符号Aは耐クリープ性は良好であるが伸びが他に比べて低いので幾分衝撃に対して懸念があるが、蒸気タービンローターは殆ど衝撃的な要素は無いと考えられるので、この点についてはさほど考慮する必要はあるまい。

### (3) 顕微鏡組織

500、550°Cクリープ試験後の試験片および500°C破断試験破断後の試験片につき、その縦断面を顕微鏡により観察して組織の変化を調べた。前報では焼準焼戻処理後500および550°Cで300h保持し、この再焼戻処理による衝撃値、組織の変化を調べたが、常温衝撃値も顕微鏡組織も共に変化は認められなかつた。今回調査したのは、前回同様500~550°Cにおける保持は約300h程度のクリープ試験後の試験片であるが、異なる点は負荷した状態で再焼戻した点にある。

この調査の結果、焼準・焼戻でかなり荒いベーナイト組織の残留を示す鋼種符号B、C、Dではクリープ試験における試験温度・試験荷重の大なる程炭化物が無負荷の場合に比べて、幾分球状化する傾向が見られた。一方熱処理後この様なベーナイト組織を示さず、すでに球状化している符号E、Aではこのような傾向は認められなかつた。このことは符号E、AはB、C、Dに比して $A_c1$ 変態点が可成り高く、従つて焼戻温度も高く

取つたため、熱処理によつてすでに炭化物が球状化しているためと思われる。

(註) 前報; 鉄と鋼, 第42年, 第3号, p. 334 (日本鉄鋼協会第51回講演大会にて講演)

## (112) 高周波焼入の研究 (II)

(歪に関する実験)

A Study on Induction Hardening (II)

(Experiments on Distortion)

K. Nagaoaka

北海道立工業試験場 工長 岡金吾

### I. 緒言

熱処理に伴う歪は、生産上におよぼす影響が大きく、特に形状によつては材料並びに工程に多くの無駄と苦心が払われてもなお充分とは言えぬ結果で妥協せざるを得ないことがある。高周波焼入を機械部品に應用するについてはその歪発生の少いことが、他の方法に優つて實際的效果をあげ得る場合が多い。

高周波焼入での局部的急熱、急冷および変態による体積変化はいずれも残留応力、歪の発生する条件であつて、しかもなお高周波焼入によつて歪の少いのは、部分加熱により歪の発生を拘束する条件がこれに加わるからに他ならない。すなわち、場合によつてはむしろ大きな歪も生ずるのであつて、実際にもしばしば経験される。

高周波焼入による残留応力、歪の発生機構については既に議論されている。しかし、この歪を拘束する条件は種々の要素によつて影響されるものであるが、これについての詳細な報告はほとんど見られないので、實際作業に資するよう、焼入条件との関連において歪の発生を検討すべく二、三の実験を行つた。なお、焼入は真空管方式によるものであるが、この方式によれば、周波数が高く、加熱表層が薄いことが、歪の発生に如何なる影響をおよぼすかについても明らかにするように努めた。

### II. 実験方法

高周波焼入による歪は、部分的急熱による加熱歪および焼入による冷却歪と変態歪とにその原因から分けられる。前者は収縮、後の2者は膨脹になる。中空円筒の表面を高周波焼入した場合、その焼入条件と肉厚によつては1.0%もの直径の収縮が経験された。この収縮歪は高周波加熱の特色を示すものであるから、主としてこの歪に影響する条件について試験した。

焼入を行つた高周波発振機は真空管方式で周波数は

430K.C である。加熱コイルは内径 70mm 長さ 18mm の単巻定置焼入用のものである。被加熱試料は中空円筒で外径 60mm, 従つて空隙 2mm の条件で加熱された。試料の内径は試験の目的によつて変化せしめた。材料は焼準した S50C を使用した。

予め、試料に入る実効電力をカロリー法で測定し、これから求めた電力密度を加熱条件とした。空隙 2mm の選定は試験の結果、2mm 以下の空隙では、実効電力は急増するが、加熱の不均一が顕著になるので実際作業に採用している 2mm とした。試料は加熱終了と同時にその位置において噴水により急冷した。

歪の測定は 1/1000mm 指示の微小測長器によりゲージブロックとの比較測定を直径 3 方向に対して行い、その平均値から求めた。又焼入後に試料を半径方向に切断して、その外径変化を測定し参考にした。硬化深さは顕微鏡組織から判定した。実験は一定の電力密度における加熱時間の影響、試料肉厚、円筒内部水冷の影響を求めた。又電力密度の影響を肉厚の異なる場合について試験した。更に、焼入後の試料の内径を切削により拡大してその際の歪の変化を測定した。

III. 実験結果

(1) 加熱時間の影響: 高周波焼入においては電力密度と加熱時間が焼入深さ等を支配する。電力密度を一定の  $1.0 \text{kw/cm}^2$  とし、外径 66mm 肉厚 12mm の試料の外表面を加熱時間を変えて焼入した。加熱時間と外径の変化との関係は Fig. 1 に示す如くである。加熱時間が短く、硬化の生じない間は、歪は負であるが、硬化するに至つて膨脹がこれに加つていることが知られる。硬化層の大になるに従つて膨脹は急増する。この場合外径歪の零になるのは硬化深さ約 1.2mm の場合であつた。

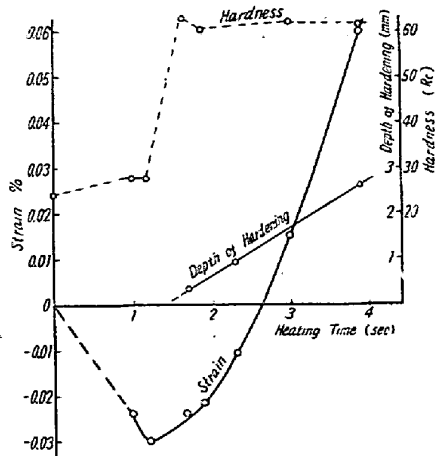


Fig. 1. Relation between strain of outer dia. and heating time.

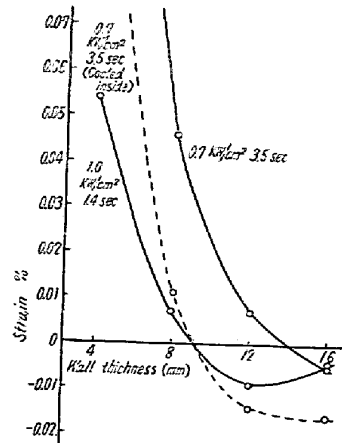


Fig. 2. Relation between strain and power-density.

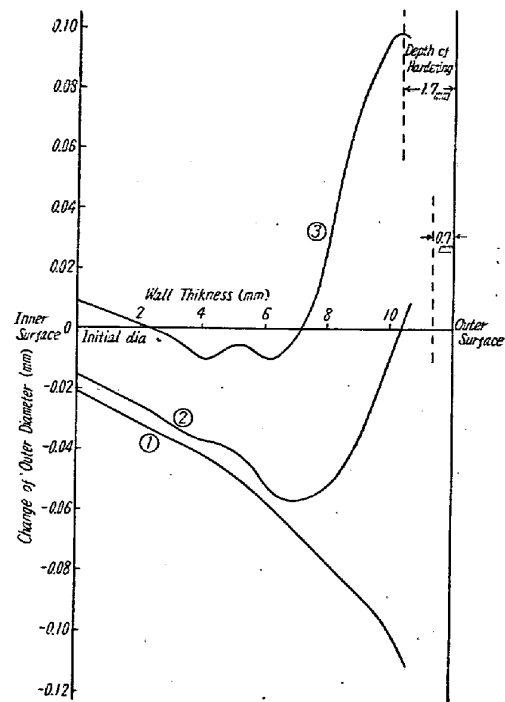


Fig. 3. Change of diameter by boring.

(2) 電力密度および肉厚の影響: カロリー法によつて、実効電力を測定した結果、電力密度  $1.04 \text{kw/cm}^2$ ,  $0.68 \text{kw/cm}^2$  に対してそれぞれ 1.4 秒および 3.5 秒の最小焼入時間が得られた。これらの条件で外径 66mm 肉厚 4, 8, 12 および 16mm の 4 種の試料に対して焼入を施した。Fig. 2 はこの結果で電力密度を大にすることによつて歪は負の側に移つた。肉厚 4mm に対して  $0.7 \text{kw/cm}^2$ , 3.5 秒の焼入では硬化が全厚におよび歪も著大であつたが  $1.0 \text{kw/cm}^2$ , 1.4 秒では満足すべき表面焼入が出来た。歪におよぼす肉厚の影響は伝熱上の理由と考えられるが、薄肉円筒の焼入の場合には留意すべきで、同一条件の焼入でも肉厚によつて歪に著しい差の生ずることが知られた。

(3) 内部水冷の影響: 肉厚により歪に差の生ずることが知られたので同様の意味で内部水冷の影響について試験した。Fig. 2 中に示すように内部水冷によつて歪は負側に移つた。肉厚の小なる試料については硬化層は小になると共に歪も減じているが、肉厚の大なる試料では硬化深さに対する影響は小なるにもかかわらず、歪はかなり負の側に移つている。

(4) 内部研削による歪の変化: 薄肉円筒の表面焼入で歪を小ならしむる手段として、加熱条件を適当にする方法と別に、予め厚肉の試料の表面に焼入を施し、後に内部を切削して歪の少い結果を得ることが考えられる。加熱時間を変化して焼入した試料で ① 硬化するに至らず収縮したもの② 硬化しかつ収縮歪になつたもの③ 膨脹したものの3個の内径を研削により漸次拡大し直径の変化を測定した。Fig. 3 はその結果でいずれも最初は収縮になるが硬化した試料ではやがて膨脹に変化する。硬化層の厚い程この傾向は大きい。これらは残留応力の状態により異なるものであるが、歪は内部切削によりかなり変化し、場合によつては歪の回復も可能なことを示している。

#### IV. 結 論

高周波焼入による歪は規則正しく生じ、かつコントロールし得る歪であることが指摘されている。円筒表面の高周波焼入による歪を小にする条件を求めて二、三の実験を行い次のような結果を得た。

- (1) 表面硬化の進むにしたがい、その直径は最初は収縮、次で膨脹に変化する。したがつて歪の生じない条件で表面硬化を行う事が可能である。
- (2) 電力密度を大にする。肉厚を大にする。又は内部冷却をする等によつて歪は負の側に移る。
- (3) 硬化深度を大にする等によつて歪は正の側に移る。
- (4) 焼入後の試料の内部を切削する事により歪は変化する。場合によつて、歪を回復することが可能である。

### (113) 鋼中非金属介在物判定法の研究

Study on the Microscopic Determination of the Inclusions Content in Steel

T. Shimegi, et alius.

関東特殊製鋼 ○標 正・小沢 博

#### I. 緒 言

学振第 19 小委員会では昭和 14 年に非金属介在物に

よる鋼品位判定法を制定し爾来広く採用されて来ている。然しながら測定誤差が大きいため信頼性に欠ける憾みがあり、学振においても非金属介在物協議会が設置され信頼性の高い判定法を確立すべく共同研究が行われる。協議会で研究審議された結果の中間報告は 30 年 4 月の本大会において芥川博士により発表されている。本報告によれば B 系介在物の清浄度は測定個所間の変動は非常に大きく最小 1.0 から最大 9.4 のばらつきがあると述べられている。

当社においては日常作業として学振法により介在物の判定を実施して来ているが経験的に B 系介在物は研磨後の洗滌、乾燥方法および測定開始迄の放置時間が試料研磨面の酸化に大きな影響があるために B 系介在物の清浄度に大きな誤差を生ずる原因となつていたことが分つていたので今回簡単に実験を行いその結果について報告し参考に供する次第である。なお A 系介在物についても二三の実験結果について述べてみたいと思う。

#### II. 顕微鏡的非金属介在物測定値におよぼす酸化の影響について

研磨完了時の洗滌、乾燥方法および測定開始迄の放置時間が測定値におよぼす影響について。

実験に使用した試料の化学成分は Table 1 の通りである。(Table 1 省略)

各試料を学振法規定の如く処理し検鏡用試料に製作した。バフ研磨後の洗滌および乾燥を熱湯又は水洗滌、アルコール乾燥を行つた後所定の時間空中に放置した後、介在物の測定を行つた。その結果を Table 2 に示した。

Table 2 に示した通り A 系介在物は洗滌、乾燥方法および研磨後測定迄の放置時間の影響を受けることは少いが、B 系は非常に大きな影響を受けることが分る。即ち試料の研磨面に非常に小さな酸化物を発生しこれが B 系介在物として誤認され測定されるためによるものである。

Fig. 1 (省略) に酸化により生じた疑似介在物の増加状況を顕微鏡写真で示した。洗滌、乾燥は熱湯で行つたものが良好であり、研磨が完了したら直ちに測定することが肝要である。湿度の影響もかなり顕著で梅雨時には測定中に微少酸化物を発生すると云う激しい変化を生ずることもあるから注意を要する。

以上述べた通り測定面の酸化即ち錆発生は介在物測定においては軽視出来ない主要な因子であり特に B 系清浄度の誤差発生原因であると考えられる。

#### III. A 系介在物について

A 系介在物は 100 倍程度の倍率では硫化物と珪酸塩と