

高周波中斷焼入に関する研究

(昭和 28 年 10 月本会秋期講演大会にて講演)

西村 秀雄*・三谷 裕康**水馬 克久

RESEARCH ON THE STOP-QUENCHING OF THE
INDUCTION SURFACE-HARDENING*Hideo Nishimura, Dr. Eng., Yuko Mitani, Dr. Eng., and Katsuhisa Mizuma*

Synopsis:

For the purpose of stress-relief in the induction surface-hardening the martempering was superior to the tempering at low temperature. However, the surface of martempered steel was stained with salt, therefore the martempering could not be applied to the induction surface-hardening.

Fortunately, the induction surface-hardening was operated automatically by the magnetic relay. As soon as the water-cooling of the induction surface-hardening was stopped, before the induction heated specimen was completely cooled down to the temperature of water, this specimen was cooled in air or oil, and the effects similar to that of the martempering on the induction surface hardening were obtained. For this purpose, the experiments were carried out with a 0.44% C-0.92% Cr steel.

I. 緒 言

特殊鋼を高周波焼入する場合、炭素含有率が0.40%以上になると割れ易くなる。特にクロームを含有する鋼材では、加熱時の拡散が遅い関係上、炭素含有量を多くして高い表面硬度を得んとする傾向がある。之が却つて焼割れの原因となる。一般には低温焼戻によつて之を防止するのであるが、マルテンパーリングの方が有効である事は筆者の一人が報告して来た¹⁾²⁾。然るに、塩浴や合金浴を使用してマルテンパーリングを行つと、表面の肌荒れて使用に困難を来す。故に、高周波焼入の噴射水冷を中斷する事により、マルテンパーリングと同様の効果が得られるならば甚だ都合である。幸いにかゝる目的に適した多段時限装置が高周波熱錬株式会社に於て完成されたので、之を利用して工業化に適合した特殊鋼の高周波焼入方法を検討し、実用に供せんとするものである。

II. 試料及び実験方法

試料は高周波焼入特殊鋼として試作された低クローム合金鋼である。組成は第1表に示す。

試片の大きさは直径 30mm、厚さ 20mm であり、中心に直径 16mm の孔をあけた。此の孔を利用して治具を取付け、焼入中斷後直ちに手で取り出せる様にした。なお焼入中斷後は空冷又は油冷した。油冷した理由は、必

第1表 試料の化学組成

元素名	C	Si	Mn	Cu	Cr	P	C
含有率%	0.44	0.21	0.73	0.15	0.92	0.017	0.008

ずしも空冷しなくても、Ms 以下の冷却速度を遅くすればマルテンパーリングに近い効果のある事を認めたからである³⁾。なお高周波加熱後、直接油焼入するとトルースタイトが出る危険性があるので、直接油焼入をする事は避けるべきである。複炭化物生成元素、例えばクロームの如き合金元素を含有する場合、その恒温変態図は、高周波焼入の如き短時間加熱では、変態速度が速やかになり⁴⁾⁵⁾、あだかも炭素鋼の如き恒温変態図となるので、トルースタイトが出易くなる。

加熱線輪は内径 34mm、深さ 22mm とし、中空噴射水冷式にした。高周波加熱条件は 30~34 K.W., 4.2~4.4 秒加熱であり、水冷の条件は加熱線輪中に試片を装置したまま水を噴射して、その水頭が約 5cm 位になる様にした。水冷時間はすべて多段時限装置によつて自動的に制御された。多段時限装置はサイクロンによる断続器であり、リレー回路中に挿入し、更に水冷時間を 1/100 秒まで正確に読み得る様にサイクルカウンターを接続した。

* 京都大學教授 工博, ** 浪速大學教授 工博
*** 高周波熱錬 K.K.

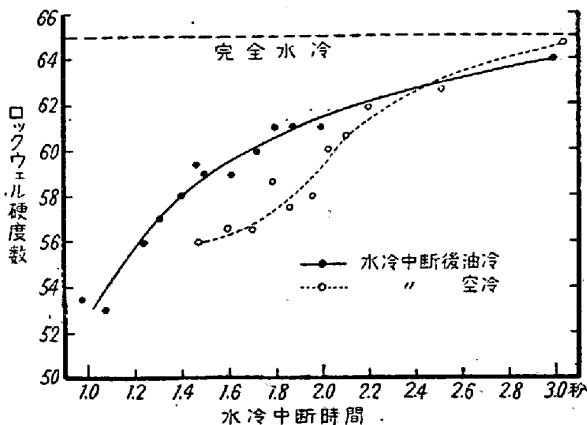
III. 硬度及び膨脹歪

表面硬度は試片の中央部で4ヶ所測定し、その平均値をとつた。外径歪は中央部が最も大きく膨脹して大鼓形になるので、中央部と上部及び下部で夫々6ヶ所等分して直径をマイクロメーターで測定し、夫々平均値をとつた。更に中央部の平均外径歪を2倍し、上下部夫々の平均外径歪を加えて4で割り、総平均の外径歪とした。内径歪は測定しなかつた。軸方向歪は最外層に近く標点を附し、一ヶ所の長さを測定して得られたものであり、測定誤差が多い様に思われる。

高周波加熱条件は上記の如く総て一定である。完全水冷の試片では、表面硬度 Rc 65, 非硬化部の硬度 Rc 35, 外径歪 0.13%, 軸方向歪 0.54% であつた。

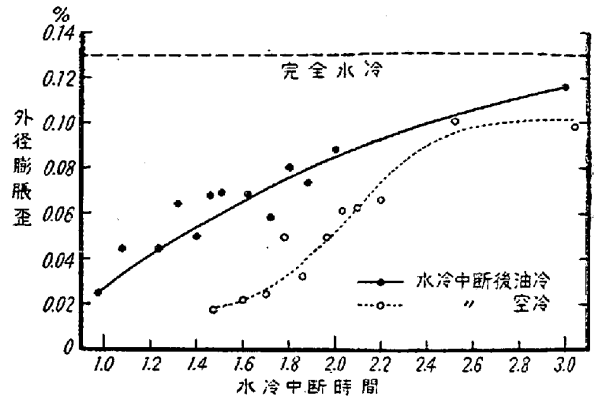
先ず、水冷中断後常温の油へ投じ二段焼入を行つた試片は水冷時間を夫々 1, 2, 3 秒として予備実験的に測定した結果、硬度は夫々 Rc 53.5, 61, 64, 外径歪は夫々 0.023%, 0.088%, 0.117% となつた。マルテンパーリングの経験により、外径歪が完全水冷の場合の約半分、乃ち 0.06~0.07% を目標とすると、水冷時間は 1~2 秒が妥当と考え、1 秒より約 0.1 秒宛水冷時間を増加して 2 秒まで測定した。

次に、水冷中断後空冷した場合は、水冷時間を若干延長すべきものと考え、2, 2.5, 3 秒で水冷を中断して、後空冷した場合、夫々試片の硬度は Rc 65, 62.5, 64.7. 外径歪は夫々 0.061, 0.101, 0.103% となつた、したがつて油冷の場合を参照して、水冷時間を 1.5~2.5 秒間で約 0.1秒宛間隔を置いて実験した



第1圖 水冷中断時間と表面硬度との關係

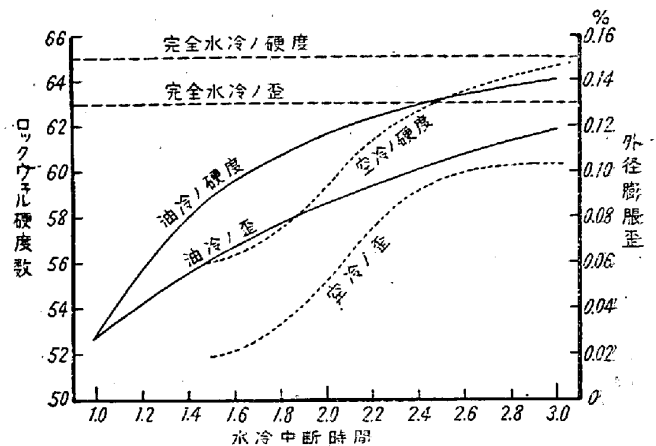
第1圖は表面硬度と水冷時間との關係を示すものである。3秒近くまで水冷したものは殆んど完全水冷のものと硬度が変らない。したがつて3秒以上水冷すると中断焼入の効果はなくなる。硬度として RC 60 位を合格と



第2圖 水冷中断時間と外径膨脹歪(平均値)との關係

すると、油冷の場合 1.7~2.2 秒位が適当な範囲と思われ。空冷の場合も同様の合格条件では 2.0~2.5 秒位が適当である。2.5 秒以上では空冷も油冷もあまり変わらず、1.5 秒以下では油冷と空冷が接近してくる。

第2圖は外径歪と水冷時間との關係を示すものである。完全水冷の外径歪 0.13% に対して、中断焼入の場合 0.05~0.09% を合格範囲とすると、油冷の場合大体水冷時間は 1.3~2.0 秒が適当となり、空冷の場合は 2.0~2.4 秒が適当な範囲となる。



第3圖 水冷中断時間、表面硬度及び平均外径歪との關係

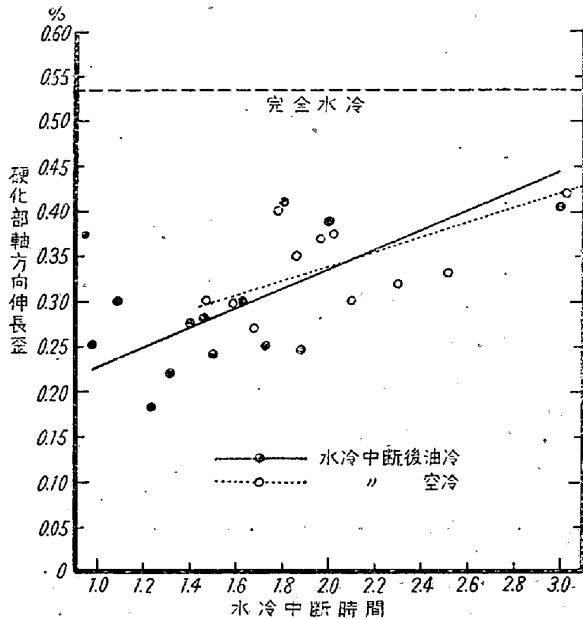
次に外径歪と硬度との關係を一覽出来る様に第3圖を画いた。硬度と歪の曲線の間隔が、完全水冷、油冷、空冷と漸次大きくなって居り、その間隔から硬度の高い割合に歪の少ない順序を示している。したがつて空冷が最も成績がよい。

油冷の場合は、1.5 秒以上の水冷では、硬度と歪の変化曲線は大体平行している。水冷時間が短くなる程2つの曲線が接近して、歪に比較して硬度が低い事を示す。空冷の場合は大体硬度と外径歪の曲線は平行している。今此の第3圖より、硬度が 58, 59, 60, 61, 62, 63 の場合の外径歪を求めると第2表の如き結果となる。

第2表 硬度と外径歪の比較

硬度 Rc	58	59	60	61	62	63
油冷の歪	0.055	0.063	0.070	0.083	0.095	0.107
水冷の歪	0.040	0.050	0.060	0.070	0.082	0.099

したがって同じ硬度ならば空冷の方が油冷より約0.01%だけ歪が少ない。



第4図 水冷中斷時間と硬化部軸方向伸長歪との関係

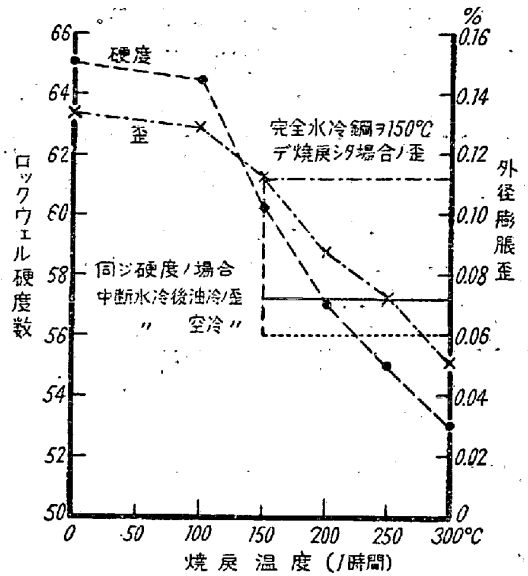
第4図は軸向方の歪を比較せるものであるが、大体の傾向として油冷も空冷も近似している。いずれにしても完全水冷の歪に比較すると遙かに少ない。水冷時間の影響は外径歪や表面硬度程顯著ではない。

IV. 焼戻と中斷焼入との比較

高周波焼入に於ける中斷焼入の効用は、低温焼戻を必要としないという点にあるので、両者を比較検討したのである。

試片の種類、形状、大きさ、並に高周波加熱条件は前に同じである。之を完全水冷した試片につき、夫々 100°、200°、250°、300°C にて各1時間焼戻を行い、表面硬度と外径歪を前と同様の方法で測定した。但し歪は外径の膨脹率をあらわし、高周波焼入前の外径に対しての膨脹率である。したがって焼戻温度が高いもの程、試片の膨脹率が減少する様な表現方法を用いた。第5図は実験結果を総括して図示したものである。

一般に、高周波焼入後の焼戻は 150°C 程度で行われている様である。第5図の 150°C 焼戻に相当する場合



第5図 完全水冷鋼を焼戻した場合の表面硬度及び外径歪の變化並に中斷焼入との比較

の硬度と相等しい硬度を示す如き中斷焼入鋼の歪を第4図より求め、第5図に於ける 150°C 焼戻の場合の歪と比較した。

第5図に示される如く、同じ硬度でも、焼戻した場合と中斷焼入を行つたものとは、その歪が甚しく異り、中斷焼入の方が遙かに歪が少ない。中斷焼入の中でも、同じ硬度ならば、空冷の方が油冷の場合より僅かに歪が少ない。したがって焼割れの防止、並に歪の減少から考えて、中斷焼入法が焼戻に勝ると考えられる。

中斷焼入を行うと、硬度が高い割合に何故歪が少ないかという点については、筆者の一人が既に見解の一端を述べている如く¹⁾、Ms 以下を徐冷した為に生ずる tempered martensite (下部ベイナイトとは異なるが、本質的には区別が付きにくい)⁶⁾、及び残留オーステナイト (Ms 以下に於けるオーステナイトの安定化)⁷⁾によるものと考えられ、之等は又互いに關聯性をもつものと考えられる。

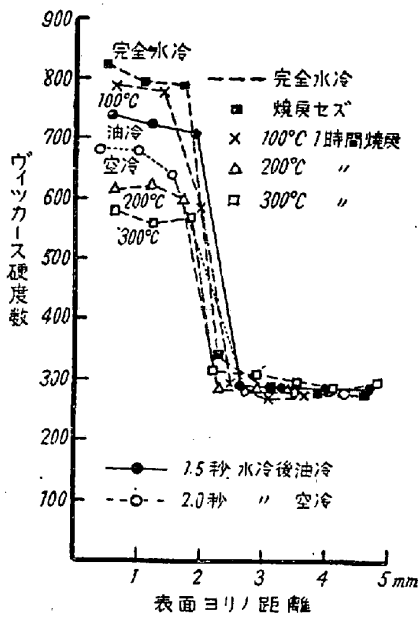
V. 残留應力の比較

高周波焼入では、焼割れが普通の焼入の場合よりは多い。その原因は高周波焼入により発生する内応力の大きな事によるものと考えられる。乃ち高周波焼入鋼と普通焼入鋼との残留応力を比較すると、高周波焼入鋼の残留応力値が遙かに大きい事によつて推量される⁸⁾。したがって高周波焼入に於ける応力除去が焼割れの防止に甚しく有効となる。しかるに応力除去の目的にはマルテンバースリングが低温焼戻より遙かに効果的であつたと同様に中斷焼入の場合も同様の効果が期待される。かゝる見地

より残留応力の比較実験を行つたのである。

先ず低温焼戻に使用した試片は、前項に述べたものの中 100°, 200°, 300°C で焼戻した試片を使用した。高周波中断焼入鋼としては、水冷時間 2.0 秒後空冷したものと、水冷時間 1.5 秒後油冷したものを使用した。いづれもその他の条件は前に述べたものと同様である。

以上の試片について硬度分布を測定した結果は第 6 図に示す。中断焼入鋼の硬度が丁度 150°C で焼戻した完全水冷鋼の硬度に相当する事が分る。



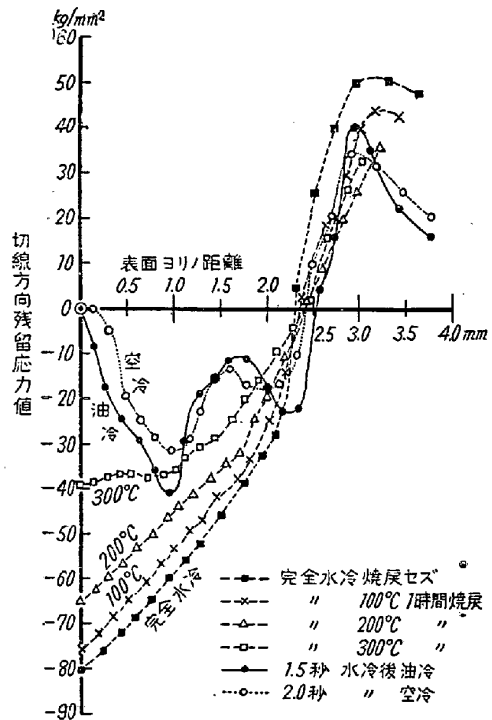
第 6 図 焼戻を行つた完全水冷鋼と中断焼入鋼との硬度分布の比較

之等の試片について残留応力を測定した結果は第 7 図に示す。なほ残留応力の測定方法は西原、遠藤博士の方法によつた⁹⁾¹⁰⁾。中断焼入鋼の残留応力値は、低温焼戻を行つた完全水冷鋼の残留応力値より少ない事がよく分る。したがつて中断焼入が応力除去の目的に適する事が立証される。

高周波焼入直後に焼割れを発生する様な場合には、低温焼戻を行つても役に立たない。焼割れを未然に防止し且つ低温焼戻以上に応力除去の目的に適した中断焼入法は実用に適したものと考える。

VI. 結 言

高周波焼入用鋼材として、従来炭素鋼では 0.4~0.5% C。特殊鋼では 0.35~0.45% C が適当とされていたのであるが、此の範囲以上の高炭素鋼が高周波焼入に適しないとされた主なる原因は焼割れである。米国の Tocco でも大体上記の如き規格を適用して居り、高炭素鋼は避けている様である。



第 7 図 焼戻を行つた完全水冷鋼と中断焼入鋼との応力分布の比較

我々の実験では、完全水冷せるものは数日を経て割れたものが多い。しかるに中断焼入を行つたものは全然割れなかつた。したがつて、割れ易い高炭素鋼の高周波焼入に中断焼入を利用するならば、焼割れの危険がなくなり、高周波焼入用鋼材の使用範囲が拡大され得る。

なお此の中断焼入法は原理的にはマルテンパーリング及び引上げ焼入に近似したものであるが、高周波焼入に限り、かゝる焼入方法を stop-quenching と称し、interrupted quenching と区別したい。

以下中断焼入法の利点と欠点と思われるものを列記する。

利 点

- (1) 歪及び残留応力が少く、焼割れを防止する。
- (2) 焼戻の必要がなく、作業時間を短縮する。
- (3) 高炭素の鋼材にも高周波焼入が可能となる。
- (4) 硬度を比較的容易に選定出来る。
- (5) 多量生産に適する。
- (6) 鋼材の肌を荒らさない。

欠 点

- (1) 時間の調整が微妙であり予備実験を要す。
- (2) 均一なる硬度が得られにくい。(特に空冷の場合)
- (3) 形状複雑なるものに適しない。
- (4) 残留オーステナイトが多いと考えられる。

なお、目下色々変つた焼入方法について工夫中であり、実際の応用については色々検討を加える必要があると思ふ。材料を御提供下さつた会社に対して厚く御礼申し上げる。実験に御協力下さつた高周波熱練 K. K. 土方技師、及び大阪府工業奨励館小林技師に深甚の謝意を表する。

(昭和 29 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) 三谷, 廣瀬, 小林: 日本金屬學會誌 (1952) 16 卷 11 號, 620 頁.
- 2) 三谷: 日本金屬學會誌 (1953) 17 卷, 7 號, 350 頁
- 3) 三谷: 大阪府工業奨励館報告 (1953) No. 5—1, 16 頁.
- 4) J. F. Libsch, W. Chüang, and W. J. Murphy: Trans. A.S.M. (1950) 42, 121.
- 5) 三谷: 大阪府工業奨励館報告 (1953) No. 5—2, 19 頁.
- 6) A.B. Greninger, and A. R. Troiano: Trans. A.S.M. (1940) 28, 537.
- 7) P. Gordon, M. Cohen, and R. S. Rose: Trans. A.S.M. (1944) 33, 411.
- 8) 三谷, 小林: 日本金屬學會誌 (1952) 16 卷 10 號, 545 頁.
- 9) 西原, 遠藤: 日本機械學會誌論文集 (1949) 15, 50, 1—1.
- 10) 高瀬, 三谷: 日本金屬學會誌 (1952) 19 卷 2 號, 117 頁.

バネ材料に関する研究 (V)

(昭和 28 年 4 月本会講演大会にて講演)

堀田秀次*・川崎頼雄**・堀 一夫**・宮川嘉人

STUDY ON THE SPRING MATERIALS (V)

Hideji Hotta, Dr. Eng., Tatsuo Kawasaki; Kazuo Hori and Yoshito Miyakawa

Synopsis:

Many materials were studied hitherto by the authors as the spring materials for high temperatures, and these results were reported in Tetsu-to-Hagané as the 1st to the 4th reports.

In the 4th report, it was recognized that from the experimental results of microscopic structure, hardness, tensile strength and elongation, the material corresponding to a die steel No. 5 was found superior when treated at a constant temperature to which it had been treated with ordinary quench-temper method.

This time, the results of the test on tensile strength, elongation and microscopic structure at high temperatures upto 500°C were summarized as follows.

(1) In comparison with the ordinary quench-tempered material, the material which had been quenched at 1100°C and treated at constant temperatures of 350°C and 600°C was superior.

(2) From the result of studying the effect of holding time, remarkable differences were not recognized with the materials which had been treated at the constant temperature upto 500°C affecting the holding time.

(3) From result of the effect of the holding time at 500°C for 240 min., the properties of the material were recognized to be changed but a little.

(4) The die steel No. 5, when treated at a constant temperature was considered superior as spring material for high-temperature uses upto 500°C.

* 熊本大學工學部 冶金學教室 工學博士, ** 熊本大學工學部 冶金學教室