

(134) 大型ターボ発電機軸材の噴霧焼入について

日本製鋼所室蘭製作所

阪部喜代三・〇堀 清・本間 亮介

On the Fog-Quenching of Heavy Shaft Forgings for Turbo-Generators.

Kiyozō Sakabe, Kiyoshi Hori
and Ryōsuke Homma.

I. 緒 言

大型合金鋼材の調質は一般に油焼入、焼戻と焼準、焼戻に限定される。油焼入の場合最も容易に高い機械的特性を得ることができるが、油の中で完全に冷却しては焼割れを生ずることが必至なので油冷中に到達する鋼材内外の温度を推定して一定時間後に引上げ、大気または適当な温度の炉中で変態を完了せしめるのが普通である。この場合油中の浸漬時間の推定を誤り、また冷却速度、冷却時の発生応力を調整できぬための失敗を起すことが少なくなかった。一方焼準の場合衝風によつて強制冷却しても到達し得る冷却速度に制限があつて、期待される機械的特性を得ることができぬ。

大型ターボ発電機軸、軸車材の場合、その直径が1,000 mmを超へ内外にわたつて均一な高い機械的特性が要求されるにもかかわらず液中焼入が禁ぜられ、この相矛盾する問題の解決にせまられていた。このためわれわれは冷却炉内で噴霧を用い、必要とする温度範囲、時間にわたり、ほぼ油中冷却から大気中冷却の間の冷却速度に任意に調整し得る焼入装置を製作し、これによつて効果的な熱処理を行なうことができるにいたつたので、この装置の略要と実績を紹介する。

II. 噴霧焼入装置

焼入装置の概略を Fig. 1 に示す。この冷却炉は有効高さおおよそ 140,000 mm で地下に設けられており、焼入られる軸材は炉中に上部より懸垂され、焼入の全期間中 2 rpm の速度で回転する。

送風は送風機より送風管を経て、炉壁の長さ方向にそい 180° 対向に設けられた吐出口から衝風となつて吐出せしめられる。この送風機は 100 mmAq, 2,300 m³/h の容量を有する。また噴霧は衝風吐出口に設けられた特殊な噴霧ノズルより噴出せしめられ、その噴霧量は吐水量に換算して 2 m³/h までの能力を有している。

噴霧ノズルは約 10 mm の間隔に配置されているが、衝風吐出口とともに小区割ごとに分割され、それぞれ調整用の加減弁を備えている。ターボ発電機軸あるいは軸

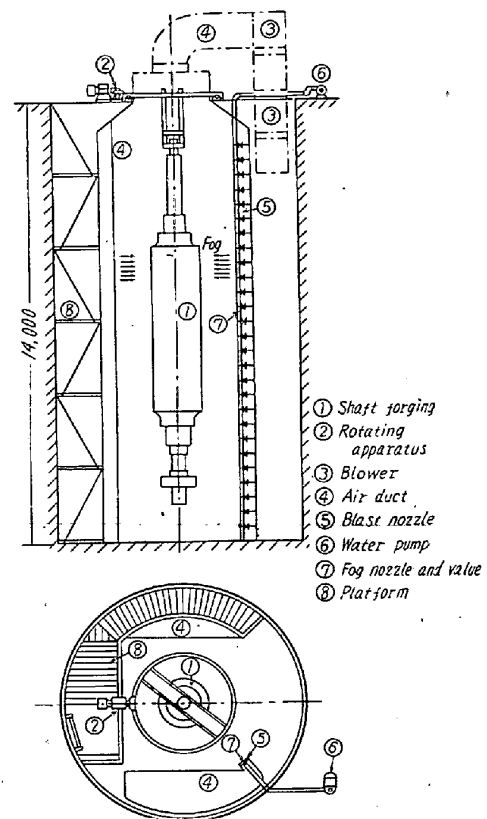


Fig. 1. View of a fog-quenching furnace.

車は胴径の軸径が大きくことなるのが普通であるから形状、胴径の相異にしたがい、これらの加減弁を調整することによつて、焼入軸材の全長にわたつて均等な冷却速度を保持できるように配慮されている。

III. 焼入 操 作

Fig. 2 に焼入操作を図示した。図中上下の破線は 3% Ni-Mo-V 鋼、径 1,000 mm の軸材を焼準および油焼入したさいの軸表面について測定した冷却速度を示す。

噴霧焼入の場合は衝風および噴霧量を加減することによつて、油焼入焼準時の間の冷却速度を任意に与え得るが実際の操作に当つては、まずその鋼材の S 曲線（でき得れば CCT 曲線）から軸材中心部の理想的な冷却速度をもとめ、この冷却速度を保持せしめるために必要な軸表面の冷却速度を計算して焼入予定曲線を作成する。この計算は変態熱を無視し、Newton の冷却法則にしたがうものとしていわゆる severity of quench h を逆算することによつて行なはれる。

焼入中は軸材表面がこの焼入予定曲線にのつて冷却されるように、冷却炉のプラットホームから軸材表面温度を測定しながら噴霧操作を行う。Fig. 2 中の実線がその一例で、焼入初期は強烈に噴霧冷却し、軸材中心温度が曲線のパーライト範囲より脱したと推定される時より表面温度が bloom back しない程度に噴霧量を調整し

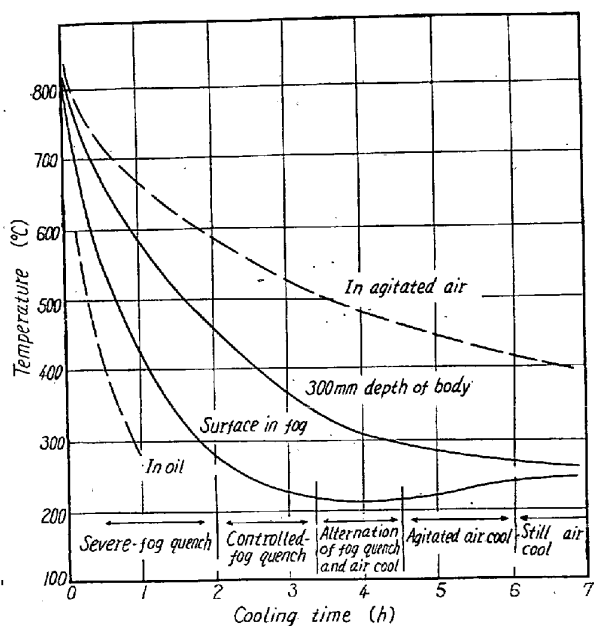


Fig. 2. Relative cooling rates of surface of 1000mm dia shaft on fog-quenching, oil-quenching and normalizing and illustration of fog-quenching operations.

ながら Ms 点直上で完全にベイナイト変態を終えさせ焼戻炉に装入する。

IV. 噴霧焼入せる軸材の特性

上述の噴霧焼入は一種のオーステンパーリングである。大型軸材の場合マルテンサイト変態を起させることは焼割れの点で危険であり、軸中心まで完全な変態は期待できぬのでかえって軸内外の機械的特性に均一性を欠く結果となるが、噴霧焼入によつてベイナイト領域で変態せしめることで、これらの問題は解決された。

Fig. 3, 4 に噴霧焼入を施した径 1,000mm の発電機軸の断面の材力分布と組織写真を掲げたが、軸内外とも均一なことを示している。このことは軸全長にわたつても指摘できる。また焼準(衝風)焼戻した発電機軸と噴

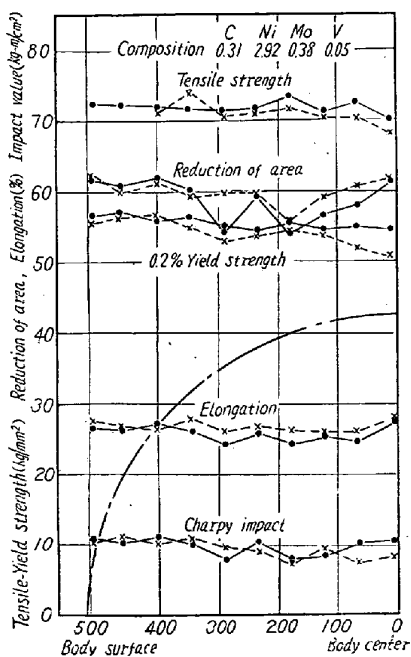


Fig. 3. Mechanical properties of the section of fog-quenched generator shafts (test specimens longitudinal).

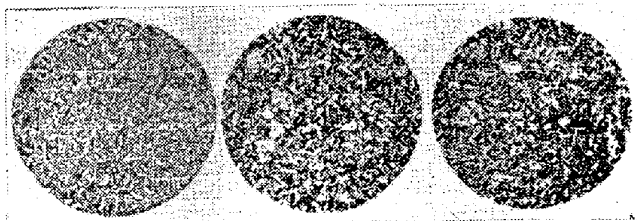


Fig. 4. Micro-structures of fog-quenched generator shaft's section. (3% Ni-Mo-V $\times 200$ (2/5) 3% picral etch)

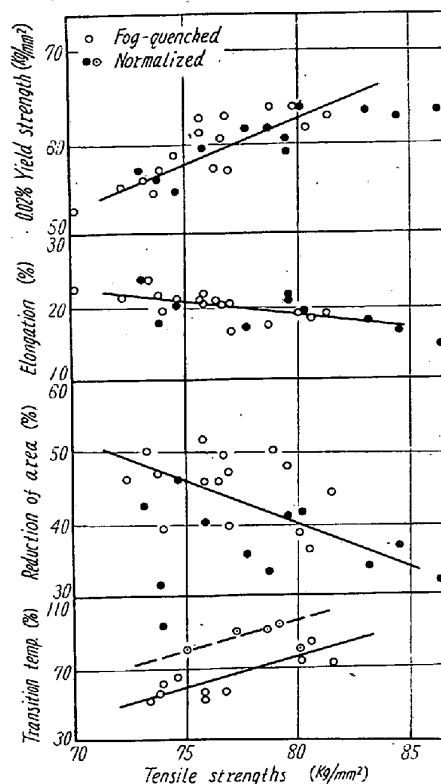


Fig. 5. Mechanical properties of a normalized and fog-quenched generator shaft. Steel of the shaft; 3% Ni-Mo-V. Specimens: Body, core-drilled from 150mm depth.

霧焼入。焼戻せるものの機械的特性を比較すれば Fig. 5 のごとく引張強さに対する降伏強度がすぐれている特色を示している。さらに最近発電機の破壊事故から遷移温度について大きな関心がはられるに至っているが、従来この温度の引下げが容易でなかったにもかかわらず噴霧焼入の採用によつて明確に 10°C 以上を低下せしめ得た。

V. 結 言

すぐれた機械的特性が高度に要求される大型発電機軸および軸車の熱処理に独自の冷却炉で噴霧焼入をおこない、良好な成績をあげ得た。この噴霧焼入の特徴は次の点にある。

- 1) 焼割れの懼れなく、軸材の全軸長および内外にわたって完全なベイナイト変態をおこなわせ得る。
- 2) 焼入中の冷却速度の測定、調整が簡易にできるので、焼入の各段階で軸心部の変態状態もある程度理論的に推定できる。
- 3) 上記のことから軸の全面にわたって均一な機械的特性を持たせることができ、衝風冷却のものに比べてすぐれ、特に遷移温度を 10°C 以上低温側に引下げ得た。
- 4) また軸車の場合、熱安定性をいちじるしく向上せしめ得た。

(135) 重電機用大型ローター材の衝撃遷移温度について

神戸製鋼所神戸研究部

西原 守・〇中野 平・後藤督高・新名英司
Study on Transition Temperature of Large Rotor Forgings for a Thermal Power Generation.

Mamoru Nishihara, Taira Nakano,
Tadataka Gotō and Eiji Niina.

I. 結 言

さきに重電機用高圧タービンローター材 ($1\text{Cr}-1\frac{1}{4}\text{Mo}-\frac{1}{4}\text{V}$ 鋼) については、焼入冷却速度に伴う常温および高温の機械的性質の変化を報告したり、ついで低圧タービンローターおよび発電機ローターを対象として数種の代表的鋼種をえらび、焼入冷却速度と機械的性質との関係を調査しており、焼入性にたいしてはすでに報告したので²⁾、ここでは焼入後所要強度に焼戻した場合の焼入冷却速度と衝撃遷移温度との関係、C含有量およびオーステナイト化温度の影響について報告することとする。

II. 供 試 材

供試材は前回で報告した6鋼種のなかの、Ni-Mo-V 鋼2鋼種(低C材と高C材)、Cr-Mo 鋼2鋼種 (1Cr 材と 3Cr 材)、の4鋼種で、いずれも500kg塩基性高周波炉により熔製した50kg鋼塊を30mm角材に鍛伸

後、焼ナラシ→低温焼鈍をおこなって試験に供した。

供試材の化学成分を Table 1 に示す。

III. 実 験 結 果

焼入は冷却速度が自動的にコントロールできる特殊冷却装置³⁾をもちいておこない、焼入冷却速度を $2540\sim 33^{\circ}\text{C}/\text{h}$ に変化させ、焼入後、引張強さが 70 kg/mm^2 ないし 80 kg/mm^2 になるように適当な温度で焼戻した。

オーステナイト化条件は $850^{\circ}\text{C}/2\text{h}$ とし、Ni-Mo-V 鋼(低C材)にたいしてはオーステナイト化温度を 815°C に下げた場合の衝撃遷移温度におよぼす効果を試験した。

1) Ni-Mo-V 鋼について

Ni-Mo-V 鋼(低C材)は発電機ローター、およびタービンローターを対象として、おのおの引張強さを 70 kg/mm^2 と 80 kg/mm^2 に焼入焼戻しし、Ni-Mo-V 鋼(高C材)はタービンローターを対象として引張強さ 80 kg/mm^2 に焼入焼戻しをおこなった。

この鋼種は焼入特性でものべたように $2,000\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の広い焼入冷却速度範囲にわたってほとんどベイナイト組織が得られるため、焼入冷却速度の変化にともなう衝撃遷移曲線の偏位が小さい。Fig. 1, 2 は低C材、高C材を 80 kg/mm^2 に焼入焼戻した場合の焼入冷却速度—衝撃遷移曲線の関係をしめしたもので、含C有量の影響について考えてみると焼入冷却速度 $2540\sim 33^{\circ}\text{C}/\text{h}$ の範囲で高冷却速度域では高C材の方がすぐれた遷移温度を示すが、大型ローターの実際の冷却速度範囲 $300\sim 50^{\circ}\text{C}/\text{h}$ では低C材の方がすぐれていることがわかる。

次いで低C材についてオーステナイト化温度を 850°C から 815°C に下げた場合の焼入冷却速度と遷移温度との関係を試験した結果 Fig. 3 に示すようにオーステナイト化温度を低目にえらぶことによつてすぐれた衝撃性質の得られることを確認できた。

2) Cr-Mo 鋼について

Cr-Mo 鋼はタービンローターを対象として研究をすすめ、引張強さが 1Cr-Mo 鋼の場合 70 kg/mm^2 、 3Cr-Mo 鋼の場合 80 kg/mm^2 になるように焼入焼戻

Table 1. Chemical compositions of specimens tested. (%)

Mark	Steels	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
T-1	Ni-Mo-V, low-C	0.24	0.18	0.65	0.011	0.011	0.09	2.78	0.10	0.48	0.09
T-2	" high-C	0.31	0.30	0.65	0.010	0.018	0.12	2.50	0.34	0.49	0.11
T-3	$1\text{Cr}-\frac{1}{4}\text{Mo}$	0.35	0.39	0.68	0.016	0.006	0.10	<0.10	1.00	0.23	0.10
T-4	$3\text{Cr}-\frac{1}{2}\text{Mo}$	0.32	0.22	0.62	0.013	0.012	0.10	0.07	2.96	0.55	0.12