

(165) 蒸気タービン軸用1%Cr-1%Mo-1/4%V鋼の高温強度におよぼすオーステナイト化温度からの冷却速度の影響

日本製鋼所, 室蘭製作所

工博 渡辺十郎・○熊田有宏・岩崎恭三

Effect of Cooling Rates from Austenitizing Temperature on High Temperature Strength of a 1%Cr-1%Mo-1/4%V Steel for Steam Turbine Shaft Forgings.

Dr. Jūrō WATANABE, Yukō KUMADA and Taizō IWASAKI.

1. 緒言

1%Cr-1%Mo-1/4%V 鋼は高圧および中圧の大型蒸気タービン軸車材として広く使用されており, その高温強度に関する研究も数多く発表されている^{1)~4)}. 大型タービン軸車の表層部および中心部において高い強度と靱

性を得るためには軸車全体をベイナイト組織とすることが望ましく, このため当所においては軸車材の調質の際には fog-quenching を行なっている. しかし, 最近, K. A. RIDAL⁵⁾ および M. P. SIDEX⁶⁾ は Cr-Mo-V 鋼においては上ベイナイト組織の方が下ベイナイト組織よりもクリープ強度が秀れていることを報告している. また, 佐々木氏⁷⁾ も同鋼種のクリープ破断強度は全ベイナイト組織でフェライトが生じない限度において冷却速度が遅い方が良好であることを報告している.

オーステナイト化温度からの fog-quenching は, 軸車内部の冷却速度を早めることによつてフェライトの生成を妨げ, 中心部の衝撃遷移温度を低下させ, かつ, 他の諸機械的性質を改善することを目的としている. この場合表面層の組織としては下ベイナイトとなる. このように, 軸車中心部における性質に注目すれば fog-quenching は是非必要と考えられるが, 冷却速度を遅くして上ベイナイト組織を得ることによつて表層部の高温強度が著しく改善されるのであれば表層部の組織として上ベイナイトを目標とすべきである. このためには, まず, 冷却速度の差によつて高温強度にどの程度の差が生ずるかを確かめる必要がある. 本報ではこのような目的にしたがつて, オーステナイト化温度からの冷却速度を実験室的に変えた試料を用いて平滑および切欠ラプチャー試験を行なつて冷却速度の影響を検討した.

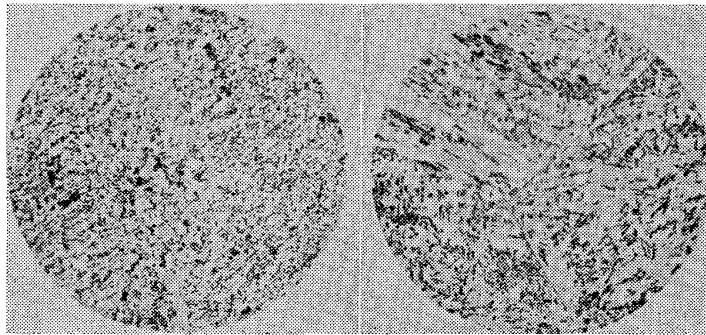
2. 試料および実験方法

実験に供した材料を Table 1 に示す. 材料は高周波電気炉で溶解し, 500 kg の鋼塊としたものを 20 mm φ に鍛造した. 熱処理は 970°C × 20hr のオーステナイト化後 970~500°C の平均冷却速度として 63°C/min および 19°C/min の速度で冷却した. 前者は fog-quenching を行なつた場合のタービン軸車材の表層部の冷却速度に相当し, その組織は Photo. 1(a) に示すごとく微細な粒状炭化物が分布している. 後者の組織は Photo. 1(b) のごとく比較的粗い棒状の炭化物を示している. 焼もどし温度は両冷却速度とも 675°C に 24hr 保持後炉冷を行なつた. 以上のごとき熱処理を施した試料を用いて, 室温および 550°C における引張試験, 550°C における平滑クリープ破断試験および切欠ラプチャー試験を行なつた. 平滑クリープ破断試験片は直径 6 mm, 標点距離 50 mm である. 切欠ラプチャー試験片は深さ 1 mm, 先端半径 0.075 mm の 60°V 切欠を有し, その応力集中係数は約 4 である. 試験は 550°C で実施した.

3. 実験結果および検討

3.1 冷却速度と硬度

Fig. 1 に 970°C から種々の速度で冷却した試料の焼もどし前および焼もどし後の硬度を示す. 焼もどし前は油焼入した試料 (930°C/min) の硬度が最高である



(a) Cooling rate: 63°C/min
(b) Cooling rate: 19°C/min ×1000(2/3)

Photo. 1. Microstructures of specimens.

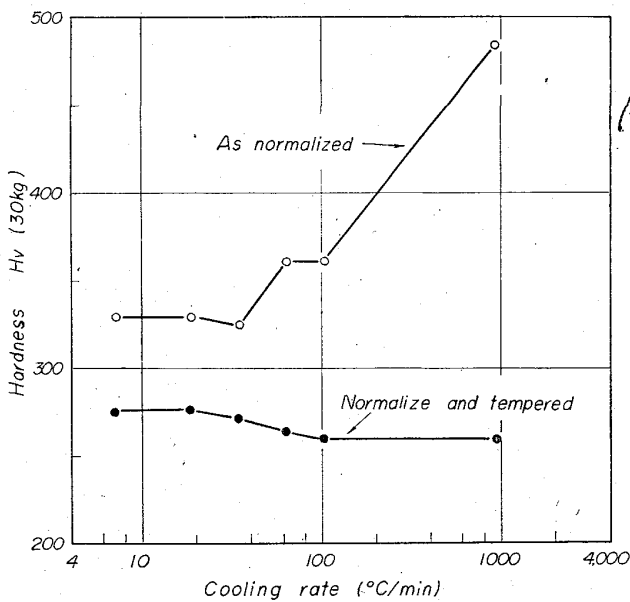


Fig. 1. Hardness vs. cooling rates from austenitizing temperature. Austenitized at 970°C and tempered at 675°C for 24 hr.

Table 1. Chemical composition of specimen (wt.%).

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
0.32	0.35	0.70	0.013	0.008	0.16	1.06	1.06	0.24

Table 2. Tensile properties of specimens at room temperature. (D=9.9 mm, L=35 mm)

Cooling rate °C/min	Micro-structure	(0.2%) Y. S. kg/mm ²	U.T.S. kg/mm ²	Elongation %	R. A. %
63	Lower bainite	66.5	79.6	22.4	63.0
		67.7	79.6	22.4	62.9
19	Upper bainite	70.4	83.9	19.3	47.4
		71.7	83.6	18.7	46.6

Table 3. Tensile properties of specimens at 550°C. (D=7 mm, L=50 mm)

Cooling rate °C/min	Micro-structure	(0.2%) Y. S. kg/mm ²	U.T.S. kg/mm ²	Elongation %	R. A. %
63	Lower bainite	47.9	51.9	13.0	79.7
		47.7	52.6	15.3	79.9
19	Upper bainite	50.7	54.6	13.4	70.2
		50.6	55.5	13.2	67.4

が、ベイナイト組織の範囲 (7.2°C/min~100°C/min) では硬度は2つのグループに分かれている。すなわち、50°C/min 以上の速度で冷却した試料の硬度が高く、34°C/min 以下の冷却速度では低い硬度を示している。しかし、焼もどし後では、この関係が逆転し、34°C/min 以下の冷却速度の方がむしろ高い硬度を示している。

3.2 室温および高温における引張試験結果

Table 2 に室温引張試験結果を、Table 3 に 550°C における引張試験結果を示すが、冷却速度の遅い上ベイナイト組織の試料は引張強さ、降伏強さともに冷却の早い下ベイナイト組織に比して高い値を示している。このことは Fig. 1 の焼もどし後の硬度からも予想できる。また、伸びおよび絞りも逆に小さい値を示している。以上の傾向は 550°C においても同じで、室温における強度の差は 550°C においてもほぼそのまま残っている。ただし、伸びおよび絞りの値は差が小さくなっている。

3.3 クリープ破断試験結果

Fig. 2 にクリープ破断試験結果を示す。同図から明らかのように、平滑試験片のクリープ破断強度は冷却速度の遅い上ベイナイト組織の方が強い。また、切欠試験片については短時間側では両組織に差がないが、長時間となるほど下ベイナイト組織の強度が高い。上ベイナイト組織では約 400hr から平滑試験片よりも切欠試験片が弱くなっている。すなわち、下ベイナイト組織の試料ではこの試験時間の範囲にわたって切欠ラプチャー強度比は 1 以上であり切欠強化を示しているが、上ベイナイト組織の試料では約 400hr から切欠劣化を示している。Fig. 3 に平滑試験片の破断時の伸びおよび絞りとの関係を示すが、下ベイナイト組織の方が伸びおよび絞りが大である。しかし、絞りは両試料とも時間が長くなるにつれて急速に低下するのが認められる。

以上の結果から、オーステナイト化温度からの冷却速度を遅くし、組織を上ベイナイトとすることによって平滑試験片のクリープ破断強度は高まるが、切欠試験片のラプチャー強度は逆に低下することが明らかとなった。

切欠材のラプチャー強度におよぼす因子については現状ではまだ明らかでないが、切欠形状、温度、時間を一定にすると材料の延性が相当大きな影響をもつと考えられる。この意味で Fig. 3 からベイナイト組織の方が切欠感受性が大きいといえよう。また、R. M. GOLDHOFF ら⁸⁾は種々に熱処理した Cr-Mo-V 鋼の応力緩和試験を行ない、応力緩和の性質と切欠ラプチャー強度とを関連づけて、応力緩和しやすい材料ほど切欠強化をあらわすと述べている。

Fig. 4 に最小クリープ速度と破断時間の関係を示すが、短時間側では冷却速度による最小クリープ速度の差は認められないが、破断時間が長時間になるほど冷却の遅い上ベイナイト組織の方が最小クリープ速度が小さくなる。クリープ速度と応力緩和速度とは関連があり、クリープ速度の小さいものは応力緩和速度が小さいと考えられるから、冷却速度が遅く、組織が上ベイナイトの試料は切欠部におけるき裂の発生および伝播に対しては下ベイナイト組織の

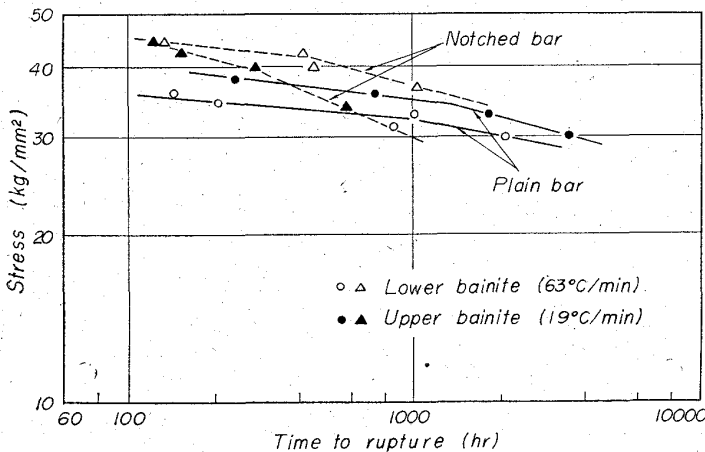
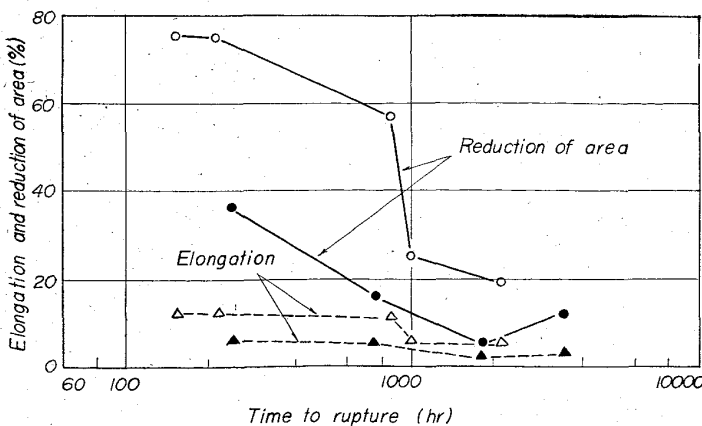


Fig. 2. Creep-rupture test results at 550°C.



○△ Lower bainite (63°C/min) ●▲ Upper bainite (19°C/min)
Fig. 3. Rupture time vs. rupture elongation and reduction of area.

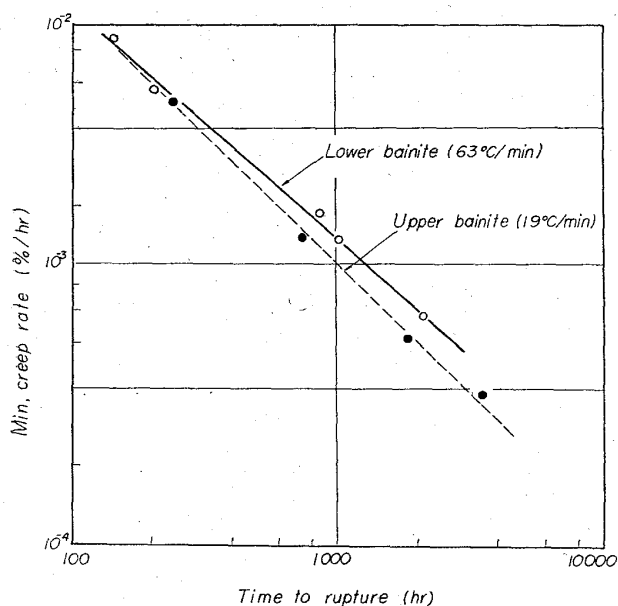


Fig. 4. Rupture time vs. minimum creep rate.

試料に比して、より危険であるといえよう。

4. 結 言

蒸気タービン軸用 Cr-Mo-V 鋼のクリーブ破断強度におよぼすオーステナイト化温度からの冷却速度の影響をみるため、冷却速度を 2 種類に変えて上ベイナイト組織および下ベイナイト組織の試料を作成し 550°C で平滑および切欠ラプチャー強度を比較し、次の結果を得た。

- (1) 平滑試験片のラプチャー強度は上ベイナイト組織の方が高い。
- (2) 切欠ラプチャー強度は冷却の早い下ベイナイト組織の方が高く、上ベイナイト組織では切欠劣化が生じた。
- (3) タービン軸車においては平滑ラプチャー強度はもちろん重要であるが、軸車の表層部を考える場合には切欠ラプチャー強度の方を重視すべきであり、この点から、軸材の冷却は表層部の組織として下ベイナイトを狙った冷却を行なうべきと考える。

文 献

- 1) F. E. WERNER, T. W. EICHELBERGER & E. K. HANN: Amer. Soc. Metals, 52 (1960), p. 376
- 2) M. H. JONES, D. P. NEWMAN, G. SACHS & W. F. BROWN Jr.: Amer. Soc. Metals, 47 (1955), p. 926
- 3) 渡辺, 本間, 熊田: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1892
- 4) 佐々木: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1899
- 5) H. G. A. BATES & K. A. RIDAL: International Conference on Creep, 1 (1963), p. 1-99
- 6) G. J. P. BUCHI, J. H. R. PAGE & M. P. SIDEY: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 203 (1965), p. 291
- 7) 佐々木: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 975
- 8) R. M. GOLDHOFF & L. B. BARKER: Amer. Soc. Test. Mat., 62 (1962), p. 1176

(166) 12Cr 鋼の機械的性質におよぼす 焼入時の冷却速度の影響

東京芝浦電気, 中央研究所

工博 三戸 暁・工博 吉田 宏
 “タービン工場 ○金 沢 暎

Effect of Cooling Rates in Quenching after Austenitizing on the Mechanical Properties of 12% Chromium Steel.

Dr. Satoru MITO, Dr. Hiroshi YOSHIDA and Ei KANAZAWA

1. 緒 言

蒸気タービン用羽根の素材として製造する 12Cr 鋼は、しばしば焼入速度の差によつてカタサや機械的性質が影響されることがある。たとえば、長さ 1500~2000 mm 程度の圧延鋼材の場合、焼入時に生ずる変形のため真直度が得られぬなどの理由で衝風焼入処理が行なわれることがあるが、このような処理や不均一な油焼入処理などを行なうと、鋼材全体に均一な冷却速度が期待できず機械的性質の差異を生ずる危険性がある。

蒸気タービン用羽根はこのような長い鋼材から 50~200 mm の鋼片に切断して加工されるので、素材の機械的性質、特に破断強さの均一性が強く要求される。そこで本報告では羽根材料として広く使用されている 12Cr 鋼の焼入時の冷却速度の機械的性質に与える影響を確かめ、あわせて衝風焼入について検討した結果を報告する。

2. 供試材料ならびに実験方法

供試材料は 500 kg 高周波電気炉で溶製し、造塊後真空アーク式消耗電極炉で再溶解した。この鋼塊を熱間圧延で 35×55×2000 mm に整形したものを使用した。この化学組成を Table 1 に示す。

この鋼材をそれぞれ 55 mm に切断し、980°C×1hr のオーステナイト化処理後、約 5000, 2000, 1000, 500, 300, 100, 10 および 5°C/hr の冷却速度で冷却し、その後 660~670°C×3hr の焼モディン処理後大気放冷した。他の鋼材は 950°C で 1hr 保持後、炉中に積み重ねた 5 本の鋼材を炉外に引き出し、それぞれ 600 m³/min, 1200 m³/min の風量のファンで 1000 mm 離れた位置より冷却後、上述の試料と同様に 660~670°C×3hr 大気放冷の焼モディン処理を行なつた。熱処理後、鋼材全長について約 100 mm 間隔でブリネルカタサを測定し、異なるカタサを示す 6 つの集団に分け、常温機械的性質ならびにクリープラプチャー強サの測定を行なつた。

Table 1. Chemical composition of specimen.

	C	Si	Mn	P	S
%	0.11	0.41	0.42	0.024	0.008
	Cr	Ni	Mo	Sn	Al
%	11.7	0.25	0.17	0.004	0.010