

Table 2. Mechanical properties of L. P. turbine shafts.

Heat treatment	Location	Direction	Yield strength (0.2%) kg/mm ²	Tensile strength kg/mm ²	Elongation %	Reduction of area %	Impact value (V-notch) kg·m/cm ²	Transition temperature °C
850°C×18h→Oil 640°C×43h→ F.C.	Journal	Longitudinal	68.5	85.6	23.6	65.4	21.0	-34
	Body	Transverse	66.5	83.0	21.3	53.6	11.1	-11
		Radial	66.4	82.8	23.8	63.1	18.8	—
870°C×18h→ Fan 640°C×43h→ F.C.	Journal	Longitudinal	61.3	79.8	24.5	64.8	23.2	+15
	Body	Transverse	61.9	80.9	20.5	47.9	9.0	+41
		Radial	61.7	80.6	22.2	56.0	7.2	—

Table 2 にそれぞれの熱処理後の軸端および胴端の機械的性質を示した。なお抗張力の目標は前述の高圧タービンシャフトの経験から、現在わが国で採用されている最も high grade の 75 kg/mm² とした。胴径が 1,000mm もある大型タービンシャフトにおいて、油焼入戻の場合はもちろんのこと衝風焼入戻の場合でも 640°C という高い焼戻温度で約 80 kg/mm² の抗張力が得られ、しかもタービンシャフト材として十分な靱性が保証できることが判った。

油焼入戻を施した場合の質量効果を知るために胴径 955mm の部分から直径方向に貫通した 25mmφ のコアを採取して、硬度分布および組織分布を調査した。この結果は表面から中心まで硬度はほとんど変化なく、内外一様な組織を示していた。続いて行なつた衝風焼入戻の場合の質量効果を知るために、最終形状に仕上げてから胴部を切断して内部の機械的性質を調査した。Fig. 3 に胴部切線方向の機械的性質の分布を示した。抗張力は内部でわずかに低下するが 0.2% offset 降伏比は内外とも約 77% を示しており靱性の低下もほとんど認めら

れない。同時に行なつた切線方向の V ノッチシャルピー試験片による遷移温度の測定結果を、50%靱性破面温度と比較すると、内外とも約 50°C でほとんど差がない。

また軸方向に採取した回転曲げ疲労試験片による疲労限は 38.5 kg/mm²、500°C における 1,000 時間のラバチャー強度は 31.8 kg/mm² である。

V. 結 言

3% Cr-Mo 鋼によつて船用の高・低圧タービンシャフトを製造し、その機械的性質と質量効果について調査した。その結果、胴径 1,000mm もある大型タービンシャフトに衝風冷却程度の熱処理を施すことによつて、十分な強靱性が得られまた内外の機械的性質の差もきわめて少く質量効果の小さいことを確認して、3% Cr-Mo 鋼がタービンシャフト材のみならずその他の大型鍛鋼品にも従来の Ni 系低合金鋼と同様に適用できることを明らかにした。

(85) 5Cr-1/2 Mo, 7Cr-1/2 Mo, 9Cr-1 Mo 鋼管材に関する研究

神戸製鋼所, 神戸研究部

平野 坦・山本俊二・○日浦 保

小林 弘・増田辰男

Study on 5 Cr-1/2 Mo, 7 Cr-1/2 Mo and 9 Cr-1 Mo Steels for Steel Tubes.

Hiroshi Hirano, Shunji, Yamamoto,

Tamotsu Hiura, Hiroshi Kobayashi,

Tatsuo Masuda.

I. 緒 言

最近石油工業の発達に伴い石油精製装置の加熱管として耐蝕、耐熱性の秀れた鋼管が要求されており、またボ

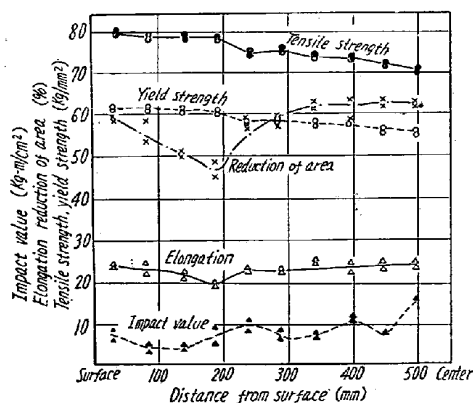


Fig. 3. Mechanical properties on transverse sections of fan cooled and tempered L. P. turbine shaft.

イラーの再熱器管としても耐蝕、耐熱性の秀れた鋼管が要求されていることはすでに周知の事柄である。

高温高圧用鋼管として具備すべき条件は、曲管などの施工上必要な冷間加工性を満足する範囲内において強大なクリープ強度を有するとき組織を有することであり、それとともに当然熱膨脹率、熱伝導度などの物理的常数の適当であることが要求される。本報においては種々の熱処理を行なった場合のクリープ強度変化を冷間加工性を加味した機械的諸性質との関連性を検討し、これら各種中合金 Cr-Mo 鋼に対し、ASTM 平均値を規準にとつた場合の耐熱材としての安定性について検討を加え、とともに最も秀れた耐熱材としての特性を具備せしめるために必要な熱処理法について検討した。

II. 供 試 材

供試材は Table 1 に示すごとき成分を有するもので、高周波炉にて熔解し 80kg 鋼塊を熔製した後 1 inch 丸棒に鍛造した。試料の熔解に際しては、Al 使用量を 100 g/t 以下とし結晶粒の粗大化を計った。表中 5Cr-1/2 Mo 鋼および 9Cr-1 Mo 鋼については、C 含有量を規格上限および下限に調節しクリープ強度におよぼす C 量の影響について調査した。

III. 熱処理による硬度および組織の変化

高 Cr-Mo 鋼はかなりの自硬性を有しているので熱処理法のおおよその考え方を整理するためジョミニー端

焼入試験を行なった。その結果予期のごとく 5Cr-1/2 Mo, 7Cr-1/2 Mo, 9Cr-1 Mo 鋼は、焼入性がきわめて大であることが認められた。したがって製管上必要な主なる問題点は、常温における曲管作業などの冷間加工性の確保を目的とした軟化と、良好なクリープ強度を与えるための熱処理法の検討を行なうことである。JIS には硬度の規定はないが、施工上必要な冷間加工性を確保するためには当然一定の硬度範囲内に収めることが必要で ASME Boiler and Pressuer Vessel Code には硬度の規定があり 5Cr-1/2 Mo 鋼は Hv 171 以下、7Cr-1/2 Mo, 9Cr-1 Mo 鋼は Hv 190 以下と規定されており、この程度の硬度が最終製品としての鋼管の冷間加工性を確保する点からも妥当であると考えられる。以上のことからこの程度の硬度をうるための熱処理方法としてはつぎのごとき方法が考えられる。a) 恒温変態, b) 完全焼鈍, c) 連続冷却途中より放冷焼戻, d) 焼準焼戻, したがって上記の各方法について検討した。Table 2 に記載せる 5Cr-1/2 Mo, 7Cr-1/2 Mo, 9Cr-1 Mo 鋼などの中、規格値に近い C 含有量を有する供試材について 920°C でオーステナイト化を行なった後パーライト変態の鼻に相当する 750°C で恒温変態を行なった場合の硬度変化を示した。表からも明らかなごとく軟化を完了するまでに各鋼種とも約 1 時間を要している。

つぎに連続冷却変態による硬度変化につき調査した。

Table 1. Chemical composition of specimens tested.

Mark	Steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Al
5 C	5 Cr-1/2 Mo	0.13	0.43	0.62	0.013	0.018	5.21	0.56	0.011
5 C L	"	0.06	0.33	0.51	0.013	0.014	4.97	0.55	0.010
7 C	7 Cr-1/2 Mo	0.13	0.85	0.63	0.013	0.010	7.16	0.53	0.015
9 C	9 Cr- 1 Mo	0.13	0.62	0.57	0.012	0.020	9.33	1.11	0.017
9 C L	"	0.06	0.46	0.51	0.018	0.013	9.24	1.07	0.018

Table 2. Vickers hardness changes of specimens tested after isothermal transformation at 750°C

Mark	Steel	30 s	1mn	3mn	5mn	10mn	15mn	20mn	30mn	60mn
5 C	5 Cr-1/2 Mo	382	375	381	373	318	313	283	186	154
7 C	7 Cr-1/2 Mo	450	450	450	433	445	435	420	370	165
9 C	9 Cr- 1 Mo	450	450	450	444	450	440	420	220	163

Table 3. Vickers hardness changes of specimens tested after quenching on the cooling process of continuous cooling transformation.

Mark	Steel	820°C	770°C	760°C	750°C	740°C	730°C	720°C	700°C	670°C	Hours required for perfect softening
5 C	5 Cr-1/2 Mo	389	373	304	255	239	207	154	154	154	2.2 h
7 C	7 Cr-1/2 Mo	460	459	459		452		276	190	165	3 h
9 C	9 Cr- 1 Mo	486	491	477		393		194	170	163	3 h

920°C で 1 時間保持後 5 Cr-1/2 Mo 鋼は 65°C/h, 7 Cr-1/2 Mo 鋼, 9 Cr-1 Mo 鋼は 50°C/h の冷却速度で冷却し 820~670°C の各温度より水却し組織および硬度変化を調査した. Table 3 に硬度変化を示した. Table 3 から明らかなごとく 5 Cr-1/2 Mo 鋼は, 730~720°C の間において, また 7 Cr-1/2 Mo, 9 Cr-1 Mo 鋼は 740~700°C の間において 急激な硬度低下が認められこの間においてパーライト変態の進行することが認められる. 上記の結果より軟化を目的とする中間焼鈍に対しては, 現場的に可能な冷却速度 (65°C/h~89°C/h) で行なう連続冷却よりも恒温変態の方が時間的に約半分で済み経済的であることが判る. 完全焼鈍は軟化の目的は達しうるが長時間を要し不経済でありクリープ強度も低

下する. 焼準焼戻の場合 C 量が規格上限値に近い場合には, 高温焼戻 (780°C) を行なつても Hv 210~215 程度で充分軟化せず, ASME 規格上限値を超過することになるが素材の C% を規格の下限にすることにより硬度も ASME 規格程度まで低下しクリープ強度も秀れかつ良好な機械的性質, 特に衝撃値の秀れた鋼材を得ることが認められる. だし実用上は硬度が ASME 規格を上廻つていても Hv 230 以下であれば常温における曲管作業にはほとんど差支えないものと考えられる. また, 焼準焼戻を行なつたものは他の熱処理を行なつた場合に比し炭化物が最も微細でかつ均一に焼戻マルテンサイトの地鉄中に分布しており他の場合に比し耐クリープ性が最も強大である.

Table 4. Results of creep rupture and short-time tensile tests of 5 Cr-1/2Mo~9Cr-1Mo test specimens heat-treated at different conditions.

Materials	Marks	Heat treatment (Used 1" round bar)	Hard- ness V.H.N	Creep rupture test				Short-time tensile test							
				At 550°C				At room temperature				At 550°C			
				Stress	Rupture time (h)	Elong. (%)	R. of A (%)	Endurance limit (0.2)	T.S (kg/mm ²)	Elong. (%)	R. of A (%)	Endurance limit (0.2)	T.S (kg/mm ²)	Elong. (%)	R. of A (%)
5Cr-1/2Mo	5C2-1	20°C/h 900°C/h → 400°C F.C	155	15	66°11'	60.0	81.8								
	2			12	787°30'	53.0	79.8	24.1	54.2	34.8	62.5	25.6	30.3	29.0	72.5
	3			11	883°28'	48.7	80.5								
	5C3-1	900°C/h A.C 780°C/h temper	210	15	232°21'	40.0	79.0								
	2			12	1633°05'	34.0	65.9	47.5	64.9	31.0	72.0	37.1	37.1	21.2	61.7
	3			13.5	548°18'	52.7	86.1								
	5C4	65°C/h 900°C/h → 745°C A.C 780°C/h temper	173	12	838°40'	46.3	91.0								
	5L1	900°C/h A.C 780°C/h temper	174	12	576°50'										
	2			17	86°00'	48.3	87.7	36.4	53.3	30.0	80.0	32.8	58.1	4.0	60.0
7Cr-1/2Mo	7C 2-1	20°C/h 900°C/h → 400°C F.C	160	17	24°55'	60.0	79.8								
	2-2			14	74°05'	44.7	84.7	32.6	58.0	34.7	66.0	14.3	29.2	31.0	75.0
	7C3-1	900°C/h A.C 780°C/h temper	215	17	67°05'	41.7	84.0								
	2			14.5	332°30'	48.0	85.3	49.0	68.8	32.8	69.0	31.0	36.0	25.0	81.0
	3			13	481°41'	53.3	85.3								
	7C4	50°C/h 900°C/h → 400°C F.C	175	17	49°15'	43.0	81.3								
	9C2-1	20°C/h 900°C/h → 400°C F.C	167	17	53°55'	47.0	85.1								
	2			14.5	173°00'	50.7	87.1	33.3	57.4	36.5	70.0	15.4	31.7	30.0	81.0
	9C3-1	900°C/h A.C 780°C/h temper	215	17	702°21'	36.0	85.3								
	2			20	141°25'	38.3	85.8	53.3	71.6	32.0	78.0	33.4	40.0	25.0	82.0
9Cr-1Mo (Low C)	9L -1	920°C/h A.C 780°C/h temper	188	17	146°05'	43.0	85.8								
	2			13	1600	Under experiment		44.0	58.8	31.0	75.0	21.0	33.0	40.0	94.0

IV. 熱処理によるクリープ強度の変化

前記せるごとくこれらの中合金 Cr-Mo 鋼は、焼入性がきわめて大であるので施工上必要な程度まで軟化せしめとともに良好なクリープ強度を与えるとき熱処理を実施する必要がある。これらの鋼種に対する各種の熱処理法についてはすでに前述した。クリープラプチャー強度は各鋼種共全焼鈍、焼準焼戻、連続冷却変態途上より放冷焼戻などいずれの処理を行なったものも ASTM 平均値と同等またはそれ以上の値を示しており特に焼準焼戻材のクリープ強度は C 量が規格上限値に近い場合も下限値に近い場合もともに ASTM 平均値に比し秀れたクリープ強度を示している。

以上の実験の中、連続冷却変態途上により放冷焼戻する方法は冷却途上におけるきわめて狭い温度範囲において硬度変化が大であるので連続冷却変態を利用して組織調整を行ないクリープ強度の改善を狙うことは、現場操業法としては不適當である。Table 4 に試験結果を示した。Table 4 から明らかなごとく焼準焼戻処理を行なった場合にクリープ強度を含めた機械的諸性質の秀れていることが認められる。Photo. 1 に代表的な顕微鏡組織を示した。

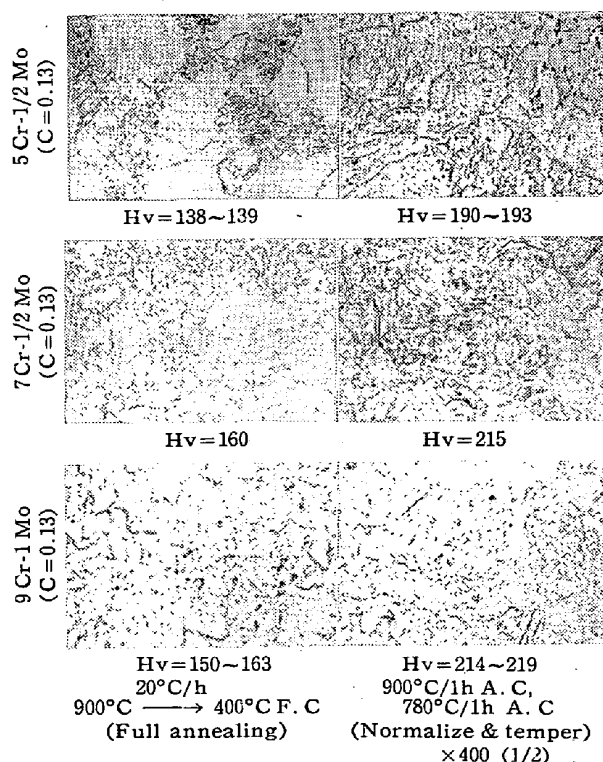


Photo. 1. Microscopic structure observed after heat treatments.

V. 結 言

5 Cr-1/2 Mo, 7 Cr-1/2 Mo, 9 Cr-1 Mo 鋼に対し必要な冷間加工性並びに ASTM 平均値と同等またはそれ

以上のクリープ強度を与えるための熱処理方法について研究した結果つぎのごとき結論を得た。

- 1) ASTM 平均値を基準にとつた場合、完全焼鈍、焼準焼戻、連続冷却変態途上より放冷焼戻などの何れの処理を行なった場合もこれらの Cr-Mo 鋼のクリープ強度は ASTM 平均値と同等またはそれ以上の値を示す。
- 2) 焼準焼戻を行なった場合に C 量が規格の下限値に近い場合でも ASTM 平均値以上の値を示し、硬度も ASME 規格に規定された程度の値を示し、かつ衝撃値も他の処理に比し良好である。
- 3) 5 Cr-1/2 Mo, 7 Cr-1/2 Mo, 9 Cr-1 Mo 鋼は何れもきわめて焼入性が大であるので熔接時の予熱後熱の重要性がうかがわれる。

(86) 18 Cr-12 Ni 系不銹鋼の諸性質 におよぼす W の影響

金属材料技術研究所

○中川 竜一・乙黒 靖男

Effect of W on Properties of 18 Cr-12 Ni Stainless Steel.

Ryuichi Nakagawa and Yasuo Ootoguro.

I. 緒 言

前報までに Nb, Ti の 18 Cr-12 Ni 系不銹鋼の時効硬さ、顕微鏡組織、電解残渣の X 線回折、常温および高温引張り強さ、クリープラプチャー強さにおよぼす影響について報告した。本報においてこれらの性質におよぼす W 量の影響について調べたので報告する。

II. 試 料

本実験に用いた試料の組成を Table 1 に示した。W 1~W 3 は C を 0.03% 一定にして W をそれぞれ 2, 4, 6% を目標としたもの、W 4~W 6 は C を 0.1%, W をそれぞれ 2, 4, 6% を目標にして溶解した。溶解は高周波電気炉を用い、溶解量は 6 kg である。鍛造は硬さ、顕微鏡組織用には 10mm 角、その他の試験片用には 15mm φ に鍛造した。

Table 1. Chemical compositions (%).

No.	C	Mn	Si	Cr	Ni	W
W 1	0.033	1.71	0.98	18.59	11.96	1.92
W 2	0.031	1.68	0.92	18.95	11.86	3.70
W 3	0.031	1.69	0.86	18.54	12.12	5.43
W 4	0.12	1.70	0.94	18.51	12.08	1.91
W 5	0.11	1.72	0.90	13.64	11.82	3.67
W 6	0.12	1.66	0.98	18.48	12.10	5.45