UDC 669.14.018.85.017 : 669.15'26'293-194

0.15% C-12% Cr-0.4Nb 鋼の諸性質に およぼす Mo, V の影響

(12% Cr 耐熱鋼の研究, 第5報)

大 沢 秀 雄* 山 田 誠 吉**

Effect of Mo, V on Some Properties of 0.15% C-12% Cr-0.4% Nb Steel
(Study on 12% Chromium Heat-Resisting Steel, 5th Report)

Hideo Osawa and Seikichi Yamada

【概 要】

第4報までで0.1% C-12% Cr系についての報告は一通り完了した。本報では0.15% C-12% Cr-0.4% Nb 鋼の基礎的研究ならびに本鋼の諸性質におよぼす Mo, V 添加の影響について述べる。本鋼は高温強度が高いので、船用タービン翼材の中でも上段の高温高圧側の翼に使用される。

1. 0.15% C-12% Cr-0.4% Nb 鋼の基礎的研究

本節においては0.15% C-12% Cr-0.4Nb 鋼(以下12 Cr-Nb 鋼と略称する)の一般的な性質について調査を行なった結果について述べる。

1.1 供 試 材

供試材の製造工程は下記の通りである。

167 kVA 高周波炉でボール材溶解→铸造ボール→VAR (442kg)→焼鈍 (850°C×4 hr FC)→皮削り→鍛造 (140角)→グラインダー・疵取り→鍛造 (75角)→全面グラインダー・疵取り→鍛造 (20~16 mmφ)→焼鈍 (850°C×2 hr FC)→供試料

供試料の化学成分を Table 1 に示す。

1.2 調 査 結 果

1.2.1 鋼片のマクロ組織

75mm 角鋼片のマクロ組織を Photo. 1 に示す。

鋼片のマクロは極めて良好な組織である。

Photo. 1. Macro-structure of 12 Cr-Nb steel
(Heat treatment : 850°C×1 hr AC→1100°C×1 hr OQ→730°C×2 hr AC).

昭和43年3月10日受付

* 大同製鋼(株)茨川工場, 工博

**

//

Table 1. Chemical composition of specimen.

(%)

Ch. No.	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	Nb	T.Al	N	O	H (ml/100g)
V 1406	0.15	0.27	0.47	0.026	0.010	0.10	0.42	11.79	0.08	0.39	0.016	0.0169	0.0020	0.20

1. 2. 2 変 態 点

広根式自記熱膨脹計によって変態点の測定を行なった。結果を Table 2 に示す。

Table 2. Transformation temperature of 12Cr-Nb steel.

AC	maximum temperature	Ar
820~865°C (heating rate : 7.5deg/min)	945 °C	740~680 °C (cooling rate : 4.0deg/min)

Ms 点は明瞭に認めることができなかった。

1. 2. 3 熱間加工性

熱間加工性を見るために、熱間ねじり試験を行なった。試験片の寸法は平行部長さ 15mm、平行部径 10mmφである。その結果を Fig. 1 に示す。その結果では最適加工温度は 1130~1200 °C と考えられる。

Fig. 1. Result in hot twist test of 12 Cr-Nb steel.

1. 2. 4 熱処理カタサ

(1) 焼鈍カタサ

16mmφ 鍛造材についての焼鈍（空冷，徐冷）カタサを Fig. 2 に示す。空冷による焼鈍カタサは焼鈍温度 500~800 °C の間で温度の上昇と共に低下し，800 °C

Fig. 2. Annealed hardness of 12 Cr-Nb steel.

C AC で HRC 21 程度である。徐冷すればカタサはさらに低く，800~900 °C 焼鈍では温度が上昇するにつれて著しく軟化する。

1. 2. 5 焼準・焼入れカタサ・焼戻しカタサ

16mmφ 鍛造材を焼鈍（850 °C FC）し，これを焼準および焼入れ（油冷）したもののカタサを Fig. 3 に示す。焼準，焼入れカタサは試料が 16mmφ × 15mm

Fig. 3. Quenched and normalized hardness of 12 Cr-Nb steel.

で小さいためか，ほとんど差がない。この鋼は空冷でも容易に焼きが入る。850 °C 以上で硬化し，1000 °C 以上で最高のカタサが得られ，HRC 43 である。焼入れ組織の例を Photo. 2 に示す。800 °C ではまだマルテンサイト化はしておらないが，850 °C 以上では針状の組織となり，1150 °C では結晶粒の粗大化傾向が認められる。

950, 1025, 1100 °C × 1/2hr OQ → 100~800 °C × 1hr

Fig. 4. Tempered hardness of 12 Cr-Nb steel.

800 °C × 1/2 hr OQ
(HrC 7.6)

850 °C × 1/2 hr OQ
(HrC 33)

1000 °C × 1/2 hr OQ
(HrC 43.1)

1150 °C × 1/2 hr OQ
(HrC 42.4)

×400

etching : CuCl₂-liquid

Photo. 2. Micro-structures of 12Cr-Nb steel which was oil-quenched from some temperatures.

ACしたものの焼戻しカタサを Fig. 4 に示す。いずれの焼入れでも焼戻し温度の上昇につれて 300°C で一旦わずかにカタサが低下するが、400~500°C で極大となり、それ以上の温度では軟化の一途をたどる。焼入れ温度が高温であるもの程 600°C 以上の焼戻しカタサは高く、これは焼入れ加熱時の Nb 炭化物、窒化物のオーステナイトへの固溶量の差が現れたものと考えられる。

1. 2. 6 常温の機械的性質

20mmφ 鍛造材を 850°C × 2hr FC した試料について、次のような熱処理を施し、焼入れ温度および焼戻し温度と常温における機械的性質の関係を調べた。結果を Fig. 5 に示す。

熱処理

950°C × 1/2hr OQ	}	→	600°C × 1 hr AC
1025 "			650 "
1100 "			700 "
			750 "

Fig.5 より考察すると、一般に焼戻し温度が上昇するにつれてカタサ、強度は低下し、延性、靱性は増大する傾向が認められる。焼入れ温度の高いもの程カタサ、強度は高く、延性靱性は低い。カタサ、強度は焼戻し温度が低いうちは焼入れ温度による差が大きい、750°C ではほとんど差はなくなる。衝撃試片の破面を観察すると 1100°C で焼入れしたものはすべて破面が粗い。

1. 2. 7 焼入れ焼戻し前の前処理の効果について

1.2.6 節で 1100°C OQ → 焼戻したものの衝撃試片の破面はすべて粗く(ギラギラした脆性破面)、これは結晶粒の粗大化によるものと考えられる。この結晶粒粗大化を防止するために前処理の影響を調査した。その結果を以下に述べる。

(1) 結晶粒微細化におよぼす前処理の影響

20mmφ 鍛造材を 850°C × 2hr FC し、次のような熱処理を施して、マクロ組織と衝撃破面を調査した。

Fig. 5. Mechanical properties of 12 Cr-Nb steel.

900~1250°C × 2hr AC → 1100°C × 1/2hr OQ
→ 730°C × 2hr AC

結果を Photo. 3 に示す。その結果 900~1000°C で一旦焼準を行なえば、高い衝撃値をもったものが得られることがわかった。

(2) 衝撃遷移曲線におよぼす前処理の影響

16mmφ 鍛造、焼鈍材について次のような熱処理を施して焼準、焼入れ、焼戻し、焼戻し後の冷却方法等の影響を調査した。結果を Fig. 6 に示す。

(a) 焼入れ前の結晶粒微細化処理（焼準）の効果をみるために normalize せず

→ 1100°C × 1/2hr OQ → 730°C × 1hr AC
950°C × 1hr AC → " → "

(b) 焼入れ温度、焼戻し温度、焼戻し脆性をみるために、

950°C × 1hr AC → 950°C × 1/2hr OQ
→ 650°C × 1hr AC

" → " → 730°C × "

" → " → 730°C × 1hr FC

- ① → non-normalizing → 1100°C × 30m OQ → 730°C × 1hr AC (H_{RC} 25)
 - ② → 950°C × 1hr AC → 950°C × 30m OQ → 650°C × 1hr AC (H_{RC} 26)
 - ③ → " → " → 730°C × 1hr AC (H_{RC} 22)
 - ④ → " → " → 730°C × 1hr FC (H_{RC} 22)
 - ⑤ → 1100°C × 30m OQ → 730°C × 1hr AC (H_{RC} 26)
 - ⑥ → 730°C × 1hr FC (H_{RC} 26)
- effect of normalizing: compare with ① and ⑤
effect of hardening: compare with ③ and ⑤, ④ and ⑥
effect of tempering: compare with ② and ⑤
imbrittleness: compare with ③ and ④, ⑤ and ⑥

Fig. 6. Some transition curves of 12 Cr-Nb steel.

Photo. 3. Effects of normalizing on grain size (macro-structure and micro-structure) and impact properties (fracture) of 12Cr-Nb steel.

Table 3. Effects of some heat treatments on transition temperature of 12Cr-Nb steel.

No.	Heat treatment			H _R C	Transition temperature(°C)		
	Normalizing	Quenching	Tempering		10 kg·m	7 kg·m	2.1 kg·m
①	non-treated	1100°C×1/2hr OQ	730°C×1 hr AC	25	49	42	12
②	950°C×1 hr AC	950°C×1/2hr OQ	650°C×1 hr AC	26	31	22	-23
③	"	"	730°C×1 hr AC	22	-9	-14	-50
④	"	"	730°C×1 hr FC	22	33	27	-47
⑤	"	1100°C×1/2hr OQ	730°C×1 hr AC	26	52	46	-25
⑥	"	"	730°C×1 hr FC	26	56	52	-7

" →

1100°C×1/2hr OQ→730°C×1 hr AC

" → " →730°C×1 hr FC

Fig. 6 より 10 kg·m, 7 kg·m, 2.1 kg·m 衝撃遷移温度をまとめると, Table 3 の如くなる。

①と⑥を比較すると 10kg·m, 7kg·m では大差がないが, 2.1kg·m では焼準の方が約 30°C 低い。

③と⑥, ④と⑥をそれぞれ比較すると, 950°C 焼入れのものは 1100°C 焼入れのものとくらべて焼戻し後のカタサが低く, 遷移温度も低温側にある。

②と③を比較することにより焼戻し温度の高い方が遷移温度は低く, 軟い。

③と④, ⑥と⑥よりこの系の 12Cr 鋼も焼戻し脆性は認められる。

Fig. 7. Tensile property of 12Cr-Nb at elevated temperature.

1. 2. 8 熱間の引張性質

16mmφ鍛造, 焼鈍材を 950°C×1/2hr AC→1100°C×1/2hr OQ→730°C×1hr AC(H_RC 26) という熱処理を施して, 熱間での引張性質を調べた。結果を Fig. 7 に示す。引張強さは 300~650°Cの間ではあまり変わらずほぼ 15%程度である。絞りは 500°Cを越すと急激に増大する。

1. 2. 9 クリープ・ラプチャー性質

熱間引張性質の場合と同様な熱処理を施したものより, 平行部径 6.0mmφ, 平行部長さ (G.L.) 36.0mm のクリープ・ラプチャー試片を削り出し, 550°Cでクリープ・ラプチャー試験を行なった。結果を Fig. 8 に示す。

Fig. 8. Creep rupture property of 12Cr-Nb at 550°C.

550°Cで 100hr, 1000hr ラプチャー強度はそれぞれ 28kg/mm², 24kg/mm²である。

1. 3 小 括

12Cr-Nb 鋼の諸性質を調査した結果をまとめると次のようになる。

- (1) 真空アーク溶解材の焼準, 焼入れ, 焼戻しした鋼片のマクロは何らの欠陥は認められず, 微細かつきれいな組織である。
- (2) 変態点は AC が 820~865°C, Ar が 740~680°C である (Ms 点是不明)。
- (3) 熱間ねじりの結果では 1130~1200°C で加工することが望ましい (事実, 本鋼の圧延温度は 1200°C で特に問題が生じたことはない)。
- (4) 20mmφ 鍛造放冷後のカタサは H_RC45 程度で,

これを800°C ACすればH_RC21, 850°C FCすればH_RC13位になる。

- (5) 小さじの場合空冷でも充分焼きが入り, 1000~1100°Cで最高カタサH_RC43~44になる。結晶粒は1150°Cで粗大化してくる。
- (6) 焼戻しカタサは950~1100°Cの焼入れ温度が高いもの程焼戻しカタサも高い。400~500°Cで二次硬化が起こる。
- (7) 焼入れ, 焼戻し後の常温の機械的性質は焼入れ温度が高いもの程カタサ, 強度が大で, 延性, 靱性は小さい。600~750°Cの範囲では焼戻し温度が高くなるとカタサ, 強度は減少し, 延性, 靱性は増加する傾向を示す。
- (8) 本鋼は焼入れ, 焼戻しする前に900~1000°C ACの焼準することにより, 結晶粒を微細化できる。
- (9) 12Crに0.5% Nb添加しても焼戻し脆性の改善は望めない。
- (10) 熱間の引張性質は試験温度の上昇と共に強度が低下する。伸びはほとんど変わらず, 絞り率は400°Cまで低下するが, それ以上の温度では急に延性を増す。
- (11) 550°Cでの100 hr, 1000 hr クリップ・ラブチャー強度はそれぞれ28, 24.5 kg/mm²である。

12 Cr-Nb の標準的性質を以下にまとめる。

完全焼鈍カタサ : 850°C FC, H_RC 13.0
 低温 " : 800°C AC, H_RC 21.0
 焼準カタサ : 950°C AC, H_RC 42.0
 焼入れカタサ : 1100°C OQ, H_RC 43.5

標準熱処理と機械的性質

950°C AC → 1100°C OQ → 730°C AC

0.01%耐力 : 62 kg/mm²

Fig. 9. Effect of V on quenched hardness of 12 Cr-Nb steel.

0.02%耐力	: 66 kg/mm ²	} 常温
引張強さ	: 86 kg/mm ²	
伸び	: 22%	
絞り	: 64%	
衝撃値(2 mm V)	: 4 kg·m	} 21°Cで
" (5 mm U)	: 3.5 kg·m	
衝撃遷移温度	2.1 kg·m : -25°C	} 2 mm V
"	7 kg·m : 46°C	
カタサ	H _R C26	— 常温
引張強さ	: 53 kg/mm ²	} 550°C
伸び	: 13%	
絞り	: 76%	
100 hr クリップ・ラブチャー強度	: 28 kg/mm ²	
1000 hr "	: 24.5 kg/mm ²	
δ-フェライトのない均一なソルバイト組織である。		

2. 0.15% C-12% Cr-0.4 Nb 鋼の諸性質におよぼすVの影響

本節では12 Cr-Nb 鋼の常温の機械的性質におよぼすV 0.04~0.3%の影響について述べる。

2.1 供試材

試材は35kVA 高周波炉にて4.3kg 鋼塊を溶製し, 1150°C×3 hr soaking の後16mmφに鍛伸した。比較のために真空アーク溶解材V1406 (16mmφ鍛伸材)を選んだ。供試材の化学成分をTable 4に示す。

2.2 実験結果

2.2.1 焼入れカタサ

Fig. 10. Effect of V on tempered hardness of 12 Cr-Nb steel.

950 °C × 1/2 hr AC (焼準) → 850 ~ 1200 °C 1/2 hr OQ のカタサを Fig. 9 に示す。

大略 1000 ~ 1100 °C で最高カタサに達する。0.29% V の影響は顕著ではない。

2. 2. 2 焼戻しカタサ

950 °C × 1/2 hr AC → 950 °C × 1/2 hr OQ

→ 300 ~ 800 °C × 1 hr AC

// → 1100 °C × 1/2 hr OQ

→ //

上記の焼準、焼入れ、焼戻し後のカタサと温度の関係を Fig. 10 に示す。Fig. 10 より 1100 °C OQ の場合について焼戻し温度が一定のときの V 量とカタサの関係を Fig. 11 に示す。V の増加は焼戻し軟化抵抗を増すことがわかる。特に焼戻し温度が高い場合にそ

Fig. 11. Relations between tempered hardness and V contents of 12Cr-Nb steel at some tempering.

Fig. 12. Mechanical properties of 12Cr-Nb-V steel at room temperature.

Table. 4. Chemical compositions of specimens.

(%)

	C	Si	Mn	Cr	Cb	V	P	S	Cu	Ni	
V1406	0.15	0.27	0.47	11.79	0.39	0.04	0.026	0.010	0.10	0.42	VAR
L-076	0.15	0.49	0.51	11.99	0.35	0.04	0.018	0.018	0.02	0.05	} AM
L-077	0.15	0.47	0.45	11.99	0.33	0.06	—	—	—	—	
L-078	0.13	0.45	0.46	12.08	0.37	0.10	—	—	—	—	
L-081	0.14	0.46	0.47	11.85	0.34	0.16	—	—	—	—	
L-082	0.14	0.47	0.46	11.85	0.32	0.29	—	—	—	—	

の効果は大きいので、Vは炭化物の凝集を抑制することに寄与しているものと考えられる。

2. 2. 3 焼入れ焼戻し後の常温における機械的性質
 $950^{\circ}\text{C} \times 1/2\text{hr AC} \rightarrow 1100^{\circ}\text{C} \times 1/2\text{hr OQ} \rightarrow 700 \sim 780^{\circ}\text{C} \times 1\text{hr AC}$ したものの常温における機械的性質

を調査した。引張試片は JIS 4 号片の縮尺で平行部径 $10\text{mm}\phi$ 、標点距離 35mm であり、シャルピー衝撃試片は JIS 5 号 (5mm U notch) である。Fig. 12 に焼戻し温度と機械的性質の関係を示す。Fig. 12 より HRC 25~22 レベルにおけるほかの機械的性質を求め

Fig. 13. Effect of V on transition temperature of 12Cr-Nb steel.

Table. 5. Mechical properties of 12Cr-Nb-V steel at some hardness levels.

	HrC	0.04V (V1406)	0.04V (L-076)	0.06V (L-077)	0.10V (L-078)	0.16V (L-081)	0.29V (L-082)
0.01% PS } kg/mm ²	25	59.5	54.5	55.5	58	53	54
TS		84	78	79	80.5	79	80
El		22.5	21.5	22.5	21	22	19
RA } %		65	64.5	66.5	66.5	66.5	66.5
IV(5mmU) kg·m		3.9	4.7	4.4	52	5.7	4.7
0.01% PS } kg/mm ²	24	58	63	54	56	51.5	53.5
TS		82	76.5	78	79	77	78
El		23	22	23	21	22.5	20
RA } %		66.5	66.5	67	67	67	66.5
IV(5mmU) kg·m		4.2	4.9	4.5	5.2	5.6	4.8
0.01% PS } kg/mm ²	23	55.5	52	52	53.5	50.5	53
TS		79.0	76	77	77	75.5	78
El		24.5	23	23	21.5	23	21
RA } %		68.0	66.5	67	67.5	67.5	66.5
IV(5mmU) kg·m		4.6	5.0	4.7	5.2	5.6	5.0
0.01% PS } kg/mm ²	22	53.5	50.5	50.5	51	50	51.5
TS		77	74	75	75.5	73.5	75
El		25	24.5	24.5	22	23.5	22
RA } %		69	75	67	68	68.5	66.5
IV(5mmU) kg·m		4.9	5.2	4.8	5.3	5.5	5.6

たものが **Table 5** である。この表より同一カタサレベルでは TS, El, RA は V の量によってほとんど変わらないが, 0.01% PS は 0.1% V の増加につれて増大する。衝撃値も大体 V 量の増加により大きくなるように見うけられるが, 0.29% V では δ-フェライトが出るためか, 0.16% V よりも低下する。

2. 2. 4 衝撃遷移温度

950°C × 1/2hr AC → 1100°C × 1/2hr OQ → 740~760°C × 1hr AC し, HrC 20~22 にカタサを揃えて作った 2mm V ノッチ シャルビー試片により, 衝撃遷移曲線を求めた。結果を **Fig. 13** に示す。**Fig. 13-B** から衝撃遷移温度は 0.06% V で一旦上り, 0.10~0.16% V で低下し, 0.29% V ではまた上る。したがって遷移曲線から考慮すれば, 必ずしも V を増加することは有効とはいえない。

2. 2. 5 ミクロ組織

950°C × 1/2hr AC → 1100°C × 1/2hr OQ → 750°C × 1hr AC したもののミクロ組織を **Photo. 4** に示す。0.29% V のものは δ-フェライトが析出していた。組織はいずれもかなり微細なソルバイトである。

2. 3 小 括

12Cr-Nb 鋼に V を 0.3% 以下添加し, 機械的性質

におよぼす V の影響を調査した。その結果として,

- (1) 焼入れカタサにはあまり影響がない。
- (2) 焼戻しカタサには V の効果が大きく, 焼戻し抵抗性を増大する。
- (3) 常温の機械的性質については, 同一カタサレベルの場合, V を増すといく分衝撃値が上るが, 遷移温度は V を増すことにより必ずしも低下するとは限らない。
- (4) 0.29% V では δ-フェライトの析出が見うけられる。焼戻し後のミクロ組織はいずれも微細なソルバイトである。

3. 0.15% C-12% Cr-0.4% Nb 鋼の機械的性質におよぼす Mo と C の影響

本節では 2 章の V に続き Mo と C の影響について述べる。

3. 1 実験方法ならびに結果

3. 1. 1 供 試 材

試料は 35kVA 高周波炉にて 4.3kg 鋼塊を溶製し, 16mmφ に鍛造後 850°C × 2hr FC → 950°C × 1hr AC を施したものである。試料の化学組成を **Table 6** に示す。

950 °C × 1/2hr AC → 1100 °C × 1/2hr OQ → 750 °C × 1 hr AC

×400

0.04% V

0.06% V

0.10% V

0.16% V

0.29% V

0.04% V (V1406)

etching by picral

Photo. 4. Micro-structures of 12Cr-Nb-V steel.

Table 6. Chemical compositions of specimens. (%)

heat No.	mark	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Nb	Mo
L-140	0 Mo	0.17	0.52	0.48	0.015	0.020	0.04	11.62	0.39	tr
L-135	0.1 Mo	0.17	0.59	0.52	0.012	0.021	0.04	11.90	0.40	0.14
L-141	0.2 Mo	0.17	0.52	0.53	0.018	0.012	0.03	11.77	0.32	0.20
L-137	0.5 Mo	0.17	0.51	0.52	0.016	0.015	0.05	11.99	0.30	0.56
L-134	LC-0Mo	0.12	0.69	0.57	0.015	0.021	0.06	11.95	0.41	0.04

3. 1. 2 焼入れカタサ

Fig. 14 に焼入れカタサを示す。1100°Cで最高カタサに達する。0 Moが各焼入れ温度で最も硬く、0.1 Moは他のものよりもややカタサが低い。Cの影響は900°C以上ではC 0.05%の差がH_RCで約13の差となつて表われている。

Fig. 14. Effects of Mo and C on quenched hardness of 12Cr-Nb steel.

3. 1. 3 焼戻しカタサ

1100°C × 1/2 hr OQ → 300~800°C × 1 hr AC して焼戻しカタサを測定した。焼戻し温度とカタサの関係を Fig. 15 に示す。焼戻し温度が650~800°CではMo含有量の多いもの程焼戻しカタサが高い。LC-0 Moは0 Moに比較して550~800°C焼戻しではおよそ

Fig. 15. Effects Mo and C on tempered hardness of 12Cr-Nb steel.

Table. 7. Mechanical properties at iso-tensile strength level of 12Cr-Nb-Mo steel.

T.S. kg/mm ²		0 Mo	0.14 Mo	0.20 Mo	0.56 Mo	LC-0 Mo
80	0.01% PS } (kg/mm ²)	48	51	49	45.5	48
	0.02% PS } (kg/mm ²)	54	53.5	52	49.5	52.5
	El } (%)	24	24	23.5	25	23
	RA } (%)	65.5	64.5	66	62	65
	IV(2 mmV) } (kg·m)	12.8	13.0	13.4	13.0	5.6
	IV(5 mmU) } (kg·m)	5.5	5.4	5.6	5.1	5.0
	H _R C	20.5	21.5	21.5	21.5	22
85	0.01% PS } (kg/mm ²)	52.5	54.5	54	53.5	51
	0.02% PS } (kg/mm ²)	58	59	57	57	56
	El } (%)	23	22	21.5	22	21.5
	RA } (%)	64	63	63.5	59.5	64
	IV(2 mmV) } (kg·m)	12.3	11.8	12.3	11.6	3.5
	IV(5 mmV) } (kg·m)	5.4	5.4	5.4	5.2	4.6
	H _R C	23	24	24	24	24.5
90	0.01% PS } (kg/mm ²)	56.5	57	55	57	53
	0.02% PS } (kg/mm ²)	62	63	59	63	59
	El } (%)	22	21	20.5	21.5	20.5
	RA } (%)	63	61	62	59	63
	IV(2 mmV) } (kg/m)	12.0	1.12	10.8	10.6	2.9
	IV(5 mmV) } (kg/m)	5.3	5.4	5.0	5.0	4.2
	H _R C	25	26	26	27	26.5

HRC 5~2程低いが、焼戻し温度が上るにつれてその差は小さくなる傾向がある。

3.1.4 焼入れ焼戻し後の常温における機械的性質
 $1100^{\circ}\text{C} \times 1/2\text{hr OQ} \rightarrow 600 \sim 750^{\circ}\text{C} \times 1\text{hr AC}$ 後の引張 (G.L. 35mm, dia, 10mm ϕ) およびシャルピー衝撃 (2mmV ノッチ, 5mmU ノッチ) 性質を調査した。

焼戻し温度と機械的性質の関係を Fig. 16 に示す。

一般に焼戻し温度が上るにつれてカタサ, TS, PSは低下し, El, RA, IVは増大する。

Fig. 16 より同一 TS レベル (80, 85, 90 kg/m 2) での他の機械的性質を Table 7 に示す。

Mo を添加してもあまり性質の改善は望めない。C の影響を見ると同一 TS レベル では衝撃値が著しく低い。これは焼戻し温度が低いためであろう。

同一焼戻し温度での機械的性質におよぼす Mo の影

Fig. 16. Effects of Mo and C on mechanical properties of 12 Cr-Nb steel at room temperature.

響については Fig. 17 に示されている。一般的にいて Mo の増加によりカタサ、強度は上がるが、延性は幾分減少する。衝撃値は 5 mm U では明瞭な傾向は認められないが、2 mm V では Mo の増加と共に減少するようである。

3. 1. 5 ミクロ組織

730°C で焼戻したもののミクロ組織を観察したところ、LC-0 Mo には δ -フェライトが認められた。その他 C 0.17% の 12Cr-Nb-Mo 鋼にはいずれも δ -フェライトはなく均一なソルバイトな組織であった。

3. 2 小 括

(1) 12Cr-Nb 鋼に 0.5% 以下の Mo を添加して、機

械的性質の改善を試みたが、Mo を入れても焼戻し抵抗は高まるが、逆に靱性の改善は望めない。したがって同一強度で衝撃値を高めることはできない。

(2) 12Cr-Nb 鋼の C 0.17% と 0.12% のものを比較すると、C の低いものは焼入れ、焼戻しカタサが当然低く、同一カタサレベルでは靱性が著しく低い。これは焼戻し温度が低いことと、 δ -フェライトの存在によるものと考えられ、この鋼種では C が少くとも 0.14% 以上とすることが望ましい。

Fig. 17. Effect of Mo on mechanical properties of 12Cr-Nb steel.