

高めた方が焼戻硬度は高くなる。

(4) 650°C における焼戻過程中, B を 0.04% 以上添加したものは 100 h 以上でいちじるしい軟化抵抗を示し N は少ない方が 1000 h 以上で軟化抵抗が大きく, N を 0.10% も添加すると初期の硬度は高いが急速に軟化する。

(5) N は C とおなじような効果を有し, N 量を増やすことは C 量を増すとおなじように折出物の凝集を早めクリープ強度を害する。また N は結晶粒を微細化するため少ない方がよい。

(6) B は結晶粒界に一部硼化物として折出するが一部は地鉄に固溶して格子に歪をあたえクリープ強度を高めると考えられる。

(76) 12% Cr 耐熱鋼の研究 (VI)

(12% Cr 耐熱鋼の炭化物に関する研究)

Studies on 12 Percent Chromium Heat-Resisting Steels (VI)

(Study on Carbides in 12 Percent Chromium Heat-Resisting Steels)

T. Shimizu et alii

東京大学教授 工博 芥川 武

東京大学助教授 工 藤田 利夫

東京大学院学生 工 清水 貞一

I. 緒言

マルテンサイト系の 12% Cr 耐熱鋼は 650°C 以下の温度範囲で優れた高温強度を有するが, その耐クリープ性は C 量と Mo, W, Nb, V, Ti 等の炭化物形成元素との間に適当な組合せを持たせることによつて, いちじるしく高めうる事が筆者らの研究で明らかになった。

本報は 12% Cr 鋼に Mo, W, Nb, V, Ti 等をそれぞれ単独に添加した鋼種の炭化物を電解分離して炭化物の量, 組成, 結晶構造を検討した結果について報告する。

II. 試料および実験方法

試料は高周波電気炉で溶製した 30 kg 鋼塊より 10 mm

φ×100 mm の丸棒に鍛伸したものを使用した。その化学組成を Table 1 に示す。

上記試料につき, つぎの熱処理を行つた後, 炭化物を電解分離し, 化学分析および X 線廻折を行つた。

熱処理

焼入処理 1150°C× $\frac{1}{2}$ h→O.Q.

焼戻処理 650°C×1h, 10h, 100h, 1000h→A.C.

電解条件

陽 極 試料 9 mmφ×100mm (約 50 g)

陰 極 0.5 mm 原銅板

電 解 液 稀塩酸溶液 (1:10) 2 l

電流密度 30 mA/cm²

極間電圧 1 V

電解時間 40~50 h

X 線廻折条件

{ 使用装置 理学電機製ガイガーフレックス

{ X 線 Cu K α =1,5405Å

III. 実験結果

分離した炭化物の組成および X 線廻折結果の一部を Table 2 に示し, 650°C における 1000 h までの焼戻過程中における Cr および添加元素の炭化物中への分配率の変化, 硬度変化を Fig. 1 に示す。

(1) 12% Cr-Mo 鋼

添加した Mo の内, 約 40% が炭化物を形成し, 残りの 60% が地鉄中に存在し, 650°C で焼戻を行う時この割合はほとんど変化なく, Cr が徐々に炭化物中に濃縮されてくるが, これらの変化は他の炭化物に比し, いちじるしく緩慢である。炭化物は, (Cr Fe)₂₃C₈ (a=10.64Å) が圧倒的で M₆C 型の炭化物が二次的に検知された。Mo 単独の炭化物は検知されなかつた。

Mo は上記 Cr 炭化物に溶けこんでいるものと Fe との複炭化物を形成するものとに分れていると考えられる。

(2) 12% Cr-Nb 鋼

主要な炭化物は極めて安定な NbC で X 線廻折に鋭敏で, その積分強度は, 他の炭化物に比しいちじるしく高

Table 1. Chemical composition of specimens.

Type of steel	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Nb	W	V	Ti
12% Cr-Mo	0.17	0.50	0.59	0.020	0.020	12.03	1.25	—	—	—	—
12% Cr-Nb	0.18	0.59	0.47	0.013	0.009	12.36	—	1.39	—	—	—
12% Cr-W	0.18	0.40	0.50	0.022	0.014	11.58	—	—	0.82	—	—
12% Cr-V	0.20	0.43	0.54	0.028	0.012	12.03	—	—	—	1.02	—
12% Cr-Ti	0.15	0.74	0.72	0.023	0.016	11.64	—	—	—	—	0.38

Table 2. Carbides in 12% Cr steels
Heat treatment: 1150°C×1/2h→O.Q., 650°C×1h→A.C.

Type of steel	Carbide % in steel	Chemical composition of carbides			X-ray analysis
		C%	Cr%	Alloy element%	
12% Cr-Mo	3.91	2.78	43.7	Mo 13.0	(Cr, Fe) ₂₃ C ₆ , (Fe, Mo) ₆ C
12% Cr-Nb	2.28	5.52	5.8	Nb 55.1	(Cr, Fe) ₂₃ C ₆ , NbC(Cr, Fe) ₇ C ₃
12% Cr-W	2.01	4.15	20.6	W 33.8	(Cr, Fe) ₂₃ C ₆ , (Fe, W) ₆ C
12% Cr-V	1.37	6.56	37.7	V 25.9	(Cr, Fe) ₂₃ C ₆ , VC, (Cr, Fe) ₇ C ₃
12% Cr-Ti	1.94	3.36	48.2	Ti 14.0	(Cr, Fe) ₂₃ C ₆ , TiC

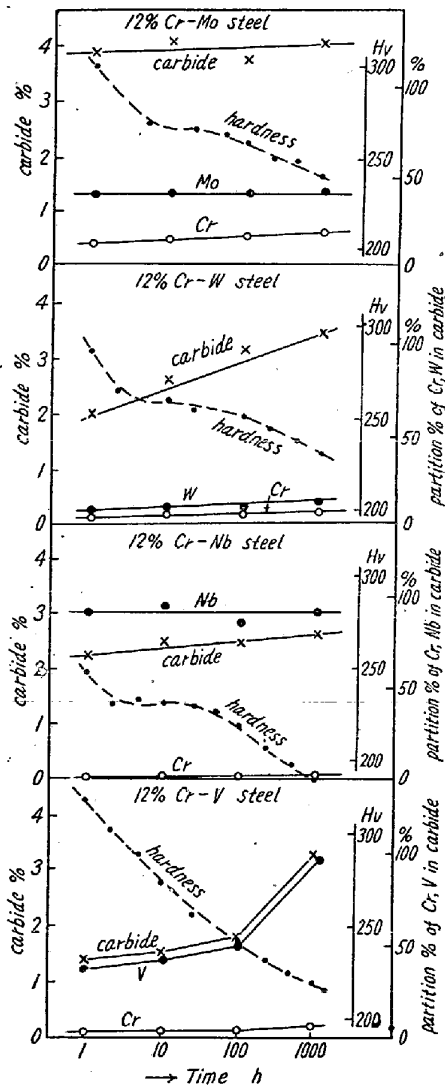
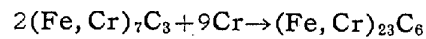


Fig. 1. Variations of carbides in 12% Cr steel during tempering at 650°C. Each specimen were quenched from 1150°C.

い。Nb は 90% 以上が炭化物中に行きその分配率は焼戻過程中変化がない。Cr 炭化物は 650°C×1h では Cr₇C₃ および (Cr, Fe)₂₃C₆ の 2 種類が存在するが 650°C×1000h では Cr₇C₃ は消滅している。このことは焼戻の初期に NbC が飽和析出するために Cr の拡散が抑制され Cr 量の少ない Cr₇C₃ が析出するが、時間の経

過とともに Cr が拡散して (Cr, Fe)₂₃C₆ が形成されると考えられる。すなわち



なる反応が焼戻過程で進行する。

(3) 12% Cr-W 鋼,

検知された炭化物は (Cr, Fe)₂₃C₆, (Fe, W)₆C で W の単独炭化物は見出されなかつた。W は炭化物中に 10% 程度分配され焼戻過程中徐々に分配率が増加する。W の 90% は地鉄に溶け込み硬度も高い。

(4) 12% Cr-V 鋼

検知された炭化物は (Cr, Fe)₂₃C₆, VC さらに焼戻の初期には三方晶の (Cr, Fe)₇C₃ が検知された。V は焼戻過程中において炭化物への分配率にいちじるしい増大が見られた。焼戻の初期のみに現われる (Cr, Fe)₇C₃ は Nb 添加の場合と同様に考える。

V を添加した場合、Cr 炭化物の格子常数が若干増加していた ($a=10.70\text{\AA}$) がこれは Cr より原子半径が 5% 大きい V が固溶されているためであろう。

(5) 12% Cr-Ti 鋼

主要炭化物は (Cr, Fe)₂₃C₆, TiC の二種で Ti は焼戻の初期で炭化物中に行く。検知された TiC の格子常数 ($a=4.26\text{\AA}$) は TiC と TiN の中間にあり Ti(C, N) と書いた方がよいだろう。

IV. 結 言

12% Cr 鋼に Mo, W, Nb, V, Ti 等を単独に添加した鋼種中の炭化物を電解で分離して、その性質をしらべた、その結果 Mo, W は M₆C 型の炭化物を、Ti, V, Nb は MC 型の炭化物を形成し、Cr 炭化物は凡ての鋼種において (Cr, Fe)₂₃C₆ が見られ Nb および V 添加のものでは焼戻の初期に (Cr, Fe)₇C₃ が存在することがわかつた。