

(163) 15Cr-4Ni-Mo-Co-Nb 系析出硬化型ステンレス鋼の特性について (ST-154 PH 鋼に関する研究—II)

日本特殊鋼

工博○沢 繁樹・西村富隆・森 俊雄

On the Properties of 15Cr-4Ni-Mo-Co-Nb PH Stainless Steel.

(Studies on ST-154 PH steel—I)

Dr. Shigeki SAWA, Tomitaka NISHIMURA and Tsuneo MORI.

1. 緒言

第1報において化学組成を決定したST-154PH(15Cr-4Ni-2.5Mo-4Co-0.4Nb 鋼)の特性につき研究を行なった結果を報告する。

2. 試料

供試材は消耗電極真空アーク溶解した1.2t鋼塊を鍛伸した棒材を用い、その化学組成は Table 1 の通りである。

3. 変態点と Ms 点

熱膨張計による測定では、加熱変態は 650~673°C, Ms 点は溶体化温度および保持時間によつて変動する。通常用いられる 950~1025°C の溶体化で 38~49°C である。martensite 膨張曲線は急峻で、室温までの冷却でかなり変態が進み、室温に保持するとなお変態が進行する。

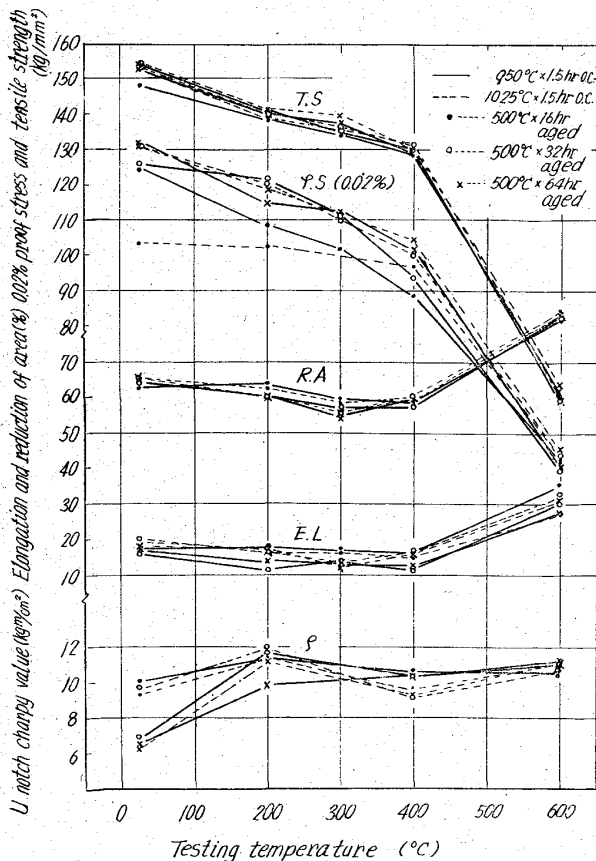


Fig. 1. Mechanical properties of ST-154 PH steel at elevated temperatures.

Table 1. Chemical composition of the specimen.

C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Co	Nb
0.07	0.49	0.66	15.00	4.39	2.53	4.27	0.44

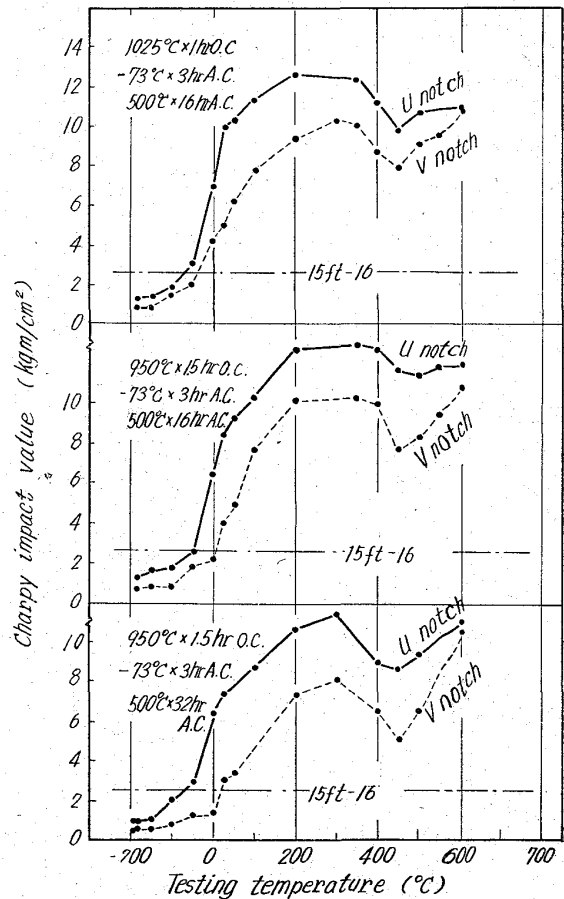


Fig. 2. Impact properties of ST-154 PH steel.

4. 熱処理と機械的性質の関係

4.1 時効特性

950°C×1.5 hr 油冷, -73°C×3 hr 深冷処理した試料の 500°C における時効特性を第1報 Fig. 3 に示した。併記した大気溶解材のデータは試料 27 と 29 によるもので、鋼塊の大きさが異なるから厳密な比較にはならないが、真空溶解材が靱性にすぐれた数値を与えている。時効 4 hr で耐力 0.02% 100 kg/mm² を越し、16 hr で 120 kg/mm², 64 hr で 130 kg/mm² 以上となる。引張強さも 32 hr で 150 kg/mm² を越えた値を示す。

4.2 高温での機械的性質

Fig. 1 は各種の熱処理を施した試料の 600°C までの機械的性質を示す。400°C において引張強さ約 130 kg/mm², 耐力 0.02% 100 kg/mm² 附近を示し、Fig. 2 のごとく 450°C に衝撃値の谷が生ずる。衝撃特性は高温溶体化、短時間時効の方がすぐれており、析出硬化作用および残留 austenite 量と関係をもつようである。

4.3 機械的性質におよぼす深冷処理の影響

Table 2. Mechanical properties of ausformed specimens.

Sample No.	0.02% Y.S. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	E.L. (%)	R.A. (%)	Impact (kg·m/cm ²)	H _{RC}	Heat. treat
A 1	162.3	175.5	14.0	60.4	10.8	46.5	500°C × 8 hr
A 2	163.2	177.4	11.7	61.7	9.4	48.3	500°C × 16 hr
A 3	165.0	182.0	13.1	60.4	9.0	48.4	500°C × 32 hr
A 4	159.2	176.2	13.7	55.1	15.4	48.8	500°C × 64 hr
A 5	158.6	176.9	14.9	59.0	10.5	49.4	500°C × 120 hr
A 6	143.7	163.6	9.2	32.7	2.1	48.0	500°C × 64 hr
A 7	143.7	162.3	17.1	65.2	10.6	48.2	500°C × 64 hr
A 8	141.2	160.3	16.6	65.2	10.7	48.0	500°C × 64 hr

Sample A1~A5.....81.6% Reduce A6~A8.....71.5% Reduce.

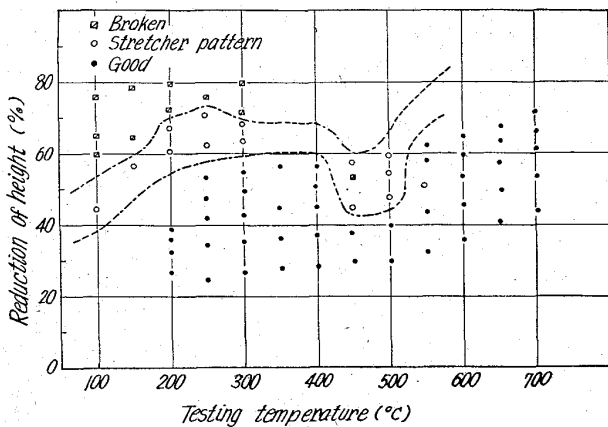


Fig. 3. The results of up-setting tests. Specimen is solution-treated at 950°C for 1hr, and after cooling to testing temperature, hold for 30 min.

深冷処理温度を 0°, -10°, -20°, -40°, -70°C とした場合、時効後の耐力 0.02% は -40°C 以下の処理で 130kg/mm² 近い数値を得たが、0°C の場合でもなお 121kg/mm² を示した。引張強さは大きな相違はなく、衝撃値は 0°C 処理が最も高く、若干の残留 austenite の影響を示した。

また溶体化処理後深冷処理までの放置時間の影響を調べると、10.5~32 hr までは耐力 0.02% 130kg/mm² 以上、64 hr において 128.8kg/mm² を示し、AM355, 17-7PH のとき PH ステンレスと比較して、放置時間の影響は著しく少いことも認められた。これは肉厚部品の熱処理に有利である。

5. 塑性加工について

ST-154PH の Ar₁ 変態は実用的冷却速度では認められないので、軟化のためには溶体化、過時効処理による。得られる硬度は H_{RC} 32 程度である。ゆえに塑性加工する場合は冷間鍛造よりも ausforming が適している。Fig. 3 は 9mm φ × 14mm の試料を 950°C に溶体化し、100~700°C の試験温度に 30min 保持して upset 試験を行なった結果である。450~500°C の析出硬化範囲を避ければ 200~400°C または 600°C 以上が適当である。

ausforming をした材料の 500°C 時効特性は、16 hr において H_{RC} 47, 64 hr において H_{RC} 48 に達する。Table 2 は ausforming 材の機械的性質を示す。縦方

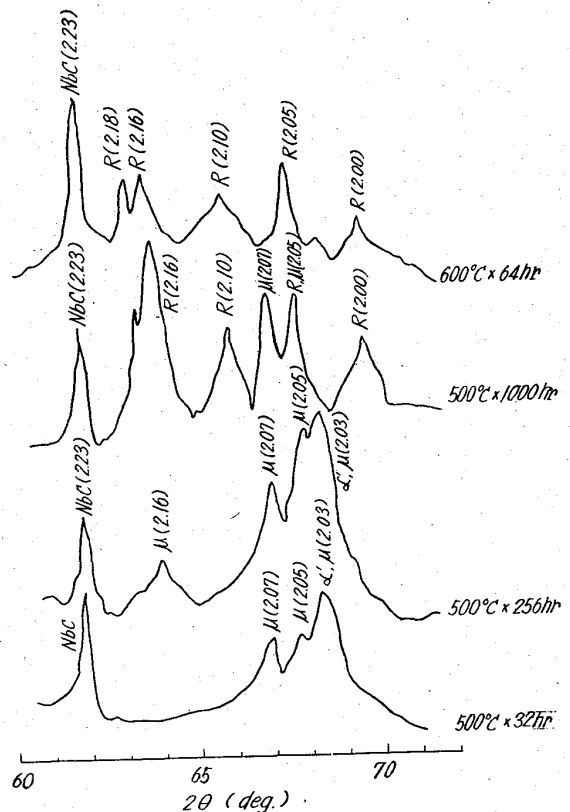
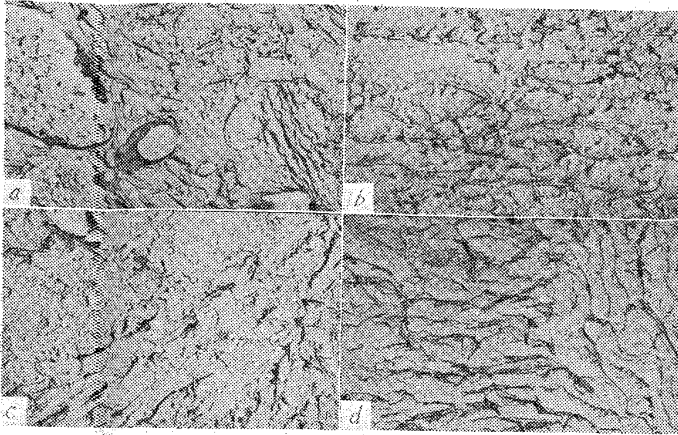


Fig. 4. X-ray diffraction patterns of the residues extracted from aged specimens.

向の強さおよび衝撃値は著しい増加を示し、横方向の衝撃値は逆に低下する。引張強さ 170kg/mm², 耐力 0.02% 160kg/mm² 程度のものが得られる。

6. 析出硬化機構に関する考察

本ステンレス鋼の析出硬化機構を究明するために、Table 2 のとき時効試料の電子顕微鏡組織と電解抽出残渣の X 線分析を行ない、析出物の挙動を調べた。試料の電解は 0.2N 塩酸+5% クエン酸水溶液により 18 mA/cm² の電流密度で、96 hr 行なつた。このようにして得た残渣を、Cr 対陰極を用いて回折した像の代表的なものを Fig. 4 に示す。試料 A, B, C では NbC, D, E では NbC+μ相 (Co-Ni-Mo 金属間化合物)+α'相¹⁾ (α-Fe より格子常数が 0.2% 大きい Cr-rich な体心立方晶), F では NbC+μ相+R相 (Cr-Co-Mo 金属間化合物), G, H, I, J では R相などが認められ



a: 950°C×1hr O. Q., -73°C×3hr, b: 500°C×8hr,
 c: 500°C×32hr, d: 600°C×64hr. (×10,000) (1/3)

Photo. 1. Electron microstructures of the specimens solutioned, suzero-cooled, and aged.

Table 2. The specimens used for experiments and amount of electrolytic residue.

Specimen No.	Heat treatment	Hardness (HrC)	Amount of residue (%)
A	950°C×1hr O. Q., -73°C×3hr	38.5	0.6
B	500°C×1hr	41.5	1.6
C	500°C×8hr	44.4	6.2
D	500°C×32hr	45.9	10.2
E	500°C×256hr	46.6	15.3
F	500°C×1000hr	36.0	7.5
G	600°C×2hr	39.3	3.2
H	600°C×64hr	35.1	3.6
I	640°C×2hr	33.5	2.6
J	640°C×32hr	32.5	3.5

た. したがって硬化にあずかる析出物は μ 相と α' 相であると考えられ, 過時効に移るところでは $\mu \rightarrow R$ の変化がおこり, 完全な過時効状態では R 相のみとなる. また電解抽出残渣量は Table 2 中に示したように, 硬化が進行するとともに増加し, 過時効状態になると減少している. つぎに試料 A, C, D, H の電子顕微鏡組織を Photo. 1 に示す. 硬化進行中の試料 C, D の組織は, Photo. b, c のごとく, 基地中に微細な粒状析出物 (μ 相あるいは α' 相) が多数存在しているのがよくわかる. また過時効試料 H では Photo. d のようになり, 組織はかなり異なつたものとなる.

以上のように本ステンレス鋼における析出硬化は μ 相および α' 相の析出によつておこるものと考えられる.

7. 結 言

15Cr-4Ni 系 PH ステージレス鋼として新たに開発された 15Cr-4Ni-2.5Mo-4Co-0.4Nb 鋼 (ST-154PH) について熱処理と機械的性質の関係, ausforming による特性, 耐蝕性と熱処理の関係につき検討を加え, 併せて本鋼の析出硬化機構について考察を加えた. 得られた結論は次の通りである.

1) 本鋼の熱処理条件は 950°C にて溶体化し, 油冷後深冷処理, 時効を行う. 時効は 500°C×64~256hr にて最高強度に達する. 溶体化温度は 1025°C

の方がむしろ衝撃特性が良好である.

2) 深冷処理条件は他の PH ステンレス鋼程厳密でなくともよい. これは肉厚部品の熱処理に対して有利である.

3) Ar_1 変態が著るしく遅延し, Ms 点は 50°C 附近にあるから ausforming が容易に実施できる. 温度は析出温度域 450°C~550°C を避けることが必要である.

4) ausforming の実施により, 縦方向の機械的性質は著るしく向上する. 耐力 0.02% 160kg/mm² 級が得られる.

5) 本鋼の析出硬化機構は μ 相 (Ni-Co-Mo 金属間化合物) および α' 相の析出によるものと認められる.

文 献

- 1) K. C. ANTONY: J. Metals, 15 (1963), p. 922

(164) 15Cr-12Ni 系オーステナイト耐熱鋼におよぼす C, Ti および B の影響

(弱析出硬化型オーステナイト耐熱鋼の研究—Ⅲ)

東京大学工学部 工博 藤田利夫

日立金属工業 〇九 鬼秀勝

Effect of Carbon, Titanium and Boron on the 15Cr-12Ni Austenitic Heat Resisting Steel.

(Studies on the weak precipitation hardening austenitic heat resisting steel—Ⅲ)

Dr. Toshio FUJITA and Hidekatsu KUKI.

1. 結 言

前報¹⁾において 15Cr-12Ni オーステナイト耐熱鋼におよぼす C および Ti の影響として, 0.2% 付近での Ti, および 0.6% 付近での C の影響について報告し, その中でおのおの 0.2~0.3% C および 0.5~0.8% Ti 添加のものが最も高い高温強度を与え, そのクリーブ破断強度は Eshete 1250²⁾ に比べて相当すぐれていることを述べた. 本報では 0.1% C, 0.3% C および 0.4% C 付近での Ti の影響について実験を行つたので, 前報の結果をあわせて 15Cr-12Ni オーステナイト耐熱鋼のクリーブ破断強度を改善するのに最適な C および Ti の添加量を決定した. また 15Cr-12Ni オーステナイト耐熱鋼におよぼす B の影響について 0~0.15% B についてクリーブ破断試験を行つたのであわせて報告する.

2. 試 料

Table 1 に試料の化学成分を示す. S1~S15 の各試料とも Si, Mn, Ni, Cr, Mo, W, Cu および B をそれぞれ一定とし, S1 は C 0.2% および Ti 0.6% 添加したものであり, S2~S4 は 0.1% C に Ti 0.25~1.05%, S5~S8 は 0.2% C に Ti 0~0.8%, S9~S11 は 0.3% C に Ti 0.28~1.17%, S12~S14 は 0.4% C に Ti 0.34~1.00% および S15 は 0.5% C に Ti 0.68% 添加したもので, 15Cr-12Ni オーステナ