

(162) 15Cr-4Ni-Mo-Co-Nb 系析出硬化型ステンレス鋼の研究
 (ST-154 PH 鋼に関する研究-I)

日本特殊鋼

工博○沢 繁樹・西村富隆・森 俊雄
 Study on 15Cr-4Ni-Mo-Co-Nb PH Stainless Steel.

(Studies on ST-154 PH steel-I)

Dr. Shigeki SAWA, Tomitaka NISHIMURA and Toshio MORI.

1. 緒 言

著者等がかねてよりジェットエンジンのごとき軽量構造機に用うべき応力/重量比の高い耐蝕性のすぐれた合金の開発研究を続けてきたが、15Cr-4Ni系PH鋼に改良を加えて、強力にして耐衝撃性に富む新鋼種を得たので、その概要を報告する。

2. 15Cr-4Ni-Mo PH 鋼の組成、組織と機械的性質

本研究の発端は、航空機やミサイルに広く用いられているPHステンレス鋼AM355¹⁾である。その組成は0.10%C, 0.95%Mn, 0.25%Si, 15.5%Cr, 4.3%Ni, 2.75%Mo, 0.10%Nを標準とし、機械的性質はSCT(850°F)において最も強力で耐力0.02% 99kg/mm², 引張強さ151kg/mm², 伸19%, 絞り38%, Vノッチシャルピー値15ft-lb(10°C)程度である²⁾。しかしδ-ferriteおよび残留austeniteに強く影響するNを組成としているから、その添加歩留のいかに組成バランスに影響を与え、たとえ全成分が規格内にあつても機械

的性質に著しい変動があり、さらに航空機用鋼として清浄鋼を得る目的の真空溶解ないし減圧アーク溶解に障害があることも欠点である。

熱処理を加えた本系統合金のマイクロ組織は、均一な時効 martensite 組織が望ましく、δ-ferrite は実質的に無害な量(LORIA³⁾のAISI 422に関する研究にしたがえば5%程度以下)とし、耐力を低下させる残留austeniteは出来るだけ少ない方が望ましい。

Table 1は本実験に用いた9kg小型鋼塊より鍛伸した試料(18mmφ, F.R.約20)の化学組成である。試料1~9はAM355の規格内において、炭素を上限、中央および下限とし、他の組成をδ形成元素の上限とγ形成元素の上限の組合せ、それぞれの中央値、およびδ形成元素の下限とγ形成元素の上限の組合せを視つて溶解したものである。これに950°C×1.5hr油冷、-73°C×3hr, 500°C×1hr空冷の熱処理を加え、機械試験、X線回折法による残留austenite、点算法によるδ-ferriteの測定を行なった。さらにIRVINE⁴⁾によるδ係数値

C Si Mn Cr Ni Mo Co Nb N V
 -210 +6 -6 +14 -20 +5 -7 +14 -220 +18
 より計算したδ当量と上記測定値の関係を求めた。Fig. 1において、AM355の耐力0.02% 100kg/mm²以上を目標とすれば、残留austeniteは10%以下にすべく、δ当量は105以上が必要となる。δ-ferrite 5%以下を目標とすればδ当量113以下というきわめて極限された範囲に化学組成を調整せねばならない。

LULA⁵⁾によれば、焼入れ前の低温焼鈍によりMs点

Table 1. Chemical composition of specimens.

No.	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Co	Nb	V	N
1	0.098	0.39	0.83	16.18	4.50	2.89	—	—	—	0.102
2	0.11	0.44	0.83	16.18	4.57	2.50	—	—	—	0.121
3	0.14	0.39	0.81	15.74	4.53	2.82	—	—	—	0.116
4	0.093	0.42	1.29	15.26	5.04	2.55	—	—	—	0.141
5	0.12	0.42	1.34	15.39	5.02	2.54	—	—	—	0.140
6	0.14	0.39	1.27	15.26	5.02	2.67	—	—	—	0.142
7	0.098	0.46	0.55	16.18	4.01	3.28	—	—	—	0.087
8	0.12	0.40	0.50	16.25	4.05	3.25	—	—	—	0.088
9	0.14	0.39	0.53	15.82	4.00	3.22	—	—	—	0.084
10	0.11	0.41	0.60	15.78	3.98	3.07	—	—	—	0.043
11	0.10	0.39	0.64	15.62	4.00	3.19	1.02	—	—	0.048
12	0.10	0.41	0.63	15.62	3.99	3.12	2.10	—	—	0.047
13	0.10	0.43	0.66	15.74	3.98	3.01	4.10	—	—	0.049
14	0.11	0.42	0.62	15.65	4.05	3.05	7.80	—	—	0.048
15	0.14	0.38	0.60	15.78	4.01	3.05	—	—	0.28	0.045
16	0.21	0.44	0.62	15.75	3.96	3.08	—	—	0.58	0.041
17	0.29	0.44	0.61	15.86	3.98	3.03	—	—	1.19	0.039
18	0.19	0.27	0.55	15.25	3.96	3.11	2.45	—	—	0.014
19	0.20	0.28	0.55	14.77	3.90	3.12	2.45	0.35	—	0.011
20	0.20	0.37	0.92	15.83	3.07	2.80	3.50	0.98	—	0.021
21	0.25	0.19	1.34	15.04	4.08	2.20	4.15	0.58	—	0.021
22	0.20	0.28	1.08	15.32	3.56	2.65	3.80	0.80	—	0.021
23	0.23	0.25	0.82	15.02	3.90	2.60	4.10	0.42	—	0.021
24	0.21	0.27	0.85	15.09	3.89	2.42	4.10	0.39	—	—
25	0.16	0.41	0.79	14.74	4.07	2.53	3.94	0.38	—	—
26	0.16	0.39	0.84	15.04	4.00	2.40	4.00	0.42	—	—
27	0.087	0.42	0.77	14.91	4.25	2.57	4.05	0.40	—	—
28	0.086	0.42	0.79	14.74	4.28	2.57	4.05	0.37	—	—
29	0.085	0.40	0.81	15.04	4.25	2.40	4.00	0.42	—	—

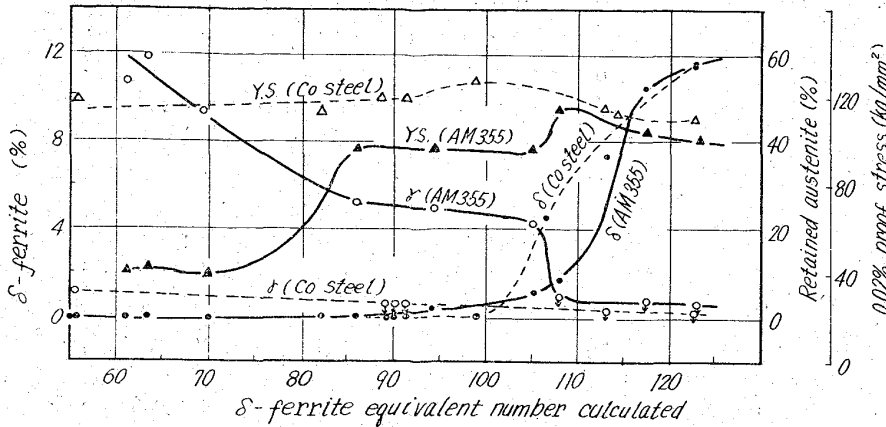
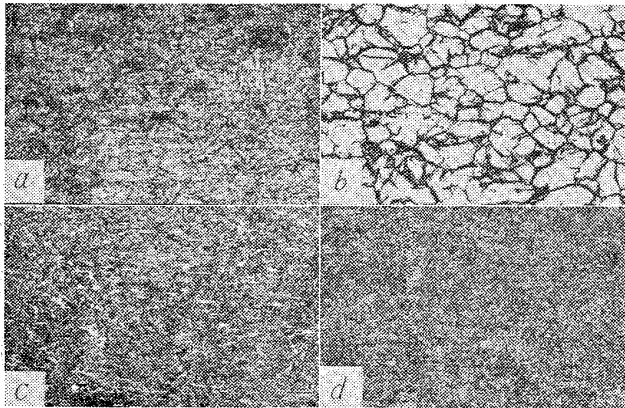


Fig. 1. Proof stress (0.02%), δ -ferrite and retained austenite of AM 355 and Co alloyed steel related to δ -ferrite equivalent number calculated.



Specimen a) 2, b) 6, c) 7, d) 23.

Photo. 1. Micro-structure of specimen 2, 6, 7 and 23.

を調整出来るとしており、上記範囲は若干上限に拡大されると推測されるが、輸入材その他の調査によれば、C, Cr, Mo の低い場合に 95 位が下限のようである。熱処理後のマイクロ組織は Photo.1 のごとく、 δ を含むものは比較的細粒であるが残留 austenite の多いものは粗粒である。

3. 15Cr-4Ni-Mo PH 鋼におよぼす Co, V, Nb 添加の影響
3.1 Co の影響

試料 10~14 は Co の影響を示す。N は 0.04% に下げた。Co は Ms を下降させず γ 域を拡大するから、 δ -ferrite の減少に有効である。機械試験の結果は Co の効果を明

らかに示し、4%Co において耐力 0.02% 112.8 kg/mm², 引張強さ 147 kg/mm² に達した。

3.2 V の影響

試料 10 を標準とし、これに V を 0.3~1.2% 添加し、V 添加量に応じて C を高めたのが試料 15~17 である。V₄C₃ の存在が変態を促進し、また結晶粒も微細化されている。いずれの試料も δ を含み、耐力 0.02% 100~106 kg/mm² を示し、深冷処理しない場合でも 98 kg/mm² 以上が得られた。

3.3 Nb の影響

試料 18~22 において、950°C×1.5 hr 油冷、-73°C×3 hr 深冷後の 1 hr 時効曲線は、2.5%Co 鋼で 450°C, 4%Co 鋼では 500°C で最高硬度を示す。マイクロ組織は Photo.1 d のごとく、Nb の添加による結晶粒微細化作用が認められる。

この系列の鋼に種々の熱処理を加えると、500°C×6hr

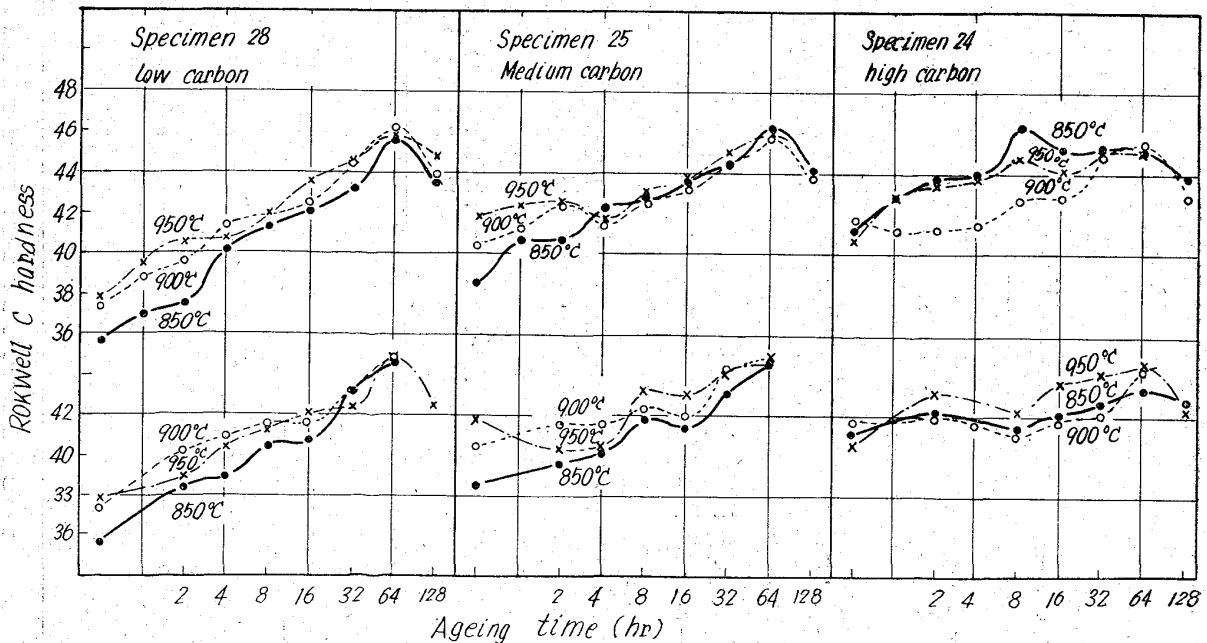


Fig. 2. Change of hardness after aging at 500°C. Sol. treated at 850°, 900° and 950°C, with (upper group) or without (lower group) subzero treatment.

Table 2. Mechanical properties of 15Co-4Ni-Mo-Co-Nb steel containing 3-grades of carbon.

No.	0.02% Proof stress (kg/mm ²)	Tensile strength (kg/mm ²)	Elongation (%)	Reduction of area (%)	Charpy u. notech value (kgm/cm ²)	H _R C	Solution temp. (°C)
28 Low C	135.7	148.9	16.6	56.4	5.8	42.9	900
	124.2	148.2	18.6	61.5	6.7	43.6	925
	129.4	149.8	18.0	59.2	8.0	43.3	950
25 Medium C	137.2	151.0	13.4	45.2	2.8	44.0	900
	130.8	147.9	14.9	48.1	4.4	44.9	925
	137.2	152.9	14.9	48.1	4.7	44.5	950
24 High C	127.4	143.3	14.9	45.2	3.0	43.8	900
	121.1	144.0	13.2	37.5	2.6	42.9	925
	133.2	147.9	16.9	46.7	3.3	43.5	950

Heat treatment. Solutioned for 1.5 hr-subzero cooled at -73°C for 3 hr then aged at 500°C for 32 hr.

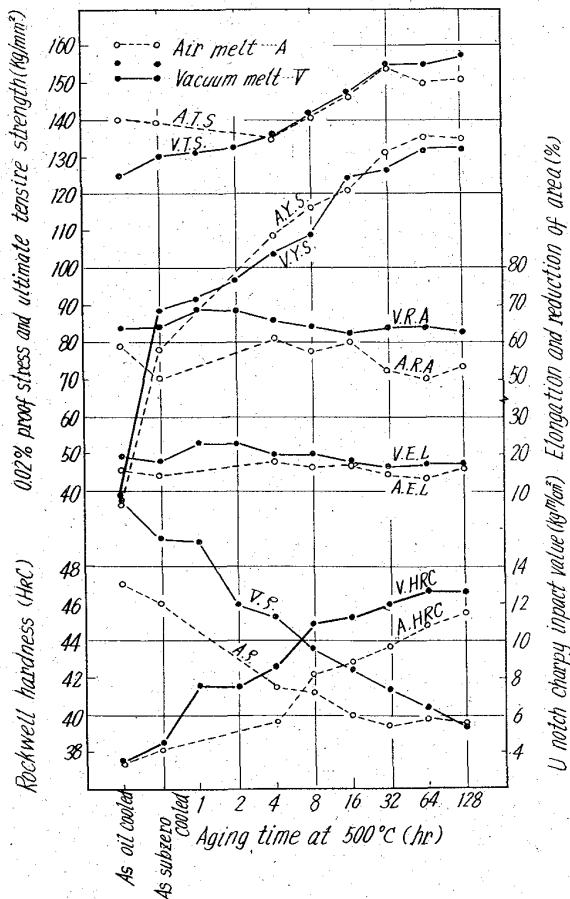


Fig. 3. Aging properties of ST-154 PH.

または 525°C×3 hr 時効したものが 500°C×2 hr 時効の場合と比べて引張強さは数 kg/mm² 低下するが耐力はかえって上昇し、130 kg/mm² を越えるものが得られた。

以上の含 Co 鋼の δ 当量を計算し、AM355 と比較すると Fig. 1 の点線のごとくである。耐力 0.02% 100 kg/mm²、δ-ferrite 5% 未満の条件における δ 当量の許容範囲は 55~106 に拡大され、成分調整の容易なことが知られる。

4. 15Cr-4Ni-Mo-Co-Nb 鋼における炭素の影響

試料 23~29 は C を 0.22%、0.16% および 0.08% の 3 水準とし、Ni と Co で成分バランスを整えた試料である。おのおの同一ロットの原料を用い、同一配合で溶製し、化学組成も揃った値を示している。

Fig. 2 はその 500°C、128 hr までの時効硬度の変化を示す。硬化は 2 段階が認められ、32~64 hr において最高硬度に達する。溶体化温度 900°、925°、および 950°C、深冷後 500°C×32 hr 時効のときの機械的性質は Table 2 の通りである。耐力 0.02% 130 kg/mm² 前後、衝撃値は低炭素鋼がすぐれ、また溶体化温度の高いほど大きい値を示すのは、粒界炭化物の影響と考えられる。

10 mm φ×100 mm の試験片による熱処理歪の測定結果は、炭素量の低いものほど少ない変形率を示した。

以上の実験結果より、15Cr-4Ni-2.5Mo-4Co-0.4Nb 鋼の低炭素のものは、AM355 の遅延 martensite 型から、本格的な martensite 析出硬化型ステンレス鋼に発展したことを示し、化学組成の許容範囲も広く、熱処理歪も少なく、すぐれた機械的性質を与えることが認められた。これを ST-154PH と命名した。Fig. 3 は ST-154PH の時効にともなう機械的性質の変化を示す。

5. 結 言

- 1) AM355 を以て代表される 15Cr-4Ni-系 PH 鋼の化学組成バランスを検討し、Co の添加が組成変動容許範囲を拡大することを示した。
- 2) さらに V または Nb の添加が、変態の促進と結晶性の微細化に有効であった。
- 3) 15Cr-4Ni-2.5Mo-4Co-0.4Nb 鋼に対する C の影響を検討し、低炭素のものは時効硬化が強く、熱処理歪が少なく、すぐれた機械的性質を与えることを認めた。

文 献

- 1) R. A. LULA: Metal Progress (1959) March p. 117
- 2) Allegheny Ludlum 社カタログによる
- 3) E. A. LORIA: Trans. Amer. Soc. Metals, 54 (1961), p. 31
- 4) K.J. IRVINE, D.A. CROWVE, F.B. PICKERING: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 195 (1960), p. 386