

Table 3. X-ray analysis of electrolytically isolated precipitates (specimen M-3).

No.	σ Phase (Fe-Cr)	Ni ₃ (Al-Ti) (Al rich)	G Phase (Ni ₁₃ · Ti ₃ Si ₆)	Laves phase	M ₆ C	M ₂₃ C ₆ (Cr·Fe· Mo) ₂₃ C ₆	Mo ₂ C	Ti (C·N) (C rich)
301	×	×	×	×	×	×	×	○(30)
296	×	×	×	×	×	×	×	○(30)
306	×	×	×	×	×	×	×	○(30)
246	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
248	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
250	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
248	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
252	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
254	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
256	×	◎(77)	×	×	×	○(3)	×	○(20)
270	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
272	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
248	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
274	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
276	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
278	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
280	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
252	×	◎(85)	×	×	×	○(5)	×	○(10)
282	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
284	×	◎(75)	×	×	×	○(5)	×	○(20)
286	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
254	×	◎(80)	×	×	×	○(5)	×	○(15)
290	×	◎(75)	×	×	×	○(5)	×	○(20)

Note: ◎ Present (especially evident), ○ Present., × Absent.

(1) 成分の影響

(a) 主析出物は Ni₃(Al·Ti) (γ' 相) であり、このほか M₂₃C₆, Ti (C·N) が少量存在する。また W, V などを添加した試料ではそれぞれ WC, VC がわずかに析出しており、とくに Nb を添加した試料では Nb₄(C·N)₃ が多く析出している。

(b) Al を増量した試料および Nb を添加した試料では析出物量が増加する。これは前者が金属間化合物を、後者が炭化物を多く析出しているためで、これらの試料は時効硬度、高温における引張り強さおよびラプチャー強度の増加がいちじるしい。

(2) 熱処理の影響

(a) 溶体化処理により残存する析出物は Ti (C·N) のみで、時効処理によつて析出する物質は Ni₃ (Al·Ti) が主体で、M₂₃C₆, Ti (C·N) も少量存在する。

(b) 析出物量は溶体化処理温度に影響なく、時効温度に左右され、時効温度 800°C までは析出物量が増加し、850°C 以上では急激に減少する。これは主として金属間化合物の析出または固溶に原因するものである。

なお時効時間が 2h では析出不十分であり、かつ 50h 以上では γ' 相が一部固溶して析出量が減少する。こ

の傾向は時効温度が高いほど顕著である。

文 献

- 1) 小柴, 九重: 鉄と鋼, 46 (1960), 487.
- 2) 小柴, 九重, 木村: " , 46 (1960), 1421.

(103) 含 P 高降伏点非磁性鋼の研究

特殊製鋼

工博 山中直道・○日下邦男・外岡 耀
Study on a Phosphorus-Bearing Non
Magnetic Steel of High Yield Strength.

Dr. Naomiti YAMANAKA, Kunio KUSAKA
and Akira TONOOKA.

I. 緒 言

非磁性鋼の中でももつとも高降伏点を要求されるものはタービン発電機用のエンドリングに使用されるものであり発電機の容量が大きくなるにつれて要求性能も高まり、またリングも大型になる傾向にある。最近では 10 万 kW 以上の発電機や 4,500 kVA 以上の誘導電動機

などに使われる降伏点 90 kg/mm^2 以上の非磁性エンドリングが要求されるようになった。非磁性鋼すなわちオーステナイト鋼の降伏点を高めるには冷間加工または再結晶度以下で行なう温間加工による加工硬化法と熱処理によつて析出硬化を生ぜしめる方法との二つがある。前者の加工硬化法ではエンドリングの小さいものは比較的容易に降伏点を 80 kg/mm^2 以上に上昇せしめることができるが、たとえば外径 $1,000 \text{ mm}$ 、肉厚 100 mm 、長さ 600 mm というような大きなものになると 30% 前後の加工度を均一に与えるためには非常に大型のプレスが必要となり、それだけ製作が困難になる。したがつて熱処理のみによつて高降伏点を出すことができるならば製作が容易となるばかりでなく信頼性の大きい製品をつくることのできる。著者らは数年前より研究を実施して来た結果、降伏点 70 kg/mm^2 以上の性能を有する析出硬化型の非磁性鋼の開発に成功した。本報告はこの基礎試験結果であつて $18\text{Cr}-10\text{Ni}$ 型オーステナイト鋼に P を添加し、また C, N₂, B, W, Mo, V, Cb などを変化せしめた場合のこれら添加元素の影響について調べたものである。供試材は 35 KVA 高周波誘導炉にて 7 kg 鋼塊を熔製し 30 mm 角に鍛伸したものをを用いた。

II. 実 験 結 果

われわれは以前よりオーステナイト系耐熱鋼におよぼす P 添加の影響について実験を行なつてきたが、その結果 P を多く添加すると析出硬化がいちじるしく促進され、その程度は P 含有量の多くなるほど大であるこ

と、また析出硬化は P がオーステナイト中に固溶して Strain energy を増すために Cr 炭化物がオーステナイト粒内に析出して時効硬化を生ずるのであり、このような炭化物を形成させるためには、ある量以上の C が必要であることなどが明らかとなつた。このような P の析出硬化促進作用は当然常温における降伏点をも高めうるのであつて高降伏点非磁性鋼に利用できるものである。われわれはこの点に着目し時効硬化をさらに顕著ならしめるために N₂, W, Mo, Cb, V などの添加を行なつたものである。

(1) P の影響

われわれはまず C 0.2%, Ni 10%, Cr 18%, W 0.5%, Mo 0.5%, Cb 0.25% を基本成分としてこれに P を添加した場合の溶体化処理状態および焼戻時効後の硬度・機械的性質・導磁率などについて試験を行なつた。

$1150^\circ\text{C} \times 1 \text{ h}$ 水冷の溶体化処理状態において非常にやわらかく降伏点も低く P 添加の影響はほとんどみられない。すなわち

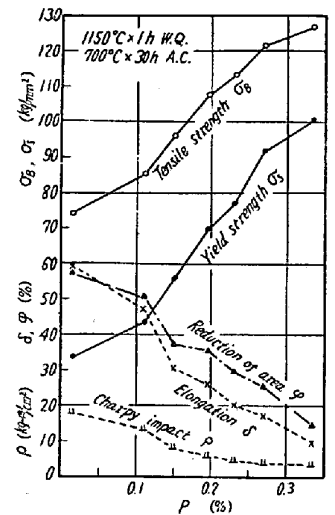


Fig. 1. Effect of P on mechanical properties of a nonmagnetic steel containing 0.2% C, 18% Cr, 10% Ni, 0.5% W, 0.5% Mo, 0.25% Cb and 0.05% N.

Table 1. Chemical composition of steels tested.

Steel No.	Chemical composition (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	Cb	N ₂
NMAP-1	0.22	0.52	0.99	0.018	0.017	10.18	17.91	0.56	0.53	0.25	
-2	0.25	0.51	1.03	0.111	0.018	10.03	17.95	0.58	0.54	0.22	
-3	0.23	0.51	1.01	0.150	0.019	10.18	17.91	0.57	0.55	0.24	
-4	0.24	0.51	1.02	0.193	0.019	10.38	17.91	0.58	0.56	0.26	
-5	0.25	0.48	0.98	0.228	0.016	9.98	17.44	0.54	0.53	0.23	
-6	0.23	0.49	1.02	0.276	0.017	10.18	17.91	0.58	0.54	0.25	
-7	0.24	0.49	0.98	0.332	0.016	10.13	17.91	0.59	0.55	0.24	
-8	0.12	0.51	0.97	0.193	0.020	10.13	17.95	0.57	0.55	0.26	
-9	0.14	0.51	1.03	0.193	0.019	10.18	17.95	0.57	0.55	0.26	
-10	0.26	0.54	0.99	0.188	0.017	10.13	18.52	0.54	0.54	0.24	
-11	0.33	0.51	1.01	0.188	0.016	10.13	17.65	0.55	0.53	0.24	
-37	0.15	0.51	1.02	0.28	0.014	10.36	17.98	0.59	0.57	0.27	0.16
-38	0.23	0.56	1.04	0.26	0.010	10.16	18.15	0.62	0.62	0.32	0.15
-39	0.26	0.54	1.03	0.27	0.012	10.06	18.07	0.58	0.55	0.30	0.18
-40	0.33	0.53	1.03	0.26	0.010	10.11	18.12	0.56	0.56	0.26	0.17
-43	0.26	0.67	1.01	0.176	0.010	10.31	17.89	0.59	0.51	0.26	0.12
-44	0.25	0.69	1.01	0.217	0.009	10.46	17.94	0.60	0.60	0.24	0.12
-45	0.24	0.67	1.02	0.280	0.012	10.41	17.85	0.60	0.54	0.13	0.13
-46	0.26	0.54	1.00	0.337	0.011	10.31	17.85	0.61	0.58	0.20	0.13
-56	0.29	0.56	1.06	0.269	0.015	10.06	18.16	0.62	0.58	1.09	0.11
NMA-7	0.19	0.57	0.95	0.22	0.006	9.71	18.24	0.58	0.43	0.16	0.19

P 0.018% の NMAP-1 は降伏点 28 kg/mm^2 を示し P が 0.276% の NMAP-6 は 33 kg/mm^2 である。しかるに $700^\circ\text{C} \times 30 \text{ h}$ 時効後においては Fig. 1 に示すように P の多くなるにつれて顕著に降伏点は上昇するが伸び、絞り、衝撃値が低下する。したがって P を適当量に調節することによつて降伏点、伸びなどを要求値に合致せしめることが可能である。

(2) C の影響

Ni 10%, Cr 18%, W 0.5%, Mo 0.5%, Cb 0.25% に一定にして P 0.2% および P 0.26% 含有の場合について C の影響を調査した。両者とも C の多くなるにつれて焼戻時効後の降伏点は上昇し、伸び・絞り・衝撃値は低下するがとくに P の多い場合に C の影響が大きくあらわれ、たとえば P 0.26

% 含有の場合 C 0.1% のものは降伏点 61 kg/mm^2 であるが、C が 0.23% になると 92 kg/mm^2 に上昇する。つぎに 0.27% P とともに 0.15% N₂ 添加の場合について C の影響を調べたがこの場合には N₂ によつて時効硬化が一段と促進されるために C の低い場合にも降伏点はかなり高く C 0.15% で 72 kg/mm^2 を示すが C の多くなるにつれて急速に降伏点が上昇し、0.26% の場合には降伏点は 102 kg/mm^2 に達する。

(3) N₂ の影響

C 0.2%, P 0.2%, Ni 10%, Cr 18%, W 0.5%, Mo 0.5%, Cb 0.2% のものに N₂ を添加して試験したが N₂ の多くなるにつれて焼戻時効後の降伏点は上昇するが伸び、絞りが低下の傾向を示す、たとえば N₂ 0.05% の場合には時効後の降伏点は 69 kg/mm^2 であるが N₂ が 0.23% に多くなると降伏点は 86 kg/mm^2 に向上するが

伸びが 15% に低下した。以上説明したように含 P 非磁性鋼にあつては C, P, N₂ が析出硬化にもつとも大きな影響をあたえるのでこの三元素の合計を適当量に調節する必要がある。

(4) その他の元素の影響

Ni を 20% まで増加して試験した結果は Ni の多くなるにつれて降伏点はやや向上し衝撃値も良好である。また B を 0.08% まで添加したが B を添加すると伸び、絞りは向上するが降伏点はかえつて低下することが判明した。0.5% Sn の添加は降伏点を若干向上せしめる。Be 0.1% 添加ではとくに影響はみとめられなかつた。

(5) 熱処理の影響ならびにリング製造試験結果

a) NMA-7 の場合: 5 t 塩基性電気炉にて熔製したさい採取した 20 kg 鋼塊を 30φ に鍛伸して熱処理を種々に変化せしめて試験した結果は Table 2 に示すとおりである。NMA-7 の化学成分は Table 1 に示してある。1150°C 溶体化処理状態では軟らかく降伏点も低いのが 700°C に時効することによつて降伏点は 70~80 kg/mm² に達し伸びも良好である。

b) 非磁性鋼リング製造試験: Table 1 に示す化学成分の 2.5 t 鋼塊より外径 620, 内径 540, 長さ 420 mm のリングを製造し 1100°C 溶体化処理, 700°C 焼戻時効を行なつてリング本体切線方向より試片を採取して試験を行なつた結果は 0.2% 耐力 74 kg/mm^2 , 抗張力 105.6 kg/mm^2 , 伸び 21.4%, 絞り 25.4%, シャルピー衝撃値 3.3 kgm/cm^2 , 導磁率 1.004 の成績を示した。

III. 結 言

われわれは発電機エンドリングに使用される高降伏点非磁性鋼を析出硬化型のオーステナイト鋼によつて製造することを目的として、種々研究した結果とくに P を多く含有する 18Cr-10Ni 型オーステナイト鋼に W, Mo, Cb および N₂ などを添加することによつて降伏点 70 kg/mm^2 以上の性能を出しうることを見出し、すでに実用に供している。そして本型の非磁性鋼にあつては、C, P, N₂ がその性能に重要な影響をあたえるので要求性能に応じてこれらの元素を適当量に調節することが必要であることを知つた。

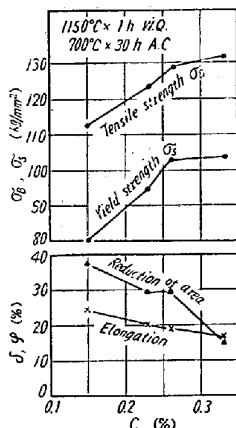


Fig. 2. Effect of C on mechanical properties of a non magnetic steel containing 0.27% P, 10% Ni, 18% Cr; 0.5% W, 0.5% Mo, 0.25% Cb and 0.15% N₂.

Table 2. Mechanical properties of NMA-7 after various heat treatments.

Heat treatments	(0.2%) Y. S. (kg/mm ²)	T. S. (kg/mm ²)	El. (%)	R. A. (%)	H _B	μ (300Oe)
1150°C × 1h W.Q.	44.4	85.0	57.5	71.0	207	1.004
1150°C × 1h W.Q. 700°C × 6h	77.0	111.2	27.6	33.8	293	1.004
1150°C × 1h W.Q. 700°C × 30h	80.8	115.8	21.6	29.6	321	1.004