

4) クリープ破断試験

Fig. 4 に全試料の 732°C におけるクリープ破断試験結果を示す。图中記入した数値は破断後の伸びを示す。各系列ともに破断強度は Fe 含有量の増加とともに低下し、逆にクリープ速度および破断後の伸びは増加している。Ni 基合金に比し、Fe 基合金は強度は低いが、いずれも破断後の伸びが良好な値を示す所から、まだ基質組成改良強化の余地は十分認められる。

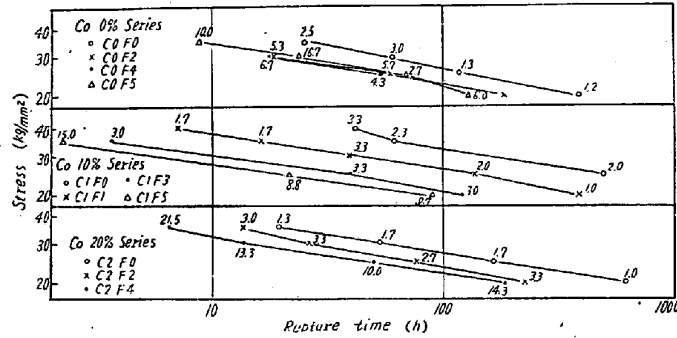


Fig. 4. Rupture-strength properties of alloys at 732°C.

以上の試験結果をもとにし、基質組成のことなる各試料の析出現象と破断強度の関係を追究し基質組成の検討を加えるために、電子顕微鏡組織、電解抽出、X線回折試験などについて行なった。これらの結果についても言及する。

(102) Ni 基耐熱合金の析出物におよぼす成分および熱処理の影響

日立金属工業安来工場

工博 小柴定雄・九重常男・○木村 伸

Effect of Elements and Heat-Treatment on Precipitation of Ni-Base Heat-Resisting Alloys.

Dr. Sadao KOSHIBA, Tsuneo KUNOU and Shin KIMURA.

I. 緒 言

耐熱合金の高温強度に大きな影響をおよぼす析出物の本質ならびに挙動をあきらかにする目的で、Ni 基耐熱合金の基準成分 (38% Ni, 18% Cr, 20% Co, 3% Mo, 0.2% Al, 2.8% Ti) の試料に Mo あるいは Al を増量した各試料および W, V, Nb などを単独あるいは複合添加した各試料、ならびに基準成分の試料について溶体化温度、時効温度および時効時間などを種々かえた各熱処理試料の析出物を電解分離法により抽出定量し、析出物の組成、形態などを明らかにして、析出物におよぼす成分元素および熱処理の影響を究明するとともに、さきに報告¹⁾²⁾した諸性質との関係についても検討した。

II. 実験方法

実験に用いた試料は、高周波電気炉にて熔製し、鍛伸したもので、その化学成分を Table 1 にしめす。

各試料は、10mm φ × 80mm に仕上げ、成分の影響を検討する各試料では、1150°C × 1h 水冷して溶体化処理後、750°C × 20h 空冷して時効処理した試料を用い、また熱処理の影響を検討する試料は基準成分 (M-3) の試料を用いてつぎの各熱処理を行ない電解した。

熱処理:

(a) 溶体化処理温度の影響

(i) 溶体化処理のみの場合

Table 1. Chemical composition (%) of specimens tested.

No.	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Nb	Al	Ti
M-3	0.03	1.03	1.23	37.76	17.86	—	3.06	—	21.38	—	0.20	2.36
M-7	0.03	1.02	1.12	37.86	17.95	—	6.75	—	22.00	—	0.20	2.28
A-8	0.06	1.17	1.13	37.24	18.72	—	3.16	—	20.00	—	0.70	2.68
W-2	0.04	1.24	1.25	37.27	18.10	1.54	3.16	—	21.38	—	0.22	2.35
W-7	0.04	0.92	1.23	37.79	18.11	6.35	3.06	—	21.75	—	0.21	2.38
V-2	0.05	0.98	1.14	37.47	17.96	—	3.06	1.53	21.75	—	0.20	2.38
V-3	0.06	1.02	1.23	37.47	17.99	—	2.96	2.39	20.88	—	0.23	2.43
N-1	0.04	1.10	1.05	38.04	17.82	—	2.92	—	20.00	1.04	0.22	2.40
N-3	0.05	1.00	1.08	37.44	17.93	—	2.91	—	20.50	3.34	0.22	2.39
S-1	0.16	1.09	1.02	37.30	18.47	2.64	3.00	0.98	21.38	1.16	0.17	2.80
S-2	0.15	1.21	1.19	36.50	18.17	1.52	3.20	1.12	21.88	2.15	0.17	2.80

1100, 1150, 1200°C×1h 水冷

(ii) 時効処理した場合

1100, 1150, 1200°C×1h 水冷後

各 750°C×20h 空冷

〔(b) 時効温度の影響

1150°C×1h 水冷後

750, 800, 850, 900°C×20h 空冷

(c) 時効時間の影響

1150°C×1h 水冷後

(i) 750°C×2, 10, 20, 50, 100h

(ii) 800°C×2, 10, 20, 50, 100h

(iii) 850°C×2, 20, 50h

電解条件: 電流密度 10~20 mA/cm²

電解液 3% HCl+5% クエン酸溶液

電解時間 40~50h

III. 実験結果

(1) 成分の影響

各種元素を添加した各試料から電解分離してえた析出物を化学分析した結果、析出物量は 8.3~16.3%で、化学組成は Ni (35~55%), Ti (10~14%) が主成分で、C は約 3%であつた。Al を増量した試料は Ni, Ti の

含有量がわずかに高く、W, V を添加した試料は添加量に比例してこれらの元素を少量含有している。とくに Nb を添加した試料は析出物量が多く、かつ析出物中の Nb 含有量が多い。

なお析出物を X線回折した結果は、いずれも主析出物は Ni₃(Al·Ti) (γ' 相) で、M₂₃C₆, Ti(C·N) が少量存在する。また Mo を増量した試料、W, V を添加した試料では、それぞれの元素の炭化物がわずかに析出しており、とくに Nb を添加した試料は、Nb が炭化物を形成しやすく Nb₄(C·N)₃ が多く存在している。さらに他の σ 相, G 相および Laves 相などの金属間化合物ならびに M₆C などの炭化物は析出を認めなかつた。

(2) 熱処理の影響

基準成分の試料 (M-3) を用いて各熱処理のた試料を電解分離してえた析出物の化学組成、X線回折結果を Table 2 および Table 3 にしめす。

なお実験は、光学顕微鏡および電子顕微鏡によつて析出物の析出状態および形態などについて観察し、さらに析出物と諸性質との関係についても検討した。

IV. 結 言

以上の結果を要約すれば、

Table 2. Chemical composition of electrolytically isolated precipitates (specimen M-3).

No.	Heat treatment	Amount of precipitates (wt%)	Chemical composition (%)						
			C	Ni	Cr	Mo	Co	Al	Ti
301	1100°C×1h W.Q.	0.59	5.33	—	—	—	—	—	—
296	1150°C× //	0.50	5.95	39.78	5.32	tr	4.73	tr	24.50
306	1200°C× //	0.37	5.45	—	—	—	—	—	—
246	1100°C×1h W.Q., 750°C×20h A.C.	8.58	2.92	47.76	4.01	1.00	4.95	0.97	12.83
248	1150°C×1h W.Q. //	8.30	2.84	49.24	3.92	1.08	4.90	0.90	12.51
250	1200°C×1h W.Q. //	8.15	2.58	48.08	3.88	0.99	5.01	0.91	12.53
248	1150°C×1h W.Q., 750°C×20h A.C.	8.30	2.84	49.24	3.92	1.08	4.90	0.90	12.51
252	// 800°C× //	8.62	2.87	52.15	3.96	1.10	4.72	0.95	12.24
254	// 850°C× //	4.33	3.61	48.44	4.37	0.91	4.51	0.74	14.80
256	// 900°C× //	2.08	5.17	43.28	4.06	0.94	4.17	0.58	20.33
270	1150°C×1h W.Q., 750°C×2h A.C.	7.20	3.37	47.66	4.12	1.05	5.14	0.84	15.42
272	// // ×10h //	8.44	2.79	50.42	3.75	1.06	4.83	0.98	12.30
248	// // ×20h //	8.30	2.84	49.24	3.92	1.08	4.90	0.90	12.51
274	// // ×50h //	8.28	2.86	49.36	3.93	1.10	4.91	0.89	12.55
276	// // ×100h //	8.15	2.99	49.65	4.09	1.20	4.98	0.87	12.84
278	1150°C×1h W.Q., 800°C×2h A.C.	7.75	3.29	49.01	3.90	1.12	4.25	0.91	14.11
280	// // ×10h //	8.89	2.78	52.56	3.74	1.02	4.08	1.02	12.07
252	// // ×20h //	8.62	2.87	52.15	3.96	1.10	4.72	0.95	12.24
282	// // ×50h //	8.57	2.90	52.23	4.08	1.21	4.65	0.96	12.10
284	// // ×100h //	8.60	2.88	51.27	4.07	1.20	4.73	0.85	12.47
286	1150°C×1h W.Q., 850°C×2h A.C.	4.91	3.48	45.72	4.05	0.90	4.08	0.75	14.05
254	// // ×20h //	4.33	3.61	48.44	4.37	0.91	4.51	0.74	14.80
290	// // ×50h //	3.98	3.93	42.70	4.25	0.99	4.41	0.81	14.60

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、後者が灰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 50 h 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