

6. 高温での 850°C で窒化処理をおこなったものの軟化はいちじるしく微少で 700°C 1h 焼戻して Hv50 位低下するのみである。

7. 耐蝕性は酸性液に対していちじるしく劣化しているが苛性ソーダでは変化が認められず、また食塩水では窒化処理したものは錆を生じた。

8. 高温側での窒化処理したものは低温側と比較して腐蝕量が大きくなり塩酸ではその比が約 3 倍、硫酸では約 6 倍、硝酸では約 2.5 倍となった。

9. 電位差による実験でも窒化温度が上がるほど電位差は増大し耐蝕性が劣化することが認められた。

(38) Ni 基耐熱合金に関する研究 (I)

Studies on Nickel-Base Heat-Resisting Alloys (I)

O. Ochiai, et alius.

住友金属工業製鋼所研究課

工 長谷川太郎・〇落合 治

I. 緒 言

最近ジェットエンジン・ガスタービンの進歩にとともに、使用される耐熱合金においても使用温度 800°C 以上の高級な材質が要求されてきた。この種耐熱合金は現在鍛伸材としては高 Ni 基合金が Fe-Cr-Ni-(Co) 系の合金等とともに一般に使用されてきている。耐熱合金の高温における強度を論ずるに当つては、その時効硬化特性は基本的な因子となる。とくに高 Ni 基合金は強い時効硬化特性を利用する合金であるから一層重要なものとなる。本報では第一に各種耐熱合金の時効硬化特性の比較、第二に高 Ni 基耐熱合金の時効硬化特性におよぼす Mo, Co, Cb, Ti, Al の影響を調べ、各耐熱合金の時効

硬化に関する特徴を明らかにせんとした。

II. 供試材および試験法

供試材はいずれも 15mmφ 鍛伸材を使用し、30mm 長に切断した試料について固溶化処理をほどこし 850, 800, 750°C の各時効温度にて 10, 50, 100, 500, 1000h の時間で加熱炉より取り出し空冷をおこなった。硬度は断面についてブリネル硬度、ロックウエル C 硬度を測定した。ただし 50, 100h および 500, 1000h のそれぞれの試料は同一試料を使用し各時効処理後さらに固溶化処理をほどこし改めて時効をおこなった。供試材の化学成分および固溶処理条件を Table 1 に示した。

III. 実験結果

(1) 耐熱合金の時効硬化特性の比較

Table 1 に示した供試材中で代表的な耐熱合金 6 種について 750°C, 1000 h までの時効硬化処理による硬度変化を Fig. 1 に示す。比較した合金は高 Ni 基合金として Nimonic 80 (A33), Nimonic 90 (N16), Fe-Cr-Ni-(Co) 系合金として N155(M5), S816 (S1), 19-9DL(D3), Timken 16-25-6 (T5) の 6 種である。Fig. 1 の結果から、各種耐熱合金の時効硬化特性は時効硬化量および時効速度の点から、N16, A33 等の高 Ni 基と他の Fe-Cr-Ni-(Co) 系の合金に大別できる。すなわち前者は時効硬化量および時効速度その他の 4 種の合金に較べて非常に大きく、強時効硬化型合金の特徴が認められる。また時効硬度においても S1 を除いて他の 3 種の合金よりはるかに高い。これに反して後者は時効硬化量および時効速度が小さく高 Ni 基合金に対して弱時効硬化型といえる。

成分的な面から考えれば Ninomic 80, 90 等の高 Ni 基合金は Ti, Al 等の硬化元素の影響が大で強時効型の特色を示し、他の合金より時効硬度、時効速度、時効硬

Table 1. Chemical compositions and solution treatment of alloys tested.

Alloy	Symbol	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	W	Cb + Ta	Ti	Al	Others	Solution treatment
19-9DL	D3	0.32	1.42	2.14	0.019	0.032	18.82	11.23		1.65	1.27	0.48	0.14			1200°C
Timken 16-25-6	T5	0.07	0.62	2.38	0.018	0.026	15.68	25.22		6.02					N	×1hW.Q.
N155	M5	0.20	0.97	2.67	0.027	0.034	20.90	20.30	17.91	2.11	3.03	1.38			0.107	//
S816	S1	0.51	0.51	1.87	0.004	0.046	18.16	19.54	41.70	3.62	4.15	4.44				//
Nimonic 80	A24	0.07	0.62	0.67	0.003	0.006	20.70	72.99					1.50	2.83		1065°C
//	A33	0.05	0.27	0.35	0.002	0.004	20.73	75.83					2.14	1.13		×8hW.Q.
Inconel X	A29	0.06	0.64	0.62	0.004	0.010	20.65	72.99				0.67	1.68	2.65		//
Nimonic 90	N11	0.06	0.55	0.58	0.003	0.016	20.51	53.62	17.91				2.30	2.83		//
//	N16	0.06	0.42	0.52	0.003	0.003	20.09	57.88	16.78				2.33	1.50		//
M252	N18	0.18	1.07	0.90	0.003	0.008	19.72	52.13	9.76	10.20			2.43	0.97		//

化量が高い。この種合金の時効速度の早いことは固溶化処理後の冷却速度によつて硬度がかなり異なり空冷、水冷によつてそれぞれの硬度が変る。別途試料について表面硬度による変化を Table 2 に示す。Table 2 のごとく空冷では既にかんりの時効硬化が起つていることが認められる。

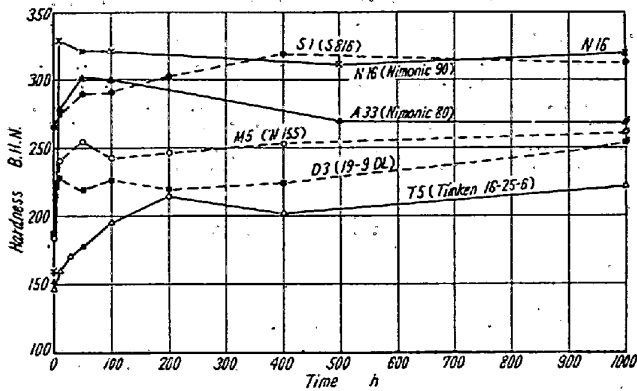


Fig. 1. Age hardening characteristics of several heat resisting alloys at 750°C.

Table 2. Effect of cooling rate after solution treatment on hardness.

Alloy	Symbol	Solution treatment		
		Water quenched	Air cooled	
Nimonic 80	A24	B. H. N. 233	287	1065°C×8h
Nimonic 80	A33	—	165	
Inconel X	A29	223	296	1065°C×8h
Nimonic 90	N11	236	287	1065°C×8h
M 252	N18	222	286	1065°C×8h W.Q 1065°C×4h A.C.

Size of test piece 15mmφ×12mm

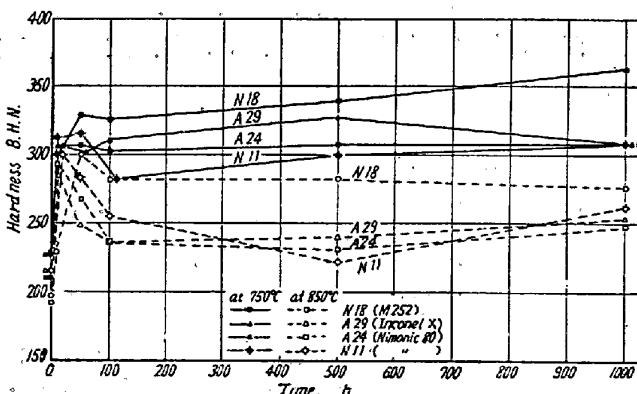


Fig. 2. Effects of Co, Mo and Cb on age hardening characteristics of alloys, tested at 750°C and 850°C.

S816, N155 等 Co, Mo, W, Cb 等を含む合金は基地が強化され時効硬度が高くこれら元素の多い S816 は

Nimonic 90 と同程度であるが、時効速度、硬化量は最も低い。Co, Mo, W, Cb の低い N 155 は時効硬度は弱時効型合金中では S 816 について高く時効速度は弱時効硬化型合金中では最も高い。

Co を含まない Mo, W, Cb を含む 19-9DL は 1000 h の時効硬度、硬化量は N 155 と同程度であるが、時効速度、時効硬度は N155 より低い。

Co, W, Cb を含まず、Mo, N を含む Timken 16-25-6 は 1000h の硬化量は N155, 19-9DL と大差ないが時効硬度は弱時効型では最低である。時効硬化速度はやや異なつた傾向を持つ。

(2) 高 Ni 基耐熱合金の時効硬化特性におよぼす Mo, Co, Cb, Ti, Al の影響

Table 1 に示す高 Ni 基耐熱合金 Nimonic 80, Inconel X, Nimonic 90, M 252 の4種について 750, 800, 850°C の各温度において 1000h までの時効硬化特性を求め各添加元素の影響を調べた。

Nimonic 系合金に対する Cb の影響をみるため Nimonic 80, Inconel X を比較した結果は Ti, Al 量の高い時は Cb を添加した Inconel X は固溶化処理後硬度および時効硬度は高くなる。Ti, Al 量の少ない時は Cb 添加による上記硬度の差異は認められない。Fig. 2 に Ti, Al の高い A29, A24 について 750, 850°C の時効硬化曲線を示す。

Co の影響を Nimonic 90 の時効硬化特性からみると、Ti, Al の高い時は短時間の硬度はやや下がるが長時間では高くなる。Fig. 2 に Ti, Al 量の高い N11 の 750, 850°C における時効硬化曲線を示す。

Co, Mo を含む M252 の時効硬化特性から、Co, Mo の影響をみると過時効温度が高くない軟化抵抗は大となる。N18 の 750, 850°C の時効硬化曲線を Fig. 2 に示す。Nimonic 80, Inconel X では 750°C まで、Nimonic 90 では 800°C まではいちじらしい変化はせず、M 252 では 850°C においてもなおはなはだしい軟化は認められない。

Nimonic 80, Inconel X, Nimonic 90 等について Ti, Al 量による影響を調べた結果は時効硬度は Ti, Al 量の増加にしたがつて高くなり、また軟化抵抗も大きくこの傾向は3種の合金とも同様である。Nimonic 80 における例として Fig. 1 の A33, Fig. 2 の A24 を比較すると、Ti, Al 量の低い A33 は 750°C 時効において時効硬度が低く長時間で既に軟化の傾向が認められるが、Ti, Al 量の高い A 24 はほとんど軟化せずまた時効硬度も高い。