

数種の Ni 基耐熱合金の熱処理の機械的性質におよぼす影響*

(Ni 基耐熱合金に関する研究—IV)

長谷川 太 郎**

Effects of Heat Treatment on Mechanical Properties of Some Nickel-Base Heat-Resisting Alloys

(Studies on nickel-base heat-resisting alloys—IV)

Taro Hasegawa

Synopsis:

Effects of practical heat treatment shown by Table 1 on mechanical properties of Inconel X-550, Inco 739, Nimonic 90 and Inco 700 were investigated.

The heat treatment B which contained water cooling after solution-treatment gave higher short-time tensile strength. But in the case of Inco 739 and Inco 700 which contained higher Al than other alloys, the heat treatment F gave the same short time tensile strength at 750 °C as the heat treatment B.

The heat treatment of D and F, which contained solution treatment at 1180°C, gave the highest stress rupture strength at 750 and 816°C to Inco 739, Inco 700 and Inconel X-550.

The reason of the above fact was due to softening during long time test at elevated temperature in the case of heat treatment B.

In the same way as Inco 700 heat-treated by D did not show softening during stress rupture test at 816°C, so heat treatment D showed the highest stress rupture strength at this temperature. But as in the case of other alloys, hardness of specimens decreased remarkably by overaging during stress rupture test at 816°C, so effect of heat treatment on stress rupture strength at this temperature were not clearly.

The heat treatment C and E, which contained coarse aging at 980°C, gave lower short-time tensile strength and stress rupture strength. It was due to the fact that aging at 980°C cause coarse precipitates, and was softened easily at elevated temperature by overaging.

I. 緒 言

前報までに Ni 基耐熱合金の時効硬化特性, Nimonic 80A, および M252 の熱処理の高温機械的性質におよぼす影響についてのべた。本報ではその他の実用 Ni 基耐熱合金を実用熱処理した時の高温機械的性質におよぼす影響についてのべる。

これらの合金の熱処理法は Table 1 にのべる方法が示されている。このうち B 処理は Nimonic 80A および Nimonic 90 の熱処理法ですでに M252 にも試みた方法であり, 他の合金にも試みることにした。また F および D 処理法はそれぞれ Inconel X-550 および Inco 700 に対し Inco 社が推薦する方法でいずれも 1180°C の高い固溶化処理をおこなう特徴がある。Inco 739 には E 処理法すなわち 1120°C の固溶化処理を含む熱処理を Inco 社は推薦しているが, この合金は Mo を含む点および Al 含有量が Ti 量より多い点で Inco 700 に

類似しているので D 処理を適用した。Inco 700 に対しては他の Ni 基耐熱合金と同様に 1065°C の固溶化処理をおこない, 時効法としては D と同様の C 処理をも採用してみた。

II. 供 試 材

供試材はいずれも 100kW 真空溶解炉 (マグネシア坩堝使用) にて溶解し, 35 kg 鑄塊に鑄込みこれを 15 mm φ に鍛伸したものである。Table 2 にこれらの供試材の化学成分を示す。供試材は Table 1 に示す熱処理を施した後, 常温, 700, 750, 800°C の短時間引張試験, 常温衝撃試験, 750, 816°C のクリープ破断試験をおこなつて各熱処理法の機械的性質におよぼす影響を調査した。

* 昭和 33 年 4 月本会講演大会にて発表

** 住友金属工業株式会社製鋼所

Table 1. Heat treatment of materials tested.

Symbol of heat treatment	Procedure of heat treatment	Alloys subjected to heat treatment
A	1065°C × 8 h - AC, 700°C × 18 h - AC	Nimonic 80A Nimonic 90 other
B	1065°C × 8 h - WQ, 800°C × 2.5 h - AC, 700°C × 18 h - AC	
C	1065°C × 8 h - AC, 980°C × 1 h - AC, 730°C × 4 h - AC	Inco 700
D	1180°C × 2 h - AC, 870°C × 4 h - AC	
E	1120°C × 4 h - AC, 980°C × 1 h - AC, 730°C × 4 h - AC	Inco 739
F	1180°C × 1 h - AC, 870°C × 4 h - AC, 730°C × 4 h - AC	Inconel X-550

Table 2. Chemical composition of specimens tested.

Alloy	Symbol of specimens	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Co	Mo	Nb	Ti	Al
Inconel X-550	A57	0.06	0.21	0.21	0.010	0.006	15.11	78.58	—	—	1.22	2.18	1.21
	A73	0.07	0.07	tr	0.013	0.004	14.81	79.74	—	—	0.94	2.46	1.27
Inco 739	A59	0.05	0.21	0.25	0.009	0.006	15.16	76.58	—	3.19	—	1.92	2.85
	A74	0.07	0.04	tr	0.016	0.004	15.16	77.25	—	2.95	—	1.79	2.76
Nimonic 90	N33	0.05	0.21	0.36	0.012	0.005	20.36	56.81	18.09	—	—	2.48	1.53
	N43	0.07	0.07	0.07	0.016	0.008	20.03	59.53	16.51	—	—	2.39	1.67
Inco 700	N23	0.04	0.22	0.21	0.007	0.008	15.25	49.00	27.96	2.89	—	1.75	2.75
	N34	0.05	0.22	0.31	0.013	0.006	15.29	48.03	28.59	3.07	—	2.01	2.78
	N44	0.11	0.07	0.11	0.011	0.007	15.37	48.40	28.49	2.97	—	2.12	3.33

III. 短時間機械的性質

Fig. 1~4 に各合金の短時間引張試験結果を、また Table 3 に常温衝撃試験結果を示す。これらの結果より各合金の実用熱処理の短時間機械的性質におよぼす影響をみるとつぎのごとくなる。

(1) Inconel X-550 ではB処理がF処理より明らかに抗張力、耐力が高く、また伸び、絞、衝撃値も高い。

(2) Inco 739 ではB処理が最も高い抗張力、耐力を与える。D処理は700°C以下の抗張力はBおよびE処理より低いが、750°C以上ではB処理と同等となり、E処理より高くなる。伸び、絞、衝撃値はいずれの熱処理によつても同程度に低く、熱処理の影響は明らかでないが、衝撃値はB処理が高く、EおよびD処理は低い。

(3) Nimonic 90 ではB処理がA処理より抗張力、耐力が高いことは明らかであるが、伸び、絞では明らかな差異は認められぬ。しかしながら衝撃値ではA処理がB

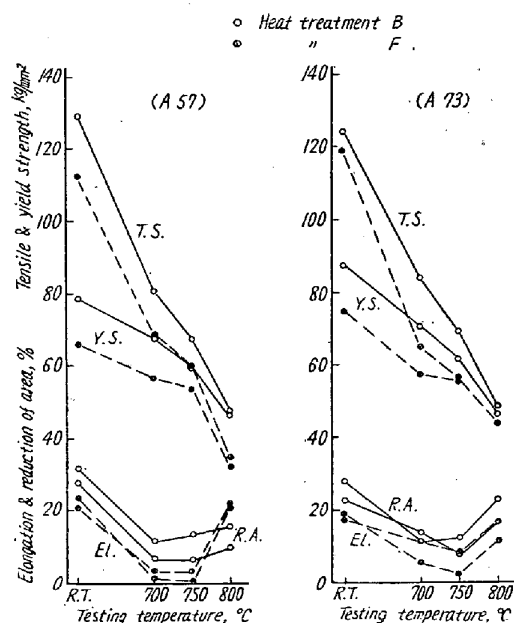


Fig. 1. Short time tensile properties of Inconel X-550.

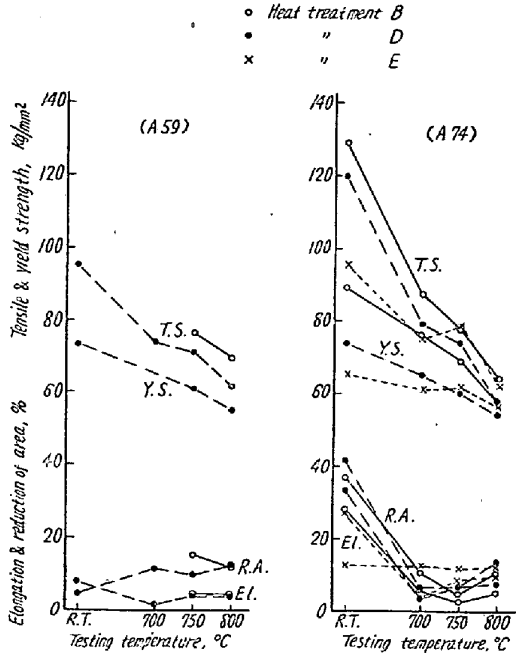


Fig. 2. Short-time tensile properties of Inco 739.

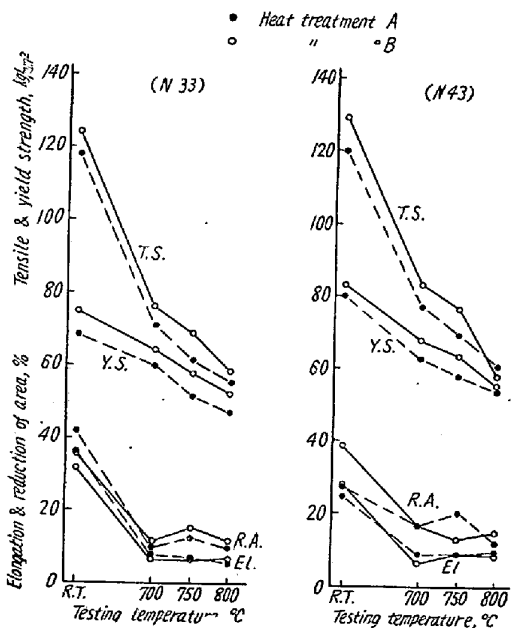


Fig. 3. Short-time tensile properties of Nimonic 90.

処理より高いことは Nimonic 80A の場合と同様である

(4) Inco 700 では Inco 739 の場合と類似している、B 処理が高い抗張力を与えるが、高温では D、B 両処理による抗張力の差は明らかでない。たゞ衝撃値では C 処理が B および D 処理より高い値を示している。

(5) 以上より 4 種の合金ともに固溶化処理後水冷する B 処理により最も高い抗張力、耐力がえられるが、Al 含有量の高い Inco 739, Inco 700 では高温固溶化処理をおこなう D または F 処理により高温強度が高くな

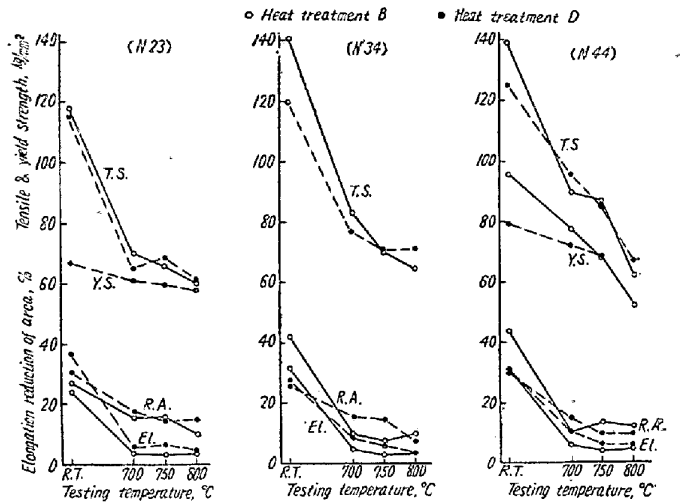


Fig. 4. Short-time tensile properties of Inco 700.

Table 3. Charpy impact value at room temperature.

Alloy	Symbol of specimens	Heat treatment	Charpy impact value, kgm/cm ²	
Inconel X-550	A57	F	4.8	5.5
		B	8.1	8.0
	A73	F	7.4	6.7
		B	9.5	9.6
Inco 739	A59	E	0.8	1.0
		B	2.8	2.2
	A74	E	2.9	2.0
		B	5.5	5.0
		D	1.8	1.8
Nimonic 90	N33	A	17.9	19.5
		B	10.7	10.0
	N43	A	12.5	10.3
		B	10.7	9.3
Inco 700	N23	D	11.8	13.2
		B	11.5	11.0
		C	13.7	13.7
N34	D	8.4	7.3	
	B	10.5	10.0	
	C	15.1	13.9	
N44	D	5.0	5.8	
	B	8.0	8.8	
	C	10.9	11.5	

ることがわかる。伸び、絞では熱処理の影響は明らかでないが、衝撃値では Ni-Cr 系の Inconel X-550, Inco 739 では B 処理により高い値となるが、Ni-Cr-Co 系の Nimonic 90, Inco 700 では B 処理では低い値となり、固溶化処理後空冷した場合の方が高い値となる。

Betteridge¹⁾ が Nimonic 80A について指摘している

IV. クリープ破断試験結果

Fig. 5~8 に 750; 816°C における各合金のクリープ破断試験結果を示す。これらの結果にもとずいて以下各合金の熱処理効果についてのべよう。

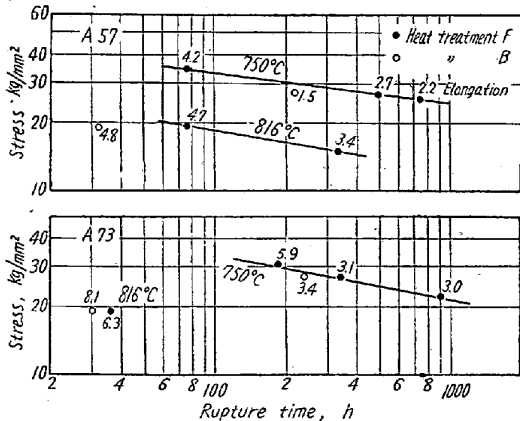


Fig. 5. Stress rupture strength of Inconel X-550.

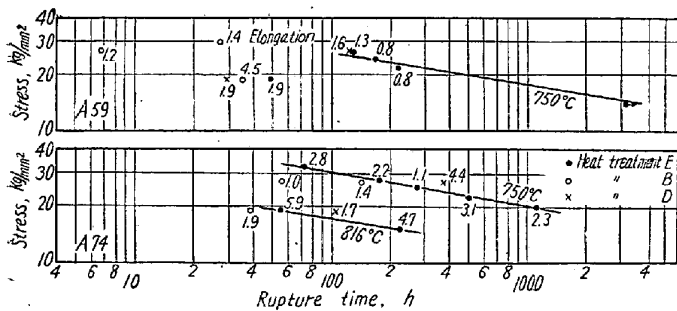


Fig. 6. Stress rupture Strength of Inco 739.

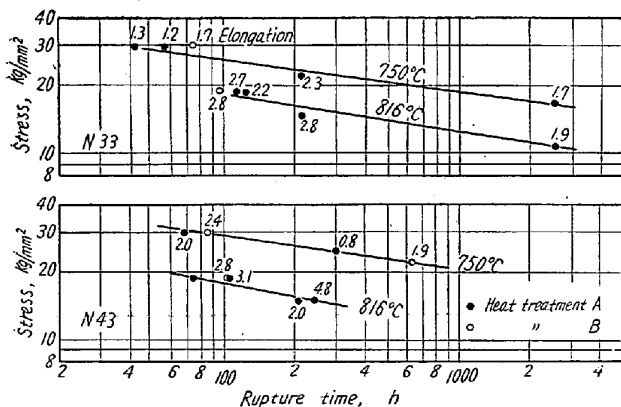


Fig. 7. Stress rupture strength of Nimonic 90.

(1) Inconel X-550 ではF処理が明らかにB処理よりクリープ破断強度は高くなるが、クリープ破断後の伸びでは両種熱処理により大差ない。電子顕微鏡組織によればF処理では粒界炭化物付近に γ' が析出せぬ帯状の部分が明らかにみられB処理では細粒の γ' が一様に分布するのみでF処理といちじるじくことなる。W.

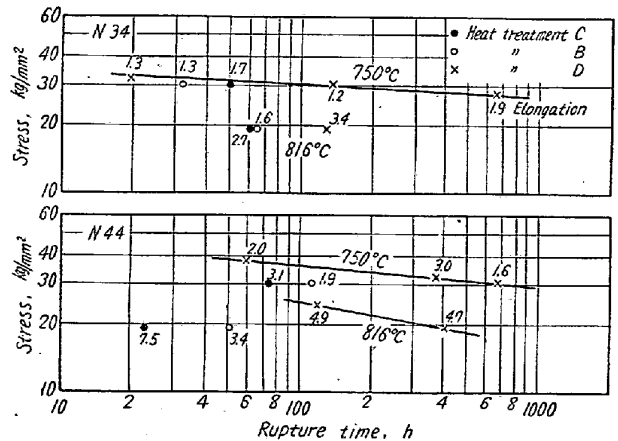


Fig. 8. Stress rupture strength of Inco 700.

ところによれば、粒界に Cr 炭化物を析出すれば、その付近の Cr 濃度が下り、粒界に集中する応力を弛緩せしめ、割れの発生を防止するという。この考えによればF処理がB処理より高いクリープ破断強度を示したことが説明できる。Table 4 によればまた高温固溶化処理のためにクリープ破断試験中の軟化がすくないことによりクリープ破断抵抗が高くなるものと考えられ、このことは N. J. Grant²⁾ の実験と一致している。

(2) Inco 739 ではD処理が最も高いクリープ破断応力を示し、E処理がこれにつき、B処理は最も低いクリープ破断応力となる。これらの熱処理の影響は 816°C より 750°C の試験温度にてより明らかにあらわれる。クリープ破断後の伸びについては熱処理の影響は明らかでない。電子顕微鏡組織によればE処理では γ' は最も粗粒で粒間距離も大きく、また粒界炭化物も大きく析出しているのは時効温度が高いためであろう。D処理ではF処理にくらべ γ' は細粒で密に分布し粒界炭化物も細くなり、また高温固溶化処理のため Table 4 に示すごとくD処理のみはクリープ破断試験中に硬化しているのでクリープ破断応力は高くなつたものであろう。またB処理では極度に細粒組織となり、結晶歪が大となり Table 4 によればクリープ破断試験中に軟化がいちじるしいのでクリープ破断抵抗は小さくなるものと考えられる。

(3) Nimonic 90 では A, B 両熱処理のクリープ破断特性におよぼす影響は Nimonic 80A ほど明らかでない。この場合B処理は 750°C ではA処理よりやゝクリープ破断時間が長い、816°C ではわずかながらA処理の方がクリープ破断時間は長い。クリープ破断後の伸びは両種の熱処理では大差ない。電子顕微鏡組織によればB処理では粒界に γ' が集団的に析出し、また粒内の γ' が細粒となるが Table 4 に示すごとくB処理はA処理よりクリープ破断試験中の軟化がいちじるしいこと

Table 4. Hardness change during stress-rupture testing.

Alloy	Symbol of specimen	Heat treatment	Testing temperature °C	Testing stress kg/mm ²	Rupture life h	Hardness Rockwell 'C'	
						Before test	After test
Inconel X-550	A57	B F	750	26.8	218.1	35.5	30.6
			750	26.8	492.8	30.7	28.3
Inco 739	A59	B	750	26.8	6.7	34.5	33.6
		//	816	18.9	35.5	36.8	33.2
		E	750	26.8	129.8	28.3	32.3
		//	816	18.9	50.4	31.4	29.7
		D	750	26.8	124.0	24.7	32.2
		//	816	18.9	29.5	27.0	31.7
Nimonic 90	N33	A	750	29.9	56.4	30.0	31.6
		B	750	29.0	73.9	33.0	31.4
Inco 700	N34	B	750	29.9	32.1	34.8	35.9
		//	816	18.9	65.8	34.4	33.8
		C	750	29.9	50.0	36.2	35.3
		//	816	18.9	61.3	35.7	33.1
		D	750	29.9	134.9	18.4	34.6
		//	816	18.9	127.5	17.6	33.3

は Nimonic 80A の場合と同様である。

(4) Inco 700 ではD処理は750°C, 816°Cで最も長いクリープ破断時間を与える。750°CではN34はC処理の方がわずかにB処理より高く、N44では逆にBの方が高い強度を示し、両熱処理のクリープ破断強度におよぼす影響は明らかでない。この場合もクリープ破断時の伸びでは熱処理の影響は明らかでない。顕微鏡組織ではInco 739の場合と同様に時効温度の高いC処理ではいちじるしい粗粒の r' が認められ、D処理ではやゝ細粒となりB処理では最も細粒の r' となり、粒界炭化物もすくなくなるが粒界に r' が集積する。したがってInconel X-550, Inco 739の場合と同様に粒界炭化物および r' の析出状態が最も適当でTable 4に示すごとく高温固溶化処理のためクリープ破断試験中の軟化抵抗の高いD処理のクリープ破断抵抗が最も高くなるものと考えられる。

V. 結 言

Inconel X-550, Inco 739, Nimonic 90, Inco 700の機械的性質におよぼす実用熱処理の影響をしらべた結果を要約すればつぎのごとくなる。

(1) 固溶化処理後水冷するB処理によれば各合金ともに細粒の r' を析出した状態となるため短時間引張強度は他の熱処理より高くなる。しかしAl含有量が高くかつMoを含むInco 739, Inco 700では1180°Cの高温固溶化処理をおこなうD処理より析出物が均一に細く分布されるため750°C以上の抗張力はB処理と同程度となる。

(2) クリープ破断試験ではNimonic 90をのぞく3種の合金では高温固溶化処理を含むF (Inconel X-550) およびD (Inco 739, Inco 700)が高い強度を与える。B処理では短時間強度が高いが高温長時間試験では軟化しやすく、高温固溶化処理ではクリープ破断試験中の軟化抵抗が大きいと考えられる。

Nimonic 90ではAおよびB処理によるクリープ破断強度の差はすくないが、816°CではB処理の場合の試験中の軟化がやゝ大きいためクリープ破断抵抗はA処理より低い。

(3) Inconel X-550, Inco 739, Nimonic 90は816°Cではいずれの熱処理状態でもクリープ破断試験中に過時効により軟化するので、熱処理のクリープ破断抵抗におよぼす影響はすくなくなる。Inco 700のみは816°Cにてもなお軟化しないのでD処理が明らかに他より高いクリープ破断抵抗を与える。

(4) 980°Cの高温の時効を含むCおよびE処理ではいちじるしく粗大な r' を析出するため、短時間引張およびクリープ破断強度は他の熱処理より低くなる。

(5) 各合金ともに短時間引張、クリープ破断試験の伸び、絞は低いので熱処理の影響は明らかでない。Nimonic 90のみはB処理の衝撃値が低いが、他の合金ではB処理の衝撃値は他より高いかまたは同程度である。

文 献

- 1) W. Betteridge: Journal of Metals, July, 1957
- 2) N. J. Grant et al: Journal of Metals, July, 1957