

Nimonic 80A の機械的性質におよぼす熱処理の影響*

(Ni 基耐熱合金に関する研究—II)

長谷川 太郎**

Effect of Heat-Treatment on Mechanical Properties of Nimonic 80A

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

Taro Hasegawa

Synopsis:

Effect of heat treatment on mechanical properties of Nimonic 80A were investigated. As the heat treatment containing water-cooling after solution-treatment gave fine precipitated microstructure, specimens heat treated by that method have higher short time tensile strength up to 800°C and hardness, and Charpy impact value is lower than those air cooled after solution treatment. Stress-rupture life at 750°C of the specimens water-cooled after solution-treatment was inferior to the specimens air-cooled after solution-treatment, because the former tends to soften during stress rupture testing.

Aging treatment at 750°C gave maximum aging hardness, but aging treatment at 700°C gave maximum stress-rupture life at 750°C, comparing with the aging between 700° and 850°C. It is because precipitation around grain boundary during stress-rupture testing became remarkable by aging above 700°C.

In carbide-precipitation type alloys, tensile strength and stress-rupture life became longer by precipitation-hardening during tensile test and stress-rupture testing at high temperature, but in Nimonic 80A, tensile strength and stress-rupture life of specimens as solution-treated were inferior to aged specimens.

I. 緒 言

第1報では Ni 基耐熱合金の時効硬化特性についてのべたので、以下に各合金の機械的性質におよぼす熱処理の影響についてのべる。本報では Ni 基耐熱合金として代表的な Nimonic 80A の機械的性質におよぼす熱処理の影響についてのべる。

L. B. Pfeil¹⁾によれば Nimonic 80A のクリープ抵抗は 1050°C にての固溶化処理時間が長いほど増加し、また 1100°C × 18h の処理にて最高となり、固溶化処理温度が 1150°C となると低下する。また固溶化処理後徐冷すれば析出硬化し、中間の冷却速度すなわち 5/8"φ の素材で空冷したとき最高のクリープ抵抗がえられ、冷却速度はこれよりおそくとも早くともクリープ抵抗は減少している。しかしながら固溶化処理後水冷しても 800~850°C で短時間の時効を行い、その後 700°C で長時間時効を行えば水冷処理の害を除き得る。したがって固溶化処理後水冷したときは 800°C × 2.5h A.C., 700°C × 18h A.C. の二段時効を行うことを推奨している。

Henry Wiggin²⁾社の型録によれば本合金に対しては 1050~1100°C × 6~12h A.C., 700°C × 12~18h. A.C.

の熱処理を推奨しているのは上記 L. B. Pfeil の実験にもとづいていると考えられる。

本報では以上の熱処理法を基本として、時効温度および固溶化処理後の冷却法の機械的性質におよぼす影響についてのべる。

II. 供 試 材

NRC 社製 100 kw 真空熔解炉、マグネシア坩堝を用いて熔解し 35 kg 鑄塊に鑄込んだもので化学成分は Table 1 のごとき標準成分の Nimonic 80A である。試料は鑄塊を 15 mm φ に鍛伸した後爾後の試験に供した。

III. 固溶化処理後の冷却速度および時効の影響

Nimonic 80A の熱処理法として推奨されているつぎの二種の方法、すなわち (A) 1065°C × 8h. A.C., 700°C × 18h. A.C. (B) 1065°C × 8h. W.Q., 800°C × 2.5h.

* 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. Chemical composition of tested materials.

Symbol	C	Si	Mn	P	Cr	Ni	Co	Ti	Al	S
A43	0.05	0.23	0.27	0.005	19.61	72.48	2.59	2.18	1.25	0.005
A51	0.06	0.21	0.22	0.006	19.97	75.50	1.92	2.46	0.95	0.004
A52	0.07	0.27	0.21	0.006	19.97	74.40	1.95	2.37	1.22	0.005

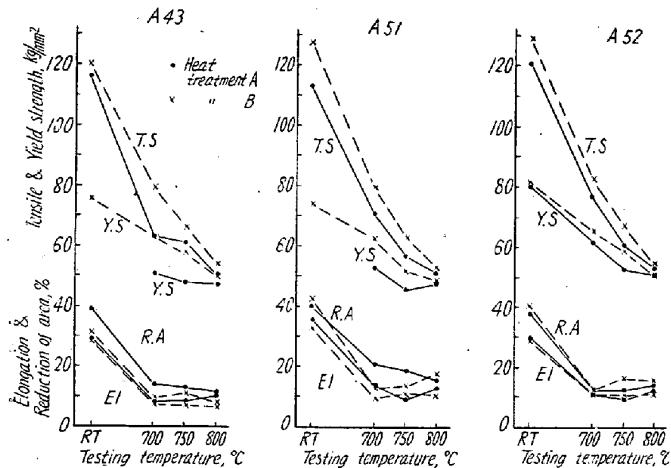


Fig. 1. Effect of heat treatment on short time tensile properties.

A.C., 700°C×18h. A.C. を供試材に適用し短時間引張試験衝撃試験およびクリープ破断試験を行った。

Fig. 1 は常温より 800°C の間の短時間引張試験結果を示す。固溶化処理後水冷する B 処理は固溶化処理後空冷する A 処理に比べ抗張力、耐力ともに高い。B 処理では固溶化処理後の析出硬化がいちじるしいため常温の降伏比は A 処理より高くなる。伸は両処理の差は少ないが、紋では高温まで B 処理の方が低い。Fig. 2 は両種熱処理状態における衝撃値を比較したものでやはり B 処理の衝撃値が低い。すなわち短時間機械的性質では固溶化処理後水冷する B 処理の強度が高く靱性は A 処理に劣ること

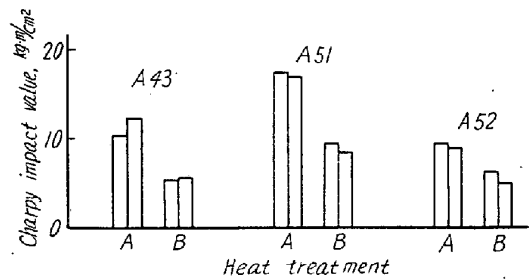


Fig. 2. Effect of heat treatment on Charpy impact value.

が認められた。

Table 2 は両種熱処理状態の試料の 750°C 26.8 kg/mm² におけるクリープ破断試験結果を示す。各試料とも A 処理は B 処理より明らかにクリープ破断時間は長くクリープ速度は小であり、また破断後の伸、紋では両熱処理による差異は認められない。すなわち短時間機械的性質とは逆に長時間機械的性質では固溶化処理後空冷の方がクリープおよびクリープ破断抵抗は高くなる。Table 2 によれば B 処理は A 処理より熱処理後の硬度は高いが、クリープ破断試験中に軟化している。しかるに A 処理ではクリープ破断試験中に硬化している。

IV. 時効温度の機械的性質におよぼす影響

A43 について 1065°C×8h. A. C. の固溶化処理後 Table 3 に示すごとく 700, 750, 800, 850°C の時効

Table 2. Effect of heat treatment on result of stress-rupture testing at 750°C and 26.8 kg/mm²

Symbol	Brinell hardness		Heat treatment	Stress-rupture test				Hardness of creep test specimen (Rc)	
	After aging	ΔH		Rupture-life (h)	Elongation (%)	Creep rate (%/h)	Reduction of area (%)	Before test	After test
A43E	280	57	A	346.5	1.8	0.0017	1.3	28.3	29.3
" F	269	68	A	153.5	2.8	0.0024	6.2	28.2	30.4
" G	285	37	A	205.3	1.8	0.0009	4.7	32.4	32.8
" M	311	148	B	78.5	1.2	0.0047	1.6	35.4	29.8
" N	311	155	B	86.2	1.3	0.0033	1.5	35.1	32.4
A51E	241	74	A	97.6	2.8	0.001	4.3	22.5	26.7
" F	262	92	A	133.0	1.2	0.0031	1.7	24.3	27.3
" M	293	147	B	88.0	1.8	0.007	3.8	30.6	28.5
A52E	297	90	A	141.0	2.3	0.0047	2.0	30.3	31.7
" M	329	166	B	107.3	2.2	0.0066	1.5	35.9	32.0

Heat treatment: A 1065°C×8h air cooling, 700°C×18h air cooling.

B 1065°C×8h water cooling, 800°C×2.5h air cooling, 700°C×18h air cooling.

ΔH: Amount of hardening by aging.

Table 3. Effect of aging temperatures on result of stress rupture testing at 750°C and 26.8 kg/mm²

Symbol	Heat treatment	Brinell hardness		Rupture life (h)	Elongation (%)	Creep rate (%/h)	Reduction of area (%)	Rockwell "C" hardness	
		After aging	ΔH^*					Before test	After test
A431C	1065°C×8h air cooling	212	—	136.6	1.7	0.0041	5.1	16.7	32.3
A43E	1065°C×8h air cooling 700°C×18h air cooling	280	57	346.5	1.8	0.0017	1.3	28.3	29.3
A43F	//	269	38	153.5	2.2	0.0024	6.2	28.2	30.4
A43G	//	277	29	205.3	1.8	0.0009	4.7	32.4	32.8
A432D	1065°C×8h air cooling 750°C×18h air cooling	275	59	141.3	1.5	0.0019	1.0	28.2	28.0
A433C	1065°C×8h air cooling 800°C×18h air cooling	290	50	157.8	2.7	0.0016	4.7	30.4	31.8
A434C	1065°C×8h air cooling 850°C×18h air cooling	248	25	140.6	2.2	0.0025	4.7	24.0	29.1

* ΔH : Amount of hardening by aging.

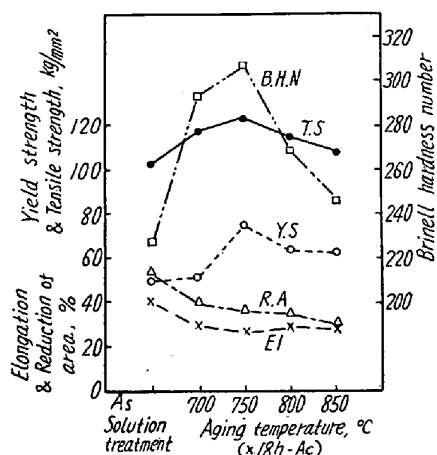


Fig. 3. Effect of aging temperatures on short-time tensile test properties at room temperature.

処理を施し、時効温度の機械的性質におよぼす影響を調べた。

Fig. 3, 4 は常温および 750°C における短時間機械的性質を示す。常温では 750°C の時効により最高の硬度、抗張力、耐力がえられ、これより高温の時効では強度は低下する。ま

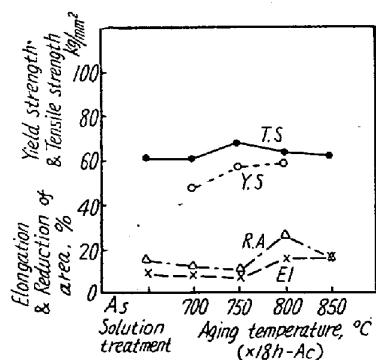


Fig. 4. Effect of aging temperatures on short-time tensile test properties at 750°C.

た伸、紋は固溶化処理状態で最も高く時効温度が高くなれば低下する。750°C における引張試験では常温引張試験程あきらかでないが 750°C の時効で最高の抗張力を得ることは同様である。伸、紋は高温試験中の析出硬化の影響が加わるため、常温引張試験とことなつた傾向を示し 750°C の時効の際最も低く、800°C の時効の際には最も高くなる。固溶化処理のままの状態では高温試験中にはなほだしく析出硬化するので高い靱性を示さず、安定状態の 800°C の時効の時最も高い靱性を示し、さらに高温の時効では過時効となり靱性は低下するものと考えられる。

Table 3 および Fig.

5 は 750°C 26.8 kg/mm² のクリープ破断結果におよぼす時効温度の影響を示したものである。700°C の時効にて最高のクリープ破断時間が得られ、固溶化処理状態および 700°C 以上の時効温度ではクリープ破断時間は減少する。クリープ速度も 700°C の時効で最も小であるが、伸、紋についての時効温度の影響は明らかでない。

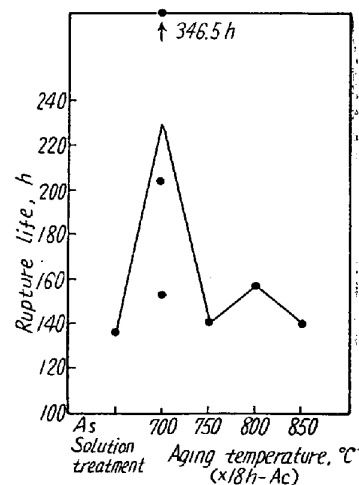


Fig. 5. Effect of aging temperatures on stress-rupture life at 750°C and 26.8 kg/mm²

InconelX について高温クリープ破断応力およびクリープ強度におよぼす時効温度の影響について J. W. Freeman³⁾ が発表している所によれば 1200°F では時効硬度とクリープ破断強度およびクリープ強度はほぼ同一傾向をたどる。すなわち最高硬度を与える 1200°F × 1000 h の時効により 1200°F の強度は最も高くなり、この時効温度より高温または長時間の時効にて時効硬度

が低下すれば高温強度は低下する。しかるに 1500°F の試験温度では 1600°F の時効によりクリープ破断強度、クリープ強度は低下している。

J. W. Freeman によれば InconelX の 1200°F における強度は析出硬化による結晶歪により高くなるので最も大きい結晶歪を与えられる時効処理——すなわち最高硬度を与えられる時効処理——により最高の強度が与えられる。しかるに 1500°F の試験温度では此自身の強度が支配的となり、時効処理ではもはや強度を高くできぬ。筆者の実験した Nimonic 80A は成分的には InconelX に類似し時効特性も類似していることは第 1 報にのべたところである。また筆者の実験温度は 750°C で Freeman の実験の 2 種の試験温度の中間にある。

したがって本実験の場合時効硬化にもとづく高温強度の向上は認められるが、700°C 以上の時効温度では Photo. 5 に示すごとく粒界析出が多くなり、Photo. 6 に示す破断後の組織にみられるごとく過時効となりクリープ破断強度は低下するものと考えられる。

V. 顕微鏡的観察

第 1 報⁴⁾ にのべた W. C. Bigelow⁵⁾ などの腐蝕法にしたがつて γ' および Cr 炭化物を識別するごとくして電子顕微鏡により A, B 2 種の熱処理状態および 750°C にて時効したときの組織を Photo. 1~6 に示す。

W. Betteridge⁶⁾ によれば Nimonic 80A のクリープ特性は Cr 炭化物の粒界における析出の仕方の影響をいちじるしくうける。すなわち 1250°C の固溶化処理後 1000~1050°C の中間処理により Cr 炭化物を粒界に析出したときクリープ抵抗が高くなる。

Photo. 1 によれば固溶化処理後空冷した A 処理では粒界の析出は鎖状

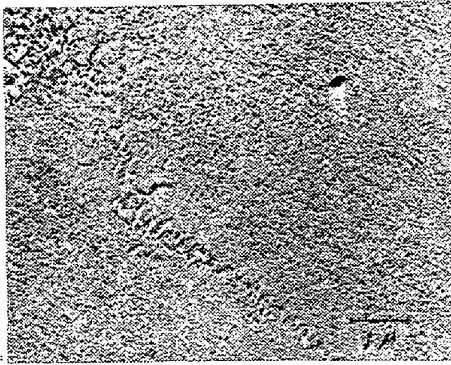


Photo. 1. (A43)
Before stress-rupture test

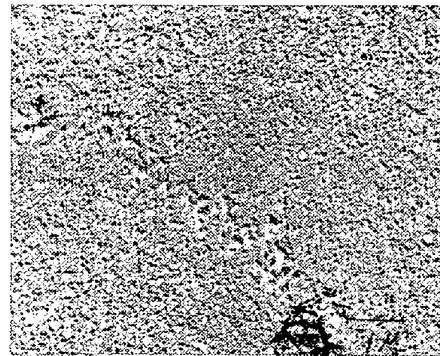


Photo. 2. (A43)
After stress-rupture test
(750°C, 26.8 kg/mm²)

Microphotograph of Nimonic 80A heat treated by 'A' treatment.



Photo. 3. (A51)
Before stress-rupture test

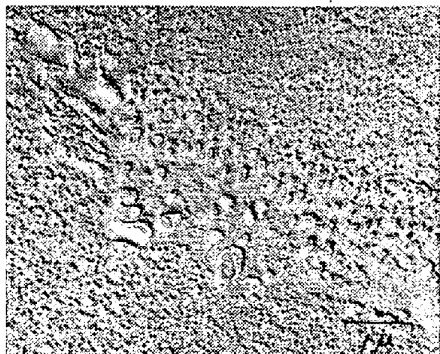


Photo. 4. (51)
After stress-rupture test
(750°C, 26.8 kg/mm²)

Microphotograph of Nimonic 80A heat treated by 'B' treatment.

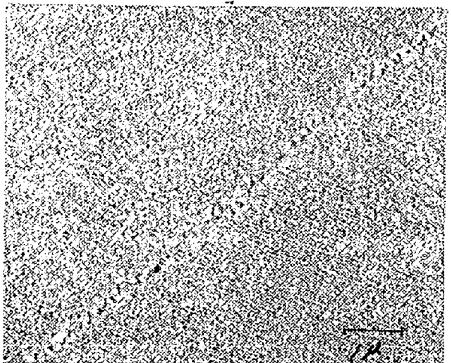


Photo. 5. (A51)
Before stress-rupture test

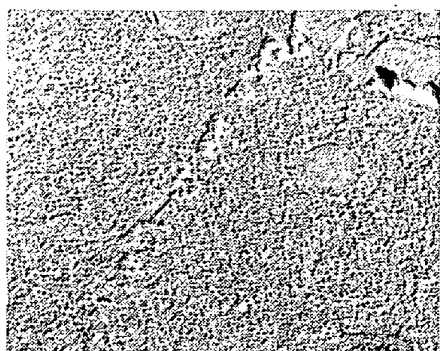


Photo. 6. (A51)
After stress-rupture test
(750°C, 26.8 kg/mm²)

Microphotograph of Nimonic 80A as solution-treated for 8 hours at 1065°C and aged for 18 hours at 750°C

をなしてつらなり、W. Betteridge の示すクリープ抵抗の高い状態に近い。しかるに固溶化処理後水冷するB処理ではCr炭化物の外にPhoto. 3に示すごとく γ' が粒界に集中して析出している。また粒内の γ' もクリープ破断試験前後ともにA処理より粗粒となり、とくにクリープ破断後はその傾向が明らかなことはPhoto. 2とPhoto. 4を比較すれば明らかで、Photo. 4の状態では過時効となりクリープ破断抵抗はA処理より低くなる。短時間引張試験ではB処理の方が時効硬度が高いのでB処理の方が強度は高いが、クリープ破断試験では試験中の過時効により逆にB処理の強度が低くなるものと考えられる。

固溶化処理法は同一で時効温度のみことなるPhoto. 1とPhoto. 5を比較すれば時効後の組織を比較すると大差ないが、クリープ破断後は時効温度が高い方が粒界に γ' が凝集しやすくそのためにクリープ破断抵抗が低くなるものと考えられる。

VI. 結 論

Nimonic 80A の機械的性質におよぼす熱処理の影響として固溶化処理後の冷却法および時効法、時効温度の影響を調査してつぎの結論を得た。

1. 固溶化処理後水冷するB処理と固溶化処理後空冷するA処理を比較すると、常温より800°Cの引張試験では抗張力、耐力ともにB処理が高く、紋および衝撃値はB処理が低い。しかるに750°Cのクリープ破断試験ではA処理がB処理よりクリープおよびクリープ破断抵抗は高い。前報にてのべたごとく固溶化処理後水冷すれば冷却中の析出硬化は阻止されるのでその後の時効硬化量、時効硬度は高くなるので短時間引張試験の強度は高くなり、靱性は低くなる。しかるに高温クリープ破断試験ではこの状態では高温試験中に過時効を生じやすく軟化するためかえって強度は低くなる。

2. 1065°Cにて固溶化処理後の時効温度の影響をみると、常温および750°Cの引張試験では750°Cでの時効にて最高の強度が得られるが、750°Cのクリープ破

断試験では750°C以上の時効温度では高温試験中の粒界析出がはなはだしくなるので700°Cの時効にて最高のクリープ破断抵抗がえられている。

3. 固溶化処理のままで高温機械試験を行い試験中の析出硬化を大にする条件にしても弱析出硬化型耐熱合金のごとき時効処理を行ったものより強度は高くない。強析出硬化型合金では析出硬化速度が大きいので、750°Cの試験では高温試験開始前の昇温および均熱期間中に析出硬化し高温試験中にはあまり硬化しない。したがってクリープ試験中の析出硬化の影響は少ないので、固溶化処理状態の高温機械的性質は弱析出硬化型合金のごとき時効状態より靱性が低くなることはない。

4. 以上の実験よりNimonic 80Aは高温試験中の過時効を生じない範囲で最高硬度を与える時効処理を施すことにより高い高温強度を与え得ると考えられる。

(昭和33年9月寄稿)

文 献

- 1) L. B. Pfeil: The Iron & Steel Inst., Special Report, No. 43, July (1952)
- 2) Henry Wiggin & Company Ltd: The Nimonic Alloys.
- 3) J. W. Freeman et al: Fundamental Aging Effects Influencing High Temperature Properties of Solution-Treated Inconel X. NACA Technical Note, No. 2385, (1951)
- 4) 長谷川: Ni基耐熱合金に関する研究(I) 日本鉄鋼協会第52回講演大会(昭和31年10月)において発表.
- 5) W. C. Bigelow et al: Electron-Microscopic Identification of the γ' phase of Ni-base Alloys, Proceeding ASTM., Vol. 56, (1956)
- 6) W. Betteridge et al: The Effect of Heat Treatment and Structure on the Creep and Stress Rupture Properties of Nimonic 80A, JISI., Vol. 85, 1956~57, p. 473