

以上の結果をまとめると次のとおりである。

(1) 砂型鋳物 (鋳放し) は、0.05% C のものにフェライトとσ相が存在し、その他のものでは網目状に共晶炭化物が存在し、それは C が多いほど多量で、より massive である。金型遠心鋳造材では、共晶炭化物が砂型鋳物よりも細かく分散して存在する。鍛造材では、炭化物が非常に細かく砕かれて粒内全体に分布する。

(2) 常温の機械的性質では、総体的に C が増せば硬くなり、降伏点は上昇し、靱性がかなり低下する。引張り強さは、砂型鋳物では 0.27% C で最大となり 0.47% C 以上では変らない。鍛造材では C が多いほど引張り強さは大きい。引張り強さ、降伏点は鍛造材が最も大きく、ついで遠心鋳造材、砂型鋳物の順となる。靱性は鍛造材だけが大きく、しかも鍛錬比の大なるほど大きい。

(3) 高温の機械的性質については、871°C, 982°C の引張り強さは全体に C が増すにつれて大となる。この場合、鍛造材では、温度上昇による引張り強さの低下が他より著しい。伸びは全般に大きい。砂型鋳物では 0.27% C で極小となる。980°C での砂型鋳物の耐衝撃性は C が増すにつれて低下し、980°C で時効すると 0.27% C を除いて耐衝撃性は低下する。

(4) 982°C のクリープ破断強さは、砂型鋳物の場合、短時間では C が多いほど大きい。1000hr をこえると高 C のものは強度が低下する。遠心鋳造材、鍛造材では C の影響は明らかでなく、ただ鍛錬比 7 の鍛造材では高 C のものが強度が低いようである。982°C のクリープ破断強さは金型遠心鋳造材が最も大きく鍛造材が最も小さい。

文 献

- 1) R. J. MANGONE and A. M. HALL: A. C. I., Alloy Casting Bulletin, Oct. (1961), No. 17

669.245.018.27:621.785.783  
1620.175.22

(158) Inconel X 型合金の高温ばね特性について

(ばね用超合金の研究—VI)

三菱製鋼 1998~2001  
○金井 良昭・関 不二雄・上正原和典  
工博 内山 道良

On the Spring Properties of Inconel X Type Alloy at High Temperature.

(Studies on super alloys for spring—VI)

Yosiaki KANAI, Fujio SEKI,  
Kazunori KAMISHOHARA  
and Dr. Michira UCHIYAMA

I. 緒 言

ばね用超合金の研究の第 I~IV 報として筆者らは Refractaloy 26 型合金のばね特性<sup>1)~4)</sup>を調査し、その後第 V 報<sup>5)</sup>として Inconel X 型合金<sup>6)~8)</sup>の常温ばね特性について調査報告した。今回は Inconel X 型合金の高温ばね特性を研究するために第 V 報の結果から選択した適正な熱処理をほどこした本合金を昇温しながら高温ばね特性を調査した結果について報告する。

本報においては圧縮コイルばねを試片としてクリープラプチャー試験機を使用し、圧縮荷重を加えながら試験温度を 850°C まであげ荷重と撓みとの関係を測定し、本合金の高温における横弾性係数および捩り比例限度を調査した。

II. 試料および実験法

試料としては第 V 報と同じ化学成分の Inconel X 型合金を使用した。試料の製造は 100kg 高周波誘導式真空溶解炉で真空溶解鋳造した鋼塊を熱間鍛造、熱間圧延、冷間引抜などにより最終 4mm φ とした。冷間引抜により所定の減面率を必要とする試片は 5.5~9mm φ の種々の素材から引抜いて 4mm φ で所定加工率となるように加工した。

本実験における溶体化処理は第 V 報の結果から 982°C × 2hr 油冷を適正溶体化処理として選択した。時効処理は Table 1 に示す通りで温度 3 段階、同処理時間 5 段階を選びその組合せ処理をほどこした。また冷間加工の影響を調査するための試片は 982°C × 2hr の溶体化処理後 Table 2 に示すような冷間加工率をほどこして 649°C × 44hr の時効処理を行なった。さらに 2 段階時効処理の影響をしらべるために Table 3 に示す通りの処理を組合せ行なった。

試片のコイルばねは第 I 報と同様に溶体化処理または冷間引抜を行なった 4mm φ 線材を外径 30mm φ、総巻数 7.5、有効巻数 5.5、自由長 101mm に成形した後所定熱処理をほどこしたものである。試片の昇温速度は 100~800°C の間で平均 26°C/min である。

III. 実験結果

1. 時効処理の影響

試片に Table 1 に示す時効処理を行なったものについて荷重と撓みの関係を測定した結果を Fig. 1 に示す。これによると捩り比例限度は 0.5~9hr の時効処理で急増し 9~200hr で最大値となる。また処理温度が低い程最大値が長時間処理側に現われることは第 V 報の引張強さおよび硬さの傾向と同じようである。また横弾性係数は溶体化処理のみを行なったものはやや低い。時効処理を行なうとほとんど同じ値である。

これらの試片を昇温しながら荷重と撓み量を測定すると温度が高くなると P/δ kg/mm<sup>2</sup> [P: 荷重 (kg/mm), δ: 撓み (mm)] が小さくなることから温度と横弾性係数の関係を、また昇温とともに永久変形を起す荷重が小

Table 1. Aging treatment of specimens

Solution* treatment	Aging treatment**	
	Temperature (°C)	Time (hr)
982°C (1800°F) × 2hr		0.5
	649 (1200°F)	2
	704 (1300°F)	9
	760 (1400°F)	44
		200

Rem. \* Specimens were quenched in oil after solution treatment.

\*\* Specimens were cooled in air to room temperature after aging treatment.

Table 2. Cold reduction and aging treatment of specimens

Solution treatment	Cold reduction (%)	Aging treatment	
		Temperature (°C)	Time (hr)
982°C (1800°F) × 2hr	0 , 19 26 , 36 47 , 62 72 , 80	649 (1200°F)	44

Table 3. Duplex aging treatment of specimens

Solution treatment	Primary aging treatment	Secondary aging treatment	
		Temperature (°C)	Time(hr)
982°C(1800°F) × 2hr	871°C (1600°F) × 2hr	704 (1300°F) 649 (1200°F)	9
	816°C (1500°F) × 2hr		44
	760°C (1400°F) × 2hr		200

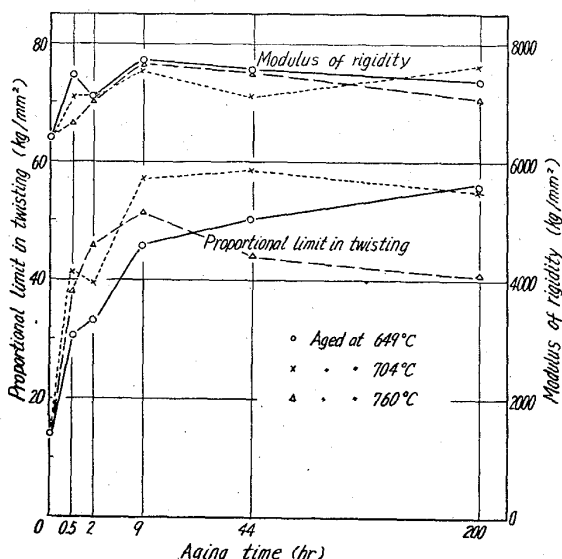


Fig. 1. Effect of the aging treatment on the proportional limit in twisting and modulus of rigidity.

さくなることから振り比例限度の変化を知ることができる。以上の結果を Fig. 2~4 に示す。

これらによると横弾性係数は常温で 7000~7500 kg/mm<sup>2</sup> から昇温とともに次第に減少し 800°C で 2000~3000 kg/mm<sup>2</sup> になる。また時効処理時間の長短に関係なくほとんど同じ横弾性係数が得られる。時効処理温度が 649~760°C 範囲内の変化では横弾性係数は変わらない。

振り比例限度は常温から 600°C までは減少しないが、600°C を越えると減少しはじめ 700~800°C で急激に降下する。時効処理時間を変えると振り比例限度は影響を受けるが、649°C での最大値は 200hr の処理に現はれ 704°C では 9hr と処理温度の上昇とともに短時間側に移動する。また常温で優れた特性をもつ試片は高温でも 600°C まで優れた特性を維持している。

## 2. 冷間加工の影響

溶体化処理後冷間加工をほどとして 649°C × 44hr の

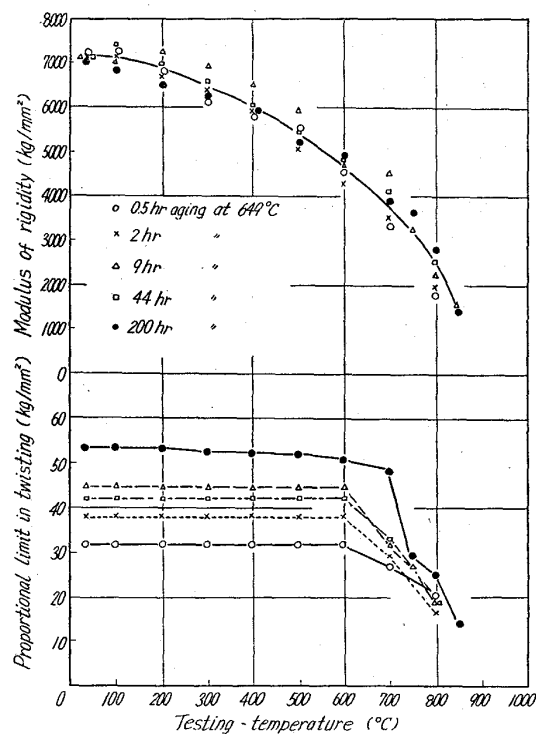


Fig. 2. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity and proportional limit in twisting.

時効処理を行なった試片のばね特性は Fig. 5 の通りである。これによると振り比例限度は冷間加工率の増加とともに上昇するが、70~80%の高度の加工率を与えたとかえって低下する。このことは第 V 報の引張強さ、硬さの傾向と同じである。また横弾性係数は冷間加工率に影響されないでほとんど一定である。

## 3. 2 段階時効処理の影響

Table 3 に示した 2 段階時効処理を行なうと 1 段階時効処理で得られた特性とほぼ同じものを得る。ことができる。

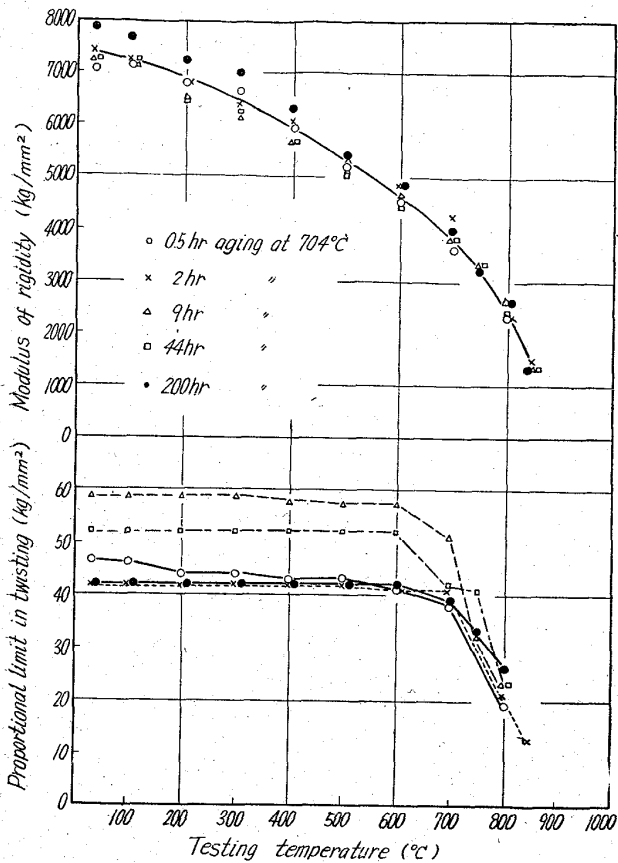


Fig. 3. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity and proportional limit in twisting.

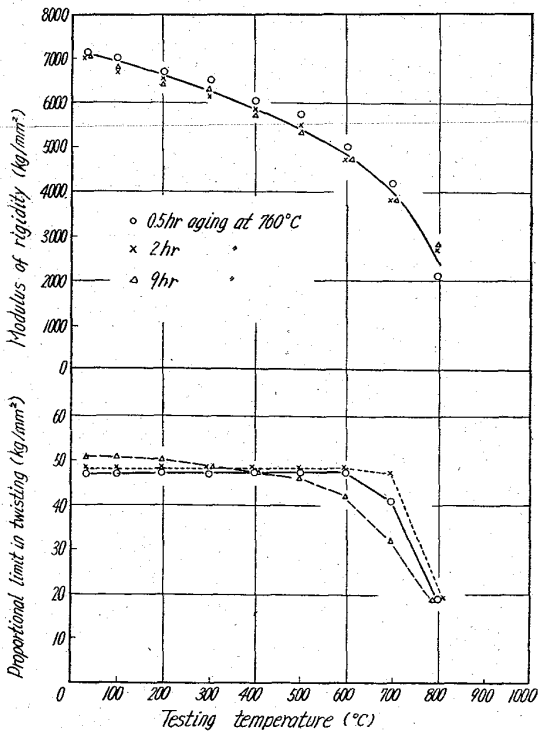


Fig. 4. Effect of the testing temperature on the modulus of rigidity and proportional limit in twisting.

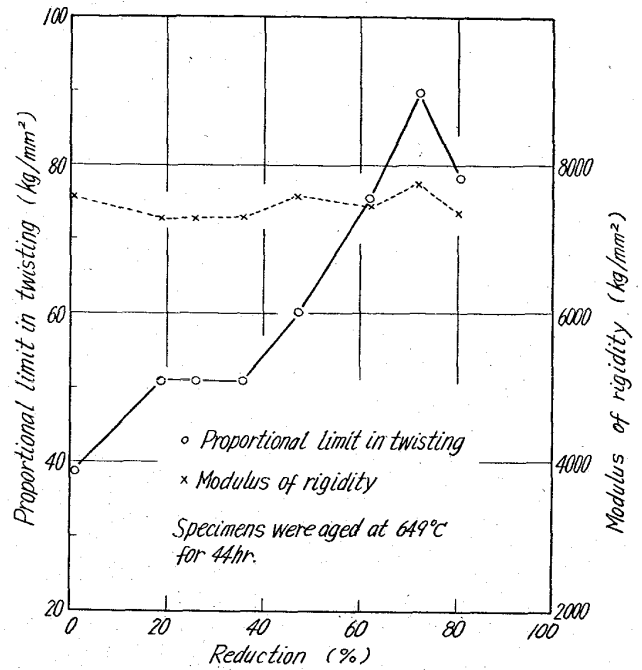


Fig. 5. Effect of the reduction on the proportional limit in twisting and modulus of rigidity.

IV. 結 言

以上 Inconel X 型合金については本実験の熱処理、冷間加工の組合せの範囲内で次の特性を知ることができた。

1. 横弾性係数は時効処理の変化によつてほとんど変わらないが試験温度の上昇とともに次第に低下する。
2. 振り比例限度は時効処理温度が低い時は長時間処理で、高い時は短時間処理で最高値となる。
3. 振り比例限度は常温から約 600°C までほとんど低下しないが、700~800°C では急激に減少する。
4. 冷間加工を行なつたものの横弾性係数は加工率の影響を受けない。振り比例限度は加工率の増加とともに高くなるが、80%程度の高加工率をほどこすとかえつて低下する。
5. 2段時効処理を行なうとわずかに特性を改善するが、1段時効処理の最高値のものに比較して特に優れてはいない。

文 献

- 1) 上正原・金井・内山: 鉄と鋼, 49 (1963), 3, p. 617
- 2) 金井・上正原・関・内山: 鉄と鋼, 49 (1963), 3, p. 619
- 3) 金井・上正原・関・内山: 鉄と鋼, 49 (1963), 10, p. 1577
- 4) 上正原・関・金井・内山: 鉄と鋼, 49 (1963), 10, p. 1578
- 5) 関・金井・上正原・内山: 鉄と鋼, 50 (1964), 4, p. 654
- 6) A. S. T. M: The elevated-temperature properties of selected super-strength alloys (1954), p. 150
- 7) 勝田・伊東: 三菱電機技報, 37 (1963), 3, p.40

8) 竹内・中島・北風: 三菱電機技報, 37 (1963) 3, p. 15

669.245.018.05:620.172.25/22  
 (159) Udimet 500 合金の高温性質におよぼす炭素および熱処理の影響について  
 No. 6432/  
 (Ni 基耐熱合金の研究—II)

日本特殊鋼 7P200/〜2003  
 工博 沢 繁樹・工博 西 義澈  
 ○菊地 侃生

Effect of Carbon Content and Heat Treatment on Elevated Temperature Properties of Udimet 500.

(Study on the Ni-base heat-resisting alloys — II)

Dr. Sigeki SAWA, Dr. Yoshizumi NISHI and Kano KIKUCHI

I. 緒 言

Udimet 500 合金について, 実用上行なわれている熱処理の各段階が高温機械的性質におよぼす影響を明らかにするため, 前報<sup>1)</sup>ではまずこの合金の時効特性ならびに, これにおよぼす炭素の影響をしらべ, さらに最終時効後の高温での加熱による硬さおよび組織の変化について検討した。これによれば時効は 845°C × 24hr + 760°C × 16hr で最高の硬さを示し, 760°C での最終時効後, より高温で加熱すると過時効を呈し, 特に 900°C で著しく, これらは熱処理条件, 炭素含有量にかかわらず同様の傾向を示した。本報告ではさらに, この合金について 760°C ~ 900°C での短時間引張り強さおよびクリープ破断強さなどにおよぼす熱処理の影響についてしらべ, あわせてこれらにおよぼす炭素量の影響を検討した。

II. 試料および実験方法

真空高周波電気炉で溶製した鋼塊を 16mm φ に鍛伸した前報と同じ試料を用いた。これらの化学成分を Table 1 に示す。

各試料に Table 2 に示す 3 種の熱処理をほどこした。熱処理 A は 2 段の溶体化処理, 2 段の時効処理を行なったものであり, 熱処理 B はそれらのうち 845°C × 24hr の 1 次時効を, 熱処理 C は 1180°C × 2hr の 1 次溶体化処理を省いたものである。

高温引張り試験は JIS 4 号 (平行部 8 mm φ, G. L. 28mm) 試験片を用い 10 t アムスラー試験機に加熱炉を付設して 760°, 815° および 900°C で行ない, いず

Table 1. Chemical composition of the specimens (%)

Mark	C	Cr	Ni	Co	Mo	Ti	Al	B
S	0.079	19.04	Bal	19.10	4.20	2.90	2.86	0.0045
H	0.171	20.20	Bal	18.80	4.43	2.95	2.90	0.0072

Table 2. Heat treatment

	Solution treatment	Aging
A)	1180°C × 2 hr. A. C. 1080°C × 5 hr. A. C.	845°C × 24hr. A. C. 760°C × 16hr. A. C.
B)	1180°C × 2 hr. A. C. 1080°C × 5 hr. A. C.	760°C × 16hr. A. C.
C)	— 1080°C × 5 hr. A. C.	845°C × 24hr. A. C. 760°C × 16hr. A. C.

れも試験温度に 30 分間加熱保持後負荷して試験した。高温クリープ破断試験は平行部 6 mm φ, G. L. 30 mm の試験片を用い, 2 t シングル型試験機を使用, 試験温度は 760°, 815° および 870°C とした。なおそれぞれの破断試験片について破断部の顕微鏡組織を観察した。

III. 試験結果

(1) 高温引張り試験

高温引張り試験結果を Fig. 1 に示す。試料 S については熱処理条件による差異はほとんど認められない。伸びおよび絞りについては時効条件の同じ熱処理 A, C で比較すると, 溶体化処理 1080°C のみの C が, 1180°C および 1080°C の 2 段溶体化処理の A とくらべ 815°C までは高い値を示しているが, 900°C ではほとんどその差が認められなくなっている。KAUFMAN<sup>2)</sup>らは 1180°C の高温溶体化を行ない結晶粒を大きくすると 845° および 760°C の 2 段時効により粒界に連続フィルム状の M<sub>23</sub>C<sub>6</sub> を析出し靱性をそこなうとしているが, 815°C ま

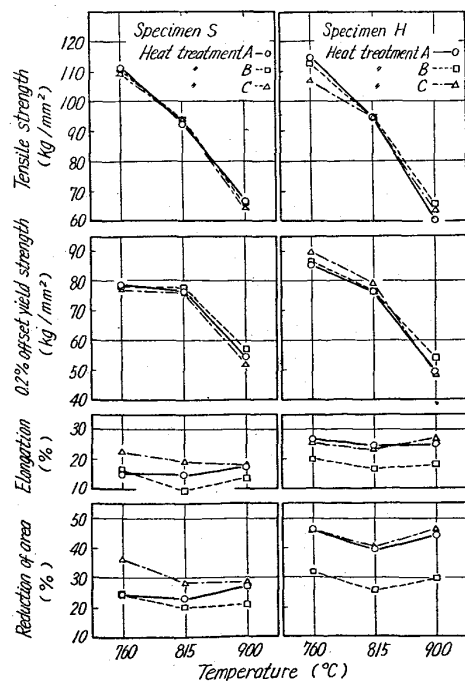


Fig. 1. The elevated-temperature mechanical properties of specimens S and H.