Ni-Cu 合金の時効硬化におよぼす Al の影響**

井 上 繁 弘* 土 屋 隆*

Shigehiro Inoue and Takashi Tsuchiya : Effect of Al Contents on the Age-Hardening of Ni-Cu Alloys. The effect of Al contents on the age-hardening of 70Ni-30Cu alloys has been investigated by Rockwell-and micro-hardness, microscopic and corrosion test. The following results have been obtained. (1) The maximum hardness was obtained by aging at 590°C for 12 hrs and more, or at 640°C for 2~6 hrs. (2) The alloy containing 3.0~3.5% Al has been found to be the most age-hardenable. (3) Against boiling in 20 wt% H₂SO₄, full-and over-aged alloys showed corrosion resistivity superior to that of solution-treated alloys and plain Ni-Cu alloys.

(Received March 28, 1961)

I. 緒 言

70% Ni-30% Cu 合金に Si, Al を適量添加することによつて時効硬化性を与えることが出来る。前報⁽¹⁾では、その時効硬化性におよぼす Si の影響について報告した。しか

し Al の影響については、Thompson⁽²⁾ の Al 添加による強度の向上、および Merica⁽³⁾ による Al を添加した時効硬化性モネルの報告があるが、いづれも公表された資料が極めて乏しい。本実験では 70% Ni-30% Cu 合金の時効硬化性におよぼす Al の影響を鋳物と鍛造材について添加量、溶体化温度、時効温度および時間を変えて、ロックウェル硬度、微小硬度、顕微鏡組織、耐食性におよぼす影響を調

* 太平金属工業株式会社

** 1958 年 4 月本会東京大会に発表；時効硬化性モネルに関する研究（第 2 報）

(1) 井上，土屋：本誌，**23**(1959)，213.

(2) W.A.Mudge: Met. Progress, **10**(1955), 133.

(3) P.D.Merica: U.S.Patent No.1,572,744(1926).

べた。

II. 試料および実験方法

試料は 100 kg 高周波炉に 70% Ni-30% Cu 合金を溶解し、これに Al を所定量づつ添加し、鍛造材は 50□×300 の金型に鑄造して 1150~800°C で鍛造し、鑄物は ASTM-

温度で時効し、1~20 時間で 2 時間ごとに取出して、硬さを $H_R C$ で測定した。顕微鏡組織の食刻液には濃硝酸を用いた。

III. 実験結果

1. 時効硬度

Table 1 Chemical composition.

(a) Main composition

Element (%)	C	Si	Mn	Ni	Fe	Cu
Limiting composition	<0.25	<1.0	<1.5	63.0~70	<0.2	Bal
Forged specimen	0.03	0.23	0.77	66.04	0.09	Bal
Cast specimen	0.11	0.75	1.34	68.83	0.15	Bal

(b) Al content

Specimen No. Element (%)	Forged specimens				Cast specimens				Limiting ⁽⁴⁾ composition
	NA-1 F	NA-2 F	NA-3 F	NA-4 F	NA-1 C	NA-2 C	NA-3 C	NA-4 C	
Al	0.79	1.32	3.57	4.20	0.79	2.22	3.07	5.19	2.0~4.0

Fig.1 Relation between hardness and aging time of forged Ni-Cu alloys of various Al contents.

B 190 の引張試験片採取用鑄塊にした。これらを 30 mmφ × 10 mm に旋削し試験に供した。鍛造材、鑄物試料の化学成分を Table 1, 2 に示す。

試料はすべて 870°C または 770°C で 1 時間溶体化処理して水冷した。ついで 490°, 540°, 590°, 640°, 690°C の各

Fig.2 Relation between hardness and aging time of cast Ni-Cu alloys of various Al contents.

鍛造材、鑄物の時効硬化曲線を Fig.1-a, b, c, d, e と Fig.2-a, b, c, d に示す。

溶体化処理後の硬度は、鍛造材では Al 量 4% の溶体化温度 770°C 鑄物では 5% のものが高くなっているが、その他の試料では Al 量による影響は少なく、その値は鑄物の

方が低い。

鍛造材の時効硬度は溶体化温度 770°C の方が 870°C より高く、大体一定の硬度差を示しているが、Al 量には関係なく、時効温度の昇上につれて減少する傾向を示す。

鋳物の時効硬度が溶体化温度 870°C の方が 770°C より高くなっているのは、鋳物では、Al が相当偏析しているため硬化に関係する固溶体中の Al が局部的に過不足を生じているので、溶体化温度が高くなると、それが均一化され硬化能が大きくなるものと思われる。また鍛造材の場合に溶体化温度の低い方が高くなるのは組織が均一であるため低温での溶体化処理で固溶しない析出物が次の硬化を促していることによるとと思われる。

Al 量 1.3% 以下では殆んど硬化しないが、他の試料では 640°C までは時効温度が高くなるにつれて硬化の程度は増加する。鍛造材、鋳物とも 590°C で 12 時間以上 640°C で 2~6 時間で最高硬度を示す。しかし 640°C で 12 時間以上および 690°C では過時効の現象が認められる。

時効硬度は Al 量が増加するにつれて高くなるが、Al 量が約 4% 以上になると溶体化処理後の硬度が急激に高くなり、切削加工などを著しく害するようになる。

2. 顕微鏡組織

870°C で溶体化処理した NA-3F と、NA-1C、NA-3C の顕微鏡組織を Photo.1-a と Photo.2-a および Photo.3-a に示す。

鍛造材は均一固溶体を形成し、面心立方金属に特有な焼鈍組織を示している。鋳物は dendrite が現われている固溶体である。しかし Al 量 5% では共晶⁽⁵⁾が認められる。

これらの試料を 590°C で 12 時間焼鈍すると Photo.1-b と Photo.2-b、Photo.3-b の如き顕微鏡組織を示す。

鍛造材は粒界に優先的に析出がおこるが、その程度は Al 量の多いものほど多いようである。鋳物では interdendritic に析出がおこるが、この析出領域は Al 量の多いほど広範囲になる。この析出物は Ni-Cu-Al 3 元系の α_1 相と推定される。

また溶体化処理した NA-3F、NA-3C を 690°C で 12 時間焼鈍すると、Photo.4-a、b の如き顕微鏡組織を示す。

鍛造材では粒内にも析出が認められ、鋳物では interdendritic に析出物が凝集している。したがってこのような析出がおこると過時効になる。

3. Interdendritic 領域の微少硬度

前項で示したように、鋳物では固溶体に interdendritic 領域がはつきりたしかめられる。この interdendritic 領域は最終凝固部分に当り、状態図から推察すると Al 濃度の高い領域であるため、焼鈍により析出がおこり易いと考えられる。このため、interdendritic 領域と matrix の時効硬化現象が異なると思われるので、鋳物試料 NA-2C、NA

-3C について、 870°C で溶体化処理した後の硬度、およびその後 590°C で焼鈍し、各保持時間での時効硬度を微少硬

(a) 870°C×1 hr→W.Q. (b) after (a) 590°C×12 hr→A.C.
Photo.1 Specimen NA-3F.

(a) 870°C×1 hr→W.Q. (b) after (a) 590°C×12 hr→A.C.
Photo.2 Specimen NA-1C.

(a) 870°C×1 hr→W.Q. (b) after (a) 590°C×12 hr→A.C.
Photo.3 Specimen NA-3C.

(a) NA-3F (b) NA-3C
(Etched in concn. HNO₃) (×100)
Photo.4 870°C×1 hr→W.Q. 690°C×12 hr→A.C.

(4) Inco Data : Engineering Properties of K Monel. p.1.

(5) Metals Handbook 1948 Edition 1243.

度計で測定し、その結果を Fig.3 に示す。

これによれば interdendritic 領域は matrix よりも僅

Fig.3 Relation between microhardness of solid solution and of interdendritic zone and aging time at 590°C.

かに硬度が高く、しかも時効硬化能も大きい、Al 量による差はあまりない。また Al 量が増すと matrix の時効硬化能は大きくなり、また析出がおこる interdendritic 領域が大きくなるので、これらの組合せで H_{RC} を上昇させるものと思われる。

4. 耐 食 性

Al 量を変えた試料 NA-2 C, NA-3 C について

- (a) 溶体化処理 870°C×1 時間→水冷
- (b) 最高硬度を示す熱処理 (a) の処理後 590°C×12 時間→空冷
- (c) 過時効を示す熱処理 (a) の処理後 640°C×16 時間→空冷

を行つたものと Al を添加しない 70 Ni-30 Cu モネル・メタルの鋳物 (NA-0 C) を 20% 硫酸沸騰中で 24 時間の腐食試験を行い、各試料の腐食量の変化を Fig.4 に示す。

溶体化処理後の腐食量は Al 量 2% では Al を添加しないものよりやや多いが、Al 量 3% になると反対に少なくなっている。(b) の処理後には、(a) の処理後のものおよび Al を添加しないものに比べて腐食量が少なくなり、(c) の処理をすると一層腐食量が少なくなる。いずれも Al 量の多い試料の方が Al 量の少ない試料より腐食量は小さい。したがって析出が進行するほどこの種の合金の耐食性は向

上することがわかる。しかしいずれの場合でも、この腐食条件では十分な耐食性を有している。

Fig.4 Corrosion loss of heat treated Ni-Cu alloys containing Al in boiling 20% H_2SO_4 .

IV. 結 言

以上の諸結果を総合すると次の如くなる。

- (1) Al 量 2% 以上では鍛造材、鋳物のいずれも 590°C で 12 時間以上および 640°C で 2~6 時間で時効硬度は最高になる。溶体化温度は鍛造材では 770°C 鋳物では 870°C の方が時効硬度を高くする。
- (2) 溶体化後の硬度は鍛造材より鋳物の方が低い。
- (3) 溶体化処理を行うと、固溶体組織を示し、Al 量による硬度差は殆んど認められないが、Al 量が多く、また溶体化温度が低くて共晶が認められる場合には溶体化処理後の硬度は著しく高くなる。
- (4) 鋳物の interdendritic 領域の硬化は他の領域より大きく、Al 量に無関係であるが、他の領域の硬化は Al 量の多いほど大きくなる。したがって Al 量が多くなると時効硬度が高くなるのは析出に関与する interdendritic 領域の増加と、他の領域の硬化能の増加によるものであろう。
- (5) Al 量約 4% 以下のこの種の合金の 20% 硫酸沸騰中の耐食性は析出が進行するほど、また Al 量が多いほど良好である。