

時効処理は 750°C よりも悪く、また空冷より水冷のほうが好結果をしめしている。1250°C で 1 時間溶体化処理したままのものより、その後に 750°C で 24 時間時効処理を加えるとラプチャー時間を増している。

III. 結 言

1) 前報に引きつづき Hayness Stellite 88 系耐熱鋼の熱処理のラプチャー時間におよぼす影響を調べた。

2) この系では、熱処理のみによりある程度以上のラプチャー強さは望めないで、さらに Ni および Co をまし、Ti および Al を添加した材料の時効硬さなどを調べた。

3) この試料のうち、良好と思われる試料についてラプチャー試験をおこなった。

(112) 16-15-6 型合金の時効について

(耐熱材料における合金元素としての窒素の作用について—Ⅰ)

Aging of 16-15-6 Type Alloys

(On the function of nitrogen as an alloying element in heat-resisting materials—Ⅰ)

R. Tanaka, et alii.

東京工業大学 工博 岡本正三・工〇田中良平

“ 工 佐藤 昭・石塚健雄

I. 緒 言

今日耐熱合金としては Fe 基のみならず、さらに高度の要求に応じて Ni 基、Cr 基合金が注目されるようになり、これら超合金の研究は日を逐つて盛となつてきた。しかしながら一方では稀少高価な元素を節約した経済的な耐熱材料をつくりだそうとする研究もまた重要視されつつある。Timken 16-25-6 合金はガスタービン材料と

してもつとも多く使用されているオーステナイト系耐熱鋼の代表的なものの一つであるが、25% もの多量の Ni を含有しており、耐熱性をおとさずにその Ni 量を減らして、より安価な他元素によつて置換えることは経済的にもまた資源的にも重要な問題である。すでに Ni の一部あるいは全部を Mn で代替する研究をみかけるが、筆者らは鋼の合金元素としての N がオーステナイト形成元素としての役割と同時に、C と異なり鋼の延性を害なうことなくその高温強度を高める作用をもつ点に着目し、N を合金元素として十分に活用しようとの観点から低 Ni Timken 型合金について大気中で安全に熔製し得る N の最大量をもとめるとともに、耐熱性におよぼす N および Ni、C などの影響をしらべた。本報ではそのうち主として時効特性について報告したい。

II. 試 料

試料の配合組成を Table 1 にしめす。熔解原料中 Cr, Mn, Ni, Fe はいずれも電解製, Mo は単体金属として、N は研究室で調製した窒化クロムで、また C は高純度のフェロカーボンで添加した。試料はタンマン炉の急速熔解による熔湯を数本の 6×5×100 mm のシェル型にそそいで鑄塊とし、熱間圧延および 1200°C × 1 h の溶体化処理によつて十分均質化して以下の実験に供した。表中 N0~N4 は他元素量を一定にして 0~0.4% の N の影響をみるためのものであるが、N 0.4% 配合の N4 は熔製時に多量の N₂ ガスの放出によつて健全な鑄塊がえられなかつたので、本系合金の大気中熔製で安定に合金化することのできる N 量は約 0.3% が限度と思われる。そこで N を 0.3% に一定し、Ni 13~Ni 17 は Ni 13~17% の影響を、また C10 および C15 は 0.15% までの C の影響を調べるために調製し、また比較のため標準組成の Timken 16-25-6 合金も熔製した。

Table 1. Charge composition (%) of alloys used.

Mark	Cr	Ni	Mn	Mo	C*	N*
N 0	16.0	15.0	7.5	6.0	0 (0.05)	0.0 (0.01)
N 1	16.0	15.0	7.5	6.0	0 (0.06)	0.1
N 2	16.0	15.0	7.5	6.0	0 (0.05)	0.2
N 3	16.0	15.0	7.5	6.0	0 (0.05)	0.3 (>0.25)
N 4	16.0	15.0	7.5	6.0	0 (0.05)	0.4
Ni 13	16.0	13.0	7.5	6.0	0 (0.05)	0.3 (>0.22)
Ni 14	16.0	14.0	7.5	6.0	0 (0.04)	0.3
Ni 16	16.0	16.0	7.5	6.0	0 (0.04)	0.3
Ni 17	16.0	17.0	7.5	6.0	0 (0.04)	0.3 (>0.24)
C 10	16.0	15.0	7.5	6.0	0.10 (0.11)	0.3
C 15	16.0	15.0	7.5	6.0	0.15 (0.16)	0.3
Timken 16-25-6	16.0	25.0	1.0	6.0	0 (0.05)	0.15

* The figures appearing in parentheses show those by chemical analysis.

III. 実験結果と考察

1. 熱膨脹測定および検鏡による析出現象の検討

各試料の溶体化処理のままおよび 700°C で 20% 圧延の熱冷加工（圧延方法については次報参照）をおこなったものもすべて常温においてほとんど磁性をしめさず完全オーステナイト組織を呈するが、これらを 1050°C まで加熱冷却して示差膨脹を測定したところ、C を添加した C10 および C15 を除いた各試料は組成および熱冷加工

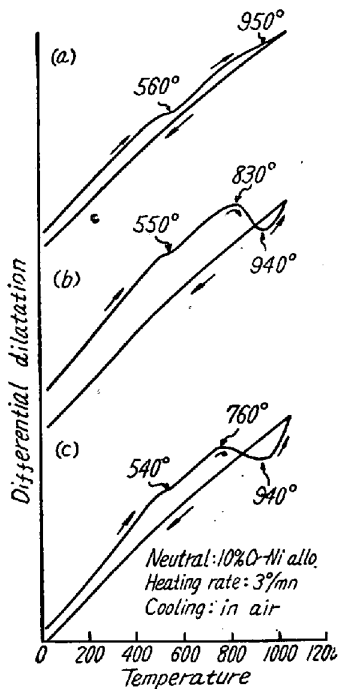


Fig. 1. Differential dilatation curves of (a) N₃ solution-treated at 1200°C; (b) C15 solution-treated at 1200°C; and (c) C15 solution-treated followed by hot-cold worked 20% at 700°C.

の有無にかかわらず、Fig. 1 (a) 曲線にその例をしめすように、500~600°C と 900~1050°C の二つの温度範囲で収縮が認められ少なくとも二種の相が析出するものようである。C を添加した試料では低温側の収縮は他試料とほぼ同様であるが、高温側の析出は C の多いほど顕著で、同図 (b) のごとくいちじるしく大きな収縮をしめし、とくに圧延試料では (c) 曲線のようにかなり低い温度からあらわれる。このように高温側の収縮は C の多いほどいちじるしくなることから少なくとも含 C 合金ではこの収縮が主として炭化物の析出によるものと

推測されるが、おそらく窒化物などの析出も同時におこっているであろう。なお N0~N4 試料を 1000°C に 64h 加熱したものはかなり粗大な析出物が多く認められ、かつ N の多いほどその量は減じ、またこれらの析出物は偏光下で明らかに複屈折性をしめした。また N3 試料を 1050°C より 800°C まで約 200h かけて徐冷したものにも多量の複屈折体が認められ、これらの複屈折体は σ 相またはある種の窒化物と考えられるが、X線解析の結果では σ 相以外の析出はまったく検知できなかった。

一方低温側の収縮に何によるものか明らかではないが、同様の収縮は Timken 16-25-6 にも認められてお

り、700°C までの高温で使用されるこれらの耐熱鋼に 500~600°C でのこのような析出の存在がどんな意味をもつものか興味あることである。

熱冷加工をおこなった N3 および Timken 16-25-6 を膨脹計中で急熱し、700°C で 200h まで保持して長さの変化を調べたところ、いずれも漸進的な収縮をしめしたが、その量は N3 のほうが Timken の半分以下で、N3 のほうがいちじるしく時効のおそいことが知られる。

2. 加工硬化と時効硬度変化

1200°C × 1h 溶体化処理時の硬度は N0 で Hv 約 174、これを 20% 冷間圧延すると Hv 約 270 となり、700°C で同じく 20% 圧延するとさらに硬度は高く Hv 290 となる。溶体化硬度も圧延硬度も N 量とともにほぼ直線的にかつ両者平行して増加し、N3、700°C 20% 圧延硬度は Hv 約 340 に達する。N を 0.3% に一定して Ni を 13~17% にかえ、あるいは C を 0.15% まで添加しても硬度には顕著な影響なく、ただ C の添加によつて 700°C 圧延硬度のみかなり増加し、0.15% C で Hv 約 380 をしめした。700°C で測定した高温硬度と各元素量との関係は上記常温の Hv 硬度の傾向とほとんど同様で、N および C 量とともに概して高温硬度もまし、Ni 量の影響は認められない。

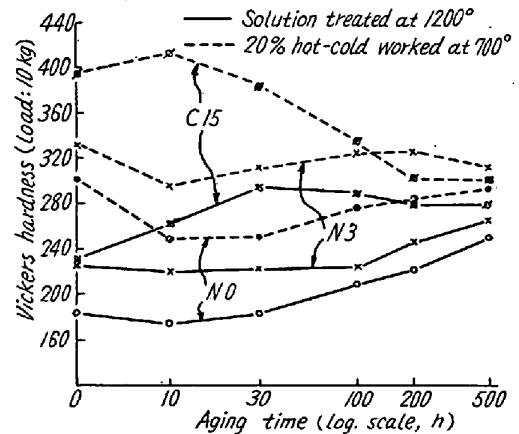


Fig. 2. Hardness change of solution-treated or hot-cold worked 16-15-6 type alloys during aging at 700°C.

これらの試料の 700°C 時効による硬度変化の数例は Fig. 2 にしめすように、C を添加せるものを除いて溶体化試料は時間とともにごく徐々に硬度をまし、500h ではなお硬化の途上であり、また 700°C 20% 圧延試料は 10~30h で一旦軟化してからふたたび硬度をまし、100~500h で最高硬度に達して後幾分軟化をしめす。しかし圧延試料の 700°C × 500h 時効後の硬度は溶体化試料

の同様時効後の硬度よりもなおかなり高く、かついずれも N の多いほど明らかに高い硬度をしめし、N3, 700°C 20% 圧延試料で 700°C×500 h 時効後なお Hv 310 である。しかし Ni の影響はあまり顕著でない。Timken 16-25-6 も時効により上記とほぼ同様の傾向をしめすが、C10, C15 は溶体化試料の時効硬化がかなり早く、C15 では 30 h をこえたとすでに過時効の状態に入り、また圧延試料も時効初期から硬化をしめし、間もなくいちじるしく軟化に転ずる。400~1050°C 間の各温度に 1 h ずつ加熱焼戻して硬度変化をもとめても他の試料と異なつて C15 のみは 700°C 付近でいちじるしい硬化をしめす。これら含 C 合金の比較的速やかな硬化軟化は前述の膨脹測定の結果とも考えあわせると、おそらく主として炭化物の析出に関係するものと考えられる。しかし C を含まぬ合金の徐々におこる時効硬化はおそらく前記の σ 相生成の他に窒化物の析出に基因するものと考えられる。

IV. 結 言

低 Ni Timken 16-15-6 型合金に関する研究からつぎの結論をえた。

1. 本系合金の大気中熔製で安全に合金化し得る最大 N 量は約 0.3% と考えられる。
2. N 量の多いほど溶体化硬度、圧延硬度ならびに時効硬度ともに高く、すぐれた高温強度が期待される。Ni の影響は顕著ではないが、C の添加は熱冷加工による硬化を高め、またいちじるしく時効硬化、軟化を早め耐熱材料として望ましくないようである。
3. 膨脹測定から化学組成および熱冷加工の有無にかかわらず 500~600°C と 800°C 以上の二段の収縮が認められ、前者がいかなる析出物によるものか明らかでないが、後者は主として窒化物および炭化物によるものと考えられ、とくに含 C 合金では炭化物の析出が 750°C 以上でいちじるしい収縮としてあらわれる。
4. 長時間時効試料の X 線解析では σ 相のみが認められたが、検鏡では二相以上の析出がある。膨脹測定および時効硬度変化などの結果を総合すれば長時間時効に際しての硬化は σ 相以外に窒化物に基因すると考えられる。

(113) 16-15-6 型合金の熱冷加工ならびに曲げクリープ特性

(耐熱材料における合金元素としての窒素の作用について—Ⅲ)

Hot-Cold Work and Bending Creep

Property of 16-15-6 Type Alloys

(On the function of nitrogen as an alloying element in heat-resisting materials—Ⅲ)

R. Tanaka, et alii.

東京工業大学 工博 岡本正三・工〇田中良平
" 工 佐藤 昭 ・石塚健雄

I. 緒 言

耐熱合金の熱冷加工 (hot-cold work または warm work) については再結晶温度以下の比較的高い温度における塑性加工ともいわれ、また時効析出のおこり得る温度範囲での加工ともいわれているが、その意味するところの内容はなお明瞭を欠いている。合金の種類によりあるいは鍛造とか圧延とかの加工方法により材料にたいする熱冷加工の効果は種々相違するであろうが、この熱冷加工が何故クリープ特性の向上に有効なのか、またその効果において常温加工とどのように異なるものか、これらの点を明らかにする目的でここでは N を添加した 16-15-6 型合金における熱冷加工の効果ならびに曲げクリープ特性をしらべた。

II. 試 料

実験に用いた試料の記号、配合組成、その調整方法などについては前報と同様であるから、ここには省略する。

III. 実験結果とその考察

1. 加工硬化におよぼす熱冷加工温度の影響

1200°C×1 h 加熱水冷の溶体化処理をほどこした厚さ 5 mm の N0~N4 試料について常温、600°C、700°C および 800°C の各温度で 20% ずつの圧延をおこない、硬度変化を測定した。圧延には 75φ×75 mm の実験用小型二段圧延機を使用し、とくに熱冷加工用には表面にステライト熔着をほどこしたロールを用い、厚さ 5 mm から 4 mm まで 3 pass で圧下し、1 pass ごとに所定温度の炉に装入して、加熱と圧延を繰返す方法をとつた。

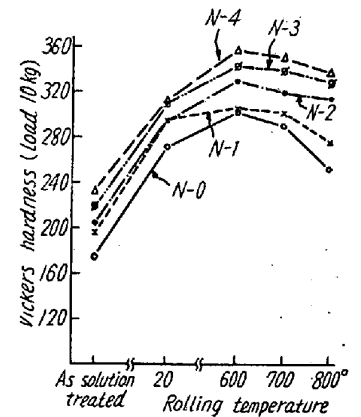


Fig. 1. Effect of rolling temperature on the hardness of 16-15-6 type alloys (Reduction by rolling: 20%)

圧延試料の表面硬度と圧延温度との関係を Fig. 1 にしめす。N 量