

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。

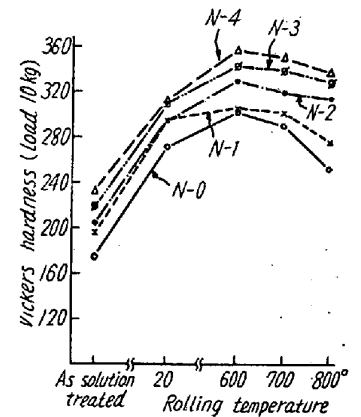


Fig. 1. Effect of rolling temperature on the hardness of 16-15-6 type alloys (Reduction by rolling: 20%)

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

の多いほど溶体化硬度の高いことは前報でものべたが、いずれの試料も圧延によつていちじるしく硬化し、かつやはりN量の多いほど圧延硬度も高い。そしてこの図でとくに興味あることは常温圧延よりも 600°C 、あるいは 700°C での圧延による硬化がかなり大きいことである。すなわちいずれの試料も 600°C 圧延で最高硬度をしめし、 700°C ではそれよりわずかに硬度は下がるが、なお常温圧延硬度よりは高く、N0.2%以上の添加では 800°C 圧延でさえも常温圧延より高い硬度をしめしている。このように熱冷加工が常温加工よりも高い硬度を与えることならびにN量の多いほどその傾向がいちじるしいことは熱冷加工中に析出硬化をともなっていることを推測せしめる。第2報でこの種合金が溶体化処理後の加熱により2段の析出をすること、その低温の析出が約 550°C でおこることをしめしたが、このことからしても熱冷加工中に析出のおこることはほぼ確実とみられる。

2. 熱冷加工試料の断面硬度について

圧延による熱冷加工試料の断面硬度分布をみるに表面硬度はいちじるしく大となるが中心部分は低硬度である。このものを $700^{\circ}\text{C} \times 500\text{h}$ 加熱するとき全体として軟化するが、やはり表面硬度は中心部硬度より高い。加工により表層に圧縮残留応力の生ずることが推測されこれが機械的性質の改良の一因をなしていると考えられる。

3. 熱冷加工試料の 700°C 時効による硬度変化

各試料の溶体化処理のままならびに常温および 600°C ~ 800°C で各20%圧延をほどこしたものについて 700°C で500hまでの時効による硬度変化を測定したその中N3試料についての測定結果を Fig. 2 にしめた。溶体化

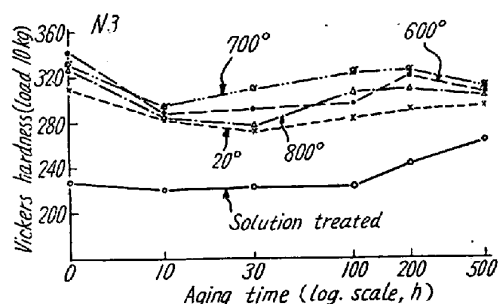


Fig. 2. Hardness change of solution-treated, cold worked or hot-cold worked specimens of N3 during aging at 700°C . Temperatures in the figure show those of the rolling (Reduction by rolling: 20%).

処理試料は約 100 h 付近から徐々に時効硬度をしめすのにたいし、加工試料は圧延温度のいかにかわらざいずれも時効初期の 10~30 h で一旦軟化したのちふたたび徐々に硬化に転じ、200 h 付近でほぼ最高硬度に達し

てさらに長時間では過時効の状態に入るが、500 h 後もなお溶体化試料より Hv 30~50 程度高い硬度を保っている。加工試料の時効初期における軟化は圧延による残留応力が幾分除去されることによるものと考えられ、その後硬化に転ずるのは前報でものべたようにおそらく窒化物などの析出硬化が平行しておこるためとみられる。しかして加工試料では溶体化試料にくらべてその析出硬化がかなり促進されていることは図から明らかで、とくに 700°C では500hですでに過時効となる点からこの種の合金をこの温度でさらに長時間使用する場合には熱冷加工はかえつて使用中の軟化を早めることも考えられる。

4. 曲げクリープ特性におよぼす合金元素および熱冷加工の影響

$3.0 \times 5.0 \times 90\text{mm}$ の試片について支点間距離 70 mm の中央、試片の厚さ 3 mm の方向に荷重をかけて曲げクリープ試験をおこない、N, C および Ni 含有量の影響ならびに熱冷加工の影響を調べた。試験温度は 700°C また試験荷重は 16 kg (最大応力 37.66 kg/mm^2) を選び 100 h までの測定をおこなった。Fig. 3 は N0~N3 の

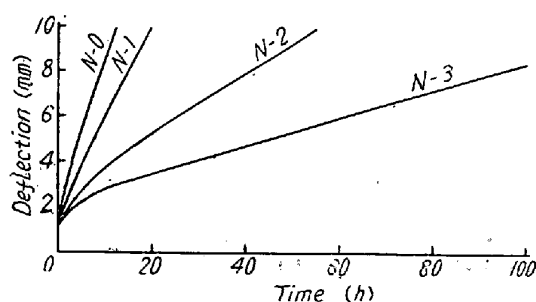


Fig. 3. Effect of nitrogen on the bending creep curves of hot-cold worked 16-15-6 type alloys. Hot-cold working: 20% at 700°C . Testing temperature: 700°C . Testing load: 16 kg.

700°C 20%熱冷加工をほどこした試料の曲げクリープ曲線をしめし、N添加量の増加とともにいちじるしくクリープ速度は減少する。このようにNが高温クリープ特性を顕著に改善することは鋼の合金元素としてのNが単に austenite former であるだけでなく、有力な hot strengthener であることをしめすものであり、オーステナイト中に固溶してその変形抵抗を高めるとともに窒化物として微細に析出して鋼を強化するものであろう。

N量を0.3%に一定して13~17%のNiの影響を調べたところ、15%Niでもつともクリープ速度は小となり、これよりNiが多くとも、また少なくともクリープ速度は増加するが、その影響はNほどいちじるしくな

い。一方Cを0.10%および0.15%添加したものはクリープ速度はやや小さくなるが、いずれも40h前後で破断し、Cの添加は本系合金の靱性をいちじるしく害する。

さらにNi 17 および標準の Timken 16-25-6 試料とについて溶体化処理のままおよび700°C 20%の熱冷加工をほどこしたものの曲げクリープ試験をおこなつて熱冷加工の効果を調べたが、Ni 17 は Timken 16-25-6に比していちじるしく強く、かつ両者とも明らかに熱冷加工によつてクリープ速度は減少し、高温強度をますことが認められた。しかしさらに長時間のクリープ試験の結果がどうなるかは明らかでない。

IV. 結 言

低 Ni Timken 16-25-6 型合金の熱冷加工ならびに曲げクリープ特性について研究し、つぎの結果をえた。

(1) 本系合金ではN添加量の多いほど溶体化硬度、圧延硬度ともに高く、また600°C~800°Cの範囲では温度の高いほど圧延による硬化は少ないが、概して熱冷加工は常温加工よりも高い硬度を与えることおよびN量の多いほどその傾向のいちじるしいこと、したがって熱冷加工はそれが合金の再結晶温度以下での加工であると同時に何らかの析出を伴っているものであることなどを明らかにした。

(2) 700°Cで500hまで時効せしめても熱冷加工試料は溶体化試料よりなおかなり高い硬度を保つ。加工により析出硬化が促進されるが時効軟化も早められ、700°C 500hではすでに過時効となり始めることから本系合金の熱冷加工は700°C以下で使用する材料にのみ有効であるといえる。

(3) 熱冷圧延加工により合金の断面硬度は不均一となり表層はかなり硬度が大となるが中心部分は軟かいままとなる。

(4) 700°C 20%の熱冷加工によつて溶体化処理のままよりも明らかにクリープ速度は減少し、高温強度を改善する。

(5) 700°C 20%加工試料の700°Cにおける曲げクリープ特性はN添加量と共にいちじるしく改善される。Nを0.3%に一定してNi 13~17%の範囲では15%Niがもつとも優れ、これよりNiが多くても少なくともクリープ速度は増大するがNi量の影響はNほどには顕著でない。一方、Cの添加はクリープ速度を少しく減少するがいちじるしく靱性を害し、比較的短時間で破断するようになる。しかしこの実験の範囲では本系合金は何れも標準の Timken 16-25-6 よりもかなり強い。

(114) M252の機械的性におよぼすTi, Al, Cの影響

(Ni基耐熱合金に関する研究—Ⅷ)

Effect of Ti, Al and C Content on Mechanical Properties of Alloy M252 (Studies on nickel-base heat-resisting alloys —Ⅷ)

T. Hasegawa.

住友金属工業製鋼所研究部 工 長 谷 川 太 郎

I. 緒 言

Nimonic 80AにおいてTiおよびAl含有量が機械的性質におよぼす影響について前報にてのべた。M252についても同様にTiおよびAl含有量が機械的性質に影響することが予想される。またM252は他のNi基耐熱合金に比べ炭素量が高いので、本報ではTi, AlおよびC含有量の機械的性質におよぼす影響についてのべたい。

II. 供 試 材

TiおよびAl含有量の影響をしらべるために溶解条件の影響をさけるために真空溶解したM252素材を原料として50%配合し、3kg高周波溶解炉にてTiを3.58~2.55%, Alを1.73~0.69%の間で夫々の含有量をかえた試料12溶解を製作した。また炭素量の影響をしらべるためにC<0.1%の試料を同様に3kg高周波溶解炉で2溶解製作した。試料の化学成分はTable 1に示す。

試料はいずれも3kg鑄塊を15mmφに鍛伸した後Table 2に示す熱処理を施した後クリープ破断試験片を採取した。

III. 実 験 結 果

クリープ破断試験条件として①750°C, 26.8 kg/mm², ③750°C, 29.9 kg/mm²をえらんだ。以下にこの結果より観察されたことをのべる。

1. Fig. 1は③の試験条件にてTi 3.01~3.58%の場合のAl量のクリープ破断時間におよぼす影響を示す。図によれば、ばらつきはかなり大きい。B処理の場合Al量の増加とともにクリープ破断時間は増加するものと考えられる。G処理では固溶化処理後空冷するものでNimonic 80Aの場合と同様に固溶化処理後の冷却中の析出硬化にAl量が影響しその後の時効による析出硬化へのAl量の影響が減殺される。したがってAlの高温機械的性質におよぼす効果は不明瞭となる。