

討12 インコロイ 800 合金の高温強度と組織

住友金属工業(株)

行 俊 照 夫

中央技術研究所

I 緒 言

Incoloy 800 は 20Cr-30Ni-Ti-Al の高合金鋼でその高い高温強度とすぐれた耐食性などからエチレンプラントやスチームリフォーミングプロセスなどの加熱炉管および高温高圧配管などの化学工業用として広く用いられてきている。さらに最近では、高速増殖炉蒸気発生器用材や高温ガス炉の熱交換器用鋼管材としても検討されようとしており、今後、その需要が大きく増加するものと期待されている。しかし、まだ、歴史が浅いため本鋼の諸特性について発表されたデータは非常に少く、⁽¹⁾不明な点も多い。そこで、本研究では Incoloy 800 の高温強度特性、組織を調べるとともに、熱処理、成分の影響を調査し、本鋼を通じて、高温強度特性と組織との関連性を検討した。

II 実験方法

鍛伸材および鋼管成品 3 チャージの肉厚部から採取した試験片について短時間高温引張り試験および 700°C ~ 1000°C のクリープ破断試験を行い、その代表材について組織を調べた。ついで、Ti 量を変えた材料について熱処理および Ti・Al 量の影響を調べた。これから得られた結果にもとづいて高 Ti-Al 材の γ' 相の成長過程および高温強度への影響についても言及した。

III 試験結果

1. 高温強度特性

図 1 および 2 に短時間高温引張り試験およびクリープ破断データを Larson-Miller パラメータ ($C=15$) で整理した結果を示す。比較のため 18-8 系ステンレス鋼のデータを付け加えた。図から分るように Incoloy 800 は低温側では 18-8-Mo 鋼よりも強度が低い程度であるが高温側で耐酸化性ととも高い強度の得ら

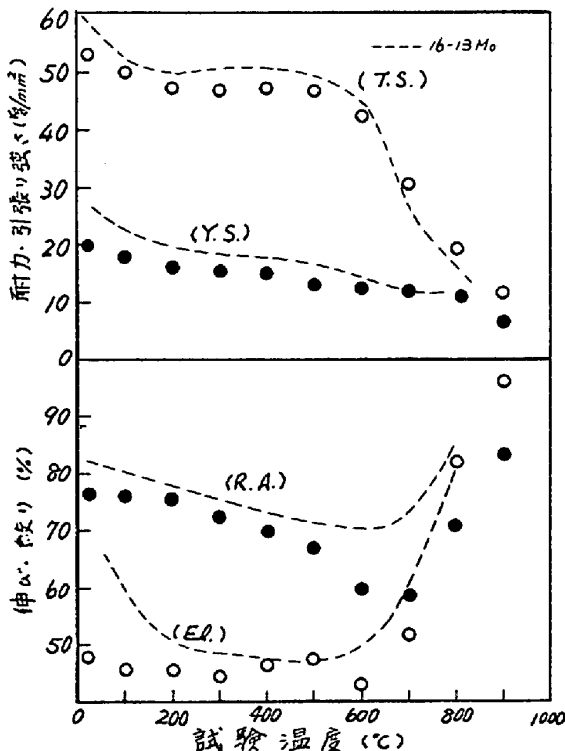


図 1 高温引張性質

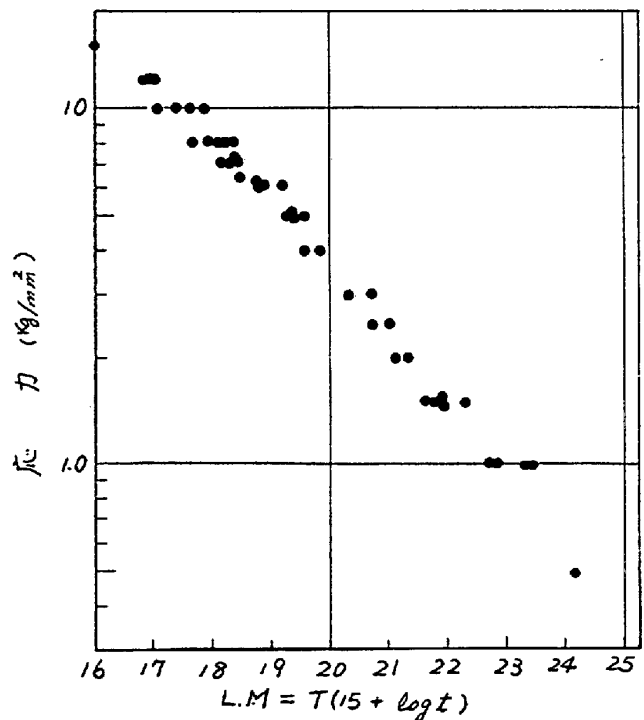


図 2 クリープ破断強度

れることを特徴としている。ステンレス鋼では200°Cまで伸びの急激な低下を示し、さらに500°C以下で大きく伸びの上昇がみられるのに対して、本鋼では600°Cまでの伸びの変化は10%以内と僅かで700°C以上で伸びが急激に増加する。同時に伸びと絞りの絶対値が逆転している。また、900°C引張り試験後の組織には粒界に沿って再結晶の生じているのがみられる。一方、クリープ破断強度は $\sigma=15$ としてかなりよく線以上にのっている。本鋼はTi-Al無添加材と比べて強度的には大差ないが、破断伸びが大きいのが特徴である。

2. 組織変化

クリープ破断試験材の組織を顕微鏡、抽出残渣のX線解析および電顕観察により調べた。700°C試験材ではネット状の粒界析出物および粒状の粒内析出物がみられるが、いずれも $M_{23}O_6$ である。しかし、800°C以上では粒内析出物が少なくなり、代りに所々の粒界に大きな析出物 $M_{23}O_6$ が観察される。造塊中に出来たとみられる角型のTiNはいずれにもみられたが、TiN(O)と考えるのが妥当であろう。加熱温度の増加に従って $M_{23}O_6$ が減少し、 Cr_2N や CrN が析出するようになるが、鋼中のNはTiNとして固定されているため、この窒化物は空気中のNと結合したものと考えられる。一方、Alによる析出物はみられなかった。

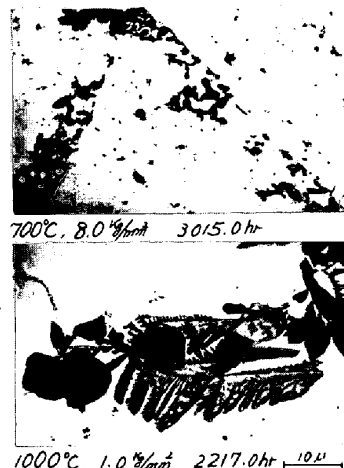


写真1. クリープ破断後の電子顕微鏡組織

3. 熱処理の影響

表1に示すC量の異なる供試材について固溶化温度の強度特性に及ぼす影響を調べた。その結果を図3に示す。

表1. 供試材の化学成分(%)

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Ti	Al
A	0.04	0.45	0.89	21.29	32.06	0.37	0.36
B	0.08	0.86	0.92	21.39	31.96	0.42	0.40

低CのA鋼は通常鋼で固溶化温度を変えても諸特性の変化は少く熱処理に対して非常に安定である。一方、高CのB鋼では1100°C処理でCの固溶と共に結晶粒が大きく成長し、その後余り変化はないが、800°Cのクリープ強度はこの変化によく対応している。高C材の強度は高いが、前述のように800°C以上では粒内の析出強化は望めず、したがって、Cの固溶量や粒界でのカーバイトの凝集化の差が強度の差として効いているものと考えられる。耐力は常温では固溶化処理の低い方が高いが、800°Cでは逆に結晶粒の大きい程高く、800°Cでは粒界の強度が効いていることが分る。また、800°Cでの伸びの変化は試験中のカーバイトの析出および再結晶の生成とが組み合わさった結果であるとみられる。

4. 成分の影響

C, Ti, Alのクリープ破断特性に及ぼす影響の一例を図4に示す。図からCの増加により強度は大きく上昇するが700°Cと800°CとではTi, Alの強度に及ぼす影響

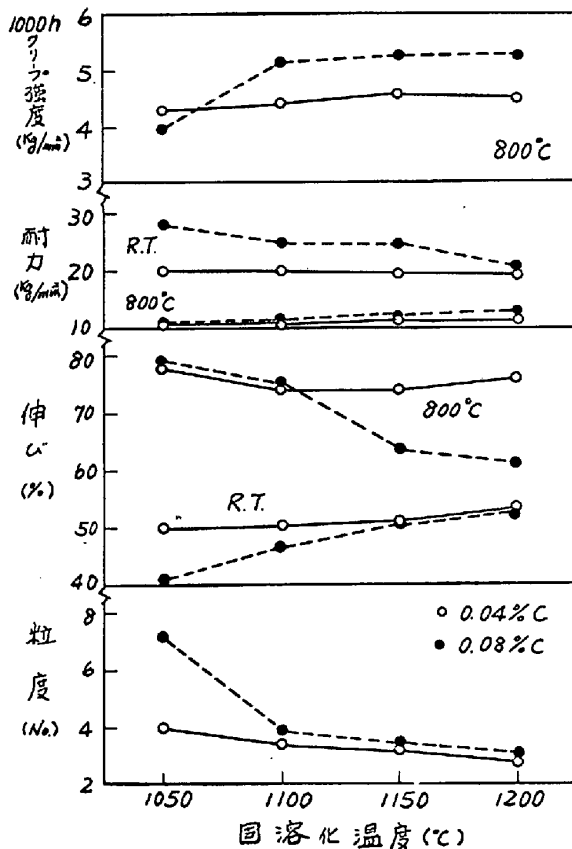


図3. 固溶化温度の影響

が大きく異なる。すなわち、800°CではTi, Alは影響がないが、むしろ含有量の少ない方が強度が高くなるのに対して700°CではC量の多少によらずTiが高温強度に大きく寄与する傾向がみられ、とくにTi, Alを多く含有する鋼種では強度向上およびそれに伴う破断伸びの減少が顕著に認められた。クリープ試験片の組織の解析結果から粒内に微細に析出するγ'相((Ti, Al)Ni₃)が強化の原因であることが分った。さらにE鋼についての時効試験からγ'相による硬化は700°Cをノーズとして生じ、800°C以上では全く析出しないことが明らかになり、さらにAl:0~1%, Ti:0~1%の範囲では700°Cの硬化に対しては両者同量添加がもっとも効果のあること、および、0.7Al-0.7Ti附近に硬化の頂点のあることが推測された。

そこで、0.7Al-0.7Ti添加鋼について700, 750°C加熱によりγ'相の析出粒成長過程を調べたのが図5および写真2である。図5には時効させた供試材の700°C 14.0kg/mm²条件下でのクリープ破断結果も併せ示した。γ'相の成長はかなり早く、また粒成長による強度低下も著しい。

IV 総括

(1) Incoloy 800 鋼の高温強度特性、組織変化を示し、熱処理特性からみて通常鋼は極めて安定した鋼種である。

(2) Ti, Alの多量添加材は700°Cをノーズとしてγ'相を析出し、強化とともに伸びの低下をもたらす。しかし、800°C以上ではγ相の析出はない。

(3) γ'相の粒成長は著しく、大きくなるとともに強度低下をもたらす。したがってγ'相は長時間強度向上には不適である。

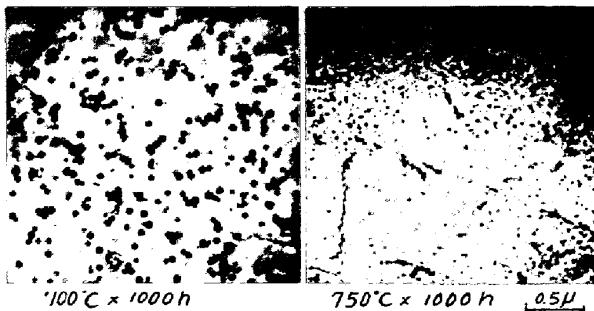


写真2. 電子顕微鏡組織 (x20,000)

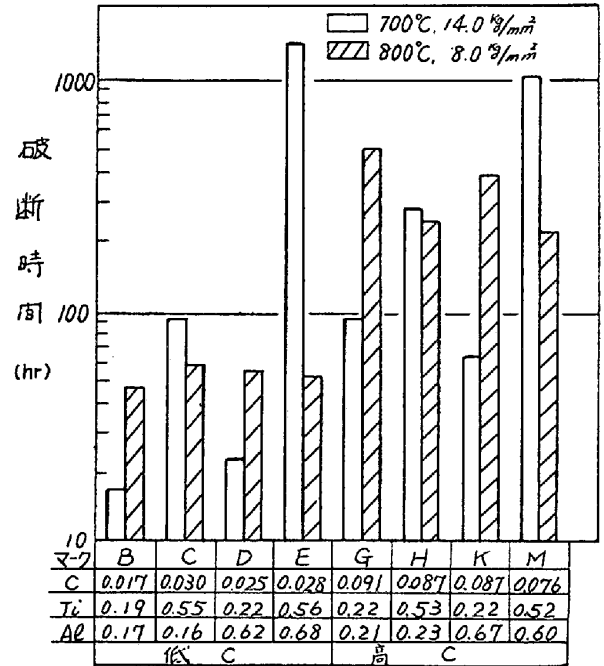


図4 クリープ破断時間に及ぼす成分の影響

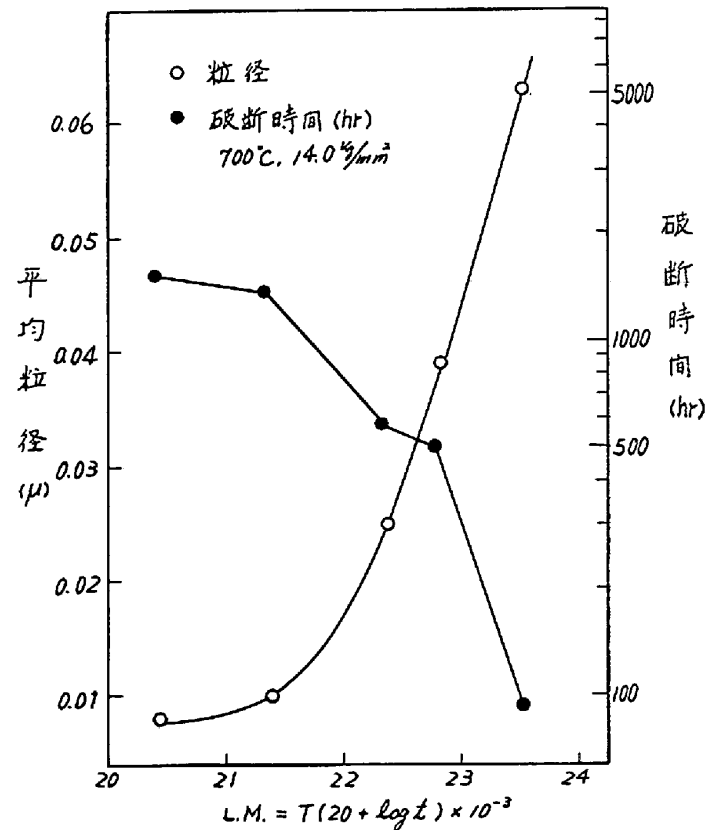


図5 γ'相の成長とクリープ速度