

(243) 0.15C-15Cr-14Ni 系耐熱鋼の微細組織におよぼすMoの効果

東京大学 工学部

小山田 武海

藤田 利夫

1. 緒言

工業技術の高度化, 装置の大型化につれボイラ, 蒸気タービンなどに用いられる構造材は苛酷な性能が要求されるようになってきている。Mo入りオーステナイト鋼は高温強さ, 加工性, 溶接性などに優れており, その利用度は将来増すものと思われる。Mo入りオーステナイト鋼の組織については多く研究されているが, Mo量を変化させて調べた研究は少ない。組織的興味もさることながら, オーステナイト鋼の微細組織におよぼすMoの効果の詳細を調べる

表.1. 試料の化学組成

ことはオーステナイト鋼の高温強さにおよぼすMoの効果を論ずるうえにも不可欠な問題である。本研究では0.15C-15Cr-14Ni鋼を基本組成としてMoを0~4%まで変化させた6種類の鋼につき, その溶体化処理状態, 時効処理状態における微細組織と硬さを調べた。

	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S	Mo	N
S-1	0.16	0.40	1.68	15.61	14.03	0.008	0.010	-	-
S-2	0.14	0.36	1.19	14.48	12.52	0.009	0.008	0.45	0.017
S-3	0.12	0.41	1.37	15.69	14.08	0.008	0.010	1.00	0.019
S-4	0.16	0.39	1.31	14.80	13.78	0.009	0.009	1.85	0.019
S-5	0.14	0.37	1.37	15.30	13.93	0.009	0.009	3.84	0.020
S-6	0.17	0.38	1.20	13.60	13.63	0.009	0.009	-	0.024

2. 供試材および実験方法

表.1に示す6種類の鋼を試験に供した。溶体化処理状態における炭素の溶解度, オーステナイト粒径, 硬さにおよぼすMoの効果, また時効硬化特性, 時効組織変化におよぼすMoの影響を, 光学および電子顕微鏡組織観察, 電解抽出残渣の化学分析, X線解析などにより調べた。

3. 実験結果

1). 溶体化処理状態における平均硬さ, オーステナイト粒径はMo含有量の増加とともにそれぞれ上昇および減少する。これはおもにMoの炭素溶解度を低下させる効果に起因する未固溶M₂₃C₆の分散効果(図.1)により説明される。

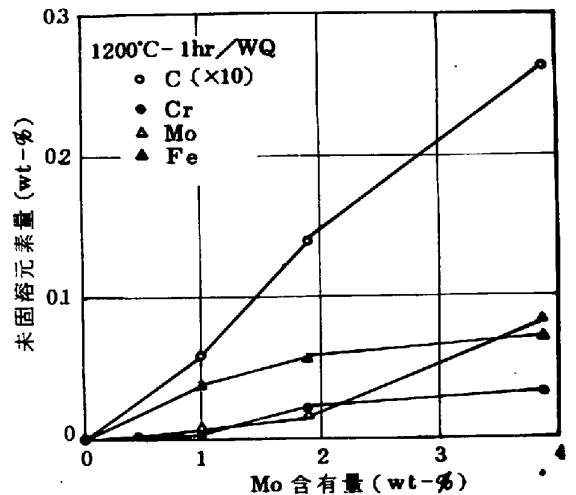


図1. 溶体化処理状態の不溶元素量とMo含有量の関係

2). S-1, 3, 5, 6の900~1300°C-1hr/WQの溶体化処理状態における炭素の溶解度を, 電解分離法により求め, それぞれ次式を得た。

log(%C)_{S-1} = 1.351 - 2953/T

log(%C)_{S-6} = 1.364 - 2941/T

log(%C)_{S-3} = 1.066 - 3031/T

log(%C)_{S-5} = 1.044 - 3099/T

3). 時効硬化特性におよぼすMoの効果を探る結果, Mo含有量の増加とともに最大硬化量は700°C以下では増し, 750°Cでは低下し, 過時効軟化は速められること(図.2)がわかった。

4). Mo添加による析出炭化物の形態上の変化はほとんど認められず, 基本的には粒界への塊状M₂₃C₆の析出と, 粒界および粒内への立方体状M₂₃C₆の析出とによって2つの反応が大別される。特殊な形態としては高Mo鋼において, 高温長時間時効後に棒状もしくはlath状炭化物が認められ, こういった形状の炭化物のいくつかはM₆Cであることを明らかにした。また1%以上のMoの添加により立方体状M₂₃C₆

の析出を促進する。(写真1~3参照)

5). 1250°C-1hr/WQ した S-2~5 における時効中の立方体状 $M_{23}C_6$ の粒径変化は実験式として次式で示される。

$$d_{s-2} = A_2 t^{0.34} \exp(-22670/RT)$$

$$d_{s-3} = A_3 t^{0.30} \exp(-23124/RT)$$

$$d_{s-4} = A_4 t^{0.29} \exp(-23901/RT)$$

$$d_{s-5} = A_5 t^{0.33} \exp(-26643/RT) \text{ (図3)}$$

従って Mo 含有量の増加とともに立方体状 $M_{23}C_6$ の成長の活性化エネルギーはわずかに増す傾向を示す。この則が成立する範囲では Mo 含有量の増加とともに粒径を増すが、高 Mo 側では減少する。しかし高 Mo 鋼ほど長く時間指数が 1/2 から減少し、700°C 以下では炭化物粒径は長時間側で Mo 含有量の増加とともに減少する。しかし 750°C では Mo 含有量の増加とともに炭化物粒径を増す。

6). 時効とともに立方体状 $M_{23}C_6$ の分布密度の変化は図4に示すごとくである。すなわち、分布密度は臨界分布密度まで急激に増したのち、漸次減少する傾向を示し、この臨界分布密度は低温時効ほど大きな値を示し、長時間側に現われる。Mo 含有量の増加とともに炭化物の分布密度はわずかに増す傾向を示し、臨界分布密度を示す時間が短時間側に移行する。

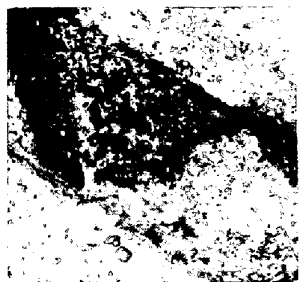


写真1. 粒界上の塊状析出 (S-3. 600°C-300hr)

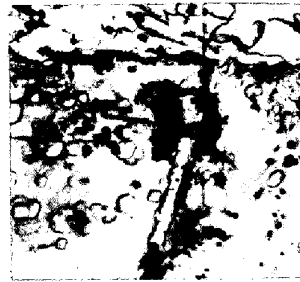


写真2. 立方体状 $M_{23}C_6$ (S-4. 750°C-30hr)



写真3. 棒状 M_6C (S-5. 750°C-1000hr)

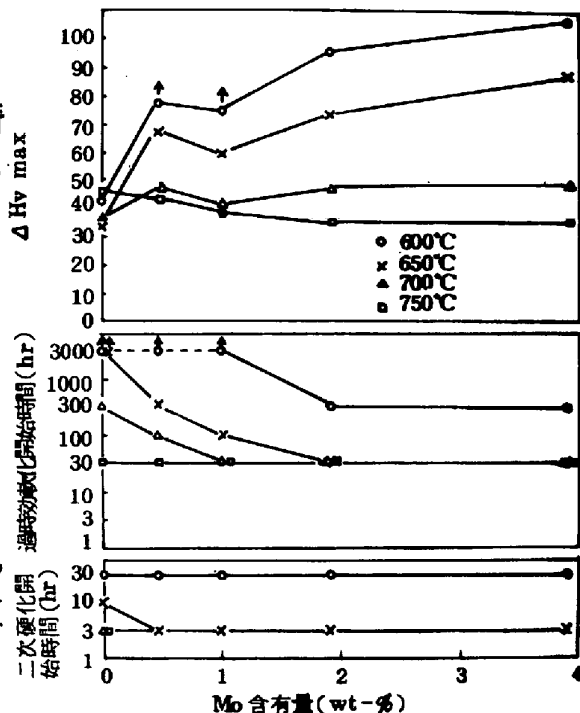


図2. 時効硬化特性におよぼす Mo の影響

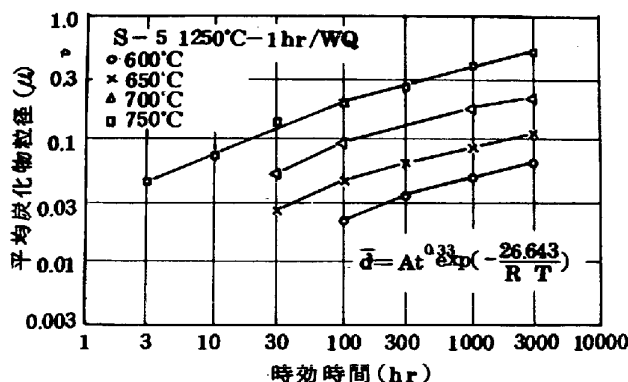


図3. S-5 の時効中の立方体状 $M_{23}C_6$ の粒径変化

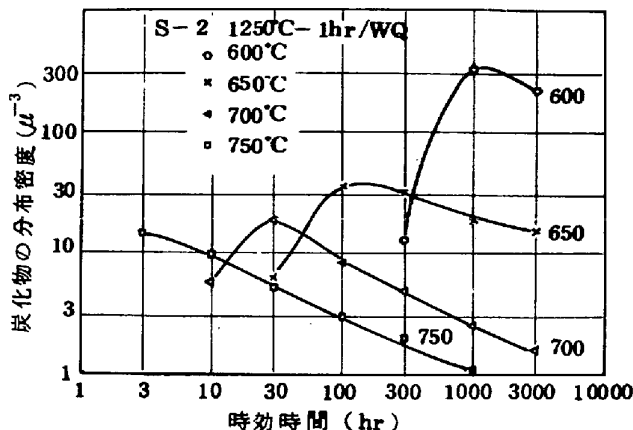


図4. S-2 の時効中の $M_{23}C_6$ の分布密度の変化