

ガスタービン用耐熱鋼の研究 (II)

(Ni-Cr 系耐熱鋼の時効に及ぼす Cr, W, Mo 及び W+Mo の影響について)

(昭和 28 年 4 月本會講演大會にて講演)

小 柴 定 雄*・九 重 常 男**

INVESTIGATION OF HEAT RESISTING STEEL FOR GAS TURBINES (II)

(Effect of Cr, W, Mo and W+Mo on Aging of Heat
Resisting Steel of Ni-Cr System)

Sado Koshiha, Dr. Eng. and Tsuneo Kuno

Synopsis:

The authors described the effect of carbon, silicon, manganese and nickel on the aging of heat resisting steel of Ni-Cr system, in the previous report. (Tetsu-to-Hagané vol. 39, 1953,) In the present investigation, they examined the effect of chromium, tungsten, molybden and tungsten plus molybden on aging of the same heat resisting steel of Ni-Cr system containing Ni 15%, Cr 20% as in the previous investigation.

As the results of these experiments, the authors gave most moderate contents of Cr, W and Mo, and then heat treatment for Ni-Cr austenitic heat resisting steel, concluding that: (1) The moderate contents of Cr were 20~25% for Ni 15~20% heat resisting steel, (2) W 4~6%, Mo 5~7% or W+Mo (3+5)%~(5+4)% were the moderate content for Ni 15%, Cr 20% steel, (3) Temperature of the solution treatment were 1200~1250°C, and aging temperature were 750~800°C, and then aging time were 6~12 hours for Ni-Cr austenitic heat resisting steels containing W, Mo or W+Mo

I. 緒 言

前報¹⁾と同様 Ni-Cr (15~20) 系耐熱鋼に就てその時効に及ぼす Cr, W, Mo 及び W+Mo の影響に関し実験を行つた。試料の製作並びに実験方法は前報と同様である。

II. クロムの影響

Cr 15~30% の影響を見る為第 1 表に示す如き試料を調整した。

第 1 表

	C	Si	Mn	Ni	Cr
R 1	0.34	1.33	1.41	15.43	15.37
R 2	0.35	1.50	1.39	15.37	23.42
R 3	0.33	1.63	1.42	15.06	29.40

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

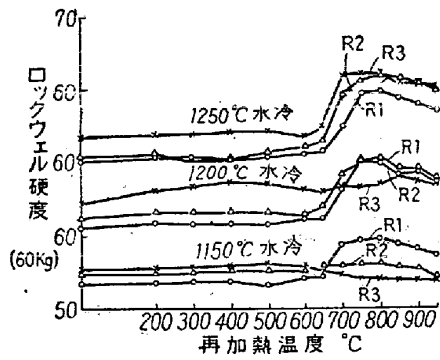
1150°C, 1200°C 及び 1250°C より溶体化処理を行つて硬度の変化を調べた。それによると溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低下する。而して Cr 量の高い試料程高い硬度を示す。

(2) 再加熱温度と硬度との関係

前述と同様各溶体化処理試料の 200~950°C の再加熱温度に於ける硬度の変化を調べた。その結果を第 1 図に示す。1150°C 水冷の場合 Cr 約 15% の試料は 800°C で最高硬度を示す。Cr 約 23 及び 29% の試料は硬度の変化は余り著しくない。即ち時効を殆んど示さない。1200°C 水冷の場合 Cr 約 15% 及び 23% の試料は 650°C 以上温度上昇すると硬度を増加し、750~800°C で最高硬度を示す。Cr 29% の試料は 400°C と 850°C 附近に僅かな山を示すのみで時効の程度が少ない。1250°C

* 株式会社日立製作所安來工場 工博

** 株式会社日立製作所安來工場



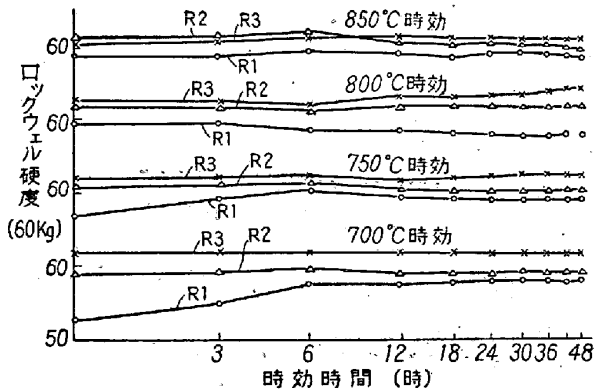
第 1 圖 再加熱温度と硬度との関係 (Cr の影響)

の場合は各試料共 650°C 以上温度を上昇すると著しい時効を示し、Cr 15 及び 23% の試料は約 800°C、Cr 29% の試料は約 750°C で最高硬度を示す。

上述の結果から Cr 量の多い程析出硬化には高い溶体化処理温度が必要であり、最高硬度の得られる加熱温度以上に温度が上昇すれば Cr 量の低い試料程硬度低下が著しい。

(3) 時効時間と硬度との関係

1250°C より水冷した試料の 700°C~850°C の再加熱温度による時効時間と硬度との関係を第 2 図に示す。



第 2 圖 時効時間と硬度との関係 (Cr の影響)

700°C 時効の場合 Cr 15% の試料は 6 時間までは硬度を増大し、それ以上は余り変りない、Cr 23 及び 29% の試料は時効時間により硬度に大差ない。750°C 時効の場合は各 Cr 量共約 6 時間で最高硬度を示す。それ以上は余り変りない。800°C 時効の場合に 6 時間附近で硬度をやや低下するがその理由は判らない。850°C 時効の場合は矢張り約 6 時間で最高硬度を示す。

上述の実験結果から適當の Cr 量を定めるに Cr は耐熱鋼の主要成分で、Cr を約 20% 鉄中に添加すれば、1000°C に於て酸化減量は殆んどないといわれている。

然しフェライトを含む場合は高温に於て著しく粗粒化し易くなり、強度を低下し、又 Cr 量を多くすればオーステナイトを安定にする為相当量の Ni が必要となる。本実験結果から判断して Cr は 20~25% が適當と思考する。

III. タングステンの影響

W 2~8% 添加の影響を見る為第 2 表に示す如き試料を調整した。

第 2 表

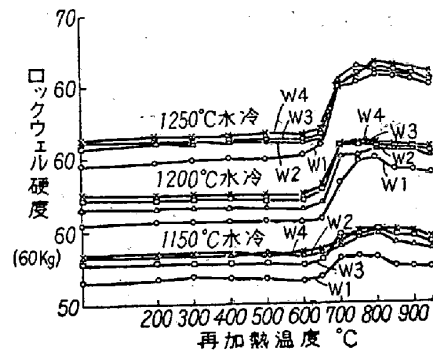
	C	Si	Mn	Ni	Cr	W
W 1	0.33	1.61	1.47	14.86	20.00	2.70
W 2	0.33	1.46	1.64	14.38	19.65	3.48
W 3	0.38	1.47	1.53	14.71	19.89	5.73
W 4	0.42	1.52	1.60	15.38	20.50	8.54

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

前述と同様 1150°C~1250°C の溶体化処理温度の硬度に及ぼす影響を調べた。その結果各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。而して W 量の高い試料程概ね硬度も高い。

(2) 再加熱温度と硬度との関係

各溶体化した試料の再加熱温度による硬度の変化を調べた。その結果を第 3 図に示す。1150°C 水冷の場合 W



第 3 圖 再加熱温度と硬度との関係 (W の影響)

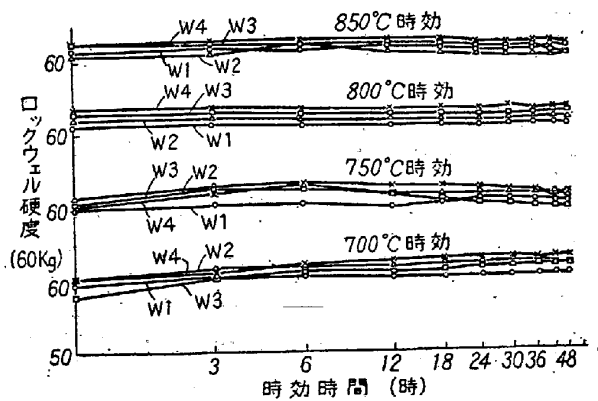
2.7% 添加の試料は 750°C で最高硬度を示し、W 3.5% 及び 5.7% の試料は 800°C、W 8.5% の試料は 850°C でそれぞれ最高硬度を示す。尙加熱温度 700°C 以上に於ては W 量の高い試料程高い再加熱硬度を示す。又最高硬度の得られる加熱温度は W 量の高くなるに従つて高温側に移動する。1200°C 水冷の場合各試料共 650°C よりかなり急激に硬度は高くなり W 2.7%、3.5% 及び 5.7% の試料は何れも 800°C、W 8.5% の試料は 750°C でそれぞれ最高硬度を示す。而して硬化現

象はW量の低い試料程著しく、又各加熱温度を通じW量の高い試料程時効硬度は高い。1250°C 水冷の場合は W 2.7% 試料は 800°C, W 3.5% は 750°C, W 5.7% 及び 8.5% の試料は 800°C でそれぞれ最高硬度を示す。而して析出硬化現象は W量の低い程著しく、又 W量高い試料程概ね高い硬度を示す。

以上の結果より各々溶体化処理温度に於ては W 量の高くなるに従つて最高硬度の得られる加熱温度は高温側に移動する。又各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて高い時効硬度を示し、析出硬化現象も溶体化処理温度の高くなるに従つて著しくなる。

(3) 時効時間と硬度との関係

前述と同様時効時間による硬度の変化を調べた。その結果を第4図に示す。700°C 時効の場合 W 2.7%の試



第4図 時効時間と硬度との関係 (Wの影響)

料は時効時間3時間迄は硬度を増大し、それ以上は殆んど変りない。W 3.5, 5.7 及び 8.5% の試料は6時間で最高硬度を示す。750°C 時効の場合は約6時間までは時間と共に硬度を増大する。それ以上は僅かに硬度を低下する。800°C 時効の場合は各試料共時効時間により硬度に大差なく、W量の高い試料程高い硬度を示す。850°C 時効の場合もほぼ同様である。

(4) 顕微鏡組織

各試料の鑄造組織を調べた。又熱処理を施した試料の組織を見るに何れも微細な炭化物がオーステナイトの地に析出し、W量により判然たる差は認め難いが、W量の多い試料程炭化物の量も多い様に思われる。写真No. 1 及び No.2 はそれぞれ W 3.5% 及び 8.5% の試料の鑄造組織を示す。

以上の実験結果より適当な W 量を決定すると次の如くなる。W は Cr-Ni 鋼に対しては高温に於ける強度を増大し、クリープ抵抗を増大するが、一方耐酸化性は多量に添加した場合は有害である。これらの点と析出硬

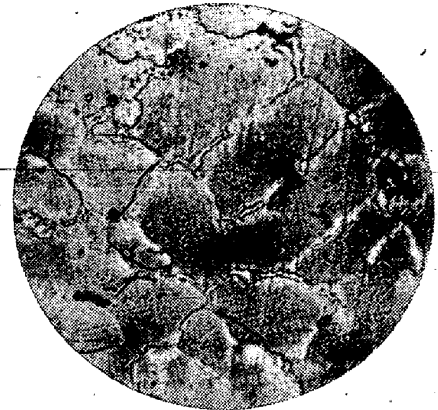


Photo No.1
W2 の鑄造組織 ×400

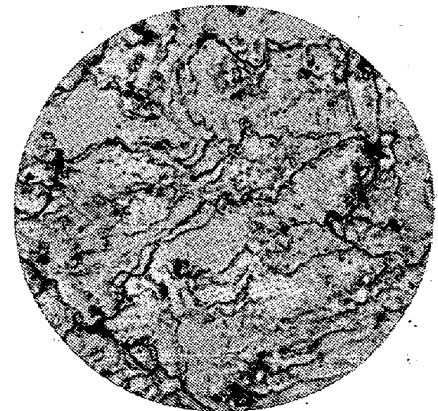


Photo No.2
W4 の鑄造組織 ×400

化現象及び時効硬度の点より観察して W は 4~6% が適当と思考する。

IV. モリブデンの影響

Mo 2~8% の影響を調べる為第3表に示す如き試料を調整した。

第3表

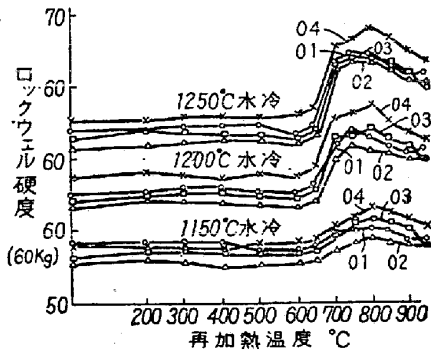
	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
O 1	0.39	1.42	1.51	14.98	20.15	2.05
O 2	0.34	1.59	1.64	15.28	20.64	3.77
O 3	0.37	1.54	1.56	15.16	20.19	5.49
O 4	0.35	1.50	1.48	15.48	20.88	7.24

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

前述と同様 1150°~1250°C の溶体化処理温度に於ける硬度の変化を調べた。各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度を低下する。

(2) 再加熱温度と硬度との関係

各溶体化処理した試料の200~950°C の再加熱による硬度の変化を調べた。その結果を第5図に示す。1150°C

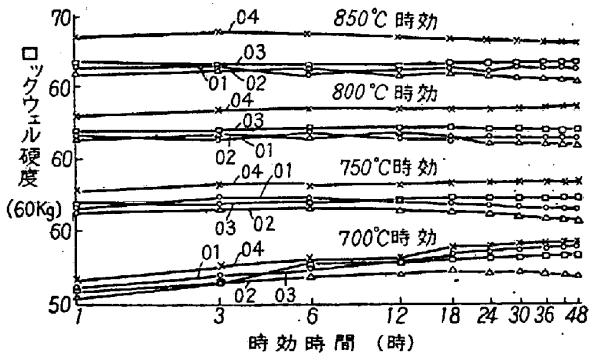


第 5 圖 再加熱温度と硬度との關係 (Mo の影響)

水冷の場合は各試料共 800°C で最高硬度を示し、それ以上温度上昇すると硬度は次第に低下する。而して Mo 量の高い試料程著しい。1200°C 水冷の場合は Mo 2% 及び 4% の試料は 750°C、Mo 6% 及び 7% の試料は 800°C でそれぞれ最高硬度を示す。1250°C 水冷の場合は Mo 2、4 及び 6% の試料は 750°C、7% の試料は 800°C でそれぞれ最高硬度を示す。以上の如く各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて析出硬化は著しく、又得られる最高硬度も溶体化処理温度の高くなるに従つて高くなる。

(3) 時効時間と硬度との關係

前述と同様時効時間と硬度との關係を調べた。その結果を第 6 圖に示す。これらの結果から、時効温度 750~



第 6 圖 時効時間と硬度との關係 (Mo の影響)

800°C の場合は、6~12 時間でほぼ安定した硬度を示す様である。たゞ Mo 7% の試料は 12 時間後も尙増加の傾向にある。850°C の場合は Mo 2~6% の試料は時間と共に硬度を減少する。Mo 7% の試料は 3 時間で極大、以後次第に低下する。

上述の各試料の顕微鏡組織を観測したが、Mo 7% の試料は異常な組織を呈した。以上の実験結果より適当な Mo 量を決定するに、Mo を添加すれば高温に於けるク

リーブ限を上昇するが、高温に於て Mo が蒸発して著しく耐酸化性を害し、又 Mo はフェライト生成元素である為オーステナイトの一部に加工温度においてフェライトを生成させる為高温加工性が困難といわれている。然し上述の実験結果から析出硬化と関連し、Mn 量と勘案し Mo 5~7% が適当と思ふ。

V. タングステン+モリブデンの影響

W+Mo の影響を調べる為第 4 表に示す如き試料を調整した。

第 4 表

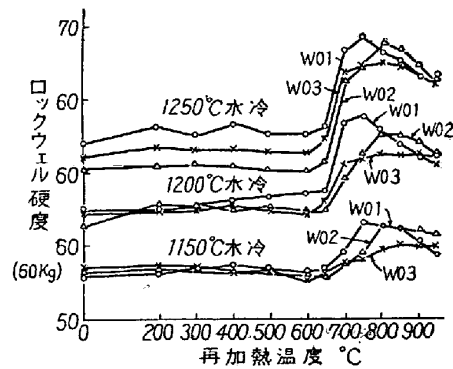
	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo
W01	0.40	1.47	1.54	15.58	20.90	2.59	5.48
W02	0.28	1.49	1.40	15.28	20.90	4.10	3.94
W03	0.38	1.52	1.55	14.00	20.89	5.25	2.02

(1) 溶体化処理温度と硬度との關係

前述と同様 1150°C~1250°C の溶体化処理温度の影響を調べた。それによると各試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。尙 W 4%、Mo 4% の試料は C 量がやゝ低かつた。

(2) 再加熱温度と硬度との關係

前述と同様再加熱温度と硬度との關係を調べた。その結果を第 7 圖に示す。1150°C 水冷の場合 W 2%、Mo



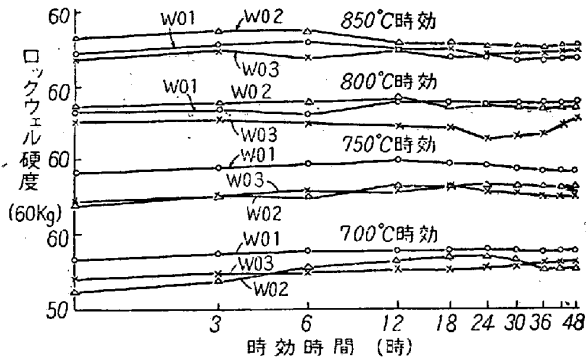
第 7 圖 再加熱温度と硬度との關係 (W-Mo の影響)

5% の試料は 750°C、W 5%、Mo 4% の試料は 800°C、W 5%、Mo 2% 試料は 850°C でそれぞれ最高硬度を示す。1200°C 水冷の場合 W 2%、Mo 5% 試料は 750°C、W 5%、Mo 4% 試料及び W 5%、Mo 2% 試料は 800°C でそれぞれ最高硬度を示す。1250°C 水冷の場合各試料共 1200°C の場合と殆んど同様の傾向を示す。溶体化処理温度が高くなれば析出硬化は著しくな

り、得られる硬度も高い。又各溶体化処理温度共 Mo 量の高くなるに従い即ち W 量の低くなるに従って最高硬度の得られる加熱温度は低温側に移動する。而して溶体化処理温度によつては最高硬度の得られる加熱温度は余り変りない。

(3) 時効時間と硬度との関係

前述と同様時効時間と硬度との関係を調べた。その結果を第 8 図に示す。700°C 時効の場合は W 2%, Mo



第 8 図 時効時間と硬度との関係 (W-Mo の影響)

5% 試料の時効硬度が最も高く、約 18 時間までは時間と共に硬度を増加する。750°C 時効の場合もほぼ同様に最高硬度は約 12 時間で得られる。800°C 及び 850°C

時効の場合は W 5%, Mo 4% の試料が時効硬度が最も高い。

以上の結果より W+Mo の量を決定するに析出硬化の著しい点より W 3%, Mo 5% 或は W 5%, Mo 4% が適当と思考する。

VI. 結 論

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

(1) Ni (15%)—Cr (20%) 系耐熱鋼の時効に及び各種元素の影響の中、Cr, W, Mo, W+Mo の影響を調べた。

(2) 溶体化処理、時効温度及び時間と硬度との関係並に顕微鏡組織を観測した。

(3) Ni 15%, 含有に対して Cr は 20~25% を最も適当とする。

(4) Ni 15%, Cr 20% に対して添加 W 或は Mo の適当量はそれぞれ 4~6% 或は 5~7% である。又 W と Mo を同時に含有する場合は W+Mo は(3+5)%~(5+4)% が適当である。

(5) 尚これらの結果は他の機械試験殊にクリープ試験によつて確認する予定である

文 献

1) 小柴, 九重, 鐵と鋼 39 No.6 (1953) 609~614