

(4) 試験温度 500°C に於ける保持時間の影響を試験した結果 240 時間迄時間の経過に伴う諸性質の変化は極めて僅少である。

(5) ダイス鋼第 5 種相当品を適当に恒温熱浴処理したものは常温は勿論 500°C 附近迄の高温用ベネ材料として優秀なものと考えられる。

終りに臨み御懇篤な御鞭撻を賜つた九大工学部冶金学教室教授谷村熙博士に深甚の謝意を表する。

(昭和 29 年 3 月寄稿)

文 献

- 1) 堀田秀次: 鐵と鋼, 36 (昭 25) No. 7, 31
- 2) 堀田秀次: 鐵と鋼, 36 (昭 25) No. 12, 26
- 3) 堀田秀次: 鐵と鋼, 37 (昭 26) No. 8, 28
- 4) 堀田秀次, 川崎彌雄, 堀一夫: 鐵と鋼, 38 (昭 27) No. 12, 26
- 5) F. Rapatz: Die Edelstähle, 1934.
- 6) I. Mitchell: Metal Progress, 1950. Oct. 491
- 7) E. Houdremont ü. H. Benneck: Stahl u. Eisen, 52, (1932), 654.

ガスタービン用耐熱鋼の研究 (IV)

(昭和 28 年 10 月本会講演大会にて講演)

小柴定雄*・九重常男**

INVESTIGATION OF HEAT-RESISTING STEEL FOR GAS TURBINES (IV)

Sadao Koshiba, Dr. Eng and Tsuneo Kuno

Synopsis:

The Ni, Cr and Co are very important for the heat-resisting steels, so by the latest information a comparatively vast quantity of Ni and Co were used for the heat-resisting steel.

But Ni and Co were of high price and very scanty in Japan, so the authors examined them for the purpose of curtailing these elements.

The authors first examined the change of their hardness due to various heat-treatments of each sample: i. e. solid-solution treatment and aging, and then observed the microstructure.

As the results of these experiments, they gave the most moderate composition and heat-treatment for Ni-Cr-Co austenitic heat-resisting steel, concluding that (1) the best composition contained Ni 13~15%, Cr 20~25%, Co 10~15% (2) The solution-treatment was made at 1200~1250°C, and the aging temperature was 700~750°C, the aging time being 6~12 hours.

I. 緒 言

耐熱鋼の主成分としては Cr が最も重要であり、その量は耐熱性に著しい影響を与える。Ni 及び Co は Cr に優るとも劣らず重要であり、之等元素はオーステナイトを安定にするところより、高温に於けるクリープ抵抗並に機械的性質に大きな影響を与える。然し Ni 及び Co は甚だ高価であり、且入手も極めて困難である。故に之等元素の含有量は必要最小限度に止めなければならない。そこで Ni-Cr-Co 系耐熱鋼の時効に及ぼす Ni, Cr 及び Co の影響について実験を行い適当な成分を決定した。

II. ニッケルの影響

1. 溶体化処理温度と硬度との関係

Ni 10~30% の影響を見る為第 1 表の如き試料を調整した。尙試料の作製並に実験方法は前報¹⁾と同様にして行つた。上記試料について 1150~1250°C 溶体化処理温度による硬度の変化を調べた。N1 及び N2 は溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなり、Ni の高い N3 及び N4 は逆に処理温度の高くなるに従つて高

* 日立製作所安来工場 工学博士

** 日立製作所安来工場

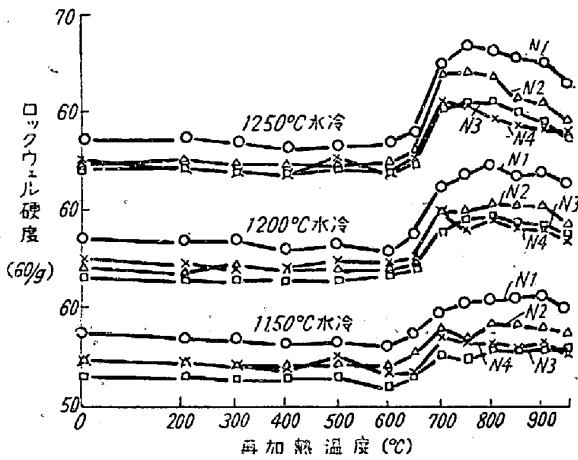
い硬度を示す。

第 1 表

元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	Co
試料						
N 1	0.53	1.08	1.20	10.60	21.00	14.89
N 2	0.46	1.28	1.44	21.76	19.95	13.96
N 3	0.46	1.31	1.29	25.92	20.35	14.54
N 4	0.50	1.25	1.48	30.08	19.70	14.16

(2) 再加熱温度と硬度との関係

溶体化処理温度 1150, 1200 及び 1250°C より水中冷却し, 950°C 迄の再加熱温度に於ける硬度の変化を調べた。これを第 1 図に示す。1150°C 水冷の場合各試料

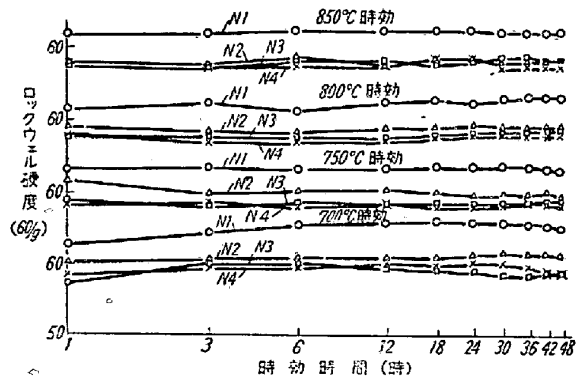


第 1 圖 再加熱温度と硬度との関係 (Ni の影響)

共再加熱温度 600°C 迄硬度に大差なく, 650°C より少々急激に硬度は高くなる。1200°C 水冷の場合には1150°C 水冷の場合と略々同様の傾向を示すが, 650°C 附近よりの硬化は著しい。1250°C 水冷の場合も同様であるが硬化は最も著しい。以上の結果より各溶体化処理温度の高くなるに従い, 又 Ni 量の多くなるに従って最高硬度の得られる再加熱温度は低温側に移動する事が窺知出来る。又溶体化処理温度の高くなるに従って析出硬化は著しく, 且得られる最高硬度も高くなる。

(3) 時効時間と硬度との関係

1250°C より水冷した試料を 700, 750, 800 及び 850 °C の 4 種に 48 時間時効して硬度を測定した。この結果を第 2 図に示す。700°C 時効の場合 N1 は時効時間 18 時間迄時間の長くなるに従って硬度は次第に高くなり, 18 時間以後は時間の長くなるに従い硬度は低くなる。N2 は時間により硬度に大差なく, N3 は 3 時間迄硬度は高く以後時間の長くなるに従って硬度は低くなる。N4 は 24 時間迄硬度は高くなり, 以後時間の長くなるに従って硬度は低くなる。750°C 時効の場合 N1 は

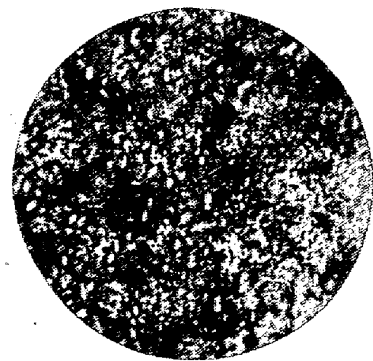


第 2 圖 時効時間と硬度との関係 (Ni の影響)

時間により硬度に大差なく, N2 は概ね時間の長くなるに従って硬度は低くなる。N3 及び N4 は多少の変動はあるが時間に依り硬度に大差ない。800°C 時効の場合 N1 は時効時間 12 時間迄時間により硬度に多少の高低が認められるが, 12 時間以後硬度に大差ない。N2 は 6 時間で少々硬度は低くなるが以後硬度に大差ない。N3 及び N4 は時間に依り硬度に大差ない。850°C 時効の場合 N1 は時効時間の長くなるに従って硬度は次第に低くなる。N2 は 3 時間及び 12 時間で少々硬度は低くなるが, 12 時間以後硬度に大差ない。N3 は 6 時間及び 12 時間で少々高い硬度を示すが 12 時間以後硬度は変わらない。N4 は時間の長くなるに従って硬度は概ね低くなる。

(4) 顕微鏡組織

各試料の再加熱組織を調べた。これによれば Ni 量の低い N1 及び N2 には炭化物が判然と認め難いが, Ni の高い N3 及び N4 には炭化物がはつきり認められる。又組織は Ni の高い試料程細かい。第 3 図に N3 の組織を示す。以上の実験結果を総合して適当な Ni 量を定めるに, Ni が多くなれば機械的性質, 熔接性等を良くし且オーステナイトを安定にしてクリープ抵抗を大にする効果がある。特に Cr 及び Si, W 並びに Mo 等



第 3 圖 N3 ×400
1250°C 水冷, 750°C 1hr 時効

を添加すればオーステナイトが不安定となる為相当量の Ni を加え、オーステナイトを安定にする必要がある。然し乍ら資源の関係もあり、Ni を高めることは極力避けなければならない。又実験結果より見れば Ni 10%附近で析出現象も著しく且高温側で生ずること、並に時効実験に於ける硬度の安定性より Ni は 13~15% で充分と思われ。

III. クロムの影響

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

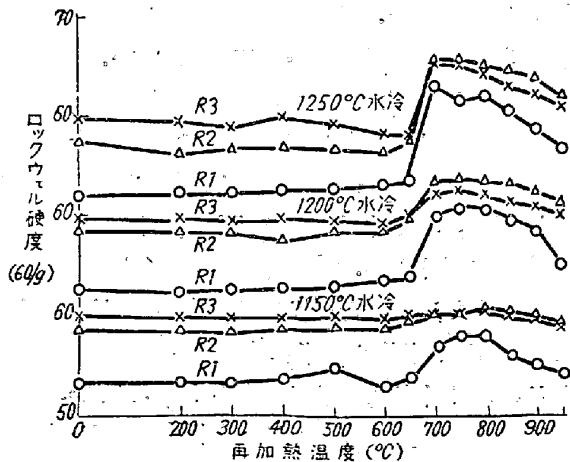
第 2 表

元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	Co
試料 R 1	0.47	1.25	1.47	14.64	15.26	15.30
R 2	0.44	1.33	1.47	14.14	24.37	14.77
R 3	0.42	1.20	1.47	14.34	29.47	14.36

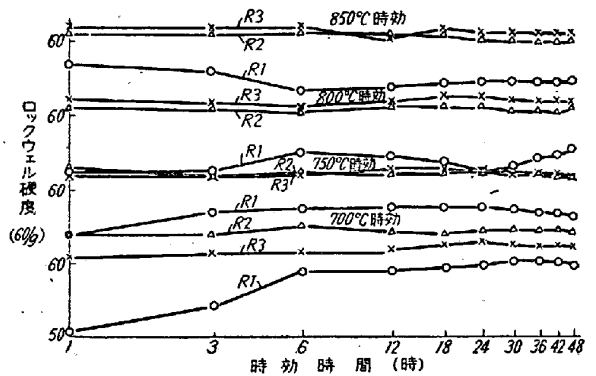
Cr 15~30% の影響を見る為第 2 表に示す如き試料を調整した。前述と同様 1150~1250°C の溶体化処理温度に於ける硬度の変化を調べた。その結果 Cr 量の増すに従つて各溶体化処理温度に於ける硬度は高くなり、又各 Cr 量の試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなる。

(2) 再加熱温度と硬度との関係

前述と同様 950°C 迄の再加熱温度に於ける硬度の変化を調べた。これを第 4 図に示す。1150°C 水冷の場合各試料共再加熱温度 600°C 迄硬度に大差なく、650°C より稍々硬度は高くなり、800°C で最高硬度を示す。1200°C 水冷の場合各試料共 700°C より稍々急激に硬度は高くなる。而してこの傾向は Cr の低い試料程著しい。1250°C 水冷の場合 R 1 は加熱温度 650°C 迄硬度は次第に高くなり、650°C より急激に硬度は高くなり



第 4 図 再加熱温度と硬度との関係 (Cr の影響)



第 5 図 時効時間と硬度との関係 (Cr の影響)

700°C で最高硬度を示す。加熱温度が 700°C 以上になれば硬度は可成り急激に低くなる。R 2 及び R 3 も R 1 と略々同様の傾向を示すが、750°C で夫々最高硬度を示す。

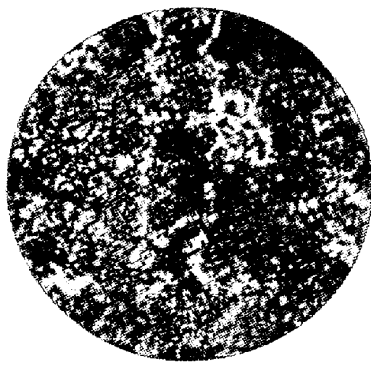
(3) 時効時間と硬度との関係

前述と同様時効時間と硬度との関係を調べた。これを第 5 図に示す。700°C 時効の場合 R 1 は時効時間 6 時間迄可成り硬度は高くなり、以後時間の長くなるに従つて硬度は高くなる傾向にある。R 2 は 6 時間迄硬度は高くなり、以後時間が長くなれば硬度は低くなる。R 3 は 24 時間迄硬度は高くなり、以後は低くなる。750°C 時効の場合 R 1 は 6 時間迄硬度は稍々高くなり以後時間により大差ないが硬度は低くなる傾向にある。R 2 及び R 3 は時効時間により硬度に大差ない。800°C 時効の場合 R 1 は時効時間 6 時間迄硬度は高くなり、6 時間より 24 時間迄硬度は逆に低くなり、24 時間以後再び硬度は高くなる。R 2 及び R 3 は時間の長くなるに従つて硬度は次第に低くなる傾向にある。850°C 時効の場合 R 1 は 6 時間迄硬度は稍々急激に低下し、6 時間以後時間の長くなるに従つて硬度は高くなる。R 2 及び R 3 は時間の長くなるに従つて硬度は低くなる傾向にある。

(4) 顕微鏡組織

各試料を 1250°C に溶体化処理し 700°C に 1 時間再加熱して組織を調べた。その結果 R 1 は細かい炭化物がオーステナイト地中に析出した組織であり、R 2 及び R 3 は可成り大きな炭化物が認められる。而してこの傾向は Cr 量の多い試料程著しい。第 6 図に R 2 の組織を示す。

以上の実験結果を総合し、適當なる Cr 量を定めるに Cr を多量添加すれば高温に於ける耐酸化性は著しく大となる。然し Cr はオーステナイトの範囲をせばめ、フェライトを生成し易くする為高温に於ける強度を低下せしめる恐れがある。この欠点を除く為には Ni を多量添加してオーステナイトを安定にするか、或は Cr 量を



第 6 圖 R2 ×400
1250°C 水冷, 700°C 1hr 時効

低めるの二方法がある。ニッケルを多量使用する事は前述の如く許されず、Cr を低めるの方法しかない。実験の結果より判断すれば Cr 15% では析出硬化は著しいが、その硬度は低く、時効硬度も時間により変動が多い。Cr 25% の試料は再加熱硬度も高く且時効硬度も変動なく、Cr 30% の試料と大差ない結果を示す。それ故 Cr は 20~25% が適当と思考する。

IV. コバルトの影響

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

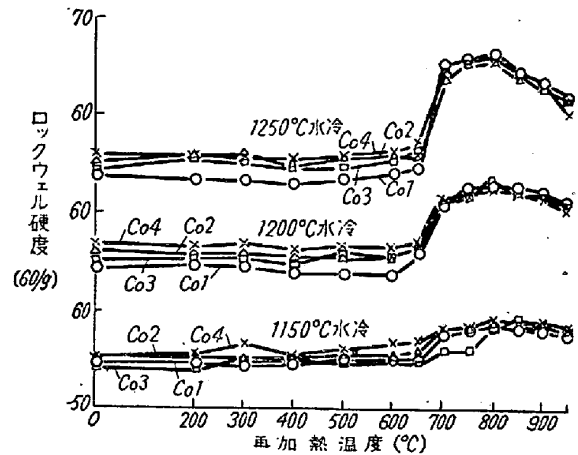
第 3 表

試料	元素	C	Si	Mn	Ni	Cr	Co
Co 1		0.43	1.01	1.52	14.97	21.00	10.07
Co 2		0.40	0.89	1.46	15.20	20.79	19.38
Co 3		0.46	0.78	1.44	15.10	21.01	22.85
Co 4		0.44	0.94	1.49	15.32	20.88	28.96

Co 10~30% の影響を見る為第 3 表の如き試料を調整した。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。その結果 Co 1 は溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は低くなるが、他の試料はすべて 1200°C で最高硬度を示す。而して Co 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

前述と同様再加熱温度と硬度との関係を調べた。これを第 7 図に示す。1150°C 水冷の場合各試料共再加熱温度 650°C 附近より硬度は稍々高くなり、800~850°C で最高硬度を示す。1200°C 水冷の場合は各試料共 650°C より稍々急激に硬度は高くなり、800°C で最高硬度を示す。尚 650°C 以上の再加熱温度に於ては各試料共硬度に大差ない。1250°C 水冷の場合は 1200°C 水冷の場合と同様の傾向を示すが、650°C より析出硬化は最も著しく、且最高硬度の得られる温度以上温度が高くなれば、

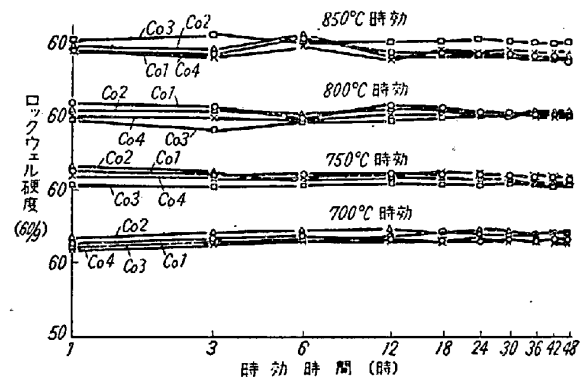


第 7 圖 再加熱温度と硬度との関係 (Co の影響)

硬度は著しく低下する。以上各溶体化処理温度に於ける再加熱硬度を Co 量に応じて検討すれば Co 量に依り最高硬度の得られる再加熱温度は変わらず、溶体化処理温度が高くなつても最高硬度の得られる温度は殆んど変わらない。析出硬化は Co の少い試料程著しい。

(3) 時効温度と硬度との関係

前述と同様時効時間と硬度との関係を調べた。これを第 8 図に示す。700°C 時効の場合 Co 1 及び Co 4 は時



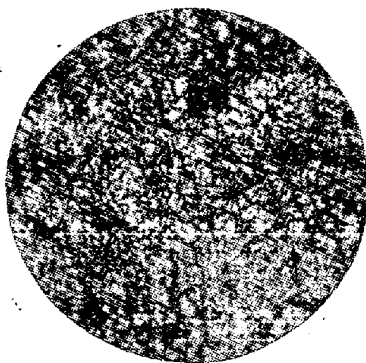
第 8 圖 時効時間と硬度との関係 (Co 影響)

効時間 6 時間迄硬度は高くなり、12 時間以後は時間により硬度は変わらない。Co 2 及び Co 3 は 12 時間迄硬度は高くなり、18 時間以後硬度は変わらない。750°C 時効の場合 Co 2 は 3 時間で稍々硬度は低くなるが、Co 1 Co 3 及び Co 4 は時間により硬度は変わらない。800°C 時効の場合 Co 1 は 6 時間迄硬度は低くなり、12 時間で今度は高く、18 時間以後は時間の長くなるに従つて硬度は次第に低くなる。Co 2 及び Co 4 は Co 1 と略々同様の傾向を示す。Co 3 は 3 時間で硬度は低くなり、3 時間より 18 時間迄は時間の長くなるに従つて硬度は高くなる。18 時間以後硬度は殆んど変わらない。850°C 時効の場合 Co 1 及び Co 2 は 3 時間で硬度は低くなり 6 時間では硬度は高くなり、12 時間で再び低くなる。18

時間以後は殆んど変らない。Co 3 は 3 時間で硬度は少々高くなるが、6 時間以後硬度は殆んど変らない。Co 4 は 12 時間迄 Co 1 と全く同様の傾向を示すが、18 時間で硬度は少々高くなる。

(4) 顕微鏡組織

各試料を 1250°C に溶体化処理し 800°C に 1 時間再加熱して組織を調べた。その結果によれば Co の少い Co 1 は炭化物が多く Co 2, Co 3 と Co の多くなるに従つて炭化物は次第に少くなる。又 Co の多くなるに従つてオーステナイト結晶粒は小さくなる。第 9 図に Co 1 の顕微鏡組織を示す。



第 9 図 Co 1 ×400
1250°C 水冷, 800°C 1hr 時効

以上の実験結果より適当な Co 量を推定するに、Co が高くなれば高温に於ける強度及びクリープ抵抗を高め耐熱鋼としては Co の高い事が望ましい。然し資源の関係より Co を多量使用する事は許されず、最少限度に止めなければならない。実験結果を検討すれば Co が低くても再加熱硬度は Co の多い試料に比し大差なく、寧ろ硬度も高く且析出硬化も著しい。又時効硬度も時効時間に依り大差なく Co は 10~15% で充分と思考する。

V. 結 言

上述の研究結果を要約すると次の通りである。

- (1) Ni-Cr-Co 系耐熱鋼の時効に及ぼす各種元素の影響の中 Ni, Cr 及び Co の影響を調べた。
- (2) 溶体化処理, 時効温度及び時効時間の硬度に及ぼす影響並に顕微鏡組織を調べた。
- (3) Ni, Cr 及び Co の最も適当と思考される組成を次の如く提案した。

Ni 13~15%, Cr 20~25%, Co 10~15%.

(昭和 29 年 1 月寄稿)

文 献

- 1) 小柴, 九重: ガスタービン用耐熱鋼の研究 (III) 鐵と鋼 40 (1954) No 5. 505~509

論文寄稿者へお願い

御寄稿の際次の各項を特にお含み願います。

- 1. 日本語の標題と英文標題とが必ず合致するようにお書き下さい。
- 2. Synopsis はタイプライター用紙一枚以内に内容を簡単にお認め且つ日本語の総括と必ず一致するようにお書き下さい。
- 3. 附図の数は寄稿規定通り写真を含めて 10 個以内に止め、それ以上著しく超過する場合は省略又は第 2 報 第 3 報に分けて御寄稿下さい。
- 4. 附図及写真の挿入個所は原稿中に御指定下さい。