

Timken (16-25-6) 耐熱鋼の時効に就いて

小柴定雄* 九重常男**

The Aging of the Heat Resisting Alloy (Timken 16-25-6)

By Sadao Koshiha, D.S.E., and Tsuneo Kuno
Yasugi Works, Hitachi, Ltd.

Abstract

The writers studied the age-hardening phenomena of Timken 16-25-6, the heat-resisting alloy for gas turbine material, in relation to its hardness and microstructure.

The test materials, consisting of mNi, mCr, Fe-Mo, mMn, Fe-Si, pure iron, and nitric Fe-Cr, were melted in the 50 kg High Frequency Furnace and then hot forged to 50 kg bar of 15 square mm section. The solution treatment was done at 1,200°C for 1 hour. Then the materials were aged at various high temperatures (650, 700, 750, 800 and 850°C) for various periods ranging from 30 minutes to 50 hours.

As the result of this experimental investigation it was ascertained that the Timken has two peaks of hardness, and it seemed that the first peak of hardness depends in major portion on the sludging of nitrogen-compound, and the second peak on the influence of molybdenum content.

〔I〕 緒 言

耐熱材料の重要性に就いてはこゝに云々する迄もなく、航空機並びに船舶等のスピード及び効率の向上のためガスタービンエンジン或はジェットエンジン等が研究され、これに伴い耐熱材料の研究も盛んに行われてきた。戦後紹介された欧米の耐熱材料は驚くべき進歩を遂げている。然し我国に於ては技術上、資源上等の諸点から欧米水準に早急に達する事は甚だ困難であるが、現状は不可能として等閑視することを許さない。そこで筆者等は戦争中我国で研究製造された耐熱鋼より可成り大きな耐熱性を有する Timken (16-25-6) に就いてその製造及び加工方法を種々研究しているが、今回はその時効特性に就いて報告する。

〔II〕 試料の吹製並びに化学成分

試料は 50 kg 高周波電気炉にて mNi, mCr, Fe-Mo, mMn, Fe-Si, 純鉄及び窒化 Fe-Cr を原料として 50 kg インゴットを吹製し 1,050~1,100°C の鍛造温度で 15

* 日立製作所安来工場 工博

** 日立製作所安来工場

第 1 表 試料の化学成分

Table 1. Chemical Composition of Test Material

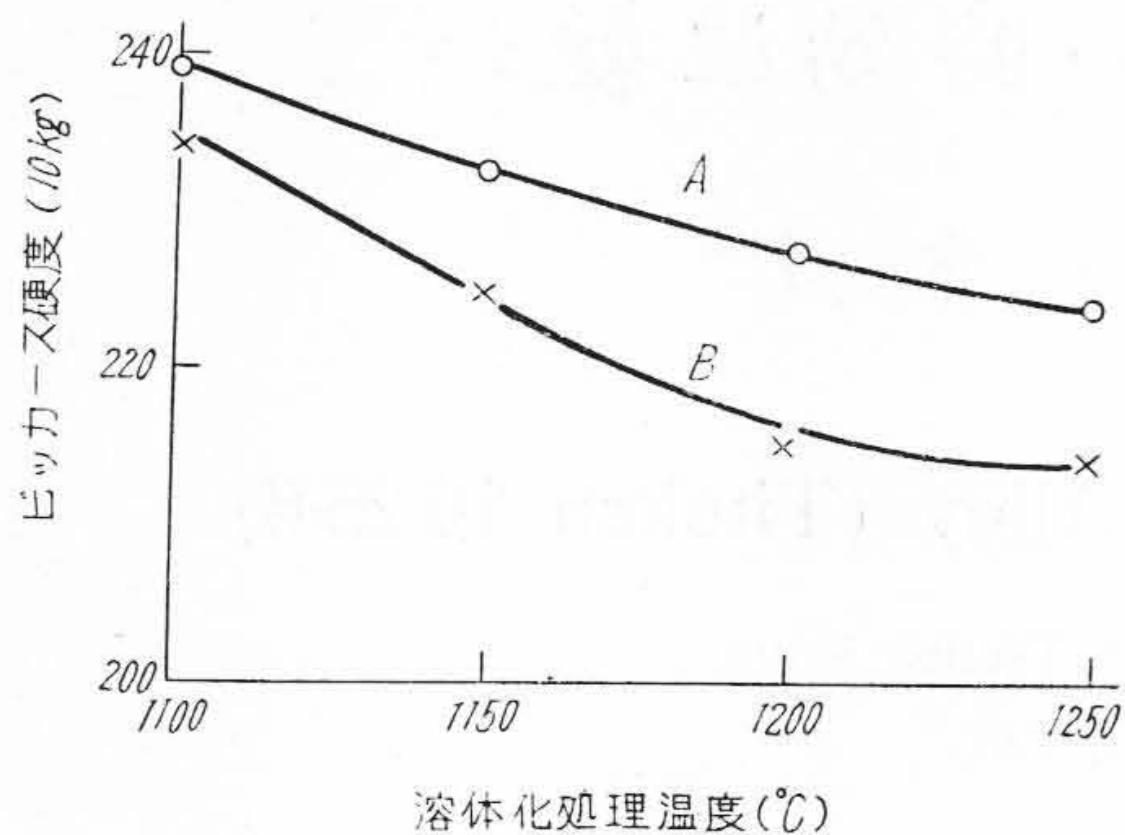
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N ₂
A	0.08	1.53	1.74	18.39	25.85	7.49	0.172
B	0.06	1.24	2.23	18.73	26.60	7.49	0.168

mm 角に鍛伸して実験試料として用いた。試料の化学成分を第 1 表に示す。両試料共 Mn, Cr 及び Mo がやや高い。

〔III〕 実験結果及び考察

(1) 溶体化処理温度と硬度との関係

各試料を 1,100~1,250°C に 30 分保持後水中冷却して溶体化処理を行い硬度を測定した。これを第 1 図 (次頁参照) に示す。尚試料は 15×15×15 mm とした。図に示す如く両試料共溶体化処理温度の高くなるに従つて硬度は次第に低くなる。而して A 試料が B 試料に比し高い硬度を示す。



第 1 図 溶体化処理温度と硬度との関係
Fig. 1. Relation between Solution Treatment Temperature and Hardness

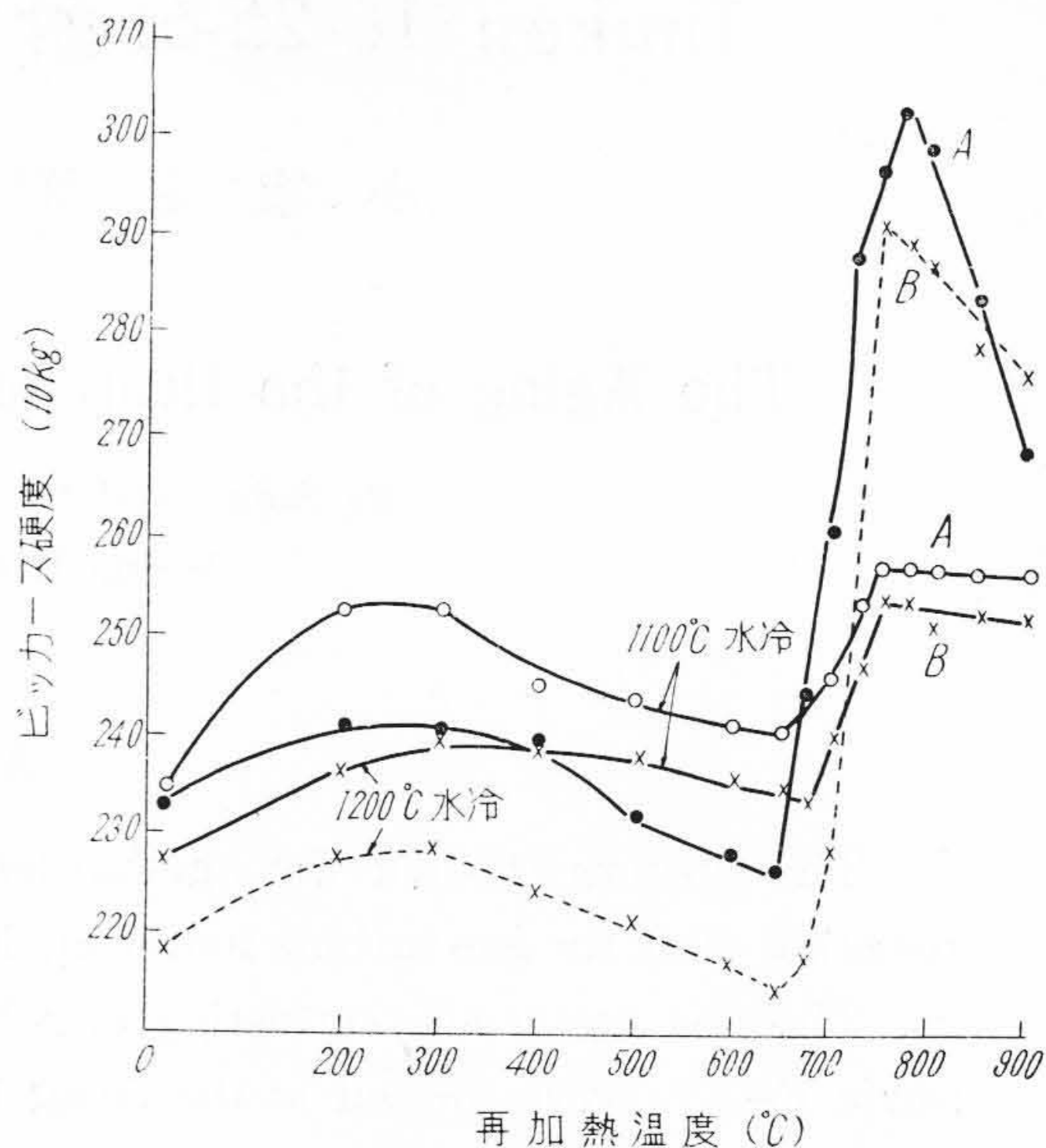
(2) 再加熱温度と硬度との関係

1,100°C 及び 1,200°C に溶体化処理を行った後、再加熱温度を 200~900°C に変え硬度を測定した。これを第 2 図に示す。尚各再加熱温度に於ける保持時間は 1 時間とし、1 箇の試料で段階的に硬度を測定した。図に示す如く 1,100°C 溶体化処理の場合は A 及び B 試料共再加熱温度 200~300°C で硬度はやや高くなり 400°C より 650°C 迄再加熱温度の高くなるに従つて硬度は次第に低くなる。675°C よりやや急激に硬度は高くなり 750°C で最高度を示す。

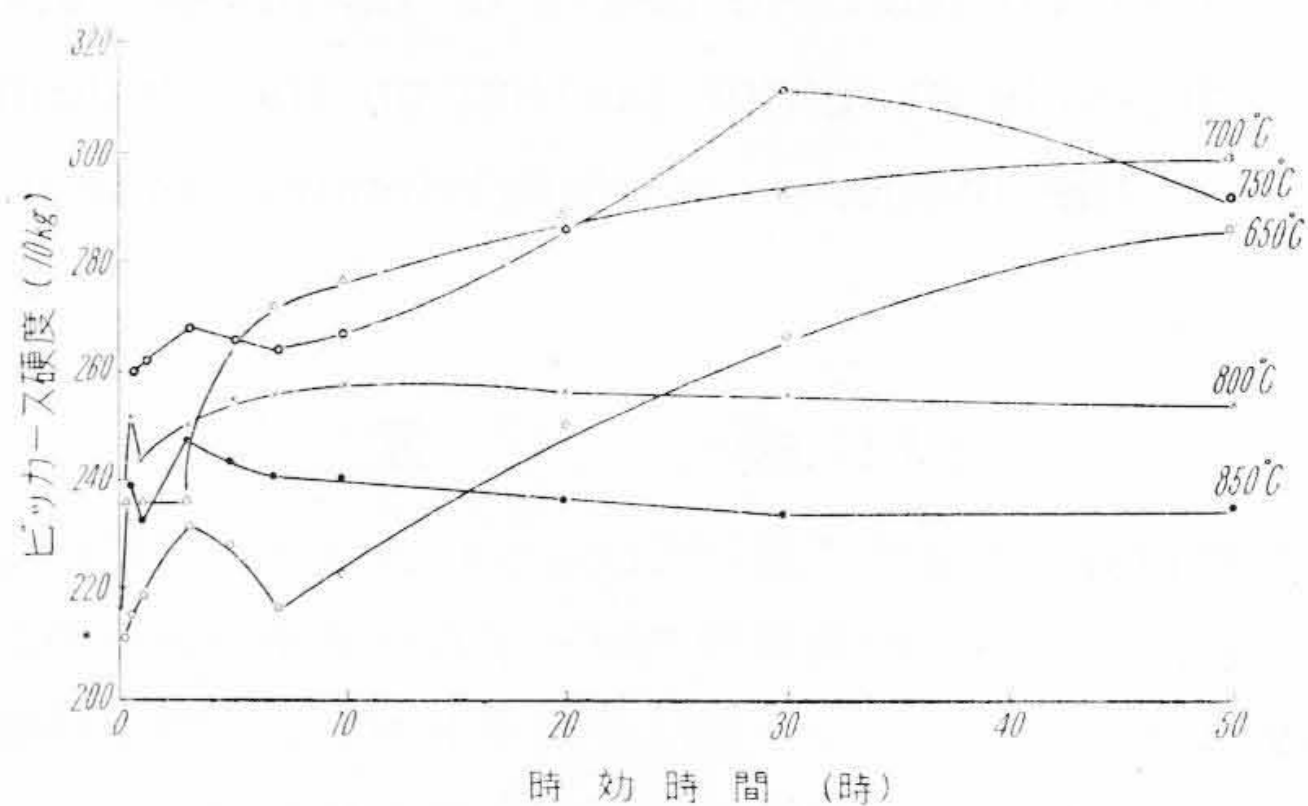
1,200°C 溶体化処理の場合は 1,100°C の場合と略々同様の傾向を示すが、再加熱温度 650°C 迄は 1,100°C の場合に比し硬度は低い。又 675°C よりの硬化は極めて著しく、A 試料は 775°C, B 試料は 750°C でそれぞれ最高度を示す。最高硬度の得られる温度以上に再加熱温度が高くなれば、硬度は著しく低くなる。而してこの傾向は A が B に比して著しい。675°C よりの硬化現象は溶体化処理によりオーステナイト中に固溶された炭化物が析出するため、1,200°C の場合が著しいのはオーステナイト中に固溶される炭化物並びに窒化物の量が異なるためである。

(3) 時効時間と硬度との関係

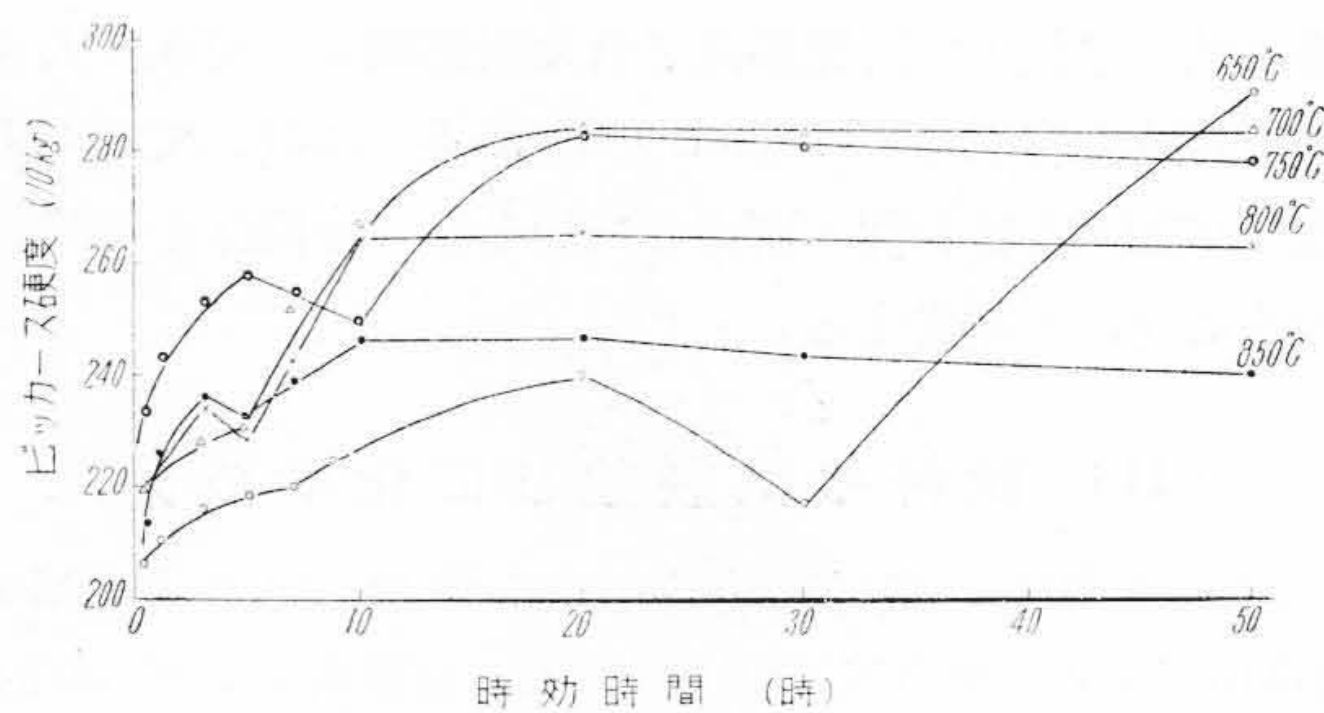
試料を 1,200°C に溶体化処理を行い、650~850°C の時効温度に 1/2~50hr 時効して硬度を測定した。これを第 3 図及び第 4 図に示す。尚各時効時間毎に別箇の試料を用いた。A は第 3 図に示す如く 650°C 時効の場合時効時間 3 時間迄硬度は高くなり、3 時間より 7 時間迄硬度は逆に低くなる。時効時間 7 時間以後は時間の長くなるに従つて硬度は次第に高くなる。700°C 時効の場合は 1 時間でやや急激に硬度は高くなり、1 時間以後 3 時間迄は硬度に大差ないが、やや低くなる傾向にある。3 時間より 5 時間に到れば硬度は再び急激に高くなる。7 時間



第 2 図 再加熱温度と硬度との関係
Fig. 2. Relation between Reheating Temperature and Hardness



第 3 図 時効時間と硬度との関係 (試料 A)
Fig. 3. Relation between Time of Aging and Hardness (Sample A)



第 4 図 時効時間と硬度との関係 (試料 B)
Fig. 4. Relation between Time of Aging and Hardness (Sample B)

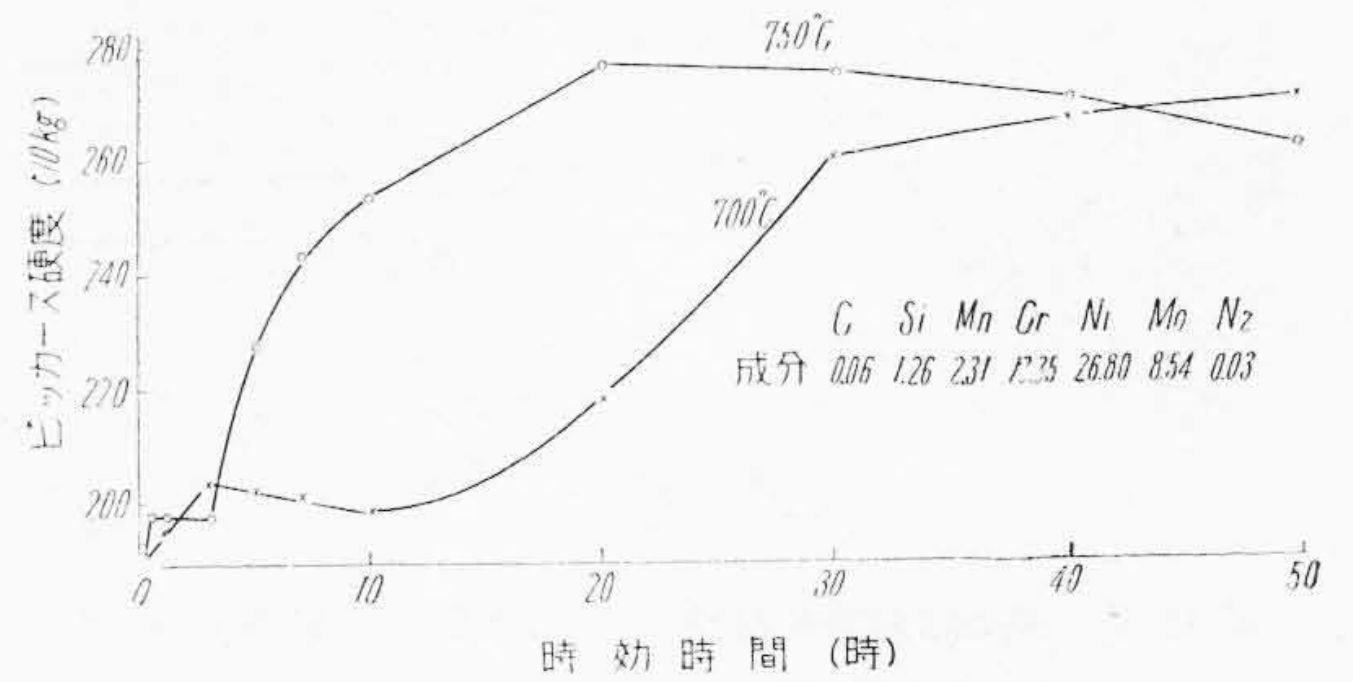
以後は時間の長くなるに従つて硬度は徐々に高くなる。750°C 時効の場合は3時間迄硬度は高くなり、3時間より7時間迄今度は逆に硬度は低くなる。7時間以後30時間迄は再び硬度は高くなり、30時間以後時間の長くなるに従つて硬度は低くなる。即ち750°C 時効の場合は3時間及び30時間で二つの山があり、7時間で硬度に谷を生ずる。800°C 時効の場合は1時間及び10時間でそれぞれ硬度に山があり、2時間で谷を生ずる。850°C 時効の場合は1時間及び3時間で二つの山があり、2時間で谷を生ずる。而して何れの場合も一段目の硬度より二段目の硬度が高い。

B試料は第4図に示す如く650°C 時効の場合は20時間及び30時間でそれぞれ山及び谷を生ずる。700°C 時効の場合は1時間迄急激に硬度は高くなる。5時間より20時間迄再び急激に硬度は高くなり、1時間より5時間迄は硬度僅かに高くなり、20時間以後は時間により硬度に大差ない。750°C 時効の場合は5時間及び20時間で硬度の山を生じ、10時間で谷が出来る。

800°C 及び850°C 時効の場合は何れも3時間及び10時間で二つの山を生じ5時間で谷を生ずる。第一段の山及び第二段の山は時効温度の高くなるに従つて短時間側に移動する。谷も又同様である。第二段の山が第一段の山に比し高い硬度を示すのはAの場合と全く同様である。

この二段に生ずる硬化現象に就いては種々研究されている。一、二の研究を述べると小野氏⁽¹⁾等の研究によれば第一段目の急激なる増加は窒化物系化合物の速かなる析出により、第二段目の増加は炭化物系化合物が前者を食滅しつつ徐々に析出するのに基因するといわれ、又浅野氏⁽²⁾は第一段の硬化はC量に影響され、第二段のものはMoにより多く影響されると発表されている。

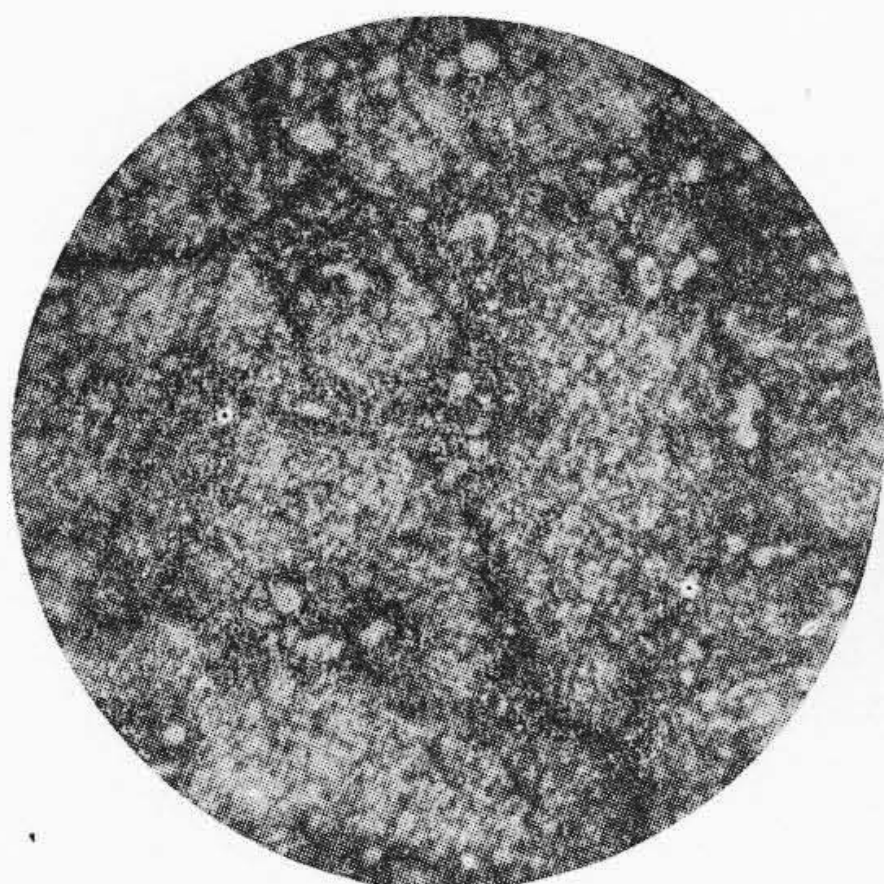
本実験結果より二段に生ずる硬化現象を考察するに、



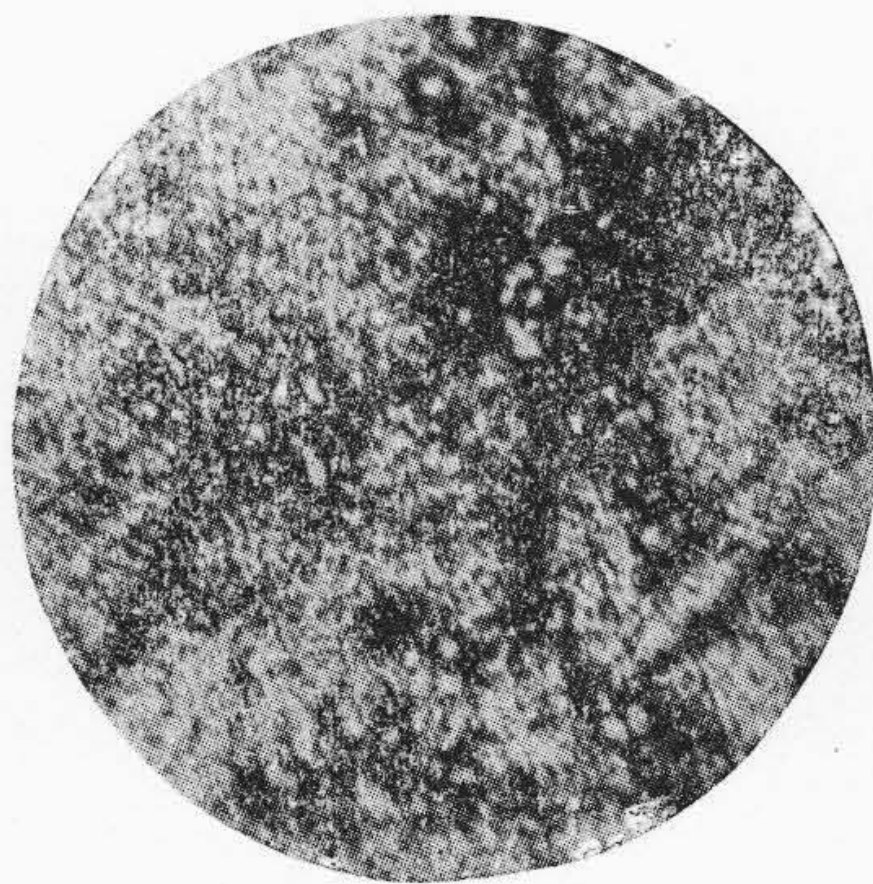
第5図 時効時間と硬度との関係 (N₂ 0.03% の試料)

Fig. 5. Relation between Time of Aging and Hardness (N₂ 0.03% Sample)

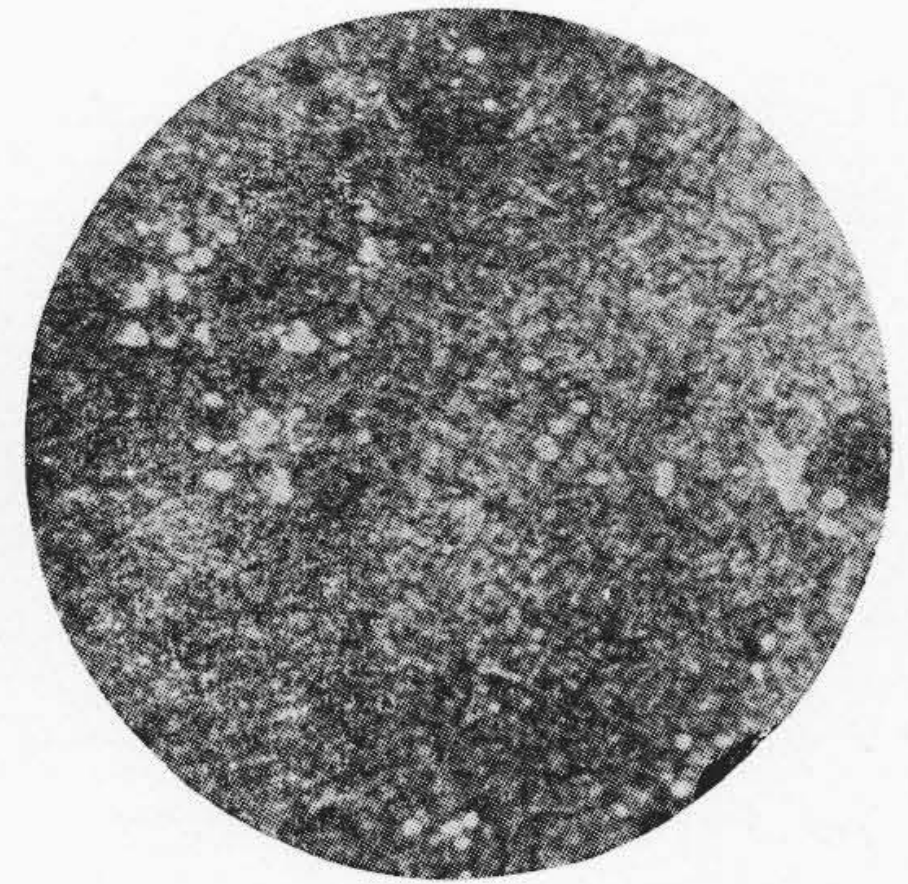
第一段の硬化は第5図に N₂ 0.03% の試料の時効硬度を示したが、図に見られる如く第一段の硬化はA及びB試料に著しく小さい。即ち N₂ 0.03% の試料はA及びB試料に比しCrが低く、Moが少々高いが、他の成分には大差ない事より、この第一段硬化は小野氏等のいわれる如く窒化物系化合物の析出と思考される。次に第二段の硬化は第5図に於て特に著しくMo量に影響されるものと思われる。第6図~第8図にA試料の750°Cに3, 7時間及び50時間時効の組織を示したが、3時間時効の試料に白色粒状物が最も多く見られ、7時間時効の試料にはこの白色粒状物が極めて少量となる。この事は第3図の時効硬度曲線と併せ考えれば先に述べた窒化物系化合物と推定し得る。又50時間時効の試料に認められる白色粒状物は第6図及び第7図のと異なりMoを含む炭化物と思考される。次に第9図(次頁参照)にA試料に就いて時効温度750°Cに1箇の試料で1時間宛時効し冷却の方法を水中及び空冷の二種に行い、50回計50時間時効した試料並びに、3及び5時間宛50時間時効した試料の硬度を示す。尚3及び5時間宛の場合の冷却は空冷とし



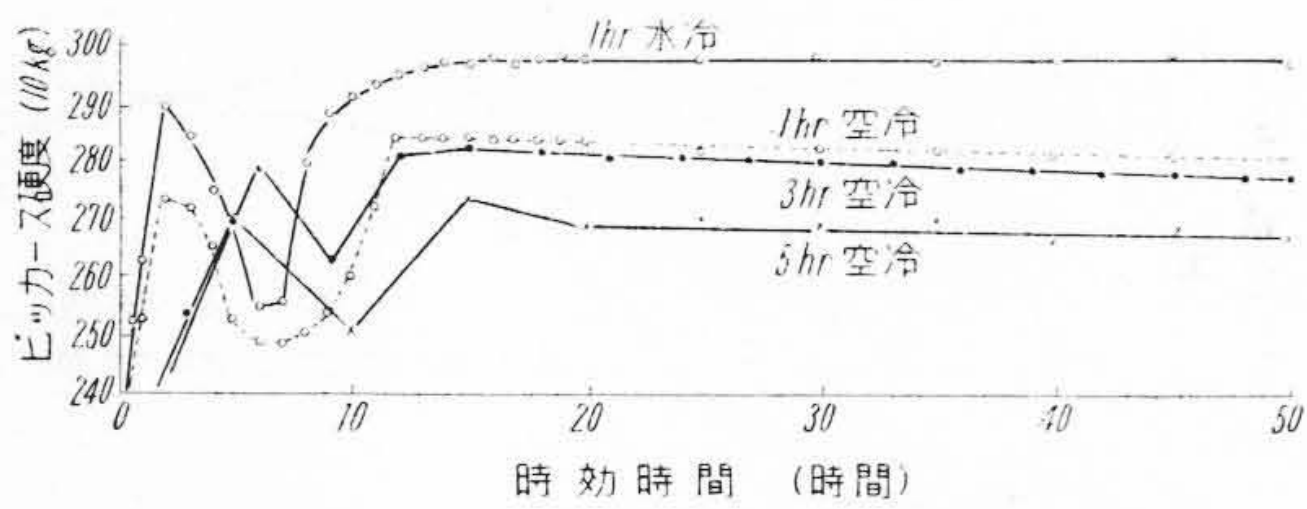
第6図 A試料の顕微鏡組織
750°C×3 hr ×400
Fig. 6. 750°C×3 hr Aging
×400



第7図 A試料の顕微鏡組織
750°C×7 hr ×400
Fig. 7. 750°C×7 hr Aging
×400



第8図 A試料の顕微鏡組織
750°C×50 hr ×400
Fig. 8. 750°C×50 hr Aging
×400



第 9 図 時効時間と硬度との関係 (冷却方法を異にせる試料)

Fig. 9. Relation between Time of Aging and Hardness (Samples made on Different Cooling Methods)

た。又 1 時間宛の場合は 50 時間迄硬度を測定したが、図には硬度に大差ないため処々を省略した。図に示す如く 1 時間宛の場合水冷及び空冷共 2 時間で第一段の硬化が起り、15 時間で二段の硬化が現われる。而して水冷の場合が空冷に比し高い硬度を示す。3 時間宛の場合は 6 時間及び 15 時間でそれぞれ山を生ずる。5 時間宛の場合は 5 時間及び 15 時間で第一及び第二段の硬化が起る。時効時間 15 時間以上、即ち第二段の硬化が完了し硬度が安定した後には、1 時間宛水冷、1 時間宛空冷、3 時間及び 5 時間空冷の順に硬度は低くなる。又この順に第一段の硬化現象は短時間側で生ずる傾向にある。これは残留歪が上記の順に大きいため析出が促進されるためと

思考する。第二段の硬化は第一段の場合程冷却方法及び保持方法に影響されず、概ね 15 時間で終了する。

[IV] 結 言

以上の実験結果を要約すると次の如くなる。

(1) ガスタービン用耐熱鋼 Timken に就いて溶体化処理再加熱硬度及び時効特性を実験した。

(2) 溶体化処理硬度は処理温度の高くなるに従つて低くなり、再加熱硬度は溶体化処理温度により 750~775 °C の再加熱温度で最高硬度を示す。

(3) 時効特性は時間により二段に硬化が現われる。即ち第一段の硬化は窒化物系化合物により、第二段は炭化物 (Mo を含む) の析出と思考される。

(4) 冷却方法及び保持時間に依つて硬度は変り、水冷の場合が空冷に比し高い硬度を示し、短時間宛保持した場合が長時間宛保持した場合に比して硬度は高い。

終りに臨み夏季実習期間中本実験に協力された大阪大学工学部冶金学科学学生石沢君並びに理学部物理学科学学生福本君の両君に深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 小野、小川： 日本鉄鋼協会第 43 回 (昭 27. 4) 講演大会講演
- (2) 浅野： 鉄と鋼 38 (1952) No. 5

