

°C で還元時間 20mn 時に還元率 90%, 700°C および 800°C ではわずか 10mn で 90% 以上に達する。

(2) 常圧においてマグネタイトの場合は還元温度 600°C で、還元時間 15mn 時に還元率が 80% に達する。但し 600°C 以上ではむしろ還元されにくくなる。

(3) 鉱石粒度と還元速度の間には明瞭な関係が得られない。

(4) ガス流量は流動化開始の所要量を越えると還元速度が著しく増大する。しかし、それ以上ガス流量を増加しても効果が少ない。

(5) 漏斗状グリッドを使用すれば、反応時間を短縮することが出来、鉱石処理能力を増すことが出来る。また同一量の鉱石を還元する場合、多孔板グリッドの約半量のガス流量で同一還元率を得ることが出来る。

(6) 加圧下の流動還元では低温度において常圧に比し、ゲージ圧 2 kg/cm² で約 2 倍の還元速度を得ることが出来る。

以上は実験室規模における結果であつて、ただちに工

業化えの基本資料とはならない。

この研究費の一部は、文部省科学研究費交付金によつた。また、本実験に協力した橋本信、林洋一、秋月英美および水野葆祿の諸君の労を多とする。

(昭和37年3月寄稿)

文 献

- 1) M. SITTING: *Chemical Engineering*, 60 (1953) 5, p. 219~231
- 2) H. P. MESSNER, et ali.: *Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng.*, 221 (1961), p. 1221~1225
- 3) A. M. SQUIRES, et ali.: *J. Metals*, 9 (1957) 4, p. 586~590
- 4) J. O. EDSTRÖM: *J. Iron & Steel Inst. (U.K.)*, 175 (1953) 11, p. 289~303
- 5) J. M. QUETS, et ali.: *Trans. Met. Soc., Amer. Inst. Min., Met. & Pet. Eng.*, 218 (1960), p. 545~549
- 6) J. O. EDSTRÖM: *J. Metals*, 7 (1955) 6, p. 760~765

蒸気タービン用軸車の加熱計測試験に現われる A 型 撓 みの 研 究*

吉 田 宏**

Studies on Principally A-Type Deflections Appeared in Steam Turbine Rotors during Heat Indication Test.

Hiroshi YOSHIDA

Synopsis:

In previous studies of other authors, it has been shown that the so-called A-type deflection (as classified by Kaplan) observed in steam-turbine rotors during the heat-indication test (H. YOSHIDA, et ib., Vol. 47 (1961), 591~599) is caused by non-uniformity in heat absorbability of the rotor surface and the heat absorbability is a function of the degree of roughness of the machined surface. Also it has been shown that non-uniformity in the heat absorbability is a result of non-uniformity in heat-treatment of the material, which can be shown by hardness testing.

In the present investigation, by using an apparatus designed by the author, measurements of the heat-absorbability of a Cr-Mo-V steel, a Ni-Mo-V steel and a plain carbon steel tempered under various conditions were carried out to establish a quantitative relationship between the heat-absorbability and the tempering conditions.

The results obtained are as follows:

* 昭和 36 年 10 月本会講演大会にて発表 ** 東京芝浦電気株式会社

(1) In the same steel, the heat absorbability has a linear relationship to the hardness of the machined surface: Hard surface shows a low absorbability.

(2) Relation between the heat absorbability and the hardness depends on the kind of steel, and it is found that the carbon steel is the most sensitive to non-uniformity in the heat absorbability, while Cr-Mo-V steel and Ni-Mo-V steel are less sensitive.

(3) The heat absorbability at between room temperature and 380°C depends mainly on the surface roughness, while at above 380°C oxide layers make a large effect on the absorbability.

I. 緒 言

蒸気タービン用軸車の加熱計測試験にあらわれる撓みは、基本的にA, B, C, Dの4つの型に分類される。このうち加熱上昇時に撓みを生じ、指定された温度に保持されると撓みは消失するいわゆるA型の撓みは、80%という高い頻度でこの試験に現われる。このA型撓みの成因は、軸車表面に存在する非軸対称な熱吸収能の差により生じ、その熱吸収能の差異には、軸車表面粗サが大きな影響をあたえ、さらにこの表面粗サの差異は、軸車材料の硬サの不均一に根源して生ずることをこれまでの研究^{1)~6)}で明らかにした。

近年蒸気タービンの大容量化とともに、使用する軸車が大型化し、かかる大型の軸車では、熱処理の不均一により硬サのバラツキの生ずることは工業的にまぬがれず、現行の検査規格でも軸車全面のある程度の硬サのバラツキを認めている。したがって軸車の硬サのバラツキに基因して、その後の機械加工で粗サの差異を生じ、その結果として熱吸収能の非対称性を生ずるのであろうし、また同一硬サの差でも材質が異なれば、加熱中に形成される酸化皮膜の性状により、熱吸収能も異なることが考えられる。そこで本研究では熱吸収能を比較定量する特別な装置を筆者が考案し、この装置を利用し焼戻温度、焼戻時間の異なる処理を施したCr-Mo-V鋼, Ni-Mo-V鋼, 炭素鋼の3鋼種の加工面の熱吸収能を比較定量し、熱処理の不均一さと熱吸収能の量的関係を、同一鋼種、異鋼種相互について明らかにするため、以下に述べる実験を行なった。

II. 熱吸収測定装置

1. 試験装置

軸車が輻射によって加熱されれば、熱吸収能の差異に応じ温度差を生ずる。いかえればこの温度差を測定することによって、熱吸収の大小を定めることができる。筆者はこの点に着目して、熱吸収の異なるであろうと推定される試験片の加熱に際して生ずる温度差を測定し、熱吸収の大小を定める装置を考えた。Fig. 1はこの熱吸

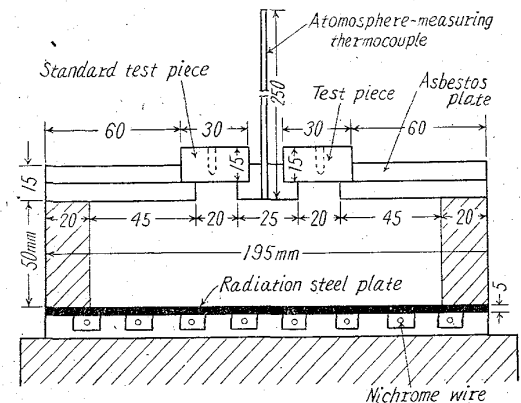


Fig. 1. Equipment for thermal absorption test.

収測定装置の略図を示す。この図において、輻射用鉄板を使用したのは、発熱体の温度分布をできるだけ均一にするためである。この輻射用鉄板より50mmはなれた上部のアスベスト板に、測定しようとする試験片をセットする。試験片はできるだけ対流による加熱を防ぐため、発熱体と試験片までの四囲をイソライト煉瓦で密閉した。試験片は巾30mm、長さ40mm、厚さ15mmの直方体で、受熱面の裏面の中央より2mmφの小孔をあけ、この穴にPt-PtRhの熱電対を挿入し、受熱面より1mmの位置の温度を測定した。この場合試験片間の熱伝導度の差異が測温値に影響をおよぼすことが考えられるが、測温位置が受熱面に極めて近い位置であり、また試験片の熱伝導を測定したがその差は僅かなので、その影響を無視し得るとした。この点をさらに確かめるため、受熱面の条件を一定にし測定した結果、試験に供した試験片の範囲では測温値にほとんど差異がなかった。

次に、Fig. 1の装置を鋼板製容器の中に格納し、装置全系が真空中、あるいはアルゴン気流中でも操作できるように、容器の一端に内径6mmパイプを溶接し、真空ポンプ、またはアルゴンポンプに接続し得るようにしてある。この真空中で操作できるように工夫した目的は、対流の影響を無視すると同時に、加熱中試験片受熱面に生ずる酸化皮膜の形成が熱吸収におよぼす影響を確かめるためである。しかしこの装置での真空度は最低

Table 1. Chemical composition of test pieces for thermal absorption test (in wt. %)

Chemical composition	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V
Cr-M-V steel	0.33	0.26	0.50	0.017	0.023	0.48	0.94	1.08	0.28
Ni-Mo-V steel	0.33	0.34	0.56	0.014	0.021	2.92	0.06	0.38	0.15
Carbon steel	0.31	0.25	0.62	0.011	0.016	0.01	0.02	0.01	—

0.3mmHg しか得られず、試験片受熱面の無酸化が期待できないのでアルゴン気流中でも操作できるようにした。

2. 供試材料ならびに標準試料の作製

本試験に使用した試験片は、Cr-Mo-V 鋼、Ni-Mo-V 鋼、ならびに炭素鋼を、15×35mm の角材に鍛造後焼鈍し、これを 15×30×40mm の寸法に機械加工したものである。これらの試験片の化学成分は Table 1 に示す。

次に試験片間の表面の熱吸収能を比較するために、標準の熱的黑さを持つ標準試験片を作製し、標準試験片と各試験片間の温度差を求めることにより、試験片間の熱吸収能を比較する方法を採った。試験片受熱面の標準黒さとしては、650°C で 0.5h 保持後空冷した際、試験片に形成される酸化皮膜を標準とした。この酸化皮膜は標準試験片保管中に外気の温度、湿度などの変化によりその黒さが変化することを恐れ、試験の都度標準試験片表面の標準黒さを検定した。この検定の方法は一定輝度の赤外線光源の赤外線を、正しく 50mm 離れた標準試験片表面に投光し、その表面の見掛け温度を硫化鉛放射温度計で測定する。標準試験片表面の標準黒さが変動すれば、その表面の赤外線の反射、吸収が異なり見掛け温度が変る。この見掛け温度の変動が $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 以内であるとき、標準試験片表面の標準黒さが一定不変に保たれているとした。

III. 試験方法

1. 試験方法

試験の方法は被試験片と標準試験片とを、測定しようとする受熱面を輻射用鉄板に面し、アスベスト板の上にセットする。試験片の加熱は、可変抵抗器をもちいてニクロム線で輻射用鉄板を加熱し、輻射用鉄板から主として輻射熱で加熱する。このようにして炉内フニキ温度を一定の加熱速度で加熱すれば、試験片受熱面の温度上昇率は、その面の熱吸収の大小に応じ異なり、熱吸収の大きい受熱面ほど、より高温となる。そこでフニキの温度を正しく 120°C/h で加熱し、定められた時刻ごとに標準試験片と被試験片との受熱面温度を正しく読みとり、その温度差を測定した。そして被試験片の熱

吸収の大小を、標準試験片との温度差を尺度として比較した。試験片受熱面の温度としては、1. で述べた位置の温度を電位差計で正しく読みとつた。

2. 試験の再現性ならびに酸化皮膜の熱吸収におよぼす影響

上述の試験装置ならびに試験方法により、試験結果の再現性を確かめてみた。880°C より炉冷した Cr-Mo-V 鋼試験片 (30×40×15mm) の全面をグラインダー研磨後、650°C で 30mn 間加熱保持後空冷した試験片を製作した。これらの試験片の一面は 120# エメリーペーパーで研磨し、その面を受熱面とし、常温から 600°C までの加熱中に標準試験片との間に生ずる温度差を繰返し 3 度大気中で測定し、その結果を検討した。また大気中の加熱で生ずるであろうと思われる対流による影響については、装置の全系を真空にし同様の試験を繰返し行なつた。この場合試験片のセット位置による測温値の影響もあわせて確かめる必要があり、標準試験片と被試験片との左右の位置を試験の都度交換し測定した。大気中におけるこれら 3 回の測定の加熱中の各温度でのバラツキは最大 2°C で、試験の精度も高く被試験片の位置を変えても、測定結果のバラツキも少なくその再現性は 2°C 以内で正しいことが判つた。次に対流の影響を確かめるため、熱吸収装置の全系を 3mmHg の真空度に保ち、上述と同様の方法で試験を繰返し行なつた。この結果は大気中の測定と比較して、各加熱温度での測定値のバラツキは最大で 3°C で、大気中でも真空中でもその測定値に差異はほとんどなく、対流による加熱の影響を無視できることが判つた。最後に加熱中に受熱面が酸化皮膜などの形成により、その熱吸収能がどのように変化するかを調べる目的で、熱吸収装置の全系を純度 99.99% のアルゴンガス中で同様の実験を行ない、標準試験片間に生ずる温度差を測定した。この結果標準試験片温度が 380°C までに生ずる温度差は、前述の大気中と同様の温度差を生じ、その測定値のバラツキも 2°C 以内の範囲である。しかし 380°C を起えと、大気中では急激に標準試験片との間の温度差が消失するが、アルゴンガス中では加熱温度の上昇に比例して温度差が増大する。そこでこのような温度差を生じている状態で、熱吸収測定装置の全系を包むアルゴンガスを急速に大気と置換する

と、試験片間の温度差は急激に減少し、ついにその温度差は消失する。このことは常温より 380°C までは、試験片受熱面の常温における熱吸収能の差異が大きな役割を演じ、 380°C を越すと受熱面に形成される酸化皮膜が熱吸収に大きな影響を与えることを示している。

IV. 硬サの差が熱吸収におよぼす影響

1. 供試材料の熱処理とその加工面

タービン軸車それ自体に非軸対称な硬サの差があれば、その後の機械加工面の熱吸収能が異なることは、これまでのモデル軸車による加熱計測試験結果から推定される。そこで Table 1 の Cr-Mo-V 鋼, Ni-Mo-V 鋼, 炭素鋼の 3 鋼種について、焼戻温度を変えた硬サの差、焼戻時間を変えた硬サの差を与え、一定の機械加工を行なった加工面の熱吸収を確かめてみることにした。

(a) 焼戻温度を変えた試験片とその加工面

Cr-Mo-V 鋼, Ni-Mo-V 鋼の各試験片は、 1000°C に 1h 保持後油焼入し、その後 500°C , 550°C , 600°C , 650°C , 700°C の各温度におのおの 20h 保持後空冷し、炭素鋼では 880°C に 1h 保持後油焼入れし、 450°C , 550°C , 600°C , 650°C の各温度で 20h 保持後空冷する焼戻しの処理を行ない、その焼戻温度の差による硬度変化を求めた。これらの焼戻硬度曲線で、Cr-Mo-V 鋼, Ni-Mo-V 鋼では $450^{\circ}\text{C}\sim 550^{\circ}\text{C}$ の焼戻温度で軟化が遅滞する現象が見うけられる。この場合いずれの鋼種でも焼戻温度が高くなると、炭化物が球状化し、しかも炭化物が凝集し大きくなる傾向があることが

電子顕微鏡、光学顕微鏡いずれの場合でも観察された。これらの試験片の一面はあらかじめ剣バイトで 1mm 粗削りし、この粗削面をさらに $4\cdot5\%$ V 高速度鋼ヘールバイトで仕上げた。このヘール仕上げ加工の条件としては実際の軸車の仕上げ加工条件とまったく同様、送り速度 $4\cdot5\text{m/mn}$, 1 回の切削量 $3\sim 5/100\text{mm}$, 切削油として ショウユ油を使用した。このヘール仕上げ加工面の状況を顕微鏡で撮影したのが Photo. 1 である。この写真から判るように同鋼種で硬サの軟かい試験片ほど加工によるむしれが、加工面に占める割合が多くなる。加工むしれが多く存在すれば、加工面の粗サが粗くなることが予想され、小坂式粗サ計 S-D 5 型でその加工面の粗サを測定した。この結果、Cr-Mo-V 鋼 700°C 焼戻し試験片の加工面の粗サと、 500°C のそれは $2\cdot6\mu\text{H}_{\text{max}}$, $4\mu\text{H}_{\text{max}}$, Ni-Mo-V 鋼の 700°C と 500°C 焼戻しの加工面では $26\mu\text{H}_{\text{max}}$, $4\mu\text{H}_{\text{max}}$, 炭素鋼での 650°C と 450°C 焼戻しの加工面では $2\mu\text{H}_{\text{max}}$, $4\mu\text{H}_{\text{max}}$ と、いずれも焼戻温度の高い、すなわち硬サの軟かい試験片の加工面ほど粗面になることが判った。

(b) 焼戻時間を変えた組織とその加工面

Table 1 に記した Cr-Mo-V 鋼と Ni-Mo-V 鋼の 2 鋼種を 1000°C 1h 保持後油焼入し、 650°C の焼戻温度でおのおの 5, 10, 30, 50, 70, 100h 保持後空冷し、上述の焼戻時間が硬サにおよぼす影響を調べた。この硬度曲線では前述の焼戻温度を変えた場合と同様に焼戻時間の経過とともに、硬サが減少するが、焼戻時間が 20h のところに僅かな硬化の遅滞が認められる。次に焼戻時間

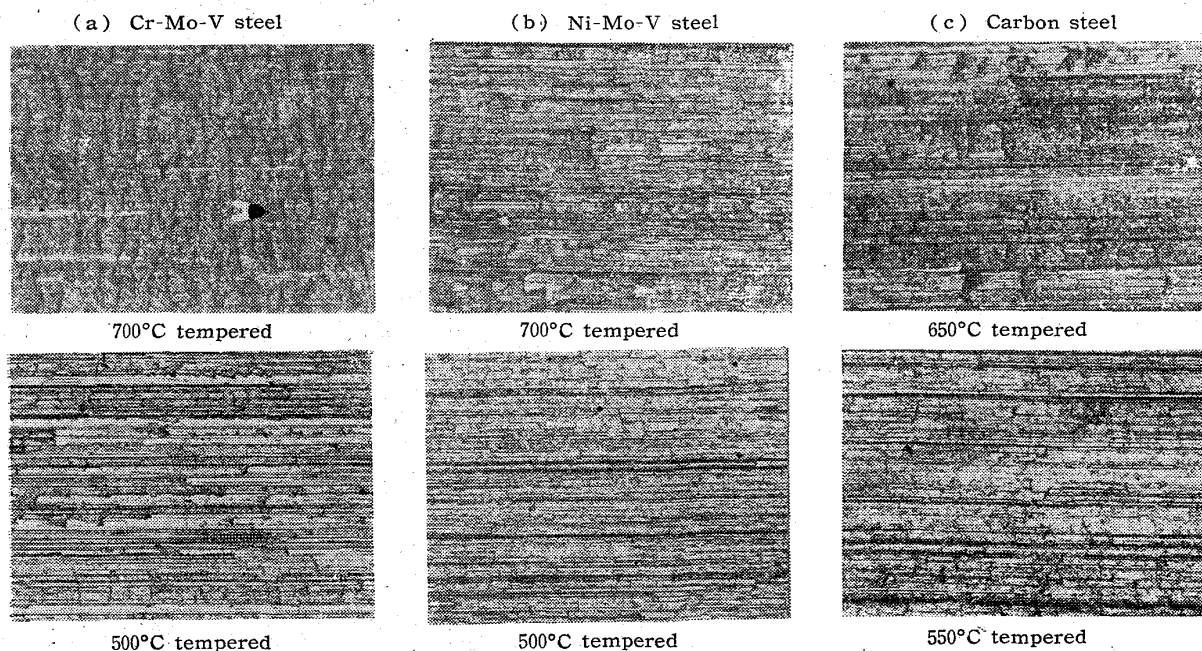


Photo. 1. Microphotograph of machined surface of Cr-Mo-V, Ni-Mo-V and carbon steels tempered at different temperatures after oil-quenching. $\times 100$ (1/2)

と組織の関係を調べたが、Cr-Mo-V 鋼では焼戻時間が長くなると、炭化物の球状化が急速に進むのが電子顕微鏡、光学顕微鏡いずれの場合でも認められる。しかし Ni-Mo-V 鋼では 5h 焼戻したものと 100h 焼戻したものと組織差は光学顕微鏡での識別は困難であるが、電子顕微鏡では炭化物が凝集し大きくなっているのが認められる。これは Ni-Mo-V 鋼はおそらく 650°C の焼戻温度で、短時間で炭化物が球状化するためと考えられる。これらの組織差を有する試験片を (a) 項で記したと同様、4.5% 高速度鋼ヘルバイトでその一面を仕上げ加工し、その加工面を顕微鏡で調べたが、硬サの軟かいすなわち焼戻時間の長い組織のものほど、加工面に加工むしれの生ずる割合が多くなることは、上述の焼戻温度を変えた組織の場合とまったく同様である。したがってこれらの加工むしれの有無により、表面粗サの差異があることが予測される。この表面粗サの測定結果は、Cr-

Mo-V 鋼の 10h と 100h の焼戻した加工仕上面の粗サは $1.4 \mu H_{max}$, $2.8 \mu H_{max}$, Ni-Mo-V 鋼の 5h と 100h の加工仕上面での粗サでは $2 \mu H_{max}$, $4 \mu H_{max}$ と焼戻時間の長い組織、いいかえれば硬サの軟かい組織の加工面ほど、粗面になることが判つた。以上の熱処理条件と、硬サ、粗サをまとめて表示すれば、Table 2, Table 3 のとおりである。

2. 硬サの差が熱吸収におよぼす影響

(a) 焼戻温度が熱吸収におよぼす影響

上述の Table 2 にしめた試験片は、そのヘル仕上げ面を受熱面として熱吸収装置を使用し、常温から 600°C までの加熱中に標準試験片との間に生ずる温度差を測定した。焼戻温度を 500°C, 550°C, 600°C, 700°C と変え、それら各温度で 20h 保持後空冷し、ヘル仕上げをした Cr-Mo-V 鋼と Ni-Mo-V 鋼のそれぞれの加工面と、標準試験片との加熱中に生ずる温度差を測定し

Table 2. Relation between hardness, roughness of machined surface and tempering temperature.

	Quenching	Tempering	Hardness Hv	Roughness μH_{max}
Cr-Mo-V steel	1000°C × 1h O.Q.	500°C × 20h A.C.	496	2.6
		550°C //	498	2.8
		600°C //	416	3.0
		650°C //	341	3.6
		700°C //	251	5.0
Ni-Mo-V steel	1000°C × 1h O.Q.	500°C × 20h A.C.	406	2.4
		550°C //	405	2.2
		600°C //	349	3.7
		650°C //	291	4.0
		700°C //	223	4.0
Carbon steel	880°C × 1h O.Q.	450°C × 20h A.C.	282	2.0
		500°C //	249	2.4
		550°C //	221	3.0
		600°C //	198	3.8
		650°C //	156	4.0

Table 3. Relation between hardness, roughness of machined surface and tempering time.

	Quenching	Tempering	Hardness Hv	Roughness μH_{max}
Cr-Mo-V steel	1000°C × 1h O.Q.	650°C × 5h A.C.	410	1.4
		650°C × 10h //	390	1.4
		650°C × 30h //	345	1.8
		650°C × 50h //	326	2.2
		650°C × 70h //	305	2.6
		650°C × 100h //	298	2.8
Ni-Mo-V steel	1000°C × 1h O.Q.	650°C × 5h A.C.	327	2.1
		650°C × 10h //	305	2.0
		650°C × 30h //	287	2.4
		650°C × 50h //	267	2.4
		650°C × 70h //	251	2.8
		650°C × 100h //	230	4.0

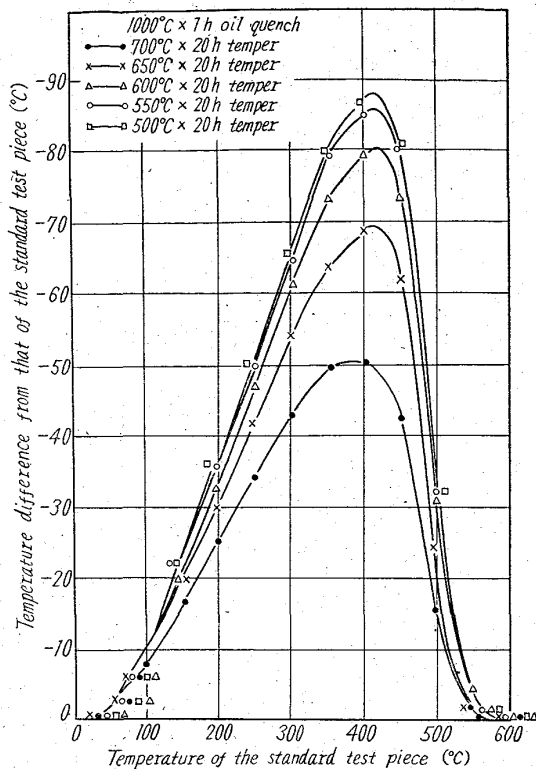


Fig. 2. Comparison of thermal absorptivity between the machined surface of Cr-Mo-V steel tempered at various temperatures and that of the standard test piece.

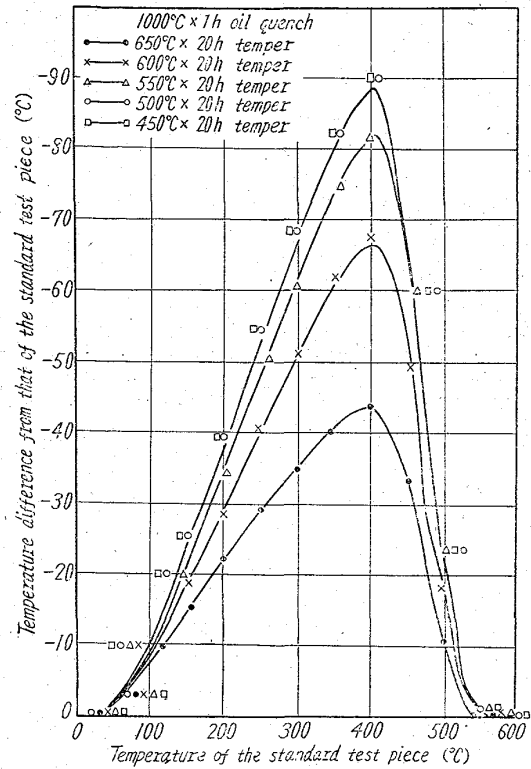


Fig. 4. Comparison of thermal absorptivity between machined surface of carbon steel tempered at various temperatures and that of the standard test piece.

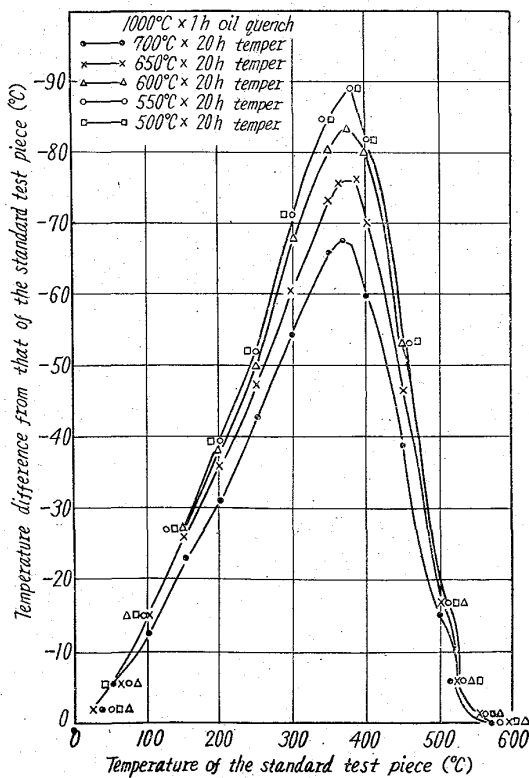


Fig. 3. Comparison of thermal absorptivity between the machined surface of Ni-Mo-V steel tempered at various temperatures and that of the standard test piece.

た結果が Fig. 2, Fig. 3 であり、450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C の各温度で 20h 保持後空冷の焼戻しを行なった炭素鋼のヘール仕上加工面と、標準試験片との間で、加熱中に生ずる温度差を測定したのが Fig. 4 である。Fig. 2~Fig. 4 より判るように、この熱吸収測定装置で試験片を加熱すると、試験片温度の上昇とともに標準試験片と測定しようとする試験片との間に温度差を生じ、標準試験片がより高温になる。これは標準試験片は他の被試験片受熱面がヘール仕上加工の金属地肌であるのにくらべ、熱的に黒いのでより早くその受熱面が加熱されるためと考えられる。試験片温度が380°C~400°Cを越えると、標準試験片と測定しようとする試験片との温度差が急速に縮まる。これは測定しようとする試験片の受熱面に急速に酸化皮膜が形成され、したがってその熱的黑さが増大するので、熱吸収が良くなり、より多くの熱を吸収し被試験片受熱面の温度が上昇するためである。しかし標準試験片にはすでに安定した酸化皮膜が形成されているので、この 380°C~400°C 以上の温度になつても急速な酸化皮膜の形成は考えられず、ほとんど一定の熱的黑さであるため、標準試験片の温度上昇率は変わらないので、温度差が急速に縮まると考えられる。550°C まで加熱されると、測定しようとする試験

片にはほぼ標準試験片と同じ熱的黑さの酸化皮膜が形成されるので、両者の受熱面の受熱量が等しくなり、温度差が消失すると推定される。ところで常温より上述酸化皮膜の形成が急速に生ずる $380^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ の温度域では、Cr-Mo-V 鋼、Ni-Mo-V 鋼、炭素鋼いずれの場合でも焼戻温度の高い試験片の加工面ほど、焼戻温度の低いその面より早く加熱される。これは前者の加工面がより粗面で熱的に黒いたためである。次に同じ程度の焼戻温度の差異をあたえても、鋼種によりその生ずる温度差が異なることが知られる。すなわち Cr-Mo-V 鋼の 700°C と 500°C の焼戻温度の加工面に生ずる温度差が最高 39°C であるのに対して、Ni-Mo-V 鋼のそれでは約半分の 23°C である。

(b) 焼戻時間が熱吸収におよぼす影響

次に Table 3 に示した試験片は、そのヘール仕上面を受熱面として、標準試験片との間に常温から 600°C までの加熱中に生ずる温度差を熱吸収測定装置で調べた。Cr-Mo-V 鋼の焼戻時間を 650°C で 5, 10, 30, 50, 70, 100 h 保持後空冷した試験片の加工面と標準試験片との間で、加熱中に生ずる温度差を測定したが、焼戻温度を変えた前項の試験結果とほぼ同じ結果を得た。この場合も、もちろん酸化皮膜の受熱面を持つ標準試験片が、ヘール仕上をした金属地肌受熱面の被試験片より、より高温になることは言うまでもない。また、Cr-Mo-V 鋼、Ni-Mo-V 鋼はそれぞれ標準試験片の温度が $380^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ でその温度差が最高になり、これらの温度を越えるとその差は急速に縮まる。すなわち $380^{\circ}\text{C} \sim 400^{\circ}\text{C}$ を越えると、被試験片の受熱面が急速に酸化し、その熱的黑さを増すため、急速な温度差の減少となるわけである。この酸化を開始する温度は、焼戻温度を変えた組織の場合でも、焼戻時間を変えた場合でもほぼ同じで、組織差による相異は認められない。また標準試験片と被試験片の温度差は焼戻時間の短い組織の加工面ほど、すなわち硬い加工面ほど、熱吸収能が悪くなることは、これまた前述のとおりである。

以上の諸実験より、焼戻温度の高いほど、また焼戻時間の長いほど、加工面の熱吸収が大となることが判った。Fig. 2~4 の諸結果について、試験片の硬さをパラメータとして、標準試験片と各試験片との間に生ずる最大温度差を比較整理したものが Fig. 5 である。この図から判るように、焼戻温度を変えた組織、焼戻時間を変えた組織のいずれでも、その硬さと切削方法が同じであれば、同一鋼種では同じ温度差を生じ、また硬さにほぼ比例してその温度差も大きくなる。この場合、硬さの差による熱吸収の敏感度は、標準試験片との温度差 ΔT の

変化に対する硬さ H との比で表わすことができ、 $\Delta T/H$ の値の大きいものほど敏感度が大きいことになる。この $\Delta T/H$ の大小を比較すると炭素鋼が最も大きく、Cr-Mo-V 鋼、Ni-Mo-V 鋼の間ではその敏感度の大小

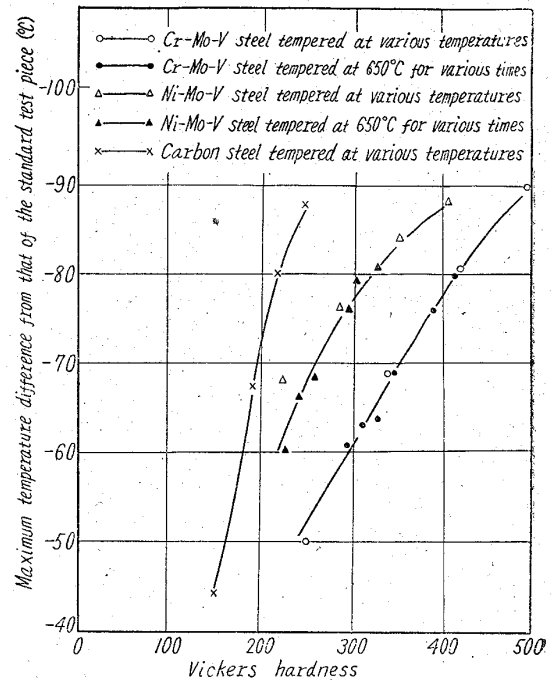


Fig. 5. Maximum temperature difference between the machined surface of several steels having different hardness and that of the standard test piece.

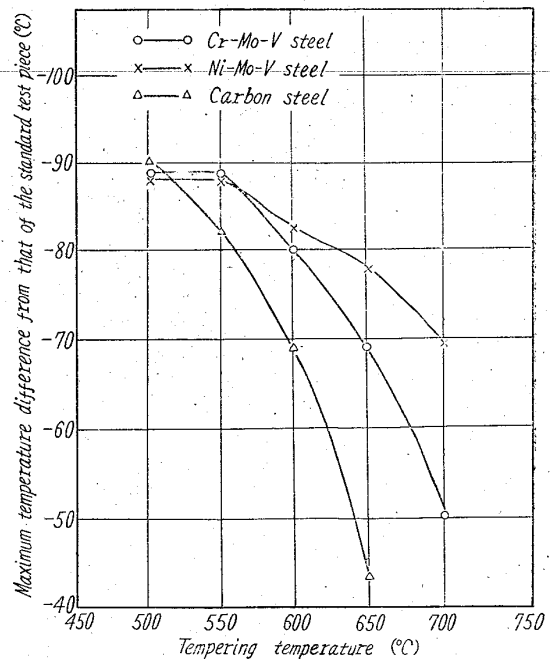


Fig. 6. Relation between temperature difference from that of the standard test piece and tempering temperature.

は判らない。ところでこの敏感度は硬サの変動による加工むしれの発生の難易に支配され、さらにこの加工むしれの発生の難易は材料それ自体の靱性に基因するものと考えられる。次に焼戻温度に対して整理したものがFig. 6である。この場合標準試験片との温度差 ΔT の変化に対する焼戻温度 T との比、 $\Delta T/H$ が大きいほど、熱吸収の敏感度が大と言える。この図から Ni-Mo-V 鋼, Cr-Mo-V 鋼, 炭素鋼の順にその感性が大きくなることが判つた。

V. 試験結果に対する考察

加熱計測試験にあらわれるA型撓みが、その軸車表面に存在する非軸対称な熱吸収差によつて撓むものであれば、この熱吸収差にともない非軸対称温度差を生じなければならない。これまでのモデル試験で、凸にA型撓みを生じた側の表面条件は、本熱吸収測定装置による測定結果でも推定どおり加熱にさいし高い温度をしめすことが判つた。しかし実際の加熱計測試験と熱吸収装置とのそれではかなりの相異がある。すなわち熱吸収装置では試験片が受熱面で熱を吸収し、15mm厚サの試験片を経てそ背面より熱を放出する。一方実際の加熱計測試験では、軸車表面が受熱面となつて径1mにおよぶ軸車中心部を経、さらに数mに達する軸車の両端を経て熱を大気中に放熱する伝熱機構である。したがつて熱吸収測定用試験片に与えたと同じ熱吸収能の差を、実際の軸車に非軸対称に与えて加熱計測試験を行なつても、熱吸収装置で測定されたと同じ温度差が軸車に生ずるとはかぎらないことが容易に推定される。そこでモデル軸車に非軸対称に熱吸収能の差を与えて、モデル試験を行なつた際に生ずるA型撓みの最大撓み量 ΔX と、モデル軸車に与えたとほぼ同じ熱吸収差を熱吸収測定用試験片に与え、加熱中に生ずる温度差の最大温度差 ΔT とについて種々検討してみたところ ΔX と ΔT との間にほぼ比例した関係が成立し、しかもモデルと熱吸収装置のいずれの試験でも、最大撓み量、最大温度差の生ずるフニキ温度がほとんど一致している事実より、この熱吸収測定装置で得られた値そのものについてはともかく、この値は熱吸収能の比較、これより撓み量を比較する一つの尺度になり得ると考えられる。次に実際の軸車を焼戻処理する場合、加熱炉の温度の不均一に基因して硬サの差を生ずるが、この場合焼戻温度の不均一さが同じでも、鋼種により軸車加工面の熱吸収能の敏感度が異なり、炭素鋼, Cr-Mo-V 鋼, Ni-Mo-V 鋼の順で敏感度が異なる。い

くなるはずである。しかるに現場加熱計測試験の統計では、高圧軸車に使用される Cr-Mo-V 鋼がA型撓みの出現頻度が最も高く、次いで産業用タービン軸車に使用される炭素鋼, 低圧軸車用 Ni-Mo-V 鋼の順となつている。この現場統計と上述の敏感度との間で差異のあるのは炭素鋼であるが、かかる炭素鋼軸車は発電容量の小さい、蒸気温度の低いタービン用軸車として使用されるのが普通で、このため軸車の軸長は短い。このため非軸対称に温度差を生じて、撓み量は軸長の長い軸車に較べ少くなるものと考えられる。したがつて実際の加熱計測試験のA型撓みの出現頻度を検討する場合は、上述の熱吸収の敏感度とともに軸車長サ、翼車削り出し深サ、翼車巾といった軸車形状をあわせて考慮に入れ、検討しなければならないと考える。

VI. 結 言

以上のモデル試験装置、熱吸収測定装置などの一連の実験により、A型撓みの成因は非軸対称な熱吸収の差異によるものであつて、そのため加熱中に温度差を生じ、それが撓みとなつて現われることがさらに明りよつた。そこでこれらの実験結果を総括すると次のとおりである。

(1) 熱吸収測定装置を利用することにより、異なる熱吸収能を持つ受熱面間の加熱中に生ずる温度差を測定し、この温度差を比較することにより、逆に受熱面の熱吸収能の大小を比較することを可能にした。

(2) これまでの加熱計測試験の現場統計結果で、A型撓みと硬サの差の間に、何等かの関係が存在することが知られていたが、これは組織差に根源して加工むしれの有無が、表面の熱吸収能に差異をあたえるため、A型撓みの生ずることが判つた。そして、その組織差を硬サという表示でおきかえれば、同一鋼種では硬サと熱吸収の大小との間に、ほぼ比例した関係が成立し、硬サの硬いものほど仕上面は平滑となり、熱吸収能は小となることが判つた。

(3) 焼戻温度を変えることによつて得られた各鋼種の組織に対しては、熱吸収能の変化は炭素鋼で最も大となり、次いで Cr-Mo-V 鋼, Ni-Mo-V 鋼の順となる。したがつて加熱計測試験の現場統計で、Cr-Mo-V 鋼が Ni-Mo-V 鋼より、よりA型撓みの出現頻度が高いのは焼戻温度の差異による、熱吸収能の変化が著いたためである。

本研究を行なうにあたり、終始有益な御助言、御指導をいただき、また、加熱計測試験用モデル試験装置の借用を快諾された日本製鋼所室蘭製作所研究所長下田博士

小野寺博士, 徳田昭氏に敬意と感謝をささげる.

(昭和 36 年 12 月寄稿)

文 献

- 1) 安井澄夫, 吉田 宏: 火力発電, 9 (1958)
- 2) 下田秀夫, 小野寺真作, 荒木田豊, 本間亮介, 吉田 宏: 日本機械学会第 37 期通常学術講演会概要. (昭35—4)
- 3) 下田秀夫, 小野寺真作, 徳田 昭, 吉田 宏: 日

本機械学会第 38 期講演大会概要. (昭36—4)

- 4) 下田秀夫, 小野寺真作, 徳田 昭, 吉田 宏: 日本機械学会第 38 期講演大会概要. (昭36—4)
- 5) 下田秀夫, 小野寺真作, 徳田 昭, 本間亮介, 吉田 宏, 鉄鋼協会第 59 回講演大会概要. (昭 35—4)
- 6) 下田秀夫, 小野寺真作, 徳田 昭, 本間亮介, 吉田 宏: 鉄と鋼, 47 (1961) 4, p. 591

準安定オーステナイト域における塑性加工が 13Cr 鋼の耐食性におよぼす影響について*

細 井 祐 三**

Effect of Deformation under Metastable Austenite Condition on Corrosion of 13% Cr Stainless Steel.

Yuzo Hosoi

Synopsis:

The corrosion resistance of 13% Cr stainless steel as deformed in the metastable austenite state prior to martensite transformation was qualitatively compared with that of the same steel as quenched conventionally. As corrosive environment, 40% HNO₃ in boiling state and 5% H₂SO₄ at room temperature were chosen.

It was observed that, compared with undeformed steel, deformed steel at 450°C did not show a poorer resistance to both acid solutions when steel was austenitized at 950°C or 1000°C. However, the corrosion resistance of the steel became worse by deformation at 650°C, especially in 5% H₂SO₄. It seemed that this poorer corrosion resistance by deformation at 650°C was due to a heterogeneity of structure induced by the product of accelerated isothermal transformation.

I. 結 言

13Cr 鋼の機械的性質はオースフォーミング処理 (準安定オーステナイトのいわゆる“bay”の領域において塑性加工後焼入れる処理方法) により, かなり向上させ得ることを筆者はさきに報告¹⁾したが, 一般に金属材料を塑性変形するとその耐食性に種々の影響を与えることがあるので^{2,3)}, 13Cr 鋼の重要な性質の一つである耐食性にこのようなマルテンサイト変態前の加工処理がいかに影響をおよぼすかについて研究をすすめた。

II. 実験試料および方法

実験試料には AISI 410 型ステンレス鋼を用いた。おもな化学成分は Table 1 のごとくである。

Table 1. Chemical composition of steel tested.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.13	0.42	0.41	0.012	0.014	12.32	0.30	0.18

実験方法は900°C, 950°Cあるいは1000°C⁴⁾にて1hオーステナイト化したのち450°Cあるいは650°Cの塩浴中に急冷し3mn保持してから圧延しいろいろの加工度を与え, ただちに油焼入をし, ついで液体N中に1h浸漬して残留オーステナイトの影響をできる限り少くした。このように処理した材料から長さ24mm, 巾10mm, 厚さ2.5mmの短冊型の試験片を削り出し, こ

* 昭和 36 年 4 月本会講演大会にて発表

** 科学技術庁金属材料技術研究所