

## 5% Cr ダイ ス 鋼 の 研 究

(V, Mn の 影 響 に 就 て)

(昭和 28 年 4 月 本 会 講 演 大 会 に て 講 演)

山 中 直 道\*・日 下 邦 雄\*

INFLUENCE OF VANADIUM AND MANGANESE ON THE  
PROPERTIES OF 5% CHROMIUM DIE STEEL*Naomichi Yamanaka, and Kunio Kusaka*

## Synopsis:

To investigate the influence of vanadium and manganese on the properties of air-hardening die steel containing 1% carbon, 5% chromium and 1% molybdenum, the authors measured critical point, hardenability, hardness, retained austenite, specific volume and dimensional changes.

The results obtained were as follows:

(1) Critical point was raised with the vanadium content, and lowered with the manganese content. Hardenability was increased by addition of the vanadium up to 0.48%, then decreased with more vanadium addition. Manganese was very effective in increasing the hadenability.

(2) Full hardness was obtained by the oil-quenching from 900° to 940°C and by air cooling from 920° to 960°C. As the vanadium content increased, a slightly higher austenitizing temperature was necessary for obtaining the full hardness.

(3) The quantity of retained austenite increases rapidly with the quenching temperature, and the amount increaased with manganese content, and decreased with vanadium addition.

(4) A slight secondary hardness was exhibited at 550°C if the quenching temperature was 1000°C or over. On tempering, a decomposition of the retained austenite took place in two steps.

(5) The volume increment resulting from air-hardening was less than oil quenching. A steel containing 0.86% vanadium showed a volume increment of 0.27% by air cooling from 940°C and showed a dimentional change of +0.065% by air cooling from 940°C and +0.115% by oil quenching from 920°C.

(6) The amount of contraction measured by dilatometer due to  $\alpha \rightarrow \beta$  martensite during tempering of air hardening was less than oil quenching.

(7) The absorbed energy measured by static bending test after air-hardening increased with addition of the vanadium up to 0.48% and then decreased with more vanadium content.

## I. 緒 言

1% C, 5% Cr を主体とした工具鋼は自硬性大なるため空冷で充分硬化し、その変形率も高炭素高 Cr 鋼には及ばぬが Mn ゲージ鋼よりも小さく且耐磨耗性も良好であり加工も容易であるため最近吾が国でもゲージ鋼、ネヂローラ材、各種ダイスに使用しはじめられたがこの鋼種に対する資料に乏しいので、吾々は 1% C, 5% Cr 1% Mo に V, Mn を変化させて試料をつくり変態点、硬化能、焼入焼戻硬度、焼入による残留オーステナイト

量、残留オーステナイトの分解、変形率等について測定を行いその影響を調査した。供試材は第 1 表に示す如き成分のもので 35KVA 高周波誘導炉で 7kg 鋼塊を熔製しこれを 20mm 角に鍛造して使用した。

## II. 實 験 結 果

## (1) 變 態 點

測定は本多式熱膨脹計を用いて約 2°C/min の加熱及

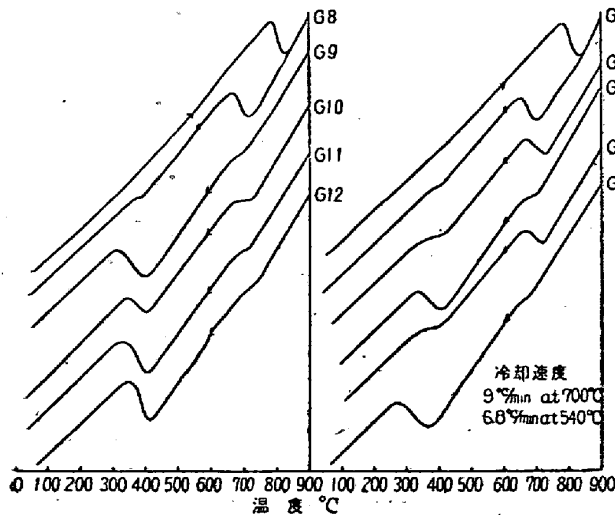
\* 特殊製鋼株式会社研究部

第1表 供試材化學成分

熔番	化學成分						結晶粒度(酸化法)		Ac (°C)		Ar (°C)		Ar'' (°C, 空冷)	
	C	Si	Mn	Cr	Mo	V	925°×2hr	1100°×1hr	開始	終止	開始	終止	900°×2min	950°×10min
G-8	0.830	0.230	0.845	0.331	0.25	—	G 5	G 3.5	778	830	760	710	265~70	170~
-13	0.970	0.140	0.675	0.491	0.10	—	G 5.5	G 4	775	825	755	705	360, 220~70	145~
-9	0.930	0.320	0.895	0.541	0.250	0.26	G 8	G 5	780	840	760	705	235~80	160~
-10	1.030	0.330	0.895	0.541	0.320	0.48	G 8	G 5.5	785	835	750	705	235~80	165~
-11	1.080	0.300	0.905	0.561	0.250	0.67	G 9	G 5	787	840	760	700	265~70	165~
-12	0.980	0.190	0.795	0.491	0.460	0.86	G 9	G 5.5	792	845	765	705	275~90	170~
-14	1.090	0.280	0.575	0.641	0.380	0.31	G 8	G 5	780	845	770	720	330~110	155~
-15	1.060	0.270	0.875	0.451	0.380	0.31	G 8.5	G 5	782	835	755	705	205~75	145~
-16	1.010	0.160	0.965	0.381	0.000	0.29	G 8	G 6	780	830	755	700	260~90	155~
-17	1.030	0.161	1.455	0.711	0.280	0.29	G 7	G 4.5	777	830	740	690	205~60	130~

冷却速度で行った。この結果は第1表に示す如く Ac 点は V の添加によつて上昇し又 Mn が多くなると Ar 点が降下する傾向を有す。次に 900°C より炉冷 (700°C に於て 9°C/min, 540°C に於て 6.8°C/min の冷却速度) した場合の変態生起状況は第1図の如くで V を含まぬものは 700°C 附近で殆んど Ar<sub>1</sub> を完結し 400°C 附近に僅かに Ar' を生ずるのみであるが、V の添加によつて Ar<sub>1</sub> 変態は大部分抑制されて 400°C 附近に Ar' を生ずる。又 Mn の低い場合にも Ar' は僅かに現われるのみであるが Mn が多くなると殆ど Ar' のみを生ずる。

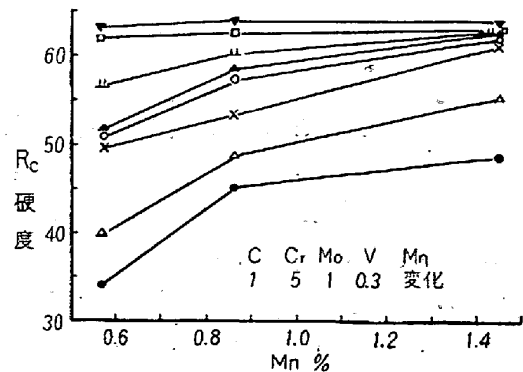
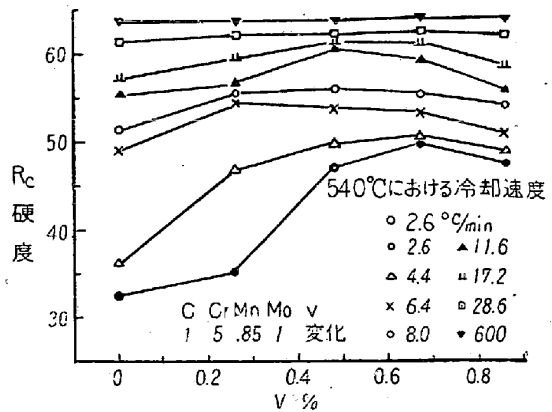
又 900°C×2min 保持後空冷 (700°C に於て 3.4°C/sec, 540°C に於て 1.8°C/sec の冷却速度) 及び 950°C×10min 保持後空冷した場合の Ar'' 点は第1表の如くで V を含まぬ G-13 のみ 360°C に僅か Ar' が認められた。Ar'' 開始点は V% が多くなると共に上昇し Mn% が多くなると低下する。又酸化法により結晶粒度を求めたが、V の添加によつて微細化が認められる。



第1圖 爐冷時變態點

(2) 硬化能

本鋼種は自硬性大なるため普通の Jominy test は採用出来ない。自硬性鋼に対する硬化能測定の方法としては二三の例<sup>1)2)</sup>があるが何れも gradient cooling を行うため大きな試片を必要とするので吾々の場合には採用出来ず、したがつて冷却速度の異なる管状炉を製作し小試片を 940°C に加熱して種々なる冷却速度で炉冷して硬度を測定し硬化能を比較した。第2図は冷却速度を変えた場合の硬度と V, Mn% との関係を示すもので V は 0.48% 添加で硬化能最大となりそれ以上の V% では硬化能減少の傾向を有する。又 Mn は著るしく硬化能を大ならしめる。French<sup>3)</sup>の与えた計算式により 6'' の

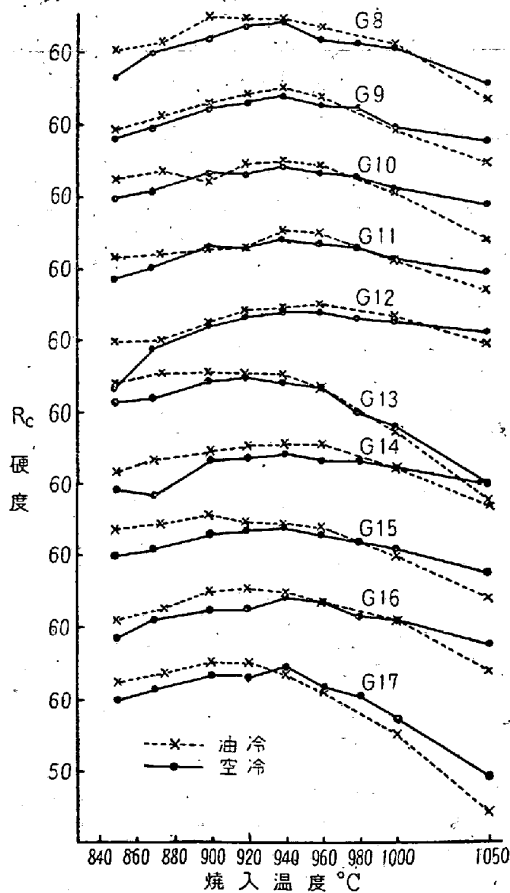


第2圖 硬化能に及ぼす V, Mn の影響

×6" の大きさの中心における冷却速度を求めると 8・6°C/min (540°C) となる。従つて今 940°C から 6"φ×6" の block を空冷した場合の中心硬度を第2図の關係より近似的に求めると V を含まぬ G-13 は Rc 51・5, G-9, G-10 は Rc 56, G-12 は Rc 54, Mn の高い G-17 では Rc 62 を示すことがわかる。

(3) 焼 入 硬 度

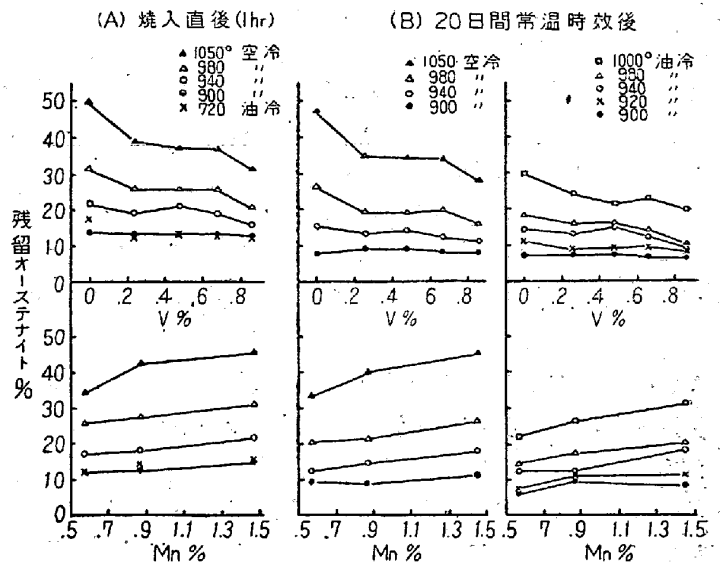
8×10×12 の小試片を種々の温度より油冷及空冷して硬度を測定した結果は第3図の如くで油冷の場合には 900~940°C, 空冷の場合には 920~960°C で夫々最高硬度が得られるが油冷の場合の方がやゝ硬度が高い。焼入温度を高めてゆくと, V, Mn% によつて差はあるが一即ち V% の多くなるにつれて高目に, Mn% よつて低目に移動するが—980°C 前後で油冷と空冷との硬度が一致するがこれ以下の焼入温度では空冷の方が硬度は低い。これは後述の如く空冷のが油冷よりも残留オーステナイト量多く, 又炭化物の析出も多くて地の Cr 及び C 濃度が低下することによるものと考えられる。而して V の多くなるにつれて最高硬度の得られる温度がやゝ高目に移動し Mn の多くなるにつれて低目にうつる。最高硬度に及ぼす V, Mn の影響は殆んど認められぬ。



第3圖 焼 入 硬 度

(4) 残留オーステナイト量

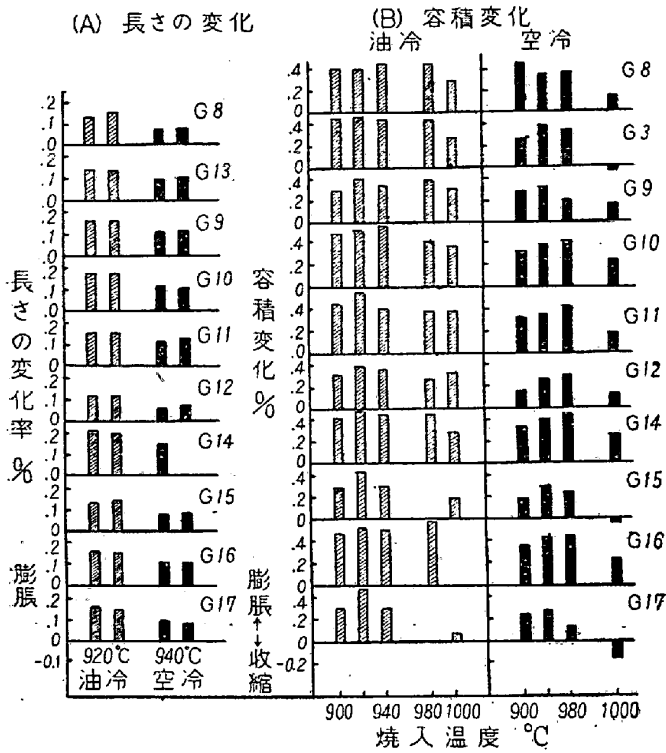
焼入歪は焼入に際して生ずる αM の炭素含有量と共に残留オーステナイト量に密接な關係を有するため各温度より油冷, 空冷した場合のオーステナイト量を磁気継鉄法により求めた。焼鈍状態及び焼入状態の磁気飽和値を夫々 4πI<sub>∞</sub>, 4πI'<sub>∞</sub> とすれば 4πI<sub>∞</sub> - 4πI'<sub>∞</sub> × 100% が残留オーステナイト量となる。磁場の強さを 2,000 エルステッドにすると磁氣的に殆んど飽和するのでこの強さを採用し, 7φ×50 試片を 900~1050°C 空冷, 920~1000°C 油冷して測定した。第4図(A)は焼入直後に於て測定した結果でオーステナイト量は焼入温度上昇によつて増加する。又 V の多くなるにつれて減少し Mn の多くなる程増加するがこの傾向は焼入温度が高くなる程著しくなる。(B)は油冷及び空冷した試片を常温で 20 日間時効させた後の値で残留オーステナイトは常温時効によつていくらか分解するため焼入直後の値より減少しているが油冷の場合のが空冷より残留オーステナイトは少ない。



第4図 残留オーステナイト量と V, Mn% の關係

(5) 焼入による長さの變化

5φ×65 の試片を用い中央 50mm の距離に角度 60°, 深さ 0・3mm の切込を入れて, この間の變化をツァイス製万能測長器で測定した。真空中で加熱し 920°C 油冷, 940°C 空冷した場合の結果は第5図(A)に示す如くで何れも焼鈍状態より膨脹しているが空冷の場合のが油冷の場合より変化率小である。Mn 0・79%, V 0・86% の G-12 が最も変化率小さく 940°C 空冷で +0・063%, 920°C 油冷で +0・116% である。又 G-15 (Mn

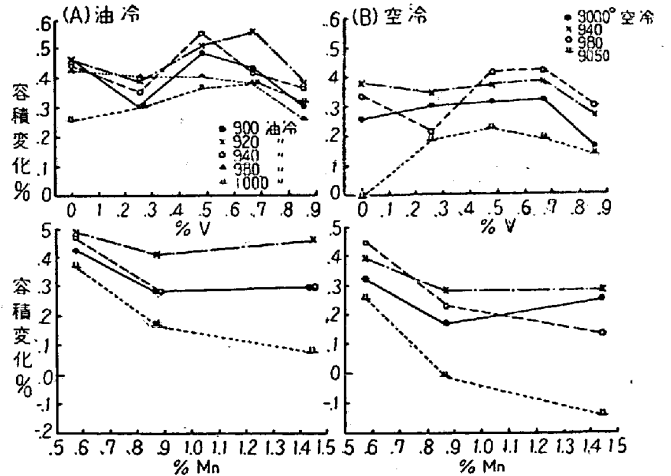


第5圖 焼入による長さ及び容積の變化

G-8 (Mn 0.87%, V 0.31%) 及 G-17 (Mn 1.45%, V 0.29%) も変化率小さく、940°C 空冷で夫々 +0.081 及 +0.089% であるが、Mn の低いものは最も長さの變化率が大きい。

(6) 焼入による容積變化

水中秤量法により焼鈍、焼入状態の比重を測定し、この変化より焼入による容積變化を油冷、空冷の場合について求めた結果は第5圖(B)の如くである。焼入温度の低い場合には硬度も低いがαM中の炭素濃度低く容積の膨脹も小さい。温度が上昇すると残留オーステナイトが増加し硬度も低く容積の膨脹量も減少し、1050°C 空冷の場合には収縮するものもある。最高硬度の得られる焼入温度では容積膨脹量は大きくなるが空冷の場合には油冷の場合に比して膨脹量が小さい。940°C 空冷の場合 V 0.86% を含むものが最も小さく、容積膨脹量は 0.27% である。第6圖は油冷及び空冷の場合の容積變化率に及ぼす V, Mn の影響を示すもので 900~940°C 油冷では容積膨脹量は V 0.26% で減少し、これより V が増加すると膨脹量は増加し、V 0.86% で再び小となる。Mn の影響は 0.87% で膨脹量は減少しこれより Mn が多くなると僅か膨脹量が增加する。900°C 空冷では、V 0.67% までは僅かに容積膨脹量は増加し、V 0.86% では急に減少する。940°C 空冷では V 0.26% で僅か減少しそれ以上はやゝ増加し、V 0.86% で再び減少する。又 900,

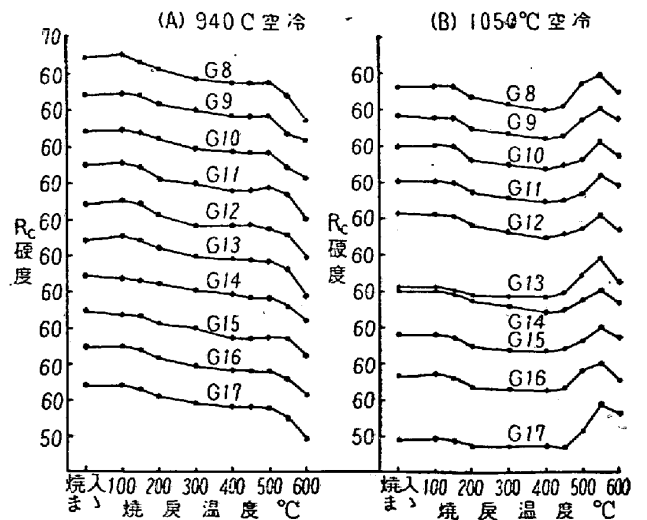


第6圖 焼入による容積變化に及ぼす V, Mn の影響

940°C 空冷の場合 Mn の低い場合には膨脹量は大而 Mn 0.87% で最小となり、これ以上 Mn が多くなると膨脹量も大となる傾向がある。

(7) 焼戻硬度

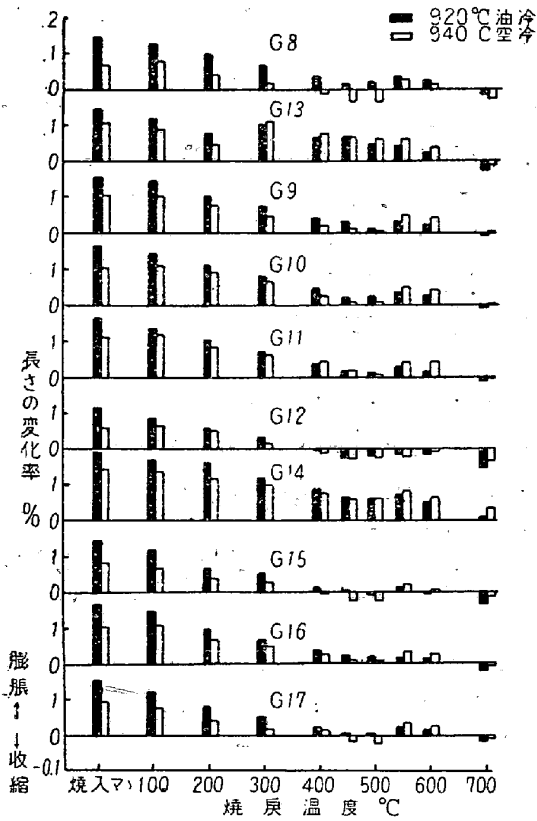
小試片を 920~1050°C 油冷、940~1050°C 空冷後 100~600°C の各温度に焼戻して硬度を測定した。940°C 空冷の場合 V, Mn による差は別に認められず 100°C で僅か硬度を上昇し 200°C でやゝ急激に減少するが 300°C より 500°C までは硬度の低下は緩慢で Rc 58 前後となりそれ以上は急激に低下する。焼入温度を上昇してゆくと 980°C 空冷より 500°C 附近に二次硬化が現われはじめ、1050°C 空冷になると 550°C にかなり顯著に二次硬化を生じ Rc 60 前後に達するが V 0.48, 0.67% を含むものが最も硬度高く V を含まぬものは最も硬度が低い。第7圖に一例を示す。油冷の場合にも大体同様のことが云える。



第7圖 焼戻硬度曲線

(8) 焼戻による長さ及容積の變化

920°C 油冷及び 940°C 空冷して長さの變化率を測定した試片を用いて 700°C までの各温度で 1hr 焼戻して長さの變化を測定した結果は第8図の如くでVを含まぬ G-13 は300°C で膨脹を示しているがVを含むものは 400°C までは次第に収縮し 550~600°C で残留オーステナイトの分解によつて膨脹し 700°C で再び収縮している

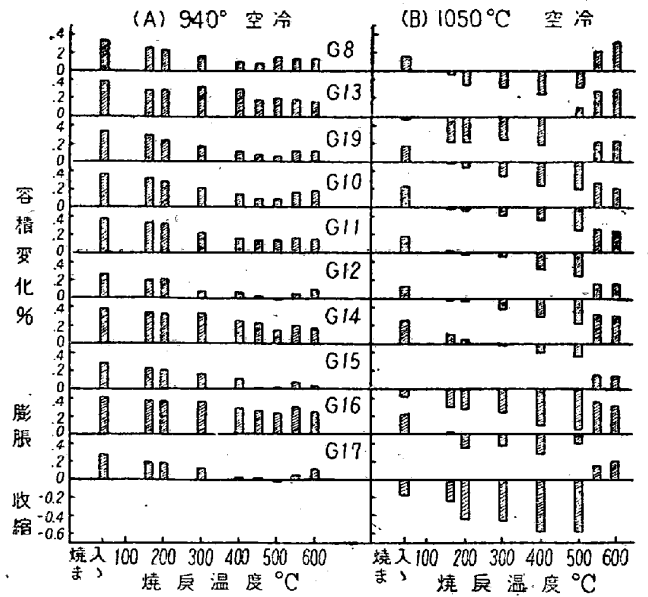


第8圖 焼戻による長さの變化

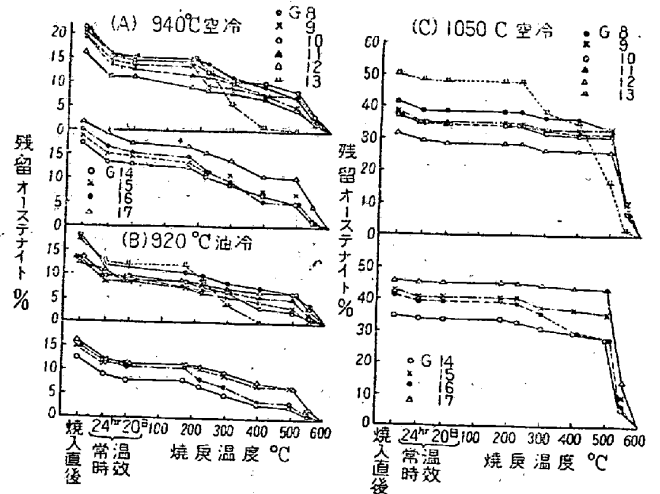
第9図(A)は 940°C 空冷の場合の容積變化を示したもので長さの變化と同様な傾向を示したもので長さの變化と同様な傾向を示している。(B)は 1050°C 空冷の場合の容積變化でVを含まぬ G-13 は 300°C で僅か膨脹し 500~600°C で再び膨脹する。V を含むものは 550°C より著しく膨脹を示している

(9) 残留オーステナイトの分解

第10図(A)(B)は 940°C 空冷及び 920°C 油冷後常温時効及び焼戻した場合の残留オーステナイトの變化を求めたもので何れも焼入後常温時効によつて残留オーステナイトは数%分解し而もその大部分は焼入後24hr 以内に分解する。焼戻によつては 200°C までは殆ど變化なく 200~400°C で徐々に分解し 400~500°C では比較的安定で 550°C より急激に分解し 600°C では



第9圖 焼戻による容積變化



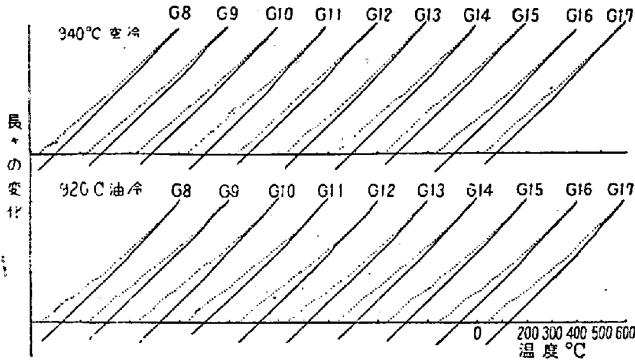
第10圖 オーステナイトの分解

残留オーステナイトは零となる。V を含まぬ G-13 は 900°C で著しく分解し 940°C 空冷では 500°C で、920°C 油冷では 400°C 焼戻で全部分解する。同図(c)は 1050°C 空冷の場合で、焼入温度が高くなると残留オーステナイトは、かなり安定となり常温時効で分解する量が減少し且 500°C までの焼戻に対しては安定で 550°C で急に分解し二次硬化の原因となる。V を含まぬ G-13 は 300°C でかなり分解し、500°C で又著しく分解する。

(10) 常温時効による長さの變化及び焼戻時効變形

長さの變化を測定した試片を用いて常温時効による長さの變化を測定した結果は第2表の如くで、920°C 油冷の場合は何れも焼入状態に対して収縮しているが940°C 空冷の場合にはわづか膨脹を示しており、収縮しても変化

率は少い。次に5φ×80試片を用いて920°C油冷及び940°C空冷後本多式熱膨脹計で室温より2~3°C/minの速度で600°Cまで加熱し再び常温まで炉冷した場合の長さの変化を連続的に測定した結果は第11図の如くで、油冷の場合には140~180°Cでα→βMの収縮が明瞭に現われ焼戻後の収縮量も大きい。940°C空冷の場合にはα→βMの収縮が少なくG-12, G-17等には殆ど認められぬ。



第 11 図 焼戻時効變形

第 2 表 常温時効による長さの變化率

熔 番	920°C 油冷	940°C 空冷
	95日間常温放置	102日間常温放置
G-8	-0.010 %	+0.004 %
-13	-0.001	0
-9	-0.017	+0.005
-10	-0.009	+0.003
-11	-0.013	+0.011
-12	-0.015	+0.012
-14	-0.030	
-15	-0.023	-0.002
-16	-0.013	-0.002
-17	-0.019	0

(+) は焼入状態に対して膨脹したことを示す。

(11) 靱性試験

7φ×50 試片を 940°C 空冷後 175°C で 1hr 焼戻を行い静的曲げ試験で靱性の比較を行った。即ちアムスター試験機により 40mm 支点間の中央に荷重を加え 1/100mm ダイヤルゲージで撓み量の測定を行った。而して破断の際の最大荷重とその時の撓み量を測定して荷重-撓み図より破断までに吸収されたエネルギー値を求めて靱性の比較を行った。この結果は第3表の如くでV 0.26~0.48% で靱性は最大となりVがこれ以上になると靱性は低下す。又 Mn も多くなると靱性を低下する傾向を有す。

III. 総 括

第 3 表 靱性試験結果

熔 番	破断荷重 (kg)	最大撓み量 (mm)	吸収エネルギー (kg-cm)	Rc 硬度
G-8	1,250	1.21	75.5	61.5
-13	1,090	1.08	59.0	60.7
-9	1,300	1.80	84.5	61.0
-10	1,290	1.28	82.5	62.3
-11	1,150	1.14	65.5	61.6
-12	1,190	1.28	64.3	61.4
-14	1,290	1.31	84.5	60.7
-15	1,150	1.20	69.0	62.2
-16	1,230	1.23	75.5	61.6
-17	1,160	1.10	64.0	61.5

以上 C 1%, Mn 0.85%, Cr 5%, Mo 1% に一定にしてVを変化させたもの及び同じ C, Cr, Mo に V を 0.3% に一定して Mn を変化させたものについて試験した結果は次の如し。

(1) 硬化能はV添加によつて 0.48% までは増大しそれ以上のV添加では減少する。Mn は著しく硬化能を高める。

(2) 焼入硬度は 900~940°C 油冷及び 920~960°C 空冷で Rc 64~65 が得られ、Vが多くなるにつれて最高硬度の得られる温度がやゝ高目に、Mnが多くなるにつれて低目にうつる。

(3) 焼入によつて残留するオーステナイトは空冷の方が油冷の場合よりも多く、Vの増加によつて減少しM<sup>n</sup>の多くなるほど増加する。又残留オーステナイトは常温に放置することによつて焼入直後より数%分解する。而して焼入温度の高い程残留オーステナイトは安定化する。

(4) 焼入による長さの變化率は空冷の方が油冷の場合より小さい。V 0.86% の G-12 が變化率最小で又 Mn 0.87%, V 0.31% の G-15 もかなり小さい。焼戻時効變形を求めると油冷の場合には空冷の場合よりもα→βMの収縮が明瞭にあらわれる。

(5) 靱性は V 0.26~0.48% が最大で V, Mn が多くなると低下する傾向を有する。

終りに本研究の発表を許可された石原工場長に敬意を表すると共に、長さの變化率測定に関し種々の御便宜を与えられた東京工大横山教授に深甚の謝意を表します。

又実験の一部を担当された外岡、平山両君にも感謝します。(昭和 28 年 8 月寄稿)

文 献

1) Metals Handbook (1948) 492  
2) William Wilson, T., ASM, 43 (1951) 454

- 3) H. J. French: 'The Quenching of Steels' - 4) 山中, 日下: 鐵と鋼, 38 (1952) No. 11. 923 (1930) 58

## 高圧交流弧光の鐵鋼分光分析への應用

(昭和 28 年 4 月本会講演大会にて講演)

三橋鐵太郎\*\*・中島篤之助\*・白石 裕子\*\*\*

### APPLICATION OF THE HIGH VOLTAGE A. C. ARC SOURCE TO SPECTROGRAPHIC ANALYSIS OF STEELS.

*Tetsutaro Mitsuhashi, Dr. Eng., Tokunosuke Nakashima\* & Miss Yuko Shiraishi*

#### Synopsis:

Apparatus of the high voltage a. c. arc source (4400-2A; 2200V-4A) as the light source of spectrographic analysis was designed and manufactured, and the quantitative spectrographic analysis of manganese, titanium, silicon, nickel, chromium, and arsenic in steel was carried out by it. It was ascertained that the quantitative analysis which had been impossible for small amount of the above elements in steel in the usual spark discharge method, became possible in high sensitivity and about 3~8 percent reproducibility by the above apparatus.

As for the other characteristic, it was proved that there was practically no continuous background and few loss of testpieces on account of a lower temperature of the electrode.

#### I. 序 論

高圧交流弧光は Duffendack 及び Wolf 等<sup>1)</sup>が定量分光分析用光源として用いて以来、特に米国、ソビエトに於て広く應用されているようであるが、吾国では未だ殆んど用いられなかつたようである。著者等は昨年機械試験所鐵鋼研究室に於て此の装置を設計自作し、分光分析用光源として色々の目的に使用して居るが、本報にはその鐵鋼分光分析への應用について報告する。

高圧交流弧光装置は容易に自作も出来、又安価でもある。著者等は最初危険性についてかなり懸念したのであるが、既に 8ヶ月以上使用した結果、II. に述べる程度の注意を払えば殆んど心配はないと考えられるので、各方面で利用される事を望みたい。

本報では鐵鋼中の定量を要求される多くの元素の内、Mn, Ti, Si, Ni, Cr, As について検討したのであるが、之等を選択したのは特別な理由ではなく、単に標準試料の入手の關係若しくは、分光器の分散度により制約

された為である。又分析線対の撰定、発光条件の撰定等について充分微細な検討を行う事も目的として居ない。要するに、高圧交流弧光の (availability) をテストするのに鐵鋼という試料を用いたと云う事である。その為乾板処理法も第 1 表の如く極く普通の方法を用い、光度測定も通常の Twyman 法 (マイクロ・フォトメーターのガルバの振れの比の対数を直接濃度比の対数に対してプロットする方法) を用いた。

高圧交流弧光が優れて居る点として

- 1) 感度 (Sensitivity) は火花法より遙かによい。
- 2) スペクトルの地 (background) が少ない。
- 3) 極温の上昇が少く、直流弧光に比べて試料の損失が少く、之に反しガス温度は却つて高いと言われている<sup>2)</sup>。

\*\* 工業技術院機械試験所, 工博

\*\*\* 同機械試験所員

\* 東京工業試験所