

鋼の清浄度に及ぼす熱処理の影響について (I)

(昭和 28 年 4 月 本会講演大会にて講演)

石 塚 寛*

INFLUENCE OF HEAT-TREATMENT ON
THE CLEANLINESS OF STEELS (I)*Hiroshi Ishizuka*

Synopsis:

In Japan, the recommended method for the microscopic estimation of slag inclusions in steel was established by the 19th Sectional Committee of the Japan Society for the Promotion of Scientific Research, in 1940. In that case, it was prescribed that the test specimen which was cut off should be hardened before polishing, as the preparation of test specimens, in order to harden to the polished surface. This prescription is similar to the Jernkontoret's method of the Iron and Steel Institute of Sweden and to other methods.

The author, however, always suspected whenever he measured the cleanliness of inclusions that the cleanliness might be changed by hardening. The author examined the influence of various heat-treatments on the cleanliness to solve the doubt, with regard to forged specimens of bearing steel (1.10% C, 0.28% Si, 0.38% Mn, 0.008% P, 0.014% S, 1.73% Cr). Results of these tests were summarized as follows:

(1) Both Type A (those easily plastic-elongated by forging) and Type B (left unelongated by forging) increased index numbers of cleanliness and enlarged the thickness of inclusion by hardening. Namely, cleanliness of steel was deteriorated by hardening.

(2) In that case, the higher rose up the hardening temperature the worse became cleanliness.

(3) Inclusion of Type A before hardening were mainly Mn-sulphide and they had visible dove colour. But inclusions of Type A in specimens after hardening exhibited a dark colour, and they were different both in colour and form from sulphide.

(4) From the results of these examinations, the author considered as follows. In estimating the cleanliness of steel, if the self-hardening tendency of the material was great, hardening should be avoided, since hardening might deteriorate the cleanliness in case of such material.

It is necessary to study and investigate again preparation of the test specimen in the recommended method for the microscopic estimation of slag inclusions.

I. 緒 言

筆者はこゝ数年来鋼中の非金属介在物について主として顕微鏡的試験を種々続けて参り、又最近は当所に於て製造されている軸受鋼材の清浄度の測定方面を担当しているわけであるが、最近に至つて鋼の清浄度は熱処理に依つて変る事を確めた。と云うのは現在学振所定の検査方法で清浄度を測定する際には試験片を焼入し表面硬化をなしてから行うのが原則になつてゐるが、日常清浄度を測定する際常に感ぜられる事は、清浄度は焼入によつ

て変りはしないかと云う事であつた。この疑問を解明する為に、2, 3 簡単な試験を行つて見た所、確かに焼入の影響を受けることが確かめられたので、其の後改めてこれ等の関係を詳細に知る為に熱処理方法を種々変えて試験を行つたわけである。

清浄度を顕微鏡的に判定する検査標準として、我が国では昭和 15 年日本學術振興会第 19 小委員会に於て「非金属介在物に依る鋼品位の判定方法」¹⁾が制定され、

* 株式会社日本製鋼所室蘭製作所研究部

現在広く活用されているが、この場合試験片の処理法として、上述した様に切り出した試験片は研磨に完全を期する為に予め焼入して研磨面を硬化させ、又低碳素鋼の如きは肌焼することに決めている。試験片を焼入する事は我が国の学振法のみならず、学振法の制定に当つて主として参考にしたと云われるステーデンの鉄鋼協会に於て制定されたJernkontoret 法²⁾、其の外 Kjerrman法³⁾やベアリング材の品位判定に用いた Diergarten 法⁴⁾等でも同様に規定されて居り、又アメリカの最近の検査標準案⁵⁾ではブリネル硬度約 600 になる様に適当に熱処理する事を規定して居る。この様に顕微鏡で清浄度を判定する場合には研磨面を予め硬化させる事が検査標準制定の一応の基準とされているわけである。所が筆者は本試験結果から斯様な試験片の処理に就ては再検討を加える必要のある事を知つた。

次に試験結果について報告する。

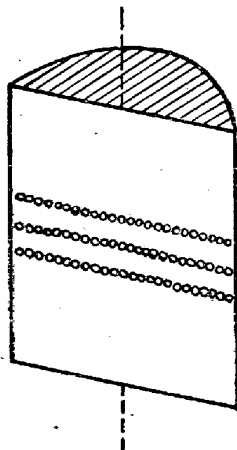
II. 試料及び試験結果

本試験の供試料には次に示す成分の軸受鋼第2種（塩基性電気炉製）を用いた。

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr
1.10	0.28	0.38	0.008	0.014	0.27	1.73

試験片の寸法は 25mm ϕ × 30mm で、これは 1.4t 鋼塊（平均直径 420mm、高さ 1200mm）を 180mm 角に荒地鍛造した鋼材の一部を更に 25mm 丸棒に鍛延し、長さ 30mm に切断したものである。

試験片の熱処理方法は次の様にした。即ち 700°、800°、900°、1000° 及び 1100°C の5種の温度に 40 分間保持し、冷却方法は各加熱温度について夫々炉冷（7°C/min）空冷、風冷、油冷及び水冷等5通りに変えた。これ等合計 25 個の熱処理方法を変えた試験片を中心線に沿つて



第1圖 檢鏡位置

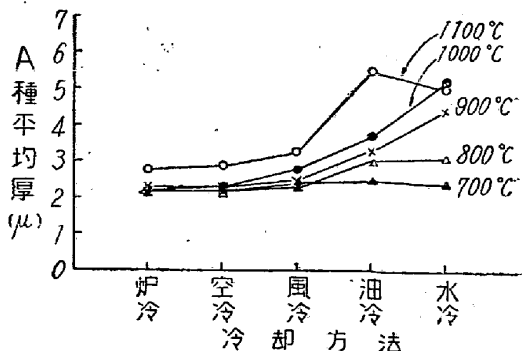
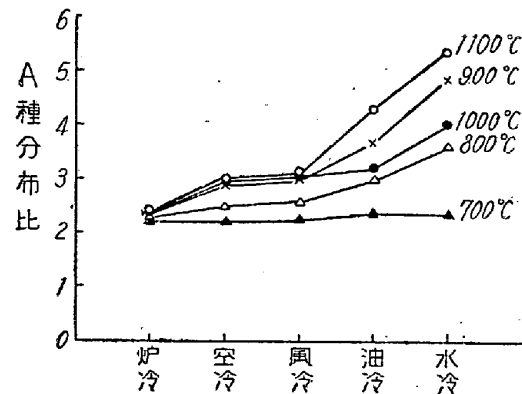
切断し、研磨後学振所定の判定方法に従つて非金属介在物を測定した。第1図に檢鏡要領を示す。

III. 試験結果

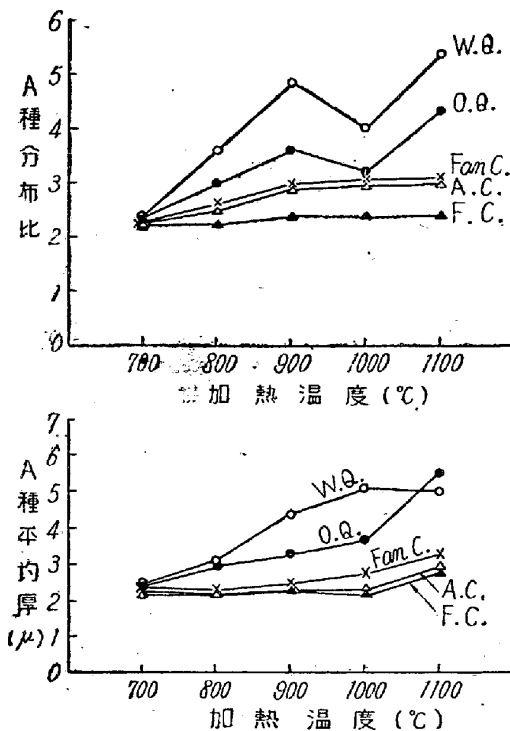
(1) A種の清浄度に及ぼす影響

A種とは加工に依つて粘性変形をなすもので、これは主として硫化物であるが時には珪酸塩もこれに属する。第2図にはA種介在物の分布比及び平均厚に及ぼす冷却方法の影響を示す。図から明らかな様に分布比に就ては700°C 加熱の時は冷却方法に関係なく殆んど一定であるが、800°C 以上の温度に加熱した場合には油焼入及び水焼入の様に冷却速度が速くなるに従い分布比は可成り大となり、清浄度は悪くなる。平均厚に就ても全く同様に700°C 加熱の場合は略一定であるが、800°C 以上に加熱したものは冷却速度が速くなるに従い平均厚は大となりその傾向は加熱温度が高くなる程著しくなる。尚 1100°C 加熱で油冷から水冷にかけて平均厚が僅か小さくなつて居るが、これは水冷で細かいA種が増加した為である。

次に第2図の關係を書き換え、分布比及び平均厚の変化を加熱温度に就て調べたのが第3図である。即ち分布比に就ては、炉冷したものは加熱温度に関係せず略一定であり、空冷及び風冷したものは 900°C までは加熱温度の上昇に伴い僅か高値を示しそれ以上の温度では略一定であるが油冷及び水冷した場合には 900°C までは加



第2圖 A種清浄度と冷却方法との關係

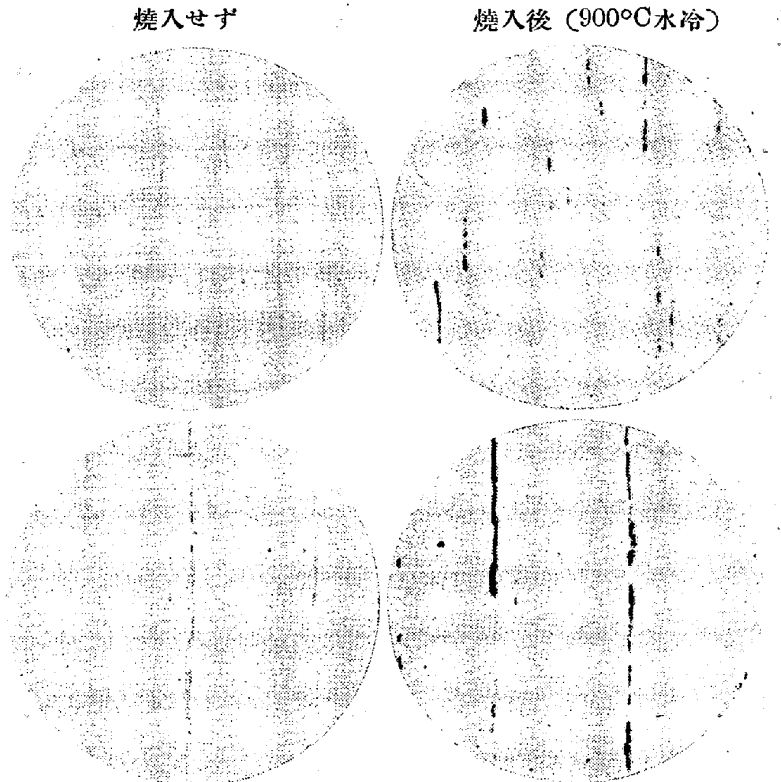


第3図 A種清浄度と加熱温度との関係

熱温度の上昇に伴い急激に増加するが 1000°C で若干減少し 1100°C で再び増加する。平均厚の方は加熱温度の上昇に伴い一般に大となるが、急冷したもの程その増大率は大きい。比較的冷却速度の遅い空冷及び炉冷したものは 1000°C までは変わらず、1100°C 加熱に至つて少しく大きくなつてゐる程度である。

要するに以上の結果から加熱温度を高くする程、又冷却速度を速くする程A種の清浄度は悪くなる事が分る。こゝでA種介在物の形態を良く注意して観察すると、加熱温度が低いか或は徐冷した試料中のA種は主として鳩色をした硫化マンガンであるが、焼入した試料では硫化マンガンは減少して反対に硫化物とは色彩並びに形態の異なつたA型が大部分を占めている。第4図は焼入しない試料と焼入した試料(900°C 水冷)中に見られるA種介在物の典型的実例を示したものであるが、明らかにこの両者は異なつて見え、焼入した場合のA種は黒味がかかり且厚さが大きくなる。尙急冷したものの中には厚さが非常に大となり、A種とB種の判定困難なものも発生して来る。斯様に焼入によつて変化し黒く見えるA種は100倍の検鏡で時に依つて恰もクラック状に見えることがあるので、本報告では便宜上これをクラック状のA種と呼称して鳩色をした硫化物と区別する事にした。

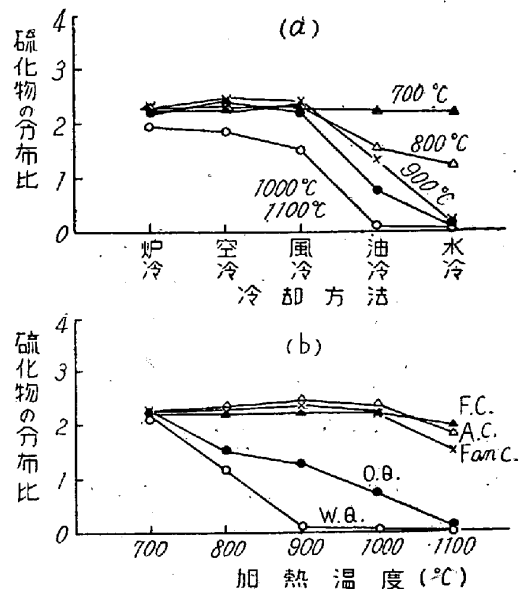
クラック状A種の性状については次報で述べる事とするが清浄度測定の際このクラック状A種と硫化物とは主



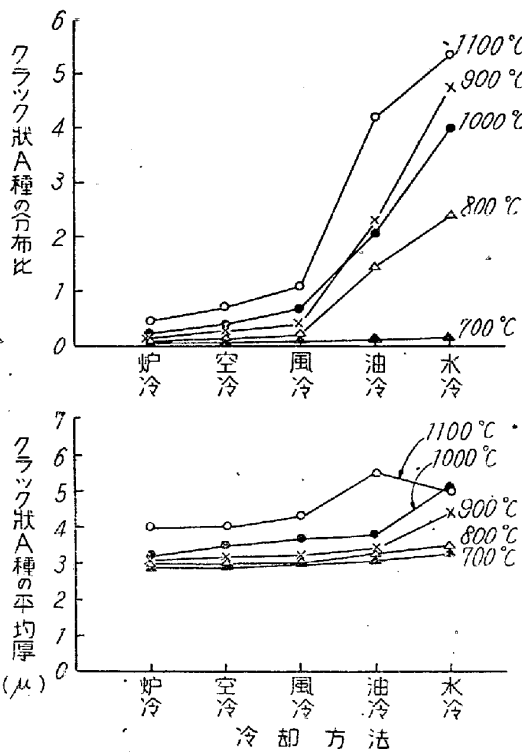
第4図 焼入しない場合、とした場合の清浄度の比較 (x100) (2/3 縮寫)

としてその色彩によつて明らかに識別することが出来るので、筆者は次に全部の試料に就てA種を硫化物とクラック状のものに分類して再び測定した。次にこの測定結果に就て述べる。

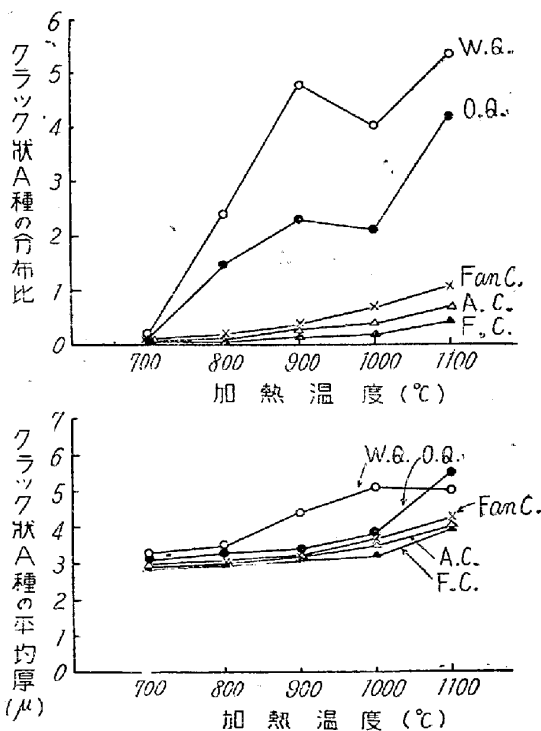
先づ鳩色をした純然たる硫化物については第5図の關係を有する。同図(a)は冷却方法、(b)は加熱温度との關係を示したものである。即ち 700°C に加熱した場



第5図 A種中の硫化物の含有量と冷却方法並びに加熱温度との關係



第 6 圖 クラック状 A 種の含有量と冷却方法との関係

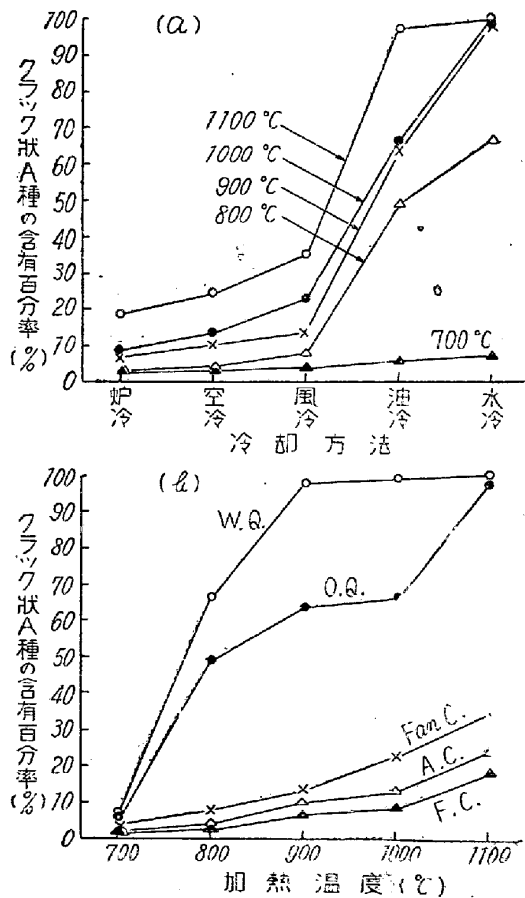


第 7 圖 クラック状 A 種の含有量と加熱温度との関係

合は各冷却方法に拠らず、又炉冷した場合は各加熱温度に拠らず、分布比は変りなく略一定値を示すが、空冷及び風冷したものは 1000°C までは略一定で 1100°C で僅か減少する。これに対して 800°C 以上の温度から急冷した場合には硫化物は減少し、この傾向は加熱温度が

高くなる程著しい。例えば 900°C 以上の温度から水焼入した場合には、100 倍の検鏡では鳩色をした硫化物は殆んど見当らない。尙硫化物の平均厚は各試料共 2.0~2.2μ で略一定であつた。

次にクラック状の A 種に就ては前者と全く相反する傾向を示している。これ等の関係を第 3 図及び第 7 図に示す。即ち第 6 図から分る様に、700°C に加熱した場合は冷却方法と関係なく分布比は略一定であるが、800°C 以上の温度から油及び水焼入するとクラック状 A 種は急激に増加する。又加熱温度との間には第 7 図に示す様に、冷却速度の比較的遅い風冷以下では加熱温度の上昇に伴うクラック状 A 種の増加は比較的僅少であり特に炉冷の場合は極めて僅かであるが、焼入した場合には加熱温度の上昇に伴つてクラック状 A 種は急激に増加する。但し 1000°C 加熱の時は一旦僅か減少し特異な現象を示すが、これ等の関係は先に全 A 種に就て示した第 3 図の関係と全く同様な傾向を持つものである。尙クラック状 A 種の平均厚の変化に就ても上記と略同様に、急冷する程、且加熱温度を高くする程大きくなる。



第 8 圖 クラック状 A 種の含有百分率と冷却方法並びに加熱温度との関係

鳩色をした硫化物と黒色を呈するクラック状A種とを別個に測定した結果は以上の通りであるが、更にA種介在物の全量に対するクラック状A種の含有比率を百分率で求めて見た。第8図(a)及び(b)はこの結果を示す。これ等の関係は今更改めて説明するまでもないが、図から分る様に例えば900°C以上の各温度から水焼入した場合並びに1100°Cから油焼入した場合には総べてA種は殆んど100%クラック状であり、800°Cから水焼入した場合にはA種中の約65%が、又800°C、900°C及び1000°Cから油焼入した場合には夫々約50%65%、同じく65%がクラック状をなしている。これに反し風冷以下の冷却速度の比較的遅い場合にはクラック状のものは各温度共急激に減少する。

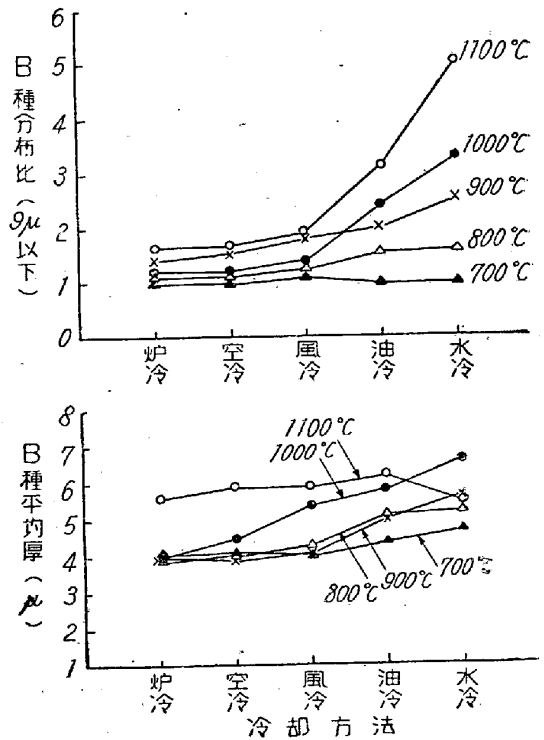
(2) B種の清浄度に及ぼす影響

B種介在物とは加工に依つて粘性変形をなさざる酸化物であるが、この測定に当つては9μ以下の小粒のものと、9μ以上の大粒のものとに分類して測定した。

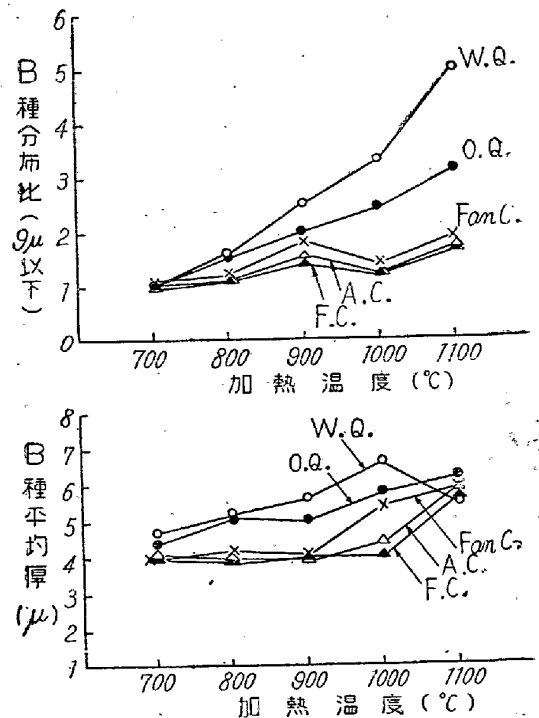
第9図には9μ以下の分布比及び平均厚に及ぼす冷却方法の影響を示す。先づ分布比に就ては、700°C加熱時には冷却方法に関係なく略一定であり、800°C及び900°Cでは焼入によつて僅か増加する傾向を示すが、一般に加熱温度が比較的低い時には大して顕著な変化は見られない。しかし加熱温度が1000°C以上の場合には風冷以下ではあまり大差ないが、油及び水焼入で分布比は急激に増大する。平均厚の変化は各温度共冷却速度が速くなると一般に大きくなるが、この傾向は加熱温度が高くなる程著しい。

次に第9図の関係を書きかえ、分布比及び平均厚と加熱温度との関係に就て示したのが第10図である。図から明らかな様に油及び水焼入した場合には加熱温度の上昇に伴い分布比は増大する。風冷以下の冷却速度の比較的遅い場合には相対的に見て前者程大きな変化は無いが唯900°Cから1000°Cにかけて分布比は一旦減少する傾向を示している。平均厚の変化に就ては、油冷及び水冷の場合には加熱温度の上昇に伴い厚さは大きくなるが風冷以下では1000°C附近から大きくなる。尙同図及び前第9図から分る様に1100°C水冷で平均厚が小さくなつては、これは先に第2図で示したA種の場合と同様に細かいB種が多量に増加した為である。

以上は9μ以下のB種についての結果であるが、9μ以上のものに就ては第11図の関係を有する。この大型のB種の分布比は9μ以下のものに比べて可成り少いが今迄述べた結果と同様に急冷する程又加熱温度を高くする程増加する。これ等大粒のB種は殆んど総てが凹部で



第9図 B種清浄度 (<9μ) と冷却方法との関係

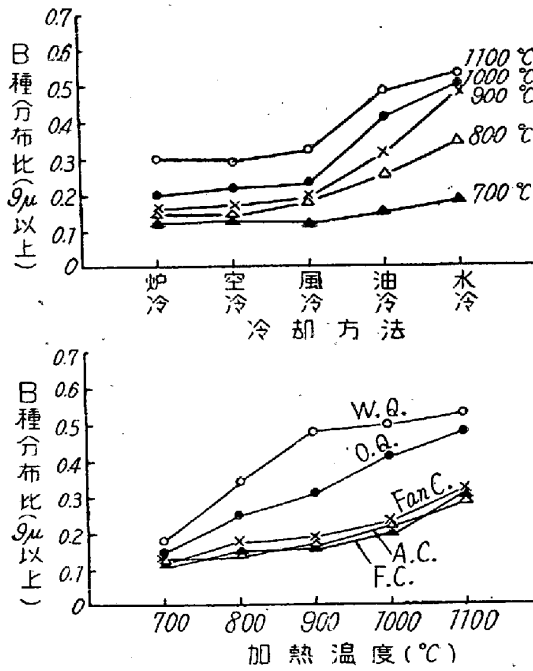


第10図 B種清浄度 (<9μ) と加熱温度との関係

ある。

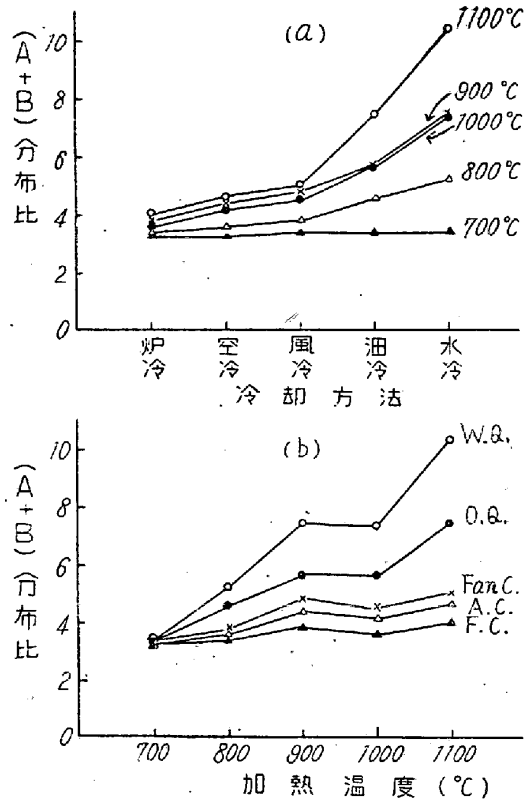
(3) (A+B) 清浄度との関係

熱処理による清浄度の変動は以上の結果に依つて明らかであるが、更に(A+B)清浄度との関係に就ても一応取纏めて見た。第12図にこの結果を示す。これ等の



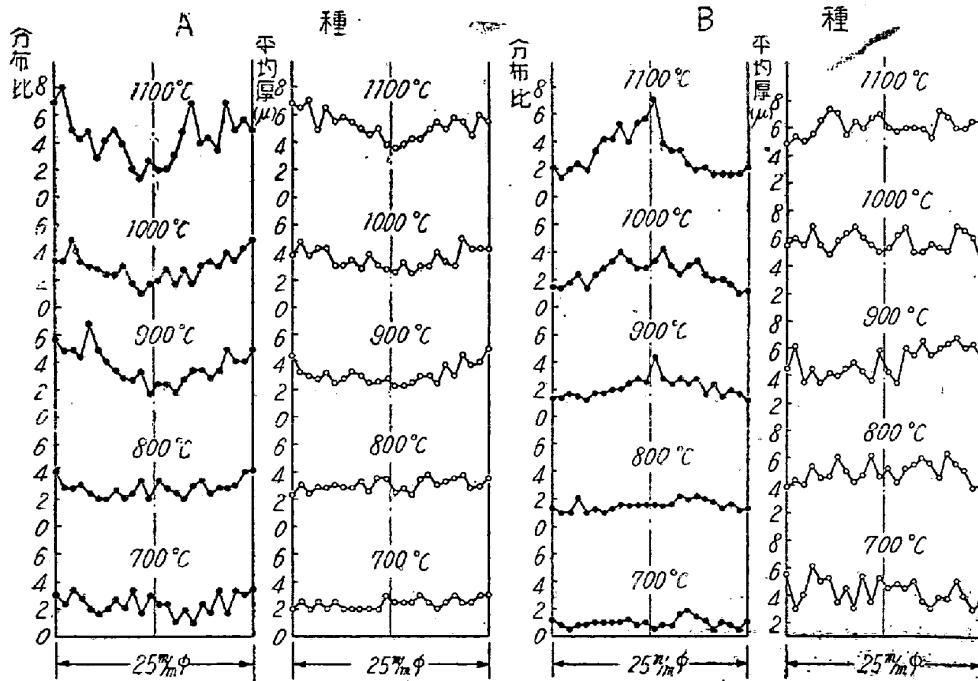
第 11 圖 9μ 以上の B 種清淨度と冷却方法並びに加熱温度との關係

關係は云うまでもなく A 種、B 種個々の影響に就て示した結果と略同様な傾向を示すものであつて、茲で改めて説明するまでもないが、唯加熱温度との關係に於て各冷却方法共 1000°C では温度上昇の割に分布比は増加せず、その値は 900°C と略同等か或は返つて減少する傾向が見られる。この様な傾向を示す事は既に第 3 圖及び第 10 圖で示した様に、A 種は油冷及び水冷の場合、B



第 12 圖 (A+B) 清淨度と冷却方法並びに加熱温度との關係

種は風冷、空冷及び炉冷の場合共に 900°C から 1000°C にかけて分布比は一旦減少する傾向を示す事から当然肯かれる事であるが、この様な傾向を示す事は興味ある現象である。



第 13 圖 試料内外の清淨度の分布曲線 (油焼入の場合)

(4) 試料内外の清浄度の分布曲線

本試験に用いた試験片は最初に述べた様に 25mmφ × 30mm で、熱処理後中心線に沿って切断し、その切断面を第 1 図に示した要領で一端から他端に向つて順次介在物量を測定していつたわけであるが、測定中に感ぜられた事は或る試料では試料の外側と中心部とでは清浄度が異なっている事であつた。依つて筆者は A 種及び B 種清浄度の試料内外に於ける分布曲線を全部の試験片に就て一応調べて見た。その結果一般に焼入した場合には試料内外の清浄度に差がある事が認められた。即ちこの差異は焼入温度によつても異なるが、A 種は試料の外側に多く中心部に向うに従つて少くなるに反し、B 種は反対に外側が少なく中心部が多くなっている。しかしこの傾向は同じ焼入でも水焼入した場合よりも油焼入した場合の方が比較的顕著であり且明瞭に認められるのであつて今油焼入した試料の平均分布曲線を各焼入温度について示すと第 13 図の如くなる。この場合平均厚についても A 種は、試料の外側は中心部に比べて厚さが若干大きくなつて居り、比較的明瞭な差異が認められた。しかし B 種の平均厚については差は認められない。

尚風冷の場合でも加熱温度が高い時のみ、A 種の分布比について上記の傾向が僅か認められた。

IV. 結 言

本試験によつて鋼の清浄度は熱処理の影響を受ける事を明らかにした。要約すると

(1) 焼入によつて A 種及び B 種介在物共にその分布比を増し且平均厚も大きくなり、随つて鋼の清浄度を悪くする事である。

(2) 焼入前の A 種は主として鳩色をした硫化マンガンであるが、焼入後の試料に見られる A 種は黒味がかり硫化物とは色彩並びに形態を異にする。

(3) 焼入が清浄度に及ぼす影響は、焼入の温度を高くする程著しい。

(4) 高温から焼入した場合は A 種及び B 種何れに対しても極めて清浄度を悪くするが、比較的低温から焼入

した時には、どちらかと云えば B 種よりも A 種の清浄度の方が悪くなる度合が大きい様である。

(5) 本試験に用いた試験片の直径は 25mm であるが焼入すると A 種は試料の外側に多く、中心部に向うに従つて少くなる。B 種は反対に中心部が多くなる。

本試験ではこれ等の試験結果のみを詳述したが、焼入した試料中の介在物の形態学的調査並びに上記現象の考察については後報に譲る事とする。

尚本報告は高炭素低クロム鋼についての試験結果であつて、他の合金鋼及び炭素鋼については引続き試験中であるが、最後に筆者は次の様に考えている。それは現在学振法で非金属介在物を測定する際には試験片を焼入して研磨面を硬化させてから測定する事になつて居るが、自硬性の強い材料の場合には焼入すると返つて清浄度を悪くする恐れがあるから、この様な材料の場合には焼入せずに検鏡する様にしては如何であろうか。学振法に於ける試験片の処理法については再検討する必要があると考える。大方の御批判を願する次第である。

終りに臨み、本研究の発表を許可された株式会社日本製鋼所に敬意を表すると共に、御指導を頂いた室蘭製作所阿部富美夫研究部長、工学博士下田秀夫研究部長代理並びに越谷粕蔵管理課長に深く感謝の意を表する次第である。(昭和 28 年 5 月寄稿)

文 献

- 1) 倭 國一: 鐵と鋼, 第 26 年, 第 5 號, 367 頁
- 2) Jernkontorets Tekniska Byrå Slaggskala för Bedömning av Slagginneslutningari Stål, 1936, Stockholm.
B. Rimman, H. Kjerrman & B. Kjerrman: Jernk. Ann., 120, 1936, 199; Archiv f. d. Eisenhüttenw., 10 (1936/37), S 205
- 3) H. Kjerrman; Jernk. Ann., 113, 1929, 181; Stahl u. Eisen, 49, 1929, 1346.
- 4) H. Diergarten: Archiv f. d. Eisenhüttenw., 10, 1936, 197; Metal Progress, 32, 1937, 269.
- 5) A. S. T. M. Standards, Part 1, 1949, p 1312.