

#### IV. 実験結果

##### (1) 腐蝕性ガスの種類および腐蝕条件

腐蝕性ガスとしてはハロゲン、ハロゲン化水素およびハロゲンのアンモニウム塩等がある。その代表的なガスである  $\text{Cl}_2$  および  $\text{HCl}$  ガスで実験した。

$\text{Cl}_2$  ガスは反応性に富んでいるため、ガス圧および腐蝕時間を極度に小さくしなければならず、さらに鋼種および試料温度の変化に伴うガス圧および腐蝕時間の調節が困難である。すなわち、わずかの過剰腐蝕でも凹凸がはなはだしく観察不可能となる。また拡散ポンプの Hg あるいは油、回転ポンプ等の装置の損傷もいちじるしく衛生的にもよくない。

$\text{HCl}$  ガスにより、試料温度、ガス圧、および腐蝕時間を種々変化せしめて実験した結果、軸受鋼の場合、試料温度が  $700^\circ\text{C}\sim 850^\circ\text{C}$  であればガス圧約  $2\text{mmHg}$  で約  $3\text{mn}$  が最も適当であつた。いうまでもなく、目的とする組織により、ガス圧および腐蝕時間を適当に変化させなければならない。

##### (2) $\text{HCl}$ ガスによる軸受鋼高温組織の観察

###### (i) 球状化焼鈍過程の観察

本実験に使用した試料は圧延のままの状態のもので、この状態では組織は初析セメンタイトとパーライトである。このものを  $\text{Ac}_1$  点直上  $780^\circ\text{C}$  に保持すると層状

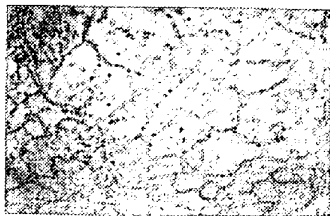


Photo. 1. Structure on spheroidizing treatment etched HCl gas  $780^\circ\text{C}\times 5\text{h}$   $\times 350(2/3)$

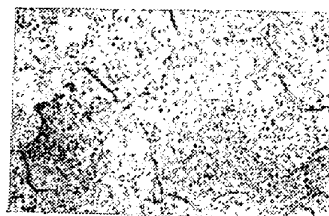


Photo. 2. Structure on spheroidizing treatment etched HCl gas  $780^\circ\text{C}\times 20\text{h}\rightarrow 700^\circ\text{C}$  (Cooling rate  $25^\circ\text{C}/\text{h}$ )  $\times 350(2/3)$

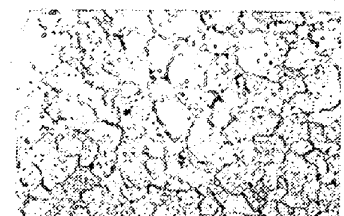


Photo. 3. Austenitizing structure etched HCl gas  $830^\circ\text{C}\times 20\text{mn.}$   $\times 350(2/3)$

セメンタイトおよび初析セメンタイトの熔解が起る。この熔解は時間とともに進行するが、パーライトの層は比較的簡単に切れて短時間で点状のセメンタイトの微粒となる。Photo. 1 に見るごとく、 $780^\circ\text{C}$  に 5h 保持した場合、パーライトの層は全く原形をとどめないが、初析セメンタイトの方は時間とともに切断はされるがパーライトよりも熔解され難い。また写真において新しいオーステナイトの粒界が見られる。同時に網状セメンタイトの痕跡として前のオーステナイトの粒界が観察され比較することができる。

$780^\circ\text{C}$  に 20h 保持後、 $25^\circ\text{C}/\text{h}$  で冷却すると球状化セメンタイトの組織となるが、セメンタイトの析出の状態と結晶粒の成長の様相も観察し得た。(Photo. 2)  $780^\circ\text{C}$  に 5h 保持後一旦  $\text{Ar}_1$  点以下に冷却しふたび  $\text{Ac}_1$  点以上に加熱した場合、残留するセメンタイトの微粒は減少し、ゆえに核が少くなり焼鈍後のセメンタイト粒は多少粗くなるが大きさが均一になる傾向が認められた。また  $780^\circ\text{C}$  より高温に保持した場合は、かなり早く熔解が進むのが認められ、したがって保持時間を短縮することが可能と考えられた。

(ii) 焼入温度に保持した場合の組織の観察  
軸受鋼は使用される際、一般に  $830\sim 840^\circ\text{C}$  より油焼入後  $150\sim 160^\circ\text{C}$  焼戻が施されるが、ここでは保持温度  $830\sim 850^\circ\text{C}$  保持時間  $20\sim 60\text{mn}$  として実験を行った。Photo. 3 は球状化焼鈍後、 $830^\circ\text{C}$  に 20mn 保持した時の高温組織である。保持時間の増加および保持温度の上昇によるセメンタイトのオーステナイトへの熔解の進行状態を知ることができた。また同時にオーステナイト結晶粒の大きさについても観察することができた。

#### V. 結 言

以上の実験結果を要約すと、

腐蝕性ガスとして  $\text{HCl}$  ガスは適当であり、軸受鋼の場合、 $700\sim 850^\circ\text{C}$  の範囲でガス圧  $2\text{mmHg}$ 、腐蝕時間約  $2\text{mn}$  により明瞭な組織を現出した。

$\text{HCl}$  ガスを使用した軸受鋼の高温組織を観察し、球状化焼鈍過程の新旧オーステナイト粒界の関係、セメン

タイトの熔解析出の様相、および焼入加熱時セメンタイトの熔解する現象をある程度明瞭に把握した。

#### (66) 軸受鋼の機械的性質におよぼす 非金属介在物の影響

(鋼中の非金属介在物に関する研究— I )

科学技術庁、金属材料技術研究所

工内山 郁・上野 学

Effect of Nonmetallic Inclusions on Mechanical Properties of Ball Bearing Steel.

(On the study of nonmetallic inclusions in steel— I)

*Iku Uchiyama, Manabu Ueno.*

### I. 緒 言

非金属介在物の大きさ、量、分布、種類の問題は、鉄鋼材料において重要視されている。その分布などについては JIS に決められた判定法によつて調べられ、種類に関してはまだ確立された方法は見当たらないが、近年とくに取上げられて介在物の同定に力が注がれている。従来、非金属介在物は鋼の機械的性質に大きな影響を与えるとされ、軸受鋼においてはこの非金属介在物に関して厳密に規定されてきた。すなわち、非金属介在物が軸受鋼の機械的性質とくに寿命に関係しているという観点に立つているものと思われる。

本報告においては、非金属介在物と軸受鋼の機械的性質との関係を調べるために、まず脱酸方法および脱酸剤の量を変えて溶製した軸受鋼につき硬さ試験、曲げ試験、残存セメント量測定、早期寿命試験などを実施し、非金属介在物の量および種類などとの関係を調べた。

### II. 供 試 材

非金属介在物の量を市販軸受鋼のそれより大巾に多くしてその影響を調べる目的のためおよび限られた溶解設備と必要な試験片の量から考えてつぎの方法をとつた。

#### (1) 溶解法

まず、市販軸受鋼 (SUJ-2) を真空中で再溶解 (溶解量最大 8 kg) することにより 7 チャージ溶製し、非金属介在物の少ないものを作つて基本となる原材料とした。次に、これを大気溶解 (高周波電気炉、溶解量 3 kg) することにより故意に汚染させ、脱酸剤としてそれぞれ単独に Al, Si, Mn を添加して計 12 チャージ作製した。

#### (2) 脱酸剤の添加量

Al で脱酸した試料 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub> はそれぞれ Al の添加量が 0.05%, 0.1%, 0.2%, 0.4% で、Si 脱酸の S<sub>1</sub>, S<sub>2</sub>, S<sub>3</sub>, S<sub>4</sub> はそれぞれ Si を 0.05%, 0.1%, 0.3%, 0.5%, Mn 脱酸の M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub> はそれぞれ Mn を 0.05%, 0.10%, 0.3%, 0.5% 添加したものである。溶製した試験材の最終化学成分を Table 1 に示す。

#### (3) 試験片の作製および熱処理

3 kg の鋼塊を鍛造後、3 mm φ の線材に線引し、従来軸受鋼において実施されている熱処理方法に準じて、次の 3 種類の処理を行なつた。

焼入は、840°C, 860°C, 880°C の鉛浴中でいずれの場合も 30mn 保持した後、油焼入し、焼戻しは一様に

Table 1. Chemical composition of test specimens.

	Mark	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al
Al Deoxidation	A <sub>1</sub>	0.94	0.18	0.23	0.026	0.010	1.38	0.08	
	A <sub>2</sub>	0.89	0.23	0.32	0.024	0.009	1.35	0.06	
	A <sub>3</sub>	0.86	0.25	0.35	0.025	0.010	1.35	0.05	
	A <sub>4</sub>	0.92	0.30	0.32	0.027	0.010	1.32	0.04	
Si Deoxidation	S <sub>1</sub>	0.81	0.31	0.25	0.022	0.009	1.34	0.08	
	S <sub>2</sub>	0.91	0.32	0.34	0.024	0.008	1.45	0.05	
	S <sub>3</sub>	0.94	0.49	0.33	0.020	0.009	1.75	0.06	
	S <sub>4</sub>	0.92	0.65	0.36	0.019	0.009	1.42	0.07	
Mn Deoxidation	M <sub>1</sub>	0.91	0.25	0.34	0.022	0.008	1.39	0.05	
	M <sub>2</sub>	0.91	0.25	0.36	0.023	0.008	1.38	0.07	
	M <sub>3</sub>	0.95	0.25	0.53	0.021	0.009	1.41	0.09	
	M <sub>4</sub>	0.89	0.20	0.68	0.023	0.009	1.39	0.08	

150°C × 1 h 保持し、その後空冷した。

### III. 試 験 方 法

#### (1) 非金属介在物試験

非金属介在物の量および分布などの判定は、“JIS G 0555—1957, 鋼の非金属介在物の顕微鏡試験法”によつた。

#### (2) 機械的試験

##### (イ) 硬度

微小ピッカース硬度計により測定した。

##### (ロ) 曲げ強度

“JIS B 1504—1957, 針状コロの曲げ試験法”によつた。

##### (ハ) 残存セメント量

ハルバットカウンターを使用して、線分分析 (lineal analysis) 法で測定した。

##### (ニ) 早期寿命試験

上記機械試験の結果から考えて、妥当と思われる熱処理すなわち 840°C × 30mn 鉛浴中で加熱後油焼入、150°C × 1 h 油中焼戻して空冷した線材を研削、2.81 mm φ × 18 mm のニードルに超仕上げした。これを既報の早期寿命試験機で試験した。

### IV. 実 験 結 果

試験片にみられた非金属介在物の写真の例を Fig. 1 に示す。さらに、非金属介在物の量および種類 (JIS による分類) に対する硬度、曲げ試験結果を Fig. 2, 3, 4 に示す。早期寿命試験結果については当日に示すが、以上の結果からつぎの点が指摘される。

(イ) Al で脱酸した試料では、その添加量の増加にしたがい、B系介在物量が急激に増加し、A<sub>4</sub> 試料においては多量に存在するため、その判定が困難であつた。

Fig. 1. Optical micrograph of inclusions in A<sub>3</sub> and A<sub>4</sub> specimen.

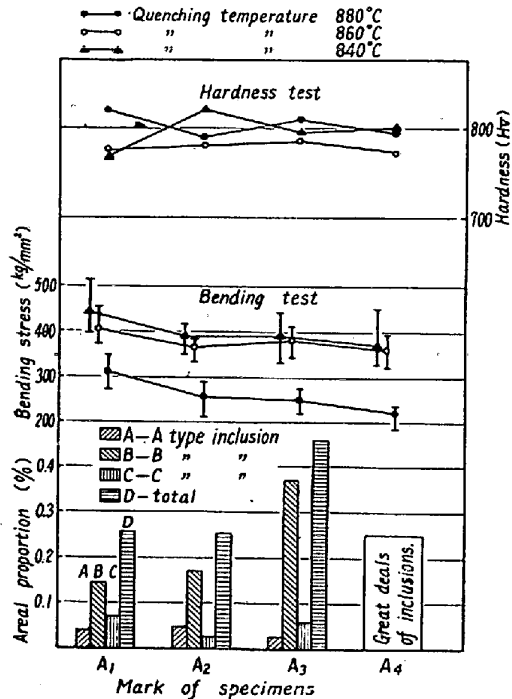


Fig. 2. Specimen deoxidized by alminium.

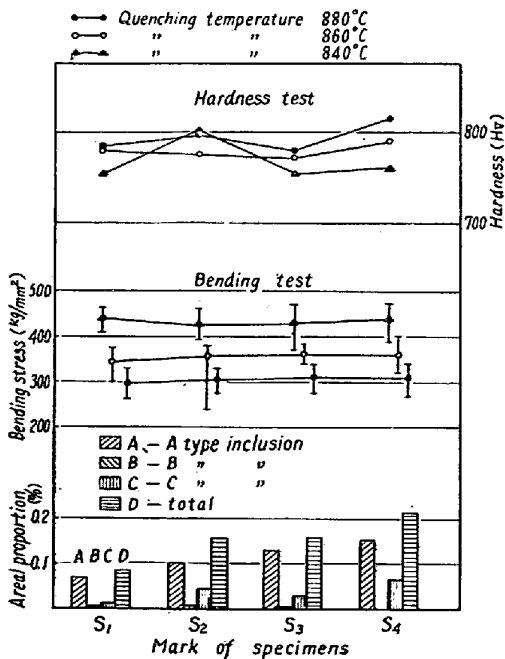


Fig. 3. Specimen deoxidized by silicon.

この中には、線材に圧延した際に割れを生じたものが約

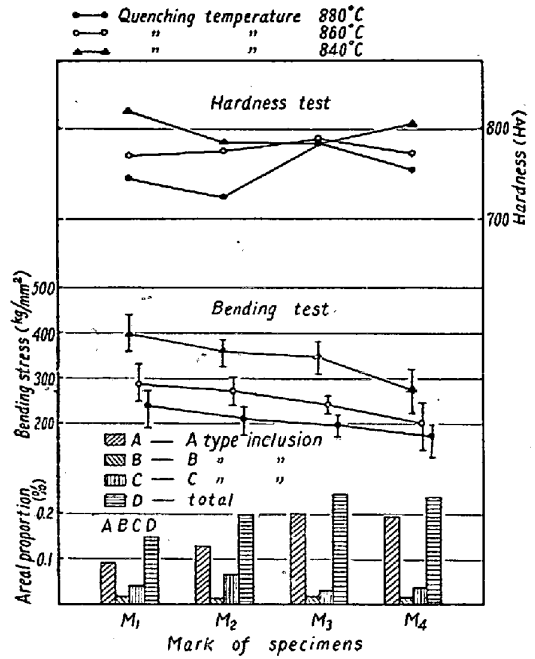


Fig. 4. Specimen deoxidized by manganese.

5%あつた。A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub> 試料においては、主として新学振法のB型分布をしているが、A<sub>4</sub> 試料には主としてC型分布をしている。

Si で脱酸した試料では、その量の増加にしたがい A 系介在物が増加しているが、ガラス状介在物はあまりみられなかつた。

Mn 脱酸の試料においても、Si の場合と同様いずれも伸びたA系介在物が多い。

(ロ) 硬さの変化については、各試料共、焼入温度に対して一様な傾向は見られず、相当バラツキているがこれは試験片の炭素量のバラツキおよび結晶粒度の差異による焼入性の相異によるものと考えられる。

(ハ) 残存セメント量は7~10%の範囲にあり、従来の結果と大した相違はないが、そのバラツキの原因については、上記硬度の場合と同様に考えられる。

(ニ) 曲げ応力の平均を求めてみると、A,S,M 各系列の試料ともに、焼入温度が高いほど低下している。この場合に、曲げ応力のバラツキについてみても、介在物の量の増加に伴い、わずかながら低下する傾向にある。しかしS系列の試料においては、介在物量が変化しても曲げ強度には差がないことが観察された。

(ホ) 早期寿命試験結果については、紙面の都合で当日に示す。