

$$\lambda \approx w \dots \dots \dots (4)$$

と近似することにする。またこの関係は取鍋容量、鋼種、精錬法によつて影響されない。(3), (4) 式より (5) 式がもとまる。

$$p_{max_n} = p_{max_i} e^{-w(n-i)} \dots \dots \dots (5)$$

次に 10 サイクル目の真空度曲線の山とそのサイクルにおける平均圧力 (\bar{p}) との関係はいずれもリーク圧力を差引いて求めた結果

$$\bar{p} = 0.55 p_{max} \dots \dots \dots (6)$$

なる関係で表示できた。この式はサイクル数とは無関係に使用してもよからう。

これらの結果から脱ガスは指数関数的に進行し、1 回当りの吸上量が大きいほど、鋼中含有ガスの減少が速やかであることがわかる。

4.3 処理時の脱ガス量と残留酸素量

中炭素鋼処理時の排ガスを分析した結果の 1 例を示すと、容量%で CO 85.5%, H₂ 6.6%, N₂ 6.6%, O₂ 1.3% であつた。H₂, N₂ については後で考慮することとし、ここではとりあえずリークを除いた排ガスの組成を CO 100% と仮定し、また CO と空気はモル数が近い (1) 式の関係は CO についても成立つと考えることとする。

全溶鋼量を $W(t)$ とし、1 サイクルの周期を $T(s)$ とすると、(1), (5) および (6) 式より処理時の脱酸量として次式が得られる。

$$\begin{aligned} [O\%]_n &= [O\%]_i - (50/60^2) (16/28) \\ &\quad \times (100/1000W) T \sum_{i+1}^n (0.55 p_{max_i}) \\ &\approx [O\%]_i - (4.4 \times 10^{-4} / W) T \\ &\quad \times p_{max_i} \int_i^n e^{-w(n-i)} dn \\ &= [O\%]_i - (4.4 \times 10^{-4} / Ww) T \\ &\quad \times p_{max_i} (1 - e^{-w(n-i)}) \dots \dots \dots (7) \end{aligned}$$

また脱酸剤添加前の真空度を基としてその変化の規則性を延長することにより、キルド鋼の残留酸素量を求めることができる。(7) 式において n が無限大の時、 $[O\%]_n$ は $[O\%]_e$ になるべきであるから次式が求まる。

$$[O\%]_n = (4.4 \times 10^{-4} / Ww) T \times p_{max_n} + [O\%]_e \dots \dots \dots (8)$$

この関係は低炭素鋼の脱酸度の調整にも利用できるであろう。ただし $[O\%]_e$ については分析値を基として各鋼種について推定しなければならない。また前述したように排ガス組成による補正についても考慮しなければならないと考えられる。

処理時の脱炭量は (7) 式からも容易に求まるが、 i サイクル目で分析試料をとり、 j サイクル目の 20mmHg 以下の範囲で真空度を測定して n サイクル目までの脱炭量を知るためには次式によるほうが便利であろう。

$$[C\%]_n = [C\%]_i - (3.3 \times 10^{-4} / Ww) T \times p_{max_j} (e^{w(j-i)} - e^{-w(n-j)}) \dots \dots (9)$$

この式についても同様に排ガス組成による補正を行なわねばならない。

以上述べたように処理時の真空度の変化によつて処理中の脱ガス量、残留酸素量などを推定する 1 つの方法が

求まつた。今後誤差について検討し、種々の補正を行なつて実際操業への適用を計つて行きたい。

5. 結 言

DH 処理時の脱ガス反応におよぼす処理条件の影響を試験し、次の点を明らかにした。

- (1) 有効な脱ガス処理を行なうためには真空槽昇降時のストローク、昇降速度はできるだけ大きくし、停止時間は必要最小限にすべきである。
- (2) 脱ガスは指数関数的に進行し、1 回当りの吸上量が大きいほど鋼中含有ガスの減少は速やかである。
- (3) 真空度曲線の変化から処理時の脱ガス量、残留酸素量および脱酸度を推定する一つの方法が得られた。今後実際操業への適用を計つて行きたい。

(89) 1%C, 1¹/₂%Cr 軸受鋼の DH 真空脱ガス処理について

八幡製鉄, 八幡製造所

○松田 亀松・大場 健二

阿部 春夫・木庭 昌輝

〃 技術研究所 平居 正純

〃 光製鉄所 岡本 一生

Application of DH Vacuum Degassing to the 1%C, 1¹/₂% Cr Bearing Steel at The Yawata Iron and Steel Works.

Kamematsu MATSUDA, Kenji ŌBA,
Haruo ABE, Masateru KOBA,
Masazumi Hirai and Kazuo OKAMOTO.

1. 結 言

軸受鋼の寿命に影響する要因としては、鋼の精錬方法、化学成分、非金属介在物、含有ガス、熱間加工度および熱処理後の顕微鏡組織などが考えられ、寿命値そのものは寿命試験方法によつても異なつた結果が得られるとされているが、これらの要因のうちで非金属介在物の性状がより大きな影響をもつと考えられている。非金属介在物の性状を改善する手段として真空処理が目されるようになり、真空溶解された鋼の長寿命が報告され、最近ではまた大量の溶鋼の処理に適した真空脱ガス法が軸受鋼に適用されるようになって、この面でも多くの研究結果が報告された^{2)~4)}。

八幡製造所ではすでに DH 真空処理による大量生産鋼の諸性質を改善しており、さきに報告⁵⁾したように極厚ボイラープレートなどに DH 処理効果が大きいことを見出している。

DH 処理は脱水素、脱酸などの真空処理効果が大きいことはもちろんであるが、真空処理に伴う温度降下は少なく、造塊工程を乱さないなどの利点のほか真空処理中に合金成分を任意の時期に任意の順序でしかも多量に添加できるので狭い範囲に成分を調整できるばかりでなく、非金属介在物の性状を変化させることも可能である。

DH 処理の軸受鋼におよぼす効果を確めるため 60 t 塩基性電気炉で精錬した溶鋼に DH 処理を施し、各種の

Table 1. Gas content and macro-streak-flaw.

Method	Method of deoxidation	Number of heats	Hydrogen content (ppm)		Oxygen content (ppm)		Macro-streak-flaw test			
			Before degassing	After degassing	Before degassing	Bearing ring	Out of control limit		Total length	
							Number of tested piece	%	Number of tested piece	mm
DHA	Al+Si refine, no alloy added in vacuum vessel	12	4.1	1.7	39	15	141	4.2	79	4.2
DHB	Al+Si refine, Al to vacuum vessel	28			54	14	719	3.1	506	2.9
DHC	Low Si refine, Al, Si to vacuum vessel	7			40	9	330	5.8	160	4.4
Non DH	Al+Si refine	40	4.2			20	998	11.4	734	5.5

処理方法別に主として寿命に影響する非金属介在物に着目してその性状の変化を調査しあわせて寿命試験を行なった。

2. 試験方法

1) 鋼種

1%C, 1.5%Cr 軸受鋼二種. JIS. SUJ-2

2) 工程

60 t 塩基性電気炉でダブルスラグ法で溶製し, DH 処理後鑄型に注入した鋼塊を分塊圧延して丸鋼片とし, 光製鉄所の熱間押出工程により軸受鋼管とした。

3) 試験方法

電気炉内の脱酸法および DH 処理中に加える合金の添加成分を変えてその影響を調べた。A, B, C の 3 方法で行ない, A 法は強制脱酸法にて溶製し成分調整し完全脱酸鋼について DH 処理を行ない, 処理中脱酸材は添加しないもので真空脱ガス前に Al が添加されているので, ここでは脱水素と攪拌効果だけが期待される。B 法は強制脱酸法で溶製し DH 処理を行ない, 処理中 Al を添加するもので Si の存在はこのように高い炭素含有量の場合, 真空処理中の脱酸を妨げないと考えて, アルミナ系介在物の減少を計ったものである。C 法は拡散脱酸で溶製し, DH 処理中 Al および Fe-Si を添加する。アルミナ系介在物の減少を計るために炉内での脱酸を避けかつ真空脱酸をより一層活発にさせるため Al, Si とともに脱ガス終りに添加するようにした。

3. 試験結果

3.1 含有ガス成分

脱水素: DH 処理方法別に水素含有量の差が明確に認められなかつたので, DH 処理法は全チャージまとめてみると, 脱水素率は平均 58% で, DH 処理直後の溶鋼の水素含有量は 1.0~2.5 ppm の範囲にあり, 平均 1.7 ppm であつた。

脱酸: 試験方法別の酸素含有量は, 真空処理前の脱酸が軽度のものほど真空処理後の酸素含有量が減少しており, 非処理鋼に比し真空処理鋼は明らかに低い値を示した。鋼中酸素分析法は DH 処理前については Ar 気送

電気伝導度法, 熱押鋼管では真空溶融法で行なつた。

3.2 非金属介在物

非金属介在物が軸受鋼寿命に大きな影響があることは, 多くの報告で明らかにされており, 特にアルミナ系介在物が主体となる ASTM 法⁽¹⁾による B 型あるいは D 型介在物が有害であり⁽²⁾, それも比較的大きな介在物が成品表面近くに存在する場合に破壊が起こりやすいこ

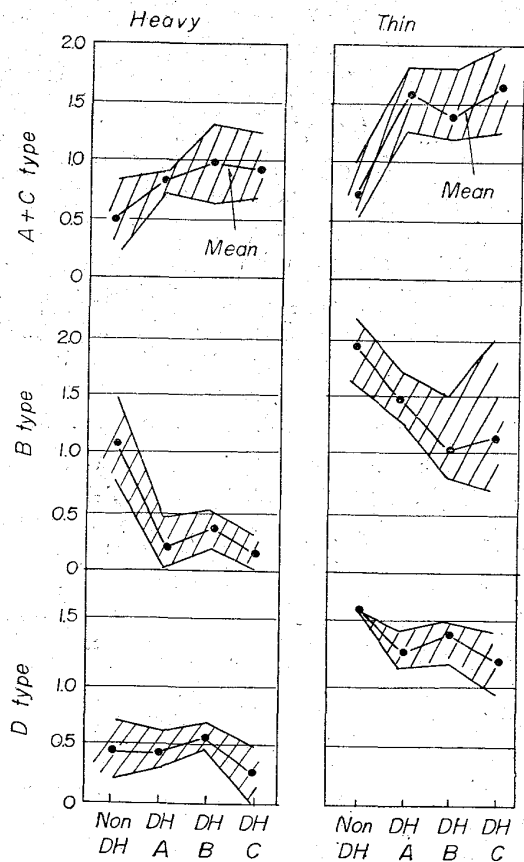


Fig. 1. Cleanliness of bearing ring determined by the ASTM method.

とも認められている²⁾。これらの報告との比較をも考慮して非金属介在物の調査を ASTM 法で行ない、特に大きなサイズの B 型、D 型介在物に注目して比較を行なった。その結果を Fig. 1, 2 に示した。

変形しやすい硫化物が主体と考えられる A 型介在物は

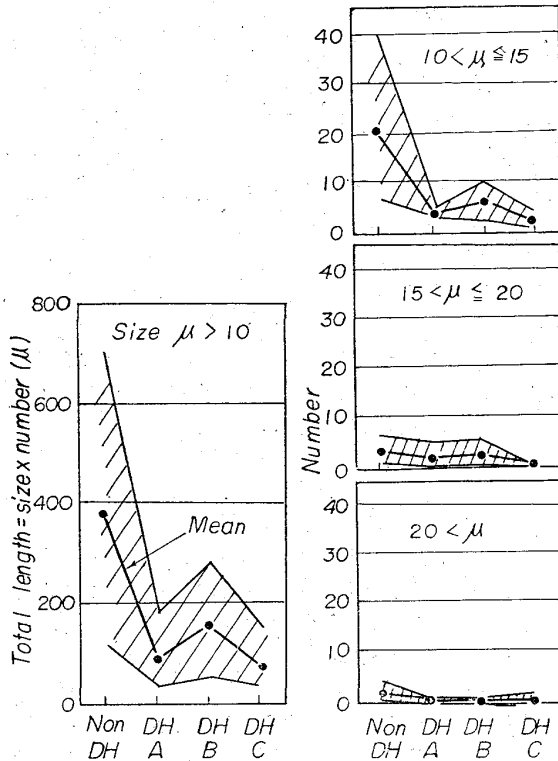


Fig. 2. Comparison of large (B+D) type inclusion between DH treated and non-treated steel.

DH 処理鋼のほうが非処理鋼より多くなっているが問題となる B 型介在物は DH 処理により著しい減少を示し、特に Heavy 介在物に顕著である。また処理方法別では DH 処理前の脱酸の軽度な C 法が B 型介在物が少ないようである。Fig. 2 に Heavy に分類された 10 μ 以上の大型介在物だけをとりあげてみると、DH 処理により著しい減少を示した。反面 DH 処理鋼は A 型介在物が非処理鋼に比し増加を示しているが、これは DH 処理による酸素の減少に伴ない sulphide と oxide との複合介在物が減少すること、および出鋼時の脱酸が軽くなることにより硫黄含有量が増加した結果と考えられる。このような結果は、他の脱ガス方法でも認められている²⁾。

3.3 マクロ組織

DH 処理材のマクロ組織は非処理材に比較し、エッチされやすく、やや多孔質を示している。これは sulphide 系介在物が前述のように顕化した結果と考えられる。

3.4 地疵

試験方法別に地疵換算個数の管理限界はずれの発生率および地疵総長を比較してみると、DH 処理材は非処理材に比較してかなり良好である。DH-C 法は、A、B 法に比較してやや劣っているが、地疵は造塊条件の影響を受けやすいと考えられ、また C 法は硫黄含有量が 0.009~0.010% で他の方法に比し高い含有量であり、また試験数も少なく作業条件も安定しなかつた点にも問題があつたと考えられる。さらに段階検査で認められた地疵を顕微鏡で観察した結果、sulphide 系介在物が認められたものもあつた。その一例を Photo. 1 に示した。これによつて長く伸びた sulphide 系介在物が地疵として観察され得ることがわかる。また DH 法を行なえば (B+D) 型介在物が減少することと共に、これらが sulphide によつて包囲される形となつていることが指摘される。かつその程度も脱ガス前の脱酸度の低いものの方がよいことがうかがわれる。

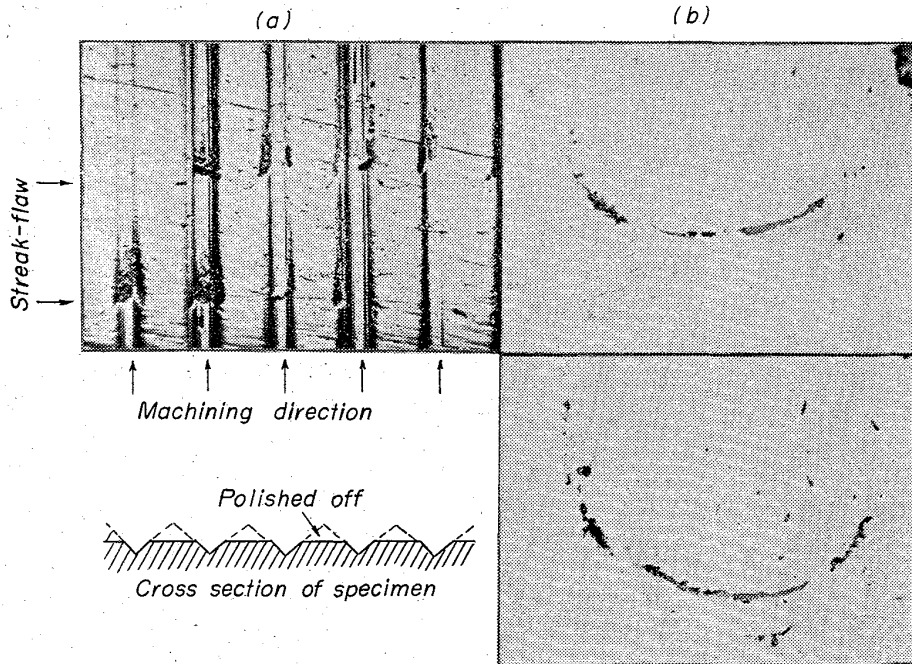
3.5 寿命試験

B 法、C 法と非処理のものとの比較のために、スラスト型寿命試験機による軸受鋼管の寿命試験を行なつたが Fig. 3 にその結果を示す。

試験の結果では DH 処理材は非処理材に比較し長寿命を示し、特に C 法の成績が良好で寿命曲線の傾きも小さく、バラツキが少ない。これは B、D 型介在物特にサイズの大きな介在物が少なかつたことが大きく影響したと考えられる。さきの介在物の項で指摘した (B+D) 型介在物の減少および (B+D) 型に対する sulphide の随伴が、寿命延長の要因と考えられ、この点は文献にみられるところと一致した傾向である。

4. 結 言

DH 真空処理の効果を軸受鋼 (SUJ-2) について確めるため、



(a) Macro-streak-flaw (machined surface) ($\times 50$)
 (b) Sulphide inclusions in macro-streak-flaw ($\times 400$) (Magnification of (a)) (2/3)

Photo. 1. Examples of sulphide inclusion in macro-streak-flaw.

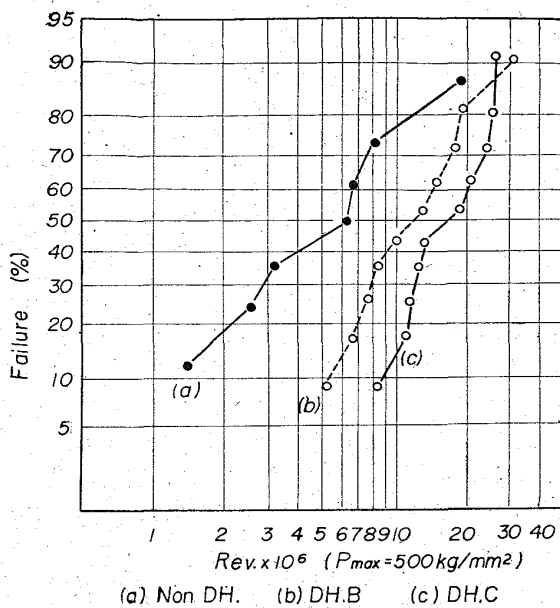


Fig. 3. Comparison of fatigue life for DH treated and non-treated steel.

60 t 塩基性電気炉にて溶製した鋼について真空処理の有無、真空処理については処理前の脱酸方法を変えて製造し、材質の比較を行なった。その結果、水素含有量は平均 1.7 ppm となり、酸素含有量は DH 処理のものは非処理鋼より少ない値を示し、非金属介在物は B, D 型介在物 (ASTM 法) が著しく減少し、特に大きなサイズの B, D 型介在物において顕著であった。また DH 処理により地疵成績が向上し、寿命についても向上が認められた。なかんずく真空処理前の脱酸の程度が少ないほうが酸素含有量、酸化物系介在物が少なくなり、軸受寿命について最も良好な結果となった。

文 献

- 1) J. D. MURRAY and R. F. JOHNSON: Clean Steel; BISI, Spec. Rep., 77 (1963), p. 110
- 2) PERRY: BISI Spec. Rep., No. 92 (1965)
- 3) M. WAHLSTER et ali.: BISI Spec. Rep., No. 92 (1965)
- 4) 結城, 梶川, 他: 鉄と鋼, 51 (1965) 11, p. 2071
- 5) 加藤, 松田, 他: 鉄と鋼, 50 (1964) 11, p. 1775
- 6) ASTM. E-45-62T (Method A)
R. WILCOCK and J. F. SEWELL: Clean Steel; BISI, Spec. Rep., 77 (1963), p. 5
- 7) SEWELL and JOHNSON: J. Iron & Steel Inst. (U. K.), 196 (1960), p. 414
- 8) L. O. UHRUS: Clean Steel; BISI, Spec. Rep., 77 (1963), p. 104
- 9) JACKSON et ali.: BISI Conference (1965) May

(90) 加圧による加速凝固について (加速凝固による優良鋼塊の製造法に関する研究—I)

日本製鋼所, 室蘭製作所

鍵和田暢男・理博○中川 義隆

On the Accelerated Solidification by Pressure.
(Study on the method of sound ingot making by means of accelerated solidification—I)

Nobuo KGIWADA and Dr. Yoshitaka NAKAGAWA.

1. 緒 言

大型鋼塊に発生する欠陥の主成因は、溶鋼の凝固過程における、鋼の固-液態の溶質成分の溶解度、比重、密度などの物理的、化学的性質の相違に基づく各種の現象によるものである。したがって固液間の相変化を制御することが、欠陥の軽減に有効である。例えば鋼塊に発現する各種の偏析現象および、これにともなつて生ずる欠陥は、凝固にあつて、急凝固あるいは一端よりの徐冷などによつて防止可能である。また一方、従来の鋼塊の製造法では、鑄型内に鑄込まれた溶鋼の凝固に際しては、ほとんど自然に凝固されており、積極的な制御がなされていなかった。本研究では、凝固過程の溶鋼を圧力を加えることにより加速凝固させ、鋼塊の諸偏析の消滅、空隙気泡系欠陥と各種介在物の生成の減少をはかるとともに、圧力を加える際に適当な形状として、以後の加工、工程の一部をあわせ実施することを目的とした新しい優良鋼塊の製造に関するものである。

第 1 報においては、主として、加速凝固させるために、圧力を加える理論的根拠と、この確認のための 2, 3 の試験結果について報告する。

2. 加圧による加速凝固およびその効果の基礎

内部に未凝固部分を残す凝固過程の鋼塊をプレスなどによつて、圧力を加えると、次のような理由によつて、凝固が著しく加速され、また、そのために、鋼塊の内部性状に大きな影響をあたえる。

2.1 押金との密着による凝固促進

一般に鑄型に注入された溶鋼が凝固を開始し、最初のうすい凝固殻が生成せられた時期以後、その殻と鑄型壁との接触の状態や間隙の状況により、熱伝達の機構が異なり、したがつて、凝固状況、すなわち、速度や凝固殻の状態などに大きな影響をあたえる。

この場合、凝固殻が鑄型壁より完全に離れ両者の間に空隙ができるまでの間の熱伝達機構として、一般につきのような 2 種類が考えられる。すなわち

イ) 凝固殻と鑄型が熱的および金属的に密着している場合。

ロ) 密着面が極めて少なく、熱流は単に“部分接触”を通じてのみ流れる場合。

一方、鋼塊を押金で圧力を加える場合の熱伝達機構としては、

イ) およびロ) の中間的機構がまた、条件によつては、むしろ、イ) の密着している場合に近いことが予想される。これらの問題については、すでに多くの人々により、研究されているが Savage¹⁾ の計算方法に準拠し、適当な条件を求めて、両者の場合についての、経過時間