

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、したがって、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

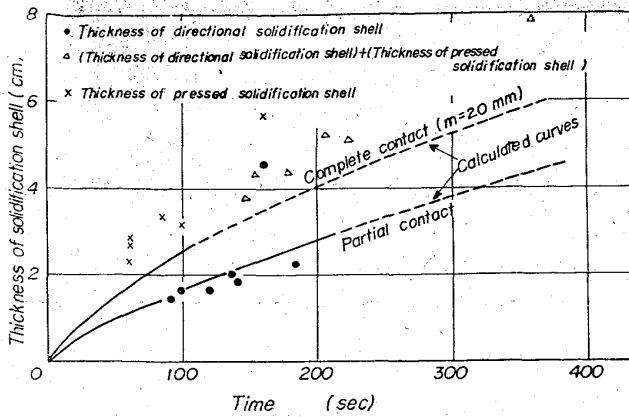


Fig. 1. State of forming solidification shell. (Comparison of observed values with calculated values)

と凝固殻の厚さとの関係を求めると、Fig. 1 に示すごとくである。

すなわち、密着の場合は、部分接触の場合（この場合は鑄型内における普通凝固に相当すると考えられる）に比して、著しく凝固の促進されることが推定できる。

2.2 圧力下における溶鉄の熱伝導率の変化

Bridgman²⁾ などの考え方によると、熱伝導率は、分子間の平均距離が短いほど、大きくなる。溶鉄に圧力を加えることは、溶鉄分子間の平均距離を縮め結果としては、熱伝導率を増大する。圧力を加えることにより最終的には、固体鉄の熱伝導率に近づく。

2.3 圧力下における溶鉄の凝固温度の変化

Clausius-Clapeyron の式により、圧力と凝固温度との関係は、

$$dp/dm = \Delta H_f / T_m \cdot \Delta V$$

であらわされる。

ここで T_m は凝固温度、 p は圧力、 ΔV は凝固前後における溶鋼および鋼の比容積の差、 ΔH_f は相変化の際の潜熱である。上式において、 $T_m > 0$ 、 $\Delta V < 0$ 、また、 $\Delta H_f < 0$ 、であるから、 $dp/dm > 0$ となり、凝固温度は圧力の増加にともなつて、上昇する。上式より溶鉄について圧力と凝固温度との関係を定量的に求めると、Fig. 2 のごとくなる。

すなわち、溶鉄の凝固温度は圧力によつて、かなり大きく、影響を受け、圧力の増加とともに、上昇する。

2.4 圧力を加えることによる、その他の効果

i) 溶鉄の粘性、拡散速度の変化

溶鉄の粘性は、圧力を加えることにより、わずか増大し、したがつて、拡散速度はかなり減少する。この現象は、鋼塊内における各種成分の偏析の軽減に有効である。

ii) 各種ガス類の溶解度の増加

溶鉄中の各種ガス類は、凝固にあつて放出し、気泡系欠陥の原因となり易いが、周知のように圧力を加えることにより、溶解度を増加し、気泡状として発生し難くなり、欠陥の発生が阻止される。

2.5 概 括

以上、凝固過程中的鋼塊に圧力を加えることにより、その凝固がどのような影響を受けるかについて、2, 3, の理論的推定を加えたが、その結果、

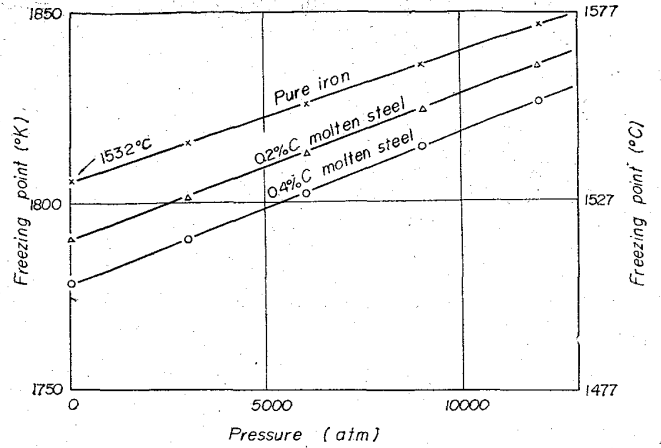


Fig. 2. Relation between pressure and freezing point.

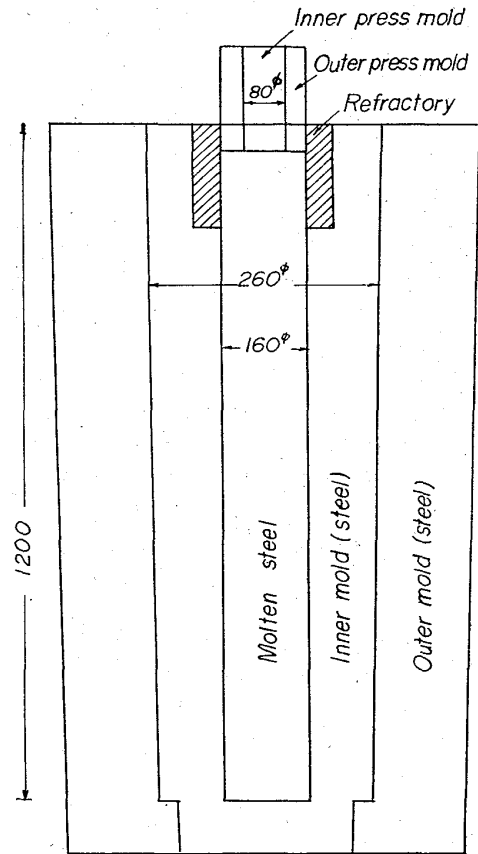


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

イ) 押金と凝固殻との接触が良くなり、押金への熱の移動が容易となる。

ロ) 溶鉄の凝固点が上昇し熱伝導率が良好となる。したがつて、圧力下において、鋼塊の凝固は著しく促進されることが推定され、また、圧力を加えることにより、溶鉄の粘性は、増大し、拡散速度も小となる。さらに、各種ガスの溶解度は増大するので、鋼塊凝固後の内部性状は、偏析の少ない、かつ、気泡系欠陥の少ないものが得られると考えられる。

3. 加圧による加速凝固の確認実験

前章において加圧より、溶鉄の凝固が非常に加速されることを理論的に推定した。以下、比較的、小規模の実

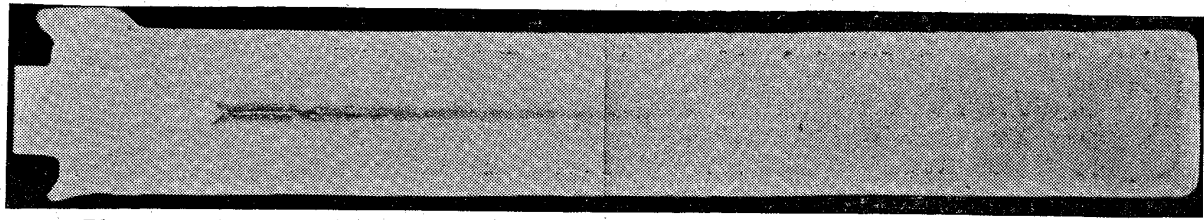


Photo. 1 An example of sulphur print of longitudinal section from experimental ingot.

Table 1. Acceleration of solidification rate by pressure.

Sample No.		1	2	3	4	5	6
Directional solidification	Solidification shell (mm)	22	17	17	14	21	19
	Time (sec)	182	123	100	95	130	135
	Solidification rate (mm/sec)	0.11	0.14	0.17	0.15	0.16	0.14
Pressed solidification	Solidification shell (mm)	>57*	26.5	27	17~23	34	31
	Time (sec)	180	60	60	60	80	100
	Solidification rate (mm/sec)	>0.32*	0.44	0.45	0.28~0.38	0.43	0.31
Pouring temperature (°C)			1570	1580	1580	1580	1570
Pouring time (sec)		85	50	45	40	45	50
Inner mold temperature (°C)		300	300	270	270	270	270

験によりこの点を実証した実験結果について記述する。

3.1 実験方法

3.1.1 要旨

密閉鑄型中に溶鉄を鑄込み、一定時間自然凝固させた後、高圧を加えて凝固せしめ、その縦断面の偏析や組織より、自然凝固層および加速凝固層を確認し、これよりそれぞれの凝固速度を求めて比較した。

3.1.2 実験装置

Fig. 3 に示すような、外型と縦に分割可能な内型とよりなる円筒状の鑄型および内押型がスライド可能な外型と内型とでできた押型よりなる鑄型、ならびに高圧の油圧プレス (270 t) を用いた。

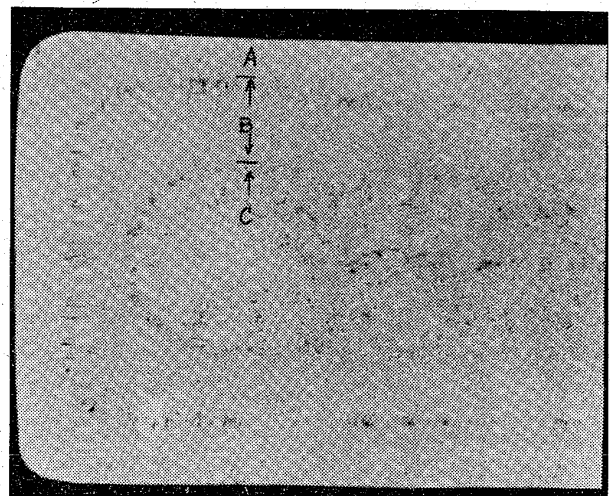
3.1.3 実験順序

- 鑄型に溶鋼 (C 0.30%, Si 0.30%, Mn 0.45%, S 0.02%, P 0.015%) 約 150 kg を鑄込む
- 一定時間放置後、プレスにより押型 (内, 外, とも) 通じて溶鋼に圧力を加える。
- さらに一定時間、内押型のみで圧力を加えて、溶鋼を加圧する。
- 完全凝固後、これを縦断し、サルファープリント、マクロ腐食などにより、偏析や組織より凝固状況を求める。

3.1.4 凝固速度の求め方

凝固速度は次の要領により求めた。すなわち、Photo. 1 のサルファープリントのごとく、サルファープリントの濃化部分が、2本の線状にあらわれている。これは後に述べるように、加圧時の硫化物あるいは、硫黄などの多量に含まれる不純溶鋼の移動に原因するものである。

したがって最外殻より第1のサルファープリント濃化



A zone: Directional solidification shell
 B zone: First pressed solidification shell
 C zone: Second pressed solidification shell
 Directional solidification velocity A/time
 Pressed solidification velocity B/time

Photo. 2. Measuring method of solidification velocity.

部分までは、鑄込後より第1回の加圧までの間に凝固せる部分 (すなわち自然凝固せる部分) 第1のサルファープリントの濃化部分と第2のそれまでは、第1回加圧より第2回加圧までの間に凝固せる部分 (すなわち加圧下の凝固部分) である。したがってこれらの各段階の時間的關係より、凝固速度は Photo. 2 のごとく容易に求められる。

測定値は底部より 100 mm 上とし、鑄込開始後 1/3 まで注入せる時より凝固開始と仮定して計算した。

3.2 実験結果

実験の結果を Table 1 に示す。

(* 印は第2段の加圧開始時間が遅れ、第1段の加圧中にすでに中心部まで凝固が進行していたものである。) すなわち、本表より溶鋼に対し $270 \text{ t}/200 \text{ cm}^2 = 1.35 \text{ t}/\text{cm}^2$ 程度の加圧により、凝固速度が著しく速くなっている。

4. 結果の考察

以上の結果理論的に予想したごとく、加圧により凝固速度が著しく促進されることが明らかになった。これらの結果を、前章で求めた凝固殻の生成状況と対比すると Fig.1 のごとくである。

すなわち、前述のごとく自然凝固の場合は部分接触の場合を想定したが、本実験結果は理論値と実測値とはかなりよく一致している。これは本実験の条件下では、自然凝固の間、凝固殻と鑄型との間に空隙ができない状態であると考えてもさしつかえない点よりも十分理解できる。これに反し加圧凝固の場合は、密着の場合を想定しているが、本実験結果では、密着の理論により導かれた凝固殻の厚さよりも、加圧時の凝固殻の発達著しく速いことを示している。これは加圧により、鑄型に凝固殻との密着することによる、両者間の熱伝導の向上以外に、前述の加圧による溶鋼の凝固温度の上昇、熱伝導率の増大による影響を強く受けて、このような結果を示すものと考えられる。

文 献

- 1) SAVAGE: J. Iron & Steel Inst. (U.K.), (1962), p. 41
- 2) BRIDGMAN: Rev. Mod. Phys., 7 (1935), p. 28

(91) 加速凝固法による実用鋼塊への適用試験結果について

(加速凝固による優良鋼塊の製造法に関する研究—II)

日本製鋼所、室蘭製作所

鍵和田暢男・理博○中川 義隆

Results of Applying the Test of the Accelerated Solidification to Commercial Ingots.

(Study on the method of sound ingot making by means of accelerated solidification—II)

Nobuo KAGIWADA and Dr. Yoshitaka NAKAGAWA.

1. 結 言

大型鋼塊は、凝固時間も長く、凝固に原因する各種欠陥の発生が顕著である。したがって、大型鋼塊において加速凝固法を有効に適用することができれば、その利点は著しい。また、各種欠陥に対して、比較的有利な連続鑄造方式の鋼塊製造に際しても、中心部の収縮孔など欠陥の発生は避けられない。この対策として、加速凝固法の併用は有利であることが考えられる。本報においては、大型鍛造用鋼塊ならびに連続鑄造鋼塊に加速凝固法を適用するために予備的行なつた試験経過ならびに結果について報告する。

2. 試 験 要 領

2.1 要 旨

鑄込直後の鋼塊の内部が完全に凝固しない状態で、これに圧力を加え、この時の圧力の強さ、圧力を加える時期などと鋼塊内部性状との関係について調査した。

2.2 試験鋼種および鋼塊形状

鋼種は、C: 0.10%, Si: 0.32%, Mn: 1.10% の組成を有する低炭素キルド鋼で、鋼塊寸法は $190 \times 570 \times 1300 \text{ mm}$ の 850 kg 扁平鋼塊である。

2.3 造塊および加圧要領

試験鋼塊は5本とし、下注5本揚げによる造塊法である。鑄込温度は 1550°C 、鑄込速度は 4 min 間である。鑄込終了直後、鋼塊頭部を水冷し、鋼塊を傾けても内部の溶鋼が洩出しないようにする。その後、可及的速やかに、鋼塊を順次鑄型より抜出して、Fig.1 に示すような要領で 4000 t 水圧プレスによつて加圧する。その経過および状況は Table 1 に示すごとくである。

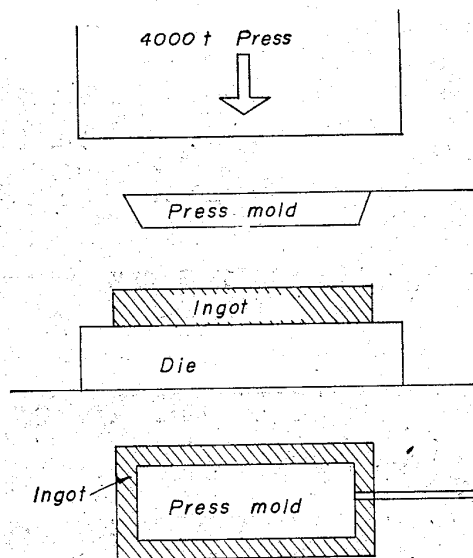


Fig. 1. Schematic diagram of press.

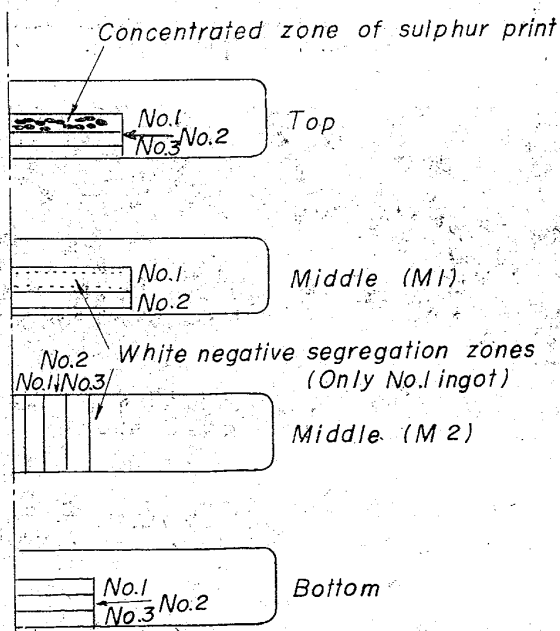


Fig. 2. Positions of test specimens.