

(153) キルド鋼塊の収縮孔の生成におよぼす鋼塊形状の影響

住友金属工業, 中央技術研究所
工博 田上豊助・原田八郎・河合忠二

Effect of the Shape of Ingots on the Cavities Formed in Killed Steels.

Dr. Toyosuke TANOUÉ, Hachiro HARADA and Chuji KAWAI.

1. 緒言

水押キルド鋼塊やセミキルド鋼塊中に生成される収縮孔は分塊圧延により完全には圧着されず, その一部は圧延鋼材中に残るので圧延鋼材の頭部切捨量を決定する重要な因子となる. セミキルド鋼塊の収縮孔については加藤ら¹⁾および森永ら²⁾の研究があるが, 収縮孔形状と鋼塊形状との関係は明らかにされるに至っていない. キルド鋼塊の収縮孔についてははまだ定量的な研究はほとんどないので, 筆者らは水張鋼塊に生成される収縮孔について鋼塊形状 (テーパ, H/D および扁平度) の影響および注入時間の影響を検討し, 収縮孔形状を表わすモデル式を作成した. そして 400 kg 鋼塊およびろう塊による凝固実験を行ないその適合性を確認した.

2. 鋼塊収縮孔のモデル式

鋼塊収縮孔は次のような過程によつて生成されるものと考えられる.

溶鋼が鑄型へ注入されている間は鋼塊側面および底面から凝固が進行し, 注入後は一時鋼塊上面からの凝固も進行する. 凝固殻の鋼塊中心方向への収縮に比べて小さいので, 凝固の進行にともなつて溶鋼液面の低下が進行し, 凝固が進むにつれて, 収縮孔が生成されていく.

モデル式の作成にあつて次の仮定をおいた.

(1) 凝固は注入中においては Feild の凝固曲線 $d = kv\sqrt{t}$ (d : 凝固厚さ, t : 時間) にしたがひ, 注入終了後においては注入終了時における凝固界面に平行に進行する.

(2) すでに凝固した凝固殻内壁, 内容の収縮は凝固量に比例して進行する.

(3) 凝固中の溶鋼温度分布は均一である.

(4) 注入中の溶鋼面の上昇速度は一定である.

いま, 一例として円形断面の鋼塊についての収縮孔モデルを考察する.

溶鋼液面の低下がおこり始める直前における凝固状態を Fig. 1 に示す. Fig. 1 において次式が成立する.

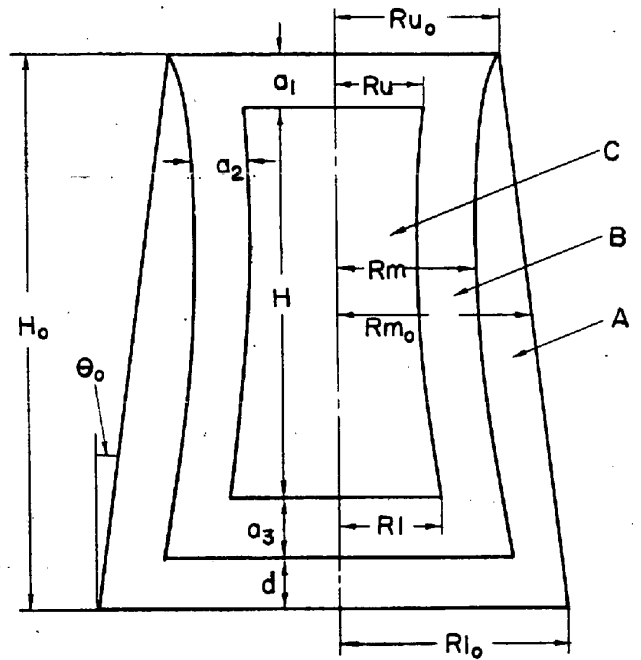
$$\left. \begin{aligned} H &= H_0 - a_1 - a_3 - d \\ R_u &= R_{u0} + a_1 \tan \theta - K\sqrt{a_1/H_0 - a_2} \end{aligned} \right\} \dots\dots (1)$$

液面の低下が始まると, Fig. 1 の C の部分に Fig. 2 のように収縮孔が生成される.

Fig. 2 において溶鋼部の半径を x , 液面の低下した距離を y とすれば

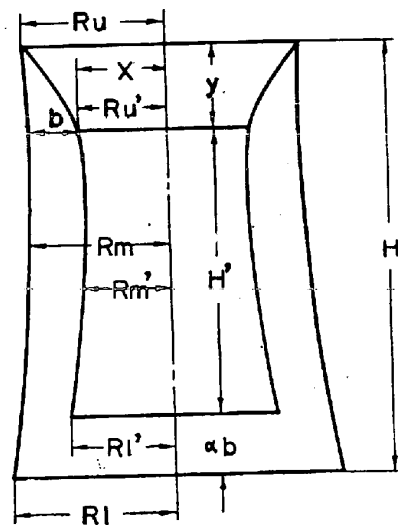
$$\left. \begin{aligned} R'_u &= x \\ b &= R_u + y \tan \theta - K(\sqrt{(a_1 + y)t/H_0} - \sqrt{a_1 t/H_0}) - x \\ R'_l &= R_l + (H - ab) \tan \theta - K(\sqrt{(a_1 + H - ab)t/H_0} - \sqrt{a_1 t/H_0}) - b \\ H' &= H - y - ab \\ R'_m &= (R'_u + R'_l) / 2 \end{aligned} \right\}$$

となり, 収縮孔のモデル式は次式のように dy と dx と



A : Solidified steel in teeming period
B : Solidified steel after teeming
C : Molten steel
 H_0 : Ingot height
H : Molten steel depth
 R_{u0} R_{l0} R_{m0} : Upper, Lower and Average, radius of the ingot
 R_u R_l R_m : Upper, Lower and Average radius of the ingot
d : Solidified width from the base in teeming period
 a_1, a_2, a_3 : Solidified width from the top, the side and the bottom wall
 $\tan \theta_0$: Ingot tangent

Fig. 1. Solidified condition of the ingot.



H, R_u, R_l, R_m : Same symbols in Fig. 1
 H' : Molten steel depth
 R'_u, R'_l, R'_m : Upper, Lower and average radius of molten steel
b : Solidified depth
 α : Ratio of solidifying speed from bottom to side

Fig. 2. The process of cavity forming.

Table 1. Ingots dimensions and cavity depth.

Ingot No.	Shape of ingots	Dimensions of the ingot [mm]			Cavity depth	
		Height	Upper diamete	Lower diameter	Length [mm]	Ratio to ingot height (%)
1	Big end down	740	264	338	380	51.3
2	Big end up	720	334	264	240	33.3

の関係によつて表わされる。

$$dy/dx = -A/(1-A) \cdot (2R_m M' + \alpha R_1^2) / R_u^2 \quad (3)$$

ただし $A = R_{m0}^2 H_0 / R_m^2 H \cdot A_0$, A_0 : 溶鋼の収縮率, 矩形断面鑄型についても, 収縮孔モデル式はまったく同様にして求められる。

3. 400kg 鋼塊実験

3.1 実験内容

鑄型内寸法 270 mm ϕ \times 340 mm ϕ \times 770 mm ml (テーパ 92/1000, $H/D = 2.52$) の鑄型を使用して 0.15% C キルド鋼の正錐鋼塊および逆錐鋼塊各 1 本を上注水張法によつて造塊した。各鋼塊の中央縦断面における収縮孔発生状況を観察し, モデル式による計算結果と比較した。

3.2 実験結果

上記鋼塊の収縮孔深さ測定結果を Table 1 に示す。収縮孔深さは正錐鋼塊において深く, 逆錐鋼塊において浅くなつてゐる。

3.3 実際の鋼塊収縮孔とモデル式による計算結果との比較

$a_1 = a_2 = a_3 = 50$ mm, $\alpha = 1$, $A_0 = 3.5$ および 5.0% としてモデル式(1)~(3)に鋼塊諸元を代入して NEAC 2230 電子計算機によつて Runge-Kutta-Gill 法を用いて数値積分を行ない, 収縮孔形状を計算した。Fig. 3 に実際の収縮孔と比較して示す。

実際の収縮孔は正錐鋼塊および逆錐鋼塊の場合とも, 収縮率 3.5% および 5.0% として計算した曲線の間位置し(1)~(3)式によつて比較的よく表わされている。

4. ろう塊実験

4.1 実験内容

結晶性ステアリン酸を熔融し, 凝固点直上 (70°C) において円形断面鑄型および矩形断面鑄型に注入し, テーパ H/D および扁平度の影響を調べた。実験範囲は次のとおりである。

テーパ: 100/1000, 50/1000, 25/1000, 0, -25/1000, -50/1000, -100/1000 (正錐: 正, 逆錐: 負)

H/D : 2.86, 2

扁平度: 1, 3, 5

4.2 実験結果

実験結果を Fig. 4 および Fig. 5 に示す。Fig. 4 および Fig. 5 から次のことが明らかである。

- (1) 収縮孔深さはテーパおよび H/D が大きくなれば, 正錐ろう塊では深くなり, 逆錐ろう塊では浅くなる。
- (2) テーパのない場合には H/D の影響はみとめられない。
- (3) 収縮孔深さは扁平度が大きくなれば浅くなる。
- (4) 収縮孔深さは長辺テーパよりも短辺テーパによ

つてより大きく影響をうける。

4.3 実際のろう塊収縮孔とモデル式による計算結果との比較

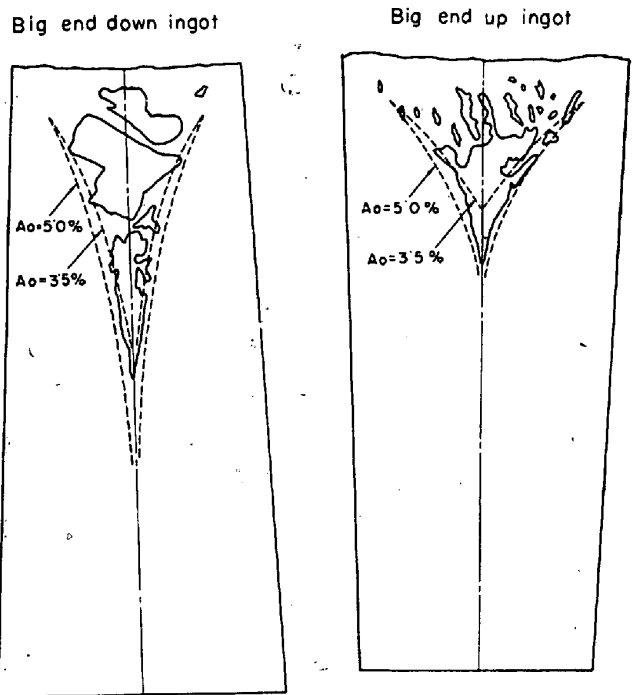


Fig. 3. Comparison of measured and calculated cavities.

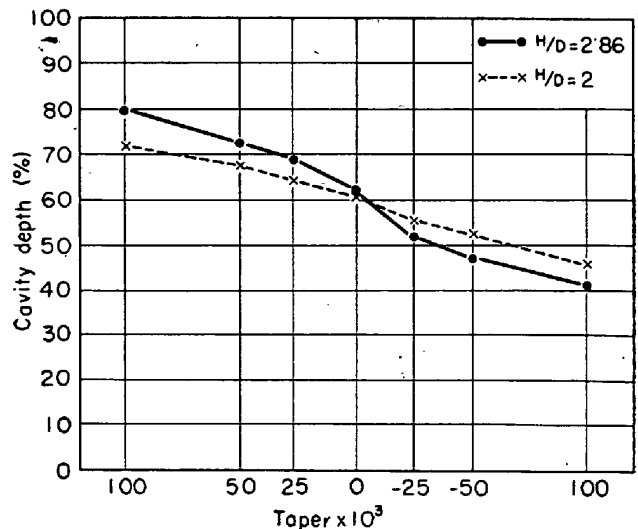


Fig. 4. Relation between cavity depth and taper, H/D of ingots. (stearic acid ingots of round section)

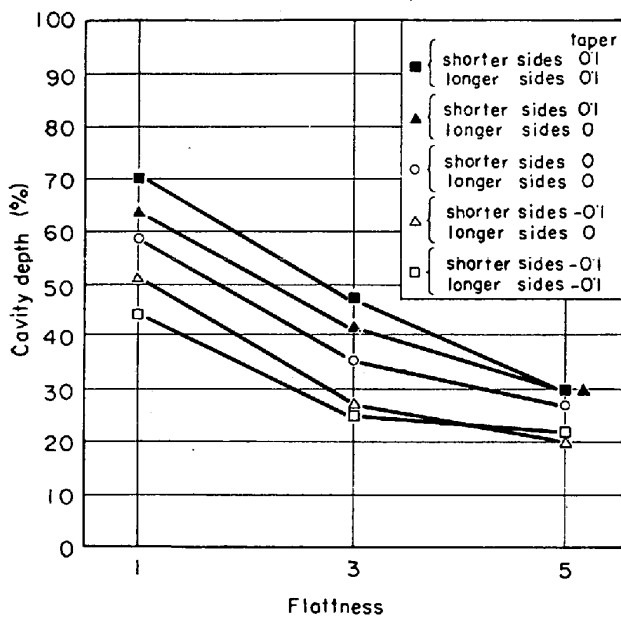


Fig. 5. Relation between cavity depth and flatness, taper of ingots. (stearic acid ingots of rectangle section)

ろう塊についての計算ではステアリン酸の熱伝導率がきわめて小さく、注入時間が短かつた(10~20秒)ため注入中における凝固量を見捨てる。(1)~(3)式において $t=0$ また収縮孔上部の天井厚さは薄いので $a_1 = a_2 = a_3 = 0$ とし、収縮率はアテアリン酸の収縮率(10%)に収縮孔内のブリッジ重量(3%)を補正して13%とした。このような条件の下で円形断面および矩形断面ろう塊の収縮孔モデルを(1)~(3)式より計算し、実際の収縮孔形状と比較したところよく一致した。

5. 実際鋼塊の収縮孔におよぼす鋼塊形状の影響に関する考察

4の結果を鋼塊の場合に適用するためには注入中における凝固量を考慮しなければならない。

鋼塊収縮孔形状におよぼす鋼塊テーパ、 H/D 扁平度および注入時間の影響は次のように推定される。

5.1 テーパの影響

注入中において凝固が進行しても相対的なテーパはほとんど変わらないので、ろう塊の場合に認められた傾向と同じである。鋼塊収縮孔はテーパが大きくなれば正錐鋼塊において深く、逆錐鋼塊において浅くなる。

5.2 H/D の影響

H/D が大きくなれば、鋼塊表面積が大きくなって、注入時間が一定の場合には注入中の凝固量が大きくなる。逆錐鋼塊においてはろう塊にみられた傾向はより著しくなり、鋼塊収縮孔は H/D の増加とともに浅くなる。正錐鋼塊においては注入中の凝固量によって凝固界面のテーパが正錐である場合と逆錐になる場合がある。前者の場合には鋼塊収縮孔は H/D が大きくなれば深くなるが後者の場合には逆に浅くなる。

5.3 扁平度の影響

扁平度が大きくなれば鋼塊表面積が大きくなり、注入中の凝固量が多くなる。したがってろう塊の場合にみられた傾向はより著しくなり、鋼塊収縮孔は扁平度が大き

くなれば浅くなる。

5.4 注入時間の影響

注入時間が長くなるほど、注入中の凝固量が多くなるので、収縮孔のしめる体積は小さくなり、収縮孔は浅くなる。

H/D および扁平度の大きい鋼塊ほど鋼塊表面積が大きいために、注入時間の影響がより顕著に現われる。

6. 結 言

以上の結果を総括すると次のようになる。

(1) 鋼塊収縮孔は本文中の(1)~(3)式によつて比較的よく表わされる。

(2) 鋼塊収縮孔は鋼塊テーパが大きくなれば、正錐鋼塊においては深くなり、逆錐鋼塊においては浅くなる。

(3) 鋼塊収縮孔は H/D が大きくなれば、逆錐鋼塊において浅くなるが、正錐鋼塊においては注入中の凝固量が少なく凝固界面が正錐である場合には深くなり、上記の凝固量が多く凝固界面が逆錐になる場合には浅くなる。

(4) 鋼塊収縮孔は扁平度が大きくなると浅くなる。

(5) H/D および扁平度の大きい鋼塊ほど鋼塊収縮孔に対する注入時間の影響がより顕著に現われる。

文 献

- 1) 加藤, 今井, 梶岡: 鉄と鋼, 45 (1959), p.970
- 2) 森永, 北川, 佐藤, 星野: 鉄と鋼, 49 (1963), p.1425, 富士製鉄技報, 13(1964), p.141, 12(1963) p.51

(154) 鋼塊の凝固過程における結晶沈澱現象に関する 2, 3 の試験結果について

(大型鋼塊負偏析部の生成機構と酸化物系介在物の成因との関係に関する研究—Ⅳ)

日本製鋼所, 室蘭製作所

理博 中川 義隆・〇百瀬 昭次

Some Experimental Results on Settling Phenomena of Equi-Axial Crystals.

(Studies on relations between the mechanism of formation of negative segregation and formation of oxide inclusions in large steel ingots—Ⅳ)

Dr. Yoshitaka NAKAGAWA and Akitsugu MOMOSE.

1. 緒 言

著者らは先に3 t 砂型鋼塊に関する一連の試験結果^{1)~3)}について報告し、従来、支持されてきた沈澱晶説が大型鋼塊負偏析部の生成機構の説明に対しては十分でなくむしろ、適当でないことを指摘した。しかし結晶の沈澱作用の有無を確認するためには、さらに多くの試験を重ねることが必要であると考へた。

そこで最も基本的な立場から、まず沈澱晶説の大きな裏付けとなつていゝる水平凝固(Horizontal solidification)試験結果^{4)~6)}について再検討を行なうことにし、同一形状の垂直、水平ならびに45°傾斜させたスラブ状の3コの砂型に溶鋼を同時に鑄込み、凝固終了後、それぞれの