

鑄鐵鑄物に於ける氣泡及び引け 巢發生の理論及び其の實證

[中 編]

(日本鐵鋼協會第 28 回講演大會講演前刷 昭. 17. 10. 東京)

眞 殿 統*

THEORY OF OCCURRENCE OF BLOW HOLES AND SHRINKAGE CAVITIES IN CAST IRON CASTINGS AND ITS VERIFICATION (II)

Osamu Madono

SYNOPSIS:— As reported in the former report, almost all of cavities in castings are ascribed to the trick of the gas dissolved in the melt. Neither blow holes nor shrinkage cavities in anyway occur without the existence of the dissolved gas. Blow holes occur by boiling of the molten pig. Damages due to the residuum of blow holes is especially remarkable in case where the boiling continues nearly to the end of solidification process. In this case, the segregation of hydrogen in the solidification stage is prominent, so that hydrogen is more liable to become the cause of boiling action in the solidification of the molten pig than oxygen and nitrogen. In other words, pouring of the molten pig containing the higher percentage of hydrogen necessitates to entail residuum of blow holes. But it does not mean that oxygen and nitrogen does not participate in occurrence of blow holes. The boiling condition of the molten pig is:

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132 \text{ atm}$$

Therefore, the higher the content of oxygen and nitrogen, the more shrinkage holes naturally occur. The important point of the present theory lies in that the very low percentage of hydrogen checks the occurrence of blow holes even if oxygen and nitrogen are contained in a large amount.

On the other hand, it has been thought to be incontestable that shrinkage cavities are caused by solidification and contraction of the melt. However, this idea is erroneous, because shrinkage cavities occur only by the action of gases dissolved in the melt. In other words, in whatever difficult form of castings, there would be no fear of shrinkage cavities in pouring of the melt, if there is very few content of gaseous substances in the melt. Therefore, the primary condition of elimination of shrinkage cavities is to make complete the gas removal from the melt as far as possible. Consequently, the removal not only of hydrogen, but of oxygen and nitrogen should be attained at the same time, while laying stress on forms of casting, feeders and risers is nothing but a half-measured means.

目 次

III. 鑄物に於ける氣泡の發生

1. 鑄巢の定義
 2. 鑄型に由来せる氣泡
 3. 熔鉄中に於ける氣泡發生の條件
 4. 不飽和熔鉄の冷却凝固過程に於ける蒸氣壓の變化
 5. 飽和熔鉄に於ける蒸氣壓の變化と沸騰
 - a) 冷却初期 P'_{N_2} の上昇
 - b) 凝固初期 P'_{CO} の上昇
 - c) 凝固後期 P'_{H_2} の上昇
 6. 沸騰により發生する氣體の組成
 7. 熔鉄の冷却速度と沸騰作用
 8. 凝固終期に於ける沸騰と氣泡の殘留
 9. 熔鉄に於ける P'_{H_2} の高低と氣泡巢の發生
 10. 熔鉄に於ける P'_{CO} , P'_{N_2} の高低と氣泡巢の發生
 11. 氣泡の逃げ路と凝固の速さ
- #### IV. 鑄物に於ける引け巢の發生

1. 引け巢の成因に關する常識と其誤謬
2. 熔湯の連続性と其切斷條件
3. 眞空引け巢發生の可能性
4. 溶解氣體の蒸氣壓と熔湯切れ目の成長
5. 熔鉄の沸騰と湯道の切斷
6. 熔鉄の沸騰條件に及ぼす流速の影響
7. 湯道の絞りと熔鉄の沸騰
8. 溶解氣體の蒸氣壓特性と引け巢の發生
9. 底湯の收縮と湯道の絞り
10. 押湯と湯道
11. 引け巢の併發生
12. 熔鉄の初期蒸氣壓と引け巢の成長

後編 鑄巢の防止

鑄巢の發生

前編¹⁾に於いて我々は熔鉄中に於ける溶解氣體の行動を明らかにし各蒸氣分壓の特性を示した。又鑄鐵の熔融條件の如何が O, N, H の 3 氣體の溶解量に及ぼす影響をも論じ

* 理化學研究所

¹⁾ 鐵と鋼：昭 17. 4 月號

た、依つて次に其等の知識を基礎として本論文の目標である鑄巢發生の理論を説き度いと思ふ。

III. 鑄物に於ける氣泡の發生

1. 鑄巢の定義

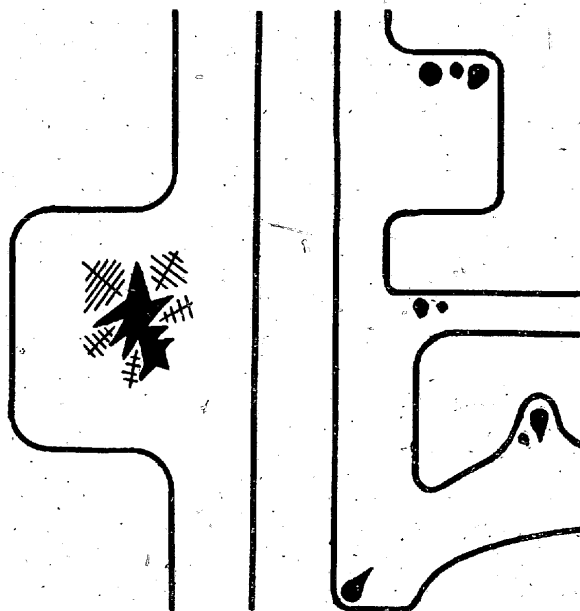
所謂鑄巢は大別して氣泡と引け巢とに分けられやう。先づ氣泡は熔銑中に溶解してゐた氣體が凝固に際し沸騰を起せる結果生じたものである。或ひは鑄型が水分を過剰に含めるため注湯時に多量の水蒸氣が発生しその一部が熔銑中に入り込むこともある。何れにしても氣泡はその性質上球狀を呈してゐるのが普通である。一方引け巢はその形狀に於て氣泡と相違し空洞は海綿又は霜柱狀を呈する。従つて少くとも外觀に就いて言ふならば氣泡と引け巢との區別は明らかである。

此處で今迄の定義にえると氣泡と引け巢とは外觀のみならず其の成因に於いても全くの相違點をもつものであるとされてゐた。即ち引け巢は溶湯が凝固收縮する際に生じた空隙であり一方氣泡は溶湯中の溶解氣體に由來する。依つて兩者の成因は互に無關係なるものの如くに考へられて來た。然し乍ら次章に於いて説明する如く斯様な常識は正しくないのである。と云ふのは引け巢を收縮窩であるとする定義に誤りは無いにしても其様な引け巢が溶湯の凝固收縮のみに原因するとの考へは未だ現象の本質に觸れてゐない。言換へると引け巢の發生に就いては溶湯自身の凝固收縮のみならず溶湯中に溶解せる氣體が主要な働きをなすのである。即ち後述する様に單に溶湯の凝固收縮なる原因のみで引け巢は出來難く同原因に加ふるに氣體の發生なる現象があつて初めて引け巢を生ずる。つまり引け巢は氣泡の發生と溶湯の凝固收縮する二原因が同時に働く場合に出来る。

従つて引け巢と氣泡とは其成因に於いて異なるものがあるとは云へ無關係では決してないのである。寧ろ引け巢は氣泡の發生に伴つて出来るものであり從來の如き兩者を區別せる常識は誤つてゐる。

畢竟氣泡と引け巢とは外觀に於いて著しく異なるにも拘らず其等の發生原因が何れも溶湯中の溶解氣體に存する點では共通性を有つのである。唯成因に於いて相違する點として氣泡は其様な溶解氣體のみに原因が求めむれるのに對し引け巢は溶解氣體に溶湯の凝固收縮なる原因を關聯させ

て考へる必要がある。そして左様な意味に於いて初めて兩者を正しく區別することが出来る。猶ほ氣泡の中には溶解氣體のよるもの他に鑄型から侵入せる氣泡もある。然し其様な氣泡は原因が比較的明らであり鑄型の乾燥に注意し



第 14 圖 引け巢 氣泡巢

たり或ひは砂型の通氣度を改良すれば其發生を防止出来る。依つて難問題は專瞭溶解氣體に在る氣泡の側に在る事になる。其處で以下其様な氣泡に就いて其發生條件を吟味しやうと思ふ。

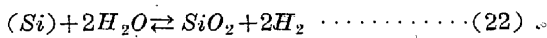
2. 鑄型に由來せる氣泡

上述の如く氣泡の成因には二種類があり其中鑄型に由來するものは其發生機構が比較的簡單で分り易い。よつて其發生防止に策も立て易い。處で實際問題として屢々論議の對象となるのは現場に於いて鑄物に氣泡が発見された場合其の氣泡が果して溶解氣體によるものか或ひは鑄型に由來するものかと云ふ疑問である。其處で先づ其様な問題に就いて吟味を加へる。

鑄型に注湯せる場合に發生する氣體の大部分が水蒸氣である事は周知の如くである。其他に塗料中の可燃性物質が燃焼して發生する CO , CO_2 等もあるが大部分は水蒸氣に違ひない。處で發生する水蒸氣の過半は砂層の方へ逃げるけれども若し水蒸氣の發生量が特に多かつたり或ひは砂の通氣度が悪かつたりすると一部分の水蒸氣が溶湯中に入る。尙溶湯中へ侵入せる氣泡の全部が其儘鑄巢になる譯では勿論なく寧ろ大部分の氣泡は浮上つて湯外へ逃げ出し唯其一部のみが逃げ遅れて鑄巢となるのであらう。依つて鑄型に由來する氣泡は鑄型の乾燥に注意し又は砂の通氣度を

良くすれば殆んど完全にその發生を防止出来る。或ひは熔湯の注湯温度が低過ぎ従つて凝固が素早く氣泡の逸出を妨げることもある。その様なことを防ぐには注湯温度を適當に高めれば良い。

其處で次に外から侵入せる氣泡と内から發生せる氣泡との差異を考へる。さうすると先づ外から侵入せる氣泡は水蒸氣を主體とし夫れに CO_2 , CO , O_2 , H_2 , N_2 等を含む酸化性の氣體よりなることが察知される。そして其様な酸化性の氣體が熔銑に觸れた場合に起る化學反應が更に考察の對象となる。即ち水蒸氣が熔銑に觸れた場合に起る反應は前章に於いて先述せる如く頗る速かに行はれ



なる酸化反應により忽ち湯面に珪酸鹽の皮膜を生ずる。其他 CO_2 , O_2 等も同様な酸化反應を起す。従つて外から侵入せる氣泡は侵入と同時に熔銑と反應し H_2O は H_2 に又 CO_2 , O_2 は CO に變化する。その代りに氣泡の内面には珪酸鹽の皮膜が出来る。

斯様にして外から侵入せる氣泡の内面には常に珪酸鹽皮膜の生成が見られる。即ち氣泡の内面は常に着色し且つ大概滑かである。尤も着色の程度には相當な差異があり紫褐色から淡灰色の艶消し程度のものもある。その理由は皮膜を作つてゐる珪酸鹽の性質特に其組成が場合によつて種々變化するために歸せられる。と云ふのは侵入せる氣體が酸化性強き場合即ち H_2O , O_2 , CO_2 等を餘計に含むならば、生成せる珪酸鹽皮膜は肉厚が大なる許りでなく珪酸鹽の組成が FeO , MnO を多く含むものとなる。然つて皮膜は濃く着色する。亦氣泡の大なるものは小なるものに比較して一般に着色の程度が濃い。即ち氣泡の容積が大きい程皮膜は厚くなり又珪酸鹽自身の色が濃くなる。

一方氣泡の着色が淡い場合は之れとは反對に外から侵入せる氣體の酸化性が弱い場合である。例へば水蒸氣が氣泡となつて熔銑中に入る直前に於いて既にその大部分が H_2 に還元されてゐる如き場合には氣泡内面の皮膜は薄く且つ珪酸鹽は白色に近くなる。従つて氣泡の内面が殆んど着色してゐないことも屢々有り得る譯である。然し夫れにしても外から侵入せる氣泡に於いて其内面に珪酸鹽皮膜がなく白銀色に輝いてゐる様な事は珍らしいに違ひない。即ち着色に差異があるにしても常に皮膜の生成が見出される。つまり外から侵入する氣體は強弱の差があつても、必ず酸化性なるに違ひなく従つて氣泡は常に着色せるものと思はれるのである。

之れに對し他方熔銑の内から發生せる氣泡に就いて考へると其内面には珪酸鹽皮膜が存しない筈である。何となれば熔銑中から發生する氣體は既述せる如く CO , N_2 及び H_2 なる三者のみよりなる還元性氣體である。従つて珪酸鹽皮膜は決して出来ない。依つて上述の場合と對照して氣泡巢の内面が白銀色に輝いてゐるならば其氣泡は確かに熔銑中の溶解氣體に由來するものと斷定出来る。尤も氣泡の中には確實に熔銑より知られる氣泡でありながら内面が淡灰色に艶消しになつてゐることがある。それは氣泡の内面が滑かな球面をなす時にも亦其表面に緻密な樹枝狀晶が發達してゐる場合にも見られる。その様な場合には引け巢の内面或ひは鑄鐵の折口と同様に金屬光澤が失はれてゐる。従つて其理由はとも角として或場合には外部から侵入せる氣泡か、夫れとも内部から發生せる氣泡かを外觀上では見分けられない事もある。

畢竟氣泡に於ける斯様な判別は明瞭に着色せるものは鑄型より、一方内面が白銀色なるものは熔銑中より發生したものと決めて掛つて誤りはない。然し單に外觀のみから全部の判斷をなさうとすると中には着色不明瞭なるものもあつて多少の無理が出来る。其様な場合には寧ろ外觀以外の他の諸條件を慎重考慮して判別を下した方が良策である。即ち鑄型の乾燥程度、塗料の性質等を多數の同型鑄型に就いて吟味した上で鑄物に於ける氣泡の發生狀況を調べる。其場合同一湯を注いで或一部の鑄型にのみ氣泡が出来たが他者は健全であると云ふ様な事實が見出されれば或ひは鑄型の不良が問題になるかも知れない。然し鑄型の造り方には大差がないと思はれるのに或湯を注いだ場合に限り出来上りの鑄物が殆ど過半数氣泡或ひは引け巢で不良品となつた様な事實があれば夫れは熔銑中の溶解氣體の惡戯に相違ないのである。

其他氣泡の發生箇所を吟味してみても其由來の分る事がある。詳しい説明は個々の鑄物に就いて言はねばならないから面倒であるが常識的に考へて大體の判斷は可能である。且鑄型に由來する氣泡は概ね不注意によつて生ずる事が多く充分の注意を拂ひさへするならば其發生を殆んど完全に防ぎ得る。従つて其様な注意を拂つたとして猶ほ氣泡の發生が防止出来ないとなれば夫れは確かに熔湯自身に其原因が存するに違ひないとも云へる。而して實際作業上に於いて遭遇する困難例へば内燃機關の氣筒鑄物等に於けるピンホールの發生なる現象の如きは熔銑中に溶解せる氣體に其原因が求められるものであり其故に困難が一層大きく

なつてゐる。

其他更に重要な事實として後章に於いて詳述したいと思ふことは先にも一寸觸れて置いた様に氣泡と引け巢とが原因を同じくして發生すると云ふことである。即ち兩者は外觀上に於て著しく相違するにも拘らず兩者は共に熔銑中の溶解氣體にその發生原因を求めらるべきものである。よつて溶解氣體なる内的原因に依り氣泡巢が發生したとすれば其場合には氣泡巢のみならず引け巢も亦同時に發生する處れが充分にある。但之に對し同じく氣泡巢であつても鑄型に由來するものは溶解氣體に無關係なる故それ自身引け巢の發生に直接關與しない事が知られる。従つて鑄物に氣泡巢が發生した場合同時に引け巢の發生狀況をも探査することは頗る大切である。そして實際に被害の大きいものはと云へば外的原因に依るものよりも寧ろ斯様な内的原因に基く鑄巢の發生の方が緊急の問題として取上げられる其理由は此處にも在るのである。

3. 熔銑中に於ける氣泡發生の條件

熔銑中に於いて氣泡が發生する條件とは言換へると熔銑沸騰の條件を意味する。而して斯様な條件に就いては既に第1章に於いて詳説した。即ち熔銑が沸騰を起すのは其中に溶解せる氣體の全蒸氣壓が高まり

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132(\text{atm}) \quad \dots (7)$$

となれる場合である。言換へると全蒸氣壓が大氣壓に液壓を加へた全外壓よりも高くなれば熔銑中に氣泡を生じる。

其様にして熔銑中に氣泡が發生せる場合熔銑が猶ほ完全な熔融状態に在るならば氣泡は速やかに湯面へ浮び上る。然し熔銑が既に凝固し始めたとすると氣泡の或者は逃げ遅れて遂に鑄物の内部に封じ込まれる事もある。其様な場合所謂氣泡巢が出来る。而して鑄物に氣泡巢の發生する場合の基本條件は上記の(7)なる關係式に加ふるに第2の條件として發生せる氣泡の逃げ路を塞ぐと云ふ事を考へねばならない。即ち熔銑の沸騰が鑄物に氣泡を残す結果になつたのではあるが其様な事實を以つて沸騰を起せる熔銑を注湯すれば必ず鑄物に氣泡を生じるとまでは極言出来ない。言換へると沸騰を起せる熔銑を注いでも猶健全な鑄物が出る場合もある。夫れにしても鑄物に氣泡巢が出来たのは熔銑が沸騰を起せるためである事實に間違ひはない。依つて(7)なる條件は鑄物に於ける氣泡發生の根本條件として與へられる。

此處で熔銑の沸騰條件が(7)式によつて與へられることは殊更に大切な事柄を意味する。其意味とは同沸騰條件が

熔銑の全蒸氣壓に關して與へられ各體氣の蒸氣分壓にはよらないと云ふ事である。つまり分壓に就いては高低様々であつても全蒸氣壓が全外壓以上に高まらない限り氣泡は出來ない。又鑄物に氣泡を見出せる場合その氣泡の發生を或單一氣體例へば H_2 のみの故に歸する如き事は間違ひである。即ち H_2 も亦氣泡の發生に重要な一役を買つてゐるには違ひない。然し乍ら實際には H_2 のみで氣泡を作れるものではなく他に必らず CO 及び N_2 が H_2 と一緒になつて發生する。其意味に於いて CO , N_2 及び H_2 の三者は何れも氣泡の發生に關し同様な重要性をもつ、又成因に於いても例へば熔湯の P'_{CO} , P'_{N_2} は低くとも其代り P'_{H_2} が比較的高かつた爲に氣泡を生じる事がある。或ひは P'_{CO} , P'_{H_2} が低かつた代りに P'_{N_2} が高く其爲に氣泡が出来る場合もある譯である。

猶三氣體が氣泡の發生に關し同格とは云ふものの又夫れが三者が同現象に寄與する意味に於いて各々の特徴を有たぬと云ふことでは決してない。反對に三者は各々特徴ある蒸氣壓曲線をもつ如く氣泡巢の發生に對しても影響の仕方に特徴がある。特に熔銑の凝固過程に於ける各氣體の偏析性は氣泡巢の發生に最も直接的關係を有つ、依つて次にその様な性質に就いて順次説明を加へやう。

4. 不飽和熔銑の冷却凝固過程に於ける蒸氣壓の變化

熔銑が冷却凝固する過程に於いて溶解氣體の蒸氣壓が變化する其有様は既にIに於いて説明した。即ち第2、第4、第7圖の各圖に於いて示せる如く P'_{CO} , P'_{N_2} 及び P'_{H_2} なる3蒸氣壓は夫々特徴ある冷却曲線を描く、其中で P'_{CO} は熔銑の冷却と共に其氣壓が寧ろ僅か低下する傾向をもつ。然し熔銑の凝固が始まれば偏析が起り P'_{CO} は急に上昇し出す。併し熔銑中には常に相當量の Si が含まれてゐる故其含有量に従つて P'_{CO} の上昇する高さに一定の限度があり或氣壓まで増すとそれ以上 P'_{CO} が高まり得ない。

次に P'_{N_2} に就いては第4圖に示せる如く熔銑の冷却が P'_{N_2} を漸増せしめる傾向に於いて P'_{CO} と恰度正反對の性質を示す。而して P'_{N_2} の示す特徴中最も著しい性質は凝固に際して $[N]$ が偏析を起さず従つて凝固時に P'_{N_2} の上昇を見ないと云ふことである。即ち熔銑が冷却しつつある最初過程に於いては P'_{N_2} が次第に高くなつて行く、然しやがて熔銑が凝固し始め更に共晶温度に達して温度度一定の儘凝固して行く最終過程になれば P'_{N_2} 最早變化しなくなる。

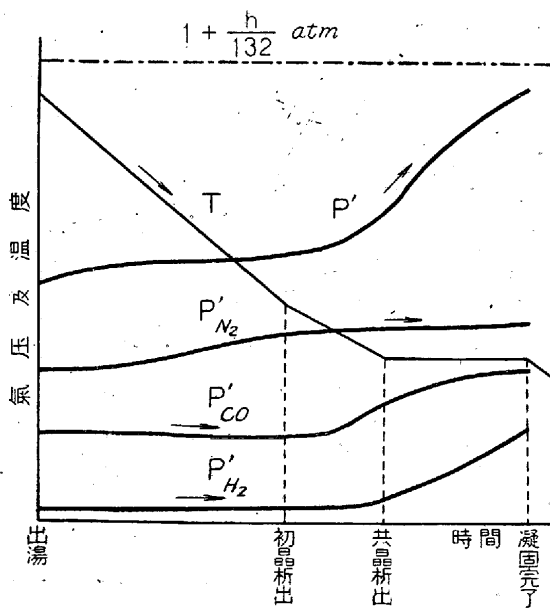
一方 P'_{H_2} は P'_{N_2} と異なり凝固時に於ける偏析が特に

著しい。即ち第7圖に示せる如く熔銑の凝固が始まると共に P'_{H_2} が急に高まる。然も P'_{CO} の場合と違ひ他の共存成分によつて其様な上昇が制肘されるが如き事がない。而して熔融温度を $1,400^{\circ}C$ とし其温度に於ける P'_{H_2} を假りに任意壓とすると凝固完了までには同壓が大約 10 倍に増加する。且つ其様な増加率は最初の P'_{H_2} の高低によらず一定の倍率が常に當嵌まると云ふ點に注意を要する。處で一般に熔銑のもつ P'_{H_2} の大きさはと云ふと之も第2章に於いて説明せる如く偏析以前に於いては

$$P'_{H_2} < 0.05 atm$$

である。従つて凝固が始まる前の P'_{H_2} は P'_{CO} , P'_{N_2} の二者に比較して一段と低壓であり全蒸氣壓に寄與する割合は少ない。然し凝固が始まると急に P'_{H_2} が高まり遂に 10 倍氣壓にもなるから其影響が著しく目立つ様になる。

猶以上の三蒸氣壓がもつ各傾向は各分壓の絶對値の高低によらず定まつてゐる。依つて其等の三蒸氣壓曲線を基準とし更に三者を組合せて熔銑の全蒸氣壓の變化をも論ずる



第 15 圖 不飽和熔銑に於ける蒸氣分壓及び全壓の變化

事が出来る。即ち第 15 圖に示せる如く P'_{CO} , P'_{N_2} , P'_{H_2} なる 3 曲線から全蒸氣壓 P' 曲線を求める事が可能である。勿論各氣體の蒸氣壓は熔融の度毎に高低様々な値をとる故それに従つて P' 曲線も亦種々様々に變化する。然し其様な變化はあつても傾向としては大體同様な曲線を描くものと考へられるのである。その説明として熔銑の冷却過程に於ける P' の變化を考へるに其出發點では上述の如く P'_{H_2} は未だ非常に低壓である。従つて最初の中は全蒸氣壓の高低は P'_{CO} , P'_{N_2} の兩者によつて大體定まる。其處で最初 P'_{CO} ,

P'_{N_2} が比較的低い不飽和熔銑を選び第 15 圖に於ける出發點即ち出湯直後例へば取鍋中に在る熔銑の蒸氣壓を任意に定める。次に同熔銑の温度が降つて行く場合を考へると先づ P'_{N_2} は冷却につれて氣壓が高まる。之に對し P'_{CO} に反對に僅かであるが漸減の傾向を示す。従つて全蒸氣壓は一般に熔銑の冷却と共に増して行く、尤も最初 P'_{H_2} が小さく P'_{CO} が特に大きい様な場合には全蒸氣壓が却つて漸減する事もあり得る譯である。然し實際には P'_{CO} の漸減割合よりも P'_{N_2} の増加割合の方が大きい爲に多くの場合熔銑の冷却につれて全蒸氣壓が増す。

次に熔銑が凝固し始めたとする。さうすると溶解氣體の偏析が起り各蒸氣壓が高まる。就中先づ P'_{CO} が増加する但し其上昇は $[Si]$ に制肘されるから或値以上になり得ないけれども凝固の初期に於いては P'_{CO} が顯著に増加する。次に P'_{N_2} は上述の如く凝固時にも偏析を起さないと云ふ特徴をもつ。之れに對し凝固時に於ける最も顯著なる現象は P'_{H_2} の著しい偏析振りである。即ち凝固開始以前に於いては低壓で影響の薄かつた P'_{H_2} が凝固開始と共に急増し始め P'_{CO} , P'_{N_2} の中へ割込んで来る。従つて全蒸氣壓は熔銑の凝固が進むにつれて次第に上昇する。就中凝固終期には P'_{H_2} 上昇の全蒸氣壓に及ぼす影響が最も著しくなる。

畢竟斯様な變化を圖示すると第 15 圖の如くなるのである。猶同圖は特定條件として P' が大氣壓に未だ達しない場合を例とする。さうすると同圖示の如く全蒸氣壓は凝固が進むにつれて次第に高まつて行く、併し其場合 P'_{N_2} は既に不變 P'_{CO} は凝固の初期に於いてのみ増加するがやがて増加しなくなる。然るに P'_{H_2} のみは凝固の始めから終りまで連続して増加する。従つて凝固の終期に於いては P'_{CO} , P'_{N_2} は既に一定し唯 P'_{H_2} のみが増加を續ける。即ち最後には全蒸氣壓の増加を P'_{H_2} が一手に引受けてゐる事が分る。つまり熔銑の最初冷却過程に於いては未だ低壓なるため全蒸氣壓に及ぼす影響の僅少かつた P'_{H_2} が凝固の終期になると反對に其氣壓が高まるのみでなく夫れが全蒸氣壓の増加を獨りで引受ける様になる。此事實は頗る大切な事であり熔銑中の溶解氣體が鑄物に氣泡及び引け巢を發生せしめる現象を理解するには各溶解氣體の個性を知悉する必要がある。

5. 飽和熔銑に於ける蒸氣壓の變化と沸騰

前節に於いて我々は第 15 圖に示せる如き特性曲線により熔銑中に溶解せる氣體の蒸氣壓が熔銑の冷却凝固につれて變化する有様を明らかにした。即ち其様な特性曲線は熔

銑に於ける溶解氣體の行動を知る上に於いて最も重要な性質を示すものである。然し此處で注意を附加せねばならぬ事として熔銑が第 15 圖の如き蒸氣壓曲線を描く場合其處には豫め一つの條件が與へられてゐる。即ち第 15 圖は熔銑の全蒸氣壓が其冷却凝固過程に於いて次第に増加して行く場合を表してゐるのであるが其様は全蒸氣壓の上昇が自由に行はれるためには必要條件として其熔銑が終始未だ飽和状態に達せぬことを假定せねばならない。言換へると第 15 圖は不飽和熔銑に於ける蒸氣壓の特性曲線を示せるもので熔銑が沸騰を起さぬ範圍に於いて其全蒸氣壓が上昇して行く有様を明かにする。

斯様に熔銑の全蒸氣壓が冷却凝固過程を通じて大氣壓を越えることなく従つて熔銑の沸騰が起らない場合には全蒸氣壓は熔銑の冷却につれて常に上昇する。一方に於いて各蒸氣分壓 P'_{CO} , P'_{N_2} 及び P'_{H_2} に就いては第 15 圖に示せる如く各々が互に獨立せる分壓曲線を描く、即ち各蒸氣分壓は夫れが單獨に熔銑中に溶存せる場合に於いて示す曲線と全く同様な蒸氣壓曲線を描く、つまり不飽和熔銑に於ける蒸氣壓曲線は各溶解氣體が描く特性曲線を其儘組合せれば良い。そして斯様に全蒸氣壓が大氣壓に達しない限りに於いては各蒸氣分壓の變化が相互に無關係に行はれる。例へば冷却時に於ける P'_{N_2} の増加は共存する P'_{CO} , P'_{H_2} の變化に影響されずに行はれる。亦凝固時に於ける P'_{CO} , P'_{H_2} の偏析も共存する P'_{H_2} を減壓せしめるに至らない。

處で不飽和熔銑に對し飽和熔銑を取扱ふ場合には事情が異つて来る。即ち飽和熔銑に於いては全蒸氣壓が既に沸騰壓乃ち

$$P' = P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} = 1 + h/132(atm)$$

なる限度に到達してゐる。従つて P' は最早それ以上増加することが出来ない。其處で若しも熔銑の冷却凝固の進歩により猶蒸氣分壓が増加し全蒸氣壓を高めやうとするならば一部の氣體が湯外へ逸出する事を餘儀なくされる。例へば冷却により P'_{N_2} が増さうとすれば飽和熔銑は直ちに沸騰を起し CO , N_2 , H_2 の 3 氣體が一緒に逃げ出す。而して其場合 P'_{N_2} が増すことは他の二者 P'_{CO} , P'_{H_2} が必要的に減少することを意味する。即ち飽和熔銑に於いては 3 蒸氣分壓の増減が互に相關聯して起る。

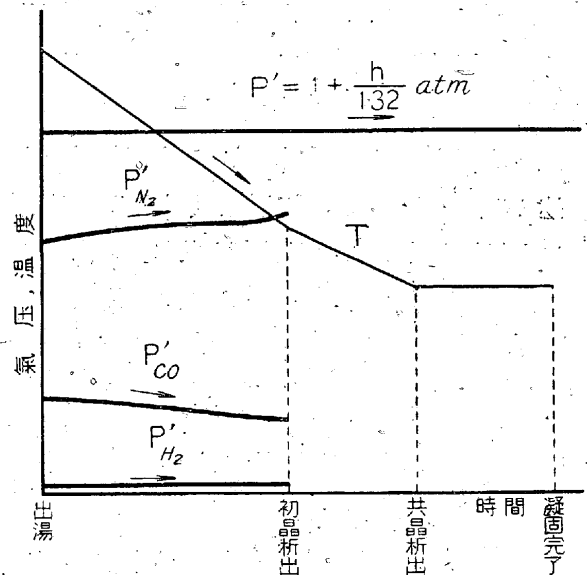
a) 冷却初期 P'_{N_2} の上昇

今或高温に於いて出湯せる熔銑が飽和状態に在るとして夫れが冷却凝固する過程に於ける蒸氣壓曲線の變化及び氣體の逸出状況に就いて考へる。即ち第 16 圖は或飽和熔銑

の冷却曲線とそれに伴ふ各蒸氣分壓の變化を示す。其處で先づ高温に在る飽和熔銑が冷却し始めたとする。さうすると最初 P'_{N_2} が漸増する。よつて

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} = 1 + h/132(atm)$$

なる飽和平衡を保つ爲には増加せる P'_{N_2} の代りに P'_{CO} が減少せねばならぬ。猶此場合冷却につれて漸増するものは P'_{N_2} のみでなく P'_{H_2} も亦同様な傾向を有つ。然し P'_{H_2} は前述の如く熔銑が凝固し始めるまでは P'_{N_2} , P'_{CO} に比較して遙かに低壓であるから未だ影響が少ない。故に P'_{N_2} の漸増は必然的に P'_{CO} の漸減を意味す。而して其様な増減は熔銑の湯面から CO , N_2 , H_2 の 3 者が逸出する變化を通じ



第 16 圖 沸騰熔銑に於ける蒸氣分壓の變化 (I) (冷却初期)

て行はれる。つまり P'_{N_2} が増さうとする結果として沸騰が起り一部の溶解氣體が湯面から放出される。

猶湯面附近に於いては全蒸氣壓が大氣壓を越えさへすれば直ちに氣體の放出が起る。一方熔銑の深部に於いては全蒸氣壓が大氣壓に達したのみでは猶ほ沸騰が起らない。即ち熔銑の内部に於ける沸騰條件は

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132(atm) \dots (7)$$

であり全蒸氣壓が大氣壓に液壓を加へた全外壓を越えなければ氣泡が発生しない。従て熔銑が冷却する過程に於いて液壓の餘計に加はつた深部程沸騰が起り難い。然し熔銑の冷却が進むにつれて内部の全蒸氣壓が高まればやがて沸騰が起る様になる。處で熔銑爐から出湯せる直後には熔銑内に於ける溶解氣體の濃度は均一であり従て其の蒸氣壓は湯面も深部も等壓なるに違ひない。然し冷却と共に兩者の間には差違が出来る。それは湯面に近い所では逸早く沸騰が

起るけれども深部では液壓のために沸騰が押へられる。沸騰が起らなければ熔銑の蒸氣壓は冷却と共に漸増する。依つて深部の蒸氣壓は湯面の蒸氣壓よりも高まらうとする傾向をもち其のためにやがて深部の熔銑も沸騰を起す様になる。

結局熔銑が冷却する最初の過程に於ては先づ P'_{N_2} が漸増する。よつて全蒸氣壓が次第に高まりやがて沸騰壓に達する。乃ち

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} = 1 + h/132(atm)$$

となるが其處で猶も熔銑の冷却が引續き P'_{N_2} が増加しやうとするならば其の結果として熔銑の沸騰が起る。而して沸騰に伴ひ CO, N_2 及び H_2 の混合氣體が熔銑から逃がれ出る。尙其場合沸騰を行ひつゝも熔銑中の P'_{N_2} は漸増しその代りに P'_{CO} が漸減する。其様な變化を曲線にて示せるものが第16圖である。同圖に於いて全蒸氣壓が既に沸騰壓に達せる後には P' の變化は最早なくなる。然し其様な場合にも蒸氣分壓に就いては冷却と共に P'_{N_2} が増して P'_{CO} が減ると云ふ變化が起る。而して其様な増減は熔銑の沸騰に伴つてのみ起るものであり言換へると第16圖に於いて P' が一定に保たれつゝ P'_{N_2} が増し P'_{CO} が減ると云ふ曲線の動向は即ち其熔銑が沸騰を續けて居る事實を表してゐる。

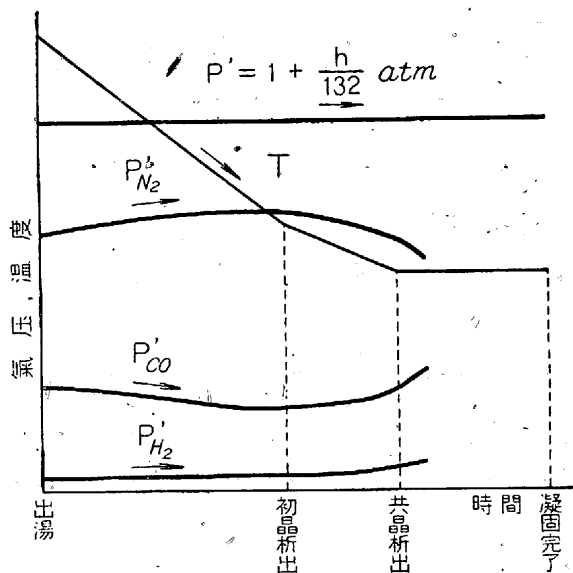
b) 凝固初期 P'_{CO} の上昇

以上は熔銑が冷却するにつれて最初に起る沸騰の性質を説明せるものである。次に第二段の過程として熔銑が凝固し始めたとする。即ちオーステナイトの初晶が析出し始めるならば其處に於いて新たに蒸氣分壓の偏析が起る。よつて蒸氣分壓線が其點で急に方向を變へる。其場合の變化を考へるのに先づ P'_{N_2} は前述の如く凝固時に偏析を起さない。之に對し P'_{CO}, P'_{H_2} は著しい偏析性をもつから凝固開始と共に両者は増加の傾向を辿る。但し兩者の中で P'_{H_2} は凝固の初期には未だ低壓であり従つて増壓の程度が比較的低い。故に凝固の初期に於いては3蒸氣分壓の中で P'_{CO} が最も顯著に増加傾向を示すに違ひない。

處で今我々は既に飽和せる熔銑を考へてゐる。従つて蒸氣分壓に就いて或者が増加すると云ふことは他方にそれが減少するもののある事を意味する。即ち一方に於いて P'_{CO}, P'_{H_2} が偏析により増さうとするならば他方に於いて P'_{N_2} が減らねばならぬ。つまり P'_{N_2} は熔銑が凝固する以前に於いては冷却につれて増加して來た。然るに熔銑の凝固が始まれば P'_{CO} の偏析に押されて P'_{N_2} は却つて減少の傾向

を辿る。其様な變化を圖に示すと第17圖の如くなる。

即ち同圖に於いて P'_{CO} 曲線は凝固開始と共に急に上昇し始める。それと共に P'_{N_2} 曲線は下降する。尙其他に P'_{N_2} も多少増すが凝固の初期には未だ問題にならない。而して凝固の初期に於いて P'_{CO} が増し P'_{N_2} が減する斯様な



第17圖 沸騰熔銑に於ける蒸氣分壓の變化(II)
(凝固初期)

變化は熔銑の沸騰に伴つてのみ行はれる。依つて飽和熔銑は凝固開始と共にそれ迄の冷却過程に於けるよりも一層激しい沸騰を始める様になる。

此様に飽和熔銑は最初冷却過程に於いて P'_{N_2} の増加により沸騰を起す。次に凝固が始まると急に P'_{CO} が増加し始めその爲に第二段の沸騰は凝固の初期に於いてのみ顯著であり其沸騰はやがて静止すべき性質のものであると云ふ事は良く理解して置かねばならない。と云ふのは斯様な凝固初期に於ける沸騰は偏析に依る P'_{CO} の上昇に原因するのであるが前述の如く熔銑に於ける P'_{CO} の上昇は元來如何程までも昇り得べきものではない。即ち P'_{CO} の最高値は $[Si]$ によつて押へられ

$$P^*_{CO} = h_0(C) \sqrt{\frac{h_{Si}}{[Si]}} \dots \dots \dots (15)$$

なる壓を越える事が出來ない。従つて凝固過程に於ける P'_{CO} の上昇も或壓まで達すると最早増加の傾向を示さなくなる。

ところで其様な状態に達した場合に就いて考へるに P'_{CO} は最早不變、一方に於いて P'_{N_2} はそれよりも先に既に増加の傾向を示さなくなつてゐる。即ち凝固が進み熔銑が共晶温度に達する頃になれば P'_{N_2} は最早増加しやうとしな

いし亦 P'_{CO} も最高壓に達してそれ以上増加しなくなる。従つて若しも其場合に P'_{H_2} の増加が無視される程度の僅少さであるならば3蒸氣分壓は何れも増加の傾向を有たないことになる。其處で更に熔銑の沸騰作用に就いて考へると同作用は熔銑が沸騰壓即ち

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} = 1 + h/132$$

に達した許りでは起らない。即ち既に沸騰壓に達せる熔銑に於いて更に其全蒸氣壓が増加の傾向を示した時に初めて熔銑が沸騰し始める。依つて今の場合の如く熔銑のもつ蒸氣分壓は何れも増加の傾向を示さなくなれば沸騰作用は停止して終ふ。つまり冷却及び凝固過程の初期に於いて沸騰を續けて來た飽和熔銑が凝固過程の中途に於いて其様な沸騰を止めて終ふと云ふ面白い現象が見られるのである。

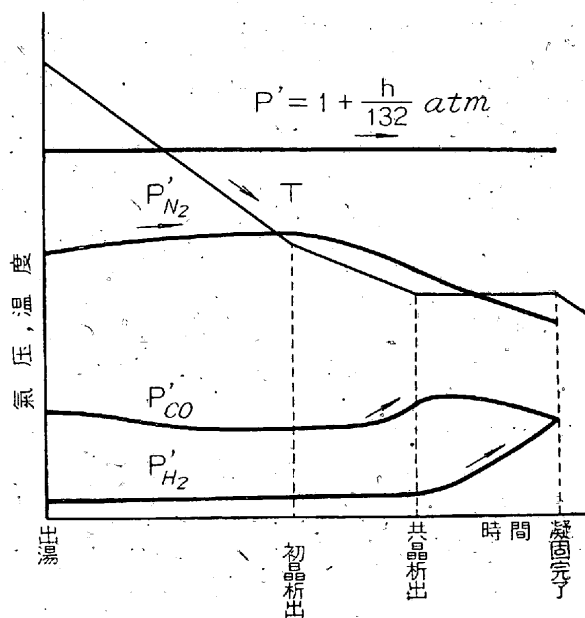
c) 凝固後期 P'_{H_2} の上昇

尤も以上の様な沸騰停止の現象は熔銑の P'_{H_2} を極めて低壓であるとした場合のみに見られる事實である。然らずして若しも P'_{H_2} が無視出来ない程の値をもつてゐるならば其様な場合にも沸騰は停止しない。實際に熔銑中には常に或程度の H が熔存してゐる。然し其 P'_{H_2} は一般に $0.01 \sim 0.05 \text{ atm}$ 位の低壓なる故熔銑の凝固が相當程度進み偏析割合が高まるまでは P'_{H_2} の沸騰作用に對する影響は僅少である。よつて冷却及び凝固の初期に於ては夫々 P'_{N_2} P'_{CO} が沸騰作用の直接的原因となつた。處が熔銑の凝固が進むにつれて $[H]$ の著しい偏析性により P'_{H_2} が次第に上昇する。さうするとやがて P'_{H_2} の影響が無視出来ぬ程大きくなつて來る。尙此場合 P'_{H_2} の偏析による上昇は P'_{CO} と違ひ脱酸劑の如きものの制肘を受けないから凝固が進むと共に P'_{H_2} は上昇の一途を辿る。

此處で P'_{H_2} が斯様な性質を有すると云ふことは大いなる注目値する。と云ふのは P'_{H_2} の有つ此様な特性は熔銑の沸騰現象に於いて重要な作用を果す。即ち熔銑の冷却及び凝固過程の初期に於いて夫々 P'_{N_2} P'_{CO} の増加傾向が沸騰を起す原因となつた如く P'_{H_2} は凝固後期に於ける沸騰作用の主役となるのである。乃ち凝固後期になる上述の如く P'_{H_2} 及び P'_{CO} は共に増加の傾向がなくなり従つて熔銑を沸騰せしめる作用も無くなる。それ故熔銑の沸騰作用は其凝固が進むにつれて一旦却つて沸騰が靜かになるのである。然し其頃になると一般に P'_{H_2} が相當高い壓になつて來るし更にその壓は凝固が進むにつれて一層増加しやうとする。其處で熔銑は再び盛んに沸騰を行ふ様になり其様な沸騰は熔銑が凝固し終る迄續けられる。

畢竟飽和熔銑に於いて見られる沸騰現象は外觀的には冷却から凝固まで同様な作用の繼續せるものとしか見えなからし實際に同現象の本質にまで立入つて吟味すれば以上に述べた如き重要な内部的變化が窺はれる。即ち熔銑の沸騰は3過程に區別して考ふべきものであり第一の冷却過程に於いては P'_{N_2} の上昇傾向が熔銑の沸騰を起さしめる。次に熔銑の凝固が始まると今度は P'_{CO} が偏析を起しそのために沸騰が續いて起る。然し P'_{CO} の上昇は Si, Mn 等の脱酸劑に押へられて或高さ以上になり得ない。其處で凝固の中途にして P'_{CO} は熔銑沸騰の主役たり得なくなり其代りに P'_{H_2} が同じ役割を受繼ぐ様になる。乃ち第三の凝固過程の終期に於いては偏析によつて増加傾向を辿る P'_{H_2} が熔銑沸騰の主役を果すのである。

斯様な變化を圖示すれば第 18 圖の如くなる。即ち同圖は飽和熔銑に於ける P'_{CO} , P'_{N_2} , P'_{H_2} なる蒸氣分壓が冷却凝固の過程を通じて増減する有様を明らかにする。而して既に沸騰壓に達してゐる熔銑に於いて猶も蒸氣分壓の或者が増さうとすれば必然的に沸騰が起る譯である。従つて此圖に於ける各蒸氣壓曲線の動向に其様な沸騰作用の主要原因となるものを示すと云ふ點で特に重要な意味を有つ。つ



第 18 圖 沸騰熔銑に於ける蒸氣分壓の變化(III) (全期)

まり熔銑の冷却凝固過程を通じて先づ P'_{N_2} 次に P'_{CO} 、最後に P'_{H_2} と云ふ様な沸騰作用の主役變遷の有様が第 18 圖から理解出来れば良い。

猶以上に説明せる事柄は熔銑の沸騰現象を一の場合に就いて、論じたものである。言換へると沸騰現象に於ける斯様な特性は特別な場合にのみ限られたものではなく如何な

る場合にも傾向は一定してゐる。その様な傾向を溶解氣體の側から云ふならば N, CO, H は夫々熔銑の冷却、凝固初期及凝固後期なる各過程に於いて熔銑沸騰の主役的原因となる。つまり熔銑が冷却する過程に於いて沸騰を起すのは同熔銑が N 及び O を比較的少量に溶解せるためである。又凝固開始と共に沸騰が激しくなる様であれば同熔銑は O を可成溶解してゐるものと知られる。更に凝固時に於ける沸騰が凝固の終りに近付いても猶繼續してゐる様なれば夫れは溶解 H の故と結論出来るのである。

6. 沸騰により發生する氣體の組成

前節に於て詳述せる説明により熔銑沸騰の條件が明らかになつた事と思ふ。即ち第 18 圖に示せる如き特性曲線により熔銑の各蒸氣分壓の變化とそれに伴ふ沸騰作用との關係が知られる。ところで既に繰返し説明せる如く熔銑の沸騰は CO, N_2, H_2 等の氣體が單獨に立働いて起るものでない、言換へると 3 者は常に沸騰作用の共同原因として挙げらるゝ可きものであり従つて沸騰によつて發生する氣體は必ず CO, N_2, H_2 の 3 者の混合せるものである。唯前述の如く熔銑が沸騰を起すには其全蒸氣壓が沸騰壓に達してゐると云ふ他に更に同熔銑の内部に於て $P'_{CO}, P'_{N_2}, P'_{H_2}$ なる三者の中の少くとも 1 者が増加の傾向をもつと云ふ條件が必要である。そして熔銑が冷却凝固する過程に於いて先づ P'_{N_2} 、次に P'_{CO} 、最後に P'_{H_2} と云ふ様に其様な増加傾向が順送りになる。それ従つて熔銑の沸騰作用に關し主役となるものが同様な順送りとなるのである。

畢竟冷却の各過程に於いて沸騰作用の主役となるものは變遷する、然し熔銑沸騰の原因は其様な主役の働のみに歸す可きものではなく同現象に關しては常にワキ役の存在を考慮せねばならない。例へば冷却時の沸騰に於いて主役をなすものは上述の如くその過程に於いて増加傾向をもつ P'_N であるけれども實際に沸騰を起せるものは單獨の N_2 ではない、つまり此場合沸騰條件は

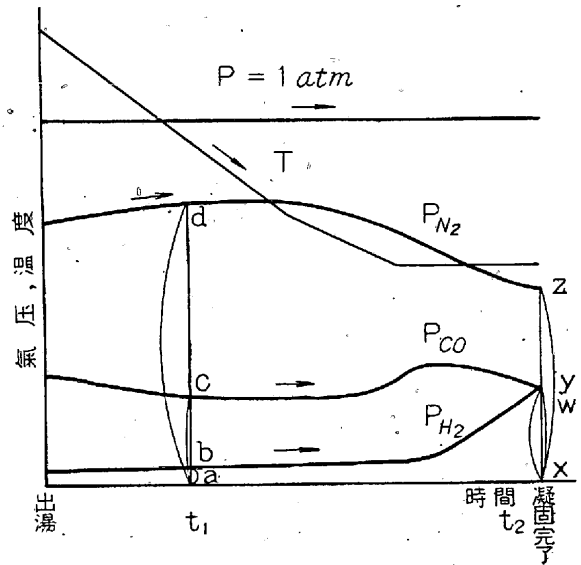
$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132 \dots\dots\dots (7)$$

であり此條件は沸騰が P'_{N_2} の増加を主役として同時に P'_{CO}, P'_{H_2} の存在をワキ役的原因として起る事を教へる。そして熔銑から發生する氣體が常に斯様な 3 者の混合氣體なることは結局此様な沸騰條件から正確に云へるのである。

其處で次に説明を要するのは其様にして發生せる混合氣體の組成如何と云ふ事である、而して其様な組成は第 18 圖及び第 19 圖に於いて明らかと示されてゐる、と云ふのは

同圖に於いて示されてゐるものは熔銑の蒸氣分壓が冷却過程に於いて如何に變化するかと云ふ事である。言換へると冷却過程に於いて時間と共に變つて行く蒸氣分壓の有様を表してゐる。一方に於いて熔銑から發生する氣體の組成に就いては前編 I. 3. に詳説せる如く同組成は同熔銑の蒸氣分壓に全く相等しい。つまり熔銑の蒸氣分壓を $P'_{CO}, P'_{N_2}, P'_{H_2}$ とすれば發生する混合氣體に於ける各分壓 $P'_{CO}, P'_{N_2}, P'_{H_2}$ は前者に夫々相等しく

$$P_{CO} = P'_{CO}, P_{N_2} = P'_{N_2}, P_{H_2} = P'_{H_2}$$



第 19 圖 沸騰氣體の組成變化

従つて今の場合熔銑が沸騰を續け且つ其場合に於ける蒸氣分壓の變化が第 19 圖によつて表されるならば同曲線からして沸騰によつて發生する混合氣體の名分壓即ち組成を知ることが出来る。即ち同圖は蒸氣分壓の變化を示すと同時に沸騰氣體の組成が冷却過程に於いて時々刻々變化して行く有様をも表してゐる。

例へば第 19 圖に於いて時刻に t_1 於ける沸騰氣體の組成は

$$P_{CO} = \overline{ab}, P_{N_2} = \overline{ac}, P_{H_2} = \overline{ad}$$

又凝固の終期 t_2 に於ける沸騰氣體は

$$P_{CO} = \overline{xy}, P_{N_2} = \overline{xz}, P_{H_2} = \overline{xw}$$

と云ふ様に變化する。斯様な變化から沸騰氣體は初め N_2, CO を比較的多く含むが凝固が進むにつれて兩者の他に H_2 が加はつて来る。さうして凝固の終期になると最初は殆んど含まれてゐなかつた H_2 が却つて目立つて發生して来るやうになる。即ち同様な沸騰を續ける様に見えて冷却初期と後期とでは發生する氣體の組成が大いに異なる。就中 H_2 は最初の中は殆んど放出されず凝固の終り頃

になつて初めて多量に放出されると云ふ事は注意を要する。

尙熔銑から發生する氣體の組成を實際に捕集分析せる結果は I. 3. 第 4 節の第 2 表に示せる如くである。處て同表に得られた分析値は其の測定方法を吟味する時それが溶銑冷却過程の或途中を限つて發生する氣體を捕集し分析するものではない事が分る。即ち捕集せる氣體は冷却凝固の或區間内に於いて發生せる全氣體量に當り従つて其組成は其様な全氣體に就いての平均値を示してゐる。よつて一層詳しく發生氣體の組成を吟味するためには測定を更に短い時間に區切つて行はねばならない。然し斯様な平均値であつても熔銑中に溶解せる氣體に關し大體の見當を行ふ事は充分可能である。唯此處で大切な事は同表の分析値をその儘の數値として見ない事である。即ち同表は發生氣體の平均組成を示してゐる故其の値を以つて刻々發生する氣體の實組成とはなし得ないのである。

尙第 2 表の測定値が沸騰氣體の平均組成を示すものとするれば其事は即ち同熔銑が冷却の途中に於て達した最高の蒸氣分壓は此様な測定値以上に高いものであると云ふ事を意味する。例へば P'_{H_2} が平均値として或壓を示したならば其最高壓は即ち凝固最終期に於ける P'_{H_2} は其様な測定壓よりも一層高いものであつたと云へるのである。

7. 熔銑の冷却速度と沸騰作用

我々は既に熔銑が沸騰を起すための基本條件と實際に起る沸騰作用の詳しい吟味とを説明し終へた。然し此處でもう一つ説明を附加へて置く可き事がある。それは熔銑の冷却速度と沸騰作用との間の關係に就いてである。そこで今一度熔銑の沸騰條件を考へてみると

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132 \dots \dots (7)$$

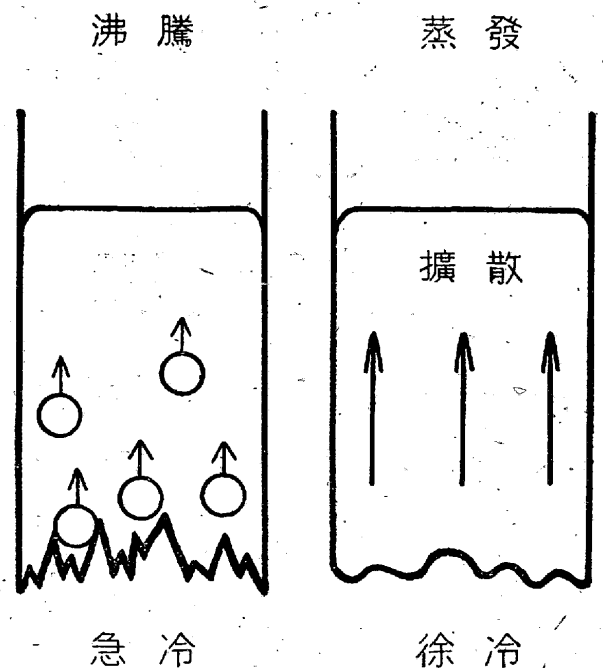
此式からして沸騰作用は液壓の加はつた熔銑の深部起り難い事が分る。つまり湯面と熔湯の内部とでは沸騰條件が違ひ言換へると兩部分の間に液壓に擔當するだけの全蒸氣壓の差違が出来なければ内部の熔湯が沸騰を起すことはない譯である。依つて斯様な條件を熔銑の冷却速度と結付けて考へてみる。

斯様に熔銑が沸騰を起すためには必要條件として熔銑の表面と内部との間に液壓に相當するだけの全蒸氣壓の差異を生じねばならない。若しもそれだけの差異がない様なれば沸騰は起らず唯湯面から蒸發によつて氣體が逃げて行くのみである。處て熔湯の内部に於いて全蒸氣壓に其様な差異を生ずるためには又必要條件として湯面よりも内部の方

が $[O]$, $[H]$, $[N]$ 等の諸濃度に就いて夫れだけ高くなければならない。然し濃度差があれば當然溶解氣體の擴散が行はれる。従つて沸騰が起るには逆に其様な擴散が充分速かに行はれないと云ふ特殊な狀況が必要なのである。

今熔銑を冷却するとする。さうすれば熔銑の全蒸氣壓が増し屢大氣壓に迄達する。其處で尙も冷却が續けば湯面から氣體が逸出し始める。更に凝固が始まれば偏析が起り其様な氣體の放出は一層激しくなる。然し乍ら此場合にも氣體の放出が常に銑銑の沸騰のみに依つて行はれるとは限らないのである。例へば熔銑の冷却速度が緩徐であり熔銑内部に於ける擴散作用が充分に行はれる餘裕をもつてゐるならば沸騰は起らない。何となれば擴散が完全に行はれるならば湯面と湯内との間に濃度差は生じなくなり。従つて全蒸氣壓は湯内に於いても湯面に等しく大氣壓を越えない。依つて液壓を押退けて沸騰を起すことが出来ない。

斯様な譯から熔銑を徐冷すれば假令飽和熔銑であつても沸騰は起らない。但し湯面からは盛んに氣體が放出される。之に對し熔銑の冷却凝固が速かに行はれるならば擴散不充份で湯内の全蒸氣壓が大氣壓よりも高くなり沸騰を起す場合をも生じる。就中鑄型に注湯された熔銑が急速に凝固する場合などであれば湯内の或局部に於いて溶解氣體の蒸氣壓が著増しその爲に沸騰が起ることがある。例へば厚肉のものより薄肉、徐冷部よりも急冷部分に於いて氣泡が出来易いと云ふ經驗上知られた事實は此様な理由によつて



第 20 圖 冷却速度の大小と沸騰の有無

説明出来る。

畢竟深部の熔銑は元來沸騰し難いものである。而して沸騰は熔銑の冷却凝固が相當速かにして擴散の餘裕がなかつた場合に於いてのみ起る。若し冷却が緩徐なれば湯面も湯内も全蒸氣壓に於いて相等しい筈であり従つて湯内に於いて沸騰が起ることはない譯である。その様な場合には過剩氣體は湯面から放出されたのみである。尙反對に熔銑の冷却凝固が急速に行はれる場合には溶解氣體の偏析により局部的に蒸氣壓が高まる。さうして遂に熔銑の深部に於いても氣泡を生じることがある。斯様な事實は鑄物に於ける氣泡の發生を考究する場合に頗る重要な事柄であり後に再述する。

8. 凝固終期に於ける沸騰と氣泡の残留

鑄物に於ける氣泡巢の發生は熔銑の沸騰に原因すると云ふ事は繰返し述べた如くである。其他鑄型に由來するものもあるが最も問題となるものは其様な溶解氣體による氣泡巢である。然し此處で熔銑が沸騰を起せば必ず鑄物に氣泡が残留するかと云ふに左様にはならない。依つて鑄物の氣泡巢に就いては熔銑の單なる沸騰條件以上に別な吟味を要する。

先づ熔銑の沸騰は前述の如く冷却、凝固初期及び凝固後期の三過程に分けられる。その中第一の過程は熔銑の出湯後凝固が始まるまでの間に於ける沸騰に相當し其期間に於いては N_2 と CO とが發生氣體の大部分を占めてゐる。而して其間に發生せる氣泡は殆んど總べてが急速に湯面に浮上り従つて鑄物にそれが残留することはないに違ひない。依つて斯様な凝固開始以前の沸騰は假令起きても鑄巢の原因とならない。

次に凝固が始まると $[O]$ の偏析により P'_{CO} が増加しその爲に沸騰が起る。然し此時期に於いても鑄型内は未だ過半が熔融状態に在り従つて氣泡の逸出は猶容易であらう。然も凝固初期に於ける $[O]$ の著しい偏析は或濃度まで増すと停止して終ふ。よつて第6節に於いて説明せる如く凝固初期に P'_{CO} の偏析に原因して起つた沸騰は凝固の途中に於いて一旦治まる。そして若しも凝固後期に更に P'_{H_2} が上昇し新たな沸騰を伴ふ様なことが無ければ熔銑の沸騰は其處で止まつて終ふから之も亦鑄物に氣泡を残留せしめる虞れが少ない。

之等二つの場合に對し凝固終期に起る沸騰は鑄物の氣泡巢の直接的原因となると云ふ理由によつて頗る重要意義を有する。何となれば凝固終期には既に熔銑は粘つて來て居る許りでなく鑄物の大部分が固まつて氣泡の逃げ路を塞い

である。従つて長時期になつて猶も熔銑の沸騰が続いてゐるならば氣泡は湯外に逃げる事が出來ずその儘鑄物の内部に残留する。即ち鑄巢となる氣泡はその大部分が熔銑の固まり終る頃になつて發生せる氣泡であつて言換へると凝固終期に於ける沸騰は鑄物に氣泡を残す意味に於いて最も禁物である。

處で其様な凝固終期に於ける沸騰作用の主役をなすものが H である事は先に詳述せる通りである。熔銑に於ける P'_{H_2} は凝固が進むにつれて著増しその傾向は凝固の終るまで繼續する。従つて P'_{H_2} の比較的高い熔銑は凝固終期に至るまで沸騰を止めず依つて鑄物に氣泡を残す結果となる。之に對し熔銑中に H が全く溶存してゐなければ上述の如く沸騰は凝固初期で終る。結局鑄物に氣泡が残留するのは熔銑中に H が溶存してゐるからであると云ふ事になる。然し此場合に O, N は沸騰作用に無關係かと云ふに決して左様では無い所以に關しては繰返し力説せる如くである。即ち同作用に就いて H は主役であり H が溶存してゐなければ鑄物に氣泡の發生を見ない。但し其故を以つて鑄物に於ける氣泡の發生を H のみに歸するのは正しくなく實際には主役となる H の他に O 及び N がワキ役として働いてゐるのである。

畢竟鑄物の氣泡は凝固終期に於ける熔銑沸騰の結果として生じたものであり凝固初期及び以前に於ける沸騰は假令起きても殆んど氣泡を残さない。而して熔銑のもつ P'_{H_2} は凝固終期に於ける沸騰作用の主役となるから結局同蒸氣壓の高低が鑄物の氣泡に最も重要な影響を及ぼす。依つて其點に就いて更に詳しく吟味することにしやう。

9. 熔銑に於ける水蒸氣壓の高低と氣泡巢の發生

斯様に熔銑中に溶解せる H はそれが凝固終期に於ける熔銑沸騰の原因となると云ふ理由により最も重要な氣泡巢發生の素因と言ひ得る。ところで普通熔銑爐、電氣爐等で熔融した場合に於ける P'_{H_2} の大約の數値に就いては前章に於て説明せる如く最初出湯せる直後に於いて

$$P'_{H_2} 0.01 \sim 0.05 \text{ atm}$$

然し凝固時には偏析が起り P'_{H_2} の増加が顯著である。其場合熔銑の沸騰或ひは湯面よりする氣體の放出が無ければ熔銑の冷却及び偏析による P_{H_2} の上昇割合は初期蒸氣壓の大約10倍になる。即ち凝固の終りには P'_{H_2} が1桁だけ増す。

更に熔銑中に溶存せる全氣體に就いて考へると石川博士及び山下氏 Piwowarky 或ひは Buchanan 等の實測によつ

て確められた様に熔銑中には普通相當量の氣體が溶解してゐる。そして現場に於ける觀察によつて良く認められる様に熔銑中の溶解氣體は屢々飽和或ひは飽和に近い状態に在る。依つて出銑時或ひは注湯に際し同湯面に於いて往々焰が見えたり火花が飛んだりする。其様な現象から氣體が湯面から逃げ出す有様が觀察される。従つて其様な熔銑を鑄型に注いだ場合には氣泡巢の出来る方が寧ろ普通の様にも思はれる。然し實際には夫れ程多く鑄物に氣泡巢を生じない。

つまり普通の熔銑は飽和或ひは飽和に近い氣體を含む許りでなく常に多少の H を溶存せしめてゐる。そして熔銑が凝固する際には大概の場合相當量の氣體即ち CO, N_2, H_2 の混合氣體が湯面から放出される。然し乍ら此處で氣體の放出即ち熔銑全體の沸騰を意味するものではないかと云ふ事は頗る注意を要する事柄である。即ち氣體の放出は湯面に於ける蒸發作用によつても行はれるし亦湯面に近い箇所の熔銑は沸騰し易い。之に對し深部の熔銑は液壓が加はつてゐるから夫れだけ沸騰を起し難い。従つて普通熔銑に於いて起る沸騰は大體湯面に近い部分に限られ深部に於いては氣泡が發生し難いものと思はれる。就中鑄型内に於ける凝固速度が緩徐なる場合には第7節に於いて説明せる如く深部の熔銑に沸騰を起す可能性が少くなる。依つて飽和熔銑を注湯すれば必らず鑄物に氣泡巢が出来るなどは云へない譯である。

其處で改めて熔銑中に溶解せる H の多少が氣泡巢に及ぼす影響に就いて考へる。先づ P'_{H_2} が比較的低い場合には鑄物に氣泡巢が殆んど出来ないと云ふ事實が知られてゐる。處で其様に P'_{H_2} が低い場合にも飽和熔銑であれば凝固の終り迄少とも氣體の放出が行はれる。然し其様な氣體の放出も P'_{H_2} が或程度低ければ鑄物に氣泡を發生せしめるに至らないのであつて其理由は次の如くに考へられる。

熔銑に起る沸騰作用の全过程中氣泡巢の原因となるのは凝固期に起る沸騰に限られる。猶ほ鑄型内に於いて沸騰が起る條件は

$$P' = P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132 \text{ (atm)}$$

従つて鑄物内部の熔銑が沸氣を起す爲に液壓の加はつた深部程溶解氣體の全蒸氣壓が高くなつて行かねばならない。言換へると深さが増せば増す程沸騰を起すべき全蒸氣壓は増加して行く必要がある。然し乍ら其場合全蒸氣壓に左様な勾配があると云ふ事は即ち溶解氣體の濃度に勾配のある事を意味する。而して濃度の勾配があれば擴散作用が行は

れ全蒸氣壓の平均化が行はれる。又對流或ひは凝固作用に伴つて起る攪拌も考へられる。其他假に沸騰が起り掛けたとすれば其の沸騰が熔銑を攪拌して濃度の平均化を行ふであらう。故に熔銑内に於いて濃度の勾配が出来ると云ふ條件は案外難しいものと思はれるのである。

畢竟液壓の加はつた熔銑内部に於いて沸騰作用が起るためには其部分の全蒸氣壓が局部的に湯面よりも高くならねばならない。而して其様な壓差が出来るとは必要條件として偏析による蒸氣壓の上昇割合が擴散、對流或ひは攪拌作用による減壓傾向よりも大きくなければならない。即ち偏析による増壓割合が著しく擴散、攪拌等による全蒸氣壓の平均化が間に合はない場合に初めて熔銑内部の全蒸氣壓が高まり沸騰が起るやうになる。處で現在問題としてゐる凝固終期に於ける沸騰の有無に就いては P'_{H_2} の偏析が主因子となるのであるが更に詳しく言へば P'_{H_2} の偏析増壓の大小が沸騰作用を直接に支配する。つまり上述の理由からして熔銑内部に於いて沸騰が起るためには單に P'_{H_2} が偏析を起すと云ふのみでなく其様な偏析の割合が或程度大きい事が必要なのである。

繰返し説明せる如く凝固終期に偏析増壓の傾向を示すものは P'_{H_2} のみであり P'_{CO}, P'_{N_2} は既に増壓の傾向を失つてゐる。従つて熔銑沸騰の原因となる全蒸氣壓の増加は結局 P'_{H_2} の上昇のみに依存する。一方熔銑内部に於いて沸騰が起るためには上述の如き條件が必要である。故に結論を云ふならば鑄物に氣泡を残留せしめる様な禁物の沸騰が鑄型内で起るのは熔銑の P'_{H_2} が或程度大きい場合である事を知る。若し P'_{H_2} が比較的低いならば鑄型内に於ける沸騰は起らず従つて氣泡巢も出来ないのである。

以上の説明は言はば第18圖の蒸氣壓曲線に就いて行つた説明の補足と云へる。即ち先の説明によれば熔銑中に H が溶存してゐる限り假令 P'_{H_2} が低くとも凝固後期の沸騰を伴ひ氣泡巢の發生を見る如き結論になりさうである。然し猶一層深く考へれば上述の様な吟味の必要な事が分り氣泡巢の生ずる場合の條件が更に明瞭になる。而して普通爐による熔銑中には常に或程度の H が溶存してゐるのに氣泡巢は寧ろ案外に時偶にしか發生しないと云ふ先に述べた實際上の經驗が此處で良く説明をなし得る様になる。

猶ほ普通の熔銑に於ける P'_{H_2} は大體 $0.01 \sim 0.05 \text{ atm}$ なることが知られてゐる。而して P'_{H_2} が $0.01 \sim 0.02 \text{ atm}$ なる場合は大體に於いて低壓と云へやう。然し P'_{H_2} が 0.04 atm 以上になれば既に氣泡巢の發生する危険が充分にある

即ち P'_{H_2} 熔銑が冷却凝固する過程を通じて著増する性質をもち大約數倍乃至1桁だけ其値が高まる。故に若し最初の P'_{H_2} が $0.04 atm$ なれば凝固終期には其氣壓が $0.4 atm$ 近くにも上昇することになり上述の如き熔銑の沸騰を起し得る様になるものと考へられるのである。

最後にもう一つ注意して置きたいことがある。それは P'_{H_2} は斯様に氣泡巢の最大原因となるから P'_{H_2} を出来るだけ低くすることは氣泡の發生を防止するためには是非共必要である。然し實際に熔銑の P'_{H_2} を低くすることは容易な様で案外難しい。就中一旦熔銑中に溶込んで終つた H は熔鋼精鍊の場合に於ける如き酸化騰沸を利用して追出すことが出来ない。故に前編に於いて説明せる如き H の溶解條件を知悉して熔銑中の P'_{H_2} を能ふる限り低めねばならない。猶ほ P'_{H_2} は沸騰の凝固開始以前に於いて P'_{CO}, P'_{N_2} の兩者に比較し遙に其壓が低く其爲に餘計 H の追出しが困難となる。反對に H の溶解となると極く僅かでも P'_{H_2} の増す事が重大結果を齎す故餘程の注意が肝腎である。

10. 熔銑に於ける一酸化炭素及び窒素蒸氣壓の 高低と氣泡巢の發生

此様に鑄物に於ける氣泡巢の發生は熔銑中に溶存せる H の多少に最も多く原因する。特に P'_{H_2} が或程度以上高い場合には他の P'_{CO}, P'_{N_2} の高低を考へずに發生の原因は専ら H に在りと云つても夫れ程甚しい間違ひではない。然し既に繰返し説明せる如く熔銑の沸騰には

$$P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2} > 1 + h/132$$

なる條件によつて起るものであるから上述の様に氣泡巢の發生を H の故のみに歸する事は實際には正しくない。即ち氣泡巢の發生に關し主役を果すものが H なる事は最も重要な結論である。然しそれと共に O, N がワキ役として氣泡巢の發生を助けてゐる事實は常に忘れてはならない事柄である。

此處で O, N が氣泡巢の發生を助ける作用は H の溶存と常に關聯せしめて考ふ可き事實である。と云ふのは熔銑のもつ P'_{CO}, P'_{N_2} は假りに其壓が相當に高い場合であつても必ずしも鑄物に氣泡を残さない。即ち兩者が高い壓を示し熔銑が飽和状態に在る如き場合にも若しも P'_{H_2} が比較的の低壓であれば氣泡巢は出来ない。例へばキューボラから出湯せる際盛んに沸騰をなせる如き熔銑であつても同湯を注いで健全な鑄物の出来る場合もある譯である。尙熔銑が凝固開始以前に於いて沸騰を起し火花を飛ばす現象は同湯の P'_{CO}, P'_{N_2} が高い事實を如實に示す。但し同現象を以つ

て P'_{H_2} の高低を判斷する事は出来ないと云ふ事柄は先にも注意せる如く是非知り置く必要がある。

一方以上の如き場合に對して熔銑のもつ P'_{CO}, P'_{N_2} が高ければ高い程氣泡巢が生じ易いと云ふ事は常に言ひ得ることである。即ち P'_{H_2} が或壓を示すとして熔銑の沸騰條件を考へれば P'_{CO}, P'_{N_2} は高い程沸騰を促すことが分る。従つて上述の如き飽和熔銑に於いても氣泡巢が必ず發生すると云へば間違ひであるが之を發生し易いと云へば正しい。即ち P'_{CO}, P'_{N_2} の高い熔銑に於いては P'_{H_2} が割合に低くとも氣泡巢が出来易い。つまり P'_{CO}, P'_{N_2} の高い事は H の効果を著しくする意味で氣泡巢發生の原因となり得るものである。

斯様な理由により靜物に於ける氣泡の發生を防ぐためには第1に熔銑の P'_{H_2} を出来るだけ低くする必要がある。それと共に P'_{H_2} を出来るだけ低くする必要がある。それと共に P'_{CO}, P'_{N_2} をも低くする事が健全な鑄物を作るために是非必要である。例へば熔銑を取鍋に注ぐ際沸騰を伴ふ様であれば鑄物に氣泡を残す危険が多分にある譯で甚だ好ましくぬことである。尙湯面から火花が飛ぶのは熔銑が沸騰を起してゐる證據であり、火花の多い熔銑は好くないものと斷定出来る。

一般にキューボラによる熔銑は P'_{CO}, P'_{N_2} が高く火花が飛び易い。それでも P'_{H_2} が低ければ氣泡巢は出来ない。然し P'_{CO}, P'_{N_2} が高い事は P'_{H_2} の影響を著しくするから其様な熔銑では多少でも P'_{H_2} が高まると氣泡が發生し易い。之に對し電氣爐による熔銑は大體に於いて P'_{CO}, P'_{N_2} が低く火花も飛ばない。従つて P'_{H_2} が特に高くなければ氣泡巢は發生しない筈である。然し前章に於いて注意せる如く電氣爐熔融に際してはキューボラ以上に爐床、裝入鐵材、熔滓、爐氣或ひは珪素鐵等から H の溶込む可能性が多い。依つて注意しない往々 P'_{H_2} が高まり意外な惡結果を招くことがある。

11. 氣泡の逃げ路と凝固の速さ

以上の説明により鑄物に氣泡の發生する條件は大體論じ盡した様に思ふ。然し實際に鑄物に氣泡が残留する場合の事を考へると其様な熔銑沸騰の條件以外にも若干の考慮すべき條件がある。即ち熔銑が沸騰を起しても若し氣泡の逃げ路が與へられてゐるならば夫れが氣泡巢となつて残らない。依つて氣泡巢の發生に關しては熔銑の沸騰以外に氣泡の逃げ路の有無を吟味せねばならない。

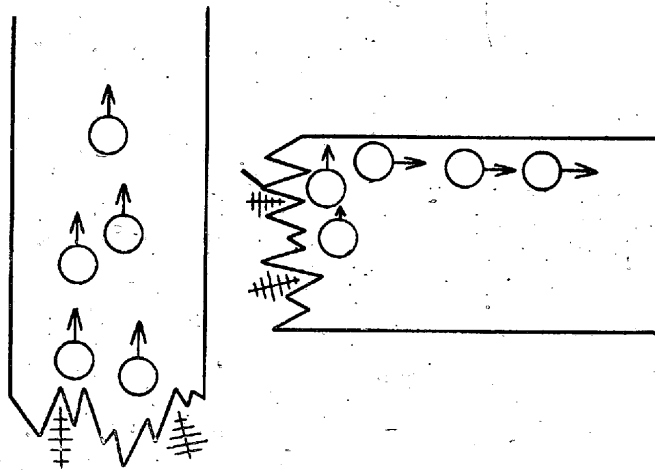
熔銑の凝固後期に於ける沸騰は鑄物に氣泡を残し易い。

然し乍ら其様な沸騰が起つても若し氣泡の逃げ路が猶ほ與へられてゐるならば氣泡は湯外へ逃げ去り鑄物體内に残留することはない。例へば鑄型内に於いて熔湯が下部から漸次凝固し來り氣泡の上方への逃げ路が都合よく與へられてゐるならば假令 P_{H_2} の高い熔銑であつても其の凝固が一端から始つて漸次他端へ及んで行くにつれて甘く結晶の發達が氣泡を押し出して行く態とならう。依つて其様な場合にも氣泡の残留する恐れが少ない。

處で一般の鑄型設計に關しては勿論斯様な點に對する考慮が拂はれてゐる。即ち凝固は可能なる限り下部より始まつて上方に至る様又水平部分に於いても一端より漸次他端

垂直方向

水平方向



第 21 圖 凝固時に於ける氣泡の逸出状況

へ凝固が及ぶ様に工夫されてゐる。従つて大部分の氣泡は湯外に逃げ去る様に出てゐる。然し逃げ後れるものも往々ある筈で複雑な鑄物になると押湯、揚り等を付けても却々完全には行き難い。猶ほ逃げ後れた氣泡は或る場合球狀の鑄巢となつて残るが其他に形狀が變り引け巢として残る場合も多い。即ち次章に於いて詳説する如く残留氣泡は必ずしも球狀を呈せず寧ろ一般にはそれが引け巢の形狀で残ることの方が多いのである。

猶ほ經驗によると氣泡巢の發生箇所は大體に於いて鑄物の表面に近い處が多い。就中鑄肌面に沿つた氣泡巢の發生を見る場合が相當多い。斯様な氣泡の一部は鑄型の水分等にも原因する。然し多くは寧ろ熔銑中の溶解氣體に原因を求むべきものである。即ち内面に着色皮膜をたない白銀色の氣泡で明らかに湯内より發生したものと認めらる可き氣泡が鑄肌面に沿つて現れる。其様な氣泡は如何にして出來たかと云ふと先づ熔湯の鑄砂に直接に觸れる部分は急冷を

受ける。故に偏析が著しく氣泡の發生も促される。且つ湯面に出來た皮膜は氣泡の逸出を妨げる。即ち湯面には酸化皮膜或ひは凝固皮膜が逸早く出來るからそれに引掛つて氣泡が外へ逸出出來ないものと思はれる。

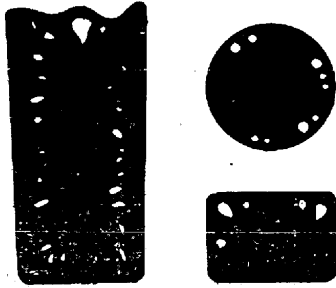
次に發生氣泡の逃路に關聯し熔銑の凝固速度に就いて考へる。既に説明せる如く熔銑の沸騰作用に就いては其冷却速度が大いに影響する。若し熔銑の冷却が緩徐であれば沸騰は起り難く特に液壓の加つた熔銑の内部に於いては氣泡が發生し難い。つまり熔銑が沸騰を起すためには或程度の急冷却が必要である。そして鑄型内部に於ける沸騰に就いても急冷される部分程氣泡の發生が促される。即ち凝固速度が大きければ偏析も著しく局部的に溶解氣體の蒸氣壓が高まり易い。従つて其箇所にも氣泡が發生し易い。且つ熔銑の冷却凝固が速かであれば當然氣泡の逸出も障げられるからそれが鑄巢になつて残るものと考へられる。

處で實際に鑄物に於ける氣泡の發生箇所を吟味してみると上述の様な説明が良く事實に適合する。即ち屢々ピンホールと稱せられる氣泡は肉厚の部分よりも肉の薄い部分に出來易い。又鑄物の内部よりも表面に近い箇所に現れる事が多く何れも冷却凝固の比較的速やかに行はれる部分なることが認められる。同じく凸起部或ひは稜角部分、冷金を當てた箇所などにも良く現れる。就中冷金は氣體の逸出を障げるのみではなく其表面に濕氣を呼び錆が出來易く其ために餘程の注意を拂はないと却つて氣泡の原因となる又濕氣に對する注意を拂ひ熔銑に觸れて水蒸氣を發生する恐れのある錆のないやうに用心はしても上述の理由から冷金は兎角氣泡巢の原因となり易いのである。

尤も薄肉鑄物或ひは金型鑄物の如く急冷の度合が特に高ければ熔銑中の溶解氣體は氣泡となる暇なく過飽和の特態で凝固しやう。或は氣泡を生じたとしても極めて微細であり肉眼では見えないかも知れない。よつて其様な實驗と上述の結論とは別段矛盾するものではない。つまり氣泡巢の最も出來易い冷却速度乃至は凝固條件と云ふものがあり得る譯である。而して其様な冷却條件は一様な冷却速度よりも寧ろ急冷と徐冷とが或局所に於いて境をなすやうな場合に氣泡巢の發生を促す。例へば比較的厚肉の部分に於いて表面だけが急冷され内部は割合に徐冷と云ふ様な場合その境目に氣泡が發生し易い。と云ふのは薄肉部分では全體が急速に凝固するから氣泡發生の暇が無い。之に對し表面だけ急冷すると其附近に於いて偏析のため濃度が高まり然かも其場合は内部が緩冷なるために比較的氣泡を發生し易い

つまり全體が急冷される場合には過飽和状態になつて氣泡の發生なしに凝固するが急冷が局部的であれば急速凝固による偏析と徐冷に移る際に起る沸騰作用とにより其處に氣泡を發生し易いのである。

猶ほ同様な現象は所謂リムド鋼のインゴットに於いても見られる。即ち無或ひは半鎮靜熔鋼を金型に注いだイン



第22圖 鑄物の周邊に沿つて屢々現れる氣泡巢

ゴットの断面を見ると圖示の様に氣泡が縁を作つて現れる。鑄鐵鑄物に於いても大體相似た傾向により氣泡が鑄肌近く現けると云ふことは面白いことである。

其他鑄込温度の高低は熔銑の凝固速度に影響する。高温にて注湯すれば凝固は緩徐になり低温の熔銑凝固が速である。従つて氣泡の發生を防ぐには鑄型が耐へる限りの高温で注湯するに越した事はない。事實 P'_{m_0} が高く普通の鑄込温度では鑄巢の發生を避け得ないものでも同温度を更に一段と高めてやれば成功する場合の多いことは實驗上確められてゐる。而して鑄込温度を高くすることは氣泡のみならず引け巢の發生をも防ぐ故現場的には大いに意味のある事柄である。

以上の説明により氣泡巢の發生條件は大概明示し得たものと思ふ。依つて亦氣泡巢の防止方法も自ら諒解出来る。然し其様な方法に関する結論的な説明は次章に於いて引け巢の發生條件を説いた後にした方が良いと思ふので後廻しにする。即ち實際上氣泡巢と引け巢とは其の發生條件に関し共通の原因に基づく故別個にするよりも寧ろ兩者を一緒にして考へる方が正しいのである。故に次章に於いて更に其様な兩者の共通性を説き引け巢の發生條件を明らかにする。

IV. 鑄物に於ける引け巢の發生

1. 引け巢の成因に関する常識と其誤謬

引け巢は鑄物技術者にとつて氣泡以上の大問題である。引け巢のない鑄物を作ることが技術者にとつて如何に困難なものであるかと云ふことは鑄造に長年の努力を献げて來た人達がつくづくと述懐する事である。それ程に此の引け巢の問題は難しく且つ解き得ない性質を多く有してゐた。ところで鑄物に於ける引け巢の發生現象はそれ程に切實な

問題であるにも拘らず其正體の究明と云ふ點になると頗る情ない實情に在つたのである。寧ろ今迄の考へ方によると引け巢は鑄物に付き物であり、それを完全に無くする事は殆んど出來ない相談であるとの諦めさへもあつた様に思ふ。依つて同現象を更に一步進んで研究しやうとする努力は案外に拂はれてゐなかつたのである。

此處で鑄物に引け巢は付き物と云ふ觀念が何故に一般の常識となつて今迄存してゐたかを先づ考へてみる。さうすると夫れは結局引け巢の成因を間違つて考へて來たと云ふ同現象の本質に関する認識の不足に原因を求め得る。と云ふのは從來の考へ方によれば引け巢は熔湯が凝固する際に收縮を伴ふと云ふ事實に由來する。そして其様な金屬の收縮性は不可避的であるから收縮に基く引け巢の發生も亦或程度必然的なものであると思はれる。尤も凝固過程に於いて熔湯の收縮が起つても熔湯の補給が行はれる限り引け巢は生じない。然し實際には鑄型が少し複雑になると局部的に熔湯の補給不足な箇所を生じ兎角引け巢が出來易い。

以上の様な考へ方は必ずしも誤りではない。熔湯の收縮性が引け巢の發生に密接な關係を有つ事は言ふまでもない。然し乍ら斯様な説明のみを以つて引け巢の成因を明かにする事は實際には不可能である。と云ふのは上述の説明に於いては引け巢の成因に関する主眼點を熔湯の收縮性に置いてゐる。即ち凝固の際に起る收縮に引け巢發生の原因の大部分を求めてゐる。一方に於いて熔湯の補給と云ふことにも注意を拂つてはゐるやう。然し其様な注意の程度は必ずしも深いものではなく唯鑄型の設計例へば肉厚、湯道或ひは押湯などの如何と引け巢の發生との關係を調べる位の程度であつた。つまり熔湯の補給と云ふ點に就いては鑄型内に於ける凝固の進み方のみを専ら問題として來たのである。

ところで斯様な説明に就いて第一に問題とせねばならぬことは以上の説明が熔湯の個性と引け巢との間に見られる密接な關係に就いて少しも觸れてゐないと云ふことである。即ち現場に於ける絶えざる經驗と更に緻密な實驗を行つた結果から知られる様に引け巢は單に鑄型の善惡の如き外的原因のみによつて發生するものではない。例へば鑄型の條件は殆んど完全に同一と思はれる場合に於いても數多くの鑄物を作る中には必ず引け巢の出來の多い場合と少ない場合とが生じる。而して其様な現象の成因は鑄型或は鑄込温度の差異に在るのではなく確に熔湯自身に引け巢を生じ易いものと生じる處れの少ないものとがある。或熔湯に

就いては鑄込條件を慎重に吟味し注湯を行つたにも拘らず引け巢が發生し然も其様な引け巢は例外的に現れるのではなく同一熔湯を注いだ多くの鑄物に於いて共通的に現れる。

斯様な事實は熔湯の個性と引け巢との間に或密接な繋りのある事を教へる。そして熔湯の性質の中で單に收縮性のみを問題とするならば組成を同じくする熔湯は引け巢の發生に關し總て同じ可能性をもつ、従つて組成を同じくする熔湯に於いて引け巢が著しく出来る場合と然らざる場合とがある筈はないのである。然るに上述の様な熔湯のもつ個性の差異は同組成の熔湯に就いても明らかに見出される。つまり引け巢の發生に就いては熔湯の收縮性以外にもつと根本的原因が熔湯自身の個性の中に存してゐるに違ひないと云ふ事が當然察知せられる。よつて熔湯の收縮性を鑄型内に於ける凝固の進み方に結付けて引け巢の發生を説明しやうとした今迄の考へ方の不備なる點も分るのである。

畢竟引け巢の成因を熔湯の收縮性のみ求めやうとした從來の考へ方は以下詳細に説明する如く正しくないものである。單に收縮性のみによつて説明をなさうとすれば先づ上述の如き熔湯の個性に關して説明の困難な事實に直面する。更に同現象を深く吟味すれば引け巢の成因を凝固時に於ける熔湯の收縮に求めることが既に誤りである事も分るのである。即ち熔湯の收縮性は引け巢の主因とはならないのであつて其點で今迄の觀念は間違つてゐる。但し左様に云つても熔湯の收縮性と引け巢の發生とが無關係であると云ふ譯では無論なく両者は密接な關係をもつてゐる。然も引け巢の主因は飽くまで熔湯の收縮性以外に求むべきものなのである。

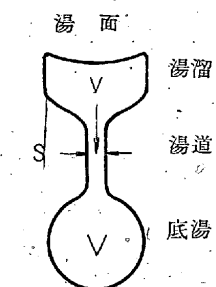
結論を先に云ふならば引け巢の發生は熔湯中の溶解氣體に依つて直接に影響される。氣泡巢と同様に若しも熔湯中に氣體が溶存してゐなければ引け巢は生じない。唯氣泡と異なる點として引け巢の發生に關しては溶解氣體と共に熔湯の收縮性が同時に問題になる。即ち引け巢は溶解氣體の作用と相俟つて熔湯の凝固時に於ける收縮がその發生を促すのである。その意味に於いて熔湯の收縮性が引け巢の發生を齎すと云ふ事は云へる。然し上述の様に熔湯の收縮のみによつて引け巢が出来ると考へるのは間違ひであり寧ろ主因は溶解氣體に在ると云ふ方が正しいのである。

2. 熔湯の連続性と其切斷條件

鑄物の内部に於いて何故に引け巢が發生したかと云へばそれは熔湯の凝固に際し湯が切れたからである。熔湯は凝

固につれて收縮を起すから鑄型内部に於いて絶えず不足せる熔湯の補給を必要とする。然るに若しも其様な補給が完全に行はれなければ或局部に於いて湯が切れて引け巢を残す様になる。依つて其様な熔湯の切斷の起る條件を先づ吟味してみる。

説明を分り易くするために圖示の如き鑄物の基本型を考へそれに就いて引け巢の發生する條件を考究する。鑄物に於いては肉厚の不同其他の條件により凝固の速い部分と遅い部分とがある。凝固の速い箇所は湯道の細まりが速く熔湯はその部分に於いて絞られる。而して如何なる形狀の鑄物に於いても引け巢の發生する際の狀況としては圖に示せる如き熔湯の絞られる箇所とその下方に在つて湯を引く部分とが出来ると考へられる。即ち同圖は引け巢の最も出来易い鑄型の標本を示すと共に總ての鑄物に於いて引け



$$\text{連續條件} - \frac{dV}{dt} = Sv$$

第 23 圖
底湯の收縮と湯流れ

巢が發生する際の一般的狀況をも示してゐる。

今新様な鑄物に於いて凝固の進捗して行く狀況を考へる。此處で湯の絞り箇所を湯道と假稱しその斷面積を S とする。又底湯の容積を V としそれが凝固の進捗と共に收縮して行くとする。その單位時間に就いての收縮割合は $-dV/dt$ であるがそれだけの熔湯は絶えず上方から補給されなければならない。即ち收縮量を補ふため湯溜から湯道を通つて熔湯が流れるのであるが其流速を v とする。而して若しも底湯の吸引が餘り強くなく熔湯が連続性を保つてゐるならば

$$-dV/dt = Sv \dots\dots\dots (30)$$

なる條件が成立つてゐるに違ひない。即ち收縮量が湯道よりの流入量が湯道よりの湯入量と釣合つてゐる限り熔湯は切斷しない。

ところで湯道の斷面積 S は一定の大きさに止まつてゐるものではなく熔湯の冷却凝固につれて次第に細まつて行く。一方に於いて底湯の收縮量は底湯の外殻から失はれる熱量に比例する。而して一般に時間と共に $-dV/dt$ が多少變化する。然し其様な變化は湯道の細まりの速さに比較してそれ程著しくしないとする。 $S \rightarrow 0$ なる場合底湯が猶熔融状態に在つて凝固收縮を續け $-dV/dt$ なる吸引が依然或強さをもつてゐる場合が起る。さうすると底湯の吸引に對し湯道を通る熔湯の速さは當然増加して行かねばならない。即ち $S \rightarrow 0$ なる場合には $v \rightarrow \infty$ とならなければ連続の

等式(30)が成立たなくなる。

然し乍ら此處で $v \rightarrow \infty$ なることは勿論不可能である。即ち常識的に考へても流速が無限に増大することはあり得ず v には自ら或限度があらう。従つて $S \rightarrow 0$ なる場合或限度以下に湯道が細くなると遂に

$$-dV/dt > Sv \dots\dots\dots(31)$$

となり流量に不足を生ずる。即ち底湯収縮割合の方が流量よりも大きくなり其處に於いて遂に湯道の流れが切れるのである。流れが切れれば空隙を生じ其空隙は底湯の収縮について次第に大きくなる。そして鑄物が凝固し終つたとき其處に引き巣を残すことになる。

新様にして熔湯の切断する條件を考へればそれは結局 v なる湯道流速が S なる湯道の細まりにつれて幾らでも大きくなつて行つて呉れないと云ふことに原因する。故に我々は次の問題として其様な流速の限度が實際に如何なる大きさに止まるかと云ふことを知る必要がある。處でそれを知る爲には湯道が切れる瞬間の流速と云ふよりも寧ろ切れ目が出来た後に於ける流速を最初に求めた方が分り易からう而して湯道の切れる一瞬前の流速は結局切断せる瞬間の流速に等しい。依つて湯道に於ける流速の限度を知る爲には湯道が切れたとして其場合に於ける流速を求めればよい。

兎も角湯道の流速には或限度が與へられてゐる。従つて或程度以上湯道が絞られると湯が切れる。而して湯道が切断せられた場合に於ける流速の大小は即ち其熔湯が切れ難いか切れ易いかと云ふ性質の差異を示すことになる。其處で更に本質的問題として其様な熔湯のもつ性質の差異は一體何に原因するのかと云ふことが考へられる。依つて次に其様な點に就いて説明を續けやう。

3. 真空引け巣發生の可能性

引け巣を定義して云へばそれは鑄物の内部に出来た空隙である。同じく空隙であつても例へば押湯や揚りの箇所に来る所謂パイプ穴の如く外部に通じた空隙は引け巣と區別して考へる。即ちパイプ穴は熔湯の収縮性からして如何なる鑄物に於いても必然的に生ずべきもので其點引け巣とは趣を全く異にする。言換へるとパイプ穴の發生は必然的であるが引け巣の發生は決して必然的ではないのである。その理由を次に説明しやう。

引け巣とは鑄物の内部に生じた空隙であり通常外部と連絡してゐない。従つて若しも熔湯中に溶存せる氣體の存在を無視して單なる熔湯の収縮のみによつて其様な空隙が出来たものであると考へるならば其空隙は真空なるべきこと

が當然結論される。前述の如く凝固に際して湯道が絞られ其結果として空隙が出来る場合問題になるのは實際に於ける湯道の流速である。ところで其様にして生じた切れ目が若し真空であると假定すれば其場合の流速は次の如き式によつて求められる。即ちベルヌイの連続式を適用して湯道の流速を計算する事が可能である。

今再び第 24 圖に就いて考へる。さうすると湯道の流速 v は

$$v = \sqrt{2g(h+132)} \dots\dots\dots(32)$$

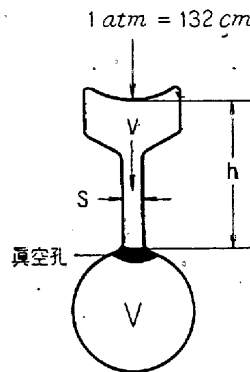
此式に於いて g は重力の加速度 h は湯面から切れ目までの液高、最後の 132 なる値は大氣壓 1 atm を熔銑の液頭單位で表したものである。其處で液高 h を無視して v の値を求めると

$$v = 500 \text{ cm/sec}$$

即ち熔銑中に真空の切れ目が出来たと假定すればこれだけの速さで湯が流れる。言換へると底湯の吸引が強く湯道の流速が遂に斯様な値まで達した時に初めて熔銑が切れる。而してよく考へれば此毎秒 5m と云ふ速さは相當に大きなものであり此の程度にまで流速が高まる爲には底湯の吸引が餘程強い若くは湯道の絞られ方が特に著しいものなることを要する。

此處で真空の切れ目が生じた場合に於ける流速が斯様に高い値を示すのは言ふまでもなく大氣壓の作用による。即ち熔湯が連続してゐる限りに於いては大氣壓が効いて來ないが湯内に真空が出来れば直ちに大氣壓が作用して其の空隙を潰さうとするに違ひない。その壓力は決して小さいも

第 24 圖 真空孔の發生を假定せる場合に於ける湯道の流速



$$v = \sqrt{2g(h+132)}$$

のでなく従つて常識的に考へても熔湯内に真空の生ずる可能性は極めて少ない。若し之れだけの速さで流れても猶底湯の収縮吸引が著しいために湯道が切れると云ふのであれば夫れはよくよくの場合である。加之湯道の流速が大きければ其部分に於ける凝固速度が鈍り湯道の細まりも遅れるに違ひない。従つて Sv なる湯道の流道の流量の不足も起らぬ筈であり愈々湯道の切れを生じ難くなる。

猶湯道の流速を求めるにベルヌイの式を用ひたが同式の適用は嚴密な意味に於いては定常流に就いてのみ許容され

るものである。又細隙を流れる流體の式は粘性を考慮して多少の補正を必要とする。依つて上に求めた流速は正確に云つて或程度の修正を要しやう。併しそれ等の點を考慮するも湯内に生じた真空が非常に強い吸引力を示すと云ふ事柄は問題なく認め得る。故に絶対に不可能ではないにしても實際問題として熔湯内に真空孔の出来る可能性は極めて少ないとは言ひ得るものと思はれる。而してその様な結論を導くものとして真空切れ目發生後に於ける流速 $5m/sec$ なる數値は重要な意味をもつてゐる。

斯様に考へるとき若し熔湯中に氣體が全く溶存してゐないとするならば鑄物に引け巢は殆んど絶対に出来ないと言ふ事が結論される。即ち溶解氣體を含まなければ湯内の切れ目は真空になる可きであるが一方真空孔の發生は大氣壓の作用を考へるとき夫れが殆んど出来難いものなる事を知る。猶此場合鑄物の形狀が複雑であつたり又凝固の發達具合によつて外殻或ひは湯道が逸早く閉ぢて終ひ其爲に熔湯の内部まで大氣壓が及ばぬ事もあるのではないかとの疑問が浮ぶかも知れない。左様な場合には假令溶解氣體が存在せずとも引け巢が出来易いのではないかと一應思はれる。然し良く考へてみると左様な疑問は簡単に解消すると云ふのは鑄物の形狀の如何によらず内部に封じられた熔湯の外殻湯道を完全に閉ぢ様とすれば必ず何處かに上述の如き真空を生じ其真空が湯道を閉塞させまいとする作用を果す。従つて上に得た結論は總ての場合に適用されるのである。

畢竟完全に氣體を含まない熔湯であるならば湯道が閉ぢた瞬間に熔湯内部に真空の切れ目が發する。然るに真空の切れ目發生の可能性は大氣壓の作用を考へるとき殆んど有り得ないものなることが分る。従つて左様な理想的熔湯が得られたとすれば假令如何なる形狀の鑄型に注がうとも鑄物に真空引け巢を生ずる可能性は殆んど無いと云へる。然し乍ら猶以上の如き説明のみを以つてしては引け様が絶対に出来ないとは云へないから結論に多少の弱味があるかも知れない。即ち引け巢は熔湯の凝固收縮のみによつて發生するとした今迄の觀念を完全に否定することは出来ないかも知れぬ。

然し其様な疑問も亦次に述べる如き説明によつて解消出来るものと思はれる。即ち其爲には氣體を溶存せぬ熔湯に對し溶解氣體を多く含む熔湯が如何に引け巢を發生し易いかを比較してみれば良い。さうすれば氣體を多く溶存する熔湯が非常に切れ易い性質をもつことが分り同時に氣體を含まぬ熔湯に於いては引け巢は事實上發生しないことも諒

解されるに違ひない。

4. 溶解氣體の蒸氣壓と熔湯切れ目の成長

斯様に熔湯が氣體を全く溶存せしめてゐないならば引け巢は殆んど生じ難い。然し乍ら一般の熔銑に就いて氣體を溶存せぬものが實際にあるかと云ふに事實上有り得ないのである。即ち總べての熔銑は相當量の氣體を必ず溶し込んでゐる。依つて左様な熔銑に就いては新しい吟味を必要とする譯である。

今前と同様第 25 圖に示す如き鑄物を考へる。而して熔湯の冷却凝固が進み湯流れが絞られた爲に湯道が切れて終つたとする。さうすると其處に空隙が出来ると譯であるが其空隙は前の場合とは違ひ真空ではない。何となれば熔湯中に氣體が溶存してゐる以上假りに同湯内部に空隙が出来たとすれば必ずや其空隙内には氣體が存在する筈である。即ち萬一湯の切れた瞬間に於いて真空が生じたと假定するも溶解氣體が或蒸氣壓をもつ限り真空發生と同時に熔湯の沸騰が起り氣體が發生する。例へば熔銑の湯面を真空に引けば忽ち沸騰作用の起ることは實驗によつて良く確められてゐる。

従つて氣體を含む一般の熔銑に於いては湯内に真空が出来る可能性がないと斷言される。つまり湯内に切れ目が生じたとすれば其切れ目は氣體によつて充されてゐるに違ひない。

此處で我々は最初熔湯が何故切斷されたかと云ふことは後廻にする。即ち第 25 圖に於いて湯道が既に切れて終つてゐると考へ且つ其切れ目には氣體が含まれてゐるとするそして其氣壓を P_{atm} とすれば同氣壓は既に前章に於いて詳説せるところにより夫れが蒸氣壓に等しい事が分る。即ち溶解氣體の全蒸氣壓を P' とすれば

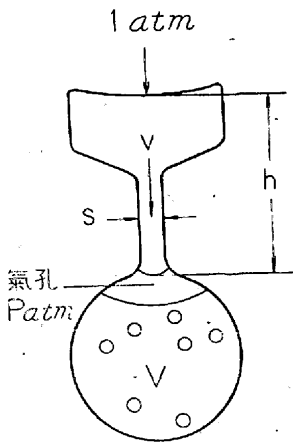
$$P = P'$$

但し同圖に於いて底湯の吸引が強く切れ目が急速に擴大して行く如き状況にあれば熔銑よりする氣體の放出が後れ勝ちになる場合も考へられる。その様な場合には

$$P < P'$$

とならう。然し大體に於いて熔銑の沸騰作用の起り易い性質よりして空隙が減壓状態になれば直ちに氣體の放出が起り氣壓の回復が行はれる様に想像される。兎も角何れにしても熔湯の切れ目には直ちに氣體が吸出され或氣壓 P を保つに違ひない。

一方に於て湯内に切れ目が發生すれば其途端に大氣壓が作用して生じた切れ目を再び潰さうとする傾向のある事は



$$v = \sqrt{2g(S+132(1-P))}$$

第 25 圖

氣孔の發生と湯道の流速

もつてゐたと云へるし又反對に切れ易い熔湯は切斷後の流速が必ず小さい筈である。若し熔銑内に生じた切れ目が真空なれば左様な場合の流速 v は

$$v = \sqrt{2g(h+132)} > 5 \text{ m/sec} \dots\dots\dots(32)$$

然し今の場合には切れ目が真空でなく P なる氣壓の氣體が其内部に存在してゐる。依つて大氣壓の作用は夫れだけ弱くなる筈であり其場合の流速を求むれば

$$v = \sqrt{2g(h+132(1-P))} \dots\dots\dots(33)$$

即ちベルヌイ式に於いて P (atm) なる負壓が効いて流速の増加を防ぐ。そして P が高い氣壓を示せば示す程湯道の流速は遅くなる。

斯様にして湯道が切れた場合にも同熔湯のもつ蒸氣壓が高ければ大氣壓の作用は夫れだけ弱い。斯ち湯道の流速が遅くなり底湯の吸引に益々應じ得なくなる。従つて切れ目は更に擴大し其切れ目は遂に引け巢となつて残るやうになる。つまり一般に氣體を多く溶し込める熔湯程引け巢が発生し易い譯である。特に此場合熔銑のもつ蒸氣壓が沸騰壓即ち

$$P' = 1 + h/132 \text{ (atm)}$$

に達してをり切れ目内の氣壓も同壓と平衡に在るならば

$$v = \sqrt{2g(h+132(1-1-h/132))} = 0 \dots\dots\dots(34)$$

即ち湯道の流速は零となる。言換へると斯様な場合には若し熔銑内に切れ目が生じたとしても猶湯道に湯流れが全く起らない。従つて切れ目はどんどん大きくなつて行く、つまり一般に熔銑のもつ蒸氣壓が斯様に高ければ高い程左様な切れ目の成長が速かに行はれる道理なのである。

5. 熔銑の沸騰と湯道の切斷

この様に溶解氣體の蒸氣壓高き熔銑に於いては湯道に切

れ目を生じた場合その切れ目が成長し易い、従つてそれが引け巢となつて残り易いことも諒解出来る。就中熔銑の蒸氣壓が既に沸騰壓に達してゐる場合には假令湯道に切れ目を生じても湯流が全然起らない。故に其切れ目は底湯の吸引につれて急速に成長し引け巢となつて残る傾向が最も著しい。

ところで以上の説明に於いては先に斷れる如く湯道が何故切斷したのかと云ふ根本問題は後廻しにして來た。唯湯道が切れる場合の條件として

$$-dV/dt > Sv \dots\dots\dots(31)$$

なる不等式の與へられべき事の中に就いては説明済みである。即ち熔湯の凝固進捗により湯道が細く絞られた場合それに對應して流速が増加して呉れるならば湯道の切れることは無い。然し一般には左様な注文通りに行かず流速 v の増加に或制限がある。故に上式の如く底湯の吸引に對し湯道の流量が不足し熔湯に切れ目を生ずる。

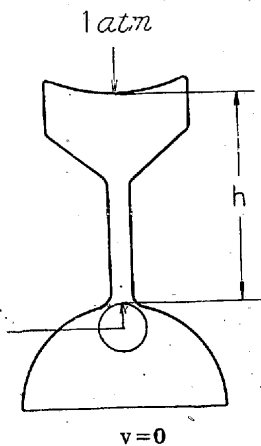
其處で斯様な説明の中で最も重要な點は何かと云ふとそれは湯道の流速の増加に一定限があると云ふ事である。即ち上述の説明を云ひ換へると熔湯に切れ目の生ずるのは結局湯道の流速に制限がある故とされる。従つて問題は寧ろ其様な現象の説明如何に在る。一方に於いて湯道が切れて終つた後に於ける流速に就いては

$$v = \sqrt{2g(h+132(1-P))} \dots\dots\dots(33)$$

なる關係により熔銑のもつ全蒸氣壓が流速に影響することを知つた。よつて残る問題は湯道が切れる直前の流速即ち一定の制限をもつ流速の増加限度を知ることである。而して其様な流速の限度に關しても溶解氣體の全蒸氣壓が直接影響を及ぼすであらうと云ふことは豫想し得られる事柄であらう。

猶先に湯道の切れ目發生に關し切れ目が出来れば其處には常に氣體が含まれてゐると述べた。然し切れ目内部に存在する氣體に就いては夫れが切れ目發生後に吸出されなものは或ひは發生と同時に言ひ換へると氣體の放出によつて切れ目を生じたものを不問に附して來た。依つて其點に就いても改めて説明を要するのであるが同問題に關し先づ純粹に溶解氣體のみの作用により湯道の切れる場合のことを考へる。處で其様な場合として直ちに考へられるのは熔湯が沸騰を起せる場合である。即ち熔湯のもつ全蒸氣壓が高く沸騰が起つた場合氣泡の大部分は湯外へ逃げるが亦其一部が逃げ遅れて鑄巢になることもある。そして逃遅れた氣泡の中の或者は球狀の儘の形で鑄物の内部に残留する。又

其他に溶湯の内部を逃げる途中に於いて湯道の細く絞られた箇所に引掛つて逃げられなくなるものもあらう。其様な場合には氣泡が湯道を塞ぐことになり上述の溶湯の沸騰が湯道の切れを生じる如き場合が起るものと考へられる。



第 26 圖 沸騰氣泡による湯流れの完全閉鎖

其處で今第 26 圖に於いて左様なことが起り發生する氣泡が湯道に引掛つたとする。さうすると其途端に湯道が切れる。ところで湯道が切れれば一般には大氣壓が作用して溶湯の流れが起る筈である。然し此の場合には其様な流れが全く起らないのである。と云ふのは既に詳述せる如く熔銑内に於いて發生せる氣泡内の氣壓は

$$P = P' = 1 + h/132 \text{ (atm)}$$

である。又湯道が切れた場合の流速は

$$v = \sqrt{2g(h + 132(1 - P))} \dots\dots\dots (33)$$

依つて前者を流達式の式に代入すれば

$$v = 0$$

となる。即ち斯様な沸騰氣泡が湯道を塞いだとすれば流れは完全に止つて終ふのである。然も底湯は猶熔融状態に在り凝固收縮を續けてゐるとすれば最初氣泡によつて生じた切れ目は底湯の吸引につれて次第に大きくなる。

猶切れ目が成長すれば切れ目内の氣壓は減少する。よつて湯道は再び流れ出す様に考へられる。然し實際には切れ目内の氣壓が降下しやうとすれば再び底湯の沸騰が起つて氣體が發生する。故に多少減壓の傾向はあつても大體に於いて切れ目内の氣壓は沸騰壓を維持し湯道の流れを阻止するものと思はれる。其處で斯様な熔銑に於いては引け巢が最も出來易いのである。

畢竟熔銑が沸騰を起すことは單に氣泡巢を残留せしめる虞れがある許りでなく夫れが引け巢の直接的原因となると云ふ理由によつて大いに注意を要する。言換へると氣泡巢と引け巢とは共に熔銑が沸騰を起した結果として生じ得るもので其意味に於いて兩者は共通の成因をもつてゐる。唯引け巢が氣泡巢と異なる點は後者が沸騰によつて發生せる氣泡の原形を保つのに對し前者は其様な氣泡が底湯の收縮吸引により更に形狀を變へた處に在る。即ち引け巢は氣泡

が湯道を塞いだ結果として生ずる意味に於いて其發生の原因を溶銑の沸騰に求めることが出来る。而して湯道を塞いだ場合にも若し底湯の收縮吸引がなければ氣泡の球狀原形は大體に於いて其儘残るものと思はれる。之に對し底湯の收縮吸引が強ければ氣泡は更に擴大され形を變へて行く。

結局引け巢は氣泡の變形したものと云つて間違ひない。變形を起したのは底湯の收縮の故であるが夫れよりも氣泡が湯道に引掛り湯流れを切つたと云ふ事の方が變形の真相として正しい。唯此處で熔銑の沸騰とそれに伴ふ引け巢の發生に就いては以上の説明のみでは未だ不充分な點があり現象を完全に理解する爲にはもう少し説明を加へねばならない。

6. 熔銑の沸騰條件に及ぼす流速の影響

此様に湯道に切れ目の生ずる場合の一例として熔銑の沸騰が先づ起り其氣泡が湯流れを止める。次に其様な場合以外に湯道の切れる可能性の有無を考へる。もう少し詳しく云へば熔銑の沸騰が起るには溶解氣體の全蒸氣壓が

$$P' = 1 + h/132 \text{ (atm)}$$

なる沸騰壓に達しなければならぬ。若し其蒸氣壓が沸騰壓以下であるならば單に今迄の説明のみを以つてすると氣泡は發生しない筈である。故に上述の氣泡の惡戯による引け巢の發生なる現象も起らない。つまり沸騰を起す如き熔銑であれば引け巢の發生を説明し得るけれども一般の不飽和熔銑の場合には説明が及ばないのである。其處で次に熔銑の全蒸氣壓が沸騰壓以下なる一般の場合に就いて引け巢の發生條件を考へてみる。それには先ず熔銑の沸騰條件なるものを改めて吟味し直す必要があるのである。

今迄熔銑の沸騰條件として専ら論じて來たところによれば同條件は

$$P' = P'_{CO} + P'_{N2} + P'_{H2} > 1 + h/132 \text{ (atm)}$$

なる關係式によつて示された。この式は熔銑内に於いて氣泡が發生するための必要條件として總ての場合に適用して來た。ところで今我々は此式に就いて新しい吟味を加へねばならなくなつたのである。と云ふのは斯様な熔銑の沸騰條件は今迄論じて來た範圍内では全く正しかつたのであるが、然し今から取扱ふべき新しい場合に就いて之を見れば少しく修正を要することを知るからである。即ち上式は嚴密な意味に於いて静止せる熔銑の沸騰條件を示してゐる。

よつて若しも熔或が銑流速を以つて流動してゐる場合であるならば改めて吟味を必要とする譯である。

一般に流體力學の教ふる如く流體の速度が増せば流體自

身に於いて一種の減壓状態を生ずる。即ち流速と流体内の一點に於ける壓力との關係は定常流に於いて

$$v = \sqrt{2g(h + 132(1-p))} \dots\dots\dots (35)$$

$$p = 1 + h/132 - 1/132(v^2/2g)(atm) \dots\dots\dots (36)$$

なる關係式で與へられる。よつて流速 v が増せば流體に掛る壓力が減じた結果と等しくなる。即ち液體が或流速をもつことは同流體の内部に加はつてゐる外壓を減らすことと結果に於いて同様な作用を果す譯である。

一方に於いて熔銑の如く溶解氣體を含むものに於いては同様氣體が全蒸氣壓なる一種の内壓をもつてゐる。そして若しも熔銑に加はる外壓が減り

$$P' > 1 + h/132 - \Delta P \dots\dots\dots (37)$$

即ち溶解氣體の全蒸氣壓が外壓を越えるに至るならば直ちに沸騰現象が起る。そこで今新しく問題にしてゐる事柄は熔銑が或流速を以つて流動してゐる場合に同熔銑の沸騰條件が如何様になるかと云ふことである、依つて上述の二つの性質を結付けて考へてみると熔銑が流動する場合には動壓に相當するだけの壓力が減る。一方減壓の結果は熔銑の沸騰を容易ならしめる。即ち熔銑が或流速をもつことは $1/132(v^2/2g)$ に相當するだけの外壓が減少したのと同様な結果になる故熔銑の沸騰條件は此場合

$$P' > 1 + h/132 - 1/132(v^2/2g) \dots\dots\dots (38)$$

となるべきことが分る。而して此關係から流速が増せば増す程沸騰が起り易くなる。

猶斯様な現象は一般の氣體流體に就いても知られることであつて例へばビールや炭酸水を振つて見ると泡が立つ、即ち静止させて置けば泡立ちの見られない場合にも之を振り動して内部の溶液を流動せしめると再び泡が立ち且つ其氣泡は流動が激しい程著しく發生する。更に正確に實驗するには硝子管を通じて炭酸水を流してみてもよい。さうすれば流速と溶液の沸騰條件との間の關係が最も良く諒解出来るに違ひない。

ところで此様に流速が増せば沸騰が起り易くなると云ふ性質は熔湯に於ける引け巢の發生を考へる場合に頗る重要な性質である。即ち引け巢を生ずるのは熔湯が凝固する場合或局部で湯道が細く絞られ且其湯道が切れたときに起るものである。而して其場合何故湯道が切れたかと云へば其原因は一般に熔銑の沸騰に歸せしめることが出来る。即ち湯道を絞れば熔湯の沸騰が起り其爲に湯道の切れる場合が考へられるのである。それ等の點に説明を續けやう。

7. 湯道の絞りと熔銑の沸騰

此様に湯道を絞れば流速が増し流速が増せば次に熔湯の沸騰が起り易くなると云ふ事柄は頗る重要な事實である。

一般に鑄物に於いて引け巢の生じる場合は先づ湯道に細く絞られる箇所が出来其處で熔湯が切れるからである。然し湯道が絞られても流速の増加がそれに反比例して行はれるならば湯道の切れ目は生じない。然し普通の熔銑に於いては流速の増加に或制限があつて其爲に湯道が切れる。そこで究極の問題として流速に其様な限度のあるのは如何なる理由によるのかと云ふことの説明が必要となる。そして其點に關する説明に於いて上述の湯道の絞りと熔湯の沸騰との間の關係が重要な意味を持つて來る。

一般に熔銑の全蒸氣壓が沸騰壓に達せず

$$P' < 1 + h/132 (atm)$$

なる場合に就いて考へる。さうすると此熔銑は静止状態に在る限り沸騰を起さない。然し或流速を以つて流動すれば沸騰條件が異なり。

$$P' < 1 + h/132 - v^2/264g$$

$$v > \sqrt{2g(h + 132(1-P'))} \dots\dots\dots (38)$$

なる如き場合に於いて沸騰を起すやうになる。従つて今湯道が絞られ且底湯の吸引により流速が増したとすれば左様な全蒸氣壓低き熔銑に於いても湯道の流速が或限度に達したとき沸騰が起り得る譯である。

今或不飽和熔銑の全蒸氣壓を P' とする。さうすると上式(38)から同熔銑が沸騰を起すに至る限界流速 v が求められる。即ち P' が與へられるならば限界流速 v が定められる。而して兩者の關係は P' が低い程 v が高速となる。一方で底湯の吸引 $-dV/dt$ に應ずる爲には

$$-dV/dt = Sv \dots\dots\dots (30)$$

なる關係により湯道の絞りにつれて v が増加せねばならない。依つて不飽和熔銑に於いても其様な湯道の絞りが生ずるならば沸騰を起す可能性の有ることが分る。且つ其場合に於いて溶解氣體の蒸氣壓が比較的高い熔銑程僅かな絞りにより沸騰を起し易い。即ち P' が高ければ湯道に僅かな絞りを生じただけで沸騰が起る。反對に P' が低ければ湯道を相當強く絞つても沸騰を起さないのである。

其處で更に湯道に於いて熔銑が沸騰を起したとして其後に於ける流速の變化を考へる。さうすると先づ熔銑の沸騰作用が流速に影響を與へる場合と與へない場合とが考へられる。例へば湯道が割合に太く假に其處で沸騰作用が起つても氣泡の逸出が容易な様であれば其様な沸騰によつて湯道が閉塞される氣掛りは無いかも知れない。依つて流速の

増加と溶解氣體の逸出とが比例して行はれ流速が高まれば沸騰を起して湯外へ逃げる氣體の量もそれだけ増加する。その様な状況に在れば流速の増加を阻むべき理由なく氣泡によつて湯流れが邪魔されることも無いものと考へられる。之に對し若しも湯道が夫れ程に太くない場合であれば様子が異つて來やう。といふのは湯道が細い場合には熔銑の沸騰と共に發生せる氣泡が湯道を塞ぎ湯流れを切る恐れがある。特に現在對象としてゐる如き状況即ち先づ湯道が細く絞られその爲に熔銑の沸騰が起れる如き場合には氣泡が同湯道を塞ぎ切れ目を生ずる様なことが起り易いに違ひない。即ち一般に全蒸氣壓の高い熔銑に於いては湯道を絞ると共に沸騰が起り同時に湯道が切れるのである。ところで湯道が氣泡によつて切られた場合切斷後に於ける流速を考へてみる。さうすると切れ目内の氣壓は上記の如き沸騰條件から切斷直前の限界流速を V とするとき

$$P = 1 + h/132 - v_0^2/264 \dots\dots\dots(39)$$

依つて湯道切斷後に於ける流速 v は (33) 式に同氣壓を代入し

$$v = v_0 \dots\dots\dots(40)$$

即ち湯道の流速は切斷後に於いても切斷前と變りないことを知る。然も一方に於いて湯道は猶も細まつて行き底湯の收縮も依然繼續してゐるものとすれば切れ目は必然的に成長して行く。切れ目が成長すれば氣壓は降下しやうとする。然し他方夫れと同時に新な沸騰が起つて切れ目内の氣壓を一定に維持する作用を果す。従つて湯道の流速も亦増減なく一定である。即ち切れ目が成長しても流速は増さず従つて切れ目は増々大きくなつて行くのである。

畢竟熔銑中に於ける溶解氣體の全蒸氣壓を P' とすれば夫れに對應して熔銑が沸騰を起すに至る限界流速 v が知ら

れる。其處で鑄型内に於いて湯道が絞られると流速が高まり沸騰が起る。その結果湯道が氣泡によつて塞がれる。而して熔銑の沸騰作用は上述の如く湯道切斷後に於ける流速の増加を防ぐ働をなす。従つて一旦生じた切れ目は底湯の收縮と共に益々成長して行き遂に引け巢となつて鑄物内に残る様になるのである。斯様な機構を考へれば引け巢の發生原因が熔湯の凝固收縮より

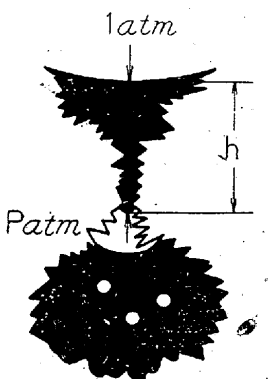
も寧ろ熔湯中の溶解氣體の沸騰に求められると云ふ理由が愈々明白となるであらう。且つ熔湯の凝固收縮が其様な溶解氣體の沸騰作用と相俟つて湯道に切れ目を發生せしめ更に其切れ目を成長させて引け巢たらしめる務を果す事實も亦了承されるに違ひない。

8. 溶解氣體の蒸氣壓特性と引け巢の發生

以上の如き説明により引け巢の發生に就いては熔銑の沸騰が其直接原因となる事實が了解された。即ち引け巢が發生するためには先づ湯道に絞りを生ずる事が必要條件である。然し湯道を絞れば必らず熔湯が引かれて引け巢が出来る譯ではなく若しも熔銑が氣體を全然溶存せしめてゐないならば湯道の切斷は實際問題として殆んど生じない筈である。之に對し溶解氣體が或蒸氣壓をもつ場合には湯道を絞ると共に熔銑が沸騰を起し湯道が切れる。よつて其様な場合に初めて引け巢が發生する。

斯様な理由により熔銑のもつ全蒸氣壓の高低は引け巢の發生に最も重要な關係をもつてゐる。全蒸氣壓が高ければ高い程引け巢が出来易いと云ふことは上述の説明により理解し得られやう。就中熔銑が溶解氣體により飽和され全蒸氣壓が沸騰壓 $1 + h/132$ (atm) に達してゐる場合には特に湯道を絞らなくとも沸騰が起る。従つて其様な熔銑に於いては引け巢が最も出来易いのである。言換へると氣泡巢を生じる如き熔銑は亦引け巢をも最も生じ易いことが結論し得るのである。

一方溶解氣體の全蒸氣壓が低ければ引け巢は發生し難い何故ならば其様な熔銑に於いては湯道の絞りが或程度以上強くならぬ限り沸騰が起らない。従つて湯道の切れる處れが少く引け巢も生じ難いに違ひない。つまり鑄型の形狀が同一であり注湯溫度も略相等しき場合に猶引け巢の出来易い熔湯と然らざるものが存在するのは全く同溶湯中に溶解せる氣體量の多寡に原因する。特に若しも熔銑のもつ全蒸氣壓が比較的低ければ鑄型の形狀が餘程無理に出来てゐない限り引け巢は發生しないものと斷言し得る。而して實際の鑄物を造る場合に引け巢が出来て困ることがあればそれは全蒸氣壓が飽和壓或ひは同壓に近い値をもつ場合だと云へる。と云ふのは一般に鑄物を造らうとするからには先づ引け巢の發生を出来るだけ少くするための工夫を第一としてゐる。特に此處で述べてゐる様な湯道の絞りと云ふことは相當に考慮して防止策を講じてゐる。故に其様な工夫が與へられてゐる鑄物では溶解氣體を全く除くまでに至らずとも或程度全蒸氣壓が低ければ引け巢が發生しないもの



第 27 圖 引け巢の成長

$$\frac{dv}{dt} > S \sqrt{2g(h + 132(1 - P))}$$

な機構を考へれば引け巢の發生原因が熔湯の凝固收縮より

と考へられる。

ところで實際にキュポラによつて得られた熔銑に就いて溶解氣體の量を考へると既に述べた様に其全蒸氣壓は大體に於いて飽和壓に近い値を示してゐる。就中凝固が始まれば偏析により全蒸氣壓は上昇する。従つて其様な熔銑を注湯せる場合には引け巢の出來ることの方が寧ろ當然であり絶対に引け巢の存在しない鑄物を得ることは難しい。尤も其様な場合にも鑄型の形狀が比較的簡單で且つ熔銑が底部から順次上方へと都合よく凝固して行つて呉れるならば引け巢は出來ない。然し其様な注文は實際には却々難しく熔銑が鑄型に注入された場合凝固の進み具合によつて或局部の細まりが速く上述の如き湯道の絞りを生ずる如き場合が起り易い。従つて溶解氣體の全蒸氣壓が比較的高い熔銑なれば其處で沸騰を起し引け巢を發生せしめる。

猶其場合全蒸氣壓が高ければ高い程僅かな湯道の絞りで引け巢が出來る。反對に全蒸氣壓が低ければ餘程湯道の絞りが強くとも引け巢は生じないことが云へるのである。

此處で熔銑のもつ全蒸氣壓は一般に P'_{CO} , P'_{N_2} , P'_{H_2} なる3蒸氣壓の和によつて表される。故に熔銑に就いて引け巢が出來易いか否かは

$$P' = P'_{CO} + P'_{N_2} + P'_{H_2}$$

なる三者の和の大小によつて決められる。或熔銑に於いては P'_{CO} が比較的高くその爲に引け巢が出來易いこともある。又或場合には P'_{N_2} が高くその爲に引け巢が發生することもある。つまり全蒸氣壓が高ければ引け巢を生じ易いと云ふことから其様な場合の蒸氣分壓に就いては高低様々な場合がある譯である。其點に於いて氣泡巢とは性質を異にしてゐる譯で特に注意を必要とする。就中氣泡巢の發生に就いては溶解水素の作用が特に重要視されたのに對し引け巢の場合には其様な特殊性が割合に少ない。言換へると全蒸氣壓への寄與と云ふ意味で各蒸氣分壓の高低が三者一様に問題になる。

尤も前章に於いて詳説せる熔銑のもつ諸蒸氣分壓の特性變化は引け巢の發生現象を理解するためにも是非知悉して置く必要がある。即ち熔銑中に於ける溶解氣體の各蒸氣分壓は其冷却凝固に際して第15圖、第18圖に示せる如き特性曲線を描く。一般に凝固が始れば偏析により全蒸氣壓が高まり其結果引け巢の發生を助ける事實は第15圖によつてよく示されてゐる。又第18圖は熔銑が沸騰を伴ふ場合の特性曲線を示すものであり既に述べた如く氣泡巢發生の主役を勤める水素の特性が同圖によつて明らかにされる。

處で先に結論した様は熔銑が沸騰を起す如き狀況に於いては引け巢も亦頗る發生し易い。従つて P'_{H_2} の比較的高い熔銑に於いては氣泡巢のみならず引け巢も亦出來易いことが云へる。

唯此處で注意すべきこととして氣泡巢が發生するためには P'_{H_2} が或程度以上高いことを必要條件とした。即ち單に P'_{N_2} , P'_{CO} が高いと云ふのみでは氣泡巢が出來難い。言換へると P'_{CO} , P'_{N_2} の高いことは氣泡の發生を促すに役立つ條件には違ひないが夫れのみでは未だ十分なる條件を與へるものとは云へないのである。即ち P'_{CO} , P'_{N_2} 以外に P'_{H_2} が或程度以上高く凝固時に於ける $[H]$ の偏析が顯著に現れる場合に於いて初めて氣泡の殘留が問題となる。その意味に於いて氣泡巢發生の主役は H であり之に對し O 及び N はワキ役を務めるものと云へる。

一方引け巢の發生に就いても P'_{H_2} の高壓は最も致命的影響を及ぼす。即ち水素の著しい偏析性が最も引け巢の原因となり易い。然し乍ら氣泡巢の場合と異なり引け巢に就いては H のみを主因と目するのは矢張正しくない。何となれば引け巢も亦熔銑の沸騰が其成因であるに違ひないが其様な沸騰は必ずしも H の偏析のみに俟たない。即ち引け巢が發生する場合には先づ湯道が絞られ其爲に沸騰が起る。依つて熔銑のもつ全蒸氣壓が高ければ必ずしも H の偏析によらずして沸騰が起る。言換へると湯道の絞ることによつて一種の減壓状態を生じ其爲に沸騰を伴ふ點で通常の沸騰とは趣を異にする。従つて引け巢は全蒸氣壓が比較的高くありさへすれば假令 P'_{H_2} が低くとも發生の可能性をもつ譯である。

斯様な理由により引け巢は P'_{H_2} の低い熔銑に於いても $P'_{CO} + P'_{N_2}$ が高くあれば十分に發生し得る。その點で氣泡巢とは發生條件が少し異なることが知られる。例へばキュポラによる熔銑が出湯の際沸騰を起してゐるとすれば夫れは既に述べた如く熔銑のもつ P'_{CO} , P'_{N_2} が既に飽和壓に達してゐる事實を示してゐる。従つて其様な熔銑に於いては引け巢が出來易いに違ひない。他方氣泡巢に就いては單に其様な現象が觀察されたからと云つて必ずしも其發生が見られるとは限らないのである。何となれば P'_{CO} , P'_{N_2} は高くとも P'_{H_2} が特に低く氣泡巢の出來ない場合もあるからである。

然し繰返し述べた様に熔銑のもつ P'_{H_2} の高いことは氣泡巢のみならず引け巢の發生に就いても最も禁物の悪効果を及ぼす。特に P'_{H_2} が熔銑の凝固終期に至つて著しい偏

析性を示すことは引け巢の發生をも大いに助ける。故に引け巢を防止するためには P'_{H_2} を出来るだけ低くすることが是非必要である。然もそれだけでは猶不充分であり引け巢を無くする爲には P'_{H_2} のみならず更に P'_{CO} , P'_{N_2} をも可及的に低くせねばならない。即ち P'_{H_2} は是非低くし更に P'_{CO} , P'_{N_2} をも低くせねばならないと云ふ處に引け巢防止の氣泡巢防止以上に困難なる理由が存する。

9. 底湯の收縮と湯道の絞り

此様に鑄物に於ける引け巢は三因子即ち

- (1) 底湯の收縮
- (2) 湯道に於ける絞り
- (3) 熔湯の沸騰

なる三條件が重り合つたときに初めて發生する。若し三因子の中の一者でも條件の中から外れてゐるならば引け巢は出來ないのである。故に熔銑が氣體を溶存せしめてないならば引け巢は發生しないと云ふ結論は正しくとも其逆も亦眞なりとは言ひ得ない。即ち溶解氣體の全蒸氣壓が高ければ引け巢が必ず出來ると迄は言へない。唯其様な熔銑に於いては引け巢が生じ易いことは確であるが夫れ以上の結論は出來ないのである。

一般に引け巢が發生する場合の基本式は

$$-dV/dt > vS \dots\dots\dots(31)$$

なる形で示される。熔湯が連続してゐる限りでは兩邊が等號を以つて結合されるが湯道の斷面積 S が細まり且底湯の收縮割合が或程度強いと兩邊が釣合なくなる。と云ふのは湯道に於ける流速は熔銑のもつ全蒸氣壓によつて其最大限が決められてゐる。即ち全蒸氣壓 P' に對し v なる流速に與へらるべき條件は

$$v \geq \sqrt{2g(h+132(1-P'))} \dots\dots\dots(41)$$

故に S が小さくなると vS なる流量が不足して湯道が切れる。然し此場合にも S の絞りが弱く又 $-dV/dt$ なる底湯の收縮割合が小さければ假りに P' が相當高くとも引け巢を生じない道理である。依つて P' が一定なる場合鑄物の形狀、凝固の模様から引け巢が出來易いか難いかを論ずるには

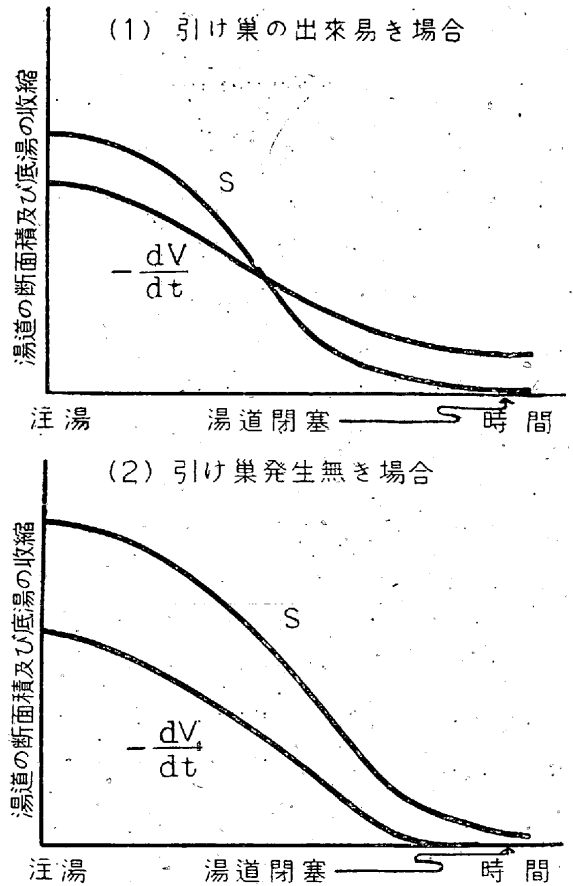
$$-(dV/dt)/S$$

なる量の大小を知れば良い。言換へると此量は鑄物の形狀及び凝固の模様と溶湯の收縮率を含めた外的條件と引け巢の出來具合との關係を表すものである。

此處で S なる湯道の斷面積は或大きさに留まれるものではなく刻々細小になつて行く。即ち S は時間の函數である

一方 $-dV/dt$ は單位時間に就いての底湯の收縮量を示すもので之も亦時間の函數である。今鑄型に注湯された熔湯が凝固して行く場合に就いて S 及び $-dV/dt$ なる量の變化を考へる。さうすると S は比較的急速に縮少し其變化は第 28 圖に示せる如くなるのであらう。故に其逆數 $1/S$ は時間の経過と共に急速に増大して行く。

一方に於いて底湯の收縮量に相當する $-dV/dt$ は結局底湯の外殻から鑄型の方へ逃げて行く熱量に比例する事が分る。即其様にして底湯から失はれる熱量に比例して結晶が析出し其析出量に比例して亦收縮が起る。そこで鑄型へ逃げる熱量を考へると熔銑の冷却は最初鑄型へ注湯せる瞬間が最も著しい。そして鑄型の溫度が注湯後に於いて上昇すれば夫れだけ冷却が遅れる。又底湯の容積及び收縮率が大きければ收縮率も大きい。更に底湯の容積及び收縮率が同じであるとすれば其表面積に比例して凝固速度が大となり従つて $-dV/dt$ が大きくなる。斯様に考へると $-dV/dt$ なる底湯の收縮割合は種々なる條件の影響を受けて變化するに違ひない。然し引け巢が發生する如き狀況に於いてはともかく結果から推して $-dV/dt$ が比較的大きく湯道に對



第 23 圖 湯道の絞りと底湯の吸引

する底湯の吸引が相當に強かつたと云へるのである。

ところで鑄物に於いて引け巢が出来ない爲には必要條件としては(31)及び(40)なる條件を参照して

$$-(dV/dt)/S \geq \sqrt{2g(h+132(1+P'))} \quad (42)$$

なる可きことが知られる。よつて此條件を満足せしめるためには湯道が細まつた場合Sの縮小に比例して $-dV/dt$ も亦減少して呉れると好都合である。即ち右邊に於いて溶解氣體の全蒸壓が與へられてゐるとすれば右邊は定數となる。故に上記の條件が満足されるためには $S \rightarrow 0$ なるとき $-dV/dt$ がそれに比例して減少することが望ましい。然るに若しも其様な注文が充されない場合には湯道が切れて引け巢が発生する。

畢竟熔銑が既に或量の氣體を溶解してゐるものとして其上で出来るだけ引けの巢の発生を防ぎ度いと云ふならば取る可き策として鑄型の計設に工夫を加へることになる。其場合に原理として心得べき事が上述の説明なのである。特に引け巢を無くするためには $S \rightarrow 0$ なる湯道の絞りが強まるに先立つて $-dV/dt$ なる底湯の收縮が既に止つてゐることが最も望ましい。言換へると湯道よりも先に底湯が凝固し順次上方に及ぶと云ふ様な凝固の仕方が理想的である。然し實際に鑄造を行ふ場合には其様な理想様式は殆んど實現されない。即ち凝固しつつある熔湯内部の或箇所にて湯道の絞れるところが出来其結果引け巢を生ずる如き事は一般に避け難い。就中熔銑のもつ全蒸氣壓が高ければ既に説明せる如く僅かな絞りで湯道が切れ引け巢を生ずる。

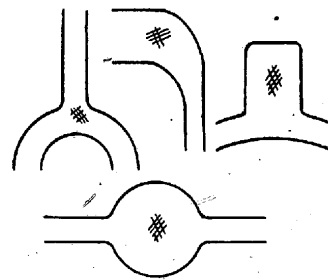
斯様な理由から引け巢を出来るだけ防ぐためには先づ第一に湯道に絞りを生じない如き工夫が肝要である。即ち底湯の收縮に猶繼續してゐるのに湯道が強絞られない様に鑄物各部の肉厚を適當に考慮せねばならない。又押湯、揚り等を適當に付けたり湯口の太さ、箇數等にも工夫を凝らしたりする他に鑄込法を加減して可及的に冷たい熔銑を下方に熱い熔銑を上方に注ぐ様にする必要がある。夫れ等のことは何れも上述の原理に基いて行ふべきであり要する處底湯の收縮割合の大小に應じて湯道を適當に太くしてやれば良い。然し其様な工夫を十分に施したとするも猶若しも熔銑のもつ蒸氣壓が飽和壓に近い様な場合には其工夫も餘り効果がないことになると云ふのが最後の結論である。

10. 押湯と湯道

今迄本章に於いて用ひて來た湯道なる名稱は最初に斷れる如く狹義に於ける湯道の意ではない。即ち鑄型に於ける湯溜りから湯口に至る通路の意味ではなくもつと廣義に用ひ熔銑が凝固する過程を通じ結晶發達の遲速によつて隨所に

出来る熔湯の絞り箇所を指示する。其様な絞り箇所は鑄物の内部が未だ熔融状態にあるのに其周圍が逸早く殻を作り熔湯の供給を障げる様な場合に發生する。と云ふのは外殼が凝固して其内部に熔湯を取残さうとすれば其場合外殼が完全に閉ぢて終ふに先立ち内部の熔湯の收縮に伴ふ不足湯量の補給が問題になる。其爲に外殼に最後迄残された細隙を通つて熔湯の流れを生ずる譯で其様な絞り箇所を一般に湯道と稱して來たのである。

斯様な湯道は必ずしも鑄物の薄肉部の如き冷却速度大なる部分にのみ出来るとは限らない。例へば極く簡単な丸棒を鑄込んだとしても場所によつて凝固の速さが異なるのは寧ろ普通と思はれる。故に其様な簡単な鑄物に於いても熔湯の絞られる箇所が出来し従つて引け巢も亦發生してよい譯である。尤も鑄物として最も引け巢の出来易い形状と云へば第29圖に示せる如きものであり其様な鑄物に於いては薄肉部から厚肉部へ移る境目に引け巢が発生する。就中肉厚の變化が著しいと薄肉部の細まりが厚肉部に比較して速くなり結局熔湯の絞りが強く現れるから引け巢も出



第29圖 引け巢の出来易き形状の鑄物

來易くなる。又等肉厚の圓筒或ひは圓環の如きものは形状が簡單なるに拘らず比較的引け巢が出来易く作り難い鑄物の中に數へられてゐる。その理由は等肉厚であればとて鑄物全體が同一速度で凝固して呉れるとは限らないからであり凝固速度の僅少の差異によつて上述の如き湯道の絞り發生の可能性は其様な鑄物に於いて寧ろ餘計に存するのである。

猶實際の鑄物に於いて見られる引け巢には随分大きな空隙から針の先で突いた程の小さなものまであり同じく引け巢と云つても鑄物の種類によつて問題にしてゐる空隙の大きさに相當の差がある。空隙が大きくなる場合は湯道に對して底湯の容積が大なるときである。之に對し上記の如き等肉厚の圓筒などでは隨處に引け巢が出来る代りに其形状は微細である。而して鑄物に於いて大きな引け巢のみを問題とし其發生を防がうとするならば肉厚を各部可及的に等しくするに若くはない。然し内燃機關のシリンダ鑄物の如く仕上面の微細な缺陷まで詮議する様な場合に等肉なる事が却つて其様な微小引け巢の防止を困難にすることになるのである。兎も角引け巢の發生を出来るだけ防ぐには今迄

述べて來た湯道の絞りなる概念を良く心得て熔湯の絞りをなくする様設計上の工夫を拂はねばならない。

湯道に關聯して同様に重要な作用をなすものは押湯である。今迄の説明に於いては押湯なる言葉を使用しないで來たが湯壓を云々した事は結局押湯の作用を論じたことになる。即ち熔湯には外壓として $1+h/132(atm)$ なる壓力が常に加はつてゐる事を述べて來たのであるが其様な外壓を別な用語で言表せば押湯の壓力と云ふ事になる。つまり此押湯なるものも亦廣義に解釋すれば大氣壓に液壓を加へた全外壓と同義語と云へる。而して熔湯に壓力を加へると云ふ意味からのみ考へれば押湯の太さ或ひは長さは問題にならず單に高さのみが影響をもつ。然し實際には押湯が底湯に先立つて凝固して終ふ様では押湯の効果が無い。故に凝固を遅らす目的で押湯の太さが高さと共に問題となる。押湯の作用は熔湯に壓力を加へることであるが其壓力には熔湯自身の液壓と共に湯面に於ける大氣壓が加はる。寧ろ一般の中型以下の鑄物に於いては液壓よりも大氣壓の方がずっと大きな値をとるから押湯の作用としては夫自身の液壓よりも大氣壓を傳へる意味の方が大きい。従つて押湯としては下方の鑄物が完全に凝固し終るまで熔融状態に在ることが絶対に必要なる條件である。就中押湯の表面の大氣壓を受ける部分は最後まで熔融状態を保つ様にせねばならない。若しも湯面に逸早く厚い殻が出来て終ふ様だと大氣壓の影響が下方の熔湯に及ばなくなる。故に其様な事のない様に單に押湯を太くする許りでなく湯面の冷却を遅める様な工夫も亦肝要である。例へば藁灰を湯面に被せるなどは其目的によるものである。

尤も湯面に殻が出来たとしても其殻が薄い中は影響がない。何となれば湯面に皮が張つた場合下方に在る熔湯が更に收縮したとする。さうすると元來なれば湯面の皮は熔湯と分離して兩者の間に隙間を生ずる様に考へられるのであるが實際に隙間が出来た代りに湯面の皮の方が凹んで行くと云ふのは湯面の皮と熔湯とが分離しやうとすれば其處に減壓状態を生ずる譯であるが一方其傾向は同時に湯面に作用する大氣壓をして強く效かせることになる。つまり湯面に薄皮が張つても其皮は大氣壓によつて湯面に押付けられるから熔湯に對する大氣壓の影響を考へる場合それが別段支障にならない。

然し乍ら若しも湯面の冷却が速くて下湯よりも先に湯面が厚く凝固する様なことが起ると事情が違つて來る。其様な場合には湯面の皮殻が厚い爲下湯が收縮しても湯面がそ

れにつれて凹んで行かない。故に皮殻の直下に比較的大きな空隙が出来る。處で其様にして出來た空隙は勿論真空ではなく或氣壓の氣體が空隙の生成と同時に其内部に發生してゐる。其様な事情は先に述べた熔湯内に於ける切れ目の發生條件と全く同様である。其處で更に問題になるのは斯様な空隙が出来たとして夫れが下湯に如何なる悪影響を及ぼすかと云ふことである。よつて其點に就いて次に吟味を加へよう。

11. 引け巢の併發性

此處に云ふ引け巢の併發性とは言換へると鑄物に於いて或箇所引け巢が出来た場合それが更に他の引け巢を誘發する性質を指示する。即ち鑄物が凝固して行く過程に於いて或一箇所が切れると其影響が他に及んで更に別な箇所湯が切れる。例へば前節に於いて考へた如き押湯の表面が下湯に先立つて厚い皮を張り其爲に收縮窩が出来たと云ふ様な極端な悪例の場合には其缺陷は單に湯面近くのみに限らず鑄物の内部にまで害を及ぼすのである。又湯道が切れた様な場合にも其影響は一箇所止まらぬと云ふことを注意せねばならないのである。

今假りに第 30 圖の如き鑄物が凝固して行く過程に於いて押湯の表面近くに收縮窩が発生したとする。さうすると同收縮窩が出来ると同時に熔銑の沸騰が起り空隙を充す氣體が発生する。其場合空隙内の氣壓が熔銑のもつ全蒸氣壓に等しき事は改めて説く迄もなからう。尤も下湯の收縮により空隙がどんどん成長して行く場合には熔湯の沸騰の方が遅れ勝ちとなるから空隙内の氣壓は多少低くなる傾向にあるものと思はれる。何れにしても空隙内の氣壓 P は熔銑のもつ全蒸氣壓を越えることなく一般に

$$P \leq P'$$

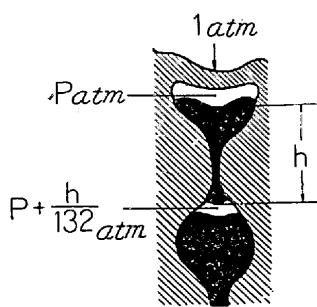
猶此處で P' は大氣壓に等しいか或ひはそれ以下であるから結局

$$P \leq 1(atm)$$

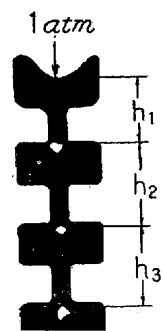
となる。

ところが熔湯に掛る壓力を考へる場合湯面近くに斯様な空隙が出来ない中は大氣壓が直接に熔湯に作用する。然し今の場合押湯の表面に厚い殻が出来更に殻の直下に空隙を生じたとすれば明らかに大氣壓は最早下湯に對して壓力を及ぼし得なくなつてゐる。而して下湯に加はる壓力としては大氣壓に代はり空隙内の氣壓が直接の影響をもつ様になる。即ち下湯に加はる壓力は熔湯が連続せる限りに於いて

$$1+h/132(atm)$$



第30圖 湯面に於ける厚皮殼の生成と引け巢の誘發



第31圖 引け巢の併發

であるが収縮窩が出来たのちには

$$P + h/132 \text{ (atm)}$$

となる。

此處で空隙内の氣壓 P は上述の如く空隙が湯面近くに出来たとして一般に大氣壓以下である。従つて其様な空隙が発生し下湯に加はる壓力が $(1-P)$ だけ變化したと云ふことは即ち外壓がそれだけ減壓された事を意味する。つまり空隙が発生せる途端に下湯に加つてゐた壓力が一部減少する。故に熔銑の沸騰作用に就いて云へば空隙が発生せる結果下湯に加はる壓力が減じ従つて沸騰が起り易くなる譯である。而して沸騰が起り易くなることは即ち引け巢が発生し易い事を意味する。左様にして押湯の表面近くに生じた収縮窩は單に其缺陷のみでなく更に下湯に於いて引け巢を誘發することとなる。

次に湯道に絞りを生じた場合それが他に及ぼす影響を考へる。湯道を絞ると流速が高まり其結果一種の減壓状態を生じる。故に熔銑の沸騰が起り易くなり湯道が切れて引け巢を發生せしめる。ところで熔湯内の或一箇所斯様な切れ目を生じた場合其影響が同箇所だけに止まらなると云ふ事は上述の説明に徴しても了承されることであらう。例へば第31圖の如き鑄型内に於いて湯道が切れたとする。さうすると湯道が切れた途端に下湯に掛る大氣壓は中斷される。即ち

$$1 + h/132 \text{ (atm)}$$

なる押湯の影響が下湯に及ばなくなり其代りに切れ目内の氣壓 P が下湯に加はる事になる。而して一般に

$$P < 1 + h/132$$

であるから湯道が切れたことは下湯への壓力を減じた結果になる。従つて下湯はそれだけ沸騰し易くなり更に他所にも引け巢を作ることにならう。尤も熔銑が既に飽和點に達してゐる場合には

$$P = 1 + h/132$$

となるから湯道が切れても別段壓力に變化がない。然し其様な飽和熔銑に於いては上述の如き誘發を俟たずして既に極めて引け巢を作り易い性質をもつてゐるから例外の中に入らない。

畢竟凝固過程に在る熔湯内の一箇所にて切れ目が發生すると其影響が下湯に及び更に新しい切れ目を生ぜしめる。例へば押湯の冷却凝固が速過ぎたり鑄物の形狀上或部分の湯道が強く絞られたりする様だと其影響は一局部に止まらない。即ち引け巢が一箇所に限られず隨處に發生する故に鑄物の設計には其様な性質を心得て置く必要があり。例へば肉厚の加減、湯口の絞りなど充分に注意することが肝要である。

12. 熔銑の初期蒸氣壓と引け巢の成長

今迄の説明に於いては引け巢の發生する条件のみを専ら論じ生成せる引け巢の大きさに就いては別段觸れなかつた然し實際問題として此の引け巢の大きさと云ふことは頗る大切な意味を有つてゐる。依つて最後に其の様な問題に就き熔銑の全蒸氣壓の高低と引け巢の大きさととの關係を説明しやうと思ふ。

熔銑のもつ全蒸氣壓が高ければ高い程引け巢が出来易いと云ふことは以上の説明で良く諒解出来た事と思ふ。然し猶良く吟味してみると單に熔銑の全蒸氣壓の高低のみを論議の對象とすることの不備が分る。即ち全蒸氣壓は元來熔銑の冷却につれて變化する性質を有ち單なる高低と云ふのみでは其様な冷却過程の何處に於いての高低を意味するものか分らない。尤も引け巢の發生の可能性のみを問題とするならばそれで差支へない。例へば熔銑のもつ P'_{CO} , P'_{H_2} が高く出湯の際に既に沸騰を起してゐる如き場合には同熔銑は注湯の初めから特に引け巢を發生し易い性質を有してゐる。之に對し出湯時には未だ全蒸氣壓が低く左様な恐れのない熔銑であつても例へば P'_{H_2} が比較的高い場合には其偏析により凝固後期に至つて全蒸氣壓が著増する。依つて其様な熔銑であれば凝固初期には引け巢を作らずとも凝固の終りになると同じく引け巢發生の虞れがある。

其處で今再び引け巢發生の基本圖型に就いて考へる。即ち鑄型内部に於いて湯道の絞られる箇所が出来其部分が切斷し易い状態に置かれたとする。其場合に若し熔銑の全蒸氣壓が高く沸騰を起し易い状態に在るとすれば湯道は絞りの發生と共に切斷される。ところで今熔銑の全蒸氣壓が時間的に一定不變のものではなく熔銑の冷却凝固につれて次

第に増加し行く變化に注意する。さうすると湯道の切れる時期も亦當然全蒸氣壓の高低に應じて變化する譯である。例へば熔銑の全蒸氣壓が最初から高いとすれば上述の如き湯道の切れ目は注湯後逸早く現れる。之に對し熔銑の全蒸氣壓が最初は比較的強く凝固が進むにつれて漸く上昇すると云ふ如き場合には湯道の切斷時期がずつと遅れる。つまり熔銑爐から出湯せる際に於ける全蒸氣壓の高低が鑄型に注湯せる後に於いて湯道に切れ目を生ずる時期に遲速を決める事になる。

ところで湯道に生じた切れ目は底湯の凝固收縮によつて次第に大きく成長する。而して其場合に切れ目が如何程に成長するかと云ふ度合は先づ底湯の大きさに依る他に湯道から底湯へ流れる補給流量の大小によつて決まる。即ち底湯の容積が大きければ收縮量も大きいから引け巢も亦必然的に大とならう。一方底湯の收縮を補ふべく湯道を通じて流れ込む流量は Vs である。此處で流速 v は先述の如く熔銑の全蒸氣壓に依存し

$$v = \sqrt{2g(h + 132(1 - P))} \dots\dots\dots (41)$$

即ち P' が大なれば v がとなる關係に在る。依つて流量 Vs も亦 P' の増加につれて減少する。而して流量が減少すれば引け巢の成長がそれだけ大きく促されることは自明であらう。

今例へば初めから全蒸氣壓の高い熔銑を鑄型に注いだとする。さうすると同熔銑は本來湯道の絞る箇所て切れ易い性質をもち注湯後間もなく湯の切れが発生する。ところで其場合湯道の切斷時期が早ければ底湯は未だ大部分熔融状態に在らう。従つて底湯の凝固收縮量は猶大きいわけであり發生せる切れ目はどんどん成長する。特に同熔銑は最初から高い全蒸氣壓を示すと云ふのであるから夫れだけ湯道の流速は押へられる譯で切れ目の成長は餘計に著しいことになる。つまり注湯の際に既に沸騰を起せる如き高蒸氣壓の熔銑を鑄型に注ぐと云ふと單に湯道の切れが早い許りでなく底湯の凝固收縮による引け巢の擴大成長が著しい。即ち大きな引け巢が出来る事になる。

之に對し次に全蒸氣壓の比較的強い熔銑を鑄型に注込んだとする。その場合には上述の如く湯道の切れる時期は遅くなる。然し矢張或時期に於いて切れ目が發生するものと思はれる。即ち熔銑の凝固が進めば偏析が起り全蒸氣壓が高まるからやがて湯道の切れる可能性を生ずる譯である。但し湯道の切れる時期が遅いならば其利點としてそれ迄に底湯の凝固が相當に進んで容積が減つてゐる。従つて底湯

の收縮量は最早小さくなつてゐるから引け巢の成長がそれ程著しくない。言換へると假りに引け巢が出来たとしても其形狀はずつと細小なものとなる。つまり注湯せる熔銑の初めの全蒸氣壓が低いことは切れ目の發生する時期を後らせる。而して切れ目の出来る時期が遅ければそれ迄に底湯の凝固が進み其容積が既に縮小されてゐる。依つて左様にして遅く出来た引け巢はいくらも成長しないことを知るのである。

畢竟引け巢の生長を考へるには熔銑の初期蒸氣壓の高低と云ふことが重要な意味を有つ。即ち注湯熔銑の初期湯氣壓が高ければ高い程引け巢の發生時期が早く従つて空隙が大きくなる。一方初期蒸氣壓が低くければ假令引け巢が發生したとしても其形狀は細小であり若し或程度以上初めの蒸氣壓が低いならば事實上引け巢は出来ないものと考へられる。斯様な意味から云つても先に述べた氣泡巢の發生條件と引け巢のそれとは可成異なるものがある譯で前者に於いては單に全蒸氣壓が高いと云ふ條件の他に凝固時に於ける H の偏析が極めて重要な働をなした。之に對し引け巢の場合には偏析の影響も重要には違ひないが夫にも増して熔銑の初期蒸氣壓が問題になる。即ち引け巢の場合には熔銑の後期沸騰と云ふ如きことよりも寧ろ注湯時に於ける全蒸氣壓の高低の方が大きな影響を及ぼすのである。

此處で熔銑の初期蒸氣壓の高低を具體的に云へば $P'_{CO} + P'_{N_2}$ の高低を意味する。即ち其場合には P'_{H_2} は未だ低壓で影響が少ないから P'_{CO} 及び P'_{N_2} のみが問題になる。依つて一般に現場に於いて得られる熔銑に就いて引け巢が出来易いか難しいかを論じるには先づ P'_{CO} 及び P'_{N_2} の初期蒸氣壓の高低を観察すれば良い。例へば取鍋中で既に沸騰を起させる如き熔銑は $P'_{CO} + P'_{N_2}$ の高いことを示すが同熔銑は其故に引け巢を生じ易い性質を有つ。之に對し取鍋に移せる熔銑が良く鎮靜せる状態に在るならば同熔銑は脱酸、脱窒素が上手に行つて居り健全な鑄物を得るに望ましい状態に在るものと判斷出来るのである。

そこでもう一度氣泡巢と引け巢とを其生成條件に就いて比較するならば前者に於いては熔銑の後期沸騰を起すと云ふ理由によつて P'_{H_2} が最も注目を要した。即ち氣泡巢の發生に就いては P'_{H_2} が比較的強いことを以つて必要條件とし P'_{CO} 、 P'_{N_2} に関しては其働きが寧ろワキ役的なことを説明した。然るに一方引け巢に就いては上述の説明による如く單なる發生條件以外に引け巢の成長を考へる事が必要で従つて熔銑のもつ初期蒸氣壓即ち P'_{CO} 、 P'_{N_2} の高さ

が重要な影響を及ぼすことを知る。而して初めは極く低壓であるが凝固時に著しい偏析性を示す P'_{H_2} に就いては氣泡巢の場合程其作用が顯著でない。即ち引け巢に就いては P'_{H_2} よりも寧ろ P'_{CO} , P'_{N_2} の方が主役として目される立場に在る。

尤も斯様に申しても P'_{H_2} が引け巢の發生に對し餘り影響を及ぼさないと云ふのでは決してない。若し初めの P'_{H_2} が比較的高いならば其の顯著な偏析性により凝固開始後間もなく同蒸氣壓が上昇し其結果引け巢を發生せしめる。其處で場合に依つては引け巢の成因を P'_{H_2} の高きことに歸し得る場合も屢々ある。従つて引け巢の成因としては結局 P'_{CO} , P'_{N_2} 及び P'_{H_2} の三者共同格に考へるべきことが結論として得られる。つまり三者は何れも引け巢發生の主役たり得べきもので其の中の何が最も主要な原因となつたかと云ふことは唯場合によつて色々に變化するのである。依つて鑄物に於ける引け巢を完全に無くするためには單に熔銑中の一氣體のみに注意を拂ふだけでは不十分であり脱ガスなる事を工夫するには O , N , H の三者に就いて等しく除去法を講じなければならぬのである。

以上色々と述べて來たことを纏めて鑄巢の發生條件を結論付けると次の如くなる。

$P'_{N_2} + P'_{CO}$	P'_{H_2}	氣泡巢	引け巢
低	高	有	有
中, 高	中	有	有
中, 高	低	無	有
低	低	無	無

此の表に於いて $P'_{CO} + P'_{N_2}$ が高い場合と云ふのは兩者の和が略大氣壓に近い場合を意味する。之に對し P'_{H_2} は凝固時に於いてこそ偏析により著増するが最初出湯せる折には概ね低壓で 0.1 atm を越えることは先づない。よつて現場に於ける實情に即し P'_{H_2} の高き場合とは大約 0.05 atm 以上即ち P'_{CO} , P'_{N_2} に比し1桁低い蒸氣分壓を以つて高低の基準となしたのである。即ち P'_{H_2} の高低には桁數を下

げて 0.05 atm 以上を高としそれ以下を中, 低となした。然し P'_{H_2} は熔銑の冷却凝固につれて著増する傾向をもつから鑄巢, 時に氣泡の發生に關しては他の P'_{CO} , P'_{N_2} 以上に惡影響をもつことが上表から知られやう。よつて水素の溶解量を可及的に低くする事は鑄巢を防止するために最も必要な事に違ひ無い。而して P'_{H_2} を極めて低くすることが出來さへするならば鑄巢の相當部分が無くし得ると云ふことも強ち過言ではない。

然し實際問題として P'_{H_2} の非常に低い熔銑が容易に得られるかと云ふに其注文は必ずしも容易ではない。と云ふのは水素は原料鉄鐵中に既に相當量含まれてゐる上にキユボラ熔融をすれば大氣中の水分, コークスの燃焼によつて生じた水蒸氣など程度不可避的な原因により H が熔銑中に溶込んで來る。故に H を全く含まぬ熔銑は得難いし P'_{H_2} を特に低くすることは容易に出來ない。其處で P'_{H_2} が或程度の高さをもつことは避けられぬとすると其他の手段として P'_{N_2} と同時に P'_{CO} , P'_{N_2} を可及的に低くする必要が一層にある譯である。即ち後兩者が低くければ P'_{H_2} が多少高くとも鑄巢が出來難いと云ふ理由によつて脱酸, 脱窒素なる操作の必要が分かるのである。

猶熔銑に就いて鑄巢が出來る出來ないの問題は單に個々の溶解氣體の多寡によると云ふよりも全蒸氣壓としての高低が問題になる。而して三者の中の一者のみを獨立に考へることの誤りなる事は繰返し注意せる如くである。然し上述の様に三者の中で H の影響が特に顯著であると云ふ事實は常に記憶してゐなければならぬ。即ち實際に鑄物を造るに當つては熔銑中に H の溶込むことを極度に恐れなければならず P'_{H_2} を高める原因となる諸因子に就いて充分の注意を拂ひ且又出來得べくんば P'_{CO} , P'_{N_2} をも可及的に低くする様工夫を施すのである。さうすれば假令熔銑中の溶解氣體を完全に除去して終ふことが實際問題として不可能であつても猶鑄巢の發生を殆んど完全に防ぐことが出來るのである。