

IV. 結 言

リムド鋼塊の大型化について研究を進め特に今回は高さの増加の鋼塊品質におよぼす影響について調査した。高さを高くすると膨張が大きくなるが注入速度を遅くすれば良好なりミングアクションがえられ、リム部性状には異常は認められず、圧延でも欠陥は発生しなかつた。鋼塊の厚さを減らして高さを高くすることにより偏析の減少が期待でき、かつその位置が上にくるのでこの部分を除外して使用する場合、歩留低下をきたすことなく切捨てが可能であると期待され、高さ増加による利点が明らかになつたのでリムド鋼塊大型化の方向が明らかとなつた。

上注法による高さの増加はスプラッシュの点から限界があり 3500mm 程度が限度と考えられるので、今後は下注法について耐火物の研究を進めながらさらに高さの増加を計つた試験を継続する予定である。

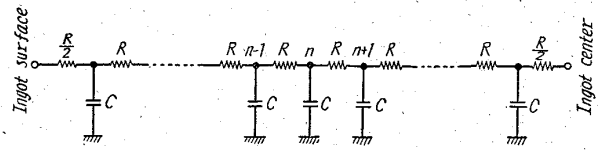


Fig. 1. RC network.

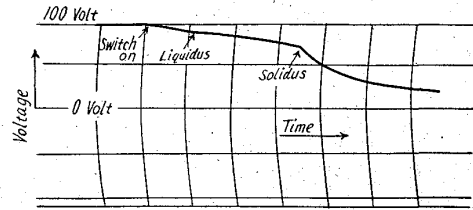


Fig. 2. Example of a voltage-time curve obtained by simulator method.

669,14-412:621,746,628:536,242:658,562,2

(76) アナログシミュレーターによる鋼塊の凝固の解析 62256

八幡製鉄所技術研究所 1346~1347
理博 吉田 秋登・清水 亮

Analysis of Ingot Solidification by Analog Simulator Method.

Dr. Akito YOSHIDA and Ryo SHIMIZU.

I. 緒 言

鋼塊の凝固を熱伝導の問題として扱うことは、いろいろ試みられてきたが、潜熱の扱い方、liquidus, solidusの温度の区別の仕方は、問題のある点であつた。これらの点を実際の現象に合った形で解決するには analog simulation¹⁾²⁾の方法がよく、以下この方法による凝固の解析について述べる。

II. 原理と計算方法

(1) 原理 問題を一次元直角座標で考えると、熱伝導の方程式は(1)式で与えられる。

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = a \frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} \dots\dots\dots (1)$$

偏微分方程式の数値計算の場合と同様に(1)式は差分

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{a}{\Delta x^2} [\theta(x+\Delta x, t) + \theta(x-\Delta x, t) - 2\theta(x, t)]$$

方程式(2)で近似される。他方 Fig. 1 に示すような RC network において、第 n 番目の node point の電圧を V_n とすると V_n は

$$\frac{dV_n}{dt} = \frac{1}{RC} [V_{n+1} + V_{n-1} - 2V_n] \dots\dots\dots (3)$$

(3)式で表わされる。(2), (3)式は全く同型であるので、

$$\left. \begin{aligned} \theta &= \lambda V & \lambda & \text{は任意定数} \\ \frac{\Delta x^2}{a} &= \mu RC & \mu & \text{は適当な定数} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

ならしめることにより、数学的 simulation が可能となる。すなわち温度、熱伝導率、熱容量のそれぞれに電圧、電気抵抗、電気容量を対応させた Fig. 1 の network

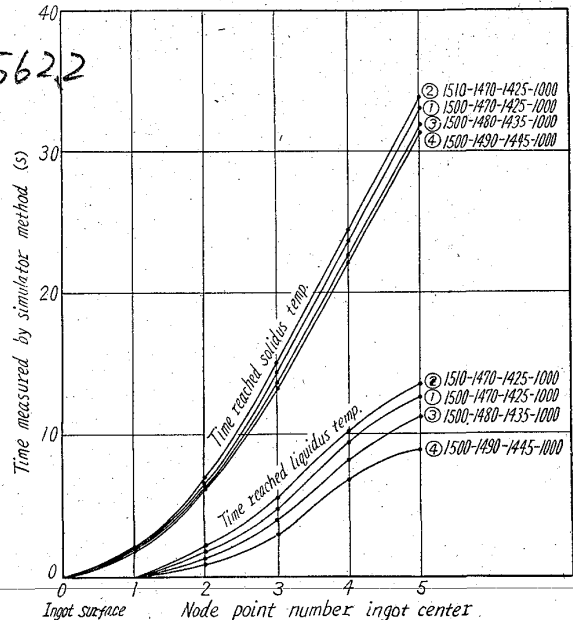


Fig. 3. Solidification curve.

により(1)式の熱伝導方程式を近似的に解くことができる。

凝固現象の場合は相変化を伴うから、RC network はそれぞれの相に対応して準備され、現象の進行につれて relay により切換えられるようにしておかねばならない。この際 liquidus-solidus 間の中間状態も液相、固相とは区別され、ここから liquidus, solidus の温度が別々に計算に持込まれ潜熱の扱い方も実際現象に近いものとなる。

(2) 計算方法 network が構成されると、計算に移るためには Fig. 1 の network によりいかなる対象を模擬するかを決め、node 数と鋼塊の大きさから Δx を求め(4)式により時間換算係数を決める。次いで解析しようとする現象の初期条件、境界条件を考慮しつつ(4)式の λ を定め、初期条件を与えた後境界条件を函数発生器により network の境界に与えて計算を開始させる。本 simulator では鋼塊の表面を境界にとつてある。

III. 計算結果の例

Simulator が描く曲線は Fig. 2 のようなもので、このような曲線がそれぞれの node point についてえられる。この曲線より凝固開始、終了時間（それぞれ liquidus solidus の温度に到達した時間）が求められ、鑄型内における凝固について幾つかの異なった条件の下での結果をまとめると Fig. 3 のようになる。Fig. 3 で 1500—1470—1425—1000 とあるはそれぞれ鑄型内における溶鋼温度、liquidus 温度、solidus 温度、鋼塊の表面温度を示す。

IV. 考察

(1) 凝固開始、終了時間の開きについて Fig.3 が示すように、鋼塊内の任意の点における凝固の開始時間と終了時間の間には大きな開きがある。従来の諸計算の結果は simulator では終了時間に相当するものであるが、simulator によればある点で凝固が完全に終了するはるか以前に凝固はすでに始まっていることがわかる。これまで型抜き時間は、たとえば鋼塊の厚さの 80% が凝固するのに要する時間として決められてきたが simulator が与える時間を実際の鋼塊の時間に換算してみると、現行の型抜き時間は大体において中心の凝固開始時間に相当することがわかる。

(2) 溶鋼注入温度の影響 Fig. 3 によれば注入終了時の鑄型内の溶鋼温度が 10°C 上昇することによって、中心における凝固開始および終了時間は数%増大し、特に開始時間の遅れの大きいことがわかる。

(3) 凝固開始温度の影響 凝固開始温度が 1470, 1480, 1490 と上昇した場合を Fig. 3 でみると、凝固開始温度が 10°C 上昇することにより、凝固開始時間は 10~25%遅れるが終了時間はせいぜい 4%程度しか遅れないことがわかる。

(4) その他 Fig. 3 には鑄型内における凝固の例のみを示したが、型抜き、均熱をも含めた諸過程について計算を試みている。simulator による計算の場合にも、溶鋼、鋼塊の熱的定数をいかに選ぶかは大切な問題である。特に溶鋼の熱伝導率については測定値らしいものは見当たらないが、溶鋼の熱伝導率が 1/2 倍または 2 倍位の範囲で変わっても、凝固終了時間にはせいぜい 10% 程度しか響かないことがわかった。また計算の対象となる鋼塊の部分を幾つに等分して模擬するか換言すれば node point の数を幾つに選ぶかが計算結果におよぼす影響も調べ、IBM 7070 による計算結果とも比較した。

V. 結 言

相変化を伴う熱伝導問題の解析に analog simulator が役立つことがわかった。多くの parameter を多数回変更する必要がある凝固現象の解析には digital computer よりも analog simulator の方が簡便であり、経済的でもある。analog simulator によりはじめて凝固開始時間と終了時間の間には大きな開きのあることが判明し、造塊諸条件の影響もわかった。これらのことは型抜き時間、トラックタイムなどの検討に新たな資料を提供するものといえよう。

文 献

1) VICTOR PASCHKIS: "Theoretical Thermal Studies of Steel Ingot Solidification", Trans.

mer. Soc. Metals. 38 (1947), p. 117

2) KARPLUS: Analog Simulation, McGraw-Hill Book Company, Inc. 1958, p. 204

669.14-412=620, 184, 2/4
(77) 小鋼塊のマクロ組織について

三菱製鋼長崎製鋼所

62257

○竹下勝人・竹内秀光・大屋正行・林満洲雄

On the Macrostructure of Small Ingots.

Masato TAKESHITA, Hidemitsu TAKEUCHI,

Masayuki OHYA and Masuo HAYASHI.

I. 緒 言

1347~1349

鋼塊のマクロ組織は鋼の化学組成、鑄造条件および鑄型形状などによつていろいろ変化することはよく知られた事実であり、かつ鋼塊の健全性とマクロ組織との間には相当大きな関連性を有するので、マクロ組織の形成に影響をおよぼす諸因子について調査を行なうことは鋼塊製造上大きな意義を有することである。

マクロ組織には柱状晶、樹枝状晶、自由晶など凝固条件によつて変化する結晶組織とVおよび逆V偏析と呼ばれる偏析組織がある。これらマクロ組織の研究には従来は少なくとも数t以上の鋼塊が主として実験に供されている。これら大鋼塊においては dumping method によつてもあるいは切断法によるとしてもいろいろの測定、実験の遂行にあつては相当の困難と経費を要することから、幾多の研究がこれまでに行なはれてはいるが相当多数に条件を変化させて実験を行なうことには多大の困難が伴つたであろう。

小鋼塊のマクロ組織には大鋼塊で観察されるマクロ組織全部が全ての場合に観察されるというわけには行かないが、小鋼塊のマクロ組織について得られた筆者等の若干の知見について述べよう。

II. 実験方法

溶湯は 32kVA の高周波溶解炉によつて溶解され Fig. 1 並びに Table に 1

示すように高径比、鑄型側壁厚を変化させた鑄型に鑄込まれた。溶解量および鋼塊重量は共に 6.7kg であつた。

高径比は 1.70, 2.10 および 2.50 の段階とし鑄型側壁厚は厚

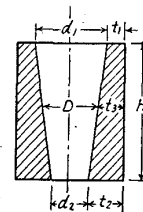


Fig. 1. Shape of an ingot mould.

さの大きなもので実験が完了した後、順次外側が旋削されて鑄型壁厚の小なるものとして使用された。したがつて内径および内容積は高径比の同じものでは全く変化しなかつた。鑄造条件は鑄込温度を 1480°C ~ 1520°C とすることを目標とし鑄込速度はほぼ 7s で一定であつた。さらに hot top を行なう時はテルミット約 23g を 10s 間隔で 3 回押湯へ投入した。

供試鋼塊の化学組成は 0.5~0.6% C 炭素鋼を標準とし、一部炭素含有量の変化がマクロ組織におよぼす影響を知るために低炭素鋼および高炭素鋼が使用された。