

凝 固 末 期 の 金 属 の 挙 動

Behavior of Molten Metal at the End of Solidification

千々岩 健 児*・福 岡 新五郎**

Kenji CHIJIWA and Shingorou FUKUOKA

1. は じ め に

固液共存状態の金属融液は固相が 30~40% を越えると、急激に粘性を増し、液体とはみなしえない状態となる¹⁾。このように融液中に固相成分が多量に存在する状態は、鋳造、造塊などで、凝固末期において現れ、その挙動は鋳造品の品質に大きな影響を与える。たとえば、ひけ巣は凝固末期に、融液の補給が困難になることによって生じ、偏析は結晶と融液との成分に相違を生じることによって起きるとされている。また最近においては、固液共存状態において加圧して製品を作る溶湯鍛造法や、未凝固部分を含む鋳片を連続鋳造時に圧下して加工能率を増すなどの方法が行なわれている。したがって、固液共存状態の融液の性状を知ることが、金属学的にも、加工技術面にとっても重要である。しかるに、実験の困難さからまだ研究されたものはなく、その性状は不明である。そこで筆者らは押し加工法を用いて、この性状を明らかにすることを試みた。

2. 実験装置および方法

装置は図 1 に示すように、上向きの前方押しを行うものである。

この押し装置を電気炉中におき、全体を 10 t アムスラー型万能試験機にとりつけた。電気炉中の温度を自動制御し、試料温度を $250^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ていどの精度で均一に保った。また液体部分がラム側にもれるのを防ぐため、ラムにテフロン製のリングをとりつけた。このリングは毎回とりかえた。

実験に用いた材料は、鉛と錫の二元合金である。温度と固液比率の関係が明瞭であり、かつ凝固温度が低いので、この合金を用いた。また、凝固温度範囲が最も広くなるよう、鉛 79~80%、錫 21~20% の組成のものを使った。試料の大きさは、 $30\phi \times 50\text{mm}$ 、 $30\phi \times 25\text{mm}$ を標準とし、あらかじめ金型の中で凝固させたものを装置の中で所定の温度まで加熱して押しを行なった。荷重(試験機指針による)、変位(ダイヤルゲージによる)、時間(ストップウォッチによる)を測定し、変位と時間から押し速度を求めた。

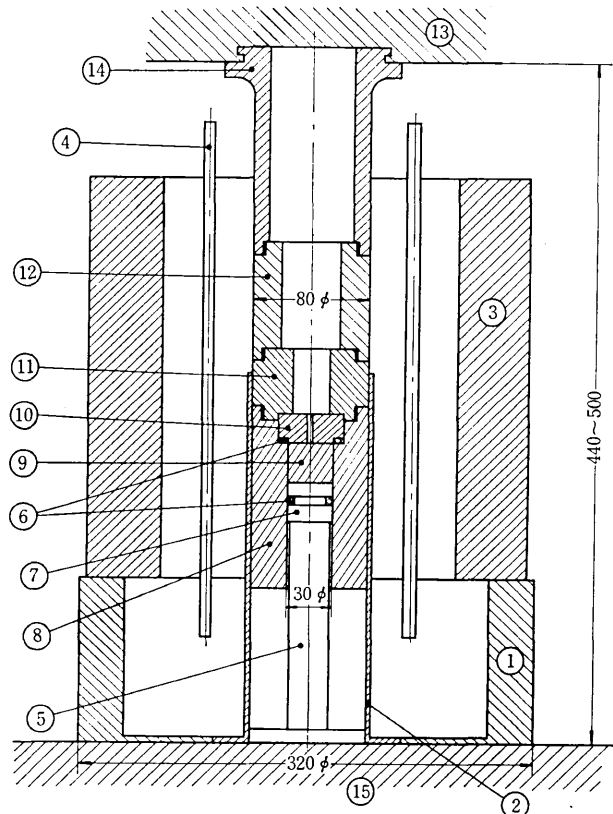


図 1 実験装置 II

3. 実験結果および考察

(1) 押し出しの状態

押し出されて出て来る状態の観察によれば、固相 80% 以下の場合にはまず液体成分だけが押し出され、一定の量が出た後、その液溜めを貫いて棒状の製品が押し出されて出て来る。すなわち、液体成分だけがまず絞り出され、固体が大部分の量を占めるようになってから棒状になって出てくる。固体成分が 80% 以上の場合には液体成分の絞り出しはなく、初めから棒状で出てくる。この 80% という限界は次の 2 点から推定される。

① 高温においては液体の流出が多く、一定温度以下ではほとんど液体の流出がなかった。この温度は 220°C 前後であり、状態図によれば、この温度は固相 80% を含む状態であることがわかる。

② 押し出された棒を再融解し、これを今一度冷却し、

* 東京大学工学部 **東京大学生産技術研究所 第 2 部

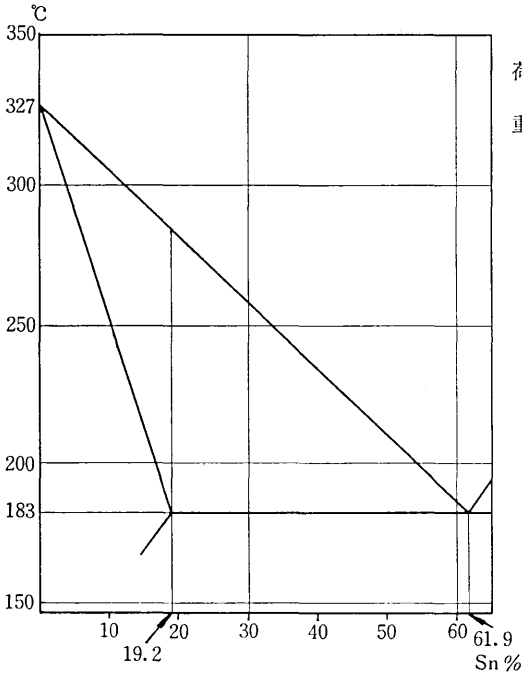


図2 Pb-Sn 平衡状態図

その変態点を求めることにより、押し出し温度と状態図から、押し出し時の棒中の固相分率を求めることができる。その値は 70~90% とばらついているが、① とあわせて、押し出される棒中にはおよそ 80% の固相 (20% の液相) が含まれていると推定できる。

(2) 押し出し荷重と温度

押し出し荷重と温度の関係を図3に示す。図によれば、温度が高いほど押し出し荷重が低くなっている。とくに、220°C 付近に荷重の遷移点がある。いいかえれば、固相

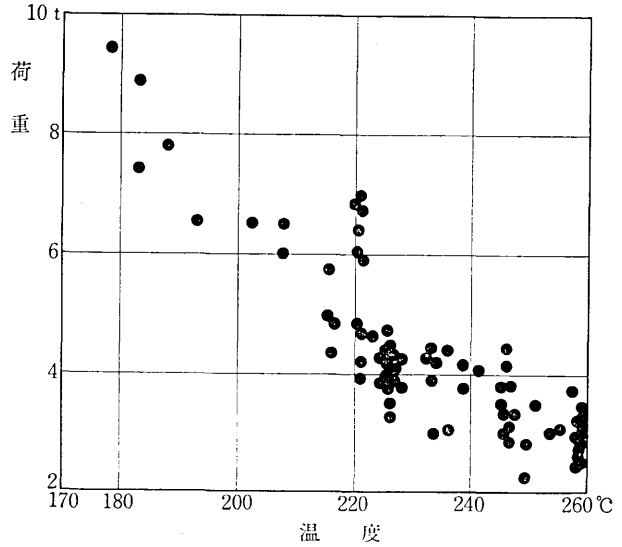


図3 押し出し荷重と温度

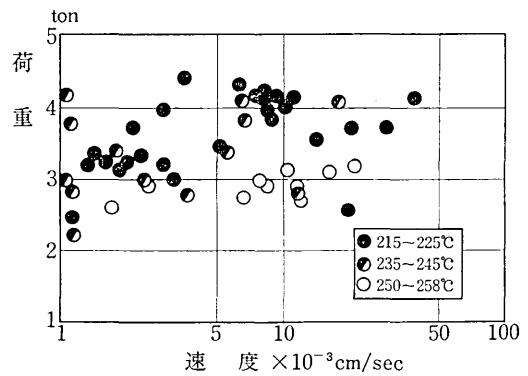


図5 押し出し荷重と速度

線 (183°C) から 220°C までの荷重の変化に較べて、220~260°C での変化は小さい。

(3) 押し出し荷重と固液比率

状態図から温度を固相分率に変換して図3を描き直したのが図4である。この図において、固相分率 100~80% の範囲で押し出し荷重は急減し、それより固相が減っても (液相がふえても) 荷重はあまり減少しないことがわかる。したがって 3.1 と合わせて、固相 80% が固相間の液体の流動に関しても、押し出し荷重に関しても遷移点であり、この液相の捕捉および流動の状態により、図に見られるような、バラツキが生じるものと考えられる。

(4) 押し出し荷重と速度

押し出し荷重と速度の関係を図5に示す。ここで扱った押し出し速度は非常に小さいので、より大きい押し出し速度においては速度依存性が現れるかも知れないが、この範囲内では速度依存性はないも

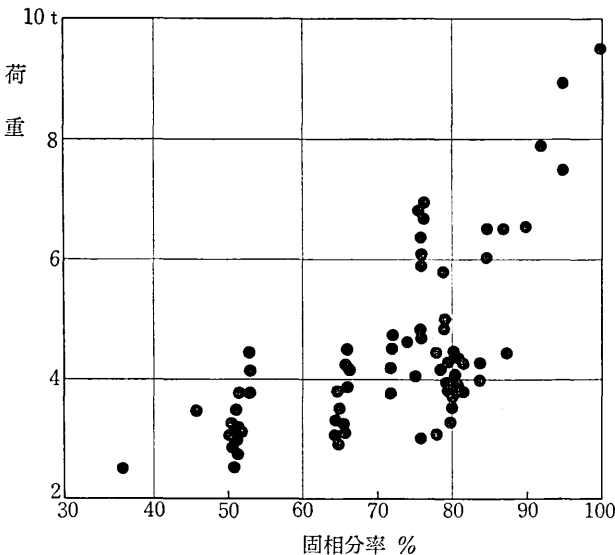


図4 押し出し荷重と固相分率

研 究 速 報

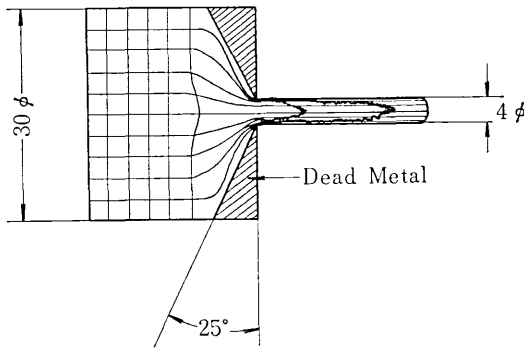


図 6 材料の流れ

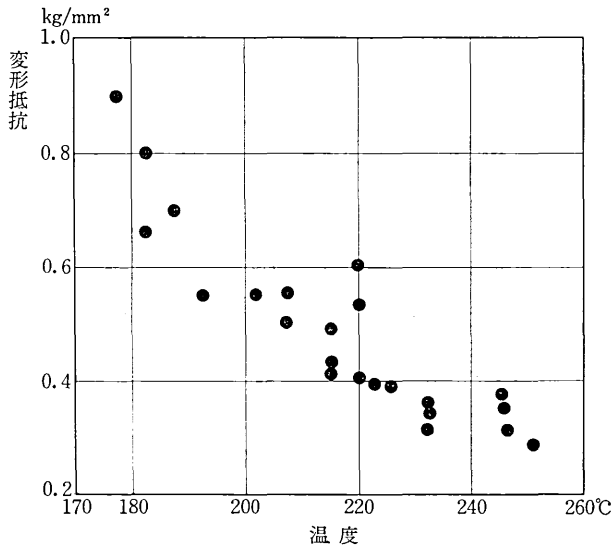


図 8 固液共存状態の変形抵抗

のと見られる。

(5) 変形抵抗

ゲレジの式²⁾を用いて変形抵抗を求めた。ゲレジによれば、デッドメタル半頂角 α 、コンテナ断面積 $f_1 \text{ mm}^2$ 、ダイス穴断面積を $f_2 \text{ mm}^2$ 、金属の内部摩擦係数を μ_i 、コンテナ壁との摩擦力 $P' \text{ kg}$ 、変形抵抗 $k_f \text{ kg/mm}^2$ とするとき、押出力 $P \text{ kg}$ は、

$$P = k_f f_1 \left[\frac{2(1 + 0.385\alpha)}{1 - (1 + \mu_i/\sin\alpha)(f_1 - f_2)/2f_1} - 1 \right] + P' \quad (1)$$

と表わされる。この場合デッドメタル部分がダイスとして働くことを想定している。

デッドメタル半角 α は観察 (2つ割り試料の合せ面にはく離剤としてシリコンオイルを塗り、押し後、合せ面にあらかじめ描いておいた網目の変化を見るもの) から、図6のように、 65° とする。

また、摩擦力 P' は、ダイスの径をかえた場合の押し力求め、ダイスとコンテナ内径比を1にしたときの

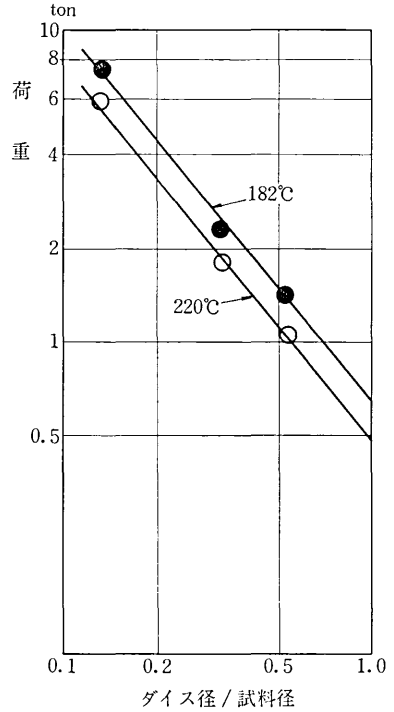


図 7 押し荷重と断面減少率

押し力として外挿によって求めた。図7に示すように、この値はおよそ 600 kg である。

μ_i にゲレジの推奨値 0.6 を用いると、コンテナ径 30 mm、ダイス径 4 mm の場合、変形抵抗は次式で求められる。

$$k_f = (P - 600) / 10,400 \quad (2)$$

(2)式による計算結果を図8に示す。常温での k_f の値は、 2.6 kg/mm^2 であるから、凝固温度範囲ではその $1/3 \sim 1/10$ と、相当小さくなっている。

4. ま と め

凝固末期の固液共存状態の金属の挙動について、実験の結果次のことが分った。

1. 固相 40~80% の固液共存状態の金属は、加圧により液体のみが先に流出し、均一な物質としての挙動を示さない。
 2. 変形抵抗は固相 80% を越えると急に増加し、固相 100% で固相線上の変形抵抗となる。
 3. 固相 80~100% では押し速度による影響はない。
- (1971 年 11 月 25 日受理)

参 考 文 献

- 1) 千々岩, 福岡: 機械学会関西支部第 227 回講演会講演論文集 (46.11)
- 2) A. ゲレジ: 金属塑性加工の計算 (下) 五弓勇雄訳 (コロナ社) 1964