

鉄の定速凝固時の CO マクロ気孔生成の
臨界酸素濃度橋 浦 正 史*・森 一 美*²Critical Oxygen Concentration for the Formation of CO Macrobrownholes
during Constant Rate Solidification of Iron

Masashi HASHIURA and Kazumi MORI

Synopsis :

The iron containing 0.05~0.15 %C was solidified unidirectionally at a constant rate of 5 mm/min to obtain the critical oxygen concentration for CO macrobrownhole formation. This concentration is represented not by a curved line but by a band. At 0.05 %C a large scatter is shown in the critical oxygen concentration. Additionally experiments were done for the ceasing of growth of CO brownholes. It is clarified that the critical oxygen concentration of brownhole formation is higher than that of brownhole growth ceasing.

1. 結 言

鉄凝固時に、CO 気孔が生成するかどうかの臨界酸素濃度、臨界酸素濃度を知ることは、弱脱酸鋼の連铸における CO 気孔生成の抑制に関連して、重要な問題となつている。

野村、森¹⁾は一方向凝固装置を用いた実験を行い、CO 気孔生成の機構について考察するとともに、CO マクロ気孔生成の臨界組成を求めている。しかしこの研究において、臨界組成の決定方法に検討を要する問題が残されていた。

本研究では、この野村ら¹⁾の研究手法と異なり、一定速度の一方向凝固において、溶鉄中の O 濃度を雰囲気ガスの調整により増加させて CO マクロ気孔生成を凝固途中で行わせ、また CO マクロ気孔生成の有無を凝固試料の X 線透過写真により判定する方法を用いた凝固実験を行った。これから C 濃度 0.05~0.15% の範囲で CO 気孔生成の臨界酸素濃度を決定し、野村ら¹⁾の結果と比較、検討した。

また、鉄凝固時の気孔生成の問題を全般的に検討する場合、生成そのもののほか、前報²⁾で研究した消滅も問題になるので、約 0.1% C を含む鉄の気孔消滅の臨界酸素濃度を求める実験を行った。

2. 実 験 方 法

実験には従来、野村ら¹⁾が用いてきた鉄の一方向凝固装置を使用した。鉄試料は直径 17 mm、長さ 100 mm である。溶鉄の初期組成は C 0.05~0.15%、O 0.006~0.008% とした。

実験では、Ar-H₂ 気流中でまず鉄を溶解、脱酸する。つぎに溶鉄の C 濃度を調整した後、凝固を開始する。凝固開始 1.5~7 min 後、反応管内のガスを酸素ポテンシャルの高い Ar-CO-CO₂ 混合ガスに切り換えた。この操作により、凝固途中でしかも一定凝固速度の範囲で CO マクロ気孔を生成させた。凝固距離 20~40 mm の領域では、近似的に 5 mm/min の一定凝固速度が得られた。凝固終了後、凝固試料中の気孔形状、分布および気孔生成位置を調べるために X 線透過写真撮影を行った。撮影条件は 150 kV、4 mA、露出時間 1 min であつた。C、O 分析方法、溶鉄の温度測定などの実験条件の詳細は前報²⁾に述べたごとくである。

気孔消滅の実験は気孔生成と同一の実験装置を使用し、凝固途中において雰囲気ガスを Ar-CO-CO₂ より Ar に変えて気孔成長を止めるという手法により行った。

3. 実験結果および考察

3.1 マクロ気孔生成の臨界酸素濃度

マクロ気孔の X 線透過写真とそのスケッチの代表例を Photo. 1 に示す。気孔は凝固途中で生成しており、ほぼ円筒状であることがわかる。また発生側の気孔先端には小気孔がみられ、気孔生成の開始から定常的な成長へと移つてゆく状態がよくわかる。

Fig. 1 に凝固進行にともなう C、O 濃度の変化と気孔径の変化の代表例を示した。気孔数は 5 本であつたが、図が煩雑になるのを避けるため、気孔径は代表的な 3 本について示した。Fig. 1 からわかるように、凝固距離 32 mm で最初の気孔が生成している。したがつて、これに対応する溶鉄の C、O 濃度を気孔生成の臨界

昭和 56 年 4 月本会講演大会にて発表 昭和 58 年 7 月 1 日受付 (Received June 1, 1983)

* 岐阜工業高等専門学校 (Gifu Technical College, Shinsei-cho Motosu-gun Gifu pref. 501-04)

*² 名古屋大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, Nagoya University)

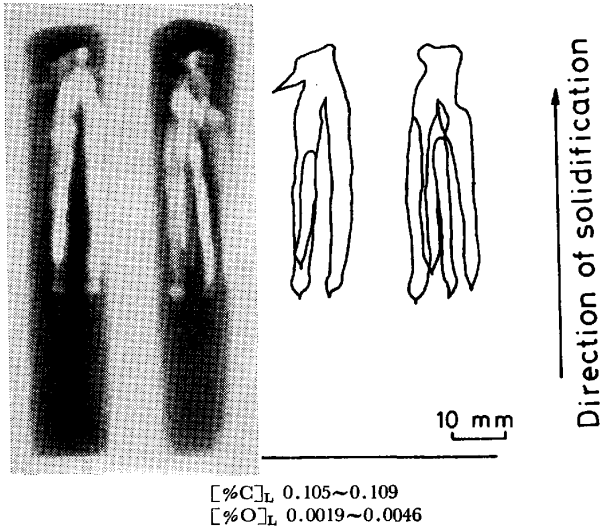


Photo. 1. X-ray photographs and schematic drawings of CO macroblowholes.

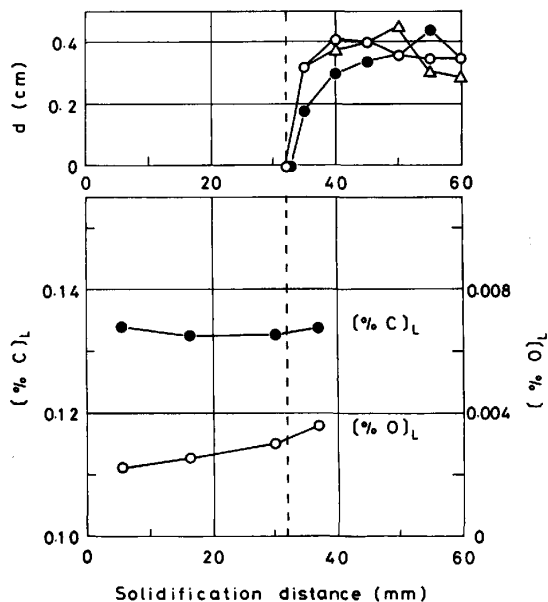


Fig. 1. Change of solute concentrations and diameter of typical three blowholes, d , during unidirectional solidification.

組成と定義する。

C濃度 0.05~0.15% の範囲で気孔生成の臨界組成を求め、結果をまとめて Fig. 2 に示す。図中、一点鎖線は野村ら¹⁾の求めた臨界酸素濃度曲線である。

臨界酸素濃度を求める手法について、緒言で述べた野村ら¹⁾の研究で問題になるのは、つぎの(A)、(B)の2点である。

(A) 野村ら¹⁾は気孔の有無をみるのに試料中心に沿う縦断面の気孔観察を主とし、これに固液の濃度差の有無、大小を考慮したもので、気孔の観察方法に問題があった。

(B) 野村ら¹⁾は凝固初期に気孔が生成し、引き続いて気孔が成長し、しかもO濃度が初期に比べ低下した場

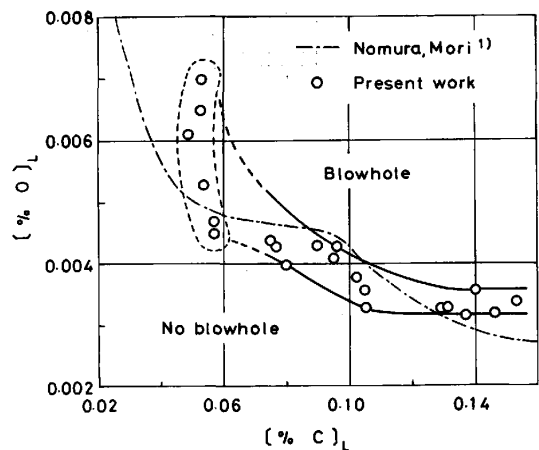


Fig. 2. Dependence of blowhole formation on the composition of melts.

合、臨界酸素濃度を低く見積もるおそれがあることを考慮した。このことから野村ら¹⁾は実験したすべてのデータの中で気孔の生成しない最大酸素濃度をとつて、これを臨界酸素濃度とした。これは決定された臨界酸素濃度の値が必ずしも多くないとみられる実験の数に敏感な影響を受ける点で問題を含んでいた。

本実験で求めた臨界酸素濃度は各C濃度について幅をもつ値となつた。Photo. 1 に示したようにマクロ気孔発生先端において、小気孔が生成している。このことからマクロ気孔の生成機構は、(1)マイクロポアから臨界小気孔への成長、(2)臨界小気孔の安定な成長、(3)マクロ気孔への急速な成長であると考えられる¹⁾。この3段階のうち(1)の段階は気泡核生成をとまなうもので、ある種の不安定さがあり、このことから臨界酸素濃度は本来 Fig. 2 で示したように幅をもつた値になると考えられる。野村ら¹⁾の結果が1本の曲線として求められたのは研究手法からくるものである。

本研究結果では、全般的にC濃度の増加とともに臨界酸素濃度は減少し、C>0.12% で一定になる傾向があつた。C濃度 0.1% 近傍で野村ら¹⁾の曲線が停滞しているのは前記(B)の問題からくるものと考えられる。

C0.05% 近傍では臨界酸素濃度の幅が大きく、野村ら¹⁾の結果とも大きく異なつている。このC濃度領域の気孔生成は実操業でも重要であり、さらに詳細な研究が必要である。

3.2 マクロ気孔生成および消滅の臨界酸素濃度の比較

Fig. 3 に気孔消滅の臨界酸素濃度を Fig. 2 からとつた気孔生成の臨界酸素濃度とともに示した。図において気孔生成の臨界酸素濃度と気孔消滅の臨界酸素濃度とは明らかに差がある。これは気孔生成の機構と気孔消滅の機構²⁾がまったく異なることによる。すなわちマクロ気孔の生成は、臨界小気孔が安定に成長できる濃度がデンドライト樹間の濃縮相で実現することが条件となるのに対して、気孔消滅は径の大きい気孔の成長を維持でき

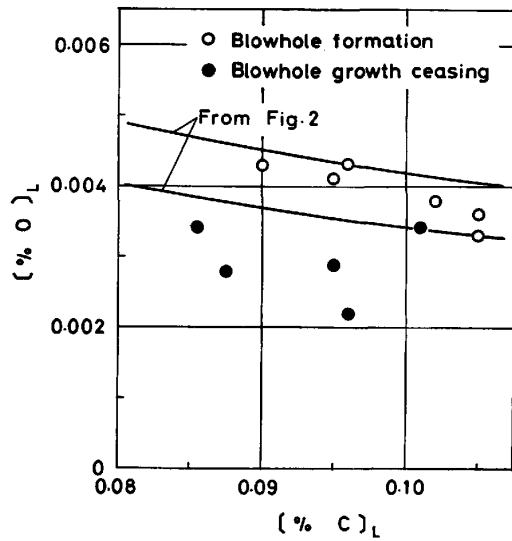


Fig. 3. Comparison of critical oxygen concentration between blowhole formation and blowhole growth ceasing.

る濃度が得られるかどうかは臨界条件となる。

気孔生成の臨界酸素濃度が気孔消滅のそれより大であることから、造塊あるいは連铸においてマクロ気孔の生成を抑制するには、凝固初期に臨界小気孔を生成させな

いことが効果的であると考えられる。

4. 結 言

C濃度 0.05~0.15% の範囲で一定凝固速度の凝固実験を行い、CO 気孔生成の臨界酸素濃度について文献 1) の結果と比較して、つぎの点が明らかになった。

(1) 各C濃度について1点ではなく、ある幅をもった値である。

(2) C>0.12% では一定になる傾向がある。

(3) C 0.1% 近傍では停滞する曲線となっていない。

(4) C 0.05% 近傍では大きな幅となり、今後詳細な研究が必要である。

気孔消滅の実験を行い、気孔消滅の臨界酸素濃度が気孔生成の臨界酸素濃度よりも高いことを明確に示した。

本研究の遂行にあたり名古屋大学工学部金属工学教室平沢政広助手の協力を受け感謝します。純鉄の鍛造を引き受けていただいた大同特殊鋼(株)中央研究所に感謝します。

文 献

- 1) 野村宏之, 森 一美: 鉄と鋼, 64 (1978), p. 1143
- 2) 橋浦正史, 野村宏之, 福井康二, 森 一美: 鉄と鋼, 69 (1983), p. 407