



委員会報告

連続鋳造における力学的挙動部会終了報告

森 勉*

Report of Committee, "Metallurgy and Mechanics of Continuous Casting"

Tsutomu MORI

連続鋳造法は、造塊→分塊・圧延プロセスに比べ、省エネルギー、省力、歩留り性で優れている。この理由により、連続鋳造法の鋼片製造に占める割合は飛躍的に上昇した。最近では、健全な連鋳鋳片の製造は、連鋳→直送圧延も可能としている。健全な連鋳鋳片は、化学的精錬のみによつては作れない。それは、機械的原因によつて発生する、割れ、欠陥のないものでなくてはならない。

連鋳鋳片の割れは、固液共存時に生じる内部割れ、固相状態で生じる表面割れに大別できる。これらは、不純物、組織、熱履歴等の内的因子と、温度、変形速度、機械的拘束等の外的因子に支配される。これらの因子の効果を把握し、健全な鋼片を作る技術を向上させるためには、基本的データの蓄積と、基本現象の理解に努めなくてはならない。「連続鋳造における力学的挙動部会」は、このことを目的に作られたものである。

本部会は、昭和 55 年 5 月に始まり、昭和 60 年 2 月に終了した。この間、15 回の会合を持ち、68 件の研究発表が行われた。そして、「連続鋳造における力学的挙動」と題する報告書を出版した。この報告書は、部会で発表された研究を、固液共存時の割れ発生と脆化、鋼の高温における力学的性質、高温における固相脆化機構、凝固シユルの力学的挙動解析、連続鋳造における操業と品質の項目に分類してまとめたもので、約 410 頁に及んでいる。また、鋼の高温における力学的特性が、データシートとしてつけられている。さらに、連鋳鋳片の欠陥・割れの実例が、写真集として採録されている。以下に、報告集にのせられた研究報告をもとに、本部会で得られた主なる成果を要約する。

「固液共存時の割れ発生と脆化」には、主として凝固中の鋼に生じる割れに対する限界ひずみ量を、種々なるモデル実験による割れ試験法を用いて測定した 7 編の研究結果がまとめられている。従来の限界ひずみ量の測定結果は、研究者や測定法によりかなりばらつきが大き

ものであつたが、本部会では、比較的まとまつた結果を得ることができた。それらをまとめると、次のようになる。

(1) 普通鋼や低合金鋼の内部割れ発生 の 限界ひずみ量は、炭素量の増加とともに減少する。(2) 同一の炭素量を持つ鋼と比較すると、限界ひずみ量は S 及び P の増加とともに減少する。(3) 鋳片の冷却速度の増大により、割れ発生 の 傾向は増大する。(4) 限界ひずみ量は、鋳片の変形速度の増大にともない減少する。(5) 鋳片に圧縮力が加わると、内部割れの発生が抑制される。(6) オーステナイト系ステンレス鋼での割れ発生 の 限界応力は、Mn と希土類元素の添加により増大し、S, P, Si, Al の添加により低下する。

「鋼の高温における力学的性質」には、主に連続鋳造後の直送圧延時に相当するような高ひずみ速度下での普通鋼の高温変形、破壊挙動を調べた 3 編の研究結果がまとめられている。ここでの結果は、次のようにまとめることができる。(1) 1400°C に加熱後、1000°C 程度に冷却した試料は、直接 1000°C に加熱した時よりも脆くなる。これは、冷却過程で生じる硫化物の析出による。(2) 1400°C 加熱後、 α 相の領域まで一度冷却し、再加熱した試料では、延性が回復する。(3) P による高温脆化は、凝固時のマイクロ偏析によつて生成する P の濃化溶鋼が、デンドライトまたは γ 粒界に存在するためである。(4) P による脆化は、C 量が多い程顕著になる。(5) S による脆化にともなう破壊には、粒界延性破面と、粒界はく離破面の両方があり、これらは S の粒界偏析や粒内や粒界への硫化物の析出形態の相異によるものと考えられる。(6) 硫化物が凝集粗大化すると、破壊は粒内延性破壊となり、延性が向上する。

「高温における固相脆化機構」には、粒界やデンドライト界面における介在物、第 2 相、液膜の存在にともなう脆化機構を調べた 3 編の研究結果がまとめられている。それらは、次のように要約される。(1) 介在物を含

昭和 60 年 8 月 7 日受付 (Received Aug. 7, 1985)

* 連続鋳造における力学的挙動部会部会長 東京工業大学総合理工学研究科 工博 (Graduate School of Science and Engineering at Nagatsuta, Tokyo Institute of Technology, 4259 Nagatsuta-cho Midori-ku Yokohama 227)

む粒界での高温破壊につながる介在物近傍でのボイドの発生温度域は、粒界すべり粘性係数とひずみ速度で決まる低温側限界と、介在物-母相界面での拡散係数とひずみ速度で決まる高温側限界の間にある。(2) 介在物が大きくなると、ボイド発生温度域は高温側に移行する。

(3) 低炭素鋼の $\alpha+\gamma$ 2相域での脆化は、 γ 単相域との境界近傍の高温側ほど、また γ 粒径が大きい程顕著になる。(4) γ 中に α が生成することによる脆化は、きわめて少量の α が薄く γ 粒界をフィルム状におおい尽くすときに最も顕著になる。(5) 鋼の融点近傍での脆化は、熔融後の冷却材ではデンドライト界面での、また加熱材では γ 粒界でのそれぞれ液膜脆化であり、脆化温度範囲は固相線温度と密接な関係があり、脆化の程度は歪み速度によらない。(6) 高純度 Fe-C 2元合金では、脆化特性は熱履歴によらない。

「凝固シェルの力学的挙動解析」には、連鋳鋳型内や鋳型下方で成長する凝固シェルがうける温度分布や種々の力を解析し、鋳造欠陥の発生とその程度を論じた12編の研究結果がまとめられている。これらの研究は、大別して、鋳型内の凝固シェルの応力解析、鋳型下方の溶鋼静圧による凝固シェルのロール間でのバルジング解析、そして、鋳片の曲げ矯正ひずみの解析に分けられる。いずれも、種々のモデルに基づいて有限要素法などの数値計算により現実にできるだけ近い状況をシミュレートし、連続鋳造時の鋼の変形状態やひずみを検討している。また、本部会では、バルジングの解析に統一データを使用して、種々の計算法によつて得られる最大バルジング量や最大ひずみを比較検討し、今後のこの方面の

研究に指針を与えている。

「連続鋳造における操業と品質」には、実際の連鋳機またはそれをシミュレートした装置による実験を通じて、連鋳鋳片の代表的欠陥である表面縦割れ、横割れ、内部割れや中心偏析の発生機構とその防止法を論じた14編の研究結果がまとめられている。ここではとくに、これらの欠陥の発生に対する力学的、金属学的要因をふまえた上で、欠陥防止のための実際の設備や操業上の諸条件について検討を加えている。この項目に属する研究は、より高品質の連鋳鋳片を製造するための具体的問題を検討したものであり、既存の連鋳機による品質改善に加えて、新しい連鋳機的设计開発への指針となる考え方がまとめられている。

「鋼の高温における力学的特性—データシート」には、種々なる機関(2大学, 7企業研究所)が測定した、鋼の高温における力学的性質がまとめられている。まず、組成、熱履歴等素性の指定された多数の鋼の、種々なる温度、ひずみ速度における、300以上の応力-ひずみ曲線が収録され、さらにこれらより、種々の温度における変形応力が、そのひずみ速度依存性の形でまとめられている。次に、高温における変形能(絞り)が、種々の鋼に対し、絞り-温度図の形でまとめられている。

「連続鋳造鋳片の割れ写真集」は、本部会において統一的定義、認識を持つために作られたものを再録したものである。我が国の連鋳技術は非常に優れているので、ここにのせたような事例は、実操業時にはもう見られないかも知れぬが、一つの記録としての価値はある。