

氏名	おかむらかずお 岡村一男
学位(専攻分野)	博士(エネルギー科学)
学位記番号	エネ博第26号
学位授与の日付	平成13年1月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	エネルギー科学研究科エネルギー変換科学専攻
学位論文題目	連続鋳造鋳片の変形挙動の解析と鋳造欠陥低減に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 井上達雄 教授 松本英治 教授 牧正志

論文内容の要旨

本論文は、連続鋳造プロセスにおける高速鋳造化ならびにニアネットシェイプ化において問題となるコーナー縦割れと内部割れの2種類の鋳造欠陥について、凝固シェルの熱・力学的挙動を解析することによって、これらの鋳造欠陥の発生機構を考察し、鋳造欠陥の低減対策を実施した結果をまとめたもので、7章から成っている。

第1章は緒論であり、鋳造速度の高速化ならびにニアネットシェイプ化を行う場合に問題となる鋳造欠陥と、鋳造欠陥の発生に関係が深い鋳型内部ならびに2次冷却帯における凝固シェルの熱・力学的挙動についての従来の解析手法の問題点について述べ、本研究の目的を示している。

第2章では、連続鋳造鋳型内における凝固シェルの変形および成長挙動を解析するための有限要素解析手法を提唱し、コーナー縦割れの発生機構とその低減対策を検討している。割れが発生するスラブコーナーから5~10mmの範囲において、凝固シェルの破断応力とほぼ等しい引張応力が長辺面ではスラブの幅方向、短辺面では厚み方向に発生することを明らかにし、コーナー部近傍における温度低下による熱応力と δ - γ 変態収縮が、引張り応力の発生原因であると述べている。さらにコーナー縦割れの低減対策として、短辺鋳型テーパを放物線状に与えるマルチテーパ鋳型について、その効果を数値解析によって力学的に検証するとともに、実際の鋳造において検証している。

第3章では、第4章以後において用いられる2次冷却帯における凝固シェルの凝固伝熱解析方法について述べ、マイクロ偏析を考慮した凝固解析と2次元非定常伝熱解析を組合せた解析を行っている。解析結果と鋳片表面温度ならびに凝固シェル厚の測定結果との比較によって解析精度を検証し、解析手法の妥当性を確認している。マイクロ偏析を考慮することによって、溶鋼溶質濃度の増加にともなう凝固シェル厚が減少し、抗張力消失温度と延性消失温度との幅が拡大する結果が得られることを述べている。

第4章では、鋳片のロール間バルジングについて、弾塑性・クリープ解析手法を提示し、2次元ならびに3次元モデルを用いてバルジングに及ぼすスラブ幅、凝固シェル厚、溶鋼静圧、ロールピッチ、スラブ表面温度、鋳造速度の影響を定量化している。また、これらの解析結果からバルジングひずみと変位の回帰式を導いている。スラブ幅/ロールピッチの比が4.1以下で、短辺凝固シェルによる変形拘束の効果が顕著となり、バルジング変位とひずみが減少すること、この変形拘束の効果はスラブ幅/ロールピッチの比2.3以下で板の弾性理論から導かれたものよりも大きいことを確認している。

第5章では、未凝固鋳塊の単軸引張試験法を用いて内部割れ発生限界ひずみを実験的に求め、第4章で導いたバルジングひずみの回帰式に加えて、曲げ矯正ひずみやロール圧下、ミスアライメントひずみの解析式を導いて、長辺内部割れの発生予測と防止へ応用している。長辺内部割れの発生を予測するために、鋳片の各部分が抗張力消失温度から延性焼失温度範囲にある間に繰返し受ける引張圧縮のひずみサイクルにおいて、各サイクル中の最大引張ひずみの総和として定義する積算ひずみを新たな評価指標として提案している。ひずみの解析結果を内部割れ限界ひずみと直接比較する方法では内部割れの発生を予測することは不可能であり、積算ひずみを内部割れ限界ひずみと比較することによって内部割れの発生が予測可能であ

ることを確認している。また積算ひずみを用いる方法を、スラブならびにブルーム連続鋳造機のロールレイアウトの設計に応用し、実機でその妥当性について検証している。この積算ひずみと内部割れの関係について、デンドライトネットワーク破断の累積の観点から説明を加え、積算ひずみの有する物理的意味を明らかにしている。本章ではさらに、ニアネットシェイブ鋳造における未凝固圧下について、内部未凝固溶鋼の減少による凝固の加速効果を考慮可能な凝固解析手法と未凝固圧下ひずみの解析方法を導き、内部割れを発生させずに目標のスラブ厚みを得るための未凝固圧下パターンについて明らかにしている。

第6章では、バルジング型ミスアライメントが存在する場合の短辺凝固シェルのひずみを解析し、力学的考察に基づいてひずみの解析式を導いている。ロール間隔不整によってバルジング型ミスアライメントが発生した場合、短辺凝固界面において三重点内部割れの原因となる引張ひずみが増加するが、そのひずみは連続鋳造機の下流側になるほど大きいことを示している。また、長辺内部割れの低減を図るためには一般に鑄片の強冷却が行われるが、強冷却は三重点内部割れにとっては逆効果であり、むしろ発生ひずみを増加させると述べている。また、短辺凝固界面における積算ひずみの計算方法を導き、三重点内部割れの発生予測と防止対策への応用の可能性が認められる。

論文審査の結果の要旨

本論文は、連続鋳造プロセスにおける凝固シェルの熱・力学的挙動を数値解析し、高速鋳造ならびにニアネットシェイブ鋳造において発生するコーナー縦割れと内部割れの発生予測方法ならびに防止対策方法を検討した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 鑄型内の凝固シェルの変形挙動を解析するために、凝固シェルの温度、変形と鑄型の温度分布とを連成させた解析手法を提唱し、コーナーから5mm~10mmにおいて発生する応力によって、コーナー縦割れの発生を定性的かつ定量的に説明可能なことを明らかにした。コーナー縦割れの防止対策として可変型短辺マルチテーパ鑄型を提案し、その効果を解析的に説明するとともに、これを実際のプロセスへ適用することによって解析手法ならびに防止対策の妥当性を明らかにした。

2. ミクロ偏析と2次冷却帯での冷却条件を考慮した伝熱解析を組合せることによって、鑄片の温度分布と凝固シェル厚の定量化が可能であり、十分な解析精度が得られることを実験結果との比較によって明らかにした。

3. 鑄片のロール間バルジングを解析し、バルジングひずみに及ぼすスラブ幅や凝固シェル厚、溶鋼静圧、ロールピッチ、鑄片温度、鋳造速度の影響を定量化して、これらの操業パラメータの広い範囲に対して適用可能なひずみと変位の回帰式を導出した。

4. 鑄片の各部が内部割れの発生危険温度範囲にある間に受ける引張圧縮のひずみサイクルにおいて、個々のひずみサイクル中の最大引張ひずみの総和として定義する積算ひずみという従来に無い指標を導入し、内部割れ限界ひずみと積算ひずみの比較によって、内部割れの発生が予測可能であることを明らかにした。スラブならびにブルーム連続鋳造機のロールレイアウト設計、ニアネットシェイブのための未凝固圧下プロセスへの応用を示した。

5. ロール間隔不整によって短辺凝固界面に生じるひずみについて、ロール間不整や凝固シェル厚の影響を解析してひずみの解析式を導き、三重点内部割れの発生予測と防止への応用が可能であることを示した。

以上のように、本研究は連続鋳造におけるコーナー縦割れと内部割れという鋳造欠陥について、これらの発生条件を凝固シェルの熱・力学的挙動に基づいて解明することを意図して、高温凝固シェルの成長ならびに変形の解析手法を導き、実際の鋳造工程における実験結果との比較によってその妥当性を検証するとともに、鋳造欠陥の防止対策を明らかにしたものであって、学術的ならびに工業上への寄与が少なくない、よって、本論文は博士(エネルギー科学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成12年12月1日、論文内容とこれに関連した試問の結果合格と認めた。