



Title	A Mathematical Model for Phase Transformation during Cooling Process of Steels
Author(s)	末廣, 正芳
Citation	大阪大学, 2000, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/42784">https://hdl.handle.net/11094/42784</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	末廣正芳
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第15661号
学位授与年月日	平成12年7月24日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	A Mathematical Model for Phase Transformation during Cooling Process of Steels (鋼の冷却過程における相変態の数学モデル)
論文審査委員	(主査) 教授 那須三郎
	(副査) 教授 天谷喜一 教授 小坂田宏造 教授 鈴木直

### 論文内容の要旨

熱延鋼板の材質は主に成分および熱間加工後の冷却条件で制御されている。これは、成分および冷却条件により最終の金属組織を制御することで材質を制御していると言い換えることができる。この金属組織を効率的に制御するには、冷却中に生じる冶金現象を明確にし、さらに定式化し、これをもとに成分や冷却条件を検討することが有効であると考えられる。このような考えに基づき、本報告では冷却中におこる冶金現象である相変態を定式化することを目的とした。

熱延鋼板の主な製品はC, Si, Mnを含有する鋼であり、冷却後の組織はフェライト、パーライト、ベイナイトからなる。これらの相への変態を予測するモデルを、核生成・成長理論を基に開発した。このモデルでは核生成・成長の理論式を利用するだけでなく、熱力学データを用いることでC, Si, Mnといった成分の変態挙動への影響を考慮した。その結果、従来より汎用性の高いモデルとなった。

前述の相分率以外に材質に影響を与える冷却後のフェライト粒径を予測する方法を確立し、さらに、変態挙動に及ぼす熱間圧延の影響が考慮できるようになれば熱延鋼板の材質を予測できるようになると考えられる。これらについて検討した結果を利用することで、熱間加工後の冷却中の変態挙動および冷却後の組織(フェライト・パーライト・ベイナイト相分率、フェライト粒径)が予測可能となった。さらに、鋼の組織と材質の関係に関し検討し、各相の材質が変態温度に依存していることを明確とし、成分および製造条件から熱延鋼板の強度を予測することを可能とした。

前述の変態モデルの開発ではパーライト分率が少なく、パーライト変態のkineticsの測定が困難であるような鋼種を対象としたためパーライト変態に関しては詳細な検討を行うことができなかった。そこで、パーライト変態に関する検討を、0.5mass%C鋼を用い詳細に行い、前述のモデルを修正することで、C量がより多い鋼に対しても、モデルの適用を可能とした。このモデルを用い0.5mass%C鋼の熱延工程での最適製造条件を検討した。

変態予測モデルの汎用性をより高めるためには、前述のモデル開発の中で考慮されていない現象を考慮する必要がある。前述のモデルにおいて成分の影響は熱力学データを用いることで考慮されているが、熱力学データでは考慮できない元素がある。その代表的なものとしてNbが挙げられる。この影響に関し検討し、これがソリュート・ドラッグ効果によるものであることを明らかとし、さらにソリュート・ドラッグ効果を計算する新しいモデルを開発した。このモデルは今後前述のモデルに適用する予定である。

以上のように、本報では鋼の変態挙動を予測するモデルの開発とその活用に関して研究した結果を報告した。

## 論文審査の結果の要旨

自動車用鋼板などに用いられる熱延鋼板の材質は、主に成分および熱間加工後の冷却条件で制御され、それらによって最終の金属組織が決定される。この金属組織を効率良く制御するには、冷却中に生じる種々の変態現象を明確にし、定式化することによって、成分や冷却条件を検討することが必要である。本論文は、これらの考えに基づき、鋼の冷却過程で重要な相変態を定式化し、冷却中の変態挙動を予測するモデルの開発とその活用に関して検討し、得られた成果をまとめたものである。

熱延鋼板の主な製品は C, Si, Mn を含有する鋼であり、冷却後の組織はフェライト、パーライト、ベイナイトからなるが、本論文ではまず最初に、これらの相への変態量（相分率）を予測するモデルを、核生成・成長理論を基に開発している。このモデルでは核生成・成長の理論式を利用するだけではなく、熱力学データを用いることで C, Si, Mn などの成分の変態挙動への影響を考慮しているので、従来より汎用性の高いモデルとなっている。さらに、変態量すなわち相分率以外に材質に影響を与える、冷却後のフェライト粒径を予測する方法を検討している。その結果、冷却後のフェライト粒径は変態初期の温度と強い相関があることを見い出し、この知見を基に変態予測モデルから計算される 5 %変態温度を用い定式化することによって、冷却後のフェライト粒径の予測を可能にしている。変態挙動におよぼす熱間圧延の影響についても検討し、冷却前に残存する転位密度が核生成サイトの数を変化させるという考え方で定式化したモデルを構築し、熱間加工後の冷却中の変態挙動および冷却後の組織の予測を可能にしている。さらに、鋼の組織と材質の関係に関し検討し、成分および製造条件から熱延鋼板の強度を予測することを可能にしている。これらの変態モデルをパーライト変態が重要となる高炭素鋼についても検討し、モデルを修正することによって適用を可能とし、0.5mass% C 鋼の熱延工程での最適製造条件を見いだしている。

変態予測モデルの汎用性をより高めるために、モデル開発で考慮されなかった現象、すなわちフェライト形成元素であるにも関わらずオーステナイトからフェライトへの変態を大きく遅延させる Nb 元素の効果を検討し、これがソリュート・ドラッグ効果によるものであることを明らかにし、ソリュート・ドラッグ効果を計算する新しいモデルをも開発している。

以上のように、本論文は、鋼の冷却中の変態挙動を予測するモデルの開発とその活用に関して研究し、熱延鋼板の最適製造条件の導出など、多くの成果を挙げており、博士（工学）の学位論文として価値のあるものと認める。