

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 劉 金山

本研究は「熱間変形加工時の内部組織予測に関する研究」と題し、高温変形加工より変態に至る過程での結晶粒径、各相の分率などの内部組織を予測する手法について、実験による検証を交えつつ検討したものである。

変形加工に課せられた2つの重要な課題は、製品の寸法形状などの形状の創成と、材料内部のマイクロ組織の創出である。材料内部のマイクロ組織（材料内部組織）の創出には、合金元素の添加とともに塑性変形が深く関与しており、製品内部の機械的特性を適切な状態に保つためには、製品ごとに加工条件を制御する必要がある。

本論文では、熱間変形加工時の内部組織予測について、基本理論の構成より実製造プロセスへの適用までを総合的に扱っている。第1章は序論であり、変形加工における内部組織制御の役割、位置づけ、さらに、従来この分野で行われてきた研究を総括し問題点を抽出している。

第2章より第4章までは、内部組織予測手法の構成について記述している。第2章では、塑性変形、温度分布の解析を対象とした、3次元 FEM 解析手法について説明している。変形加工時の3次元変形形状の解析には剛塑性有限要素法を、温度分布の解析にはガラーキン法に基づく有限要素法を利用しており、これらを連成させることによって、高温変形加工時の塑性変形と温度の高精度な解析を可能としている。

第3章では、熱間変形加工中および加工パス間での内部組織変化を解析するための、増分形解析手法について論じている。この手法は、転位密度を媒介として定式化されているため、含まれるパラメータの物理的・金属学的根拠が明快であり、さらに増分形定式化を採用しているため、変形加工時に材料が受ける変形履歴、温度履歴を内部組織（オーステナイト結晶粒径分布）、転位密度（変形抵抗）に正確に反映することが出来る。この章では理論の構成と共に実験との比較結果についても論じており、増分形内部組織解析手法によって高精度な材料マイクロ組織の解析が可能であることが示されている。

第4章では、変形加工後の冷却過程で、鉄鋼材料に発生する変態を予測するための内部組織解析手法について述べている。古典的核生成-成長理論をもとにした増分形解析手法を新たに提案し、解析結果を実験結果と比較することにより、提案した解析手法の妥当性について検証している。ここで提案した解析手法は核生成-成長理論をもとにしているため、ごく小数の冶金学的パラメータにて変態後の結晶粒径や、フェライト/パーライト/ベイナイト分率を予測することができる。また、従来は別個の現象として扱われてきた熱間加工と冷却変態との一貫した理論的な取り扱いを可能とするために、変態時の核生成速度を変態開始時点での残留転位密度の関数として表現し取り込んだ。このことにより、熱間変形加工の影響を正確に冷却変態に反映させることが可能となった。なお、残留転位密度と核生成速度との関係については実験によって、両者が線形比例の関係にあることを示した。

第5章、第6章では、提案された解析手法の実生産熱間圧延に適用し、既存圧延工程の評価を行っている。棒線材圧延の異なる2つの圧延方式によって創り込まれる内部組織について理論的に検討したのが第5章であって、当然のことではあるが圧延方式によって最終的に得られる内部組織が大きく異なることが示されている。第6章では、形鋼圧延における断面内内部組織分布について、フィレット部の結晶粒粗大化と、これを抑制する為の圧延プロセス条件、特に冷却条件について論じている。スタンド間

のフランジ水冷を行うことによってフィレット部の内部組織が顕著に改善されることを示している。

第7章は結論であって、研究成果を総括し、今後の今後の研究について展望している。

以上を要するに本研究では、熱間変形加工における内部組織予測手法について、基礎理論の構築よりより応用事例に至るまで一貫して取り扱っており、今後の変形加工による内部組織制御の広範囲での実現に向けた工業的意義が高いのみならず、機械工学—材料工学の境界領域を取り扱った研究として、学術的な意義も高い。

よって本論文は、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。