

論文の内容の要旨

論文題目 熱間変形加工時の内部組織予測に関する研究

氏名 劉 金山

形状の創成と機能の創出が鉄鋼材料製造・加工の基本である。従って次世代の鉄鋼材料製造・加工技術の研究開発、商品開発においては、塑性変形状と材料機能（内部組織）との二つ面を見極めた上で、適切に両者を最適な条件に制御できる加工技術、特に圧延技術が必要である。両者の適切な制御を行うためには両者を融合した理論体系を欠かすことができない。材料機能創出 FEM 解析技術とは、塑性変形状と内部組織を同時に最適な条件に制御するための理論体系である。

材料機能創出 FEM 解析技術体系には、加工時の塑性変形—温度分布—マイクロ組織変化の統合解析を、あらゆる金属材料について可能とするための数値解析基盤を、鉄鋼材料を重点として開発する。この数値解析体系には、塑性変形解析時のマクロパラメータである加工条件と、内部組織解析時のマイクロパラメータである加工後の材質とを結び付けることが要求されている。

本研究では、材料機能創出 FEM 解析技術体系を構築するため、必要な解析モデルと解析手法について研究を行う。熱間加工時と熱間加工後の内部組織変化が予測できる「内部組織解析の変形・温度・内部組織の総合手法」を開発した。

1) 擬似三次元 FEM 温度解析手法の開発。

多パス連続圧延時に各パスで圧延材の三次元温度分布を解析できる。この温度解析手法は、時間増分毎に圧延の進行と共に断面内の温度分布を求めて、内部組織の変化を連成解析する。

2) 熱間加工時の内部組織予測に関する解析手法の開発。

熱間加工時に、加工硬化・動的回復と動的再結晶などの動的現象が発生する。塑性ひずみが臨界値に達すると、動的再結晶が起って動的再結晶組織を生成する。本研究では、熱間加工の進行と共に動的再結晶した組織が繰り返し動的再結晶を発生すると考えて、動的再結晶した回数により生成された種々組織を副組織として取扱う。各副組織において、加工硬化と動的回復の影響を考慮して、結晶粒径・転位密度・体積分率などの変化を記録する。

熱間加工後、静的再結晶・静的回復と動的再結晶した組織の回復などの静的現象が発生する。本研究で、これらの静的現象による内部組織の変化を記録し、最終的に内部組織を予測する。

3) 熱間加工後の連続冷却変態組織を予測する増分形解析手法の開発。

熱間加工後のオーステナイト粒径と残留転位密度を用い、相変態の核生成速度・成長速度に及ぼす熱間加工の影響を表す。熱間加工の段階から連続冷却変態段階までの内部組織の変化を記録し、最終的に相変態組織を予測する。

材料機能創出 FEM 解析技術の応用として、各種の圧延加工プロセスに対して塑性変形・温度分布と内部組織変化を連成解析し、圧延設備のレイアウト並びに圧延スケジュールの妥当性を検討した。

- 1) 熱間加工時のオーステナイト組織変化の解析事例として、2 ロールと 3 ロール棒材圧延後の内部組織を予測した。圧延機のロール空間配置により圧延材の断面ひずみ分布が大きく影響され、3 ロール棒材圧延時する場合、圧延材の中心部の変形ひずみが小さいので、粗大なオーステナイト組織になり易いことを示した。
- 2) 棒材圧延時の結晶粒の粗大化問題において、粗大化の判断因子を提案し、圧延時の粗大化現象を予測する事例を示した。
- 3) フェライト変態に及ぼす残留転位密度の影響が大きく、より低い加工温度で転位が大きく残られ、結晶粒が微細化されることが予測結果から検証された。3 ロール 4 パス圧延の場合、フェライト変態・パーライト変態などに及ぼす残留転位密度・オーステナイト粒径の影響を示した。
- 4) 多パスタンデム棒線圧延後の内部組織を予測するため、12 パス S-D 圧延方式と 14 パス 0-S 圧延方式の数値実験を行って、内部組織の変化を解析した。累積ひずみが大きく再結晶が完全に起り、内部組織に及ぼす温度の影響が最も大きいことが明らかになった。
- 5) H 形鋼圧延する場合、フィレット部の結晶粒粗大化現象を改善するため、IMC+TMCP 温度制御が実施されている。本研究では、圧延時の内部組織変化を解析し、IMC+TMCP 温度制御による内部組織変化と最終の変態組織を定量的に検討した。