

博士論文の要旨及び審査結果の要旨		
氏名	伊藤 太初	
学位	博士 (工学)	
学位記番号	新大院博 (工) 第 525 号	
学位授与の日付	令和 4 年 3 月 23 日	
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当	
博士論文名	鉄道用レールのガス圧接における加熱変形の数値解析に関する研究	
論文審査委員	主査	教授・佐々木 朋裕
	副査	教授・新田 勇
	副査	教授・松原 幸治
<p>博士論文の要旨</p> <p>本論文では、鉄筋やレールの主要な接合法として用いられている固相接合技術の一つである「ガス圧接法」を対象として、接合に伴う加熱、材料変形を精度よく予測する数値解析モデルを開発している。さらに、本接合法特有の界面現象を数値解析モデルと材料組織学的観点から論じており、接合の高効率化の指針を明らかにしている。論文は以下の 5 章で構成されている。</p> <p>第 1 章では、緒論として、ガス圧接法の歴史、および国内、海外での研究動向について概観すると共に、レールガス圧接の施工上の問題点、接合原理に関連する材料組織学的現象について述べている。同時に、数値解析モデルの重要性についても論じ、本研究の目的と意義を示している。</p> <p>第 2 章では、本研究における数値解析の基本モデルとして、断面が軸対象の丸棒鋼を対象としたガス圧接部の加熱変形解析モデルを構築した。ガスバーナーによる入熱がガウス関数で近似できることを示し、2 種類のガウス関数で熱流束を表すモデルを提案している。そして、機械的、および熱的性質の温度依存性を考慮した熱-構造連成解析により、接合中における界面近傍の温度分布、およびそれに伴う材料変形を精度よく予測可能であることを明らかにしている。さらに、解析結果と実験結果の比較により、本モデルの妥当性、ならびに解析可能な範囲について論じている。</p> <p>第 3 章では、2 章で構築した熱-構造連成解析結果と接合界面で生じる界面マイクロ現象との関連を明らかにすることを目的とした。接合界面で生じる表面酸化被膜の破壊、原子間結合の達成による接合部の形成、およびその結果としての接合強度の予測は現象が複雑すぎて数値解析モデルでは予測不可能なことから、実験的に検討している。数値解析モデルの結果と、実験により得られた接合部の酸化介在物量、および引張強度との比較から、接合部の達成に必要な変形量は、接合界面の相当塑性ひずみによって定量的に予測可能であることを明らかにしている。同時に、ひずみ増加による接合部の形成機構についても考察している。具体的には、接合初期段階における接合界面の変形は、凹凸による非接触面 (ボイド) の消失を促し、接触面を増加させ、変形が進行すると、接触面に残存した酸化介在物が変形により分断・微細化し、十分な接合状態に達することを明らかにしている。</p>		

第 4 章では、構築したモデルを、実用の鉄道レールに適用する際に重要となる加熱、および変形の断面形状依存性を論じている。レール各部位に与えられる熱流束をガスバーナーの配置を考慮した関数とすることで、レール断面の温度上昇および圧接に必要な加圧力変形を誤差 20%以内で予測するモデルを提案している。その結果、ガスバーナー加熱による温度の不均一さのみならず、レール断面形状の複雑さに起因しても変形の不均一性が生じ、接合欠陥が発生する可能性を明らかにしている。また、この接合欠陥が、レールのガス圧接の後処理工程として行われる「押し抜きせん断」時に生じる局所破壊の原因となることを示している。

第 5 章では、本論文で提案したガス圧接の数値解析モデルの妥当性を示すとともに、本研究成果とレール圧接の将来展望および今後の課題について説明している。

審査結果の要旨

本論文は、鉄道用レール鋼の接合技術を対象として、ガスバーナー加熱を用いた接合プロセス中の材料変形挙動を簡易的、かつ実用範囲内で精度よく予測する数値解析モデルを提案している。さらに、同数値解析による界面ひずみの予測とレール鋼の圧接を模擬した実験的検討から、接合プロセスの最適化の手法を論じている。金属材料の固相接合技術は、拡散接合、摩擦圧接、超音波接合などすでに多くの実用例があり、本研究で対象とするガス圧接も施工の簡便さから、鉄道、建築現場で古くから利用されている。一方、その接合原理は、局所的、かつ非定常状態での熱拡散現象、ならびに高温下での熱的、機械的材料特性の影響を含む複雑な現象であり、完全に解明されているとは言い難い。このため、接合部の形成は接合環境や材料の不均一性、さらには作業者の熟練度などに依存しており、プロセスの自動化、高効率化の障害となっている。

本論文では、以上を背景に、ガウス関数で近似した簡易熱流束分布、ならびに材料物性の温度依存性を考慮した有限要素モデルを提案しており、実験結果との比較からその妥当性を論じている。さらに、接合界面で生じる酸化被膜の破壊、微細組織変化の解析から数値解析により予測可能な巨視的現象と、材料学に関連する微視的現象との関係を考察している。最終的に、実用を想定したレール鋼の圧接現象を実用条件範囲で予測可能なモデルとして完成させている。

以上のように、本論文は材料接合に関わる様々な物理現象に対して数値解析、および、実験的に取り組んでおり、その成果は機械工学における材料力学、ならびに材料加工分野の発展に貢献することが期待される。

よって、本論文は博士（工学）の博士論文として十分であると認定した。