



Title	摩擦エレメント接合における鋼板同士接合法への発展 と継手強度向上に関する研究
Author(s)	松井, 翔
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/92945
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論文内容の要旨

氏 名 (松 井 翔)

論文題名 摩擦エレメント接合における鋼板同士接合法への発展と継手強度向上に関する研究

論文内容の要旨

本研究では、マルチマテリアルの接合を行う摩擦エレメント接合(Friction Element Welding: FEW)を用いて高強度鋼板同士を接合し、高い継手強度を発揮できる接合法への発展を試みた。本研究の成果を以下に総括する。

第1章では、本研究の背景として、環境への配慮や衝突安全性向上のために自動車用鋼板に求められる性能、自動車用鋼板の接合に広く用いられている抵抗スポット溶接の課題、車体を軽量化できるマルチマテリアル化を対象とした接合法について概説した。その後、本研究で着目したFEWを鋼板同士の接合に適用した場合に予想される課題、および本研究の目的、取り組み内容を説明した。

第2章では、FEWの概要について述べた後、FEWの実態を把握するために行った接合部の組織、硬さ分布、塑性流動や温度履歴の詳細な調査結果についてまとめた。FEW部の下板は、熱影響の観点では A_{c3} 以上の温度に加熱・焼入れされた焼入れ部、 A_{c3} から A_{c1} の温度に加熱され部分的に焼入れされた部分焼入れ部、 A_{c1} より低い温度まで加熱された焼戻し部により構成されることを明らかにした。下板が受ける加工影響の観点では、エレメントと下板の摩擦圧接界面近傍には下板が攪拌されたStir zoneが、その外側には熱加工影響部が、更に外側には熱影響部が分布していた。焼入れ部では動的再結晶が生じており、等軸状の細かな γ からマルテンサイト(M)変態した微細なM組織を呈していた。さらに、FEWは急速加熱・冷却の接合プロセスであることを明らかにした。

第3章では、上板を鋼板とした場合における、上板貫通可否の確認、上板貫通に適した条件の探索、上板予熱による、接合できる上板の板厚、強度の向上に取り組んだ。その結果、鋼板とアルミニウム板を接合できる一般的な条件では上板が270MPa級であっても板厚が増加すると接合できなかった。そこで、回転数および加圧力の最適化を検討したが、最適化した条件を用いても上板の板厚が厚い場合、もしくは強度が高い場合は接合できないことが明らかになった。加えて、上板予熱を行っても、十分な効果が得られなかった。以上より、高強度鋼板同士のFEWによる接合は上板に貫通孔を設けることで、上板の貫通工程を省略することが適していると本研究では判断した。

第4章では、上板に貫通孔を設けることで鋼板同士を接合し、炭素量が0.07から0.30 mass %の6種の鋼板を下板とした際の十字引張強さ(Cross Tension Strength: CTS)を評価した。下板の炭素量が0.20%未満の場合には、接合部はエレメントの頭部で破断し高いCTSを示した。しかし、下板の炭素量の増加に伴って破断形態が主にHAZ軟化部を板厚方向に破断する形態から、部分焼入れ部の内部に沿ってき裂が進展した後に板厚方向に破断する形態へと変化し、CTSが低下した。低いCTSを示した下板の炭素量が0.30 mass %の場合には、部分焼入れ部のフェライト(α)とMの硬さの差が大きく、十字引張試験時に両相の界面でボイドが形成され、部分焼入れ部にディンプルを生じながらき裂が進展した。すなわち、この領域における極限変形能の低さが、CTS低下の原因と結論付けた。

第5章では、部分焼入れ部の α 形態が極限変形能およびCTSに与える影響の解明を目的とした。まず、組織観察により、部分焼入れ部の α 形態は、母材の α 形態を引継ぐことを明らかにした。この特性を活用し、 α 形態が針状の母材を作製・接合することで部分焼入れ部の α が針状である継手を作製した。その結果、CTSは針状の α を有する継手の方が第4章で評価した α 形態が等軸状の継手よりも高かった。 α 形態が針状であっても、破面にはディンプルが観察され、接合部の硬度分布やMと α の硬さの差に両者で違いが見られなかった。これらの結果から、 α 形態が針状の場合、 α とMの界面での局所的ひずみ集中が抑制され、極限変形能が向上し、CTSが改善したと推察した。

第6章では、抵抗スポット溶接機を用いた通電加熱による部分焼入れ部の軟質相と硬質相の硬さの差低減、これによる極限変形能の向上に着目した。抵抗スポット溶接機を用いたFEW部の通電加熱では適切な電流値を用いることで、軟質相と硬質相の硬さの差の低減に成功した。この硬さの差を低減した継手は高いCTSを発揮した。加えて、 α 形態を針状とすることで、さらにCTSは向上した。抵抗スポット溶接継手とCTSを比較した結果、本試験で用いた炭素量が0.30 mass %の母材の接合では、FEWの方が抵抗スポット溶接よりも高いCTSを発揮した。FEWでは接合部の α 改質や通電焼戻しの実施により、高い剥離強度を有する優れた継手を実現できることが明らかになった。

第7章では、本研究で得られた結果について総括した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (松 井 翔)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	藤井 英俊 (接合科学研究所)
	副 査	教授	宇都宮 裕
	副 査	教授	平田 弘征
	副 査	教授	池田 倫正 (接合科学研究所)

論文審査の結果の要旨

本研究では、マルチマテリアルの接合を行う摩擦エレメント接合 (Friction Element Welding: FEW) を用いて高強度鋼板同士を接合し、継手強度が高い接合法への発展を試みている。本研究の成果を以下に総括する。

第1章では、本研究の背景として、自動車用鋼板に求められる性能、広く用いられている抵抗スポット溶接の課題、マルチマテリアルを対象とした接合法について概説し、本研究の目的、取り組み内容を説明している。

第2章では、FEWの概要、接合部の組織、硬さ分布、塑性流動や温度履歴の詳細な調査結果についてまとめている。この中で、FEW部における下板は、熱影響と加工影響で様々な組織が分布すること、FEWは急速加熱・冷却の接合プロセスであることを明らかにしている。

第3章では、上板を鋼板とした場合における、上板貫通に適した条件の探索、上板予熱による接合できる上板の板厚、強度の向上に取り組んでいる。その結果、条件の適正化や予熱による軟化を実施しても上板の板厚が厚い場合、もしくは強度が高い場合は接合できず、高強度鋼板同士のFEWは上板に貫通孔を設けることで、上板の貫通工程を省略することが適していると本研究では判断している。

第4章では、上板に貫通孔を設けることで鋼板同士を接合し、炭素量が0.07から0.30 mass%の6種の鋼板を下板とした際の十字引張強さ (Cross Tension Strength: CTS) を評価している。その結果、下板の炭素量が0.30 mass%と多い接合部では、CTSが低下してしまう課題を明らかにしている。CTSが低下した継手は、破面にディンプルが見られること、マルテンサイト (M) とフェライト (α) から成る領域 (部分焼入れ部) をき裂進展すること、この領域におけるMと α の硬さの差が大きいこと、十字引張試験時に両相の界面でボイドが形成されていることから、この領域における極限変形能の低さが、CTS低下の原因と結論付けている。

第5章では、部分焼入れ部の α 形態を等軸状から針状とすることでCTSが改善することを明らかにしている。この理由として、 α 形態が針状の場合、 α とMの界面での局所的なひずみ集中が抑制され、極限変形能が向上し、CTSが改善したと推察している。

第6章では、抵抗スポット溶接機を用いたFEW部の通電加熱では適切な電流値を用いることで、部分焼入れ部における軟質相と硬質相の硬さの差を低減しCTSを向上できることを明らかにしている。加えて、 α 形態を針状とすることで、さらにCTSは向上することを明らかにしている。

第7章では、本研究で得られた結果について総括している。

以上のように、本論文はFEWを用いた鋼板同士接合における上板貫通の課題に対しては、条件の指針やその限界について知見が得られている。CTS低下の課題に対しては、その原因およびCTS改善の手法を明らかにできており、材料工学の発展に寄与するところが大きい。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。