The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	高強度鋼板と溶融亜鉛との濡れと反応に関する研究
Author(s)	髙田, 良久
Citation	大阪大学, 2009, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/1209
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【46】

氏　　名	高　田　良　久（たか だ よし ひさ）
博士の専攻分野の名称	博　士（工　学）
学　位　記　番　号	第　２２９３７　号
学位授与年月日	平成21年３月24日
学位授与の要件	学位規則第４条第１項該当 工学研究科マテリアル応用工学専攻
学　位　論　文　名	**高強度鋼板と溶融亜鉛との濡れと反応に関する研究**
論文審査委員	（主査） 教　授　田中　敏宏 （副査） 教　授　藤本　愼司　　教　授　安田　秀幸

論　文　内　容　の　要　旨

自動車技術における最も重要な課題の一つは、燃費向上によるCO_2ガス排出量削減を目的とした車体軽量化と衝突安全性の向上の両立である。これらの課題に対する鉄鋼材料面からの対策は高強度鋼板の適用である。そのために鋼板中にSi,Mn,Alなどの元素を添加した鋼板が求められるが、酸素との親和力の強いこれらの元素を添加すると溶融亜鉛めっき前の焼鈍中にこれらの元素が鋼板表面に酸化物を生成する結果、防錆に必要な溶融亜鉛めっき性（濡れ性、合金化）が良好に確保できないという問題が生じる。本研究は、高強度溶融亜鉛めっき鋼板に対して、重大な課題とされてきた「Si,Mn鋼およびSi,Mn,Al鋼の溶融亜鉛めっき性の確保」が、鋼中へのNi,Cuの添加により改善できることを見出したものである。また、これまで定性的な評価が行われてきた「溶融亜鉛めっきの濡れ性」に対して、鋼板上における溶融亜鉛液滴の濡れ挙動を静滴法を用いて直接観察することによって動的な濡れ性の定量的評価を試みた。本研究で得られた成果の概要は以下に記すとおりである。

第１章においては、上述の課題に関する背景および従来の研究について概括し、本研究の目的および課題を述べた。

第２章の研究では、溶融亜鉛めっき設備の加熱方法の一つであるNOF（Non Oxygen Furnace）方式を対象とし、Si,Mn含有鋼板の溶融亜鉛めっき性改善を目的として鋼中へのNi,Cu添加について検討した。その結果、Ni単独添加、ならびに、Ni,Cu複合添加では溶融亜鉛めっき性（めっき濡れ性、合金化速度）が改善できることを見出した。また、Cu単独添加では改善が認められないことを明らかにした。溶融亜鉛めっき前の表面状態を詳細に観察した結果、溶融亜鉛めっきの濡れ性および合金化反応の促進は、Si,Mn鋼へのNi,Cu添加により溶融亜鉛めっき前の焼鈍時に還元鉄層の直下に生成するSi,Mn酸化物が分断化され、かつ、内部酸化が促進するなどの酸化物の形態変化に起因することがわかった。

第３章の研究では、他の溶融亜鉛めっき設備の加熱方法であるAll-RTF（Radiant Tube Furnace）方式を対象として、Si,Al,Mn含有鋼板の溶融亜鉛めっき性に及ぼす鋼中へのNi,Cu添加の影響について検討した。Si,Al,Mn鋼へのNi,Cu添加により溶融亜鉛めっきの濡れ性が向上し、不めっきが抑制されること、ならびに、溶融亜鉛めっき後の合金化反応が促進されることを見出した。溶融亜鉛めっき濡れ性および合金化反応の促進は、Si,Al,Mn鋼へのNi,Cu添加により溶融亜鉛めっき前の焼鈍時に鋼板表面に生成する酸化物が分断され、かつ、内部酸化が促進するなどの酸化物の形態変化に起因することを明らかにした。

第４章の研究では、高速撮影カメラを用いて亜鉛液滴と鋼板が接触する瞬間から、亜鉛液滴が鋼板上を広がる様子、ならびに液滴の形状変化を観察し、滴下直後の接触角および液滴の拡張速度を定義することにより動的濡れ性を定量的に評価することを試みた。溶融亜鉛の滴下直後の接触角を観察することによって亜鉛液滴と鋼板と

の濡れ性を定量的に評価することができた。滴下直後の接触角の変化に対し、その平均値を初期接触角と定義し、この初期接触角から求められる付着仕事により、本実験条件ではSi,Mnが鋼板に添加されることで初期濡れ性が悪化することを評価できた。また、基板に濡れ広がる液滴の半径の時間変化を測定し、拡張半径ならびにその時間変化である拡張速度を定義した。液滴の拡張終期の低接触角時の拡張速度を測定することにより、拡張濡れ現象による濡れ性を評価することができ、前述の初期接触角を用いた評価と同様に、本実験条件では鋼板にSi,Mnが添加されることにより、合金化反応による濡れ性が悪化することを定量的に評価することができた。

第５章の研究では、第４章にて確立した手法を用いて種々の組成のSi-Mn含有鋼板と溶融亜鉛との動的濡れ性を調査し、濡れ性に対する鋼板中SiおよびMn濃度依存性について検討を行い、Siを鋼板に添加することにより、初期濡れ性および合金化反応による濡れ性が悪化することを明らかにした。

第６章では、本研究の結論ならびに今後明らかにされるべき課題について述べた。

論文審査の結果の要旨

自動車製造技術における重要な課題の一つは、燃費向上によるCO_2ガス排出量削減を目的とした車体軽量化と衝突安全性向上の両立であり、そのために自動車用構造材料として高強度鋼板の利用が進められている。同鋼板中にはSi,Mn,Al など、酸素との親和力の強い元素が添加されているが、溶融亜鉛めっき前の焼鈍中にこれらの元素が鋼板表面に酸化物を生成するため、防錆に必要な溶融亜鉛めっき性が良好に確保できないという問題が生じている。本研究では、Si-Mn 含有鋼およびSi-Mn-Al 含有鋼における溶融亜鉛めっき性に対する添加元素の効果を明らかにするために、特に鋼中への Ni,Cu の添加の影響を実験的に検討している。また、これまで定性的な評価が行われてきた溶融亜鉛めっきの濡れ性について、鋼板上における亜鉛液滴の濡れ挙動を直接観察することによって動的な濡れ性の定量的評価を試みている。本論文はこれらの成果をまとめたもので、得られた成果は以下に記すとおりである。

１．溶融亜鉛めっき設備における加熱方法の一つとして、主成分である鉄の表面酸化・還元工程を経る無酸化炉方式を対象とし、Si-Mn 含有鋼板の溶融亜鉛めっき性改善を目的として鋼中へのNi,Cu添加の影響について検討している。その結果、Ni 単独添加ならびに Ni,Cu 複合添加では溶融亜鉛の濡れ性が向上し、不めっきが抑制され、合金化速度が促進されることを明らかにしている。

２．鋼板表面の酸化工程を経ないラジアントチューブ方式の加熱方法を対象として、Si-Mn-Al 含有鋼板の溶融亜鉛めっき性に及ぼす鋼中への Ni,Cu 添加の影響について検討している。本方式では鋼材最表面に Si,Mn の酸化物が生成しやすい条件にあるにもかかわらず、Si-Mn-Al 含有鋼への Ni,Cu 添加により溶融亜鉛の濡れ性が向上し、不めっきが抑制されること、ならびに溶融亜鉛めっき後の合金化反応が促進されることを見出している。

３．上述の Ni,Cu を添加した Si-Mn 含有鋼ならびに Si-Mn-Al 含有鋼に対して溶融亜鉛めっき前の表面状態を詳細に観察している。その結果、Ni,Cu 添加による溶融亜鉛めっきの濡れ性の向上および合金化反応の促進は、溶融亜鉛めっき前の焼鈍時に還元鉄層の直下に生成する Si,Mn 酸化物の生成量が減少するとともに、これらの酸化物層が分断され、内部酸化が促進するなどの酸化物の形態変化に起因することを明らかにしている。

４．鋼板基板上に亜鉛液滴を滴下し、高速撮影カメラを用いて亜鉛液滴と鋼板が接触する瞬間から、亜鉛液滴が鋼板上を濡れ広がる様子を観察し、滴下直後の接触角および液滴の拡張速度を定義することにより動的濡れ性を定量的に評価することに成功している。滴下直後の接触角の変化に対してその平均値を初期接触角と定義し、この初期接触角から求められる付着仕事から、Si,Mn が鋼板に添加されると濡れ性が悪化することを定量的に評価している。また、基板に濡れ広がる液滴半径の時間変化を測定し、拡張半径ならびにその時間変化である拡張速度を定義している。液滴の拡張終期における低接触角時の拡張速度を測定することにより、鋼板に Si,Mn が添加されると合金化反応による濡れ性が悪化することを定量的に評価している。

５．種々の組成の Si-Mn 含有鋼板と亜鉛液滴との動的濡れ性を上記の手法を用いて評価し、濡れ性に対する鋼板中の Si および Mn 濃度依存性について検討を行い、Si を鋼板に添加することにより初期濡れ性および合金化反応による濡れ性が悪化することを明らかにしている。

以上のように、本論文は、Si-Mn 含有鋼および Si-Mn-Al 含有鋼に対する良好な溶融亜鉛めっき性を確保するための Ni,Cu の添加効果ならびに鋼板に対する溶融亜鉛の濡れ性に対する定量的評価手法の確立について新たな知見を多数含んでおり、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。