

## 溶融亜鉛めっき処理を施した冷間加工鋼材の疲労強度に関する研究

著者	長谷川 嘉代
学位名	博士(工学)
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2019
学位授与番号	12614 博甲第532号
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001803/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001803/</a>

博士学位論文内容要旨  
Abstract

専攻 Major	応用環境システム学	氏名 Name	長谷川 嘉代
論文題目 Title	溶融亜鉛めっき処理を施した冷間加工鋼材の疲労強度に関する研究		

溶融亜鉛めっきは安価かつ優れた耐食性を有するため鉄の防錆処理として多用されてきた。国内の経済発展に伴い、その利用分野は家電製品、自動車産業、建設用（建築および土木）と多岐に渡る。特に高度経済成長期に集中的に整備された社会インフラ用として亜鉛めっき鋼材は使用されている。近年、社会インフラの耐用年数を迎え、亜鉛めっき鋼材は更新材料として土木分野で求められているが、亜鉛めっき鋼材の腐食や合金層の形態およびめっき層の剥離に関する研究は数多く、その信頼性は高い。一方で、その強度面、特に疲労強度についての研究は少なく、その疲労破壊機構についてはほとんど解明されていない。このように亜鉛めっき鋼材の維持管理や更新基準に対する知見が不足しており、安全性が求められる亜鉛めっき鋼材の疲労機構の解明は喫緊の課題である。

以上のことから、本論文では冷間加工された炭素鋼を用いて溶融亜鉛めっき材を作製し、疲労試験に供した。試験後めっき層の有無による疲労強度の差、および破断形態を解析し溶融亜鉛めっき材の疲労強度に及ぼすめっき組織の影響を明らかにした。

第1章では、本研究の背景である亜鉛めっき鋼の用途と需要を示した。また亜鉛めっき処理法や使用時の問題点をあげ、本研究の必要性を述べた。第2章では、溶融亜鉛めっき処理過程における基材部組織の熱影響について言及した。亜鉛めっき層は溶融亜鉛とめっき対象物との接触によって形成される。溶融亜鉛槽の適正温度は実験的経験にもとづいて  $440\sim 460^{\circ}\text{C}$  とされているが、この温度域はめっき対象物の再結晶が生じる温度域でもある。再結晶によって生じる新しい結晶粒（等軸結晶粒）は転位をほとんど含まないので、再結晶が生じると軟化する。本研究で用いた供試材は冷間加工されており、再結晶が生じた場合その加工度が大きいほど微細な等軸結晶粒が得られる。一方で、加熱温度が高く加熱時間が長くなるほど等軸結晶粒は大きくなる。めっき処理後の基材部の組織観察を行い再結晶の有無を確認し、めっき層の有無による静的強度の違いについて検討した。組織観察の結果、めっき処理後の基材部に伸長している結晶粒を確認した。また引張試験結果において、めっき材の均一伸びはめっき処理前のそれと比べて増加した。めっき処理温度  $450^{\circ}\text{C}$  はひずみ時効が生じ得る温度域でもあったため、ひずみ時効の有無も調査した。ソルト槽を用いて  $450^{\circ}\text{C}$  で処理した熱処理材を作製し組織観察した結果、めっき材の基材部と同一組織であった。しかしながら、ソルト槽熱処理材の静的特性において降伏応力(YS)、引張強さ(TS)および伸び(EI)は熱処理前に比べて増加した。組織は伸長した結晶粒が見受けられたことから、YS および TS の増加はひずみ時効の影響であり、EI の増加は再結晶に起因している。めっき処理の前後で YS に変化はなかったが、溶融亜鉛めっき後の TS は低下した。この静的特性の変化は、溶融亜鉛めっき槽浸漬時の熱影響ではなく、めっき層成膜に起因していた。第3章では、亜鉛めっき材の疲労強度を検討するために大気環境下で疲労試験を実施した。冷間加工された炭素鋼材に溶融亜鉛めっきを施すと疲労強度は低下した。亜鉛めっき層は純亜鉛層と複数の合金層によって構成されており、負荷応力・破断までのサイクル数によって疲労強度の低下要因である相が異なることを明らかにした。また破面解析から疲労破壊形態について検討し、疲労破壊機構のモデル化をした。第4章では、耐疲労に優れるめっき膜厚を調査することを目的に、めっき処理時間が異なる供試材を用いて疲労強度を検討した。めっき処理時間の違いによるめっき層の構成および疲労強度に及ぼすめっき層内の組織について述べた。第5章では、疲労強度に及ぼす基材炭素含有量の影響について検討した。亜鉛めっき鋼板の需要が伸びるなか、生産性が求められるようになっ

たが、冷延鋼板用の亜鉛めっき鋼板はプレス加工の際、しわや割れが発生しやすく非効率であった。そこでC含有量を極力少なくした極低碳素鋼がめっき対象物に用いられるようになった。この章では、極低碳素鋼を用いためっき材の疲労試験を実施し、めっき対象物のC含有量と疲労強度の関係について述べた。第6章では、実用環境を想定し疲労強度に及ぼす雰囲気湿度の影響について議論した。実用されている溶融亜鉛めっき材は湿度が変化する環境に晒されている。そのため湿度の変化における疲労挙動を把握することは溶融亜鉛めっき鋼を使用する上で重要である。そこで湿度制御の下、疲労試験を行い、湿度と疲労強度の関係について議論した。第7章では、第2章から第6章で得られた知見をまとめた。本論文は、建設、自動車産業などにおいて安全性と性能向上に極めて重要な役割を担っている亜鉛めっき鋼材の疲労機構を明らかにするとともに、合理的な設計および維持管理に活用できる指針を提示するものである。