

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 栗田真人

ロードホイールは、自動車において高い疲労強度と信頼性が要求される重要部品の1つである。本論文は、ロードホイール用熱延鋼板の疲労強度を向上させるための指針を明らかにし、従来の鋼より疲労寿命がおよそ1.3倍の540MPa級鋼を開発した成果を述べたものである。

第1章は序論で、本研究の背景、従来の研究と問題点、本研究の目的を述べている。

第2章では、0.15%C-1.2%Mn系フェライト-パーライト鋼(以後F+P鋼)をベースに、添加元素や熱間圧延条件を変えることによって強化機構を変えた鋼板を用い、疲労試験を行っている。その結果、(1)耐久比(疲労限度(σ_w)/引張強度(σ_B))は固溶あるいは析出強化元素添加によりフェライト地を強化する方法で向上できること、(2)固溶あるいは析出強化による σ_B の上昇量に対する σ_w の上昇量の比は、強化元素の種類によらずほぼ1.0と高いこと、(3)パーライト強化(パーライト体積率の増加による強化)、転位強化の程度は小さいことを明らかにした。さらに σ_w と低サイクル疲労特性との関係についても検討し、転位の繰返し運動に対するフェライトの抵抗を大きくすることが σ_w の向上につながることも明らかにしている。

第3章では、0.05%C-0.5%Si-1.4%Mn-Cr-Mo系フェライト-マルテンサイトDual Phase鋼(以後DP鋼)をベースとし、各種機構(C, Si, Tiなどの強化元素の添加、低温仕上げ圧延による転位の導入および焼もどしによる可動転位のピン止め)で強化した鋼板を用い、疲労試験を行っている。その結果、耐久比に関しては、第2章で得られた(1)と(2)と同様な結果を得るとともに、マルテンサイト相の増加や加工転位の導入、可動転位のピン止めによる強化の程度は小さいことを明らかにしている。また σ_w と低サイクル疲労特性との関係についてもF+P鋼の場合と同一の式で記述できることから、低炭素熱延鋼板の疲労特性に及ぼす硬質第2相の種類や体積率の影響は小さく、疲労特性はフェライト地の固溶あるいは析出強化量でほぼ決まるということを明らかにしている。

第4章では、フェライトの固溶強化、フェライトの析出強化、パーライト強化を組み合わせたF+P鋼の疲労特性に及ぼす各強化機構の影響について検討している。その結果、 σ_w は各強化機構元素による σ_B の上昇量に対応した σ_w の上昇量を線形的に加算することにより推定できることを示し、高疲労強度および高耐久比熱延鋼板の成分設計の指針を明らかにしている。

第 5 章では、第 2 章から第 4 章で用いた F+P 鋼および DP 鋼を用い、すべり帯の発生に注目した疲労限度 (σ_{ws}) に及ぼす強化機構の影響を検討している。その結果、フェライトの強化によって σ_w と σ_{ws} はともに増加するが、両者の増加量の差は平均でおよそ 6%と小さいこと、 σ_{ws} を負荷したときの塑性ひずみ量は σ_{ws} の高い材料ほど小さくなることなどを明らかにしている。

第 6 章では、実際のロードホイールを考慮し、熱延鋼板の打抜切欠き材の σ_w に及ぼす強化機構の影響を検討している。その結果、打抜切欠き材の σ_w は、平滑材の σ_w とは異なりフェライトの強化量にはあまり依存せず、むしろ硬質第 2 相の種類に強く依存し、フェライト-ベイナイト組織、ついで DP 組織が優れることを明らかにしている。

第 7 章では、熱延鋼板溶接継手の σ_w に及ぼす強化機構の影響を検討している。その結果、(1) Si 添加量の多い材質は σ_w が高くなる傾向にあること、(2) Si を添加すると止端部半径が大きくなること、(3) 溶接継手の σ_w は母材の引張強度や平滑材の σ_w にはあまり依存せず、主として止端部形状によって決まることなどを明らかにしている。

第 8 章では、本研究で得られた知見をもとに材料設計した 540MPa 級鋼 (0.07%C-1.4%Mn-0.02%Ti-0.02%Nb) を用いて実際にロードホイールを試作し、回転曲げモーメント耐久試験を実施し、現行鋼 (0.15%C-1.4%Mn) ホイールと比較している。その結果、疲労き裂の起点はいずれのホイールでも平滑部であるハット部であること、開発鋼ホイールの方が現行鋼ホイールより高寿命となること、を示している。

第 9 章では、板厚が同一で強度レベルが 370MPa 級から 780MPa 級の種々の鋼板を用いてロードホイールを試作して疲労試験を実施すると同時に、いろいろな場所での試験時の応力、残留応力を測定している。その結果、ロードホイールの疲労寿命は強度が低い範囲では強度の上昇とともに増加するものの、ある強度 (540MPa 級以上で 690MPa 級以下) で飽和すること、この原因はき裂起点部に発生する有害な引張残留応力が強度上昇とともに急激に増加するためであること、を明らかにしている。また、ホイールの形状等プレス条件を最適化すれば、鋼の一層の高強度化に見合った疲労強度・疲労寿命の向上は可能であると考察している。

第 10 章は、総括である。

以上を要するに、本論文はロードホイール用熱延鋼板の疲労強度を向上させるための材料学的指針を明らかにし、その指針に従い、従来の鋼より疲労特性に優れた鋼を開発出来たことを述べたもので、材料工学における寄与が大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。