

審査の結果の要旨

氏 名 ビダハール スジット クマール

論文題目 : Meso-Mechanics of Aluminum Die Cast for Fatigue Life Prediction

(疲労寿命予測のためのアルミダイカスト材料のメゾメカニクス)

本研究は、高い成形性と経済性の利点から自動車部品として多用されているアルミダイカスト材料の疲労破壊メカニズムを明らかにし、現状では経験則のみで設定されている信頼性基準に力学的合理性を付与することを最終的な目標として、製造プロセスにおいて不可避免的に発生する鑄巣に関するメゾメカニクスを検討したものである。鑄巣の存在が疲労強度を低下させることは、定性的には理解できるが、定量的な相関に基づき製品の信頼性を合理的に評価する方法論は未成熟であった。本研究では、定量的議論を展開するための端緒を鑄巣周りの局所的応力上昇に求め、上昇度を勘案した応力振幅を規準とすれば、確度の高い疲労寿命予測が可能となることを経験則的に示した。その経験則が合理的であることを詳細な破面観察から示し、応力集中を引き起こす主要な因子が鑄巣の体積含有率と鑄巣間隔であることを、数理的検討と疲労試験結果との照合から導いた。この結論により、鑄造条件の適否を瞬時に求められる製造現場においても容易に適用できる、簡便かつ合理性の高い疲労強度信頼性評価規準を提示可能とした。

第1章 Introduction では、自動車部品を中心に進められているアルミダイカスト材料活用の現状と、疲労強度信頼性評価に関する問題点および鑄巣に代表される製造欠陥に着目して行われた過去の研究を概観し、研究の目的と意義を示した。

第2章 Background and Proposed Methodology では、鑄巣により引き起こされる応力集中を基軸として経験則的に構築された疲労寿命予測の方法論を紹介し、本研究で行う研究の枠組みと章ごとの具体的検討項目を示し、検討結果相互の関係により論文の基本構成を明らかにした。

第3章 Fatigue Test では、鑄造条件を変えて ADC12 材により製造したエンジンブロックより切り出した試験片を用いて行った疲労試験方法と試験結果を示した。本研究では鑄巣を疲労強度低下の主因と捉え、その意味で鑄造材 AC4B により製造されたエンジンブロックについても、同一の枠組みにより疲労強度評価が行える。本研究で得られた結論の普遍性を高めるため、AC4B 材についても疲労試験を行い、以下の検討も両材料について行うこととした。

第4章 Image Based Finite Element Analysis for Evaluation of Local Stress Concentration Factors では、X線 CT より取得した鑄巣に関する三次元データからメゾス

ケール有限要素モデルを構築する方法を精査し、ADC12 材、AC4B 材とも空隙と認識する画素値の閾値を適切に設定すれば、局所的応力集中を規準としてより高い確度で疲労寿命が予測可能となることを示した。また、局所的応力集中と鑄巣の体積含有率の相関を検討し、体積含有率が高い場合には他の幾何学的因子による影響も検討する必要があることを課題として示した。

第 5 章 **Meso-mechanics of Fatigue Crack Propagation** では、SEM および EBS により破面の詳細な観察を行い、疲労破壊の大部分が鑄巣間の延性破壊で進行するとの仮説を打ち立て、メゾスケール有限要素解析の結果、鑄巣間距離の分布と疲労寿命の関係と合わせて、その妥当性を示した。その帰結として、鑄巣間距離と局所的応力集中の関係が得られれば、容易に疲労寿命の予測が可能となることを示した。

第 6 章 **Empirical Formulation of Stress Concentration Factor for Spherical Cavities** では、鑄巣の相対位置と局所的応力集中の関係を簡便に定量化するため、球形で理想化された 2 欠陥により発生する応力集中を半解析的に求めた。定式の過程で、2 欠陥間の距離が応力集中に対して支配的パラメータとなることを明らかにし、鑄巣間の延性破壊で進む疲労のメゾメカニクス仮説を強化する結果となった。

第 7 章 **Practical Application of Empirical Formula to Die Cast Material** では、2 欠陥により発生する応力集中に関する定式を、疲労試験前の X 線 CT 撮像より得られた鑄巣の三次元データに適用し、疲労破壊の起点となる危険性の高い位置を簡便に特定できることを示した。疲労試験により発生した破面位置と予測結果の整合性が高いことから、近接する鑄巣間で発生する応力集中により支配される疲労破壊進展との枠組みが適切であることが示されたと考える。

第 8 章 **Summary and Future Works** では、本論文の総括と提案した方法論の適用可能性を論じている。鑄物に限らず、製造過程で発生する空隙欠陥で疲労強度が著しく低下する場合は、本研究で提示した方法論により、確度の高い疲労強度予測が行えると結論付けている。

以上要するに、本研究にて提案した鑄巣の体積含有率と間隔の 2 パラメータによる方法によれば、アルミダイカスト部材の製造現場において簡便かつ合理的に疲労強度評価が行える。この点において本論文の工学的意義が認められ、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。