

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Influence of secondary phase precipitation on mechanical and thermal properties of Al alloys for automotive engine components
著者(和文)	崔世元
Author(English)	Choi Se-Weon
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:乙第4142号, 授与年月日:2017年7月31日, 学位の種別:論文博士, 審査員:熊井 真次,中村 吉男,村石 信二,小林 郁夫,木村 好里
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:乙第4142号, Conferred date:2017/7/31, Degree Type:Thesis doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

(論文博士)

論文要旨 (和文2000字程度)

報告番号	乙 第 号	氏 名	崔 世元
(要 旨) 本論文は、自動車エンジン部品用アルミニウム合金の機械的および熱的性質に及ぼす第二相析出の影響に関する研究成果をまとめたものである。 第1章「緒論」では、エンジン小型化による自動車軽量化の意義と研究背景、さらに鋳鉄の代わりにアルミニウム合金を用いたエンジン小型化技術について述べた。エンジン小型化の際にも、シリンダの高圧縮比を通したエンジンの高出力化が要求されるため、エンジン用Al合金の高耐久性と高熱伝導性の確保は重要な課題である。現在、自動車用エンジン材として主に使用されているAl-Si-Mg-(Cu)合金においては、時効硬化熱処理を用いた第二相の析出により機械的強度を上げる研究は盛んに行われているが、第二相の析出が熱物性挙動の変化に及ぼす影響に関しては十分な研究が行われていない。特に、本合金ではエンジン使用温度(200～400度)において熱拡散度が低く、純Alとは異なる熱拡散度の温度依存性を示す原因については明らかになってない。そこで本研究では、エンジン小型化に必要なAl-Si-Mg-(Cu)合金の特性改善方法に関する提案及び新しいエンジン部品用材料としてのAl-4.5%Cu合金の使用可能性について検討した。さらに本合金の、純Alとは異なる熱拡散度の温度依存性の原因を明らかにするため、高温環境下における熱物性挙動に及ぼす第二相析出の影響について検討を行った。 第2章「Al-Si-Mg-(Cu)合金の機械的および熱的性質に及ぼす合金元素の影響」では、エンジン小型化のため、既存のAl-(6～9%)Si-0.4%Mg-(Cu)合金の機械的強度と熱伝導度を向上させる方法について述べた。Cu、Si、Tiなどの添加合金が機械的強度と熱伝導度の変化に及ぼす影響について検討し、添加量の最適化による特性改善方法を提案した。 第3章「Al-Si-Mg-Cu-(Ti)合金の各種熱処理による熱物性の析出依存性」では、純Alのように温度上昇に伴う熱拡散度が線形的に減少しないAl-Si-Mg-(Cu)合金の特異な熱拡散度の温度依存性の原因について検討を行った。Al-6%Si-0.4%Mg-(Cu)合金を作製し、Laser Flash Apparatus(LFA)とDifferential Scanning Calorimetry(DSC)を用いて時効処理による第二相析出量が、本合金の高温での熱拡散度の変化に及ぼす影響について 検討を行い、本合金の熱拡散度の特異な温度依存性の原因について明らかにした。 第4章「Al-Si-Mg-Cu-(Ti)合金の熱膨張係数に及ぼす析出の影響」では、自動車のエンジン使用温度(200～400度)においてAl-Si-Mg-Cu-(Ti)合金の熱膨張係数が急激に増加する原因について検討を行った。熱膨張係数の急激な増加は熱応力の発生原因となり、エンジンの耐久性を低下させる。よって、エンジン材用合金は熱膨張係数変化が少ないことが望ましい。そこで、Al-6%Si-0.4%Mg-0.9%Cu-(Ti)合金を作製し、Thermomechanical Analyzer(TMA)と DSCを用いて第二相析出が熱膨張係数の増加に及ぼす影響について検討し、高温における熱膨張係数の急激な増加の原因を明らかにした。 第5章「 Al-4.5%Cu合金における第二相析出が熱特性に及ぼす影響」では、エンジンの更なる小型化への要求に対応するため、Al-Si-Mg-(Cu)合金より機械的強度と熱伝導度が優れることから、最近注目されているAl-4.5%Cu合金のエンジン用材料としての使用可能性について検討を行った。Al-4.5%Cu合金を作製し、時効処理による第二相析出挙動の変化が熱拡散度と熱膨張係数に及ぼす影響についてLFA、TMA及びDSCを用いて明らかにした。 第6章「総括」では、各章で得られた成果を総括し、以下のように結論した。			

本研究では、エンジンの小型化への要求に応える自動車エンジン用Al合金の開発のため、Cu、Si、Tiなど添加合金量を最適化するという視点から検討を行い、添加合金の種類や時効処理条件によって変化する第二相析出挙動が、エンジン用Al合金の機械的および熱的性質に及ぼす影響について検討を行った。Al合金の機械的強度の向上にはCu添加量の増加が効果的であるが、Cu添加による熱伝導度の低下を防ぐため、他の添加合金量の減少が必要であり、この合金の場合には、比較的機械的強度に影響が少ないSi量の減少が有効であった。Cuを含むAl-Si-Mg合金に0.1wt.%Tiを添加すると、 θ' と Q' 相の析出が促進され、機械的強度が向上するが、熱伝導度が急激に低下するため、Ti添加は好ましくないことを明らかにした。純Alの場合と異なるAl-Si-Mg-(Cu)合金の特異な熱拡散度の温度依存性は、時効処理後にも残留している溶質原子が原因であることが明らかになった。温度上昇に伴う熱拡散度の非線形的な減少はAl-Si-Mg-(Cu)合金の場合、Siの影響がもっとも大きく、合金が自動車のエンジン使用温度(200～400度)に曝されると第二相が析出し、熱膨張係数が急激に増加することを見出した。Al-6%Si-0.4%Mg-0.9%Cu合金の場合、第二相析出による熱膨張係数の最大変化量は0.07%であることを明らかにした。Al-4.5%Cu合金の場合も、時効処理後にも残留しているCu溶質原子が、300度以下での熱拡散度の低下及びエンジン使用温度(200～400度)における、純Alとは異なった熱拡散度の温度依存性の原因となることを明らかにした。さらに合金を500度に加熱すると θ 相の溶解が生じ、その後冷却と加熱を繰り返すと370度において θ' 相の析出と相変態による熱膨張が430度において θ 相の析出と相変態によると考えられる熱収縮が繰り返して起こることを明らかにした。このような熱膨張挙動は熱応力の発生の原因となる。よって、Al-4.5%Cu合金を使用する場合には、エンジン温度が400度以上にならないようなエンジン冷却ラインの設計が必要である。

備考：論文要旨は、和文2000字と英文300語を1部ずつ提出するか、もしくは英文800語を1部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(論文博士)

論 文 要 旨 (英 文)

(300語程度)

(Summary)

報告番号	乙 第	号	氏 名	Se-Weon Choi
(要 旨) This thesis aimed to improve the mechanical and thermal properties of conventional Al-Si-Mg alloys to ensure engine durability when the engine downsizes to reduce the weight of the automotive engine. The optimum alloying composition was important to increase both the mechanical strength and the thermal properties of Al-Si-Mg alloy. In order to increase the mechanical strength and thermal conductivity simultaneously, it was found that the Cu addition was more suitable than the Ti addition to minimize the reduction in thermal conductivity preserving its strength. When Cu was added to increase the mechanical strength of the Al-Si-Mg alloy, the thermal conductivity decreased. At this time, it was effective to increase the thermal conductivity by reducing Si contents. When the aged Al-Si-Mg-(Cu) alloys were exposed to high temperature, the thermal diffusivity increased suddenly in the temperature range of 200 °C and 400 °C. This increase of thermal diffusivity is not found in pure Al. Since this temperature range is the operating temperature of the automotive engine, it is very important to identify the reason of the increase of thermal diffusivity in Al-Si-Mg-(Cu) alloys. DSC results showed that the increase of the thermal diffusivity in Al-Si-Mg-(Cu) alloys at this temperature range was caused by the precipitation of Si remaining even after the aging treatment. This precipitation of Si phase also affected the additional thermal expansion of the Al-Si-Mg-(Cu) alloys at the same temperature range. Therefore, in order to use Al-Si-Mg-(Cu) alloys as an automobile engine material, it is necessary to completely precipitate Si during the aging treatment to avoid the precipitation of residual Si when the alloy is exposed to a high temperature environment. Finally, the possibility of Al-4.5%Cu alloy as a new automotive engine material was examined. When the Al-4.5%Cu alloy was repeatedly exposed to the high temperature environment, the cyclic expansion and contraction were found. This phenomenon was due to the cyclic dissolution and precipitation of Al₂Cu phase when the alloy was exposed to the high temperature environment. Thermal stresses can be generated from this cyclic expansion and contraction. Therefore, in order to use Al-4.5%Cu as automotive material, it is necessary to carefully design the cooling line of the engine to avoid the thermal expansion and the thermal contraction due to the precipitation of secondary phase and the phase transformation which caused the change in the crystal structure at the high temperature. These results will be used as a baseline for a further in-depth analysis intending to improving thermal properties in the Al alloys for automotive engine applications.				