

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-152375

(P2014-152375A)

(43) 公開日 平成26年8月25日(2014.8.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 21/02 (2006.01)	C 2 2 C 21/02	
C 2 2 F 1/043 (2006.01)	C 2 2 F 1/043	
F 0 2 F 3/00 (2006.01)	F 0 2 F 3/00 G	
C 2 2 F 1/00 (2006.01)	C 2 2 F 1/00 6 O 2	
	C 2 2 F 1/00 6 5 1 B	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-25142 (P2013-25142)
 (22) 出願日 平成25年2月13日 (2013.2.13)

(71) 出願人 390008822
 アート金属工業株式会社
 長野県上田市常磐城2丁目2番43号
 (74) 代理人 100117226
 弁理士 吉村 俊一
 (72) 発明者 渡辺 匡
 長野県上田市常盤城2丁目2番43号 ア
 ート金属工業株式会社内
 (72) 発明者 藤原 信幸
 長野県上田市常盤城2丁目2番43号 ア
 ート金属工業株式会社内

(54) 【発明の名称】 内燃機関用ピストン材料及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】熱伝導性が高く、温度の影響による強度の低下を防止した高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料及びその製造方法を提供する。

【解決手段】内燃機関用ピストンに用いられる Al - Si 系合金材料であって、導電率 (% I A C S) が 1 8 以上であるように構成して上記課題を解決した。このとき、サイズが 1 μ m 以下の Al - Cu - Mg 系化合物が均一に析出していることが好ましく、切断断面における Al - Fe - Mn - Ni - Cr 系晶出物と Al - Cu - Ni 系晶出物の合計面積率が 1 0 % 以下であることが好ましい。また、Cu が 1 . 2 質量 % 以上 5 質量 % 以下の範囲内で含有し、Cr が 0 . 0 5 質量 % 以上含有することが好ましい。このピストン材料は、Cu を 1 . 2 質量 % 以上 5 質量 % 以下の範囲内で含有し、Cr を 0 . 0 5 質量 % 以上含有する Al - Si 系合金を鋳造し、鋳造した Al - Si 系合金を時効処理することにより製造できる。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

内燃機関用ピストンに用いられる Al - Si 系合金材料であって、導電率 (% I A C S) が 18 以上であることを特徴とする内燃機関用ピストン材料。

【請求項 2】

Cu、Mg、Ni、Cr、Fe 及び Mn を含有する、請求項 1 に記載の内燃機関用ピストン材料。

【請求項 3】

サイズが 1 μ m 以下の Al - Cu - Mg 系化合物が均一に析出している、請求項 1 又は 2 に記載の内燃機関用ピストン材料。

【請求項 4】

切断断面における Al - Fe - Mn - Ni - Cr 系晶出物と Al - Cu - Ni 系晶出物の合計面積率が 10 % 以下である、請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の内燃機関用ピストン材料。

【請求項 5】

Cu が 1 . 2 質量 % 以上 5 質量 % 以下の範囲内で含有し、Cr が 0 . 05 質量 % 以上含有する、請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の内燃機関用ピストン材料。

【請求項 6】

Cu を 1 . 2 質量 % 以上 5 質量 % 以下の範囲内で含有し、Cr を 0 . 05 質量 % 以上含有する内燃機関用ピストン材料である Al - Si 系合金を鑄造する工程と、

鑄造した前記 Al - Si 系合金を時効処理する工程と、を有することを特徴とする内燃機関用ピストン材料の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、熱伝導性が高い内燃機関用ピストン材料及びその製造方法に関し、さらに詳しくは、熱伝導性が高く、温度の影響による強度の低下を防止した高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

環境問題が大きく取り上げられる中、自動車エンジンを中心とした内燃機関は、高効率化や排出ガスの低減化が求められているとともに、エンジンの高出力化も求められている。このような中で、自動車エンジン等の内燃機関で用いられるピストンは、燃焼効率をより向上させた高効率化を実現するために、シリンダ内の高温高圧の過酷な環境下で使用される。そのため、そうした高温高圧の環境下でも使用可能な高強度の内燃機関用ピストン材料が求められている。

【0003】

こうした要求に対し、材料成分等を調整することにより強度を高くしたピストンが種々提案されている。例えば、特許文献 1 に記載の内燃機関ピストン用アルミニウム合金は、含有量が特定された成分及び組成をもつ Al - Si - Cu - Mg 系合金に含まれる P 含有量、Ca 含有量及び P / Ca 重量比を調整することにより、共晶 Si を大きく成長させると共に、初晶 Si を微細化している。これにより、高温強度、耐摩耗性等が改善され、内燃機関のピストン材料として好適なアルミニウム合金を得ている。

【0004】

また、特許文献 2 に記載のダイカスト用アルミニウム合金も同様、含有量が特定された成分及び組成をもつ Al - Si - Cu - Mg - Fe - Mn (- Ni) 系合金に含まれる P 含有量、Ca 含有量及び P / Ca 重量比を調整することにより、共晶 Si 及び初晶 Si を

10

20

30

40

50

微細化し、更に凝固時の冷却速度を規制することにより Fe - Mn - Ni 系晶出物も微細化している。これにより、高温強度、耐摩耗性、防振性等が改善され、ダイカスト用内燃機関部品として好適なアルミニウム合金を得ている。

【0005】

また、特許文献3に記載の鋳物用アルミニウム合金は、合金成分の含有量を調整して凝固時の固液共存領域の温度範囲を狭くし、晶出物をほとんど同時に晶出させるようにすることにより、冷却速度（凝固速度）を速くしなくても晶出物を均一微細に分布させ、マトリックスである Al 相が細かく分断された金属組織としている。こうすることで、鋳造方法に影響されることなく高温強度に優れた鋳造用 Al - Si 系アルミニウム合金を得ている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平8 - 104937号公報

【特許文献2】特開平8 - 134577号公報

【特許文献3】特開2004 - 256873号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

上記した各特許文献に記載の技術は、材料成分を調整することにより内燃機関用ピストンを構成するアルミニウム合金を高強度化している。しかしながら、最近のエンジンの高効率化の要求に伴い、ピストンの温度は上昇傾向にある。内燃機関用ピストンを構成するアルミニウム合金は、そのアルミニウム材料の特性により、その温度上昇によって結果的に強度が低下してしまい、アルミニウム合金の強度向上を図ることができていないという難点があった。

20

【0008】

本発明は、上記課題を解決するためになされたものであって、その目的は、熱伝導性が高く、温度の影響による強度の低下を防止した高強度で軽量の内燃機関用ピストン材料及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

30

【0009】

(1) 上記課題を解決するための本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、内燃機関用ピストンに用いられる Al - Si 系合金材料であって、導電率 (% IACS) が 18 以上であることを特徴とする。

【0010】

この発明によれば、Al - Si 系合金の導電率 (% IACS) が 18 以上であるので、そうした導電率を持つ Al - Si 系合金は高い熱伝導性を示す。その結果、温度の影響による強度の低下を抑制できるので、高強度で軽量の内燃機関用ピストンを提供できる。

【0011】

なお、本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、Cu、Mg、Ni、Cr、Fe 及び Mn を含有するように構成されている。これらの元素は高強度で軽量の内燃機関用ピストン材料としての Al - Si 系合金に含まれている。

40

【0012】

本発明に係る内燃機関用ピストン材料において、サイズが 1 μm 以下の Al - Cu - Mg 系化合物が均一に析出していることが好ましい。

【0013】

この発明によれば、サイズが 1 μm 以下の Al - Cu - Mg 系化合物が均一に析出しているので、18% (IACS) 以上の高い導電率と高い熱伝導性を示す。その結果、ピストンの温度上昇を抑制でき、強度の低下を抑制できる。

【0014】

50

本発明に係る内燃機関用ピストン材料において、切断断面におけるAl - Fe - Mn - Ni - Cr系晶出物とAl - Cu - Ni系晶出物の合計面積率が10%以下であることが好ましい。

【0015】

この発明によれば、それら両晶出物の合計面積率が10%以下であるので、Al - Cu - Ni系晶出物の生成が抑えられていることを意味している。その結果、その晶出物に捕られないより多くのCuが、Al - Si系合金のマトリックス中に過飽和に固溶するものとなり、その後の時効処理によってCuの微細な析出物（Al - Cu - Mg系化合物）が均一に析出するので、高い導電性を示すと共に高い熱伝導性を示すものとなる。

【0016】

本発明に係る内燃機関用ピストン材料において、Cuが1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crが0.05質量%以上含有することが好ましい。

【0017】

この発明によれば、Cuが1.2質量%以上5質量%以下の範囲内含有し且つCrが0.05質量%以上含有するので、そのCrの作用によってAl - Fe - Mn - Ni - Cr系晶出物が生成されたものとなる。そして、その晶出物の生成により、Niがその晶出物に捕られるので、Al - Cu - Ni系晶出物の生成が抑えられるものとなる。その結果、より多くのCuが、Al - Si系合金のマトリックス中に過飽和に固溶し、その後の時効処理によってCuの微細な析出物（Al - Cu - Mg系化合物）が均一に析出するので、高い導電性を示すと共に高い熱伝導性を示すことができる。

【0018】

(2) 上記課題を解決するための本発明に係る内燃機関用ピストン材料の製造方法は、Cuを1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crを0.05質量%以上含有する内燃機関用ピストン材料であるAl - Si系合金を鑄造する工程と、鑄造した前記Al - Si系合金を時効処理する工程とを有することを特徴とする。

【0019】

この発明によれば、Cuを1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crを0.05質量%以上含有する内燃機関用ピストン材料であるAl - Si系合金を鑄造するので、Al - Fe - Mn - Ni - Cr系晶出物が生成される。そして、その晶出物の生成により、Al - Si系合金に含まれるNiがその晶出物に捕られるので、Al - Cu - Ni系晶出物の生成が抑えられ、その結果、より多くのCuが、Al - Si系合金のマトリックス中に過飽和に固溶する。こうした鑄造合金をその後の時効処理することにより、過飽和に固溶したCuは、サイズが1μm以下の微細なAl - Cu - Mg系化合物として均一に析出する。こうして得られた内燃機関用ピストン材料は、18%（IACS）以上の高い導電率と高い熱伝導性を示すので、ピストンの温度上昇を抑制でき、強度の低下を抑制できる。

【発明の効果】

【0020】

本発明に係る内燃機関用ピストン材料によれば、Al - Si系合金の導電率（%IACS）が18以上のAl - Si系合金は熱伝導性が高いので、従来のAl - Si系合金と比較して、内燃機関から発生する熱によるピストンの温度上昇を抑制することができる。その結果、ピストンの温度上昇による強度の低下を抑制できる高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0021】

【図1】実施例2の測定サンプルの金属組織を示すSEM像（A）とTEM像（B）である。

【図2】比較例1の測定サンプルの金属組織を示すSEM像（A）とTEM像（B）である。

【発明を実施するための形態】

【0022】

本発明に係る内燃機関用ピストン材料及びその製造方法について詳しく説明する。なお、以下の実施形態は一例であり、本発明の技術的範囲の属する他の形態も本発明に含まれる。

【0023】

[内燃機関用ピストン材料]

本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、高強度で軽量な内燃機関用ピストンに用いられるAl-Si系合金材料であり、その導電率(%IACS)が18以上であることに特徴がある。導電率(%IACS)が18以上のAl-Si系合金は、高い熱伝導性を示すので、温度の影響による強度の低下を抑制できる高強度で軽量な内燃機関用ピストンを提供できる。

10

【0024】

ここで、IACSは、国際焼きなましCu線標準(International Annealed Copper Standard)の略であり、標準焼きなましCu線を100%とした場合、それに比べて何%の導電性をもつかという比較値で表したものである。なお、標準焼きなましCu線の体積抵抗率は、 $1.7241 \times 10^{-2} \mu m$ (導電率100%IACS)と規定されている。

【0025】

本発明者は、内燃機関用ピストン材料として、熱伝導性に優れた高強度で軽量なAl-Si系合金鋳物を開発する過程で、電気抵抗が低いほど熱伝導性が優れることを見出し、更に詳しくは、導電率(%IACS)が18以上であるときに熱伝導率が120(w/m·k)以上であることを見出した。さらに、透過型電子顕微鏡を用いて金属組織を観察する中で、Al-Si系合金のAlマトリックス中に、Al-Cu-Mg系化合物が析出する場合には熱伝導性が優れ(導電率が高い)、Al-Cu-Mg系化合物が析出しない場合には熱伝導性が悪い(導電率が低い)ことを見出した。

20

【0026】

また、Al-Si系合金の晶出物に着目すると、Si, Cu, Mg, Ni, Cr, Fe及びMnを含有する高強度で軽量なAl-Si系合金鋳物において、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の量とAl-Cu-Ni系晶出物の量が少ないとき、すなわち、任意の切断断面におけるそれらの晶出物の面積率が小さいときに、熱伝導性が良くなることを見出した。更に詳しくは、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物の合計面積率が10%以下のときに、熱伝導率が120(w/m·k)以上であることを見出した。こうした結果は、高強度で軽量なAl-Si系合金に含まれるCuとCrの含有量を制御することで実現でき、詳しくは、Cuが1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、かつCrが0.05質量%以上含有するときに熱伝導率が120(w/m·k)以上になることを見出した。

30

【0027】

本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、こうした知見に基づいたものであり、以下に詳しく説明する。

【0028】

(Al-Si系合金)

Al-Si系合金は、内燃機関用ピストン材料として用いられる高強度で軽量なAl-Si系合金である。こうしたAl-Si系合金であれば特に限定されず、各種のものを用的ことができ、例えば、アルミニウムにケイ素が5質量%程度含有するAl-Si系合金であってもよいし、アルミニウムにケイ素が25質量%程度含有するAl-Si系合金であってもよいし、後述する実施例に示すように、アルミニウムにケイ素が11~13質量%程度含有するAl-Si系合金であってもよい。

40

【0029】

Al-Si系合金の主要元素であるケイ素は、鋳造時の湯流れ性を向上させることができ、また、耐摩耗性を向上させるように作用する。ケイ素の含有量は、湯流れ性や耐摩耗

50

性を含めた全体の特性を考慮して、上記のように任意に設定されている。

【0030】

Al-Si系合金を高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料として用いる場合には、そのAl-Si系合金は、通常、Cu、Mg、Ni、Cr、Fe及びMnを含有するように構成されている。これらの元素を含むことにより、高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料となる。

【0031】

Cuは、Al-Cu-Mg系析出物を形成して、強度を向上させるように作用する。Mgは、Al-Cu-Mg系析出物を形成して、強度を向上させたり、固溶強化により強度を向上させたりするように作用する。Niは、Al-Cu-Ni系晶出物を形成して、耐熱性を向上させるように作用する。Crは、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物を形成するように作用する。Feは、結晶粒を微細化するように作用する。Mnも、結晶粒を微細化するように作用する。

10

【0032】

これらの金属元素のうち、本発明では、Al-Si系合金に含まれるCuとCrが特に重要な作用を示す。詳細は、「Al-Cu-Mg化合物の析出機構」の説明欄で詳しく説明するが、本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、従来は強度の向上を主作用として含むCuを、Alマトリクス中に析出物(Al-Cu-Mg系化合物)として均一に析出させて導電率と熱伝導率を高めるように作用させている点に特徴がある。さらに、従来はAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の生成を主作用とするCrを、Cuを過飽和に固溶させて時効処理後に析出物(Al-Cu-Mg系化合物)として均一析出させるための成分として作用させている点に特徴がある。こうした作用を奏するCuとCrによって、内燃機関用ピストン材料の導電率と熱伝導率を向上させている。

20

【0033】

Al-Si系合金は、上記したCu、Mg、Ni、Cr、Fe、Mn等を、本発明のメカニズムを少なくとも実現できる範囲で含んでいる。さらにこれら以外の元素が必要に応じて含まれていてもよい。例えば、P:0.003~0.1質量%、Ti:0.005~0.3質量%、Zr:0.02~0.3質量%、V:0.02~0.3質量%、B:0.001~0.1質量%の少なくとも1種以上が含まれていてもよい。また、これらの元素は、不可避不純物として含まれていてもよい。なお、不可避不純物としては、さらに、S、O等がいずれも0.05質量%以下程度の含有量で含まれていてもよい。

30

【0034】

(Al-Cu-Mg系化合物)

Al-Si系合金には、Al-Cu-Mg系化合物が析出している。析出形態としては、Al-Si系合金のマトリクスに均一に析出しており、そのAl-Cu-Mg系化合物の大きさ(サイズ)は、1 μ m以下であることが好ましい。1 μ m以下の微細なAl-Cu-Mg系化合物がマトリクス中に均一に析出していることにより、Al-Si系合金の導電率を18%(IACS)以上の高い導電率とすることができる。このAl-Cu-Mg系化合物は、導電性の高いCu合金であり、図1(B)に示すように、そのCu合金の微粒子がAlマトリクス中に均一分散していることにより、良好な導電性を示している。導電性の向上は、高い熱伝導性を示すので、温度の影響による強度の低下を抑制できる高強度で軽量な本発明に係る内燃機関用ピストン材料を提供することができる。

40

【0035】

Al-Cu-Mg系化合物が不均一に析出している場合は、図2(B)の従来例に示すように、導電率を18%(IACS)以上に顕著に向上させることができず、熱伝導性も高めることができない。その結果、温度の影響による強度が低下しやすい。なお、「均一」とは、電子顕微鏡で1 μ m \times 1 μ m程度の視野を任意に選択した際に、析出物が目視で均一に観察できて特定される場合であり、「不均一」とは、そのように特定できず、電子顕微鏡で1 μ m \times 1 μ m程度の視野を任意に選択した際に、析出物が観察される視野と観察されない視野とが存在する場合である。

50

【0036】

Al-Cu-Mg系化合物のサイズが1 μ mを超える場合は、Al-Cu-Mg系化合物がAlマトリックス中に偏析した態様になりやすい。その結果、そのAl-Cu-Mg系化合物の微粒子がAlマトリックス中に均一に分散しているとは言いにくく、導電性を高めることができないことがある。

【0037】

なお、「大きさ(サイズ)」は、内燃機関用ピストン材料の任意の断面で測定されるAl-Cu-Mg系化合物の大きさであり、そのAl-Cu-Mg系化合物が球状である場合にはその直径であり、楕円形、長方形又は針状である場合には、その長径の大きさ(サイズ)のことである。また、大きさ(サイズ)の下限は特に限定されず、例えば、0.01 μ m程度であってもよい。

10

【0038】

(晶出物の面積率)

Al-Si系合金には、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物が現れているが、それらの合計の面積率は、10%以下であることが好ましい。こうした面積率を持つAl-Si系合金は、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物の生成が抑えられていることを意味している。そのため、晶出物に捕られるCu量が少なくなっているため、より多くのCuがAl-Si系合金のマトリックス中に過飽和に固溶するものとなり、その後の時効処理によって、過飽和に固溶したマトリックス中のCuが微細な析出物(Al-Cu-Mg系化合物)として均一に析出する。その結果、その析出物(Al-Cu-Mg系化合物)の均一な分散析出に基づいた高い導電性を示すと共に、高い熱伝導性を示すものとなる。

20

【0039】

Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物は、凝固中の液相が熱力学的に安定な状態になるように(エネルギーが最も低い状態になるように)、Al、Fe、Mn、Ni及びCrが結合することにより生成(晶出)する。このAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の生成量は、Cr含有量の増減により制御することができる。こうした制御によって、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の面積率を4%以上、7%以下の範囲内にすることができる。

30

【0040】

一方、Al-Cu-Ni系晶出物は、凝固中の液相が熱力学的に安定な状態になるように(エネルギーが最も低い状態になるように)、Al、Cu及びNiが結合することにより生成(晶出)する。このAl-Cu-Ni系晶出物の生成量も、上記同様、Cr含有量の増減によって制御することができる。すなわち、Crは、上記したAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物を増減させるように作用するので、Crを増すとAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の生成量が増してNiが多く捕られてしまい、Al-Cu-Ni系晶出物の生成が抑えられる。こうした制御によって、Al-Cu-Ni系晶出物の面積率を2%以上、4%以下の範囲内にすることができる。

【0041】

なお、「面積率」とは、Al-Si系合金を切断して任意の断面を観察し、特定寸法で囲まれた面積を100%としたとき、その面積内に現れるAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の面積とAl-Cu-Ni系晶出物の面積との合計値(%)である。なお、その面積は、SEM観察とEDX分析によって測定して評価できる。特にEDX分析は、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物との組成の違いに基づいたコントラストが顕著に相違するので、そのコントラストの相違によってそれぞれの晶出物の面積を特定できる。

40

【0042】

(Al-Cu-Mg系化合物の析出)

上記したAl-Cu-Mg化合物の析出は、Al-Si系合金に含まれるCuとCrによって制御することができる。本発明では、Al-Si系合金に含まれる金属元素のうち

50

、CuとCrがAl-Cu-Mg化合物の析出に影響する。Cuの含有量は、1.2質量%以上、5質量%以下の範囲内であることが好ましく、Crの含有量は、0.05質量%以上であることが好ましい。これらの範囲内になるように、CuとCrを制御することにより、導電率(%IACS)が18以上のAl-Si系合金を得ることができる。

【0043】

Cuの含有量が上記範囲内であることにより、Al-Si系合金はAl-Cu-Mg系析出物を形成して強度を向上させるように作用するが、本発明では、Al-Cu-Mg系化合物の析出形態に特徴があり、Al-Cu-Mg系化合物がAlマトリクス中に均一析出している(実施例2の図1(B)を参照)。一方、同じCu含有量であっても、Al-Cu-Mg系化合物がAlマトリクス中に均一に析出していない場合(比較例1の図2(B)を参照)は、強度向上の点では均一析出した前記の場合と同様であるが、本発明の効果(導電率と熱伝導率の顕著な向上)は奏しない。こうした結晶状態(結晶構造)の違いは、既述したCrの作用による。

10

【0044】

なお、Cu含有量が1.2質量%未満では、Al-Si系合金の強度向上に十分に寄与せず、Cu含有量が5質量%を超えると、比重が大きくなって重くなるとともに、鑄造性が悪くなることから、上記した1.2質量%以上5質量%以下の範囲内であることが好ましい。

【0045】

本発明では、上記したCu含有量の範囲内でCr含有量を0.05質量%以上に行っている。こうすることにより、既述したCrの作用によってAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物が生成する。そして、その晶出物の生成により、Niがその晶出物に捕られるので、Al-Cu-Ni系晶出物の生成が抑えられる。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物に含まれるはずであったCuの多くが、Al-Si系合金のマトリクス中に過飽和に固溶する。その結果、その後の時効処理によってCuの微細な析出物(Al-Cu-Mg系化合物)が均一に析出し、高い導電性を示すと共に高い熱伝導性を示すものとなる。

20

【0046】

なお、Cuの含有量が変わらない場合であっても、結晶状態(結晶構造)を変化させることにより熱伝導率を変化させることができる。すなわち、Alマトリクス中にCuが固溶しただけでは熱伝導率は変化しないが、同じCu含有量であっても、Alマトリクス中に固溶したCuが時効処理によって容易に析出できるようにした場合は、熱伝導性が向上する。これは、析出したCu化合物が微細粒子として分散することによって熱伝導性が向上したためである。0.05質量%以上含有させたCrはAlマトリクス中に固溶したCuが時効処理によって微細粒子状のAl-Cu-Mg系化合物として容易に析出できるように作用する。その結果、そのAl-Cu-Mg系化合物の均一分散によって、熱伝導性を高めることができる。

30

【0047】

Cuの固溶の程度は、Crの含有量によって制御することができる。Crの含有量を0.05質量%以上にする事により、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物が生成し、生成したAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物にNiが捕られてしまう。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物の生成が抑えられ、そのAl-Cu-Ni系晶出物に捕られるはずであったCuが溢れてしまい、CuをAlマトリクス中に過飽和に固溶させることができる。

40

【0048】

Crの含有量が0.05質量%未満では、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物を十分に生成できず、生成したAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物にNiが捕られない。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物の生成を抑えることができず、そのAl-Cu-Ni系晶出物にCuが捕らえられてしまい、CuをAlマトリクス中に過飽和に固溶させることができない。その結果、その後の時効処理によってAl-Cu-Mg系化合物を十分に析出させることができない。

50

【0049】

Cu含有量は1.2質量%以上5質量%以下の範囲内であるが、その範囲内でCu含有量が少ない場合(例えば1.2質量%~2.5質量%程度の場合)は、上記範囲内のCr含有量が少ない傾向であることが好ましい。例えば、Cr含有量が0.05質量%~0.15質量%程度である場合は、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の生成もあまり多くなく、その晶出物に捕られてしまうNiもあまり多くない。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物の生成の抑制効果も小さい。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物に捕られるはずであったCuも少なくなるが、そもそもCu含有量自体が上記のように少ないので、ある程度のCuは溢れる。その結果、溢れたCuはAlマトリクス中に過飽和に固溶し、時効処理後のAlマトリクス中にAl-Cu-Mg系化合物を均一析出させることができる。

10

【0050】

一方、上記範囲内でCu含有量が多い場合(例えば2.5質量%~5質量%程度の場合)は、上記範囲内のCr含有量が多くなっても効果を維持できる。例えば、Cr含有量が0.15質量%~0.25質量%等又はそれ以上である場合は、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の生成が多く、その晶出物に捕られてしまうNiも多い。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物の生成の抑制効果が大きくなる。そのため、Al-Cu-Ni系晶出物に捕られるはずであったCuも多くなるが、そもそもCu含有量自体が上記のように多いので、ある程度のCuは溢れる。その結果、溢れたCuはAlマトリクス中に過飽和に固溶し、時効処理後のAlマトリクス中にAl-Cu-Mg系化合物を均一析出させることができる。

20

【0051】

なお、Cr含有量の上限は特に限定されないが、Cr自体は熱伝導性を悪くするので、その上限は通常、1質量%以下、好ましくは0.5質量%以下とすることができる。

【0052】

こうして説明したメカニズムによって、本発明に係る内燃機関用ピストン材料は、熱伝導性が高く、温度の影響による強度の低下を防止した高強度で軽量な内燃機関用ピストン材料になる。したがって、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物やAl-Cu-Ni系晶出物の生成に関わる元素及びAl-Cu-Mg系化合物の析出に関わる元素であるCu、Mg、Ni、Cr、Fe及びMnを含有するAl-Si系合金であれば、上記同様のメカニズムによって本発明に係る内燃機関用ピストン材料の効果を奏することができる。よって、例えばSi含有量が5質量%~25質量%の範囲内のAl-Si系合金のいずれであっても、本発明に係る内燃機関用ピストン材料に包含されるということができる。

30

【0053】

以上説明したように、本発明に係る内燃機関用ピストン材料によれば、導電率(%IACS)が18以上のAl-Si系合金は熱伝導率が高いので、従来のAl-Si系合金と比較して、内燃機関から発生する熱によるピストンの温度上昇を抑制することができる。その結果、ピストンの温度上昇による強度の低下を抑制できる。

【0054】

本発明では、Cuの含有量とCr含有量とを特定することにより、Al-Si系合金の材料強度を大きく変化させないで、その導電率と熱伝導率を調整できる点に特徴がある。そして、導電率や熱伝導率の調整は、CuとCrの含有量を調整し、Al-Si系合金の組織を特定したことにより、高い熱が加わる内燃機関の環境下で使用されるピストンの強度を実質的に上げている。

40

【0055】

[内燃機関用ピストン材料の製造方法]

本発明に係る内燃機関用ピストン材料の製造方法は、Cuを1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crを0.05質量%以上含有する内燃機関用ピストン材料であるAl-Si系合金を鑄造する工程と、鑄造した前記Al-Si系合金を時効処理する工程とを有することに特徴がある。

50

【0056】

鑄造工程は、Cuを1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crを0.05質量%以上含有する内燃機関用ピストン材料であるAl-Si系合金を鑄造する工程である。鍛造は、従来公知の各種の鍛造手段を適用することができる。例えば、700～800の範囲内の溶融状態にしたAl-Si系合金を所定の鑄型に鑄込んで鑄造する。

【0057】

時効処理工程は、鑄造したAl-Si系合金を時効処理する工程である。時効処理は、例えば170～250で、240分間～600分間の熱処理を大気環境中で施して行うことができる。この時効処理によって、上記したAl-Cu-Mg系化合物を均一に析出することができる。

10

【0058】

以上、本発明に係る内燃機関用ピストン材料の製造方法によれば、Cuを1.2質量%以上5質量%以下の範囲内で含有し、Crを0.05質量%以上含有する内燃機関用ピストン材料であるAl-Si系合金を鑄造するので、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物が生成される。そして、その晶出物の生成により、Al-Si系合金に含まれるNiがその晶出物に捕られるので、Al-Cu-Ni系晶出物の生成が抑えられ、その結果、より多くのCuが、Al-Si系合金のマトリックス中に過飽和に固溶する。こうした鑄造合金をその後、時効処理することにより、過飽和に固溶したCuは、サイズが1μm以下の微細なAl-Cu-Mg系化合物として均一に析出する。こうして得られた内燃機関用ピストン材料は、18%(IACS)以上の高い導電率と高い熱伝導率を示すので、ピストンの温度上昇を抑制でき、強度の低下を抑制できる。

20

【実施例】

【0059】

以下、実施例と比較例により、本発明をさらに詳しく説明する。

【0060】

[実験1]

先ず、表1に示す成分のAl-Si系合金を準備し、そのAl-Si系合金を750±10に溶融し、250に加温した縦22mm×横190mm×高さ45mmの舟形状の鑄型に通常の重力鑄造で鑄込み、Al-Si系合金鑄物サンプルを作製した。なお、冷却速度は0.5～5/秒の範囲内で行った。作製した鑄物サンプルに、220、4時間の時効処理を施して、供試材である実施例1～5及び比較例1、2の測定サンプルを作製した。

30

【0061】

【表1】

表1

	Si	Cu	Mg	Ni	Cr	Fe	Mn
実施例1	12	2.5	1	2	0.05	0.4	0.4
実施例2	12	2.5	1	2	0.1	0.4	0.4
実施例3	12	2.5	1	2	0.15	0.4	0.4
実施例4	12	4	1	2	0.15	0.4	0.4
実施例5	12	4	1	2	0.2	0.4	0.4
比較例1	12	2.5	1	2	0.01	0.3	0.3
比較例2	12	1	1	1	0.05	0.3	0.3

※) 単位：質量%

40

【0062】

[測定]

測定サンプルについて、引張強さ、導電率(%IACS)、熱伝導率を測定した。また、金属組織の観察は、測定サンプルを切断、樹脂埋込、研磨した後、オスミウムコーティ

50

ングを施した測定サンプルを準備して析出物と晶出物を観察した。

【0063】

引張強さは、全長80mm×平行部長さ25mm×平行部径6mmの測定サンプルを準備し、引張試験機（株式会社島津製作所製のオートグラフ）で測定して評価した。

【0064】

導電率は、電気抵抗測定装置（アルバック理工株式会社製、型名：TER2000RH/L型）を用い、真空中（ 1×10^{-5} torr）にて直流四端子法で測定した。5つの測定点の結果のうち、最大値と最小値を除いた3点の結果を平均した。

【0065】

熱伝導率は、熱伝導率計（NETZSCH社製、型名：DSC404C）で測定して評価した。

【0066】

Al-Cu-Mg系化合物のサイズは、TEM（電界放出形透過電子顕微鏡、日立製作所製、型名：HF-2000）を用い、電解薄膜法（ツインジェット法）で測定試料を準備し、得られたTEM像から測定した。このTEM像の例を、図1（B）及び図2（B）に示した。

【0067】

晶出物の面積率は、SEM（日本電子株式会社製、電界放出形走査電子顕微鏡、型名：JSM-7001F、加速電圧：10kV、撮影方法：反射電子像）でSEM像を撮影し、そのSEM像を、EDX分析装置（KeveX社製、型名：Sigma（HF-2000付属）、加速電圧：200kV、観察方向：<100>方向）で撮像した。得られたSEM像を画像解析して晶出物の面積率を測定した。画像解析は、画像解析装置（ナノシステム株式会社製、型名：NanoHunter NS2K-Pro）を用い、低倍SEM写真中の白色晶出物及び灰色晶出物の面積率を算出した。算出は、先ず、白色晶出物及び灰色晶出物の面積率を計測し、次いで、白色晶出物の面積率を計測し、次いで、灰色晶出物の面積率を、白色晶出物及び灰色晶出物の面積率から白色晶出物の面積率を引いて、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物の合計面積率を求めた。

【0068】

[結果]

表1に示す実施例1～5の測定サンプルと、比較例1, 2の測定サンプルから得られた結果を表2に示した。また、図1には、実施例2の測定サンプルの金属組織を示すSEM像（A）とTEM像（B）を示し、図2には、比較例1の測定サンプルの金属組織を示すSEM像（A）とTEM像（B）を示した。

【0069】

【表2】

表2

	引張強さ	導電率 (%IACS)	熱伝導率	1 μ m以下のAl-Cu-Mg系化合物の有無	Al-Fe-Mn-Ni系化合物とAl-Cu-Ni系化合物の合計面積率(%)
実施例1	100	18	113	あり	10
実施例2	100	19	119	あり	8.5
実施例3	100	18.7	117	あり	9.5
実施例4	100	19.7	123	あり	8
実施例5	100	20.1	126	あり	7.5
比較例1	100	16	100	あり	14
比較例2	70	17.3	110	なし	12

※) 引張強さと熱伝導率は、比較例1の結果を100%とした場合の割合

【0070】

図1(B)に示すTEM観察結果より、Crを0.1質量%含む実施例2の測定サンプルには、微細な析出物が均一に分布していた。この微細な析出物は、EDX分析により解析した結果、Al-Cu-Mg系化合物であった。なお、この測定サンプルは、導電率が19% IACSであった。また、図1(A)に示すSEM写真の画像解析より、晶出物の合計面積率は8.5%であり、白色のAl-Cu-Ni系晶出物の面積率は3.5%であり、灰色のAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の面積率は5%であった。

【0071】

図2(B)に示すTEM観察結果より、Crを0.01質量%含む比較例1の測定サンプルには、微細な析出物が均一に分布していなかった。なお、不均一な微細析出物は、EDX分析により解析した結果、Al-Cu-Mg系化合物であった。なお、この測定サンプルは、導電率が16% IACSであった。また、図2(A)に示すSEM写真の画像解析より、晶出物の合計面積率は14%であり、白色のAl-Cu-Ni系晶出物の面積率は5.3%であり、灰色のAl-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物の面積率は8.7%であった。

10

【0072】

以上、表2及び図1, 2の結果より、実施例1~5では導電率が高く、熱伝導率も高くなった。また、導電率は、1 μ m以下のAl-Cu-Mg系化合物の存在と、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物とAl-Cu-Ni系晶出物の合計面積率が10%以下であることによって、18% IACS以上の高い導電率と、相対値が113以上の高い熱伝導性を示した。

20

【0073】

この実験結果から、Crを所定量含むことによって、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系の晶出物が安定化し、その結果、NiがAl-Fe-Mn-Ni-Cr系の晶出物にとられるため、Al-Cu-Ni系の晶出物が減少する。そうすると、より多くのCuがAlマトリックスに過飽和に固溶し、その結果、時効処理時にCu化合物(Al-Cu-Mg系化合物)が微細析出物となって析出し、熱伝導性と導電性が高くなったといえる。

【0074】

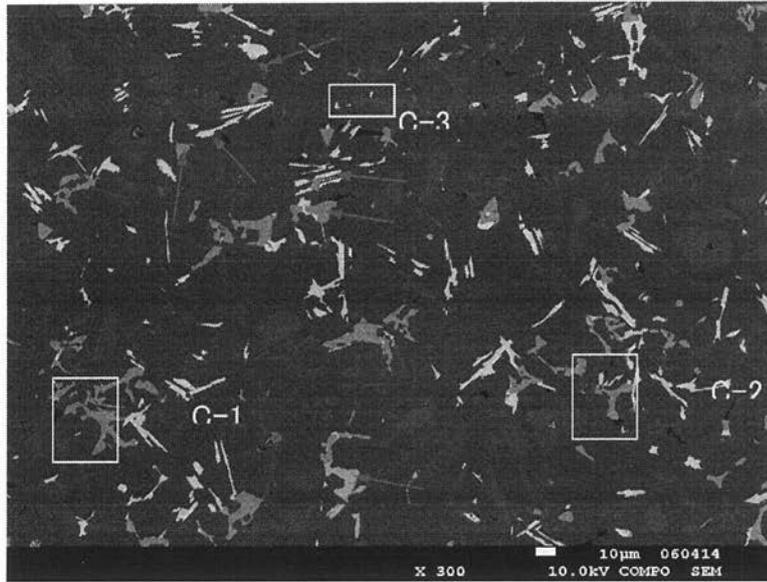
こうした現象は、Al-Si系合金系の内燃機関用ピストン用材料について同様に言えることである。この実施例で例示したような、少なくとも、Si: 11~13質量%、Cu: 1.2~5質量%、Mg: 0.5~1.3質量%、Ni: 0.8~3質量%、Cr: 0.05質量%以上、Fe: 1.0質量%以下、Mn: 1.0質量%以下を含み、残部がAlであるAl-Si系合金も同様であり、同じ結果を確認した。また、Al-Cu-Mg化合物の析出を、Al-Si系合金に含まれるCuとCrによって制御することができる内燃機関用ピストン用材料であれば、同様のメカニズムによって本発明の技術思想を適用でき、上記の例では、特定のAl-Si系合金で評価しているが、Al-Fe-Mn-Ni-Cr系晶出物やAl-Cu-Ni系晶出物の生成に関わる元素及びAl-Cu-Mg系化合物の析出に関わる元素であるCu、Mg、Ni、Cr、Fe及びMnを含有するAl-Si系合金であれば、上記同様のメカニズムによって本発明に係る内燃機関用ピストン材料の効果を奏することができる。よって、例えばSi含有量が5質量%~25質量%の範囲内のAl-Si系合金のいずれであっても、本発明に係る内燃機関用ピストン材料に包含されるということが出来る。

30

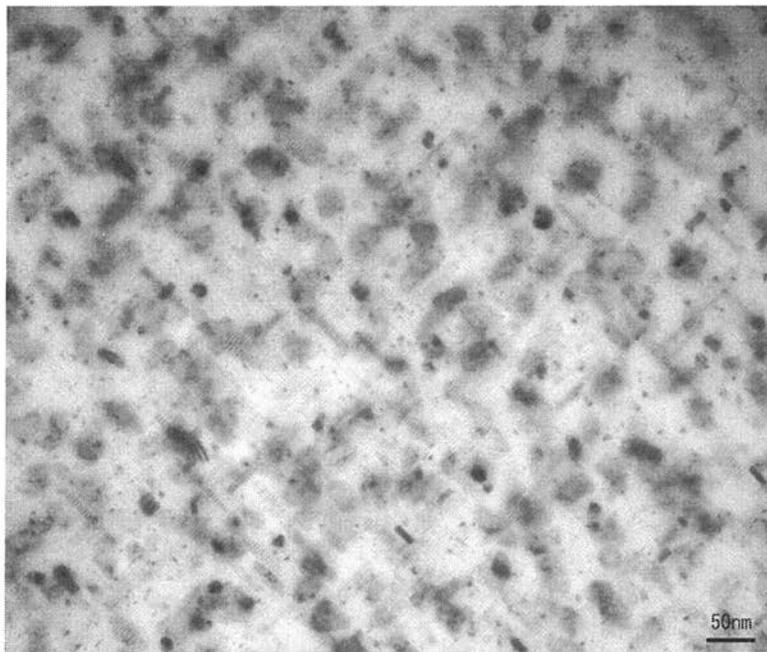
40

【 図 1 】

(A)

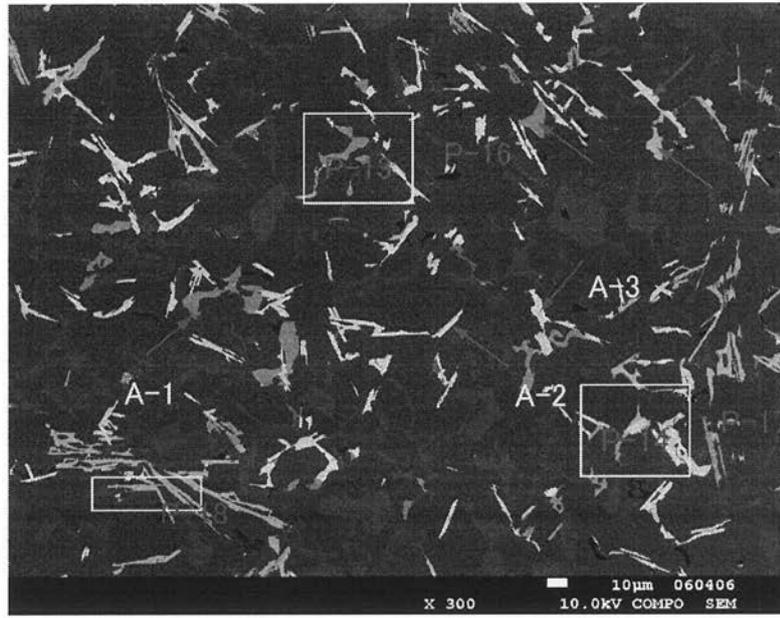


(B)



【 図 2 】

(A)



(B)



フロントページの続き

(51)Int.Cl.

F I

テーマコード(参考)

C 2 2 F	1/00	6 1 1
C 2 2 F	1/00	6 8 1
C 2 2 F	1/00	6 8 2
C 2 2 F	1/00	6 5 0 F
C 2 2 F	1/00	6 5 0 A
C 2 2 F	1/00	6 3 0 A
C 2 2 F	1/00	6 9 1 B
C 2 2 F	1/00	6 9 1 C
C 2 2 F	1/00	6 9 2 A