

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6413704号
(P6413704)

(45) 発行日 平成30年10月31日(2018.10.31)

(24) 登録日 平成30年10月12日(2018.10.12)

(51) Int. Cl.	F 1					
FO2F	1/24	(2006.01)	FO2F	1/24	M	
FO2F	1/00	(2006.01)	FO2F	1/00	E	
FO2F	3/10	(2006.01)	FO2F	1/00	G	
FO2F	3/14	(2006.01)	FO2F	1/24	C	
FO2F	3/00	(2006.01)	FO2F	3/10	B	
請求項の数 2 (全 14 頁) 最終頁に続く						

(21) 出願番号	特願2014-241558 (P2014-241558)	(73) 特許権者	000002082
(22) 出願日	平成26年11月28日(2014.11.28)		スズキ株式会社
(65) 公開番号	特開2016-102457 (P2016-102457A)		静岡県浜松市南区高塚町300番地
(43) 公開日	平成28年6月2日(2016.6.2)	(74) 代理人	100099623
審査請求日	平成29年5月10日(2017.5.10)		弁理士 奥山 尚一
		(74) 代理人	100096769
			弁理士 有原 幸一
		(74) 代理人	100107319
			弁理士 松島 鉄男
		(74) 代理人	100114591
			弁理士 河村 英文
		(74) 代理人	100125380
			弁理士 中村 綾子
		(74) 代理人	100142996
			弁理士 森本 聡二
最終頁に続く			

(54) 【発明の名称】 遮熱膜の形成方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

母材の表面に積層される複数の皮膜からなる遮熱膜を形成する方法であって、該複数の皮膜は、少なくとも第一の皮膜と第二の皮膜を有する遮熱膜の形成方法において、

前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜のそれぞれの熱伝導率を把握する熱伝導率把握工程と、

前記熱伝導率把握工程で把握した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率のそれぞれが所定値以下であるか否かを確認する熱伝導率確認工程と、

前記熱伝導率確認工程で確認した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率のそれぞれが、所定値以下の場合には、

前記第一の皮膜の体積比熱を、前記第二の皮膜よりも小さく設定し、かつ

前記第二の皮膜は、前記母材の表面上に形成され、前記母材の表面と前記第一の皮膜との間に形成し、

前記熱伝導率確認工程で確認した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率が共に所定値よりも大きい場合には、

前記第一の皮膜と前記第二の皮膜の体積比熱の大小を問わず、前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜のうち、どちらかを、前記母材の表面に形成する被膜形成工程と、

を含むことを特徴とする遮熱膜の形成方法。

【請求項 2】

前記熱伝導率の所定値は、 $0.6 \text{ W} / (\text{m} \cdot \text{K})$ であることを特徴とする請求項 1 に記

載の遮熱膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、遮熱膜の形成方法に関する。

【背景技術】

【0002】

内燃機関エンジンの燃焼室の部品には、例えば、ピストン、ヘッド、バルブ及びシリンダライナ等がある。これらの部品は、冷却損失を低減することが要求されている。冷却損失を低減するために、例えば、特許文献1に開示される遮熱膜を用いる技術が知られている。この例では、低熱伝導率により燃焼室壁面へ奪われる熱の損失（冷却損失）を低減し、低熱容量により壁面での熱籠りを低減し、ノッキングを抑制することについて開示されている。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特許第5136629号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

20

内燃機関エンジンの燃焼室の部品に用いる遮熱膜には、低熱伝導率及び低体積比熱の特性が要求される。しかし、低熱伝導率及び低体積比熱の両特性を併せ持つ遮熱膜を単層で形成することは難しい。

【0005】

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、内燃機関エンジンの燃焼室の部品に形成される遮熱膜について、低熱伝導率及び低体積比熱を両立できるようにすることである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記目的を達成するための本発明に係る遮熱膜の形成方法は、母材の表面に積層される複数の皮膜からなる遮熱膜を形成する方法であって、該複数の皮膜は、少なくとも第一の皮膜と第二の皮膜を有する。当該遮熱膜の形成方法は、前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜のそれぞれの熱伝導率を把握する熱伝導率把握工程と、前記熱伝導率把握工程で把握した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率のそれぞれが、所定値以下であるか否かを確認する熱伝導率確認工程と、前記熱伝導率確認工程で確認した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率のそれぞれが、所定値以下の場合には、前記第一の皮膜の体積比熱を、前記第二の皮膜よりも小さく設定し、かつ前記第二の皮膜は、前記母材の表面上に形成され、前記母材の表面と前記第一の皮膜との間に形成し、前記熱伝導率確認工程で確認した前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜の熱伝導率が共に所定値よりも大きい場合には、前記第一の皮膜と前記第二の皮膜の体積比熱の大小を問わず、前記第一の皮膜及び前記第二の皮膜のうち、どちらかを、前記母材の表面に形成する被膜形成工程と、を含む。

30

40

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、内燃機関エンジンの燃焼室の部品に形成される遮熱膜について、低熱伝導率及び低体積比熱を両立する遮熱膜を形成することが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】本発明に係る遮熱膜形成体を模式的に示す部分断面図である。

【図2】図1の遮熱膜形成体を形成する手順を示すフローチャートである。

【図3】遮熱膜が形成された壁の壁温スイングの特性の概念を示すグラフで、横軸は時間

50

、縦軸は燃焼ガス温度及び壁温度を示している。

【図4】燃焼室内壁の表面から距離に対する壁表面温度を示すグラフである。

【図5】熱伝導率 $0.1 \sim 10$ [W/(m·K)]における体積比熱に対する壁温スイング幅を示すグラフである。

【図6】熱伝導率 $0.4 \sim 0.8$ [W/(m·K)]における体積比熱に対する壁温スイング幅を示すグラフである。

【発明を実施するための形態】

【0009】

以下、本発明に係る実施形態について、図表を用いて説明する。

【0010】

本実施形態に係る遮熱膜形成体は、母材3の表面に2層の遮熱膜（第一の皮膜1及び第二の皮膜2）が形成されている。これらの皮膜1、2は、例えば二酸化ケイ素やアルミニウム酸化物等を主な成分とする皮膜であって、例えば陽極酸化皮膜等も含まれる。当該遮熱膜形成体は、内燃機関エンジンの部品を構成する部材で、この例では、内燃機関エンジンの燃焼室の部分である。また、当該母材3は、アルミニウム合金である。

【0011】

本実施形態の遮熱膜形成体の基本構成について、図1の模式図を用いて説明する。図1は、内燃機関におけるエンジン燃焼室の内壁に第一の皮膜1及び第二の皮膜2を形成した状態を模式的に示している部分断面図である。

【0012】

内壁を構成する母材3は、上述したようにアルミニウム合金からなる。母材3の表面（内壁面）3aには、第二の皮膜2が形成され、第二の皮膜2の表面には、第一の皮膜1が形成されている。第二の皮膜2は、母材3と第一の皮膜1により挟まれた状態である。図示は省略しているが、図1における第一の皮膜1の上方には、燃焼ガスが流通する。また、母材3の下方には、冷却水が流通している。

【0013】

エンジン燃焼室の内壁の熱は、エンジン筒内の燃焼ガスから母材3へ移動する。さらに、母材3から冷却水へと熱が移動し、燃焼ガスの熱エネルギーの損失（冷却損失）が生じる。第一の皮膜1及び第二の皮膜2からなる遮熱膜は、この冷却損失を低減するために、設けられている。ガスの熱は、遮熱膜を介して母材3へ、母材3から冷却水へと移動することになる。

【0014】

ここで、低熱伝導率および低熱容量の遮熱膜を燃焼室内壁に形成することにより、燃費が向上するメカニズムについて簡単に説明する。エンジン燃焼室の壁面の表面温度は、一般に吸気・圧縮・燃焼・排気行程の1サイクルに渡ってほぼ一定である。一方で、筒内の燃焼ガスの温度は、燃焼により常温から高温（高温から常温）まで変化する。このため、燃焼室の壁表面温度と筒内の燃焼ガスの温度との温度差により、熱損失が生じる。

【0015】

これに対して、燃焼室内壁に低熱伝導率および低体積比熱の遮熱膜を形成すると、遮熱膜の表面温度が筒内の燃焼ガスの温度変化に追従するように1サイクル内で変化するようになる。その結果、燃焼行程では燃焼ガスの温度に追従し、壁温が上昇する。このため、壁面へ奪われる熱損失が低減し、燃費向上に繋がる。また、吸気行程・圧縮行程では、吸入ガス温度に追従して壁温が低下する。このため、燃焼室末端でのノッキングや吸気効率低下が発生しにくくなる。つまり、遮熱膜は、筒内ガス温度に追従して壁面温度が常温から高温まで変化する特性が重要となる。

【0016】

ここで、本実施形態の遮熱膜の形成手順について、図2のフローチャートを用いて説明する。

【0017】

まず、第一の皮膜1と第二の皮膜2のそれぞれの熱伝導率を把握する（ステップ1）。

10

20

30

40

50

次に、各熱伝導率がいずれも所定値 ($0.6 [W / (m \cdot K)]$) 以下であるか否かを確認する (ステップ 2)。 $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下の場合には、第一の皮膜 1 の体積比熱を、第二の皮膜 2 の体積比熱よりも小さくなるように設定する (ステップ 3)。次に、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 を、母材 3 の表面 3 a に形成する (ステップ 4)。

【 0 0 1 8 】

ここで、ステップ 4 において、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 が陽極酸化皮膜ではない場合には、第二の皮膜 2 を母材表面 3 a の上に形成し、その後、第二の皮膜 2 の上に第一の皮膜 1 を形成する。

【 0 0 1 9 】

次に、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 が陽極酸化皮膜の場合のステップ 4 について説明する。この場合、陽極酸化により母材 3 (母材表面 3 a) を変質させて皮膜を形成する。そのため、先ず、最終的に最表面の皮膜となる第一の皮膜 1 を母材表面 3 a 上に形成し、その後、母材表面 3 a を変質させて、第二の皮膜 2 を形成する。すなわち、皮膜 1、2 が陽極酸化皮膜か否かにより、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 を形成する手順が逆になる。

10

【 0 0 2 0 】

一方、ステップ 2 において、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ よりも大きい場合には、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱の大きさを問わずに (ステップ 5)、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 を、母材 3 の表面 3 a に形成する (ステップ 4)。この場合において、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 が共に、陽極酸化皮膜である場合には、上記の手順で、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 を形成する。また、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 が陽極酸化皮膜でないときは、第二の皮膜 2 を母材表面 3 a の上に形成し、その後、第一の皮膜 1 を形成する。

20

【 0 0 2 1 】

ここで、遮熱膜の性能を評価する指標の一つとして、壁温スイング特性について、図 3 を用いて説明する。図 3 のグラフは、横軸に時間を示し、実線 T_x は燃焼ガスの温度を示し、破線 T_y は壁温を示している。壁温スイング特性とは、筒内の燃焼ガスの温度 T_x に追従して筒内の壁面温度 T_y が常温から高温 (高温から常温) まで変化する大きさを示す値に基づく特性である。

【 0 0 2 2 】

例えば、図 3 に示すように、 t 秒間に、常温 (T_0) から高温 (T_2) まで変化する燃焼ガスの温度 T_x に追従するように、遮熱膜壁面の表面温度 T_y が、 T_0 から T_1 まで変化している状態を、壁温スイングしていると定義している。以降、遮熱膜壁面の表面温度の最大値 (T_1) と最小値 (T_0) の差を、「壁温スイングの大きさ」とする。

30

【 0 0 2 3 】

ガスの熱が遮熱膜を伝搬して母材 3 へと伝わる伝熱現象について、表 1 及び図 4 を用いて説明する。なお、図 4 (a) ~ (d) は、遮熱膜の物性値の組合せ (第一の皮膜 1 と第二の皮膜 2 の物性値) が異なる。以下、当該組合せについて、表 1 を用いて説明する。表 1 では、8 種類の組合せを計算ケース A ~ 計算ケース H の 8 つのケースとして定義する。

【 0 0 2 4 】

図 4 (a) ~ (d) は、燃焼室内壁表面からの距離に対する壁表面温度を示すグラフである。ここで、図 4 (a) に示されているように、燃焼室内壁表面からの距離がゼロとなる位置は、図 1 における第一の皮膜 1 の表層 (上面) に対応している。当該距離が $50 [\mu m]$ となる位置は、第一の皮膜 1 と第二の皮膜 2 の境界に対応しており、 $100 [\mu m]$ となる位置は、母材表面 3 a に対応している。すなわち、この例では、第一の皮膜 1 の厚み及び第二の皮膜 2 の厚みは、共に約 $50 [\mu m]$ である。

40

【 0 0 2 5 】

【表 1】

計算ケース		第一の皮膜		第二の皮膜	
		熱伝導率 W/(m·K)	体積比熱 kJ/(m ³ ·K)	熱伝導率 W/(m·K)	体積比熱 kJ/(m ³ ·K)
A	熱伝導率を 揃えた条件	0.1	1000	0.1	10
B			10		1000
C		1.0	1000	1.0	10
D			10		1000
E	体積比熱を 揃えた条件	1.0	10	0.1	10
F		0.1		1.0	
G		1.0	1000	0.1	1000
H		0.1		1.0	

10

【 0 0 2 6 】

図 4 (a) は、表 1 の計算ケース A、B に対応している。図 4 (b) は、表 1 の計算ケース C、D に対応している。同様に、図 4 (c) は、表 1 の計算ケース E、F に対応して

20

【 0 0 2 7 】

表 1 に示すように、計算ケース A ~ H を大別すると、計算ケース A ~ D は、熱伝導率を揃えた条件であり、計算ケース E ~ H は、体積比熱を揃えた条件である。以下に、計算ケース A ~ H について説明する。

【 0 0 2 8 】

計算ケース A、B では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率を $0.1 [W/(m \cdot K)]$ に揃えており、計算ケース A は、体積比熱について、第一の皮膜 1 を $1000 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $10 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ としている。計算ケース B では、体積比熱について、第一の皮膜 1 を $10 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ 、第二の皮

30

【 0 0 2 9 】

計算ケース C、D では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率を $1.0 [W/(m \cdot K)]$ に揃えており、計算ケース C は、体積比熱について、第一の皮膜 1 を $1000 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $10 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ とし、計算ケース D では、体積比熱について、第一の皮膜 1 を $10 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $1000 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ としている。

【 0 0 3 0 】

計算ケース E、F では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱を $10 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ に揃えており、計算ケース E は、熱伝導率について、第一の皮膜 1 を $1.0 [W/(m \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $0.1 [W/(m \cdot K)]$ としている。計算ケース F では、熱伝導率について、第一の皮膜 1 を $0.1 [W/(m \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $1.0 [W/(m \cdot K)]$ としている。

40

【 0 0 3 1 】

計算ケース G、H では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱を $1000 [kJ/(m^3 \cdot K)]$ に揃えており、計算ケース G は、熱伝導率について、第一の皮膜 1 を $1.0 [W/(m \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $0.1 [W/(m \cdot K)]$ とし、計算ケース H では、熱伝導率について、第一の皮膜 1 を $0.1 [W/(m \cdot K)]$ 、第二の皮膜 2 を $1.0 [W/(m \cdot K)]$ としている。

【 0 0 3 2 】

50

ここで、図4(a)~(d)の解析結果について説明する。図4は、図3のように t_a (= 15秒後)から t_b (= 15.015秒後)の間にガス温度が変化(T_0 → T_2)したときの、壁面温度の分布及び変化(T_0 → T_1)について示している。

【0033】

図4(a)では、計算ケースAにおいて、15.000秒後(Ax)と、15.015秒後(Ay)の壁面温度の分布について示している。また、計算ケースBにおいて、15.000秒後(Bx)と、15.015秒後(By)の壁面温度の分布について示している。

【0034】

計算ケースAにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(Ax)では約330Kで、15.015秒後(Ay)では約470Kに上昇している。壁面温度は、Ax及びAy共に、母材3に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面3a(距離:100[μm])で、約310K程度となる。

10

【0035】

計算ケースBにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(Bx)では約310Kで、15.015秒後(By)では約590Kに上昇している。壁面温度は、Bx及びBy共に、母材3に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面3a(距離:100[μm])で、約310K程度となる。

【0036】

図4(b)では、計算ケースCにおいて、15.000秒後(Cx)と、15.015秒後(Cy)の壁面温度の分布について示している。また、計算ケースDにおいて、15.000秒後(Dx)と、15.015秒後(Dy)の壁面温度の分布について示している。

20

【0037】

計算ケースCにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(Cx)では約310Kで、15.015秒後(Cy)では約350Kに上昇している。壁面温度は、Cxは、第二の皮膜2及び母材3に相当する位置において、310Kであり、Cyは、母材3に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面3a(距離:100[μm])で、約310K程度となる。

【0038】

計算ケースDは、計算ケースCとほぼ同じような温度分布である。すなわち、計算ケースDにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(Dx)では約310Kで、15.015秒後(Dy)では約350Kに上昇している。壁面温度は、Dxは、第二の皮膜2及び母材3に相当する位置において、310Kであり、Dyは、母材3に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面3a(距離:100[μm])で、約310K程度となる。

30

【0039】

図4(c)では、計算ケースEにおいて、15.000秒後(Ex)と、15.015秒後(Ey)の壁面温度の分布について示している。また、計算ケースFにおいて、15.000秒後(Fx)と、15.015秒後(Fy)の壁面温度の分布について示している。

40

【0040】

計算ケースEにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(Ex)では約310Kで、母材表面3aとほぼ同じである。15.015秒後(Ey)では約500Kに上昇し、母材3に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面3a(距離:100[μm])で、約310K程度となる。このケースでは、第一の皮膜1(距離:0~50[μm])よりも第二の皮膜2(距離:50~100[μm])の方が、急激に温度が低下している。

【0041】

計算ケースFにおける第一の皮膜1の表面温度(距離:ゼロ)は、15.000秒後(

50

F x) では約 310 K で、母材表面 3 a とほぼ同じである。15.015 秒後 (F y) では約 500 K に上昇し、母材 3 に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面 3 a (距離: 100 [μm]) で、約 310 K 程度となる。このケースでは、第二の皮膜 2 よりも第一の皮膜 1 の方が、急激に温度が低下している。

【0042】

図 4 (d) では、計算ケース G において、15.000 秒後 (G x) と、15.015 秒後 (G y) の壁面温度の分布について示している。また、計算ケース H において、15.000 秒後 (H x) と、15.015 秒後 (H y) の壁面温度の分布について示している。

【0043】

計算ケース G における第一の皮膜 1 の表面温度 (距離: ゼロ) は、15.000 秒後 (G x) では約 330 K で、15.015 秒後 (G y) では約 400 K に上昇している。壁面温度は、G x 及び G y 共に、母材 3 に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面 3 a (距離: 100 [μm]) で、約 310 K 程度となる。G y では、第一の皮膜 1 よりも第二の皮膜 2 の方が、急激に温度が低下している。

【0044】

計算ケース H における第一の皮膜 1 の表面温度 (距離: ゼロ) は、15.000 秒後 (H x) では約 310 K で、母材表面 3 a とほぼ同じである。15.015 秒後 (H y) では約 450 K に上昇している。H y は、母材 3 に向かうにしたがい徐々に低下して、母材表面 3 a (距離: 100 [μm]) で、約 310 K 程度となる。H y では、第二の皮膜 2 よりも第一の皮膜 1 の方が、急激に温度が低下している。

【0045】

以上の解析結果から、遮熱膜 (第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2) の物性値が変わることで、ガスの熱が遮熱膜、母材 3 へと壁面内部まで伝播する過程に差異があることは明らかである。すなわち、壁温スイングの大きさに関して遮熱膜の物性値の寄与度が高い。

【0046】

複層にて遮熱膜を形成する場合、第一の皮膜 1 と第二の皮膜 2 の物性値の組み合わせ (母材 3 に対する皮膜の形成順序) によって、壁温スイング特性が変わることを、図 5 (a) ~ (e) に示す数値解析の結果を用いて説明する。

【0047】

図 5 に示す 5 つのグラフは、体積比熱に対する壁温スイング幅を示すものである。5 つのグラフは、異なる熱伝導率について、解析した結果を示している。ここでの熱伝導率は、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率であり、図 5 (a) は、0.1 [W / (m · K)]、図 5 (b) は、0.3 [W / (m · K)]、図 5 (c) は、0.6 [W / (m · K)]、図 5 (d) は、1.0 [W / (m · K)]、図 5 (e) は、10 [W / (m · K)] である。

【0048】

また、各グラフにおいて、棒グラフのうち、白抜きのもので示されている凡例 (第一皮膜固定) は、第一の皮膜 1 の体積比熱を 1000 [kJ / (m³ · K)] に固定し、第二の皮膜 2 の体積比熱が、10、100、1000 [kJ / (m³ · K)] の 3 種類の場合における壁温スイング幅を示している。これに対して、枠内を斜線で示されている凡例 (第二皮膜固定) は、第二の皮膜 2 の体積比熱を 1000 [kJ / (m³ · K)] に固定し、第一の皮膜 1 の体積比熱が、10、100、1000 [kJ / (m³ · K)] の 3 種類の場合の壁温スイング幅を示している。

【0049】

例えば、図 5 (a) における第一皮膜固定は、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率が 0.1 [W / (m · K)] であり、第一の皮膜 1 の体積比熱を 1000 [kJ / (m³ · K)] に固定し、第二の皮膜 2 の体積比熱を、10、100、1000 [kJ / (m³ · K)] の 3 条件で解析した壁温スイング幅を示している。また、図 5 (a) における第二皮膜固定は、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率が 0.1 [W / (m · K)]

10

20

30

40

50

であり、第二の皮膜2の体積比熱を $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ に固定し、第一の皮膜1の体積比熱を、 10 、 100 、 $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ の3条件で解析した壁温スイング幅を示している。図5(b)～(e)における棒グラフの凡例も同様であるため、説明は省略する。

【0050】

図5(a)の熱伝導率 $0.1 [W / (m \cdot K)]$ では、壁温スイング幅は、第一皮膜固定では、どの体積比熱の条件においても、 $150 K$ よりやや小さい値となる。これに対して、第二皮膜固定では、体積比熱が $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ のときは、 $150 K$ よりやや小さく、 10 、 $100 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ では $250 K$ よりもやや大きい。すなわち、第一の皮膜1の体積比熱が第二の皮膜2の体積比熱より小さいときに、スイング幅が大きくなっている。

10

【0051】

図5(b)の熱伝導率 $0.3 [W / (m \cdot K)]$ では、壁温スイング幅は、第一皮膜固定では、どの体積比熱の条件においても、 $100 K$ よりやや小さい値となる。これに対して、第二皮膜固定では、体積比熱が $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ のときは、 $100 K$ よりやや小さく、 10 、 $100 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ では $100 K$ よりもやや大きい。すなわち、熱伝導率 $0.1 [W / (m \cdot K)]$ のときと同様に、第一の皮膜1の体積比熱が第二の皮膜2の体積比熱より小さいときに、スイング幅が大きくなっている。

【0052】

図5(c)の熱伝導率 $0.6 [W / (m \cdot K)]$ では、壁温スイング幅は、どの体積比熱の条件においてもほぼ $50 K$ 近傍である。ただし、体積比熱が 10 、 $100 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ のときに、第二皮膜固定の方が、第一皮膜固定よりもスイング幅が大きい。すなわち、第一の皮膜1の体積比熱が第二の皮膜2の体積比熱より小さいときに、スイング幅が大きくなっている。

20

【0053】

上記の図5(a)～(c)に対して、図5(d)の熱伝導率 $1.0 [W / (m \cdot K)]$ では、壁温スイング幅は、第一皮膜固定及び第二皮膜固定に関わらず、どの体積比熱の条件においても、 $50 K$ よりやや小さい値となる。また、図5(e)の熱伝導率 $10 [W / (m \cdot K)]$ では、壁温スイング幅は、どの条件においても、ほぼゼロに近い状態である。

30

【0054】

また、図5(a)～(e)において、第一皮膜固定で示される値から第二皮膜固定で示される値を引いた数値を、スイング幅の差として示している。ここで、スイングの幅の差が、ゼロより小さい値を示しているときは、図5(a)～(c)における上述した第一の皮膜1の体積比熱が第二の皮膜2の体積比熱より小さいときである。

【0055】

以下、スイング幅の差について説明する。上記したように、スイング幅の差がゼロより小さい値を示している条件は、図5(a)～(c)に示すように、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ よりも小さいときである。

【0056】

ここで、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ の前後であるときについて、解析した結果を、図6(a)～(e)に示す。

40

【0057】

図6に示す5つのグラフは、図5と同様に、体積比熱に対する壁温スイング幅を示すものである。5つのグラフは、異なる熱伝導率について、解析した結果を示している。ここでの熱伝導率は、第一の皮膜1及び第二の皮膜2の熱伝導率であり、図6(a)は、 $0.4 [W / (m \cdot K)]$ 、図6(b)は、 $0.5 [W / (m \cdot K)]$ 、図6(c)は、 $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 、図6(d)は、 $0.7 [W / (m \cdot K)]$ 、図6(e)は、 $0.8 [W / (m \cdot K)]$ である。なお、図6(c)の $0.6 [W / (m \cdot K)]$ については、図5(c)と同じグラフである。

50

【 0 0 5 8 】

また、図 6 における各グラフにおいて、図 5 と同様に、棒グラフのうち、白抜きの棒で示されている凡例（第一皮膜固定）は、第一の皮膜 1 の体積比熱を $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ に固定し、第二の皮膜 2 の体積比熱が、 10 、 100 、 $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ の 3 種類の場合における壁温スイング幅を示している。これに対して、棒内を斜線で示されている凡例（第二皮膜固定）は、第二の皮膜 2 の体積比熱を $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ に固定し、第一の皮膜 1 の体積比熱が、 10 、 100 、 $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ の 3 種類の場合の壁温スイング幅を示している。

【 0 0 5 9 】

図 6 (a) ~ (e) の解析結果からも分かるように、熱伝導率が $0.4 [W / (m \cdot K)]$ から $0.8 [W / (m \cdot K)]$ までの間に、体積比熱が、 10 、 $100 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ のときに、スイングの差が徐々に小さくなっている。また、図 5 の解析結果と同様に、体積比熱が同じとき、すなわち、 $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ では、スイング幅の差はない。

10

【 0 0 6 0 】

表 2 は、図 6 (a) ~ (e) で示すスイング幅の差のうち、第一の皮膜 1 の体積比熱を $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ として第二の皮膜 2 の体積比熱を $10 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ としたときのスイング幅と、第二の皮膜 2 の体積比熱を $1000 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ として第一の皮膜 1 の体積比熱を $10 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ としたときのスイング幅との差の値を示している。

20

【 0 0 6 1 】

本実施形態では、スイング幅の差について有意差と判定できる値として、実験誤差等を考慮して $5 K$ を選定している。図 6 及び表 2 から分かるように、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ では、スイング幅に有意な差が認められる。 $0.7 [W / (m \cdot K)]$ 、 $0.8 [W / (m \cdot K)]$ では、スイング幅に、 $3 K$ 以下の差は認められるが、有意差と判定できる差分ではなかった。したがって、本実施形態では、スイング幅に差が認められる熱伝導率を $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下としている。すなわち、熱伝導率の閾値を $0.6 [W / (m \cdot K)]$ としている。

【 0 0 6 2 】

【表 2】

熱伝導率	$[W / (m \cdot K)]$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
スイング幅の差	$[K]$	14	8	5	3	2

30

【 0 0 6 3 】

上記の解析結果から、壁温スイング幅が大きくなるときは、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下で、第一の皮膜 1 の体積比熱が、第二の皮膜 2 よりも小さく設定されているときである。この要因として、熱伝導率が、 $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下の条件（図 5 (a) ~ (c) 及び図 6 (a) ~ (c)）では、筒内ガス側である第一の皮膜 1 の体積比熱が小さいときに、熱籠りが小さいために筒内ガス温度に追従しやすくなる。一方で、第一の皮膜 1 の体積比熱が大きいときには、熱が籠りやすいために筒内ガス温度との追従性が悪くなる。それ故に、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下の条件では、体積比熱の小さい方を第一の皮膜 1 として形成した方が壁温スイングは大きくなる。

40

【 0 0 6 4 】

これに対して、熱伝導率が $0.6 [W / (m \cdot K)]$ よりも大きい条件（図 5 (d)、(e)、図 6 (d)、(e)）では、筒内の燃焼ガスの熱が壁面内部（母材 3 の内部）まで浸透しやすく、見かけ上、第一の皮膜 1 と第二の皮膜 2 が一体化した厚膜のような振る舞いをするため、筒内ガス温度との追従性が低下する。この場合、第一の皮膜 1 と第二の皮膜 2 の体積比熱に関係なく壁温スイングは小さくなる。このため、本実施形態の遮熱膜

50

形成体では、上述したように、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率を $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下とし、さらに、第一の皮膜 1 の体積比熱を、第二の皮膜 2 の体積比熱よりも小さくなるように設定している。

【0065】

次に、遮蔽膜の形成例について、図 2 のフローチャートに沿って説明する。また、作製された遮蔽膜の特性について、表 3 を用いて説明する。

【0066】

表 3 には、6 つの実施例を示している。表 3 の実施例を大別すると、実施例 1 及び 2 では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率が共に $0.6 [W / (m \cdot K)]$ より大きく、実施例 3 ~ 6 は、 $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下である。

10

【0067】

実施例 1 では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 を、それぞれシリカガラス及びホウケイ酸ガラスとし、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱をそれぞれ 1650 、 $2016 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ としている。実施例 2 では、実施例 1 の第二の皮膜 2 を、実施例 2 の第一の皮膜 1 とし、実施例 1 の第一の皮膜 1 を、実施例 2 の第二の皮膜 2 としている。ここで、実施例 1 と実施例 2 とでは、スイング特性はほぼ同じである。このため、第一皮膜及び第二の皮膜のうち、どちらを母材側としてもよい。

【0068】

実施例 3 ~ 6 は、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 は、全て陽極酸化皮膜である。実施例 3 では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱をそれぞれ 1776 、 $2208 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ としている。実施例 4 では、実施例 3 の第二の皮膜 2 を実施例 4 の第一の皮膜 1 とし、実施例 3 の第一の皮膜 1 を実施例 4 の第二の皮膜 2 としている。ここで、実施例 3 の方が実施例 4 よりもスイング特性が大きく、良好である。

20

【0069】

同様に、実施例 5 では、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の体積比熱をそれぞれ 1932 、 $2144 [kJ / (m^3 \cdot K)]$ としている。実施例 6 では、実施例 5 の第二の皮膜 2 を実施例 6 の第一の皮膜 1 とし、実施例 5 の第一の皮膜 1 を実施例 6 の第二の皮膜 2 としている。ここで、実施例 5 の方が実施例 6 よりもスイング特性が大きく、良好である。

【0070】

上述した条件、すなわち、第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の熱伝導率を $0.6 [W / (m \cdot K)]$ 以下（図 2 におけるステップ 2）であり、さらに、第一の皮膜 1 の体積比熱を、第二の皮膜 2 の体積比熱よりも小さくなるように設定（ステップ 3）しているのは、実施例 3 及び実施例 5 である。これらの例では、壁温スイングが良好である。

30

【0071】

【表 3】

		皮膜の種類	熱伝導率 [W/(m·K)]		体積比熱 [kJ/(m ³ ·K)]	スイング 特性
実施例 1	第一の皮膜 (母材側でない)	シリカガラス	1.36	(0.6 より 大きい)	1650	実施例 2 と 変わらず
	第二の皮膜 (母材側)	ホウケイ酸ガラス	1.24	(0.6 より 大きい)	2016	
実施例 2	第一の皮膜 (母材側でない)	ホウケイ酸ガラス	1.24	(0.6 より 大きい)	2016	実施例 1 と 変わらず
	第二の皮膜 (母材側)	シリカガラス	1.36	(0.6 より 大きい)	1650	
実施例 3	第一の皮膜 (母材側でない)	陽極酸化皮膜	0.40	(0.6 以下)	1776	実施例 4 より 大きく、 良好
	第二の皮膜 (母材側)	陽極酸化皮膜	0.44	(0.6 以下)	2208	
実施例 4	第一の皮膜 (母材側でない)	陽極酸化皮膜	0.44	(0.6 以下)	2208	実施例 3 より 小さい
	第二の皮膜 (母材側)	陽極酸化皮膜	0.40	(0.6 以下)	1776	
実施例 5	第一の皮膜 (母材側でない)	陽極酸化皮膜	0.42	(0.6 以下)	1932	実施例 6 より 大きく、 良好
	第二の皮膜 (母材側)	陽極酸化皮膜	0.53	(0.6 以下)	2144	
実施例 6	第一の皮膜 (母材側でない)	陽極酸化皮膜	0.53	(0.6 以下)	2144	実施例 5 より 小さい
	第二の皮膜 (母材側)	陽極酸化皮膜	0.42	(0.6 以下)	1932	

10

20

30

【0072】

ここで、熱伝導率が $0.6 [W/(m \cdot K)]$ 以下の陽極酸化皮膜である実施例 5 における第一の皮膜 1 及び第二の皮膜 2 の作製例について、説明する。

【0073】

先ず、実施例 5 における第一の皮膜 1 の作製例について説明する。

アルミニウム部材として、アルミニウム合金 (AC8A) を試験片として用いた。この AC8A に対して、直流電解法により陽極酸化を行い、陽極酸化皮膜を形成した。陽極酸化処理は 20 、濃度 $200 [g/L]$ の硫酸浴中で、電流密度を $1.5 [A/dm^2]$ とし処理を行った。本直流電解陽極酸化皮膜の熱伝導率は、 $0.42 [W/(m \cdot K)]$ であった。密度は $2.22 [g/cm^3]$ 、空孔率は 17% (長尺状のセルに対する孔の体積/孔を含むセル全体の体積) であった。

40

【0074】

続いて、実施例 5 における第二の皮膜 2 の作製例について説明する。

アルミニウム部材として AC8A を使用した。当該 AC8A に対して、交直重畳電解法により陽極酸化を行い、陽極酸化皮膜を形成した。陽極酸化処理は 20 、濃度 $200 [g/L]$ の硫酸浴中で、高周波電流の周波数を $10 kHz$ とし、正極 $25V$ 、負極 $2V$ で処理を行った。交直重畳電解陽極酸化皮膜の熱伝導率は、 $0.53 [W/(m \cdot K)]$ であった。

50

密度は $3.20 [g/cm^3]$ 、空孔率は粒状のため測定不能であった。

【0075】

陽極酸化皮膜の熱伝導率は、基材成分、電解液の種類及び濃度、温度、電圧、電流密度等の影響も受けるが、空孔率が最も影響する。基材成分等により変化するため一般化は困難であるものの、空孔率が高い方が熱伝導率は低くなるため、10%以上、より好ましくは15%以上、さらに好ましくは17%以上であることが好ましい。なお、陽極酸化皮膜以外で、熱伝導率が $0.6 [W/(m \cdot K)]$ 以下の皮膜の例としては、例えば、中空ビーズ入り皮膜等のナノ中空粒子を有する皮膜が考えられる。

【0076】

以上の説明から分かるように、内燃機関エンジンの燃焼室の部品に本実施形態で説明した第一の皮膜1及び第二の皮膜2を形成することにより、低熱伝導率及び低体積比熱を両立することが可能になる。また、当該遮熱膜は、良好な壁温スイング特性を得る。

10

【0077】

上記実施形態の説明は、本発明を説明するための例示であって、特許請求の範囲に記載の発明を限定するものではない。また、本発明の各部構成は上記実施形態に限らず、特許請求の範囲に記載の技術的範囲内で種々の変形が可能である。

【0078】

例えば、本実施形態では、第一の皮膜1と第二の皮膜2を積層しているが、これに限らず、3層以上積層することも可能である。

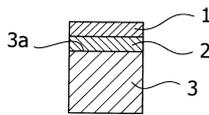
20

【符号の説明】

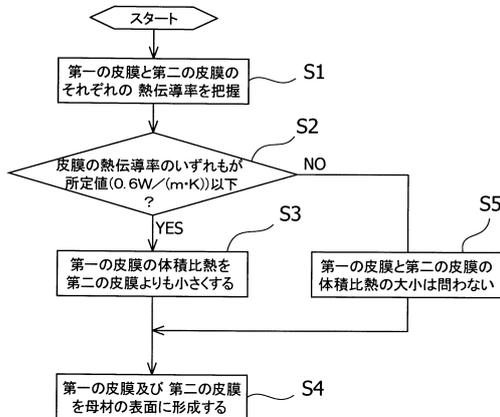
【0079】

- 1 第一の皮膜
- 2 第二の皮膜
- 3 母材
- 3 a 母材表面

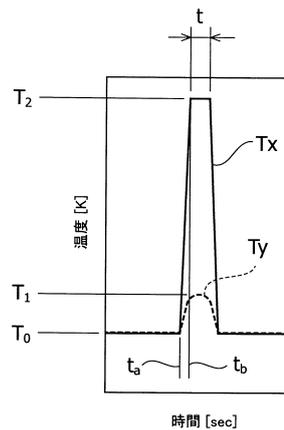
【図1】



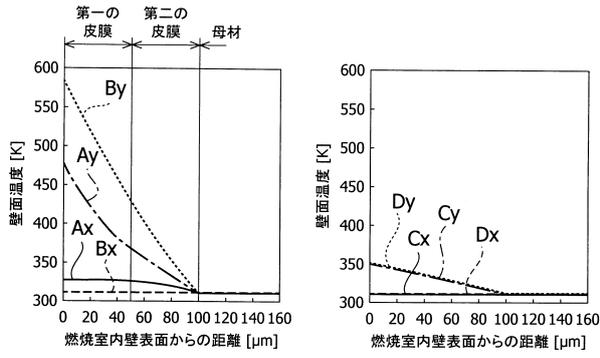
【図2】



【図3】

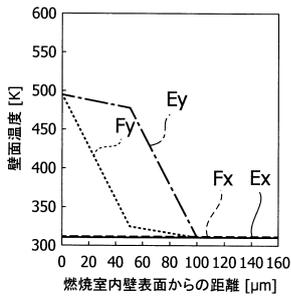


【 図 4 】

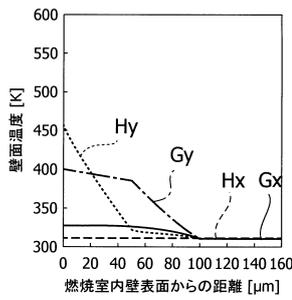


(a)

(b)

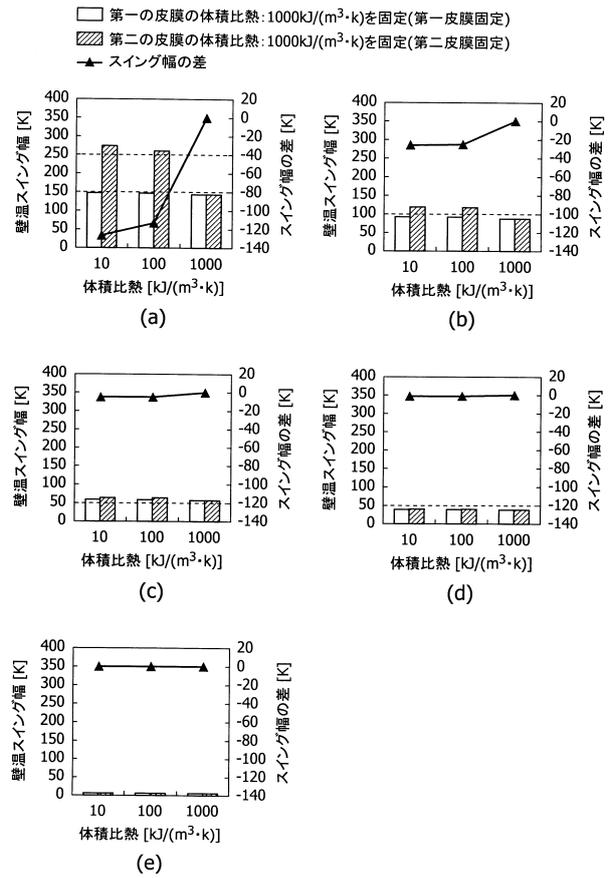


(c)



(d)

【 図 5 】



(a)

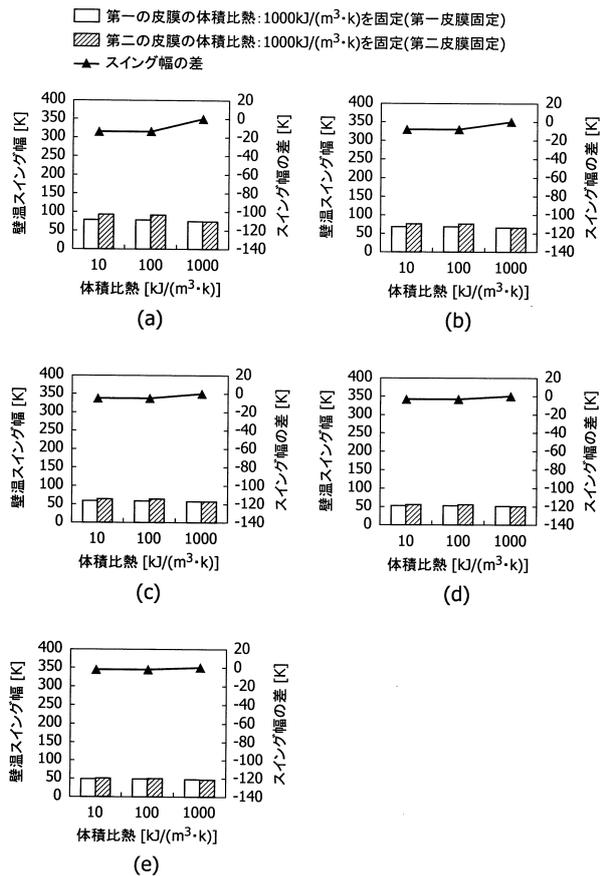
(b)

(c)

(d)

(e)

【 図 6 】



(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I		
<i>F 0 2 F</i>	<i>1/18</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 F</i>	<i>3/14</i>
<i>F 0 2 B</i>	<i>77/11</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 F</i>	<i>3/00</i>
<i>C 2 5 D</i>	<i>11/04</i>	<i>(2006.01)</i>	<i>F 0 2 F</i>	<i>1/18</i>
			<i>F 0 2 B</i>	<i>77/11</i>
			<i>C 2 5 D</i>	<i>11/04</i>

(74)代理人 100154298
弁理士 角田 恭子

(74)代理人 100166268
弁理士 田中 祐

(74)代理人 100170379
弁理士 徳本 浩一

(74)代理人 100161001
弁理士 渡辺 篤司

(72)発明者 中村 宗昭
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内

(72)発明者 村上 春彦
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内

(72)発明者 藤田 昌弘
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内

(72)発明者 戸田 顕
静岡県浜松市南区高塚町300番地 スズキ株式会社内

審査官 木村 麻乃

(56)参考文献 特開2013-213446(JP,A)
特開2012-072745(JP,A)
特開2013-209920(JP,A)
特開2014-105619(JP,A)
国際公開第13/081150(WO,A1)
国際公開第13/129430(WO,A1)
特開2005-163172(JP,A)
特開2013-064388(JP,A)
特開2010-249008(JP,A)
特開2013-067823(JP,A)
特開2013-024142(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F 0 2 F 1 / 2 4
F 0 2 B 7 7 / 1 1
F 0 2 F 1 / 0 0
F 0 2 F 1 / 1 8
F 0 2 F 3 / 0 0
F 0 2 F 3 / 1 0
F 0 2 F 3 / 1 4
C 2 5 D 1 1 / 0 4