20411 ピストンの遮熱溶射技術の開発

Development of Heat Resistant Thermal Spray Technique for the Piston

○ 関根 優志 (山梨大) 中澤 一貴 (山梨大)

正 園家 啓嗣 (山梨大) 正 中村 正信 (山梨大)

Masashi SEKINE, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Kazuki NAKAZAWA, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Keiji SONOYA, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Masanobu NAKAMURA, University of Yamanashi, Takeda-4, Kofu, Yamanashi

Resently there are many problems about energy. Especially the energy problem depending on limited resources is serious. The 70% or more of all energies consumed in the world are limited resources. Research utilizing the unlimited resources including natural energy are carried out so not to deplete its limited resources. The level of some researches is in the practical stage, and the teknology require a lot of time to spread in the world. Thus, improving the energy conversion efficiency of the internal combustion that is widely spread in the world is important. So we aimed to make the heat resistant coating on the piston by a thermal spray technique to improve the energy conversion efficiency of the internal combustion at simple and low cost. In this study, we carried out tensile type pin-test for evaluating the adhesive force and thermal cycle test for evaluating the thermal fatigue property.

Key Words: Thermal Spray, Piston, Heat Resistant

1. 緒言

近年、環境破壊や原発の危険性の再認識などエネルギーに関する問題が多く挙げられており、特に有限資源に依存したエネルギー問題が顕著になっている。現代社会では70%以上のエネルギーが有限資源を消費することによって得られている。その有限資源を枯渇させないため自然エネルギーなどの無限資源を利用する研究が数多く行われおり、実用段階のものもあるが、低コスト化、高寿命化などの問題が多々あり、それらが社会に普及するには多大な時間が必要となる。そんな中、現在の社会で広く普及している内燃機関のエネルギー変換効率を向上させることは、重要なことである。

ところで表面改質技術の一つとして溶射がある。溶射は基材の上に溶融した金属粒子を吹きつけ、皮膜を形成する技術であり、低コストで部材表面性能をの性質を向上させることが可能である。

そこで溶射技術によってピストンに遮熱皮膜を形成し、簡易かつ低コストで内燃機関のエネルギー変換効率を向上させることを目的とし、本研究では遮熱溶射皮膜の熱疲労特性及び密着力の評価を行った。

熱疲労特性の評価方法は高温状態と常温状態を繰り返す熱サイクル試験を採用した。

密着力の評価方法は引張り型ピンテストを採用した。一般的な溶射皮膜の界面強度評価方法は JISH8402 で規格化されているが、この手法ではいくつかの欠点が存在する。まず第一に皮膜と治具の接合に接着剤を使用しているため、接着剤が溶射皮膜に浸透してしまう。第二に近年、プラズマ溶射や高速フレイム溶射などの密着力の強い溶射法が開発されたため、皮膜の密着力が接着剤の接着力を上回ってしまい、正確な密着力の測定が行えない。

これらの課題を解決するため提案された界面強度評価方法の一つが引張り型ピンテスト⁽¹⁾である。

本研究では、アルミナ、部分安定化ジルコニア、SUS316を溶射材料とした溶射皮膜について、熱サイクル試験による熱疲労特性とピンテストによる密着強度を評価した。

2. 実験方法

2.1 供試材

基材は実際にピストンに使用されている Al-13%Si を用いた。また、ピンテストにおいては比較材として SS400 も用いた。溶射皮膜の密着力は基材の硬さの影響を受けるので⁽²⁾、Al-13%Si に近い硬さをもつ SS400 を基材とした。

遮熱皮膜となる溶射材はアルミナ (Al₂O₃)、部分安定化ジルコニア (ZrO₂+8%YO₂)、および SUS316 とし、上記材料を溶射した試験片は膜厚、気孔率を比較パラメーターとした。

Table1 に試験に用いる各溶射試験片を示す。

Table1 Properties of sprayed coatings

Top coating		Bond coating		Porosity [%]	Base material
Materials	Thickness [μm]	Materials	Thickness [μm]		
Al ₂ O ₃	300~320 and 100~120	80%Ni-20%Cr	80~100	20	Al-13%Si
				5	SS400
				5	SS400
ZrO ₂ + 8%YO ₂	300~320 and 100~120	CoNiCr AlY	80~100	20	Al-13%Si
				5	SS400
				5	SS400
SUS316	300~320 and 100~120			20	Al-13%Si
				5	SS400
				5	SS400

2.2 熱サイクル試験

実際のディーゼルエンジンのピストンは、シリンダー内で燃料を燃焼する際に 400℃程の熱が加わる。本実験では試験片を電気炉に入れ、400℃より高い 500℃まで炉内を加熱、その状態を保持せずエアを吹き付けて常温まで冷却する熱サイクル試験を行った。ただし試験の1サイクルは約 30 分である。

2.3 ピンテスト⁽³⁾

Fig.1 に溶射中のピンの固定方法および引張試験方法を示す。溶射は事前にピンとディスクをロックナットで固定して行った。引張試験時はロックナットを外し、引張試験用の治具を装着した。治具の固定は両端にユニバーサルロックジョイントを用い、油圧式万能型引張試験機のクロスヘッド変位速度は 0.01mm/min とした。

Fig.1 Overview of specimen and tensile test method

3. 試験結果

3.1 熱サイクル試験結果

常温から 500℃の熱サイクルを 100 回繰り返した試験片の断面をマイクロスコップで観察した結果のうち膜厚 300 μm の試験片を Fig.2~4 に示す。アルミナ、SUS316 皮膜では問題なかったが、部分安定化ジルコニア皮膜では一部にはく離が確認された。

Fig.2 Microstructure of test pieces (Top coating : Al_2O_3)

Fig.3 Microstructure of test pieces (Top coating : $\text{ZrO}_2 + 8\% \text{YO}_2$)

Fig.4 Microstructure of test pieces (Top coating : SUS316)

3.2 ピンテスト結果

Fig.5 に膜厚 300 μm の溶射試験片のピンテスト結果を示す。部分安定化ジルコニア及び SUS316 の破断荷重は 8 ~ 10kgf であり、アルミナの破断荷重は 4kgf 程度であった。

Fig.5 Experimental results of pin-test

3.3 総合評価

熱サイクル試験、ピンテストの両試験結果と材料物性、コストを含めた総合評価を Table2 に示す。

Table2 Experimental results and properties of sprayed coatings

Top coating material	Al_2O_3				$\text{ZrO}_2 + 8\% \text{YO}_2$				SUS316			
Thickness [μm]	300		100		300		100		300		100	
Porosity [%]	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5	20	5
Over view	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Microstructure	○	○	○	○	×	×	△	△	○	○	○	○
Adhesive force	-	○	-	△	-	△	-	○	-	○	-	○
Heat conductivity	○	○	○	○	◎	◎	◎	◎	○	○	○	○
linear expansivity	△	△	△	△	△	△	△	△	○	○	○	○
Cost	○	○	○	○	△	△	△	△	○	○	○	○

4. 結言

アルミナ、部分安定化ジルコニア、SUS316 溶射皮膜の熱疲労特性、密着力、基材との線膨張係数の近さ、コストの観点から評価すると、SUS316 がピストンへの遮熱皮膜として優れていることがわかった。

今後はピンテストに大きく影響するパラメーターを考慮した実験を行っていく予定である。

参考文献

- (1) 井上好章, 小野豊明, 納富啓, 出羽昭夫, 豊田政男, 塚本光夫, 引張り型ピンテストによるプラズマ溶射皮膜の界面強度評価法, 溶接学会論文集, 第 9 巻, 第 1 号, (1991), 167-173
- (2) 木下貴章, 丸山徹, 小林武, 溶射皮膜の密着性に及ぼす基材表面硬さの影響, 第 93 回全国講演大会講演論文集, (2011), 43-44
- (3) 園家啓嗣, 中村正信, 引張り型ピンテストによる耐摩耗溶射皮膜の密着強度評価法の検討, 溶射, 第 48 巻, 第 3 号, (2011), 92-97