メタルマトリックスコンポジット材ピストンの開発

Development of Metal Matrix Composite Piston

石　塚　和　久*　　草　階　勝　人*　　今　井　信　幸*
Kazuhisa ISHIZUKA　　Katsuhito KUSAKAI　　Nobuyuki IMAI

要　旨

ピストンの軽量化にあたり，良好な高温強度が期待できるメタルマトリックスコンポジット材を適用した．一般にコンポジット材には，高い強度の実現とともに，靭延性の確保が課題となる．これに対して，メカニカルアロイイング製法による粉末合金の適用と，製法，表面処理の最適化により，従来材であるAA2618に対して16%軽量化を達成した．さらに F1 エンジンの ＋400 rpm の高回転化を達成した．

ABSTRACT

A metal matrix composite that can be expected to have outstanding strength at elevated temperatures was applied to reduce the piston weight. In composites, it is generally difficult to cope with both strength and toughness. To solve this issue, a powder alloy was applied using the mechanical alloying process, and the manufacturing process and surface treatment were optimized. This achieved a 16% weight reduction compared to the conventional material, AA2618. In addition, this enabled the Formula One engine speed to be increased by 400 rpm.

1．まえがき

エンジン高回転化実現のためレシプロ系の慣性重量低減は普遍的な課題であり，F1用ピストンにおいても軽量かつ高強度な部品を具現化できる素材の開発が必要であった．

セラミックス分散強化のアルミ合金メタルマトリックスコンポジット（以下 MMC）は高比強度，高剛性，かつより良い高温特性が期待できるが，一般に靭延性に劣り，また成型プロセスの制約にともなう強度異方性などの課題を克服する必要があった．これに対して，メカニカルアロイイング製法による粉末合金の適用とその成型，熱処理プロセスの工夫により特性を改善し，ピストンの軽量化を目指した．

2．開発技術

2.1. ピストン用 MMC 素材（AMC225XE 材）

Table 1 に MMC の物性を，従来材である AA2618 材との比較として示す[1]．母合金としてAA2124，分散セラミックスとして粒径 3μm の SiC を 25 体積%添加する．SiC の分散は高エネルギーボールミルにて母合金粉末と所定時間をかけて合金化される．Fig. 1に金属顕微鏡によるMMCの組織，およびその微小領域の EPMA による，SiC 由来の炭素のマッピング画像を示す．数μmサイズの粒子の間に無数のサブミクロンサイズの粒子が均一に分散されている様子が観察される．このサブミクロン粒子は，メカニカルアロイイングのプロセスで粉砕された SiC が，マトリックス中に分散したものと考えられる．本素材は，母合金析出物とセラミックス複合則にくわえて，ナノサイズ粒子の分散強化機構により，高温での高い疲労強度とより良い靭延性を実現している．

Table 1　Properties of piston material

Material	Modulus	Density	CTE	CTC
	GPa	g/cm^3	ppm/K	W/mK
AA2618	74.6	2.76	22.6	165
MMC	113.0	2.89	15.5	129

2.2. 鍛造および熱処理技術

粉末冶金の素材は，高い機械特性実現のため焼結後に塑性加工が施される．当初押し出し素材を用いピストンの成

＊四輪R&Dセンター

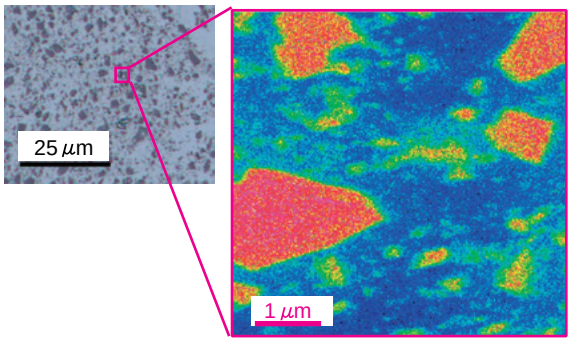

Fig. 1　Metallograph of MMC and distribution of carbon

型をおこなったところ，ピストン天井部の異方性が大きく，期待した特性が得られない課題が顕在化した．これに対し，３次元等方性が期待できるHIP(Hot Isostatic Pressing)素材を直接ピストン成型することで，異方性の課題解消に成功した．

鍛造は低速油圧プレスを用い，必要な成型性を確保した．またニアネット形状の薄肉素材で，焼入れ時の冷却速度を確保し，良好な機械的特性を実現した．ニアネット素材の適用は，難削材である MMC の省加工にも有用であった．

2.3. 表面処理

SiC 分散による熱膨張係数の低下は，ピストンとシリンダのクリアランス増加をまねき，同しゅう動部の信頼性確保が課題となった．これに対して，スカートおよびトップランドに電気メッキによる硬質の被膜，および硬質粒子を分散した樹脂コーティングを適用して，必要な耐久信頼性を確保した．

3．性能効果

Fig. 2 と Fig. 3 に得られたピストン素材天井部から採取した試験片の機械特性を示す．部品の稼動温度である 200 ℃から300 ℃の領域で高い疲労強度と延性を両立している．

この素材を用いることにより，軽量かつ高強度なピストンを実現し，これを 2004 年初戦よりレース適用した．

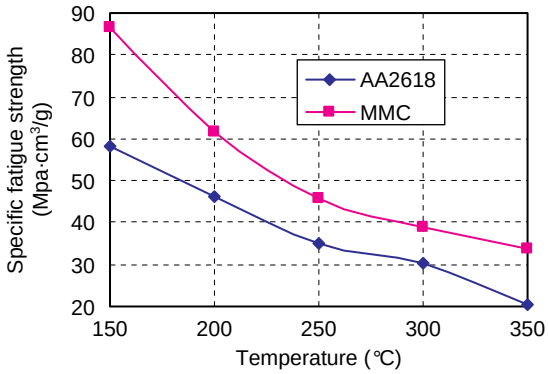

Fig. 2　Specific fatigue strength of developed material

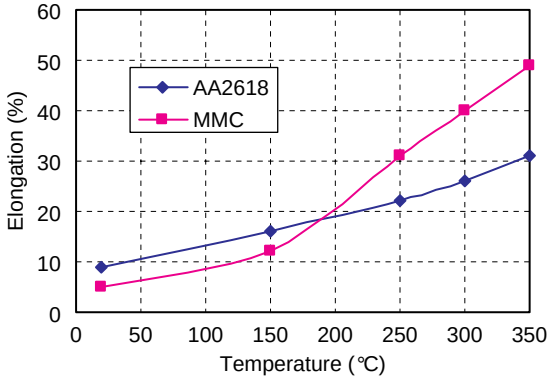

Fig. 3　Elongation of developed material

4．結論

メカニカルアロイイング製法を用いた MMC 素材と製法の最適化により，高い強度を有するピストン素材の開発を達成した．この素材の適用により，従来材 AA2618 に対しピストン重量 16%の軽量化を実現し，エンジン回転数 + 400 rpm の高回転化を達成した．

参考文献

(1) http://www.amc-mmc.co.uk/

■著　者■

石塚和久

草階勝人

今井信幸