

302 エンジンシリンダ用高ケイ素アルミニウム合金のトライボロジー機能表面創成

Improvement of Tribology Function in High Silicon Aluminum Alloy for Engine Cylinder

正 中村 保 (静岡大) 正 山縣 裕 (ヤマハ発動機)

正 栗田 洋敬 (ヤマハ発動機) ○学 荒井 大樹 (静岡大)

Tamotsu Nakamura and Hiroki Arai, Shizuoka University, 3-5-1, Johoku, Hamamatsu, Shizuoka

Hiroshi Yamagata and Hirotaka Kurita, Yamaha Motor Co., 2500, Shinkai, Iwata, Shizuoka

Key Words : High Silicon Aluminum Alloy, Wear Resistance, Silicon Height, Matrix Hardness, Viscosity Elastic Hydrodynamic Lubrication, Surface Roughness, Film Thickness

1. 緒言

高性能、低燃費の要求を満たすために自動車で軽量化が急速に進められている。アルミ化はこれらの要求を満たすための有効な手段である。主要なエンジン部品の1つであるシリンダのアルミ化においては、シリンダボアの耐摩耗性確保が大きな課題であるためシリンダボアには鋳鉄スリーブ、ニッケルめっき等様々な材料が使用されている。その1つに耐摩耗性の優れた過共晶 Al-Si 合金を用い、摺動面をエッチングにより Si を浮出させて使う方法がある。従来過共晶 Al-Si 合金の摺動特性については多くの研究が行なわれているが、Si を浮出させた面の摺動特性を検討した研究例は見られない。

そこで本研究では、ピンオンディスク形摩耗試験機を用い、Si 浮出量を種々変化させた過共晶 Al-Si 合金の耐摩耗性に及ぼす潤滑油粘度、マトリックス硬さの影響と、EHL 解析ソフトによる潤滑特性の検討を行った。

2. 実験方法

鈴木式摩擦摩耗試験機を改造し自作したピンオンディスク式摩耗試験機を用いた。試験機の模式図を Fig.1 に示す。ピンは固定されており、回転軸に連結されたディスクを回転させることにより摩擦を生じさせる。

試験片については、ピンに空化処理を施したステンレス鋼 SUS440 を用い、直径 ϕ 5mm、高さ 15mm の円柱形で、ディスクとの接触面は R40 の半球形とした。ディスクは所定の熱処理を施したアルミニウム A390 合金を用い直径 ϕ 37mm、高さ 4mm の円盤とした。使用した潤滑油とその動粘度を Table.1 に示す。実験はすべて、摩擦速度 2m/s で一定とし、常温、大気中で行った。

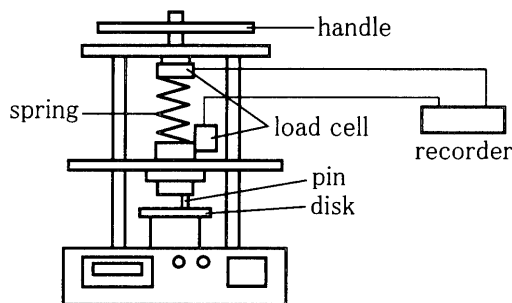


Fig.1 Principle of friction test

Table.1 kinematic viscosity of mineral oils

lubricant oil	kinematic viscosity, mm ² /s
10W-30	9.3 - 12.5 (373K)
VG2	1.88 (303K)
VG22	4.4 (373K)
VG100	10.72 (373K)

耐摩耗性の評価は、試験後の試験片表面形状を表面粗さ計により測定し、非摺動部と摺動部の高さの差を摩耗深さとした。また試験後の摩耗痕の SEM 観察を行なった。

3. 結果・考察

3.1 摩耗量に及ぼす Si 浮出量の影響 A390 合金の摩耗に及ぼす Si 浮出量の影響を検討するため、5 種類の異なる Si 浮出量を有する試験片に対し、潤滑油を 10W-30・VG100・22・2 と変化させ摩耗量を測定した。

10W-30 を用いた場合の摩耗量と浮出量の関係を図.2(a)に示す。浮出量の増加に伴い摩耗量は増加した。VG22 での結果を図.2(b)に示す。10W-30 の場合と異なり極小値をもつようなグラフが得られたが、この違いが粘度によるものなのか、10W-30 に含まれる様々な添加剤によるものなのかを調べるために 10W-30 とほぼ同等の粘度を有する VG100 で試験を行った。その結果、10W-30 とほぼ同一の値となったため粘度による影響が大きいと考えられた。そこでさらに粘度の小さい VG2 で試験を行った結果、浮出量 0 μ m では、凝着が起き摩耗量は 47 μ m と非常に大きくなり、浮出量 1.2~2.4 μ m では 0.6~1.3 μ m となり、耐摩耗性が大きく向上した。また、いずれの潤滑油においてもマトリックス硬さの増加に伴い摩耗量は減少した。

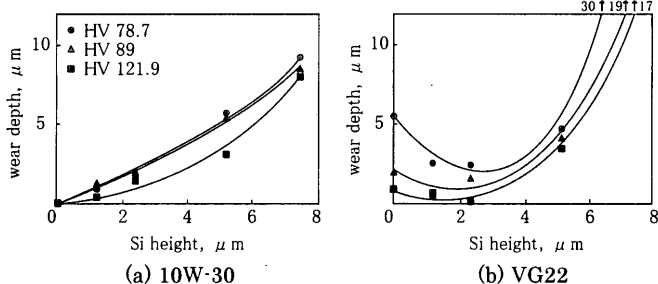


Fig.2 Relationship between Si height and wear depth

3.2 摩耗痕の観察 VG2 を用いた場合の摩耗痕を SEM 観察した結果を図.3 に示す。浮出量 0 μ m の摩耗痕 (Fig.3.a) は、凝着により激しく摩耗し、1.2 μ m の摩耗痕 (Fig.3.b) は、マトリックスと相手材との接触はみられず Si の割れも無かった。

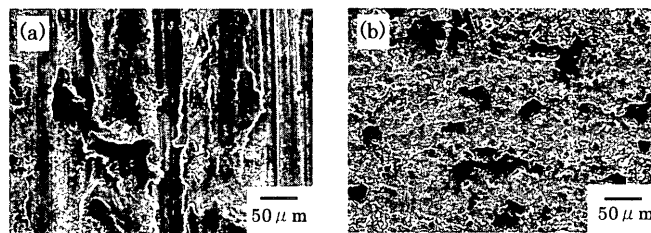
(a) Si height 0 μ m(b) Si height 0.12 μ m

Fig.3 SEM micrographs of the wear scars.

3.3 摩耗メカニズム Si 浮出し量 $0\mu\text{m}$ では、油膜切れによりマトリックスと相手材が接触し、凝着が起きたと考えられる。浮出し量 $1.2\mu\text{m}$ では凝着が起きていなかったが、これは Si を浮出させることによりマトリックスとの接触を防ぎ、また凹凸に潤滑油がトラップされ油膜切れを抑制したためと考えられる。共晶 Si の粒サイズは $8.6\mu\text{m}$ 以下と非常に小さいためエッチング量の増加とともにマトリックスから脱落していくと考えられる。この脱落した共晶 Si、初晶 Si の破片が研磨粒子として働き、摩耗が進行していったと考えられる。

4. EHL 解析

摩耗試験の結果を元に、実験と同様な摩擦条件で弾性流体潤滑(以下 EHL とする)の解析を行った。

4.1 接触面モデル ピンオンディスク間の接触面モデルを Fig.4 に示す。ピン半径は 40mm 、ディスクは半無限体と仮定する。Fig.5 に示すようにディスク上に 0.1mm 間隔で格子状に配置された Si 粒子が埋め込まれていると仮定する。ピン、ディスクともに表面粗さを有し、これらの合成表面粗さ Ra 、油膜粘度 η_0 、Si 浮出し量 t を変化させ解析を行った。

4.2 解析条件 解析は垂直荷重 14.7N 、ピン、ディスク、Si の縦弾性係数、ポアソン比はそれぞれ 200GPa 、 0.28 、 72.4GPa 、 0.33 、 130GPa 、 0.28 、摺動速度 2000mm/s の条件の下で行った。

4.3 解析結果 各粘度毎に表面粗さ、Si 浮出し量を変化させ EHL 解析を行った。Fig.6、7 はそれぞれ、浮出し量 0.12 、 $0\mu\text{m}$ の結果を示し、粘性係数、表面粗さはそれぞれ $0.0787\text{Pa}\cdot\text{s}$ 、 $0.3\mu\text{m}$ である。浮出し量 $0.12\mu\text{m}$ の場

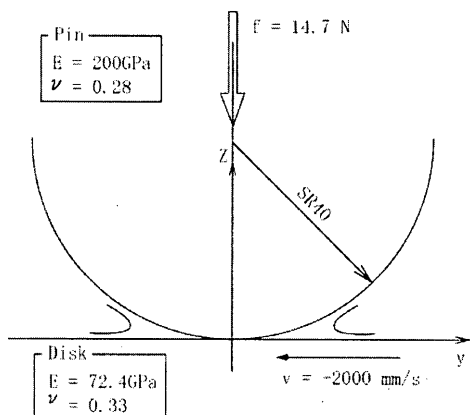


Fig.4 Contact model

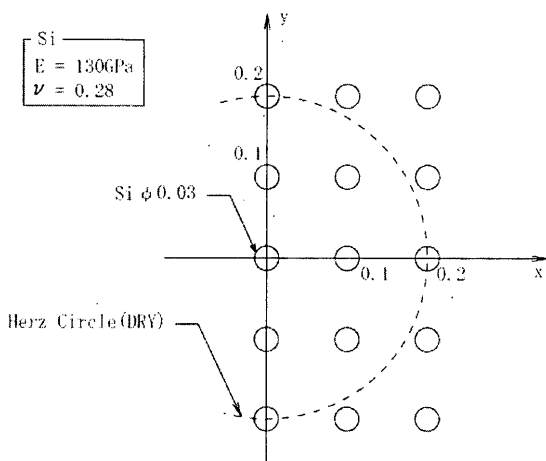


Fig.5 Distribution of Si particles

合、EHL の特徴である圧力スパイクおよび膜厚のくびれ部が見られ EHL 膜が形成されている。浮出しのない場合、圧力スパイクも膜厚のくびれも見られず固体接触であると判断できる。Fig.8 に各 Si 浮出し量 t における膜厚 h_t の計算結果をまとめた。Ra $0.1\mu\text{m}$ を除いて、固体接触から EHL 接触に移行し十分な油膜を形成する Si 浮出し量の範囲が存在する。浮出し量 $0.5\mu\text{m}$ 以上ではすべて油膜は形成されなかった。

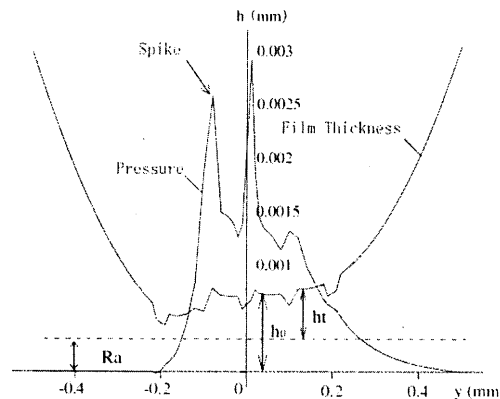


Fig.6 Oil film thickness and pressure ($t=0.12\mu\text{m}$)

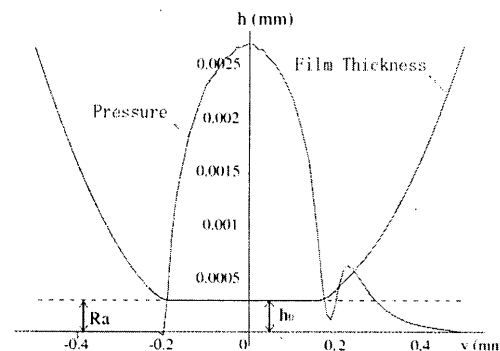


Fig.7 Oil film thickness and pressure ($t=0\mu\text{m}$)

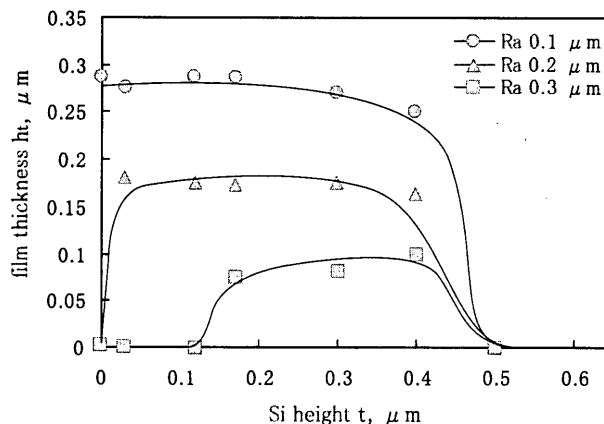


Fig.8 Relationship between film thickness and Si height

5. 結言

Si の浮出しをもつ過共晶 Al-Si 合金の摺動特性について実験と EHL シミュレーションにより検討した。

- (1) マトリックス硬さの増加に伴い摩耗量は減少した。
- (2) VG22, VG2 を用いたとき Si 浮出し量が $1.2\sim 2.4\mu\text{m}$ の範囲において最も優れた耐摩耗性を示した。
- (3) EHL シミュレーションにより Si 浮出し時の EHL 膜形成の効果があることを確認した。