PM アルミ合金のキャビテーションエロージョン特性

大槻 真人, 由利 浩一, 河野 通

三菱マテリアル(株)中央研究所, 〒330 大宮市北袋町1-297.

Cavitation Erosion Characteristics of Powder Metallurgy Aluminum Alloys

Masato Otsuki, Koichi Yuri and Tohru Kohno

Central Research Institute, Mitsubishi Materials Corp., 1-297 Kitabukuro-cho, Omiya 330.

Received June 21, 1994

Cavitation erosion resistance is an important mechanical property required to high-speed hydrodynamic machine parts materials such as oil pump rotor. In this study, vibratory cavitation erosion test was conducted on rapidly solidified powder Al-Si base alloys to investigate relations between cavitation erosion resistance and their composition or microstructure. It is confirmed that powder forged Al-Si alloys containing large amount of transition metals such as Fe or Cr has as good resistance to cavitation erosion as that of Fe base sintered alloy especially when the powder has fine microstructure owing to high cooling rate of the powder production. The cause of the high resistance to cavitation erosion can be attributed to that the matrix was dispersion strengthened by large amount of fine dispersoids of aluminides of Fe, Cr and Si.

1 緒 言

Al-Si系急冷凝固アルミ合金粉末材は軽量かつ強度、耐摩耗性等の特性に優れ、種々の機械部品への適用が進められている。本材料をオイルポンプロータ等の高速流体機械部品に用いる場合、摺動部の耐摩耗性に加え、流体のキャビテーション現象により受ける衝撃に対する耐性（耐キャビテーションエロージョン性）が重要な要求特性となる。キャビテーション現象は流

体機械部品周りの高速流の減圧部に気泡（キャビティ）が発生する現象であり、この気泡の崩壊時に発生する衝撃波により生じる損傷がキャビテーションエロージョンである。Photo.1 にオイルポンプロータに発生したキャビテーションエロージョンの例を示す。キャビテーションエロージョンを生じる機械部品の例としてはこの他に水力タービン、スクリュープロペラ等がある。

Photo.1 Example of cavitation erosion in oil pump rotor.

本研究では種々のAl-Si系急冷凝固アルミ合金粉末材の耐キャビテーション損傷特性について超音波振動試験法により評価を行い、その材料組成、組織との関連について検討した。

2 試料および実験方法

試料としてはTable 1 に示す粉末鍛造法により作製した数種類のAl-Si系急冷凝固アルミ合金粉末材と、比較材として一般的な溶製アルミ合金材であるADC12アルミダイカスト材ならびにオイルポンプロータ材として実績のある鉄系焼結材を選んだ。粉末鍛造材については、Table 1の組成の窒素ガスアトマイズ粉末を室温金型成形によりプリフォームを作製し、これを450～500℃に予備加熱した後、熱間鍛造を施し、また一部の材料については更に熱処理を施した。

Table 1 Chemical composition and preparation of specimens used.

Composition	Preparation
Fe-2Cu-0.5C	Sintered Fe alloy
Al-10Si-3Cu	Die cast ADC12-T6
Al-25Si-3Cu-1Mg-1Fe	Powder forged-T5
Al-20Si-3Cu-1Mg-4Fe	Powder forged-T5
Al-16Si-10Fe-2Cr	As powder forged
Al-16Si-10Fe-2Cr	As forged from -75 μ m powder
Al-16Si-10Fe-2Cr	As forged from -45 μ m powder

Fig. 1 Schematic of vibratory cavitation erosion test apparatus (specimen dia. : 12mm, gap between specimen and horn : 0.8mm, vibration frequency : 20kHz, amplitude : 35 μ m, Test duration : 6hrs, fluid : 50°C distilled water).

耐キャビテーション損傷性の評価方法としてはASTM G32にて規格化している方法¹⁾に準じたFig. 1 に示す振動式キャビテーション損傷試験装置を用い、上述の試料より加工した外径 ϕ 12mmの円柱状試験片を水中に固定し、その直上に設置した超音波振動ホーンの振動によりキャビテーションを一定時間発生させ、試料表面に損傷を与え、試料の重量減から損耗体積を算出した。また試験後の損傷面のSEM観察および断面組織観察により損耗状態を調査した。

Fig. 2 Cavitation erosion loss of various specimens.

3 実験結果および考察

Fig. 2 に各材料のキャビテーション損傷量の比較を示す. まず比較材として評価した鉄系焼結材のキャビテーション損傷量は非常に少ないが, ADC12ダイカスト材は非常に損耗が激しいことが判る. また高Si粉末鍛造材についてはアルミダイカスト材と比較すると, 損傷量は少ないものの鉄系焼結材との比較では劣っている. 次に粉末鍛造材に於いて, Si添加量を減じ, 代わりに遷移金属 (FeおよびCr) の添加量を増加させると, その損傷量は減少する傾向にある. また細かい粒度の粉末のみを原料に用いたものは更に向上し, 鉄系焼結材と同等もしくはそれ以上の特性が得られている.

Photo. 2 に試験後の試料損傷表面のSEM写真

を示す. 鉄系焼結材とアルミダイカスト材の損傷状態を比較すると (Photo. 2-a, b), 鉄系焼結材の表面は比較的滑らかであるが, アルミダイカスト材には非常に深い孔食が生じていることが判る. また高Si粉末鍛造材の損傷面 (Photo. 2-c) についてもアルミダイカスト材と同様, 深い孔食が生じていることが判る. Photo. 3 にアルミダイカスト材と高Si粉末鍛造材の損傷面を含む垂直断面の光学顕微鏡組織を示す. いずれも組織全体が損傷を受けていることが判る. 一方, Al-16Si-10Fe-2Cr組成粉末鍛造材の損傷表面(Photo. 2-d)に於いては, 部分的な損傷を生じているものの, その他の部分は殆ど損傷していないことが判る. Photo. 4 にこの損傷表面の拡大および損傷面を含む垂直断面の光学顕微鏡組織を示

(a)

(b)

(c)

(d)

Photo. 2 SEM microphotos of surfaces of specimens after cavitation erosion test. (a) Sintered Fe-2Cu-0.5C, (b) Die Cast ADC12-T6, (c) Powder forged Al-25Si-3Cu-1Mg-1Fe, (d) Powder forged Al-16Si-10Fe-2Cr.

(a) 50 μm

(b) 50 μm

Photo. 3 Optical microstructures of near surfaces after erosion test of (a) Die Cast ADC12-T6, (b) Powder forged Al-25Si-3Cu-1Mg-1Fe.

(b) 50 μm

Photo. 4 (a) SEM microphoto. of near surface and (b) Optical microstructure of near surface after erosion test of powder forged Al-16Si-10Fe-2Cr.

す。損傷を受けているのは組織の粗い部分であり、微細組織部分は殆ど損傷していないことが判る。組織の荒い部分は粗大な粉末からなる部分であり、微細組織部は細かい粉末からなっている。この組織の違いはアトマイズによる粉末製造に際し、サイズの細かい粉末ほどその比表面積が大きく、冷却速度が高い為に初晶Siの成長が抑制されると共に、Al(Fe,Cr)Si系の金属間化合物が微細分散した組織となり、逆に粒径の大きい粉末の冷却速度は低く、初晶Siや化合物相が粗大化した組織となっていることによる。高Si粉末鍛造材は硬質の初晶Si量が大量に分散しており、摩擦摩耗に於いてはアルミダイカスト材等と比べると格段に高い耐摩耗性を示すが²⁾、今回行った耐キャビテーション損傷性の評価に於いて

は特性にそれほどの差は見られなかった。これは摩擦摩耗とキャビテーションエロージョンでは、Fig.3に示す様に損耗メカニズムに違いがあることによるものと考えられる。即ち、高Si粉末鍛造材は硬質の初晶Siが多量に分散し、摩擦摩耗時にはこの部分が相手材との真実接触部となり、Si量の少ないアルミダイカスト材と比較して優れた耐摩耗性を示す。この場合、マトリックス部はこの初晶Siを支える役目を果たしている。しかしながら、流体が相手であるキャビテーションエロージョンに於いては、材料表面全体が損傷を受ける為、マトリックス自体にも十分な耐性が要求されるが、高Si粉末鍛造材の場合、そのマトリックスの硬さはダイカスト材と同程度である。この為マトリックスが損傷し易

Fig. 3 Schematic of the comparison of mechanisms of (a) friction wear and (b) cavitation erosion of high Si Aluminum alloy.

く、かつ損傷が進行するにつれ初晶Siも脱落してゆき、更に損傷が進むと考えられる。これに対し遷移金属を添加することにより特に粉末製造時の冷却速度の高い粉末はそのマトリックスが微細な分散化合物相により分散強化され、硬さが上がっている為に損傷が減少しているが、同じ組成であっても粗大粉末部分に於いてはその様な強化機構が十分働いていないと考えられる。

今回評価したいずれの粉末鍛造材についても、その損傷面の観察に於いて旧粉末粒界が選択的に損傷を受け粉末が脱落している、或いは旧粉末粒界が損傷の進行を抑えているという状況は見られなかった。これは粉末鍛造により旧粉末表面酸化被膜の破壊分散が行われ、粉末間の結合が強固なものになっていると共に、旧粉末表面酸化被膜が非常に薄いことと、破壊分散されている為に、損傷の進行を抑えることに寄与していないことによるものと考えられる。

4 ま と め

種々のAl-Si系急冷凝固アルミ合金粉末材および比較材の耐キャビテーション損傷特性に

ついて超音波振動試験法により評価を行い以下の結果を得た。

1. 鉄系焼結材と比較してアルミダイカスト材のキャビテーション損傷は激しく、また高Siアルミ粉末鍛造材についてはアルミダイカスト材と比較すると損傷量は少ないものの鉄系焼結材との比較では劣っている。
2. 遷移金属の添加によりアルミ粉末鍛造材の損傷量は減少し、また細かい粒度の粉末のみを原料に用いたものは更に向上し鉄系焼結材と同等の特性が得られている。
3. 遷移金属を添加することにより特に粉末製造時の冷却速度の高い粉末はそのマトリックスが微細な分散化合物相により分散強化され、硬さが上がっている為に耐キャビテーション損傷性が向上していると考えられる。

文 献

- 1) 1987 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Vol 03.02 (1987) 187.
- 2) 大槻真人, 河野 通: 粉体および粉末冶金 37 (1991) 513.