

ショットピーニング投射材用 1200 HV 級 FeCrB ガスアトマイズ粉末の開発

澤田 俊之¹⁾ 柳谷 彰彦²⁾

1. はじめに

燃費向上や CO₂ 排出量削減等の環境対応を背景に、自動車用部品には小型化・軽量化の要求が強く、材料の高疲労強度化が重要技術となっており、浸炭焼入れなど材料表面の高硬度化が行なわれている。さらに疲労強度を向上させる表面処理であるショットピーニングが、これら材料に施され、自動車用ギヤやバネなどに適用されている。

一般に、ショットピーニングに使用される投射材には高硬度、高密度および高靱性が要求されるが、浸炭焼入れ材などの高い表面硬度を有する被処理材料に投射する場合は、特に高い硬度を有することが要求される。市販の金属系投射材としては、铸鋼、粉末ハイスが一般的であるが、ビッカース硬度の高いものでも 900~950 HV レベルである。近年では高硬度投射材としてアモルファス合金⁽¹⁾も開発されているが、ビッカース硬度は約 950 HV である。このように従来の金属系投射材では 950 HV レベルのビッカース硬度が限界であったが、更なる部材の高疲労強度化の要求に応えるため、投射材の高硬度化が強く望まれていた。また、投射材は使用中に破砕する消耗品であるため、高靱性、低コストおよび大量生産性も要求される。

これらのニーズに対して、1200 HV 級の超高硬度を有し、7.4 Mg/m³ の密度と従来の铸鋼や粉末ハイス投射材と比較し、3~4 倍の長寿命を兼ね備えた FeCrB 粉末を開発した。この FeCrB 粉末は、V, Co, Ni, Mo, W などの高価な原料を必要とせず、汎用のガスアトマイズ装置で製造可能であることから、コストおよび量産性にも優れている。

2. 高硬度 FeCrB 粉末の合金設計⁽²⁾および基礎特性

高価な原料を含まず、従来にない高硬度な投射材用合金を設計するにあたり、約 1600 HV の高硬度を有するセラミックスである Fe₂B に着目した。Fe₂B は密度が約 7.3 Mg/m³ と金属系投射材と同等であり、融点が 1683 K であるため通常の耐火物製坩堝で溶解が可能であり、汎用のガスアトマイズ装置での製造が可能であると考えられた。しかしながら、単にガスアトマイズにより Fe₂B を作製した場合、高硬度ではあるが脆性なセラミックスであるため、投射材としての寿命に劣る可能性があった。そこで Fe₂B の量論組成より Fe リッチとし、Fe-Fe₂B 系の過共晶組成域の合金を設計した。この過共晶組成の溶湯をアトマイズガスにて急冷凝固することにより、初晶となる高硬度 Fe₂B 粒子を微細に分散し、その粒子間を延性の高い α Fe と Fe₂B の共晶組織で結合することにより、高硬度と高靱性を兼ね備えるミクロ組織を得ることを狙いとした。更に、投射材が使用される通常の環境で発錆しない耐食性を付与するため、8Cr を添加することとした。

Fe-B 系 2 元状態図において、Fe-Fe₂B 系過共晶組成域となる B 量を含む、Fe-8Cr-4~9.5B のガスアトマイズ粉末を試作し、諸特性に及ぼす B 添加量の影響を評価した⁽³⁾。図 1, 2 に示す通り、B 添加量にともないビッカース硬度は増加、密度は減少した。更に、これら粉末の靱性を簡易的に評価するため、樹脂埋め研磨試料にビッカース硬度計で 1000 g の荷重を掛け、圧痕からのクラック発生率を評価した。その結果、図 3 に示す通り、6B 前後においてクラックを発生せず、高い靱性を示したため、高硬度と高靱性を兼ね備える合金として、Fe-8Cr-6~7B 粉末(以下、FeCrB 粉末と称す)を開発した。FeCrB 粉末は概ね球形状であり、狙い通り数 μ m の初晶 Fe₂B を共晶組織が結合したミクロ組織を有している(図 4)。また、铸鋼や粉末ハイスと比較し極めて高い硬度を有し(図 5)、金属系投射材の特徴である高密度(図 6)を兼ね備えている。

* 山陽特殊製鋼株式会社
粉末事業部 粉末技術部 開発グループ: 1) 研究員
粉末事業部: 2) 事業部長
Development of 1200 HV-Class Gas Atomized FeCrB Alloy Powder for Shot Peening Media; Toshiyuki Sawada, Akihiko Yanagitani (Sanyo Special Steel Co., Ltd.)

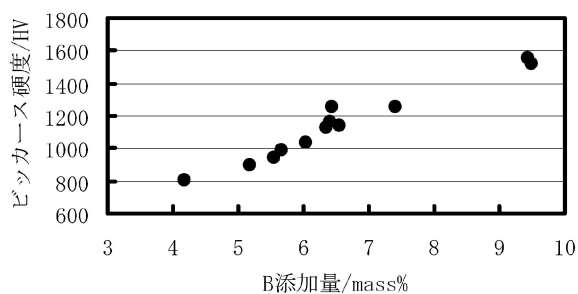


図1 Fe-8Cr-4~9.5B ガスアトマイズ粉末のビッカース硬度.

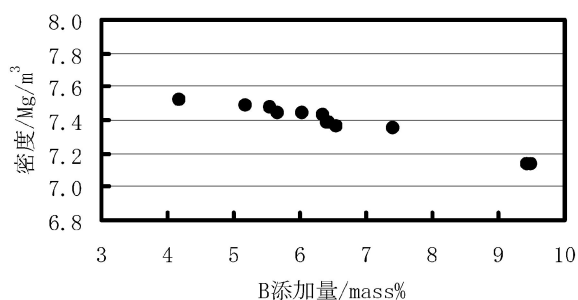


図2 Fe-8Cr-4~9.5B ガスアトマイズ粉末の密度.

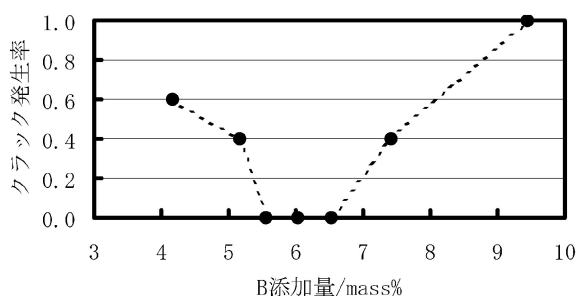


図3 Fe-8Cr-4~9.5B ガスアトマイズ粉末の簡易靱性評価.

3. FeCrB 粉末のショットピーニング特性

(1) 投射材としての寿命特性⁽⁴⁾

エア式ショットピーニング装置を用い、FeCrB 粉末および汎用投射材を SCM420 ガス浸炭材のターゲットに対し 24 h 連続噴射した。投射材はターゲットとの衝突により破碎、微粉化し装置外へ排出される。この試験後、投射材が減少した量の逆数を投射材の寿命として評価した。粉末ハイス A を 1 とした寿命比を図 7 に示す。FeCrB 粉末は鋳鋼や粉末ハイス A の 3~4 倍の長寿命を有している。これは、図 8 に試験後投射材の外観を示す通り、衝突による外観の変形が顕著な鋳鋼や粉末ハイス A と比較し、高硬度を有する FeCrB 粉末は変形が少なく、図 9 に試験後投射材の断面を示す通り、FeCrB 粉末は投射材内部のクラック発生も抑えられていることに起因すると考えられる。従来の結晶材料からなる投射材では、硬度が高くなるに従い耐衝撃性が低下し寿命が悪くなる⁽¹⁾と考えられていたが、FeCrB 粉末は 1200 HV の超高硬度を有することから、衝突による歪み量が極めて小さく抑えられる結果、従来の傾向に反し長寿命となったものと推察

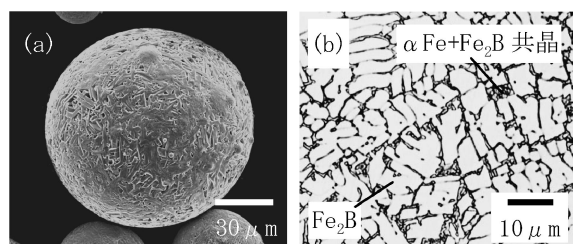


図4 FeCrB 粉末の(a)外観 SEM 像および(b)ミクロ組織.

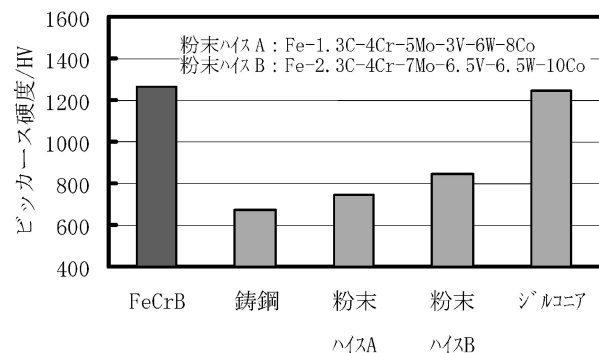


図5 FeCrB 粉末および汎用投射材のビッカース硬度比較.

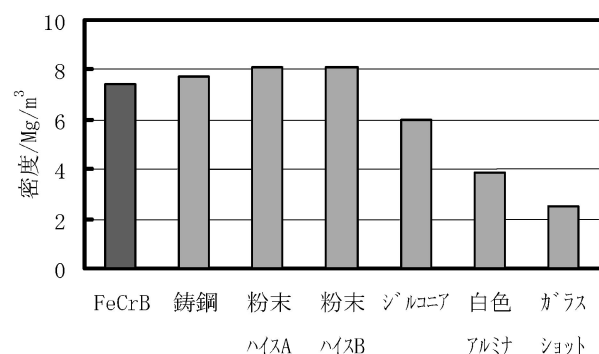


図6 FeCrB 粉末および汎用投射材の密度比較.

される。

(2) SCM420 ガス浸炭材へのショットピーニング特性⁽⁵⁾

各種投射材をショットピーニングした SCM420 浸炭材の表面残留応力分布(図10)、表面硬度分布(図11)、小野式回転曲げ疲労試験結果(図12)を示す。粉末ハイス A と比較し FeCrB 粉末を投射材としたショットピーニング材の圧縮残留応力は、最表面で 110 MPa、最大値で 40 MPa 大きく、約 10 μm 深くまで付与されている。また表面硬度は 60 HV 高く、疲労強度を 100 MPa 向上することができる。粉末ハイス A を投射した SCM420 の回転曲げ疲労試験破面が全て表面起点であったのに対し、FeCrB 粉末を投射したものは、最も低サイクルで破断した破面以外は全て表面から 30~60 μm の内部に起点があったことから、より高硬度な FeCrB 粉末を投射することにより表面が強化され、高疲労強度化が達成されたと考えられる。

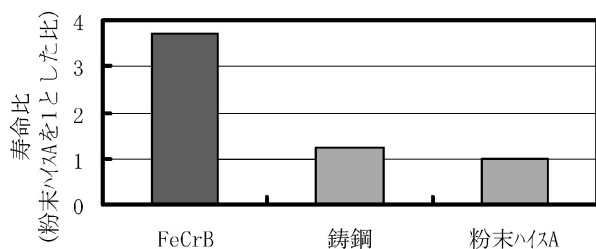


図7 FeCrB 粉末および汎用投射材の寿命特性.

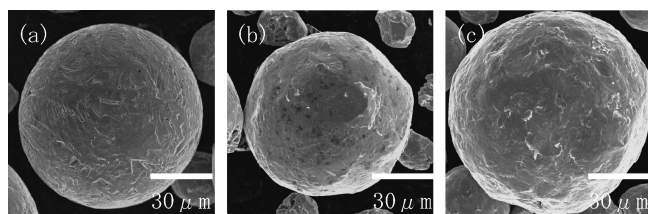


図8 寿命試験後投射材外観. (a) FeCrB (b) 鋳鋼 (c) 粉末ハイス A

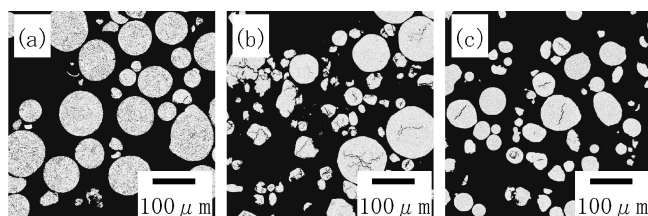


図9 寿命試験後投射材断面. (a) FeCrB (b) 鋳鋼 (c) 粉末ハイス A

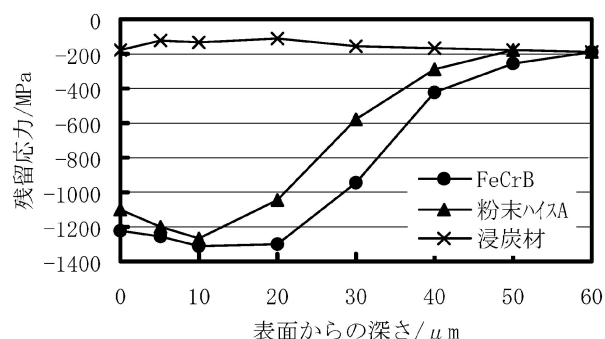


図10 SCM420浸炭材の残留応力.

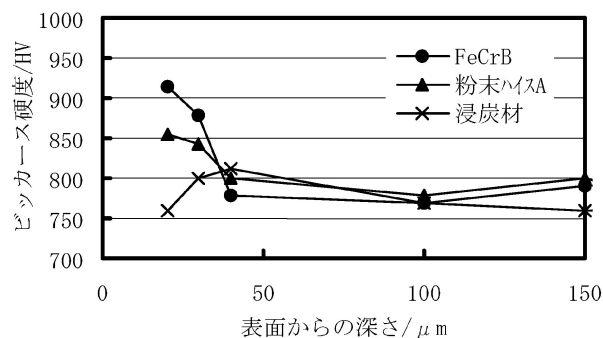


図11 SCM420浸炭材の表面硬度.

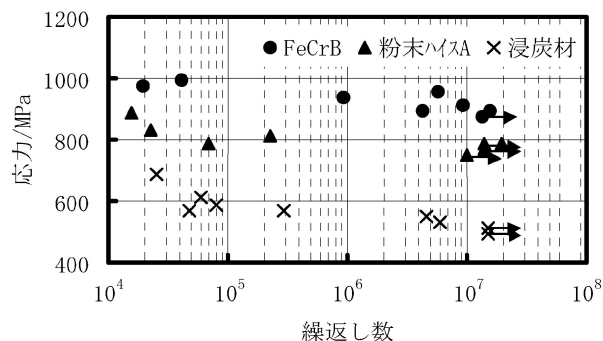


図12 SCM420浸炭材の回転曲げ疲労強度 (形状係数 $\alpha = 1.96$).

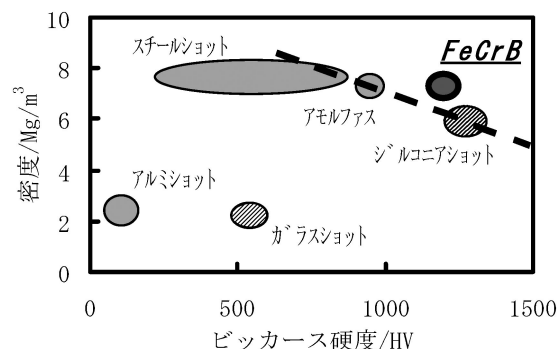


図13 開発した FeCrB 粉末と汎用投射材の位置付け.

4. まとめと特許出願

FeCrB 粉末は汎用投射材と比較し、高硬度、高密度(図13)および長寿命を有し、原料費が安価で、当社量産設備である2tの溶解炉を持つガスアトマイザーでの製造実績もあり量産性にも優れている。

FeCrB 粉末は、鋳鋼や粉末ハイスなど従来の投射材を用いたショットピーニング処理よりも疲労強度を大幅に向上することができ、各種部品の小型化・軽量化への寄与が期待される。

現在、2件の特許を出願中であり、うち1件が登録済み。

文 献

- (1) 奥村 潔, 黒崎順功, 西村一敏, 木村久道, 井上明久: まてりあ, **43**(2004), 142-144.
- (2) 澤田俊之, 柳谷彰彦: 山陽特殊製鋼技報, **15**(2008), 36-42.
- (3) 澤田俊之, 柳谷彰彦: 日本金属学会誌, **73**(2009), 401-406.
- (4) 澤田俊之, 柳谷彰彦: 日本金属学会誌, **73**(2009), 666-669.
- (5) 澤田俊之, 柳谷彰彦: 日本金属学会誌, **73**(2009), 26-32.