

第33回 日本金属学会技術開発賞 「ショットピーニング投射材用 1200HV級FeCrBガスアトマイズ粉末の開発」

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・軽量化の要求が強くなり、材料の高疲労強度化が重要な技術課題となっており、浸炭焼入れなどの表面硬化処理とともに疲労強度を向上させるショットピーニングが、ギヤ、シャフト、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、高密度および繰返し使用に耐える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ている¹⁾。また、ショットピーニング処理材の最表面近傍に大きい圧縮残留応力を導入できる、微粒子ショットピーニングの適用分野が広がることが予測されている²⁾。

これらのニーズに対して、1200HV級の超高硬度を有し、7.4Mg/m³の密度と従来の粉末ハイスや鑄鋼製投射材と比較し、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、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。なお、ガスアトマイズ法による粉末は100μm前後の粒径が効率的に製造できることから、微粒子ショットピーニング用の投射材に適している。

本開発に対し、第33回（2010年）日本金属学会技術開発賞を受賞した。

以下に、このたびの受賞技術について紹介する。

2. 高硬度FeCrB粉末の開発経緯および基礎特性

高硬度、高密度を有し、安価な原料からなり、さらにガスアトマイズ法で製造可能な融点を有するFe₂Bに着目した。Fe-Fe₂B系の過共晶組成域の溶湯を噴霧ガスにて急冷凝固させることで、初晶となるFe₂B粒子を微細に分散し、その粒子間を延性の高いαFeとFe₂Bの共晶で結合することにより、高硬度と高靱性を兼ね備える合金粉末を得ることを狙いとされた。さらに、通常の使用環境で発錆しない耐

食性を付与するため、適量のCrを添加した。

B量を数水準に変化させたFe-Cr-B系ガスアトマイズ粉末を試作し、ビッカース硬さ、密度に及ぼすB添加量の影響を評価した。図1、2に示す通り、B添加量にともないビッカース硬さは増加し、密度は減少した。さらに、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1000g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、高い靱性を示すB量を見出し、高硬度と高靱性を兼ね備えるFeCrB粉末を開発した。FeCrB粉末の外観およびマイクロ組織を図4に、汎用投射材との比較してのビッカース硬さおよび密度を、それぞれ図5および図6に示す。

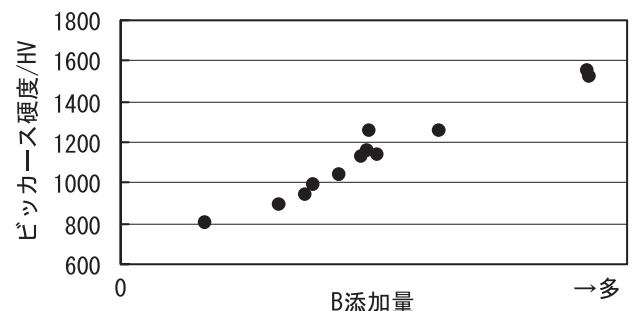


図1 Fe-Cr-Bガスアトマイズ粉末のビッカース硬さに及ぼすB量の影響

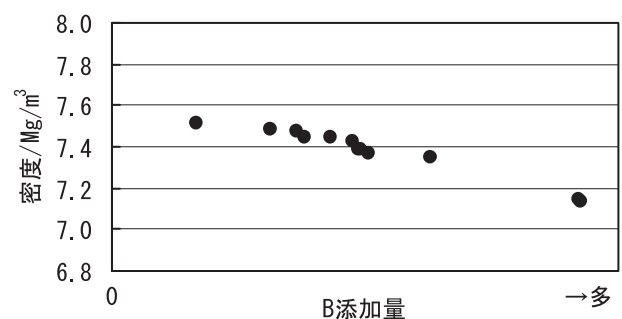


図2 Fe-Cr-Bガスアトマイズ粉末の密度に及ぼすB量の影響

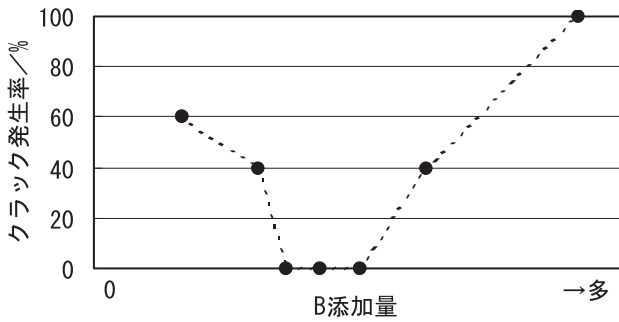


図3 B量を変化させたFe-Cr-Bガスアトマイズ粉末の簡易靱性評価

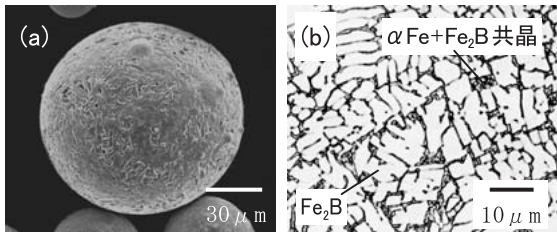


図4 FeCrB粉末の(a)外観SEM像および(b)ミクロ組織

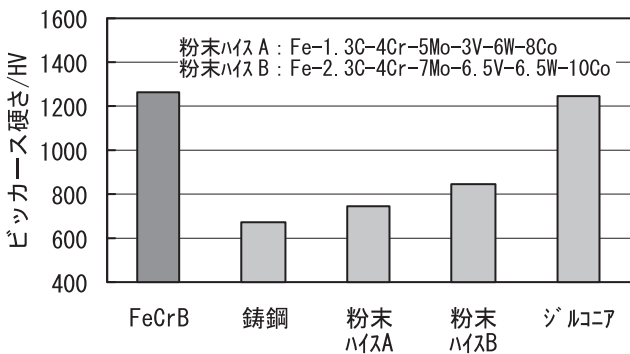


図5 FeCrB粉末および汎用投射材のビッカース硬さ比較

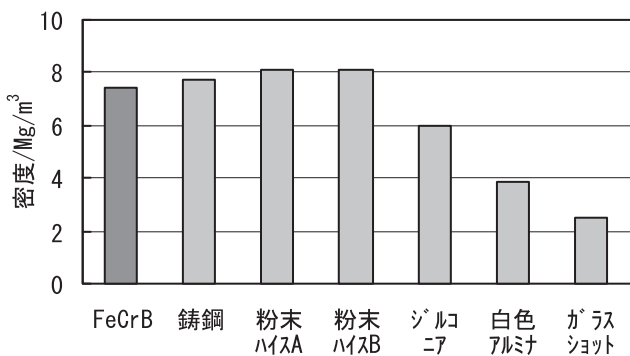


図6 FeCrB粉末および汎用投射材の密度比較

3. FeCrB粉末のショットピーニング特性

3.1 投射材としての寿命特性

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24h連続噴射した。投射材はターゲットとの衝突により破砕、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。図8に試験後投射材の外観を示す通り、衝突により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粉末は変形が少ない。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少ない。

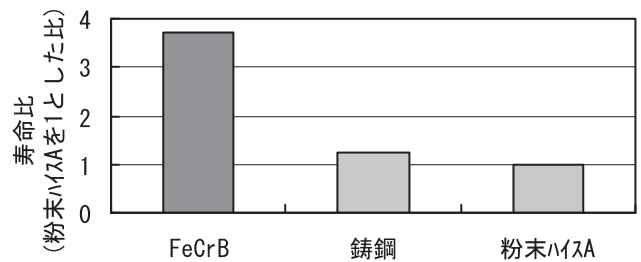


図7 FeCrB粉末および汎用投射材の寿命特性

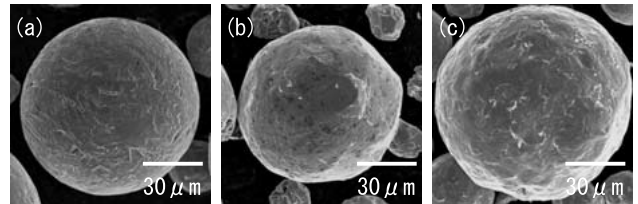


図8 寿命試験後投射材外観 (a)FeCrB (b)鋳鋼 (c)粉末ハイスA

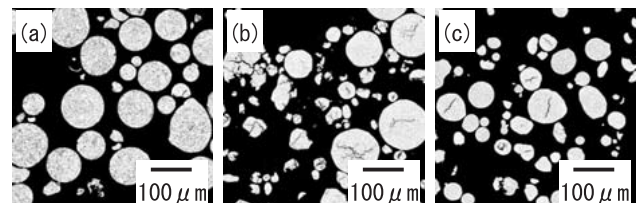


図9 寿命試験後投射材断面 (a)FeCrB (b)鋳鋼 (c)粉末ハイスA

3.2 SCM420ガス浸炭材へのショットピーニング特性

各種投射材をショットピーニングしたSCM420浸炭焼入焼戻し材の表面残留応力分布を図10に、表面硬さ分布を図11に、小野式回転曲げ疲労試験結果を図12に示す。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は圧縮残留応力が大きく、表面硬さは60HV高く、疲労強度は100MPa向上した。

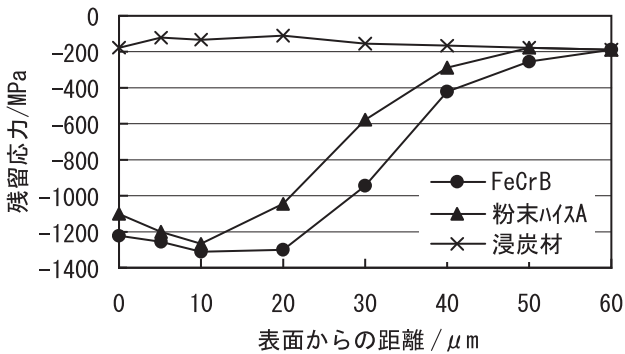


図10 SCM420浸炭材の残留応力分布 (ショットピーニング前後)

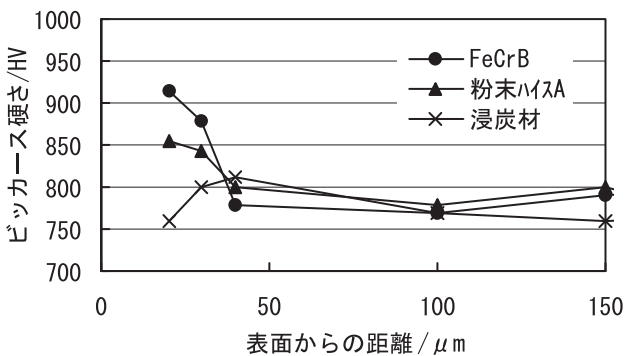


図11 SCM420浸炭材の表面硬さ分布 (ショットピーニング前後)

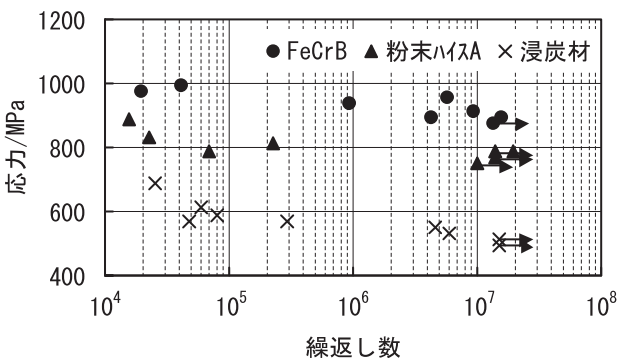


図12 SCM420浸炭材の回転曲げ疲労強度 (形状係数 $\alpha=1.96$)

3.3 SKD11焼入焼戻し材へのショットピーニング特性

各種投射材をショットピーニングしたSKD11焼入焼戻し材の表面残留応力分布を図13に、表面硬さ分布を図14に、小野式回転曲げ疲労試験結果を図15に示す。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は圧縮残留応力が大きく、表面硬さは100HV高く、 10^4 以下の低サイクルにおいて約2倍の繰返し数を示した。

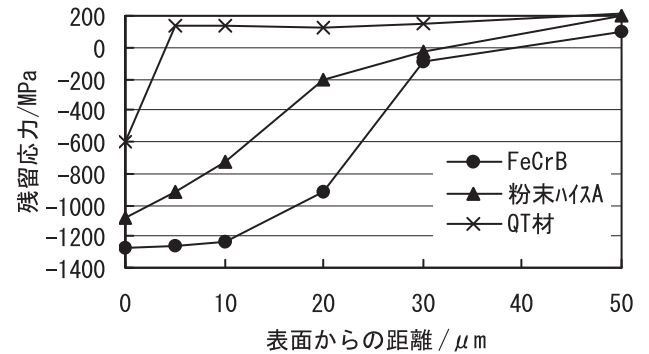


図13 SKD11焼入焼戻し材の残留応力分布 (ショットピーニング前後)

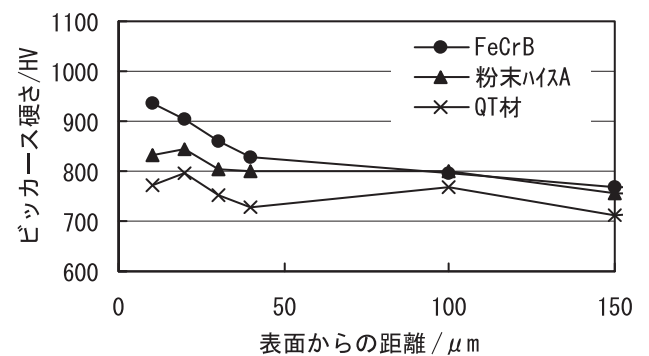


図14 SKD11焼入焼戻し材の表面硬さ分布 (ショットピーニング前後)

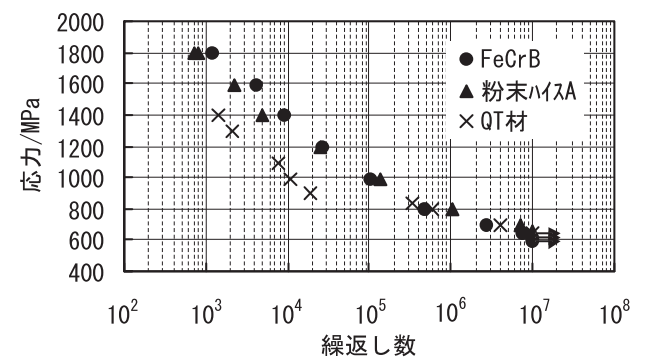


図15 SKD11焼入焼戻し材の回転曲げ疲労強度

4. まとめと特許出願

FeCrB粉末は汎用投射材と比較し、図16に示すように高硬度、高密度を有し、原料費が安価で、当社量産設備での製造実績もある。

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・軽量化への寄与が期待される。さらに、長寿命であることから、ショットピーニングのトータルコスト低減も期待される。

これまでに、本投射材に関連する特許を多数出願しており、うち1件が登録済みである。

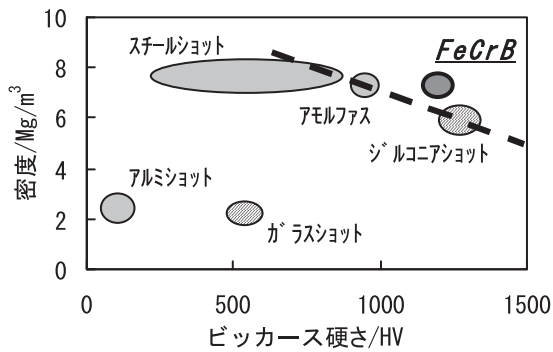


図16 開発したFeCrB粉末と汎用投射材の位置付け

参考文献

- 1) 小川一義, 浅野高司: ばね論文集, 48 (2003) 31-38.
- 2) 奥村潔: 機能材料, 29 (2009) 16-24.