

低コストエンジン排気バルブシート材の開発

Development of Low-cost Material for Engine Exhaust Valve Seat

桶谷 裕之*
Hiroyuki OKETANI

坪田 隆志*
Ryushi TSUBOTA

石田 正雄*
Masao ISHIDA

要 旨

酸化被膜生成の積極利用を主眼においた低コスト排気バルブシート材を開発した。酸化被膜生成性向上のための最適密度設定、第二硬質粒子の最適添加量設定、微細空孔のためのベース鉄粉形状の工夫により再圧縮再焼結(2P2S)や銅溶浸、樹脂含浸等の特別な成形方法を用いず、またCr-Mo-Co粉やCo, Ni単粉などの高価粉末を用いることなく、現行材と同等以上の耐摩耗性や被削性を確保しながらも素材費として40%以上の原価低減を可能にした。

ABSTRACT

A low-cost material for engine exhaust valve seats has been developed with the aim of a positive use of an oxide layer. A cost reduction of more than 40% has been attained while maintaining the same or better anti-wear characteristics and machinability as current materials by the optimum designation of density, the optimum addition of secondary hard particles and the special consideration given to the basic iron powder shape for microscopic vacancy without using a special molding method such as repressing and resintering (2P2S), copper infiltration, resin impregnation, nor using a high cost material such as Cr-Mo-Co, Co, or Ni powder to improve the generation of an oxide layer.

1. まえがき

エンジンのバルブシートは材質自由度、コスト、耐摩耗性の観点から、鉄系焼結材を用いた圧入タイプが主流となっている。また、年々厳しくなる排ガスエミッション規制や省燃費に対応するため実用空燃比が理論空燃比に接近しているので、燃焼生成物による緩衝効果が期待できず、排ガス温度の上昇⁽¹⁾や燃焼圧力の増大も含めて焼結バルブシート(以下、バルブシートという)への耐摩耗性向上要求が高まっている。そのためにバルブシート材も再圧縮再焼結(以下、2P2Sという)、銅溶浸等の特殊製法やCo基合金粉(Cr-Mo-Co系)、Co, Ni単粉のような高価粉末の添加にて耐摩耗性確保に対応してきている。その結果、バルブシートのコストは従来に比べ大きく増加してしまう。

今回、エンジン運転中での酸化被膜(四三酸化鉄)生成に着目し、その積極利用による低コストでありながら優れた耐摩耗性を有する排気バルブシート材を実用化したので、その内容について報告する。

*朝霞研究所

2. 開発のねらい

現在、Honda製二輪車にて採用中の排気バルブシート材の素材費と単体リグテストデータによる耐摩耗特性一覧をFig. 1に示す。

本開発材のねらいは、廉価でかつ高耐摩耗特性を確保できるFig. 1内に赤色で示す部分を開発の目標とした。具体的には耐摩耗性は現行材同等、材料コストとして現行比-30%以上とした。

3. 実機相関性の高い単体摩耗テストの確立

開発を始める前に、二輪車用エンジンの低コストバルブシート材として、過去に四輪車用に開発されたバルブシート材(以下、転用材という)の水平展開を試み適合性評価テストを実施したが、Fig. 2に示すように実機耐久は単体摩耗結果とは逆に現行材に対して大きく劣る結果となった。

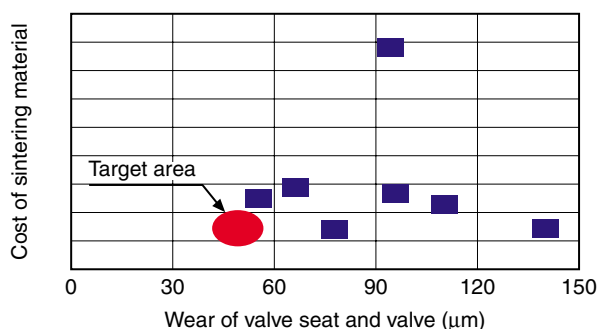


Fig. 1 Target of development

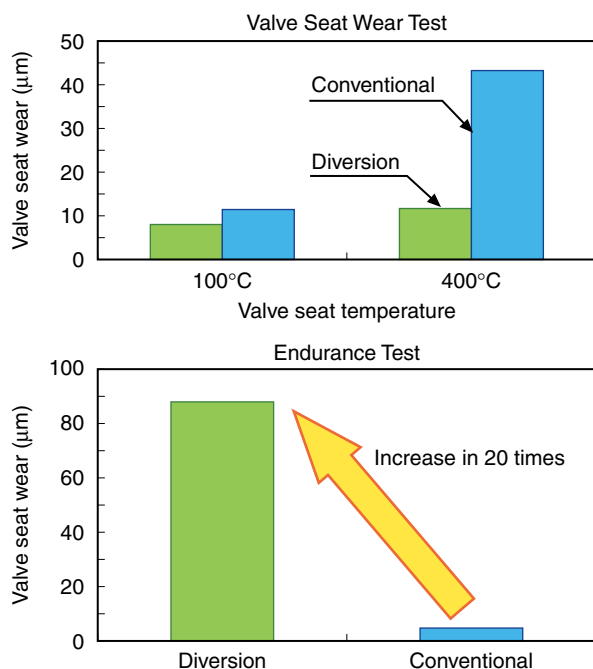


Fig. 2 Result of valve seat wear test & endurance test

3.1. 実機耐久後品の解析

摩耗の発生した転用材の高速実機耐久品を調査した結果、Fig. 3に示すようにバルブシートフェース面に燃焼生成物の付着、酸化皮膜の生成が認められず、メタルコンタクトしていた。更には二輪車用エンジン特有の高回転(10 000 r/min以上)状況下でバルブとのなじみ不足のため、初期摩耗が発生していることがわかった。

3.2. 単体摩耗試験の実機とのシミュレート

Fig. 4に単体摩耗試験装置と試験条件を示す。従来、単体摩耗試験は、空燃比8・9でおこなっておりバルブシートフェース面に燃焼生成物の付着が多く認められ、耐摩耗性に有利な条件で評価をおこなっていた。試験後のバルブシートフェース面には燃焼生成物である炭素が多く認められ、実機耐久後品とは大きく異なる面性状である。

そこで空燃比を13・14に変更することによる燃焼生成物付着の減少、かつ、カム回転数も従来の3 000 r/minから

4 500 r/minに増加し実機同様バルブ着座荷重の上昇をねらった。その結果、Fig. 5に示すとおりの実機耐久評価と同様の摩耗結果が得られた。Fig. 6に示すように実機で摩耗の多い転用材の試験後バルブシートフェース面には燃焼生成物や表面酸化が認められず、実機耐久後品と同様の面性状が再現できた。本条件を単体摩耗テストの標準条件とした。

4. 材料仕様

4.1. 材料コンセプト

Fig. 4に示した条件による単体リグテストによるバルブシート部温度とバルブシート及びバルブフェース部の摩耗傾向をFig. 7に示す。バルブシート摩耗は中間温度領域ま

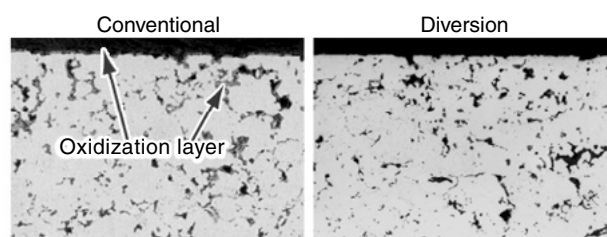
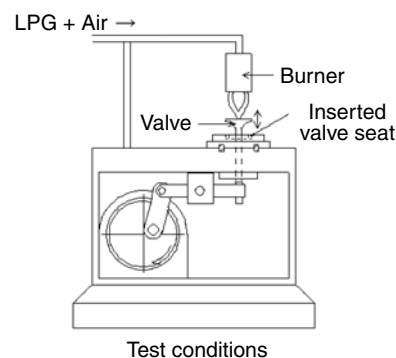


Fig. 3 Microstructure after endurance test



	Test conditions	
	Conventional	Improvement
Cam revolution	3 000 r/min	4 500 r/min
Valve revolution	10 r/min	10 r/min
Test time	4.5 hr	9 hr
Valve material	45% Ni	45% Ni
Air fuel ratio	8-9	13-14

Fig. 4 Valve seat and valve wear testing machine

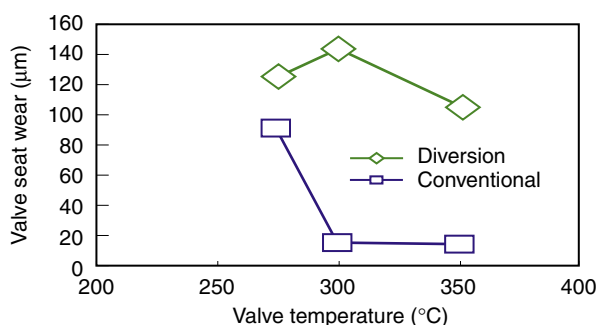


Fig. 5 Result of improvement valve seat wear test

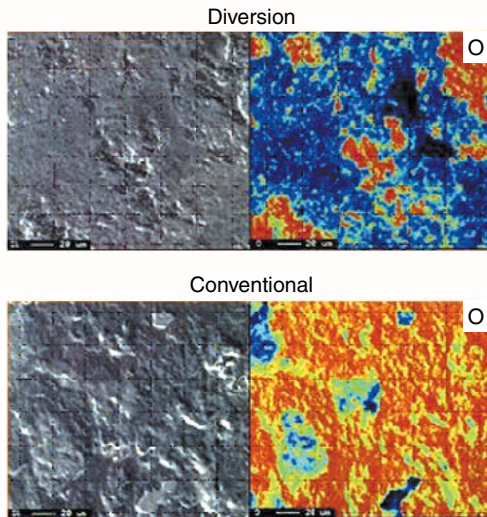


Fig. 6 Surface analysis (EPMA)

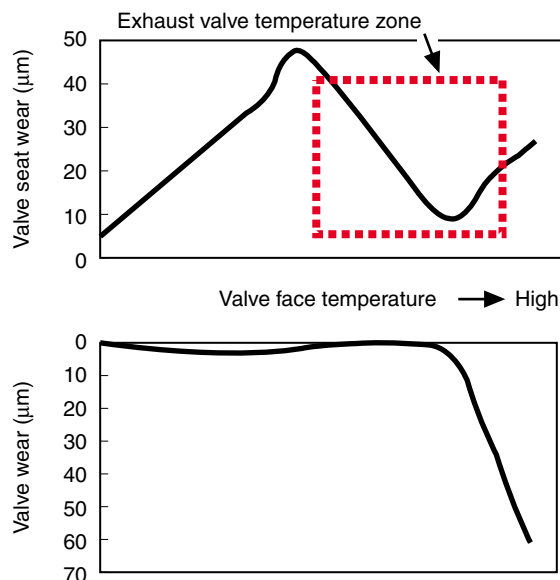


Fig. 7 Valve seat wear of temperature dependability

では温度に比例して摩耗量が増加していくが、ある温度からは摩耗量が減少する傾向にある。これは酸化被膜(四三酸化鉄)の低摩擦係数と耐凝着性効果が大きく関与し摩耗量が減少したものと考えられる。更に温度が上昇するとバルブシートとバルブフェースとの高温硬度バランスが崩れだすためバルブフェース部摩耗が促進される。

二輪車用エンジンにおいては、過去のデータから Fig. 7 に示す赤色破線の範囲内が排気バルブシートとしての使用温度領域となることが判明している。

実車の走行条件はさまざまであり、運転条件によってバルブシート周りの雰囲気も大きく変化することを考慮すると、安定的に耐摩耗性を確保するためには良好な酸化被膜生成の早期発生が重要であると考え本開発材のコンセプトは廉価な手法、粉末による酸化膜生成性の確保とした。

4.2. 基地材の検討と選定

基地用のベース鉄粉は、基地材の酸化を促進するために、球状鉄粉ではなく不定形状で表面積の大きい異形鉄粉を使用した。Fig. 8 に酸化特性を表す酸化加熱試験結果を、Fig. 9に試験後の内部組織写真を示す。球状鉄粉である従来材に対して異形鉄粉を使用した開発材の内部組織は細かい空孔が多数存在しており、これにより酸化加熱試験結果が良好であったものとする。

次に高温時の耐熱性付与のために基地の合金化を検討した。従来から多用されている Co 単粉は良好な酸化被膜を形成するという意味では有益ではあるが、粉末としてのコストが増加する。また、環境対応に配慮して添加候補材から除外した。Ni単粉についても同様にコスト増と環境規制の観点から候補材から外し、各種合金鋼粉からの選定とした。選定基準は酸化被膜形成性、焼結時の拡散性を最重要視し粉末コスト、硬さ、被削性等の観点も加え最終的に Ni-Cu-Fe の部分拡散合金鉄粉を選択した。

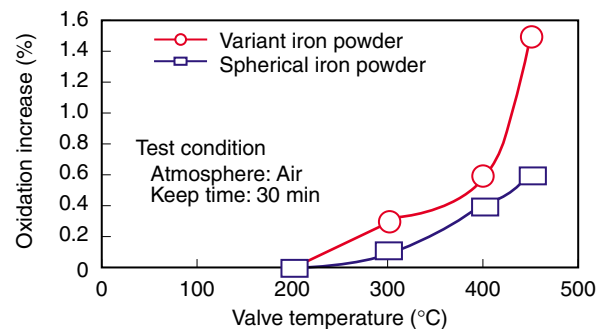


Fig. 8 Oxidation test of base iron powder

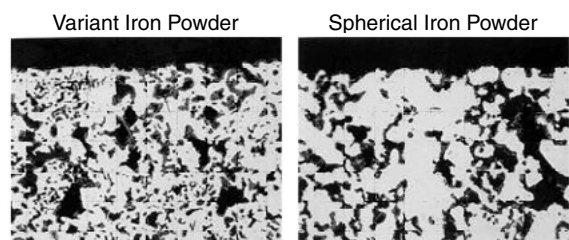


Fig. 9 Microstructure after oxidation test

4.2.1. 硬質粒子材の選定

硬質粒子はバルブシートの耐摩耗性への影響が最も大きく鉄系焼結バルブシート材の基本となる項目である。選定にあたっては摩擦係数、酸化被膜生成性、基地との拡散性、破壊じん性、粉末コスト等の観点から検討をおこなった。主要硬質粒子の潤滑性テスト結果を Fig. 10 に示す。

Mo-Ni-Cr-Co 系硬質粒子粉は動摩擦係数およびスカップ荷重評価で C-Cr-W-Co 系ステライト粉や Fe-Mo 系フェロアロイ粉を上まわり Co 基合金粉 Cr-Mo-Co 系に次ぐ特性を示している。

また、基地への拡散性も硬質粒子の脱落の防止や基地材の高合金相形成のために重要な因子であるが Mo-Ni-Cr-Co

粉は Fig. 11 に示すようにステライト粉やフェロアロイ粉に比べ拡散性が優れている。本開発材用の硬質粒子としては破壊じん性や粉末コストを加味した総合的判断から Mo-Ni-Cr-Co 粉を選定した。Cr-Mo-Co 粉は耐摩耗凝着性には

優れているが非常に高価な粉末であるため、低コスト化を目標としている本開発材においては適用外とした。Fig. 12 に各硬質粒子の Cr-W-Co 系コストを 1 とした場合の各粒子の粉末コスト比率を示す。

4.2.2. 硬質粒子添加量の検討

次に Mo-Ni-Cr-Co 粉の最適添加量について検討をおこなった。硬質粒子添加量と摩耗量の関係について、実機とシミュレーションした条件での単体摩耗試験結果を Fig. 13 に示す。バルブシート摩耗量は硬質粒子の添加増量に伴い減少していくが、その効果は 20% 以上からはサチレート傾向にある。逆にバルブフェース部摩耗量は 20% 以上からは増加する傾向にある。上記テスト結果とコスト見地から開発材の硬質粒子添加量は 20% とした。

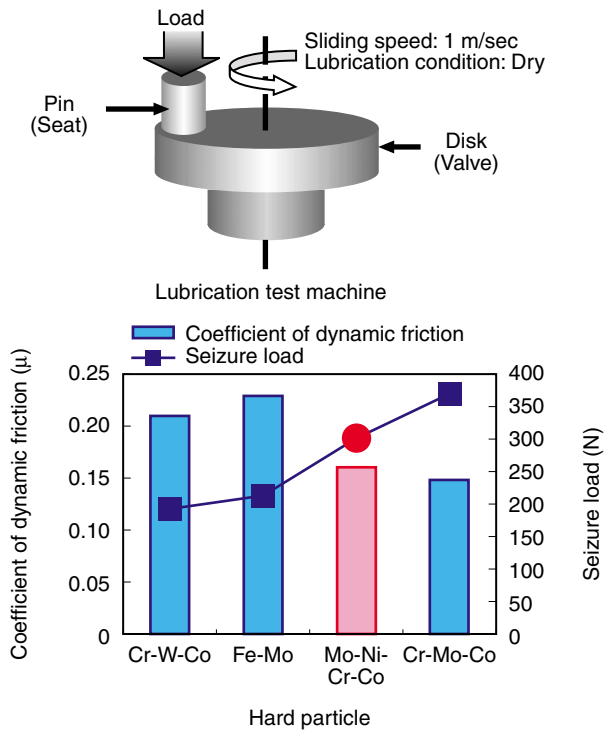


Fig. 10 Lubricity of hard particle

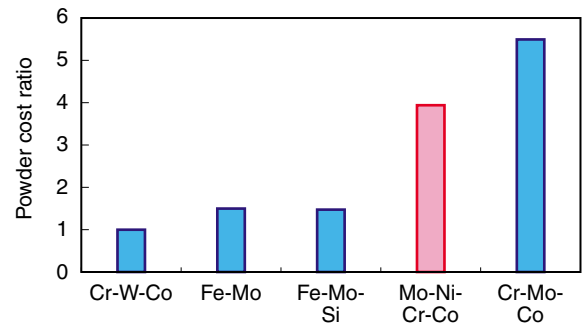


Fig. 12 Cost of hard particle

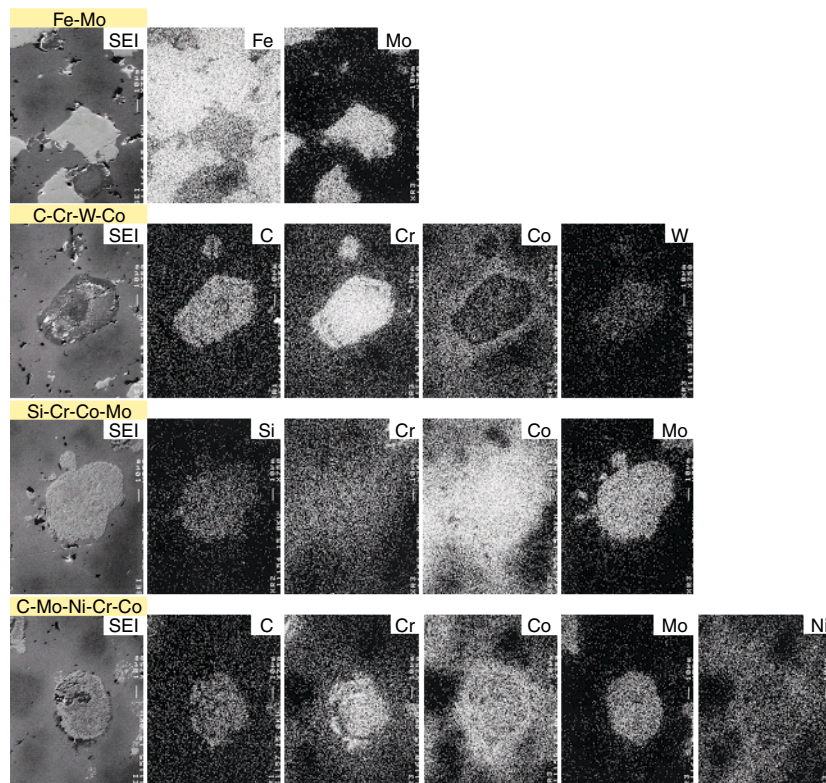


Fig. 11 Surface ultimate analysis development (EMPA)

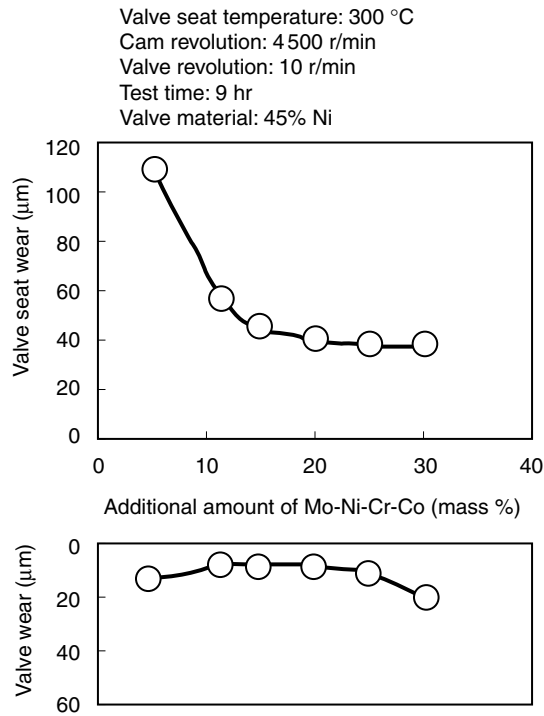


Fig. 13 Effects of hard particle amount for wear amount

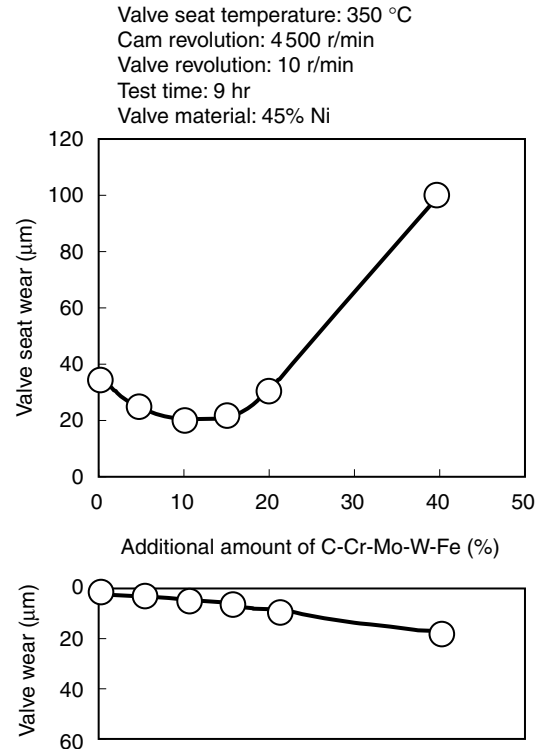


Fig. 14 Effects of fine carbide amount for wear amount

4.3. 第二硬質粒子材の添加量の検討

主硬質粒子以外に酸化被膜生成前の初期摩耗を抑制する見地から微細粉による第二硬質粒子の最適添加量を検討した。硬質粒子の種類は硬度、粉末コスト、海外入手性を考慮し高速度工具鋼の C-Cr-Mo-W-V-Fe 粉を選定し添加量は酸化被膜生成性および耐摩耗性の見地から決定した。基材材用鉄粉を異型鉄粉と Ni-Cu-Fe の部分拡散合金鉄粉とし主硬質粒子粉を Mo-Ni-Cr-Co 粉で添加量を 20% に固定したシート材に第二硬質粒子添加量を変化させてみた。第二硬質粒子添加量と摩耗量の関係について、単体摩耗試験結果を Fig. 14 に示す。添加量 10% が最も低くそれより添加量を少なくしても多くしても、摩耗量は増加していく傾向にある。

Fig. 15 に酸化増量によるシート材酸化試験結果を、Fig. 16 に圧環強度試験結果をそれぞれ示す。C-Cr-Mo-W-V-Fe 粉の添加量に反比例して酸化増量は減少していく傾向にある。逆に圧環強度は添加量に比例し増大していく傾向にある。このことから C-Cr-Mo-W-V-Fe 粉の過度の添加は酸化被膜生成性を損ない耐摩耗性に影響を及ぼすことが推察された。第二硬質粒子である高速度工具鋼粉の添加量は圧環強度および酸化被膜生成性の観点から 10% とした。

4.4. 最適密度の検討

密度を各種変更し耐摩耗性試験を実施した結果を Fig. 17 に示す。一般的にはパルプシート材の耐摩耗性は密度の上昇に伴い耐摩耗性は向上すると言われているが、本開発材においては耐摩耗性に対して最適密度が存在することが判明した。

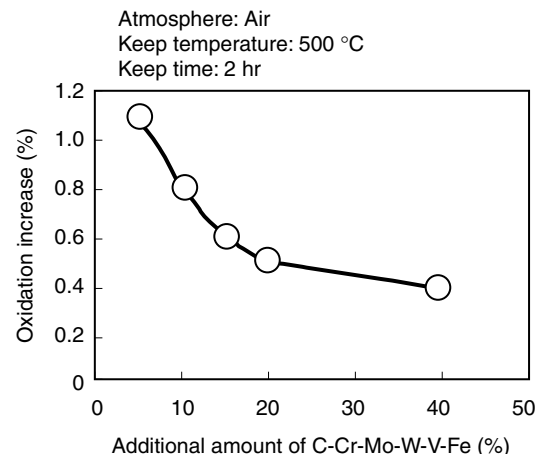


Fig. 15 Effects of fine carbide amount for oxidation increase

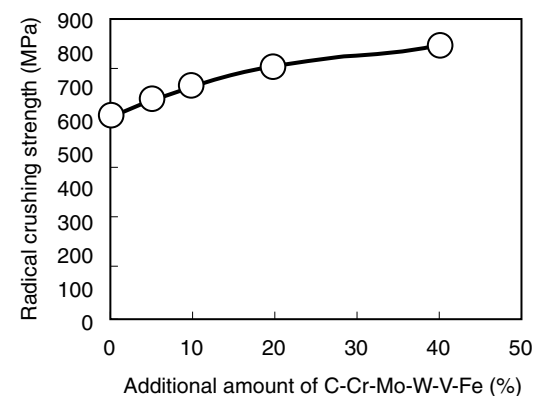


Fig. 16 Effects of fine carbide amount for radical crushing strength

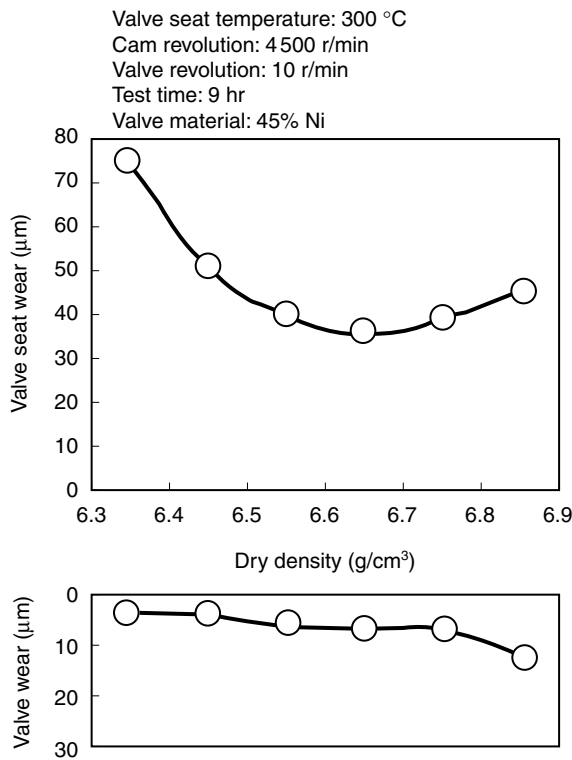


Fig. 17 Effects of dry density for wear amount

上記事象を酸化被膜性と圧壊強度の見地から考察した。Fig. 18 に圧壊強度試験結果を、Fig. 19 に酸化増量試験結果を示す。酸化増量試験には比較品として基地材に Co 単粉を使用したものも併せておこなった。圧壊強度試験では圧壊強度は密度の上昇に伴い増加する傾向にある。

しかしながら、酸化増量試験結果では基地材に Co 単粉を使用したものは密度変化に対する酸化増量変動が少なく安定的であるのに対して、基地材に Co 単粉を使用しない本開発材では密度低下に伴い酸化増量が増加する傾向にある。このことから、本粉末組成での密度増加は必ずしも耐摩耗性向上には寄与しないことから、開発材の設定密度を 6.55-6.75 g/cm³ とし 1 回圧縮、1 回焼結(1PIS)にて十分可能な成形範囲に収めることができた。

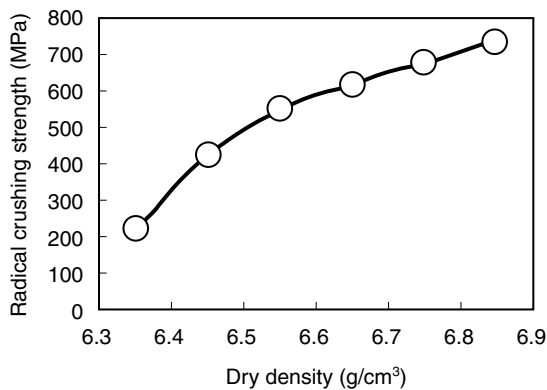


Fig. 18 Effects of dry density for radical crushing strength

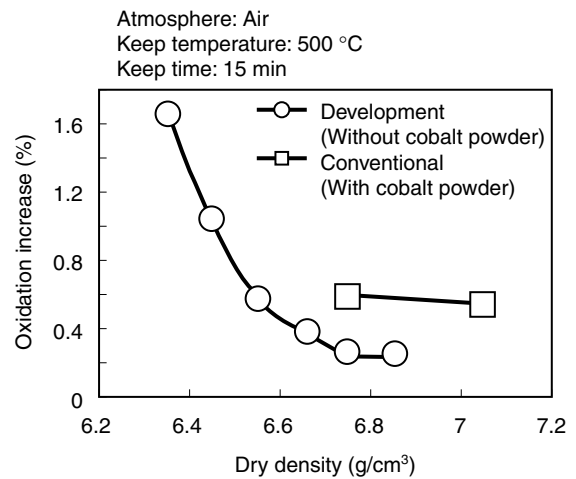


Fig. 19 Effects of dry density for oxidation increase

4.5. 開発材仕様

本開発材の化学成分、密度、硬度を Table 1 に示す。また内部組織を Fig. 20 に示す。開発材組織はパーライト層と高合金相基地中に Mo-Ni-Cr-Co 系硬質粒子と C-Cr-Mo-W-V-Fe 微細炭化物と微細空孔が混在した組織となっている。

5. 開発材の性能評価

5.1. 単体摩耗試験結果

バルブシート温度、空燃比をコントロールした単体摩耗試験による開発材の耐摩耗性性能を比較材とともに Fig. 21 に示す。比較材は現在 Honda が適用している排気バルブシート材として最も耐摩耗性が高いステライト硬質粒子 + Fe-Mo 硬質粒子 + Co 単粉 + 2P2S 材とした。開発材は現行比較材に対して同等以上の耐摩耗性を有していると言える。

Table 1 Chemical composition, density and hardness of developed material

Chemical composition (mass %)									
C	Ni	Cr	Mo	Co	W	V	Cu	S	Fe
1.2	3.6	5.2	5.5	8.0	0.6	0.2	0.6	0.2	Bal.
Density (g/cm³)					Hardness (HRB)				
6.65					97				

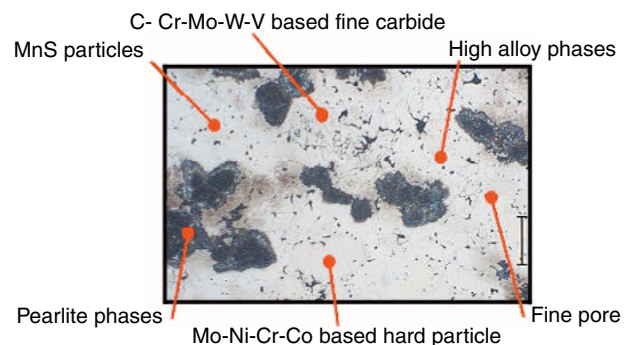


Fig. 20 Microstructure of developed material

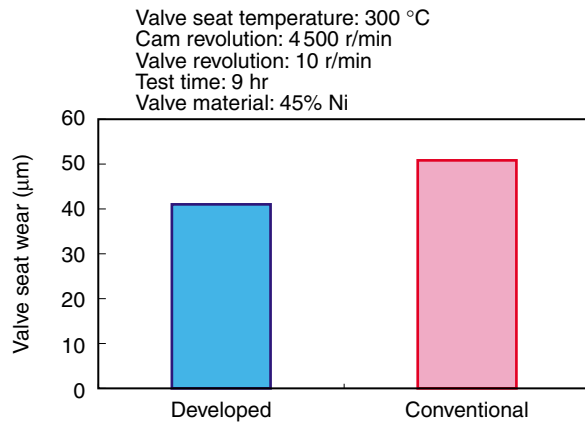


Fig. 21 Wear test result of developed material

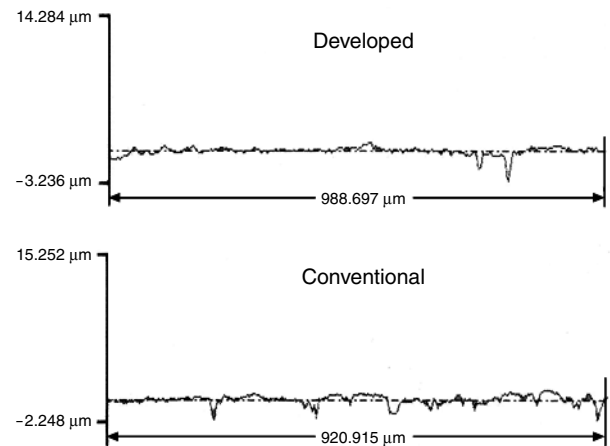


Fig. 23 Surface roughness profile of valve seats

5.2. 開発材の被削性

耐摩耗性以外にバルブシートには被削性が求められる。

Fig. 22 に切削試験機による切削抵抗値の測定結果を、Fig. 23 に実際の量産ラインにて流動させた際のシート面粗度データを示す。本開発材は切削抵抗値および切削後の面粗度は現行材同等であり被削性確保のための樹脂含浸などの後処理を施さなくても、現行材同等の被削性が確保できている。

5.3. 開発材のコスト

Fig. 24に開発材および現行材の粉末費率および切削加工前の開発材を 100 としたときの素材費率を示す。粉末費率において開発材は現行品に対して 40% 以上のコストダウンが図れた。

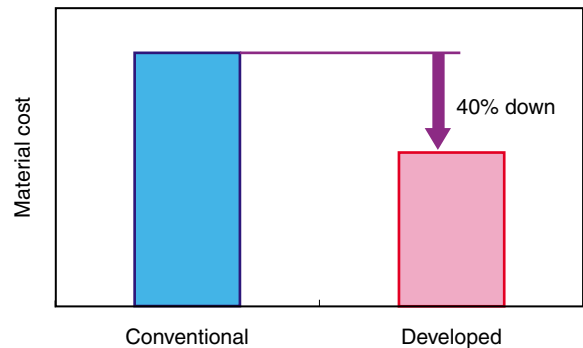


Fig. 24 Cost of developed material

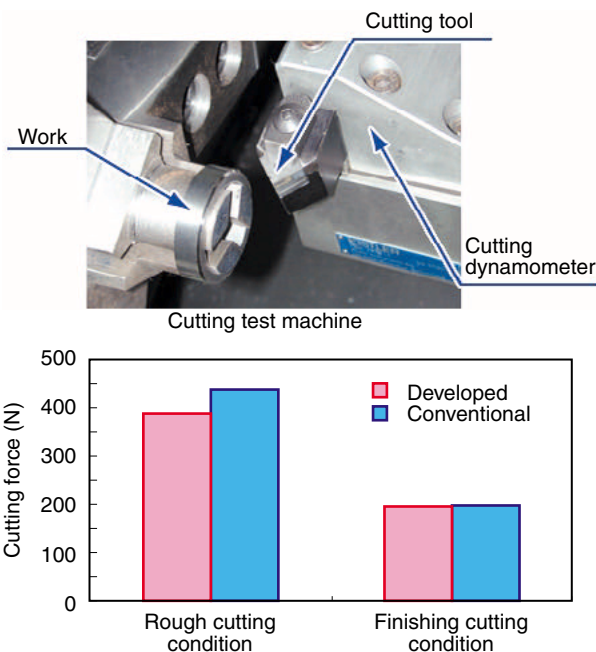


Fig. 22 Result of machining test

6. 実機耐久試験結果

Hondaのスポーツ系二輪車による台上耐久試験結果をFig. 25に示す。高回転耐久モード及び長寿命耐久モードとも、本開発材の摩耗量は現行材同等以下である。他機種でのバルブ材違いによる実機耐久結果においても現行材同等以下の摩耗量であることが確認できた。

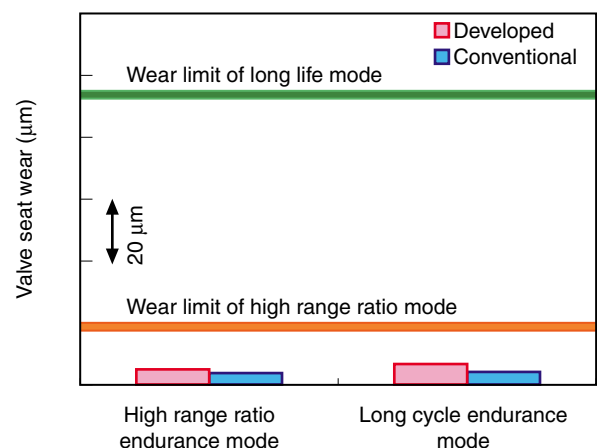


Fig. 25 Endurance test result of developed material

7. まとめ

2P2S(再圧縮再焼結), 溶浸, 含浸等の後処理を不要としながらも現行材同等以上の耐摩耗性を確保しつつ素材コストを40%低下させた廉価な排気バルブシート材を開発した。

- (1) Ni, Co 単粉を含まないシート材には酸化増量と圧壊強度とのバランスから耐摩耗性に対しての最適な密度を選定した。
- (2) 過度の微細硬質粒子の添加は酸化被膜生成性を阻害し耐摩耗性を劣化させるため添加量の最適化をおこなった。
- (3) 微細空孔出現のため基地用鉄粉材は球状鉄粉より異型鉄粉を使用した。
- (4) 低摩擦係数で基地拡散性が高い廉価な硬質粒子の最適添加をおこなった。

本開発材は 2004 年モデルの CBF600F にて量産適用中であり順次量産モデルに拡大展開予定である。

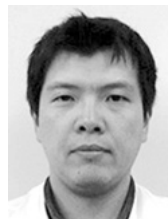
謝 辞

本開発にあたり, 共同開発いただきました日本ピストンリング株式会社の皆様に紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

参考文献

- (1) Takahashi, T., Kakiuchi, A., Sato, K., Sato, K., Tominga, K.: Development of Exhaust Valve Seat Insert Material for High Performance Engines, SETC Paper 20024310/2002-32-1817

■ 著 者 ■



桶谷 裕之



坪田 隆志



石田 正雄