

金属射出成形法の適用による可変動弁機構用 ロッカアームの開発

Development of a Rocker Arm for Variable Valve Timing Mechanism Applying Metal Injection Molding

神 山 敏 宏* 佐 藤 利 行*
Toshihiro KAMIYAMA Toshiyuki SATO
倉 満 秀 文* 小 菅 衛*
Hidefumi KURAMITSU Mamoru KOSUGE

要 旨

新世代リアルオープンスポーツS2000用新型2L DOHCエンジンの開発においては、高回転かつ軽量、コンパクト化の目標達成のために、新型のバルブロッカアームの開発が必要であった。新型ロッカアームはカムフォロアにローラベアリングを適用し、可変バルブリフト・タイミング機構(VTEC)をローラベアリング軸に内蔵(同軸化)させたことを特徴とするもので、ロッカアーム素材の製法にニアネットシェイプな金属射出成形法を適用することにより、量産化を可能にした。これによりエンジン回転限界9000rpmという高回転化が実現できた。

ABSTRACT

In order to develop the new 2L DOHC engine for the “New Generation Real Open Sports” HONDA S2000, it was necessary to develop an improved valve rocker arm which allows for extremely high engine revolutions and is light in weight while compact in size.

The new valve rocker arm is characterized by applying roller bearing to the cam follower and variable valve timing and lift electronic control system (VTEC) built-in (or coaxial) roller bearing shaft. It also is capable of mass-production by employing metal injection molding (MIM), which will produce near-net shape rocker arms.

With these improvements, the new engine has been successfully developed and achieves a maximum revolution of 9 000 rpm.

1. まえがき

S2000用新開発エンジン(F20C型)には高回転・高出力化と車輛コンセプトを両立させる軽量・コンパクト化が要求された。新型エンジンを開発するに当たり、シリンダヘッドについても大幅な軽量コンパクト化および高回転化対応とフリクションの低減が必要であり、これらの要求に応えるため従来のVTEC機構を大幅に見直して、ローラフォロアを適用した新しいVTEC機構を開発した。従来のVTECはカムスリップ方式であり、ローラフォロアを採用した場合には切替機構との両立が困難であった。

新型VTEC機構のロッカアームは、ロッカアームローラ軸にVTEC切替機構を内蔵(同軸化)させることにより、Fig.1に示すように従来のVTEC構造と同様にロッカシャフトとアジャストスクリュー間に切替機構を設置し、コンパクトな構造とした。これより重量増加を最小限に抑え、9000rpmという高回転までの追従性を達成した。

新しいロッカアームはローラ装着溝部が中抜き形状となり、従来製法の鍛造と加工では重切削加工が必要となるた

*栃木研究所

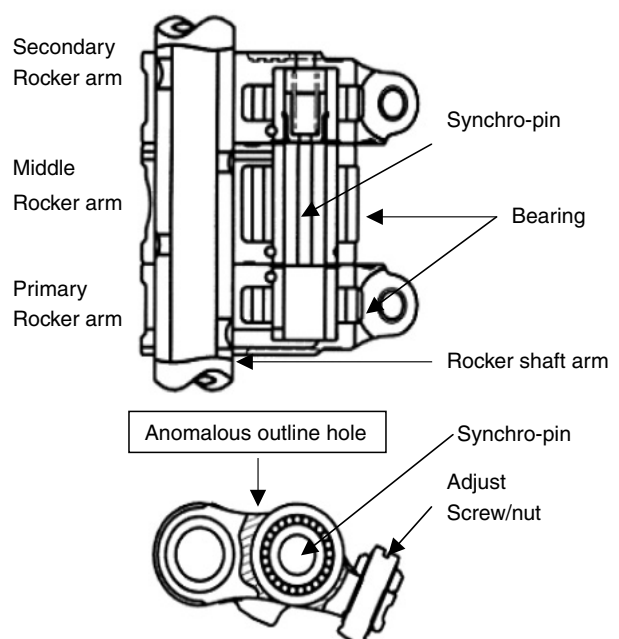


Fig.1 Rocker arm structure

め、生産性悪化とコスト増大により、量産化が困難であった。そこで、ロッカーム素材の成形に複雑な形状を造る成形自由度を有し寸法精度の高い金属射出成形法(MIM)を採用して同軸VTECロッカームの開発を行い量産を可能にした。

本稿ではMIMロッカームの製法および性能について報告する。

2. 開発の目的

新構造ロッカームの開発のねらいはローラベアリングによるフリクションの低減と、高回転を可能にする軽量高剛性の両立である。

2.1. フリクション低減

Fig.2にスリッパ構造を用いたB20A型エンジン(アコード用)と、ローラベアリング構造のF20C型(S2000用)エンジンについてバルブ駆動フリクションロスの比較を示す。ローラベアリングの適用により、従来のスリッパ摺動構造に対して、低速時で67%および高速時で71%のフリクション低減効果が得られている。

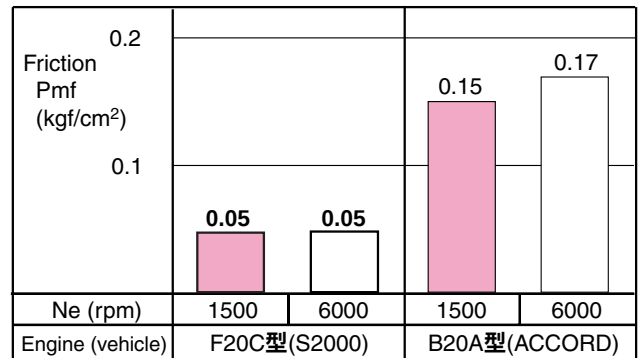
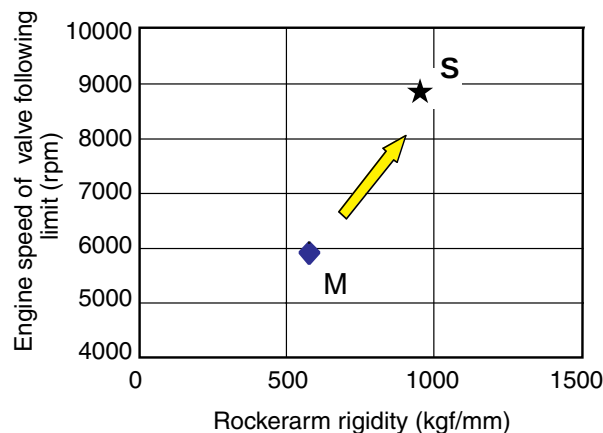


Fig.2 Comparison of valve train friction loss

2.2. ロッカーム剛性

高回転におけるバルブ追従性能向上には、カムの変位をバルブにダイレクトに伝える高いロッカーム剛性(連結部剛性を含む)が必要である。

ローラベアリングを採用した場合の切換構造の配置によるロッカーム剛性とバルブ追従性との関係をFig.3に示す。バルブ追従性を向上させるためには、高剛性化とコンパクト化による慣性重量低減を両立させることが重要であ



Symbol	M	S
Figure		
Structure	Position of synchro-pin and Roller bearing = different axis	Position of synchro-pin and Roller bearing = common axis
Rockerarm rigidity	577kgf/mm	1000kgf/mm
Characteristic	Low rigidity and large sized	High rigidity and compact

Fig.3 Relationship between rockerarm rigidity and valve behavior

る。切換構造をローラベアリングに同軸化する構造によって、ロッカアーム剛性を1000kgf/mmまで高めつつコンパクト化を図ったことより、9000rpmまでのパルス追従性が確保できた。

さらに高回転化の達成にはパルススプリング荷重の増加も必要であった。従来はカム面圧の制限によりスプリング荷重の増加が困難であったが、F20C型ではローラベアリングの適用によるカム面圧限界の向上により高荷重スプリングの採用が可能となった。

3. ロッカアーム製法

前章で述べたように、

- (1)ローラベアリング(Cam follower)の適用
- (2)切換構造のローラベアリング同軸化
- (3)コンパクト・軽量かつ高剛性

の必要条件を満たす新型のロッカアームはローラベアリングと切換構造を保持するために Fig.4に示すように中抜き形状となり、従来の鍛造と加工では重切削となり生産性が悪化し、それにとまうコスト増大により量産困難であった。そこでより高い生産性を確保するため、各種製法を比較検討した。



Fig.4 Anomalous outline hole (machining retardant hole)

3. 1. 基本製法の選択

ローラ保持部の中抜き形状により切削または研削による製作が困難なため、素材成形過程でより複雑な形状自由度を有し寸法精度の高い成形方法が必要となった。仕上加工を必要としないで製作可能な製法を選択するために、各製法の比較検討を行った。その結果をTable 1に示す。

この比較検討結果により、成形による寸法精度が高く(ニアネットシェイプ)、加工省略化によるコスト低減も期待できることから、素材製法として金属射出成形法(MIM: Metal injection molding)を選択した。

Table 1 Comparison of manufacturing method

		Forging	Precision casting	MIM
Material feature (forging=100)	Density	100	100	96
	Tensile strength	100	90	83
	Elongation	100	75	60
	Hardness	100	98	86
	Free form	Low		
Surface roughness (s)		rough		
		50	5~20	3~10
Minimum wall thickness (mm)		3.0	2.0	≤1.0
Minimum hole diameter		φ 10	φ 2	φ 0.5
Dimension accuracy (mm)		±1.0	±0.2	±0.05
Roller groove face feature		Machining	(Molding)	Molding
Comparison of rockerarm cost 				

3. 2. 金属射出成形法の概要

MIM製法をロッカームに適用するに当たり、従来工法(WITEC工法)に比べて特に脱脂工程が短くなり、全製造時間が短縮されるAMAX工法(Fig.5に示す製法)を用いた。この製法は脱脂に加熱を必要としないため寸法精度が高い特徴があり、複雑形状で大型部品に対する成形自由度も大きい。

4. 金属射出成形法(MIM)の要素技術

4. 1. 要素技術の課題と目標

MIMによる製品の品質、生産性およびコストに影響を及ぼす要因と課題およびそれに対する目標を以下に述べる。

(1) 材料成分

高強度と加工性が両立でき、既存の量産加工と熱処理設備を極力使用可能な材料成分とする。

(2) 原材料粉末

MIM材の原料粉は微粉のため高価になり、かつ圧縮性

の高い球状化粉はガスアトマイズ法が主となるが、収率が低く安定入手が困難である。更に、成形性を上げるため粉末粒径を極力小さくすることが望ましい。

(3) バインダ

粉末と混練するバインダは成形性と脱脂性が高く温度に対して粘性変化の少ないものを選定し特性の安定したコンパウンドを得る。寸法精度安定化のためコンパウンドのバインダ比を少なくして、収縮量を小さくする。

(4) 成形条件

3種類のロッカーム形状組合せに対し、ウエルドなどの欠陥を防止して安定した成形手法を確立する。

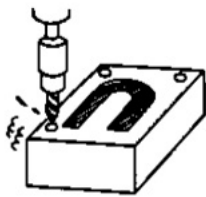
(5) 脱脂・焼結条件

溶剤抽出法による脱脂安定化と焼結収縮時の形状安定化手法を確立する。

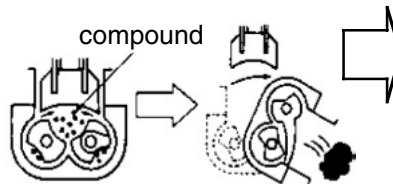
(6) 強度

焼結材では溶製材に比べてヤング率および機械的性質が劣るためロッカームとしての必要強度を形状設計によって確保する。

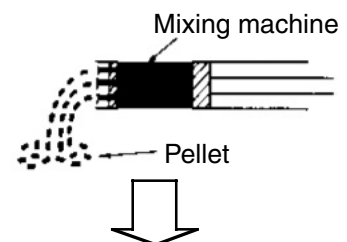
1. Mold manufacture



2. Mixing



3. Pelletizing



6. Sintering

Vacuum sintering

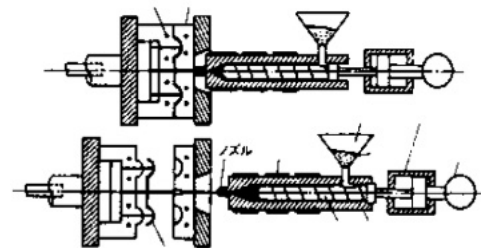


5. Debinding

Solvent debinding



4. Injection molding



Binder
Metal powder

• Main condition

Process	Compound (mixing)	Injection molding	Debinding	Sintering
Condition	• Metal powder/Binder rate =42vol% • Binder+Wax=140°C×60min	• Metal temperature =130~150°C • Injection pressure =1500kfg/cm² • Mold temperature =15~20°C	Solvent debinding =28°C	1400°C×3hr (vacuum)

Fig.5 Manufacturing process of MIM (Metal injection molding)

(7) 寸法精度

焼結体の精度を高め機械加工を省くことにより寸法精度を高めつつコスト低減を図る。

4. 2. 材料の成分設定

ロッカーム材料としては強度と加工性を両立させる目的から、量産実績のあるクロムモリブデン鋼(SCM415材)相当とし、浸炭焼入れによって強度を補うこととした。Table 2にその組成を示す。

Table 2 Chemical composition of MIM powder (wt%)

C	Ni	Cr	Mo	Si
0.13-0.18	≤0.25	0.9-1.2	0.15-0.3	0.15-0.35
Mn	P	S	Cu	Fe
0.6-0.85	≤0.03	≤0.03	≤0.3	Bal

4. 3. 原料粉末

金属射出焼結用原料の金属微粉末の従来製法は主にカーボニル法、ガスアトマイズ法、水アトマイズ法の三種類の製法に大別されるが、カーボニル法はニッケル粉や鉄粉のみに適用され、ガスアトマイズ法は球状で低酸素粉ができるが、製造コストが高く、微粉割合が低いことから収率が低く安定入手が困難である。

水アトマイズ法は広範囲の種類の金属粉を安価に製造できるが、粉末形状が不規則形状となりタップ密度(圧粉性)が低く、水および水蒸気による含酸素量も高くなる欠点がある。

ロッカーム用原料粉末としてはコストの観点から水アトマイズ法が適している。そこで従来水アトマイズ法の欠点を改良し、粉末形状が球形状で含酸素量を低く押えられる新しい水アトマイズ法(Fig.6)を適用した。

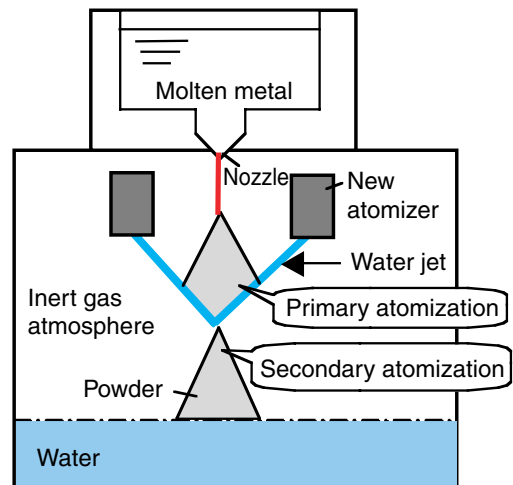


Fig.6 New water atomization process

新しい水アトマイズ法は水ノズルをフルコーン型とし、アトマイズによる二次分裂を特徴とする。これは溶湯を超音速水ジェットにより発生するガス流を利用してガスアトマイズ現象を起こさせて微粉化(一次分裂)させ、その溶滴を直ちに水ジェット側壁に分散供給して、微粒化(二次分裂)し急冷凝固する方法で、その時に不活性ガス雰囲気とすることにより水蒸気や酸素分圧が低減するので酸素含有率の低い粉末が得られる。

この方法によって得られた粉末の形態をFig.7に、その特性を従来の水アトマイズ法の製品と比較してTable 3に示す。

Table 3 Powder characteristic

Metal	Water atomized	Tap density	Specific surface area	Oxygen contents
(JIS)	—	(g/cm ³)	(m ² /g)	(ppm)
SCM415	Conventional	3.9	0.5	6 000
	New	4.7	0.29	4 000

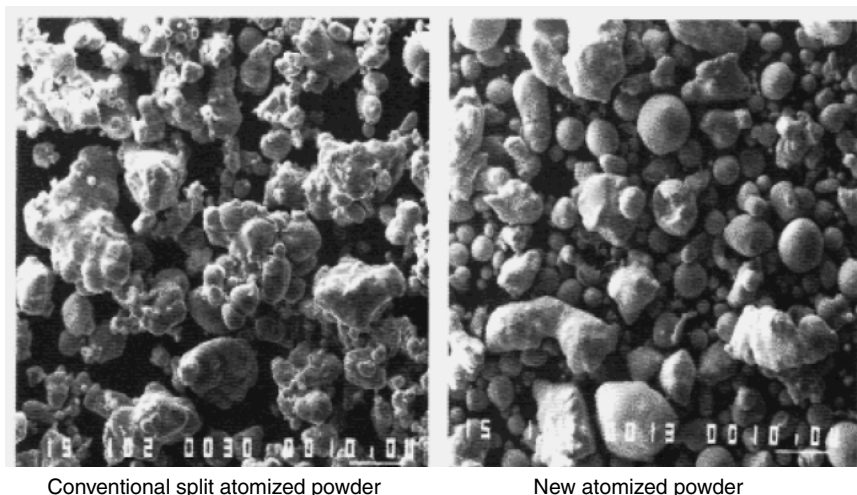


Fig.7 Powder shape

4. 4. コンパウンド仕様(バインダの選択)

寸法精度の高い製品を得るために、金属射出成形法に使用するコンパウンドの特性として、充填密度の安定した流動性の高い特性が必要である。それを得るために、金属粉末は平均粒度=10 μ mとした。粒度10 μ m以下と10_20 μ m範囲の微粉末の重量比と得られたコンパウンドの流動性の関係をFig.8に示す。

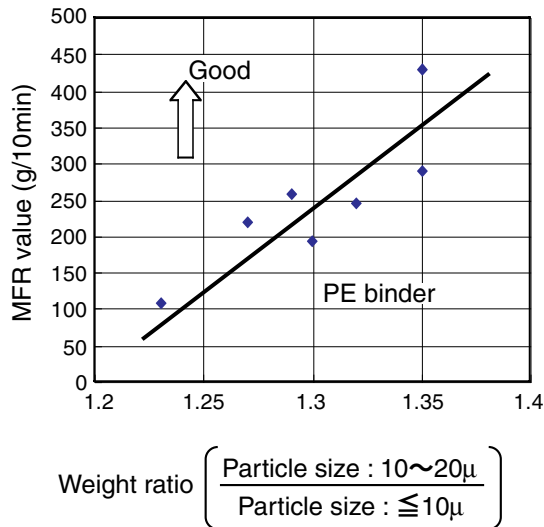


Fig.8 Relationship between weight ratio and flowability (MFR value)

原料粉末は20 μ m以下の微粉末を主体にすることによって重量比によるコンパウンドの流動性コントロールが可能となり、原料粉末の収率の観点から重量比=1.3を目標値とした。

またバインダをポリプロピレン(PP)からポリエチレン(PE)に変更し、分離のないワックスとの組合せにより、Fig.9に示すように温度に対する影響が小さく、流動性の高

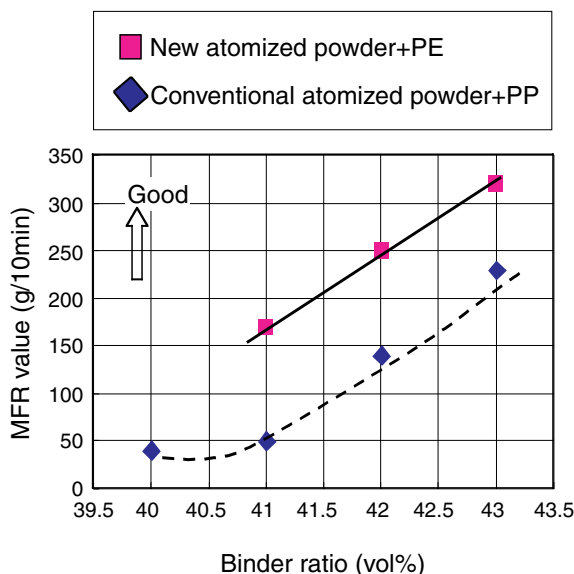


Fig.9 Relationship between binder ratio and flowability (MFR)

い安定したコンパウンドとすることができた。

Fig.9より、精度向上のためにバインダ量を減らして収縮量を小さくした場合でも、新しい水アトマイズ粉とPEバインダで良好なコンパウンドを得られることが分る。

4. 5. 成形条件

安定した品質を得る成形条件として、充填から冷却固化までの時間が短いために起こりやすい空気の巻き込みによるウェルドなどの欠陥を防止することが重要である。

従来の時間(スクリュの位置)制御では充填バランスが不安定であったが、圧力(射出シリンダ圧力)制御に変更することより、安定した充填が可能となった。更に、充填後の保圧コントロールを一定圧から徐々に減圧する圧力コントロールとすることより、大幅に品質を向上させた。また金型においても充填効率を高めるためのエア抜け性を高めるエアメント位置の設定により、上記と併せて安定した品質のロッカアームを製造可能とした。

以上の成形条件によって、ウェルド等の欠陥を防止し、製品合格率は目標を達成することができた。

4. 6. 脱脂時間と焼結条件

従来のMIM製法である加熱脱脂法(WITEC製法)と比較してAMAX製法による脱脂法は溶剤抽出であるためFig.10に示すように短時間で熱負荷のかからないことが特徴である。

	AMAX process	WITEC process
Debinding time (hr)	10h	48h over
Method	Solvent debinding	Thermal debinding
Atmosphere	Non-oxidizing	Atmosphere
Process time	Short time	Long time

Fig.10 Comparison of debinding time

焼結は真空炉で行う。精度を低下させるソリなどの変形は中抜き形状に起因する焼結行程での収縮によるものであり、脱脂体をトレー内セッタにセットし焼結した場合にはセッタとの摩擦により収縮形態差が生じる。

収縮時の変形に対しては、変形方向に対して、スペーサを利用した矯正などにより精度を向上させた。焼結体の外観写真をFig.11に示す。焼結体のみでローラ装着部の中抜き形状のほか、内径1.5mmのベアリング給油穴から同16.4mmのロッカシャフト穴まで全ての成形が可能となった。



Fig.11 Green body of rocker arm

4. 7. 機械的特性

MIMによる製品と溶製材(肌焼き鋼)の主要強度比較データをFig.12に示す。曲げ疲労強度については、浸炭焼入れ後で8%程度低いもののロッカアームに必要な強度は十分確保できている。

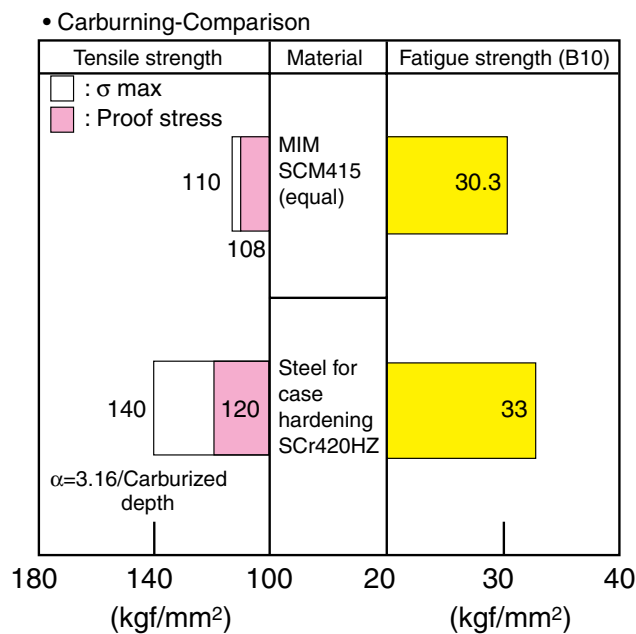


Fig.12 Comparison of strength

4. 8. 寸法精度

焼結時の変形に対する矯正手法による対策による、加工基準面の平面度の向上効果をFig.13に示す。加工基準面平面度は1/6まで改善した。

4. 9. 加工工程の削減

必要とされる機械加工(後加工)を現行の製法である熱間鍛造との比較をFig.14に示す。MIM製法の採用により加工工程数を約1/2に削減できた。

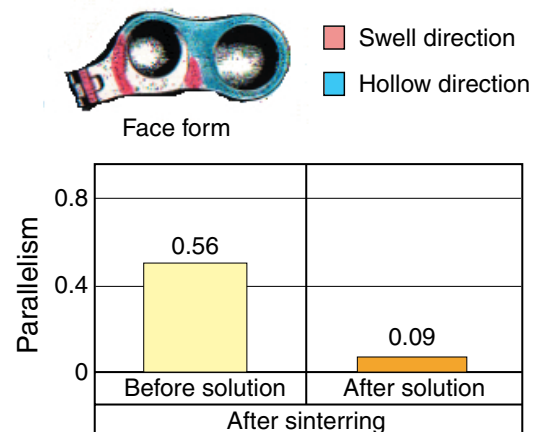
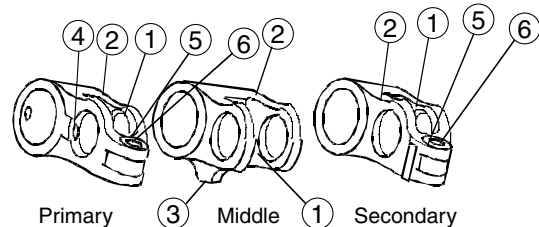


Fig.13 Comparison of flatness



No	Machining part	Forging	MIM
①	Roller groove	Heavy cutting + grinding	Molding
②	Roller shaft fixed hole	Cutting + grinding	Grinding
③	Lost-motion sliding portion	Cutting + grinding	Molding
④	Oil supply	Drill	Molding
⑤	Adj-nut tightening face	Cutting + grinding	Molding
⑥	Adj screw hole	Drill + Tap	Molding
—	Another machining part	Cutting + grinding	Cutting + grinding or grinding

Machining process number	Forging	MIM
27		14

Fig.14 Comparison of number of machining process

5. エンジン性能達成値

金属射出成形法により製作した新設計のローラ同軸切換構造ロッカアームを使用した可変動弁構造エンジンの性能を従来エンジン(ACCORD)と比較してTable 4に示す。高回転化に対応したロッカアームを生かし、大幅な出力向上が達成できている。

Table 4 Engine Specification & Performance

	F20C型(S2000)	F20B型(ACCORD)
Max power	250PS/8 300rpm (183.9kw/8 300rpm)	180PS/7 000rpm (132.4kw/7 000rpm)
Max torque	22.0kgm/7 500rpm (215.7Nm/7 500)	19.5kgm/5 500rpm (191.2Nm/5 500rpm)
Red zone Ne	8 800rpm	7 400rpm
Fuel cut Ne	9 000rpm	7 700rpm
Head measurements width × height	205mm × 211mm	249mm × 238mm
Weight of valve system	9kg	11kg

6. まとめ

高回転・高出力のF20C型エンジン用にMIM製法を用いたローラ同軸構造VTECロッカアームの開発を行い以下の結果が得られた。

- (1) 従来製法(鍛造+加工)では製造困難な中抜き穴構造のロッカアームに、ニアネットシェイプを可能とするMIMを適用できた。
- (2) 新しい水アトマイズ法による原料粉と流動性を改良したコンパウンドおよび射出成形条件の最適化により、品質の安定した低コストで高精度なロッカアーム素材を供給できた。
- (3) 新開発したMIM製法ロッカアーム素材により、従来製法である鍛造と比較して加工工程を約1/2に削減できた。

自動車用エンジンのロッカアームへのMIM適用は前例がなく、今後の応用が期待される。なお当開発ロッカアームは新世代リアルオープンスポーツS2000に適用される。

謝 辞

新骨格エンジン用ロッカアームの開発に当たり、ご協力頂いた日本ピストンリング(株)殿、(株)タナカエンジニアリング殿に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 中林ほか：金属射出成形用微粉末と金属射出成形部品の製造技術，太平洋金属技法(創刊号)(1997)p.1
- 2) 河本，江上：AMAX工法によるMIM製品，NPR(日本ピストンリング)技報 vol. 2 (1994) p.34

■ 著 者 ■



神山 敏 宏



佐藤 利 行



倉満 秀 文



小菅 衛