

# 高燃焼圧シリンダヘッドガスケット用 微細析出物分散ステンレス鋼板 (NAR-301L HSX)の開発

安達和彦\* 阿部 賢\*\* 桂井 隆\*\*\*  
西山忠夫\*\*\*\* 佐々木浩満\*\*\*\*\*

## 1. はじめに

環境負荷低減へのニーズが高まり、地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出量削減への取り組みは加速している。他方、自動車の販売台数は新興国を中心に現在も増加を続けている。これらに対しては自動車の燃費向上が有効であり、エンジンの高燃焼圧化および自動車本体を含む軽量化対策が進められている。欧州では燃費の良いディーゼル車が増加傾向にある。これはディーゼルエンジンが自己着火式であり、ガソリンに比べて高燃焼圧なためである。

シリンダヘッドガスケット(以下、ガスケットと呼称)は図1に示すように製造、修理のために分割されるエンジンの隙間をシールする部品である。一般的に薄鋼板数枚で構成され、表面には疵を伝わる液体の洩れ防止のため厚さ数10 $\mu\text{m}$ のゴムがコーティングされる。燃焼室の周囲にはビードと呼ばれる凸部が成形され、その荷重反発力により燃焼ガス、冷却水、潤滑油をシールしている。したがって、高燃焼圧達成に必要なシール性の向上には、ビードの高さの増加および高強度化が必要となる。他方、自動車の軽量化に対しては、重量の多くを占めるエンジンの材質変更等が進められている。これは高燃焼圧化を含めて、エンジン稼働時にシリンダヘッドが持ち上げられ、ブロックとの間に生じる隙間

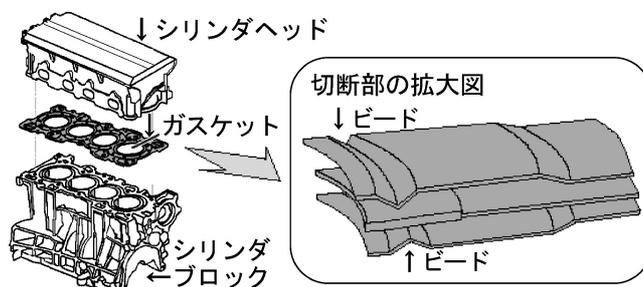


図1 エンジンとガスケットの関係。

の量(口開き量)を増大させる。このため、追従するビードには高疲労強度が必要となる。なお、著者らは、これに対応した高疲労強度ステンレス鋼板(NAR-301L HS1)を既に実用化している<sup>(1)(2)</sup>。

以上、ガスケット材に望まれる性能を改めてまとめると、

- (1) ビード成形時には加工性に優れる
  - (2) エンジン搭載後には高強度、高疲労強度を有する
- となり、トレードオフ関係を示す相反した特性の両立が必要となる<sup>(2)-(5)</sup>。

本開発では、自動車の燃費を向上させ、広く適用が可能な高性能ガスケット用ステンレス鋼板について更なる検討を進めた。ここでは、前述の目標を達成する高燃焼圧ガスケット用微細析出物分散ステンレス鋼板(NAR-301L HSX)の開発の概要を報告する。

## 2. 高性能化機構

ガスケットは図1に示したようにエンジン搭載時にはシリンダヘッドとブロックに挟まれ、ボルトで上下より締め込まれて強く圧縮された状態にある。しかし、燃焼時にはヘッドが上へ持ち上げられて圧力が減少する。これにともない、エンジン稼働中のビードには応力振幅が作用し、頂点部および裾部では局部的に高い引張応力が生じる。他方、裾部および頂点部はビード成形では最も大きく変形する部位であり、

\* 住友金属工業株式会社総合技術研究所：主任研究員

\*\* 株式会社住友金属直江津カスタマー技術部：参事

\*\*\* Honda R&D Americas, Inc. Ohio Center Material Research: Chief Engineer

\*\*\*\* 株式会社本田技術研究所四輪 R&D センター：研究員

\*\*\*\*\* 日本リークレス工業株式会社 第二事業本部：主査  
Development of Fine Precipitated Stainless Steel Sheet (NAR-301L HSX) for Cylinder Head Gasket with High Combustion Pressure; Kazuhiko Adachi\*, Masaru Abe\*\*, Takashi Katsurai\*\*\*, Tadao Nishiyama\*\*\*\*, Hiromitsu Sasaki\*\*\*\*\* (\*Sumitomo Metals Industries, Ltd. \*\*Sumitomo Metals (Naoetsu), Ltd. \*\*\*Honda R&D Americas, Inc. \*\*\*\*Honda R&D Co., Ltd. \*\*\*\*\*Nippon Leakless Corporation)

2010年10月29日受理

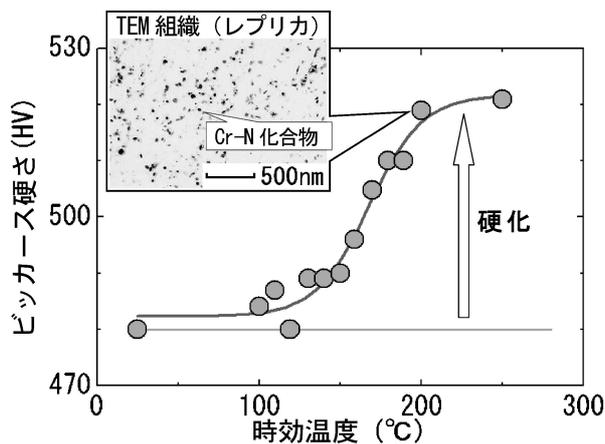


図2 開発材の時効硬化特性.

表面にクラック等の欠陥を発生する場合もある。この場合、ビードは欠陥を起点とし、同部への応力集中により疲労破壊する<sup>(3)</sup>。さらに、高燃焼圧に耐える高強度材を適用した場合、伸びの低下により発生する欠陥も増大し、より早期に破壊する<sup>(2)</sup>。

これらの破壊には、素材の結晶粒の微細化が有効である。結晶粒微細化は加工性の劣化が小さい有効な強化手段であり、欠陥の発生を抑制し、疲労強度を向上させる。前述のNAR-301L HS1はそれらに基づき実用化されたものである<sup>(1)(2)</sup>。このため、窒素吸収を活用して欠陥を発生する板表面の更なる結晶粒微細化を検討した。この点は次項で述べる。更に、高燃焼圧達成に必要なビードの高さの上昇と高強度の両立のため、成形後の時効硬化を検討した。その結果、開発材は200°C程度の低温でも時効硬化し、調質圧延にて変態したマルテンサイト( $\alpha'$ )相中に微細なCr-N化合物が析出することを確認した。結果を図2に示す。同温度はゴムコーティングでの焼成加硫条件に対応する。これにより、新たな工程の増加無しに、成形後にゴムコーティングすることで高く高強度のビードを得られることが明らかとなった<sup>(4)(5)</sup>。

### 3. 開発材の特徴

素材はNAR-301L HS1と同様の準安定オーステナイト( $\gamma$ )系ステンレス鋼に属するSUS301鋼(17Cr-7Ni-Low C-0.1N)である。開発材の製造工程の概略を図3に示す。以下では工程に対応した説明を行う。

- 中間熱処理：素材は水素と窒素の混合ガス中にて窒素吸収が施される。光学顕微鏡による組織とEPMAによる線分析の結果を図4に示す。中間熱処理材は窒素吸収での $\gamma$ 安定化に対応し、内部のみで研磨にて加工誘起変態した $\alpha'$ 相が観察される。また、表面から100  $\mu\text{m}$ 程度に渡って窒素濃度が増加する。
- 冷間圧延：準安定 $\gamma$ 系ステンレス鋼は冷間圧延での加工誘起 $\alpha'$ 変態、次工程の熱処理での $\gamma$ 母相への逆変態により結晶粒が微細化する<sup>(6)(7)</sup>。
- 最終熱処理：TEM組織を図5に示す。板表面近傍には多数の微細なCr-N化合物が析出、内部に比べて細粒化し、

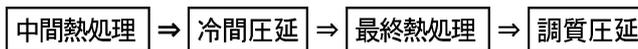
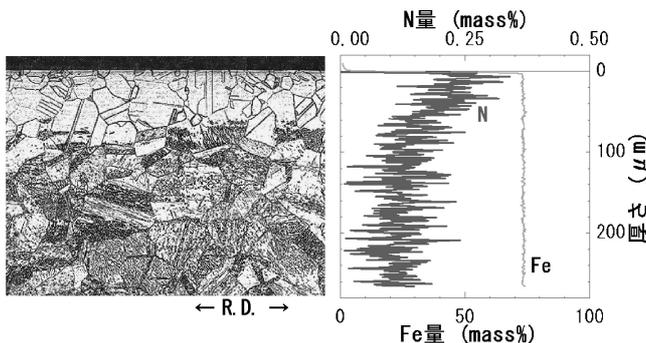
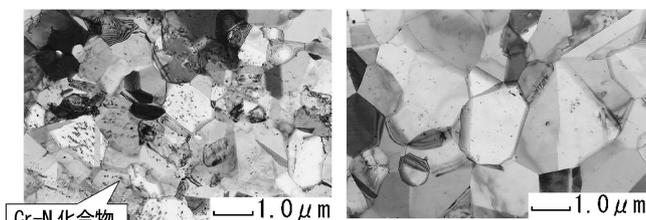


図3 開発材の製造工程の概略.



(1) 光学顕微鏡による組織 (2) EPMAによる線分析

図4 中間熱処理後の光学顕微鏡による組織とEPMAによる線分析.



(1) 板表面近傍部 (2) 板厚中心部

図5 最終熱処理後のTEM組織(薄膜).

表1 開発材の化学成分の一例.

(mass%)						
C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	N
0.02	0.50	1.35	17.28	6.62	0.06	0.14

表2 開発材の機械的性質の一例.

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	ビッカース硬さ (HV)
1326	1359	12.4	452

平均結晶粒径( $d$ )で約1.2  $\mu\text{m}$ を示す。これに対して、板厚中心部では析出物が少なく、 $d$ が1.5~2.0  $\mu\text{m}$ の301L HS1に近い組織を示す。

- 調質圧延：ガスケットに必要な性能の調整を目的として、HV460前後に加工硬化される。硬さは従来と同等とした。開発材の成分、機械的性質の一例を表1、2に示す。なお、その後、ガスケット加工時のビード成形、ゴムコーティングにより、図2と対応した時効硬化が起こる。

### 4. 適用実績

開発材製ガスケットのシール性に及ぼす燃焼室内圧力の影

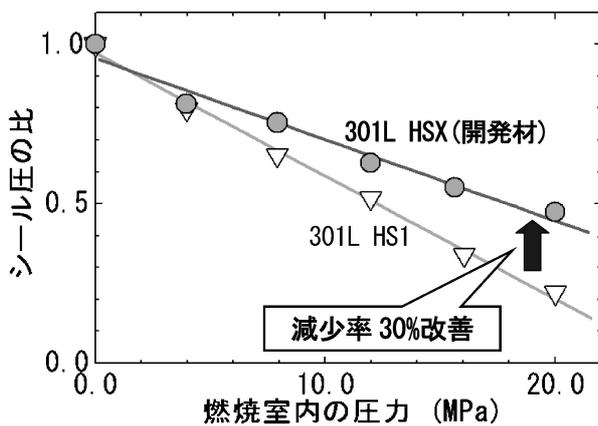


図6 開発材製ガスケットのシール圧の比に及ぼす燃烧室内の圧力の影響.

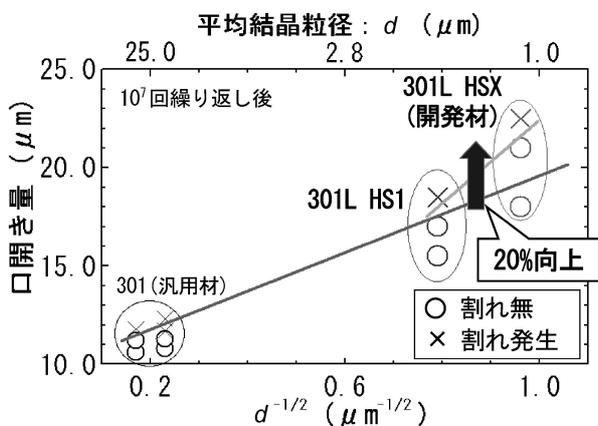


図7 開発材製ガスケットの疲労特性.

響を図6に示す。シール圧はガスケットをエンジンに搭載した際の値が同等となるように調整し、燃烧室内圧力を増加させた時の変化を比率にて表示した。比較材はこれまでディーゼル適用中の301L HS1製ガスケット(従来材)とした。燃烧室内の圧力の増加に対して、開発材製ガスケットのシール圧は従来材に比べて高い値を維持し、内圧20 MPaではほぼ2

倍となった。開発材製ガスケットの疲労特性を図7に示す。評価は所定量の口開きを $10^7$ 回繰り返した後に板厚を貫通する割れを生じた場合を×、それ以外を○にて表記した。開発材製ガスケットは従来材を超える優れた疲労特性を有しており、Hall-Petchの関係式に従う結晶粒微細化での強化を超える向上を示した。口開き量で比較した場合、従来材に対して更に20%の向上を達成した。

## 5. まとめ

開発材製ガスケットは高燃烧圧まで破損することなく、燃烧ガスをシールすることが可能であり、燃費向上が期待される。現在、本開発材製ガスケットは燃費向上を目的とした高燃烧圧ディーゼルエンジンに適用され始めた段階である。同エンジンはビード形状の最適化により、エンジンの締結構造を大幅に変更することなく燃烧ガスをシールすることに成功した<sup>(4)(5)</sup>。今後、広く適用拡大を進めていく。

## 6. 特許

特許第4321066号、4325521号を取得し、WO2002/088410、WO2006/035667、特開2006-63998などを公開済。

## 文献

- (1) 安達和彦, 渋谷将行, 桂井 隆: まてりあ, **47**(2008), 36-38.
- (2) 桂井 隆: Honda R&D Technical Review, **12**(2000), 151-157.
- (3) 桂井 隆, 杜澤達美, 加藤 一, 高山善匡: 鉄と鋼, **80**(1994), 860-865.
- (4) 西山忠夫, 桂井 隆, 安達和彦: Honda R&D Technical Review, **20**(2000), 105-110.
- (5) 西山忠夫, 桂井 隆, 安達和彦: 自動車技術会学術講演会前刷集, **20085165**(2008), 5-8.
- (6) 高木節雄: 鉄と鋼, **80**(1994), 529-535.
- (7) 富村宏紀, 川内祐治, 高木節雄, 徳永洋一: 鉄と鋼, **77**(1991), 1519-1526.