

受賞技術-3

# 高疲労強度ガスケット用結晶粒微細化ステンレス鋼板の開発

## Development of Fine Grained Stainless Steel Sheet for Cylinder Head Gasket with High Fatigue Strength

安達和彦 Kazuhiko Adachi 住友金属工業(株) 総合技術研究所  
ステンレス・チタン研究開発部 主任研究員

### 1 はじめに

昨今、環境問題への対応は急務であり、各種産業において取り組みが進められている。特に地球温暖化対策として二酸化炭素の排出量削減に関しては、運輸部門にて多くの割合を占める自動車の燃費向上は最も重要な課題のひとつである。

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、修理のため分割されるエンジンにおいて、シリンダヘッドとブロックの隙間に挿入されるシール部品である。その基本的な構造は薄鋼板にビードと呼ばれる凸部を成形し、ビードのばねとしての反発力により燃焼ガス、冷却水、潤滑油等を分離、密閉している。このため、素材には優れた耐食性と共にばね性、具体的には高い反発力を得るための強度と高いビードを形成するための成形性が必要であり、それらを両立する準安定オーステナイト系ステンレス鋼に属するSUS301調質圧延材(従来材)が一般的に適用されている。

前述の課題である燃費向上の対策の一つとして、エンジン

の材質の変更、燃焼室の間隔を狭くする等での軽量化がなされている。これらはエンジンの剛性を低下させるものであり、燃焼効率の改善を目的とする燃焼圧の増大もあり、燃焼時にシリンダヘッドとブロックの間に生じる隙間(口開き量)を増大させる。このため、口開きに追従して燃焼ガス他のシールを続けるガスケット使用環境はより過酷となり、素材のばね性、製品での疲労特性の更なる向上が必要となっていた<sup>1)</sup>。

このため、本田技術研究所、住友金属直江津および住友金属工業では、自動車の燃費を向上し、新たなエンジン開発の負荷を低減して広く適用の可能な高性能ガスケット用ステンレス鋼板を開発した。本報告では、その開発の概要について報告する。

### 2 開発の経緯

ガスケットはエンジン搭載時にはボルトでの締め込みによりビードが強く圧縮された状態にある。このため、図2に示

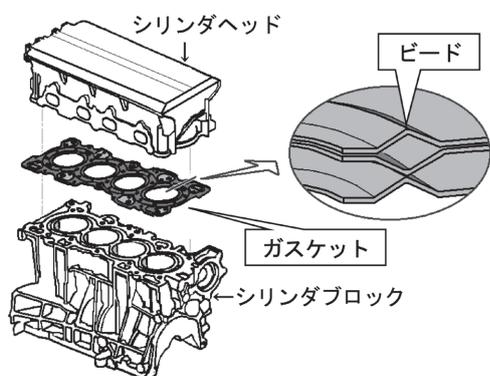


図1 エンジンとガスケットの位置関係

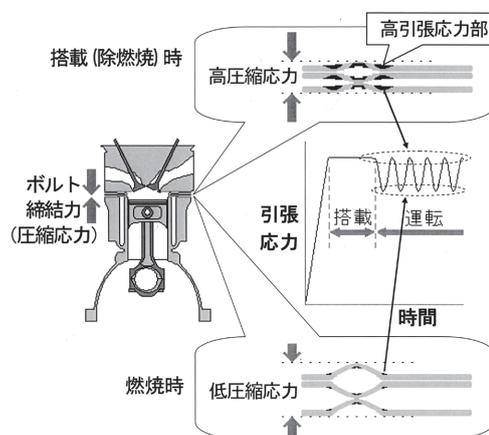


図2 ガスケットのビードに作用する応力

\* 平成21年度文部科学大臣表彰科学技術賞開発部門受賞技術

すようにビードの頂点部下面、裾部上面では局部的に高い引張応力が発生する。これに対して、燃焼時にはシリンダヘッドが上に持ち上げられ、ビード圧縮力の減少によりそれら部位での引張応力は減少する。すなわち、運転時のビードは局部的に高い引張応力による応力振幅が作用する状況にある<sup>1)</sup>。なお、この応力振幅に対応するものが前述した口開き量であり、それらの値は一般に比例する。このため、ガスケットの疲労特性は応力では無く、一般的に口開き量で整理される。

他方、ガスケットは高強度のステンレス鋼薄板よりプレス加工により製造されるが、変形量の大きいビードの裾部、頂点部ではクラックが発生する場合も多い。この場合、ガスケットはビードでのクラックを起点として、クラックへの応力集中により早期に疲労破壊する<sup>2)</sup>。硬さを調整したSUS301薄板より製造したガスケットの疲労試験の結果を図3に示す。なお、評価は所定量の口開きを10<sup>7</sup>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○で表記した。素材の硬さの上昇により、割れが発生する口開き量(限界口開き量)は低下した。これは素材の伸び低下によりビード成形で発生するクラックが増大し、応力集中が進んだことが原因である。すなわち、前述のような疲労破壊が起こり、高燃焼圧に耐える高強度材を適用した場合、ガスケットは早期に破壊してしまう<sup>3)</sup>。

結晶粒の微細化は伸びの低下が少ない有効な強化方法であることが既に報告<sup>4)</sup>されている。また、粒界密度の上昇により、ビード成形時に粒界で発生するクラックを抑制することも期待される。これらより、結晶粒微細化によりばね性、疲労特性が向上すると仮定し、同材の工業的な安定製造について検討した。

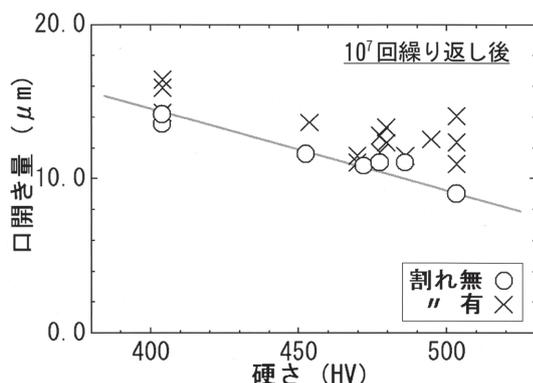


図3 硬さの異なるSUS301製ガスケットの疲労試験結果

### 3 開発材の特徴および従来材との特性の比較

#### 3.1 開発材の特徴

ガスケットに適用されるSUS301が属する準安定オーステナイト系ステンレス鋼は冷間加工により加工誘起マルテンサイト変態、その後の比較的低温での熱処理によりオーステナイト母相へ逆変態し、結晶粒が微細化することが報告<sup>5,6)</sup>されている。その安定活用のため、素材は

①熱処理での炭化物析出による $\gamma$ 安定度の変化、Cr欠乏層形成による耐食性の劣化を防止するため、低C高NのSUS301L鋼を選択した上で、

②合金元素の調整によりオーステナイト安定度を最適化、

③析出物のピン止効果による粒成長抑制のためNbを添加<sup>7)</sup>

した。開発材の代表的な化学成分を表1に示す。同時に製造条件を詳細に調査し、微細粒形成の駆動力となる冷間加工率、その後の熱処理条件について検討した。これらの結果、従来材に比べて結晶粒径が著しく微細化した組織を工業的に安定製造することに成功した。開発材の熱処理後のTEM組織を図4に示す。同材は平均粒径1.5~2.0 $\mu$ mからなる転位密度の低い等軸粒と共に、熱処理以前の加工の影響を残す部分が一部に残存した特徴のある組織を示す。

その後、ガスケット材は調質圧延され、硬さが460HV前後に調整される。同硬さに調質圧延した開発材の引張試験での伸びと応力の関係に及ぼす熱処理後の平均等軸粒径(d)の影響を図5、同材の機械的性質に及ぼす平均等軸粒径の影響を図6に示す。調質圧延材の伸びと最大応力は平均粒径の減少により共に向上し、伸びは粒径1.8 $\mu$ mで極大値に至る。他方、粒径0.8 $\mu$ mの材料は伸びが著しく低下する<sup>8)</sup>。また、

表1 開発材の化学成分(mass%)

C	Si	Mn	Cr	Ni	N	Nb
0.02	0.49	1.35	17.3	6.6	0.12	0.05

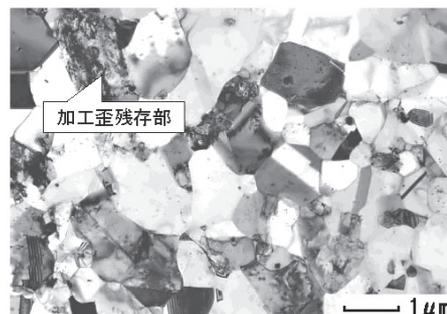


図4 開発材の熱処理後のTEM組織

同材と共に、相当材には熱処理前の加工の影響を残す部分が50%を超える面積率で残存する<sup>1)</sup>。すなわち、熱処理が不十分であり、結晶粒微細化による効果を十分に得られず、伸びが著しく低下したと考えられる。これらより、開発材の組織を前述の①②③のように限定した。開発材の機械的性質の代表例を表2に示す。

### 3.2 開発材と従来材の比較

開発材および従来材の硬さと伸びの関係を図7に示す<sup>9)</sup>。なお、硬さと伸びは調質圧延率を変更して調整した。硬さと伸びがトレードオフ関係を示す点は変わらないものの、結晶粒を微細化した開発材は従来材に比べて優れたバランスを有する。同一硬さで比較した場合、従来材に比べて大きな伸びを示し、シール性に優れた高いビードの成形が可能であり、ばね性が向上する。また、460HV前後に調質圧延した開発材

および従来材の薄板より製造したガスケットの疲労試験の結果を図8に示す<sup>1)</sup>。なお、評価は図3と同様に実施した。開発材は従来材に比べて割れを発生する口開き量が30~40%増大し、結晶粒の微細化により疲労特性が大幅に向上する。

更に、開発材と従来材の熱処理後の光学顕微鏡による断面マイクロ組織と460HV前後に調質圧延後のビード相当での曲げ加工部表面を図9に示す。従来材が結晶粒径20 $\mu$ m前後あり、加工により表面に肌荒れを発生するのに対して、開発材は結晶粒の微細化により加工後も平滑な表面を維持している<sup>10)</sup>。

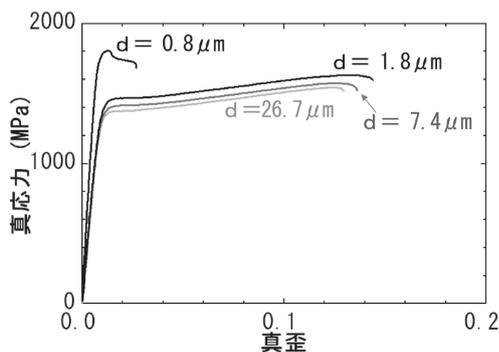


図5 調質圧延後の伸びと応力の関係に及ぼす熱処理後の平均等軸粒径(d)の影響

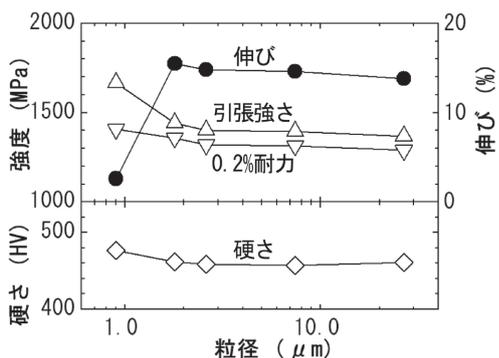


図6 調質圧延後の機械的性質に及ぼす熱処理後平均等軸粒径の影響<sup>8)</sup>

表2 開発材の機械的性質

0.2%耐力 (MPa)	引張強さ (MPa)	伸び (%)	ビッカース硬さ (HV)
1280	1308	15.5	451

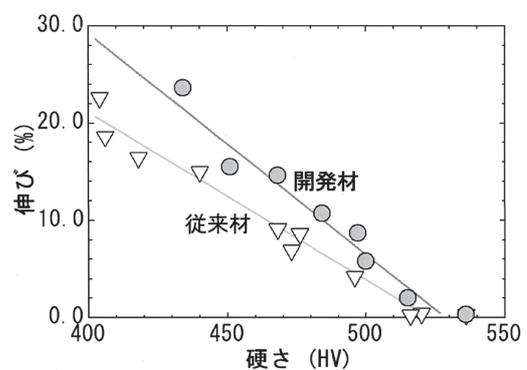


図7 開発材および従来材の硬さと伸びの関係

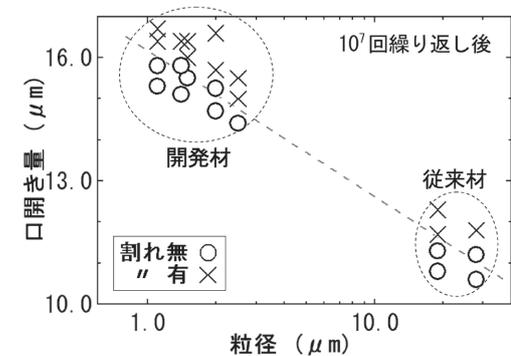


図8 開発材および従来材製ガスケットの疲労試験結果

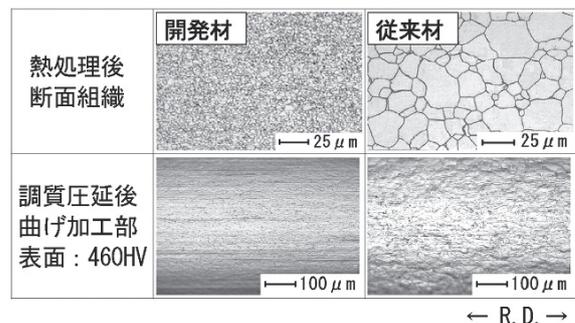


図9 開発材および従来材の熱処理後の断面組織と調質圧延後の曲げ加工部表面

これらより、結晶粒微細化によるばね性と疲労特性の向上と共に、ビード成形時のクラック発生も抑制されることが確認される。

## 4 まとめ

環境問題に対応して自動車の燃費を向上し、広く適用可能な高性能ガスケット用結晶粒微細化ステンレス鋼板を開発し、工業的に安定製造することに成功した。また、従来材との比較により、開発材の優れた性能を明らかにした。

開発材製ガスケットの外観写真の一例を図10に示す。本ガスケットは量産車への搭載を開始し、既に十年以上を経過しており、現在まで搭載車での疲労破壊は確認されていない。また、開発材を適用し、燃費向上対策をとったエンジンを搭載した自動車も増加を続けている。開発材の生産量から推定される適用車による二酸化炭素の削減量を図11に示す。今後とも、適用車種の拡大による二酸化炭素排出量の低減、石油資源の有効な活用に貢献していく。なお、図11の推定は開発材の適用実績より自動車の燃費が平均0.5%向上するとした。また、1台当たりの自動車の燃費を13km/l、年間走行距離を10,000km、使用期間を5年間とし、ガソリンの二酸化炭素排出係数を2.35kg/lとして積算した。



図10 開発材製ガスケットの外観写真

## 参考文献

- 1) 桂井隆：HONDA R&D Technical Review, 12 (2000) 1, 151.
- 2) 桂井隆, 杜澤達美, 加藤一, 高山善匡：CAMP-ISIJ, 8 (1994), 1682.
- 3) 桂井隆, 杜澤達美, 加藤一, 高山善匡：鉄と鋼, 80 (1994) 11, 860.
- 4) 高木節雄：まてりあ, 36 (1997) 7, 675.
- 5) 高木節雄, 谷本征司, 富村宏紀, 徳永洋一：鉄と鋼, 74 (1988) 6, 1058.
- 6) 富村宏紀, 川内祐治, 高木節雄, 徳永洋一：鉄と鋼, 77 (1991) 9, 1519.
- 7) 澤田正美, 安達和彦：CAMP-ISIJ, 21 (2008), 345.
- 8) 安達和彦, 桂井隆：CAMP-ISIJ, 21 (2008), 615.
- 9) 安達和彦, 渋谷将行, 桂井隆：まてりあ, 47 (2008) 1, 36.
- 10) 安達和彦, 澤田正美, 前田尚志, 阿部賢：CAMP-ISIJ, 23 (2010), 1302.

(2010年10月18日受付)

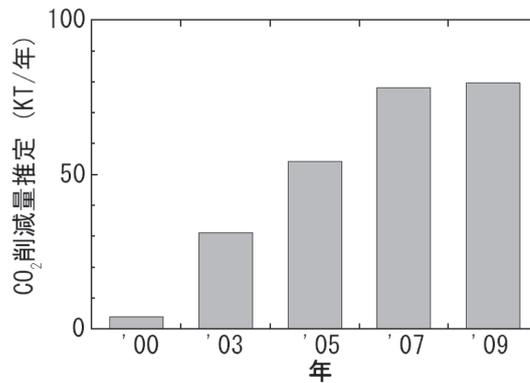


図11 開発材の生産量からのCO<sub>2</sub>削減量の推定