

## 技術紹介

## 省エネ型酸素燃焼式高濃度ガス変成炉

## Energy-Saving Oxy-Fired High Concentration Gas Generator

堀野 太希\*

HORINO Taiki

山本 康之\*\*

YAMAMOTO Yasuyuki

和田 智宏\*\*\*

WADA Tomohiro

野村 祐司\*

Nomura Yuji

## 1. はじめに

浸炭処理は、鋼の表面に炭素を浸透させ表面を硬化させる処理である。炭素は鋼を焼入れする時に必要な元素であり、含有量が多いほど高い焼入れ硬さが得られる。浸炭処理した鋼を焼入れすることにより、表面近傍に硬い層を、内部は柔軟な層を作ることによって靱性の高い材料を得ることができるため、耐摩耗性、耐疲れ性の向上が期待できる。自動車部品、工作機械部品のギアやシャフト、摺動部品などの多品種に広く適用され、最も普及している。

浸炭処理として現在様々な方法が用いられているが、その中でもガス浸炭方法が主流である。ガス浸炭処理はプロパンなどの炭化水素を変成炉で吸熱型変成ガス（以下、RX ガス）に変換し、これを浸炭炉に導入する方法であり、大規模生産に適している。一般的な変成ガスは、一酸化炭素(CO)と水素(H<sub>2</sub>)を主成分としてメタン(CH<sub>4</sub>)、窒素(N<sub>2</sub>)、や水分(H<sub>2</sub>O)などを含む混合ガスである。変成炉は吸熱反応を利用しているため、外部から熱を加える必要があり、多くのエネルギーを消費する。これを削減し省エネを実現するために、変成ガスの発生方法などのプロセス改善を提案する。

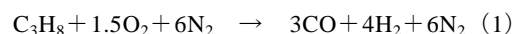
そこで当社が保有する酸素バーナーを用いた部分燃焼（酸化）技術を用いた変成ガス発生方法を検討した。この方法は、電気加熱を酸素燃焼に変えるもので、電力使用量を低減し、全体で二酸化炭素(CO<sub>2</sub>)の排出量を抑えることを目的としている。

本報告では新たに開発した省エネ型酸素燃焼式高濃度ガス変成炉について紹介する。

## 2. 酸素燃焼式高濃度ガス変成炉の特徴

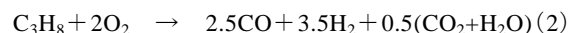
従来の技術は、メタン、プロパン、ブタンなど炭化水素系ガスを原料とし、これに適当量の空気を混合

し、1000℃以上に加熱されたニッケル触媒中で変成させる。反応式を式(1)に示す。



式(1)より20～25%のCOと30～40%のH<sub>2</sub>を発生させる。しかし、外部からの加熱が必要なことや、浸炭に寄与しないN<sub>2</sub>が約40%含まれる。

そこで原料と酸素を酸素バーナーにより部分燃焼させる方法を検討した。その反応式を式(2)に示す。



この反応は発熱反応であるため、外部からの加熱を必要とせず、且つ空気を使用していないため、N<sub>2</sub>を含まない高濃度のCO及びH<sub>2</sub>ガスを発生させることが可能である。

## 3. 試験条件

新たに開発した省エネ型酸素燃焼式高濃度ガス変成炉（以下、高濃度ガス変成炉）の浸炭性能を検証した。被処理物はバッチ式浸炭焼入れ炉により高温処理した後、コールド油にて冷却を行った。

試験に用いた高濃度ガス変成炉入口ガス流量を表1に示す。なお、酸素比は0.4とした。酸素比とは一定量の燃料に対して量論比の何倍の酸素が供給されたかを表す量である。表2に処理条件を示す。

表1 高濃度ガス変成炉 入口ガス流量

入口ガス流量	
LPG(L/min)	8.0
O <sub>2</sub> (L/min)	16.0

\*開発・エンジニアリング本部 山梨研究所 ガスアブセンター 熱処理技術課

\*\*開発・エンジニアリング本部 山梨研究所 ガスアブセンター 燃焼技術課

\*\*\*開発・エンジニアリング本部がエンジニアリング統括部 ガスアブエンジニア

表2 処理条件

	温度(°C)	時間 (min)	CP (C%)
浸炭	935	210	1.1~1.15
拡散	935	120	0.80~0.85
均熱	850	35	0.75~0.80
焼入	65	20	-
焼戻	180	120	-

ここで、CP (カーボンポテンシャル) は処理雰囲気を持つ浸炭能力を示す指標である。試験サンプルは、一般的な機械構造用炭素鋼である SCM420H(丸棒φ30mm×L50mm) を使用した。浸炭性能を確認するため、浸炭雰囲気のガス分析、ヴィッカーズ硬度測定及びサンプル断面の組織観察を行った。尚、ヴィッカーズ硬度計の荷重は 2.9N とした。

#### 4. 試験結果及び考察

高濃度ガス変成炉にて発生させた浸炭雰囲気のガス組成及び RX ガス組成分析結果を表 3 に示す。

表3 浸炭雰囲気ガス組成の比較

	高濃度変成ガス	RX ガス (天然ガス組成)
CO(%(volume))	40.3	19.6
H <sub>2</sub> (%(volume))	54.7	41.8
CH <sub>4</sub> (%(volume))	0.89	0.40
CO <sub>2</sub> (%(volume))	0.45	0.15
N <sub>2</sub> (%(volume))	-	38.1

高濃度ガス変成炉にて生成したガスは RX ガスに比べ、CO 濃度は 20 ポイント高く、H<sub>2</sub> 濃度は 13 ポイント高いことが確認された。

しかし、CO<sub>2</sub> 濃度については RX ガスより高く、浸炭処理時に粒界酸化の可能性が考えられたため、組織観察を実施した。粒界酸化とは雰囲気中の微量の CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O が鋼材中のクロム、モリブデン、シリコンなどを選択的に酸化させる現象である。粒界中に酸化物が形成されることで表面近傍の硬さの低下や疲労破壊の起点となり、製品に悪影響を与える。

浸炭サンプルの組織観察結果を図 3 に示す。RX ガスにて処理したサンプルの粒界酸化層は 25mm であったのに対して、高濃度変成ガスは 15mm であった。この結果から、高濃度変成ガスでは RX ガスに比べ、むしろ粒界酸化が抑制されおり、鋼材表面の粒界酸化への影響が小さいことがわかった。還元性ガスである CO および H<sub>2</sub> ガスが高濃度に含まれていたことが影響したためと考えられる。

また、浸炭処理サンプルの硬度測定結果を図 4 に示

す。浸炭可否の判断材料である有効硬化深さ [Hv550]は RX ガスを用いたとき 1.21mm に対し、高濃度変成ガスでは 1.32mm であった。従って、高濃度変成ガスは浸炭性能に優れていることがわかった。浸炭性能は CO 濃度と H<sub>2</sub> 濃度の積に依存するため、高濃度変成ガスではより深く浸炭されたと考える。

続いて、CO<sub>2</sub> 排出量の比較を行なった。結果を図 5 に示す。CO<sub>2</sub> 排出量は使用電気を試算し、CO<sub>2</sub> 排出係数をかけ算出した。排出係数については末尾に記載する。電気加熱をやめ、酸素燃焼にすることで CO<sub>2</sub> 排出量は RX ガス変成炉に比べ 1 台(50Nm<sup>3</sup>/h)あたり、8.39t-CO<sub>2</sub>/月の削減ができることがわかった。

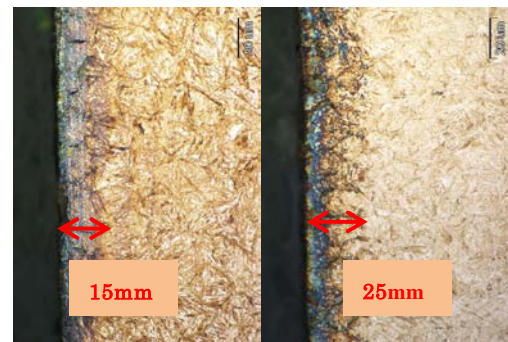


図3 浸炭サンプル組織観察結果 (左：高濃度変成ガス,右：RX ガス)

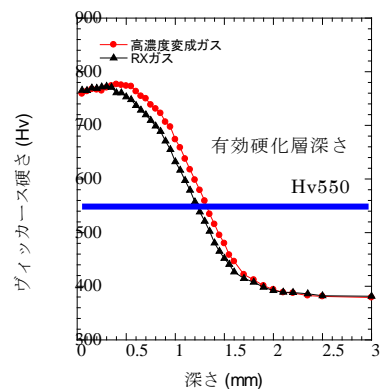


図4 浸炭サンプル硬度測定結果

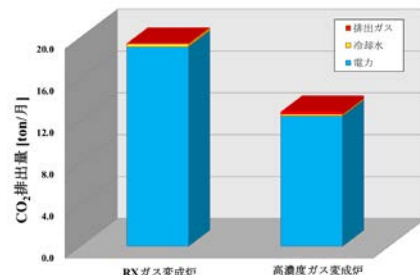


図5 変成炉の違いによる CO<sub>2</sub> 排出量比較

#### 5. おわりに

本報告では、新たに開発した変成炉について浸炭性能に関する以下の優位性を示した。

- ・高濃度変成ガスは RX ガスに比べ浸炭深さが深い。
- ・粒界酸化への影響は, RX ガスよりも抑制される。
- ・CO<sub>2</sub> 排出量は発生能力 50Nm<sup>3</sup>/h の変成炉で 8.39t-CO<sub>2</sub>/月の削減が可能である。

今後は工程短縮の見極めや他燃料の適用, 例えば液化天然ガス (LNG) 等を検討する予定である。

#### 参考文献

- 1)横瀬敬二, 雪竹克也. 進化する浸炭技術. 熱処理. 284 (2004).
- 2)電力の CO<sub>2</sub> 排出係数は, 0.555kg-CO<sub>2</sub>/kWh 「(平成 21 年 3 月経済産業省, 環境省令第 3 号)」に基づき環境大臣及び経済産業大臣が公表する係数) を使用。