

高濃度 CO 雰囲気を用いたガス浸炭の迅速化

キーワード：ガス浸炭、ガス組成、炭素濃度分布、浸炭速度、炭素流入量

はじめに

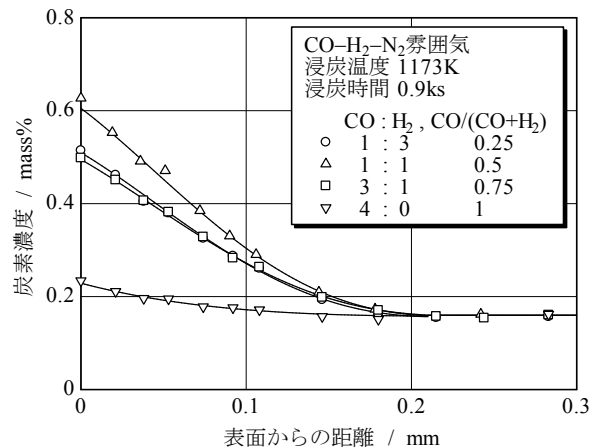
ガス浸炭処理は自動車や各種産業機械などにおけるもっとも重要な動力伝達部品の表面硬化法として多用されています。そのため品質保証が優先され、省エネルギー・省資源への取り組みが後回しになっていました。しかし、最近の環境保護の観点からこれらに対処することが急務となっています。

その対処法のひとつとして、雰囲気中のガス組成を調整することで、ガス浸炭を迅速に行う方法が考えられます。鋼表面の炭素濃度 C_s の経時変化に応じて浸炭挙動を大別すると、浸炭開始から C_s がカーボンポテンシャル C_p に向かって上昇する過程(表面反応過程)と、 C_s が C_p に達した後の鋼内部での炭素拡散によって律速される過程(拡散律速過程)とに分けることができます。表面反応過程においては、鋼中への浸炭速度はガス雰囲気と鋼表面における炭素の活量差に比例することが知られています。したがってガス組成はこの過程における浸炭速度に大きな影響をおよぼしていると考えられます。

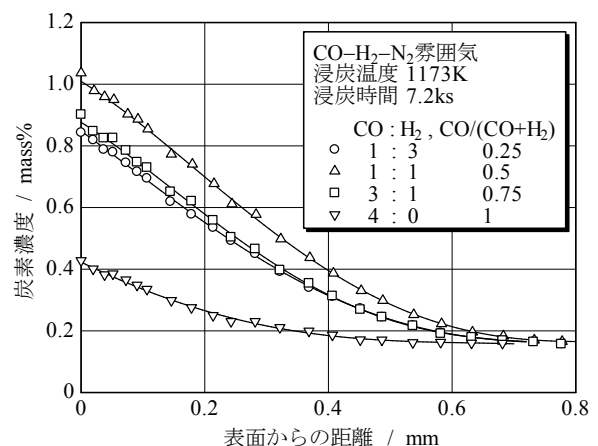
本報告では、ガス組成を変化させたときの炭素流入量や浸炭速度を測定し、それらの知見を基にガス浸炭の迅速化を図るうえでの指針を提示します。

CO-H₂-N₂ 雰囲気における浸炭

ガス浸炭で用いる RX ガスの原料にはメタン(天然ガス)、プロパンおよびブタンが使用されることがほとんどであり、そのため浸炭雰囲気は CO:20~24 %、H₂:40~30 %、残り N₂ を主成分としたものになっています。そこで、これらのガス組成の浸炭速度への影響を調べるために、CO-H₂-N₂ 雰囲気中で浸炭を行いました。図 1 に市販の S15CK (0.16 mass%C) に対して浸炭を行ったときの炭素濃度分布を



(a) 浸炭時間：0.9 ks



(b) 浸炭時間：7.2 ks

図1 CO-H₂-N₂ 雰囲気中で浸炭したS15CKの炭素濃度分布

示します。浸炭温度は 1173 K、ガス組成は (CO+H₂):N₂=1:1 と固定し、CO:H₂ の組成を変化させています。ガス組成の CO:H₂ の比によって炭素流入量が増加していることがわかります。この濃度分布から求めた炭素流入量を CO/(CO+H₂) に対してプロットしたものを図 2 に示します。ガス組成の影響が顕著に現れていることがわかります。すなわち CO に H₂ を添加することによって炭素流入量は急激に増大し、CO:H₂=1:1 (CO/(CO+H₂)=0.5) のとき

極大値を示しています。しかし過剰の H₂ 添加は逆に炭素流入量を低下させています。

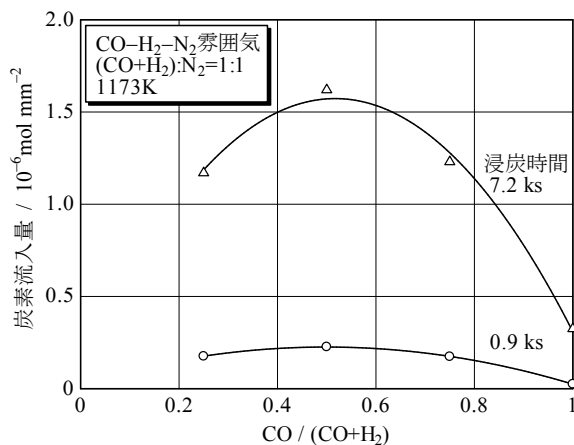


図 2 CO-H₂-N₂ 雰囲気中で浸炭した S15CK の炭素流入量とガス組成の関係

ところで、これらのガスが次に示すような反応を起こすことによって浸炭は行われます。ただし、Cは鋼中に固溶した炭素を表しています。



図 2 の CO/(CO+H₂)=1 における炭素流入量は非常に小さいにもかかわらず、H₂ を添加することによって急激に増大したことから、浸炭は反応(2)および(3)が寄与する割合は小さく、主に反応(1)によって行われたと考えられます。その場合、反応(1)の左方向への反応が無視できるとすれば、浸炭速度 v は次式によって与えられることになります。

$$v = k \cdot p_{\text{CO}} \cdot p_{\text{H}_2} \quad (4)$$

ここで、 k は反応速度定数です。 p_{CO} を X と置くと、 $p_{\text{H}_2} = 1 - X$ となり式(4)は次のように変形できます。

$$\begin{aligned} v &= kX(1 - X) \\ &= k \left\{ - \left(X - \frac{1}{2} \right)^2 + \frac{1}{4} \right\} \end{aligned} \quad (5)$$

これより v は $X=1/2$ すなわち CO:H₂=1:1 のと

き極大値となることがわかります。

以上は(CO+H₂):N₂=1:1、すなわち N₂ が組成の半分を占める条件での結果です。N₂ は浸炭反応に関与していませんので、N₂ を減らすことでさらに浸炭速度が向上することが予測できます。そこで、浸炭速度が極大値となった CO:H₂=1:1 に固定し、(CO+H₂):N₂ の比を変化させて浸炭を行い、浸炭速度を調べました。その結果を図 3 に示します。CO と H₂ の比を等しくしたまま N₂ を減らすことで浸炭速度が向上することがわかります。

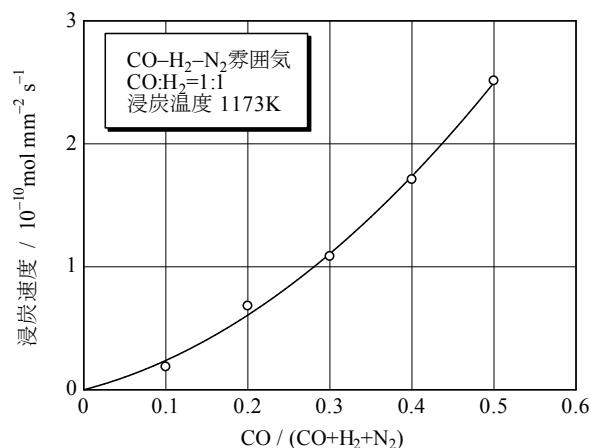


図 3 CO-H₂-N₂ 雰囲気中で浸炭した S15CK の浸炭速度とガス組成の関係

ガス浸炭の迅速化に対する提案

以上の結果からガス浸炭の迅速化を図るには、浸炭速度の向上が期待できる表面反応過程において、①CO と H₂ の比を等しくした雰囲気を用いること、②N₂ を減らして CO と H₂ を高めることが推奨されます。通常の RX ガスは CO:20~24% であり、H₂ や N₂ と比べると少ないので、表面反応過程では RX ガスに CO ガスを添加して高濃度 CO とし、炭素拡散過程では CO ガスの添加を止めるというような方法が有効であると考えます。しかし CO 濃度を高くし過ぎると炉内に煤が発生しやすくなるため注意も必要です。