



## ORIST 浸炭の新規熱処理パターン探索を支援する数値計算ソフト

キーワード：ガス浸炭、真空浸炭、炭素濃度分布、数値計算ソフト

### 概要

これまでにさまざまな浸炭熱処理法に適応できる炭素濃度分布数値解析モデルを考案し、これをベースとして、ガス浸炭法に関しては雰囲気変動条件に対しても解析可能な計算モデルを、真空浸炭ではいくつかの浸炭ガスに関して計算に必要な基礎データを収集してこれに基づく計算モデルを構築し、その有効性について検討してきました。今回これらの計算モデルをプログラムの核として、浸炭の新規熱処理パターンの探索を支援するためのパソコンによる炭素濃度分布の数値計算ソフトを開発しました。これらのソフトを使っていくつかの処理について数値計算による検討を行った結果、カーボンポテンシャルやその他の雰囲気条件が処理の途中で変化するガス浸炭処理に対して十分な精度で炭素濃度分布を予測できることや、真空浸炭における飽和値調整法とパルス法でのガス消費量や処理時間の違いに関する興味深い予測を得ることができました。

### 数値計算モデルの特徴

鋼中の炭素の拡散現象を表す式(1)に対して、式(2)を境界条件として与え、炭素濃度分布を計算しています。ここで  $C$  は炭素濃度、 $t$  は浸炭時間、 $D$  は鋼中における炭素の拡散係数です。 $F$  は雰囲気から鋼へ流入する炭素の流入速度で、浸炭方式に応じて表現方法が異なります。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left( D \frac{\partial C}{\partial x} \right) \quad (1)$$

$$-D \frac{\partial C}{\partial x} = F \quad (2)$$

ガス浸炭では多くの場合、雰囲気中のカーボンポテンシャルを  $C_p$ 、鋼の表面炭素濃度を  $C_s$

として  $F = k (C_p - C_s)$  で表現しており、基本的に  $k$  は処理中一定であるとして計算しています。これに対して、本ソフトにおける計算モデルでは  $k = f(P_{CO}, P_{H_2}, P_{CO_2}, P_{H_2O})$  とし、 $k$  を雰囲気ガス組成の関数として取り扱っています。ここで  $P_{CO}$ 、 $P_{H_2}$ 、 $P_{CO_2}$ 、 $P_{H_2O}$  はそれぞれ  $CO$ 、 $H_2$ 、 $CO_2$ 、 $H_2O$  のガス分圧です。この取り扱いにより変動する雰囲気条件下での計算を可能にしています。一方、真空浸炭では、浸炭ガス種、温度、ガス圧力が決まれば表面炭素濃度が固溶限に達するまで炭素流入速度は一定であり、温度に対してはアレニウス則に従うとする計算モデルです。

### ガス浸炭に関する計算例

図1および表1-1、表1-2に示す処理パターンで浸炭を行った場合に得られる炭素濃度分布の計算値と予測される有効硬化層深さを図2に示します。この処理パターンではカーボンポテンシャルだけでなく、キャリアーガスの  $CO$ 、 $H_2$  ガス組成も処理の途中で変更していますが、本ソフトではこのような場合に対しても計算が可能です。処理後に実施したピッカース硬さの測定では、有効硬化層深さはNo.1が1.30 mm、No.2が1.21 mmであり、絶

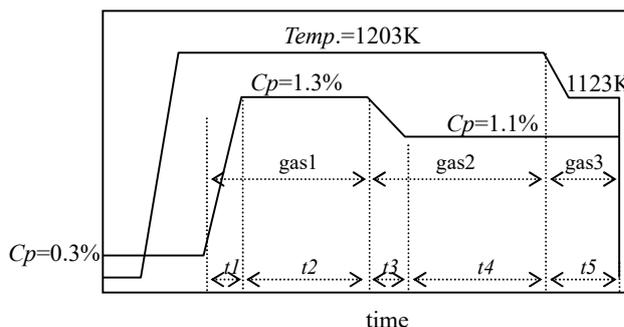


図1 雰囲気条件を変化させた浸炭熱処理パターン図

表1-1 処理の各過程におけるガス組成(vol%)設定値

処理No.	gas1	gas2	gas3
1	CO:33.3 H <sub>2</sub> :66.7	CO:20.0 H <sub>2</sub> :40.0	CO:23.5 H <sub>2</sub> :29.4
2	CO:23.5 H <sub>2</sub> :29.4		

表1-2 処理の各過程における処理時間(s)設定値

t1	t2	t3	t4	t5
600	12000	600	4800	-

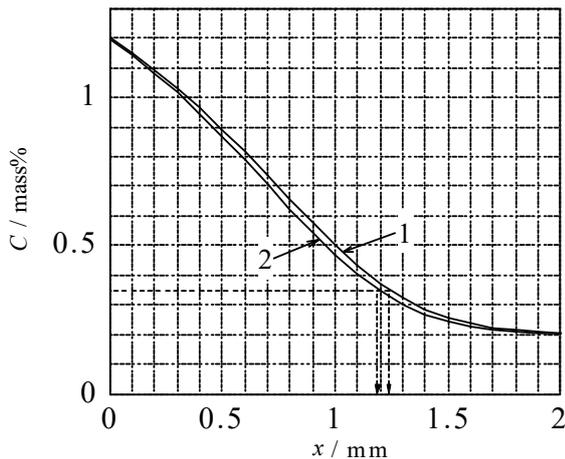


図2 炭素濃度分布の計算値と予測される有効硬化深さ

対値に若干のずれは認められるものの、計算により実測値と同じ傾向を予測しています。

### 真空浸炭に関する計算例

この計算ソフトを用いることで、炭素流入速度の見積もりが可能なガス種、ガス圧力の条件であれば、飽和値調整法による処理を行った場合にどのような炭素濃度分布になるかを計算することができ、目標とする表面炭素濃度、有効硬化層深さを得るための処理パターンを探索することができます。さらに、浸炭むらを低減する目的などで実施されるパルス法、すなわち、ある一定圧力まで浸炭ガスを導入し浸炭させた後、減圧することを繰り返す処理によって目標とする炭素濃度分布を得る場合においても、繰り返し圧力条件や繰り返し回数およびその後の拡散時間を予測することが可能です。

図3は浸炭時間 1800 s、拡散時間 2050 s の

飽和値調整法による真空浸炭処理で得られる炭素濃度分布の計算値で、図4はこれと同じ濃度分布を、浸炭温度 1203 K で 30 s の浸炭と 30 s の拡散の繰り返しによるパルス浸炭処理とその後の拡散処理によって得る場合の処理条件です。この処理によりほぼ同じ炭素濃度分布となりますが、パルス浸炭の場合、浸炭総処理時間が増大するものの、浸炭回数 37 回から計算される実質の浸炭累積時間は 1110 s と飽和値調整法にくらべ短くなり、ガスの消費量が約 40% 節約されるという興味深い予測が得られました。

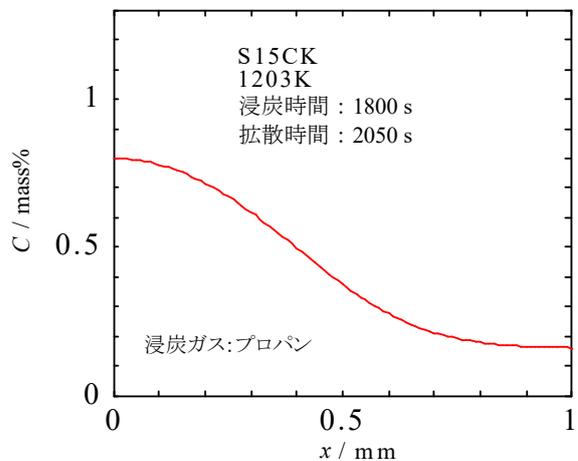


図3 飽和値調整法による真空浸炭後の炭素濃度分布の計算値

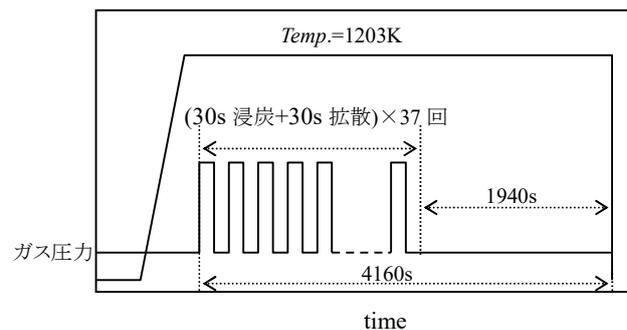


図4 飽和値調整法と同じ炭素濃度分布を得る場合のパルス浸炭処理パターン

### おわりに

現時点では、計算で考慮できるガス種、ガス圧力、処理鋼種が限られています。基礎データを収集、蓄積し、適用条件の拡大および計算精度の向上に取り組んでいます。