0601 熱処理シミュレーションの現状

データベースとベンチマーク解析に関する IMS プロジェクトを中心として

- 井上達雄 (福山大・工), 渡辺陽一 (日産自動車), 岡村一男 (住友金属), 奈良崎道治 (宇都宮大), 七野勇人 (コマツ), 巨東英 (埼玉工大・工), 金森英夫 (出光興産), 市谷克実 (同)

State of Arts on Quenching Process Simulation

--- Japanese IMS-VHT Project on the Benchmark Analysis and Experiment ---

T. Inoue(Fukuyama Univ.), Y. Watanabe(Nissan Motor Co.), K. Okamura(Sumitomo Metal Ind.), M. Narazaki(Utsunomiya Univ.), H. Shichino(Komatsu), D.-Y. Ju(Saitama Inst. Tech.), H. Kanamori(Idemitsu Kosan Co.) and K. Ichitani(ibid.)

1. 緒言

(財)製造科学技術センター(IMS= Intelligent Manufacturing Systems)では, 国際共同研究事業の一環として, 日本のパートナーとして筆者らが参画する“熱処理プロセスのモニタリングと最適化のための仮想熱処理ツールの構築”IMS-VHT (Virtual Heat Treatment tool for monitoring and optimising HT process)を推進しつつある^(1, 2). これは, 鋼材の熱処理条件を最適化するために, 試行錯誤や経験に依らずに, 数値計算により仮想的に熱処理過程をシミュレートし, 熱処理品質 (特に熱処理変形) を予測できる高精度・高速の熱処理シミュレーションソフトを構築する. これとともに, 実際の熱処理作業について, これまでに製造現場で蓄積されてきた経験を知識データとしてデータベース化 (KBS; Knowledge Based System) し, これらによって最適な熱処理作業方案を決定するための決定支援システム (DSS; Decision Support System) を構築することを目標としている.

ここでは, 過去2年余にわたって行ってきた共同研究のうち, 日本において, 日本材料学会 (塑性工学部門委員会, 材料データベース研究分科会), 日本熱処理技術協会 (焼入れとシミュレーション研究部会) の協力を得て行った既存の熱処理シミュレーションソフトを用いたベンチマーク問題の結果の概要を報告する.

2. データとベンチマーク問題

2.1 材料データ 熱処理とくに浸炭焼入れ歯車に多く用いられるクロム鋼 SCr420H (化学成分: 0.21%C, 0.2%Si, 0.2%Mn, 0.016%P, 0.017%S, 0.02%Ni, 1.15%Cr, 0.01%Mo) を対象とした. 基本的には, 材料学会 (材料データベース研究分科会) で収集頒布中のデータベース MATEQ (MATERIAL database for Quenching)⁽³⁾ を用いたが, 不足するものについては新たに採取・設定した.

2.2 熱伝達係数 冷却剤はハイテンプ A (出光興産製) を用いた. この場合の冷却特性を, JIS K 2242 およびその改良手法で測定し, 逆計算によって, 熱伝達係数を同定した⁽⁴⁾. ただし, ワークの部位によって値が変る場合には, 他の実験結果とほぼ一致するように試行錯誤で推定した.

2.3 ベンチマーク問題 次の4種類のワークを対象とした.

1. 円柱; 直径 $D=20\text{mm}$, 長さ $L=60\text{mm}$.
2. 円盤; 直径 $D=30\text{mm}$, 厚さ $t=10\text{mm}$.

Fig.1 Heat pattern for benchmark problems.

3. 歯車ブランク材; 外径 $D=77\text{mm}$, 内径 $d=22\text{mm}$, 幅 $b=22\text{mm}$.

4. はすば歯車; ブランク材にモジュール $m=1.77$ の歯切をしたもの

浸炭および焼入れのヒートパターンを Fig.1 に示す. 浸炭処理における浸炭, 拡散過程の雰囲気化学ポテンシャルはそれぞれ $C_p = 1.1, 0.85\%$ と設定した.

3. シミュレーション結果と実験との比較

ここでは, ベンチマーク問題1, 3, 4について結果の主なものを紹介する. 問題にもよるが, 参画した熱処理シミュレーションソフトは HEARTS⁽⁵⁾, GRANTAS⁽⁶⁾, QUESS⁽⁷⁾, SYSWELD⁽⁸⁾, DEFORM-HT⁽⁹⁾, COSMAP⁽¹⁰⁾ および, 他の協力者による ABAQUS 系のものである.

3.1 円柱 Fig.2(a) に, 浸炭処理後の炭素濃度分布を示す, この結果は, ソフトの間でほとんど差がなかった. また, 最終状態での変形を拡大して Fig.2(b) に示す.

Fig.2 Distribution of diffused carbon and distortion--- Cylinder.

Fig.3 Martensite fraction from surface on the middle section --- Cylinder.

Fig.4 Comparison of quenched distortion with experiment
--- Cylinder

焼入れ後のマルテンサイトの体積分率と変形をソフト A,B,C で求めたものを Figs.3,4 に示す。A による組織分布にはやや差違が見られることは、今後の問題であらう。

3.2 ブランク材 歯車ブランク材のマルテンサイト分布、接線方向残留応力の結果を Fig.5(a),(b) に表示

Fig. 5 Simulated results on the section --- Ring

Fig.6 Simulated distortion compared with experiment --- Ring

Fig.7 Simulated distribution of martensite --- Helical gear

Fig. 8 Simulated distribution of residual stress in thickness direction --- Helical gear

参考文献

1. Web site; IMS International; <http://www.ims.org/>
2. Web site of; IMS Japan; <http://www.ims.mstc.or.jp/english/index3.html>
3. 材料学会 DB 分科会, 51-3(2002), 350
4. 奈良崎, 焼入れとシミュレーション研究部会・材料データベース研究分科会・研究成果合同発表会資料 (2004), A-4.
5. T.Inoue, K.Arimoto, and D.Y.Ju, Proc.Int. Conf.n Quenching and Control of Distortion, ASM International, Vol.1, (1992) pp.205-212

してある。また Fig.6 は、変形の測定結果との比較である。

3.3 はすば歯車 3次元形状のはすば歯車を、周期境界条件を用いて解析した。Figs.7,8 の左図は縦断面、右図は歯幅中央断面におけるマルテンサイト分布、歯幅方向の残留応力の結果である

4. まとめと今後の問題

共通のデータを用いて、いくつかの熱処理シミュレーションソフトを用いた4種類のベンチマーク問題の解析結果を要約した。いまのところ、すべての問題が参加したソフトで解析されてはいないが、今後はさらにこれを行って行く予定である。また、他の鋼種についても同様なベンチマークシミュレーションを実施中である。このようなソフトの特徴を把握して、改良を重ねることによって、ソフトの充実が完備されることを期待したい。

謝辞

本プロジェクトを実施するにあたって、日本 IMS を通じて経済産業省の援助を得たことを記し、これに参加、協力を頂いた材料学会データベース分科会、熱処理技術協会焼入れとシミュレーション研究部会関係者に深甚の謝意を表す。