

ロジカル熱処理を実現するゆがみ（歪み）制御システムの開発

アリモテック ○有本 享三

近畿大学 仲井 正昭

KOYO 熱錬 杉本 卓也

1. はじめに

最近の高精密部品の熱処理では、ゆがみ（歪み）に対して異次元の制約が課せられるようになっている。そこで、熱処理シミュレーションに基づくゆがみ制御システムをゆがみのばらつきが小さい熱処理プロセス（窒化、高周波焼入れ、浸炭・高周波焼入れ複合処理など）のために開発することで対処を試みた。実現を目指すプロセスはロジカル熱処理と名づけられ、ゆがみ制御システムの開発は 2022 年度の Go-Tech 事業（成長型中小企業等研究開発支援事業）に採択された。

2. ロジカル熱処理とその実現

2. 1 コンセプト

窒化、高周波焼入れ、浸炭・高周波焼入れ複合処理などの団体急冷を含まない熱処理はゆがみのばらつきが小さいため、熱処理シミュレーションによるゆがみ予測を効果的に用いて、図 1 に示すロジカル熱処理を実現することが可能となる。熱処理シミュレーションソフトだけではなく、二種類のゆがみ制御支援ソフト（シミュレーションひずみ法と窒化前形状の探索）を含むゆがみ制御システムが開発されることになる。

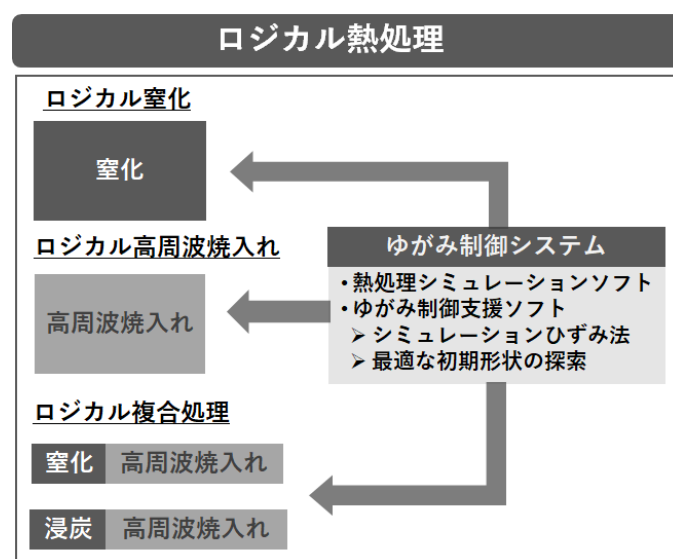


図 1 ロジカル熱処理とゆがみ制御システム

2. 2 ゆがみ制御システム

ゆがみ制御システムに含まれる熱処理シミュレーションソフトは、図 2 に示すように有限要素法（FEM）に基づくマルチフィジックス（応力・ひずみ、伝熱、拡散、および電磁場の連成）解析に対し、変態予測と複合則の機能を付加した構成を持つ。その開発には、連成マルチフィジックスモデリング機能を提供するシミュレーションプラットフォームである COMSOL Multiphysics®¹⁾を用いている。

ゆがみ制御支援ソフトの一つであるシミュレーションひずみ法²⁾は、熱処理ゆがみと残留応力の発生メカニズムの解明のための手法であり、図 3 には日本刀試験片の反り現象への適用状況を模式的に示す。この図には、シミュレーションから得られた冷却終了時での軸方向の各種ひずみ分布が、試験片断面の中心線（一点鎖線）に沿って描



図 2 熱処理シミュレーションソフトの構成

かれている。線形の全ひずみ分布の発生には、刃先側における主に膨張ひずみと塑性ひずみの正の領域が寄与していることがわかる。

膨張ひずみは、熱ひずみが最終冷却時に消滅するため、その分布は刃先に生じたマルテンサイトの変態ひずみによって

もたらされている。一方、塑性ひずみの刃先における正の領域は、この部分が焼刃土の効果によって冷却開始から1.5s程度の間急激に冷却されることで生じる。なお、図3の右下部には、全ひずみ分布の全幅から日本刀試験片反りの曲率半径の値を求めるための手順が示されている。

ゆがみ制御支援ソフトには、窒化部品に対して処理前の最適形状を探索する機能も含まれている。

図4は、この探索のアイデアを模式的に示すもので、1940年代の窒化ゆがみに関する論文³⁾に含まれている。すなわち、図(a)の断面形状を窒化前に持つリングは、窒化後にはその端部において図(b)に示す特徴的なゆがみが生じる。このゆがみに基づき窒化前の断面形状を図(c)のように設定すると、窒化後の断面が図(a)の理想形状に近づくとされている。このアイデアに基づき、窒化前形状を最適化するための機能を開発する。

3. まとめ

部品の熱処理で生じるゆがみの低減に対する要求が、最近の新規プロダクトの開発に伴ってより強まってきている。ここでは、この要求に対処する試みとして、ロジカル熱処理とそれを実現するためのゆがみ制御システムについて述べた。ロジカル熱処理は、過去の熱処理ゆがみのばらつき対策に費やされた努力の一部を切り捨てているようにも見える。しかし、確立した技術から最適なものを選択し、それらを補強するというコンセプトは実現性が高いものとなる。ロジカル熱処理のためのシミュレーション援用ゆがみ制御システムの開発は、経済産業省 成長型中小企業等研究開発支援事業 JPJ005698 の助成を受けている。

参考文献

- 1) COMSOL Multiphysics® v. 6.1. www.comsol.com. COMSOL AB, Stockholm, Sweden.
- 2) 吉井聡一, 伊與田宗慶, 有本享三: 熱処理, **63** (2) (2023) 76-82.
- 3) 長澤雄次: 日本金属学会誌, **4** (2) (1940) 92-97.

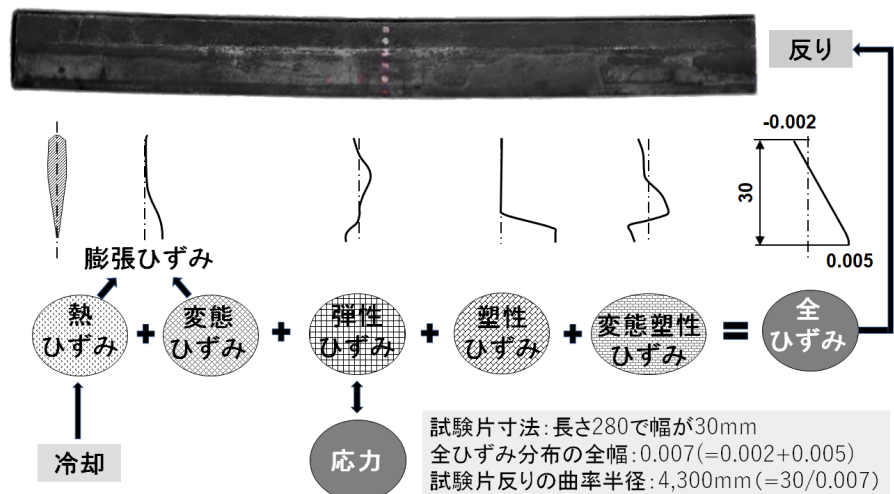


図3 シミュレーションひずみ法の日本刀試験片(切先なし)における反り発生メカニズムへの適用

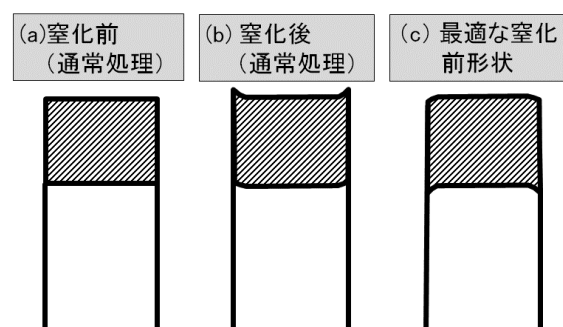


図4 窒化リングにおける最適な窒化前形状