

平成21年5月29日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2006～2008

課題番号：18560688

研究課題名（和文） 焼入冷却剤の冷却能データベースの構築

研究課題名（英文） Database Construction for cooling power of quenchants

研究代表者

奈良崎 道治（NARAZAKI MICHIHARU）

宇都宮大学・工学研究科・准教授

研究者番号：00091950

研究成果の概要：標準試片（銀棒試片）による冷却曲線データと熱伝達率データの収集，および鋼部品の冷却曲線測定と熱伝達率同定を実施し，熱処理に用いられる各種の冷却剤（水，熱処理油，食塩水，ポリマー焼入液，熔融ソルト，熔融金属，各種不活性ガス）についての熱伝達率データの算出を行い，その結果を EXCEL データシートの形式にまとめてデータベースを構築した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,200,000	0	1,200,000
2007年度	800,000	240,000	1,040,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	2,600,000	420,000	3,020,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：材料工学 ・ 材料加工・処理

キーワード：材料加工・処理，シミュレーション，熱工学，焼入れ，冷却剤

1. 研究開始当初の背景

熱処理部品の高精度化，熱処理後の矯正や仕上工程にかかるコスト削減，熱処理後の残留応力最適化による疲労強度と衝撃性の向上を実現するために，熱処理変形と残留応力の予測と解析に市販の熱処理プロセス・シミュレーション用コードが用いられる機会が増えている。鋼部品の焼入れシミュレーションを実施する際に，焼入剤の冷却性能や熱的界面境界条件として与える表面熱伝達率のデータベースの必要性が生じるが，残念ながら種々の焼入冷却剤の冷却能データが整理集約されたデータベースとして公開あるいは

販売されているものは見当たらない。それゆえ，種々の冷却剤と使用条件（液温，攪拌の程度など）についてデータを収集すれば，比較的短期間で熱処理用冷却剤の冷却能データベースを構築することが可能であり，それによって熱処理シミュレーションの実用化を推進することができるため，冷却能データベースの構築が国内国外いずれも強く望まれている。

2. 研究の目的

種々の焼入冷却剤と使用条件（液温，攪拌の程度など）についてデータを収集すること

によって、鋼部品の焼入れシミュレーションを実施する際に必要な、焼入剤の冷却性能や熱的表面境界条件として与える表面熱伝達率のデータベースを構築することを目的とする。

さらに、鋼部品の焼入れシミュレーション精度に及ぼす熱伝達率精度の影響についての検討が必要であり、収集した熱伝達率データを用いて鋼試片及び鋼実部品の焼入れシミュレーションを実施し、得られた解析結果と実験による測定値との比較検討によって、熱伝達率データの精度が数値解析結果に及ぼす影響について確認することを目的とする。

3. 研究の方法

具体的には以下のように検討と作業を進めた。

(1) 各種冷却剤の冷却能及び熱伝達率算出法についての検討をさらに進め、焼入冷却時の熱伝達率算出精度の改善をはかった。

(2) 冷却能に及ぼす攪拌の影響を定量的に把握するために流速の測定が可能な攪拌槽を作成して用いた。

(3) 標準試片として変態潜熱、表面酸化の影響のない銀円柱試片を用いて、各種の冷却剤と使用条件について焼入実験を行い、得られる焼入冷却曲線データから熱伝達率を算出してデータベース化を進めた。

(4) 実際の鋼部品の焼入実験を行い、鋼部品の形状・寸法、姿勢、材質等の影響について分析し、これらの結果をデータベースに組み入れた。

4. 研究成果

得られた成果は以下のとおりである。

(1) 熱伝達率の算出精度の改善

冷却曲線データから集中熱容量法を用いて熱伝達率を算出するときに、測定した離散データから試片の冷却速度を求める際の算出精度を高めるために、スプライン補間によって補間データを作る機能をプログラムに追加した。また、補間間隔の最適値について検討して、開発したプログラムの設定を最適化して、熱伝達率算出精度の改善を行った。

(2) 標準試片（銀棒試片）による冷却曲線データと熱伝達率データの収集

鋼部品の熱処理に用いられる各種の冷却剤（水、熱処理油、食塩水、ポリマー焼入液、

溶融ソルト、溶融金属、各種不活性ガス）について、相変態や表面酸化の影響のない銀棒試片(JIS K2242:図1)を各種の冷却剤に焼入れした際の冷却曲線の実測を行い、それらのデータより、集中熱容量法や逆問題的手法により同定した(図2, 図3に例)。



A法(表面式) B法(中心式)
油用 水溶性用

図1. 冷却能測定用銀棒試片
(φ10×30mm, JIS K2242)

Example of data

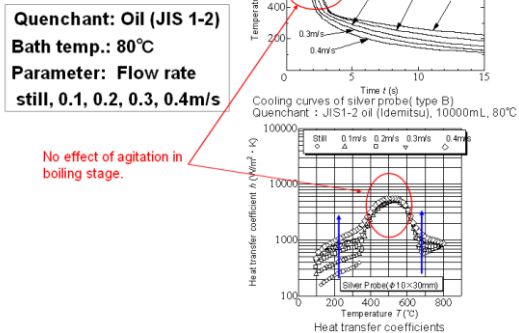


図2. 銀円柱の油焼入れ時熱伝達率同定結果の例

Example of data

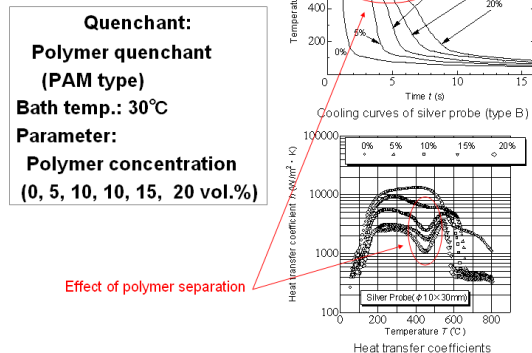


図3. 銀円柱のポリマー焼入れ時熱伝達率同定結果の例

(3) 鋼部品の焼入れと熱伝達率データの収集
 鋼円柱、鋼円板、鋼角柱などの単純形状試片と鋼歯車などの鋼実部品の焼入れ実験を行い、逆解析法による熱伝達率同定(鋼部品等)を実施して、データ収集を進めた。図4に鋼歯車の油焼入れ時熱伝達率同定結果の一例を示す。

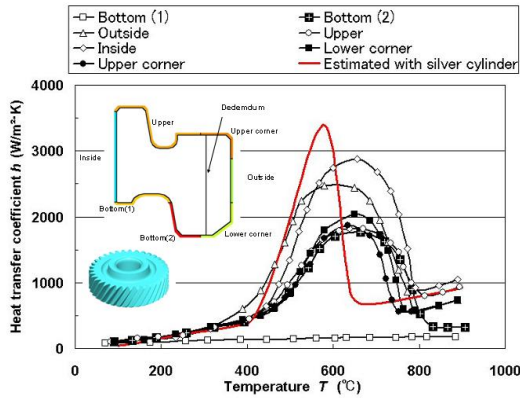


図4. 鋼歯車の油焼入れ時熱伝達率同定結果の例

(4) 冷却能データベースの構築

以上の作業によって収集したデータの整理を進め、液温、濃度、攪拌速度、圧力などの因子の影響を含めた冷却曲線データと熱伝達特性データを収集してEXCELデータシートの形式(図5)にまとめた。

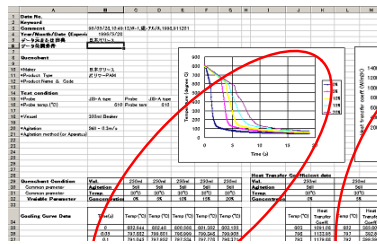


図5. 冷却能データシートの代表例

(5) 鋼部品の焼入れシミュレーション精度に及ぼす熱伝達率精度の影響についての検討

収集した熱伝達率データを用いて鋼試片及び鋼実部品の焼入れシミュレーションを実施し、得られた解析結果と実験による測定値との比較検討によって、熱伝達率データの精度が数値解析結果に及ぼす影響について検討した。その結果、冷却剤によっては部品の材質、形状・寸法、姿勢によって熱伝達率が左右されるため、シミュレーション精度を

上げるためには、銀円柱試片によって求めた標準熱伝達率をそのまま用いるよりも、鋼実部品の冷却曲線の実測値から同定した熱伝達率(鋼部品表面を複数の領域に分割してそれぞれの表面領域について求める)を用いることが望ましいことを確認した(図6に一例を示す)。

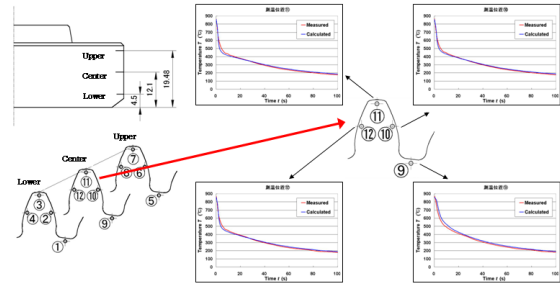


図6. シミュレーション精度に及ぼす熱伝達率データ精度の検証の一例

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計5件)

(1) A. Sugianto, M. Narazaki, M. Kogawara : "Iterative Modification of Lumped Heat Capacity Method on Predicting Residual Stress and Distortion of Still-Quenched S45C Steel Cylinder", Materials Science Forum, Vols.561-565, pp.1857-1860 (2007), 査読有り

(2) A. Sugianto, M. Narazaki, M. Kogawara, S. Y. Kim, S. Kubota: "Numerical simulation and experimental verification of carburizing-quenching process of SCr420H steel helical gear", Journal of Materials Processing Technology, Vol.209, pp.3597-3609 (2009), 査読有り

(3) A. Sugianto, M. Narazaki, M. Kogawara, A. Shirayori : "Failure analysis and prevention of quench crack of eccentric holed disk by experimental study and computer simulation" Engineering Failure Analysis, vol.16, pp.70-84 (2009), 査読有り

(4) M. Narazaki, M. Kogawara, M. Qin, Y. Watanabe;"Measurement and database construction of heat transfer coefficients of gas

quenching”, Strojniški vestnik - Journal of Mechanical Engineering, vol.55-3, pp.167-173 (2009), 査読有り

(5) A. Sugianto, M. Narazaki, M. Kogawara, A. Shirayori : "A comparative study on determination method of heat transfer coefficient using inverse heat transfer and iterative modification", Journal of Materials Processing Technology. (2009), (掲載決定) 査読有り

[学会発表] (計5件)

1) アリフ・スギアント, 奈良崎道治, 小河原稔, 白寄篤, 淵澤定克; 航空機エンジン用スリング・アダプタの焼入変形の数値解析, 日本機械学会関東支部第13期総会講演会 (2007.3), 宇都宮

2) 根本 浩充, 奈良崎道治, 白寄篤, 淵澤克, 金秀英, 久保田智; 鋼歯車の熱処理シミュレーションとその精度検証, 日本機械学会関東支部第13期総会講演会 (2007.3), 宇都宮

3) 奈良崎道治, 小河原稔, 杉本剛, 渡辺陽一; 加圧ガス焼入れ時の冷却能測定, 第64回日本熱処理技術協会講演大会講演, 東京

4) 奈良崎道治, 小河原稔, 覃 明, 渡辺陽一; 高温金属のガス冷却時における加圧ガスの冷却性能, 第65回日本熱処理技術協会講演大会 (2007.10), 室蘭

5) A. Sugianto, M. Narazaki, M. Kogawara, A. Shirayori; "A comparative study of determination method of heat transfer coefficient using inverse heat transfer and iterative modification"; The 8th Asia-Pacific Conference on Materials Processing, June 15-20, (2008), Guilin-Guangzhou, China,.

6) M. Narazaki, M. Kogawara, M. Qin, Y. Watanabe; "Measurement and database construction of heat transfer coefficients of gas quenching", The 2nd International Conference on Distortion Engineering, September 17-19,(2008) Bremen, Germany.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

奈良崎 道治 (NARAZAKI MICHIHARU)
宇都宮大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号：00091950

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者
なし