

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2018-150621

(P2018-150621A)

(43) 公開日 平成30年9月27日(2018.9.27)

| | | | | |
|----------------------|------------------|---------|-------|-------------|
| (51) Int.Cl. | | F I | | テーマコード (参考) |
| C 2 1 D 1/60 | (2006.01) | C 2 1 D | 1/60 | A |
| B 8 2 Y 30/00 | (2011.01) | B 8 2 Y | 30/00 | |

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 14 頁)

| | |
|--|---|
| <p>(21) 出願番号 特願2018-44725 (P2018-44725)</p> <p>(22) 出願日 平成30年3月12日 (2018. 3. 12)</p> <p>(31) 優先権主張番号 特願2017-46260 (P2017-46260)</p> <p>(32) 優先日 平成29年3月10日 (2017. 3. 10)</p> <p>(33) 優先権主張国 日本国 (JP)</p> <p>新規性喪失の例外適用申請有り</p> | <p>(71) 出願人 504133110 国立大学法人電気通信大学 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1</p> <p>(72) 発明者 大川 富雄 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 梅原 裕太郎 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> <p>(72) 発明者 榎木 光治 東京都調布市調布ヶ丘一丁目5番地1 国立大学法人電気通信大学内</p> |
|--|---|

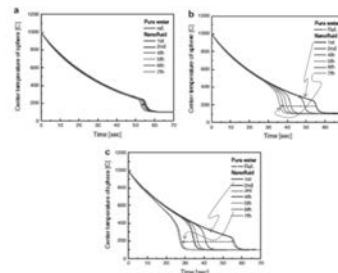
(54) 【発明の名称】 冷却剤

(57) 【要約】

【課題】 焼き割れが生じず、硬い材料を作成するための冷却剤、冷却装置および冷却方法を提供する。

【解決手段】 本発明の冷却剤は、無機ナノ粒子径が10 nm以下であり、この無機ナノ粒子が溶液中に濃度0.4 ~ 0.04 kg/m³以下となるように分散されていることを特徴とする。また無機ナノ粒子は、シリコン、アルミナ、チタンのいずれから選択され、無機ナノ粒子は、あらかじめ超音波洗浄機により粉碎されていることを特徴とする。これにより

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

無機ナノ粒子径が10nm以下であり、当該無機ナノ粒子が溶液中に濃度0.04kg/m³以上となるように分散されていることを特徴とする冷却剤

【請求項 2】

前記無機ナノ粒子は、シリコン、アルミナ、チタンのいずれから選択されることを特徴とする請求項1に記載の冷却剤

【請求項 3】

前記無機ナノ粒子は、あらかじめ超音波洗浄機により粉碎されていることを特徴とする請求項1および2に記載の冷却剤

【請求項 4】

無機ナノ粒子が溶液中に分散される濃度は、より好ましくは0.4kg/m³以上であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の冷却剤

【請求項 5】

サブクール度は20K以上であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の冷却剤

【請求項 6】

サブクール度は好ましくは50K以上であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の冷却剤

【請求項 7】

サブクール度はより好ましくは70K以上であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれか1項に記載の冷却剤

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷却剤に関する。

【背景技術】

【0002】

現在、世の中に多く存在している鉄製の機械部品は、熱処理を施されることで本来の特性を最大限まで向上させることができる。熱処理は、大きく分けて、標準化処理、硬化・強化処理、表面強化処理の3種類に分類できる。本研究を行う発明者らは、特に硬化・強化処理の焼入れという熱処理法に焦点を当てて研究を行った。焼入れのルールとして「材料を十分にオーステナイト化すること」「臨界区域を急冷し、危険区域は徐冷すること」の2つが重要なルールとなっているが、現在の焼入れには、2点の問題点が存在している。1点目としては、臨界区域を急冷するために一般的には、水が多く用いられているが、危険区域も急冷してしまい、焼き割れ・変形などが生じる点が挙げられる。2点目としては近年、機械の小型・軽量化に伴う部品の小型・軽量化が進められているが、小型・軽量化された部品も一定以上の強度を求められる点が挙げられる。そこで、焼き割れが生じず、硬い材料を作成するための焼入れ手法、特に急冷手法の確立が高度な熱処理製品の作成には、不可欠である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2009-62612号広報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

本発明は上記課題に鑑みてなされたものであり、焼き割れや変形を生じさせず、高強度な材料を製造するための冷却剤を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

【0005】

本発明は、無機ナノ粒子径が10nm以下であり、この無機ナノ粒子が溶液中に濃度0.04kg/m³以上となるように分散されていることを特徴とする。またこの無機ナノ粒子は、シリコン、アルミナ、チタンのいずれから選択されることを特徴とする。さらにこの無機ナノ粒子は、あらかじめ超音波洗浄機により粉碎されていることを特徴とし、この無機ナノ粒子が溶液中に分散される濃度は、より好ましくは0.4kg/m³以上とする。またサブクール度は20K以上であることを特徴とし、好ましくは50K以上である。より好ましくは70K以上であることを特徴とする冷却剤である。

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、焼き割れや変形を生じさせず、高強度な材料を製造するための冷却剤を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】冷却曲線を示すグラフである。

【図2】冷却曲線を示すグラフである。

【図3】テストサンプルの図である。

【図4】本発明に用いた超音波洗浄機の図である。

【図5】本発明の実験装置とサンプル1およびサンプル2の結果である。

【図6】本発明に係る評価結果1である。

【図7】本発明に係る評価結果2である。

【図8】本発明に係る評価結果3である。

【図9】本発明に係る評価結果4である。

【図10】発明に係る評価結果5である。

【図11】発明に係る評価結果6である。

【図12】発明に係る評価結果7である。

【図13】発明に係る評価結果8である。

【図14】発明に係る評価結果9である。

【図15】発明に係る評価結果10である。

【図16】発明に係るサブクール20K、濃度0.4kg/m³のときの評価結果である。

【図17】発明に係るサブクール50K、濃度0.4kg/m³のときの評価結果である。

【図18】発明に係るサブクール70K、濃度0.4kg/m³のときの評価結果である。

【図19】発明に係るサブクール20K、濃度0.04kg/m³のときの評価結果である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態について説明する。

[ナノ流体の作成]

ナノ粒子は、非水溶性の物質である。そのため、ナノ流体と呼ばれるものは、蒸留水中にナノ粒子が溶解している水溶液をさすのではなく、液体中に沈殿せず分散してナノ粒子が存在しているものをさしている。今回の実験で用いたナノ流体は、超音波洗浄機(KAIJO製:QR-003)を用いて作成した。このナノ流体の作成に超音波洗浄機を用いたのは、以下の理由からである(参考文献5)。

1. 超音波を水中に照射することで、水や溶存空気からラジカルが生成し、これらが反応すると過酸化水素、亜硝酸および硝酸を生成し、溶液のpHが低下する現象が起こる。これにより、ナノ粒子の沈殿を起こすゼータ電位からpHを遠ざけることを可能にした。

2. 超音波照射により、キャビテーションが発生する。キャビテーションとは液体中に加

10

20

30

40

50

えられた減圧力によって空洞を生じる現象のことを言う。これにより、凝集しているナノ粒子を破碎することで粒子径を一次粒子径に近づけ、沈殿しにくくした。

【 0 0 0 9 】

J. Buongiornoらの研究(参考文献1および2)によると、高温物体をナノ流体中に複数回浸漬させると膜沸騰から核沸騰への遷移が早く生じ、熱伝達が良くなると報告されている。図1、2は、直径9.5mmのSSの球体を飽和沸騰状態のナノ流体(アルミナ)で冷却した際の冷却曲線である。ここでナノ流体の濃度は、(a)0.001、(b)0.01、(c)0.1vol%である。

【 0 0 1 0 】

このようにナノ流体への浸漬を繰り返すと、濃度が濃いナノ流体では冷却にかかる時間が短くなることがわかる。しかし、詳細に比較を行なうと、いずれの濃度でも最初の浸漬では、蒸留水への浸漬時と同じであることがわかる。このことから流体中に存在するナノ粒子が伝熱に影響しているのではなく、試料表面に付着したナノ粒子が冷却速度を向上させていることがわかる。このメカニズムとして考えられるのは、試料表面へのナノ粒子の堆積が表面粗さ・濡れ性を向上させることで膜沸騰段階の蒸気膜の早期崩壊を導き、冷却時間が短縮されているということである。ただし、上記の状況がすべてのナノ粒子によって引き起こされるわけではない。

10

【 0 0 1 1 】

図1(c)と図2(a)に示すように、シリカはアルミナ同様に浸漬回数を重ねることで冷却の速度が向上していることがわかる。一方で、ダイヤモンドはそれらと比べて浸漬回数が増えても冷却速度の向上は、顕著に現れていない。ナノ粒子による冷却速度の違いは未だに理解されていない。

20

以上のことから、材料全体の均一冷却・急冷を実現することは高度な熱処理製品の作成において不可欠な要因である。冷却剤としてのナノ流体の性質を明らかにするとともに、焼入れによる材料の改質を行うことが重要である。

(参考文献1)H. Kim, G. DeWitt, T. McKrell, J. Buongiorno, Lin-wen Hu, On the quenching of steel and zircaloy spheres in water-based nanofluids with alumina, silica and diamond nanoparticles, Int. J. Heat Multiphase 35 (2009) 427-438.

(参考文献2)H. Kim, J. Buongiorno, L.W. Hu, T. McKrell, Nanoparticle deposition effects on the minimum heat flux point and quench front speed during quenching in water-based alumina nanofluids, Int. J. Heat Mass Transfer 53 (2010) 1542-1533.

30

(参考文献3)奈良崎 道治, 淵沢 定克, 小河原 稔, 稲葉 正光, 高温金属をサブクール水中に急冷した時の冷却特性に及ぼす表面酸化の影響, 鉄と鋼 vol79 No5 (1993)583-589

(参考文献4)奈良崎 道治, 淵沢 定克, 薄羽 正明, 高温金属をサブクール水中に急冷した時の特性温度に及ぼす試片形状の影響

(参考文献5)T. Nakamura, H. Okawa, Y. Kawamura, K. Sugawara, Solid-liquid separation by sonochemistry a new approach for the separation of mineral suspensions, Ultrasonics Sonochemistry 18 (2011) 85-91

40

(参考文献6)新居 和嘉他, 金属材料の高温酸化と高温腐食, 腐食防食協会, 昭和57年発行

【 0 0 1 2 】

[試験体]

SUS304、S45Cの丸棒を大きさ15×30mmの円柱に加工し、中心部と側面部から0.5mmのところから1.6×15mmの穴を空けた。その穴にそれぞれ熱電対を挿入し、穴の周囲に空けられた穴を錐でたたくことで熱電対をかしめた。試料の材質等については下記の表1の通りである。

【表 1】

| | 密度[g/cm ³] | 比熱[J/(kg・K)] | 熱伝導率[W/(m・K)] |
|--------|------------------------|--------------|---------------|
| SUS304 | 7.9 | 502 | 16 |
| S45C | 7.8 | 440 | 41 |

10

(1) 実験装置

20

以下用いた装置の仕様

・電気炉

ヤマト科学製 F0100型

・データロガー

キーエンス製 NR600

・ホットプレート

IKA製 C-MAG HP7

・高速カメラ

PHTORON製 FASTCAM-MAX 120K

・LEDライト

IDT製 LED120E

30

・熱電対 (1.6mm)

東洋熱化学製 K型熱電対クラス2 (シース熱電対マイクロベル)

許容差2.5 °C

【 0 0 1 3 】

(2) 実験手順

[ナノ流体の作成]

- 1 . 電子天秤を用いて必要量のナノ粒子を得る。
- 2 . 3 0 0 m l ビーカーを用いて蒸留水とナノ粒子を混合させる。
- 3 . ビーカー上部にラップをかけ、外部からの不純物の流入を防いだ。
- 4 . 超音波洗浄機に3時間かけて十分にナノ粒子を粉碎し、ナノ流体を作成した。

40

【 0 0 1 4 】

[試料の洗浄]

本実験では、試料表面の状態が非常に重要であるため、実験前に必ず試料表面の洗浄を行った。

- 1 . 流水で表面を洗浄
- 2 . アセトンで表面を洗浄

試料の加工時に付着した油等は、ナノ流体作成に用いたものとは別の超音波洗浄機 (BRANSON製 : CPX2800 - J) を用いて、油を除去した。

【 0 0 1 5 】

50

[試料の焼き入れ]

1. 電気炉内で1000℃まで加熱し、2分定常になるまで待った。
 2. ホットプレートにより、液温を調整した冷却水中(1L)に試料を浸漬
 3. 液温と試料の温度が同じになり、熱平衡状態を迎えたら実験終了
- 1~3を5回繰り返し、その様子を高速度カメラで撮影した。

冷却水のサブクール度は常に設定温度の ± 2 ℃になるようにホットプレートを用いて、温度調整を行った。蒸発により水位が低下しないように蒸留水を加えて、ナノ流体の濃度が変化しないように管理した。

【0016】

- ・試料の初期化(再利用するため)*SUS304のみ

10

実験後、試料表面に付着したナノ粒子層や酸化皮膜を除去した。

1. 1000番の紙やすりを用いて、試料の全面を光沢が見えるまで研磨
2. ピカールを用いて全面を研磨
3. 試料表面が水滴をはじくか確認、水滴がしみてしまう場合は1から作業を繰り返す
4. 流水でほこり等を洗い流し、アセトンで全体を磨いて終了

- ・材料試験

ビッカース硬さ試験を実施した。

【0017】

(3) 実験条件

実験条件を以下に表2として示す。本実験におけるパラメータは、ナノ流体の種類、ナノ流体の濃度、冷却水のサブクール度、冷却水中への浸漬回数、試料の材質の5種類である。

20

【表2】

| | 材質 | 濃度[kg/m ³] | サブクール度[K] |
|------|--------|------------------------|-----------|
| 水 | SUS304 | / | 20 |
| | | | 50 |
| | | | 70 |
| | S45C | | 20 |
| | | | 70 |
| | | | 70 |
| シリカ | SUS304 | 0.4 | 20 |
| | | | 50 |
| | | | 70 |
| | S45C | 0.04 | 20 |
| | | | 70 |
| | | | 70 |
| アルミナ | SUS304 | 0.4 | 20 |
| | | | 50 |
| | | | 70 |
| | S45C | 0.04 | 20 |
| | | | 70 |
| | | | 70 |
| チタン | SUS304 | 0.4 | 20 |
| | | | 50 |
| | | | 70 |
| | S45C | 0.04 | 20 |
| | | | 70 |
| | | | 70 |

30

40

【0018】

[実験結果]

冷却曲線・沸騰曲線・材料試験の3つの結果よりナノ流体による高温物体の冷却の影響を評価していく。温度データは、基本的に試料側面付近に取り付けた熱電対を用いた。これは、界面に近いところで計測された温度のほうがより正確に界面での状況を正確に表していると考えたためである。(材料への焼き入れ具合の評価等のために中心部の温度を用いるなどした。)

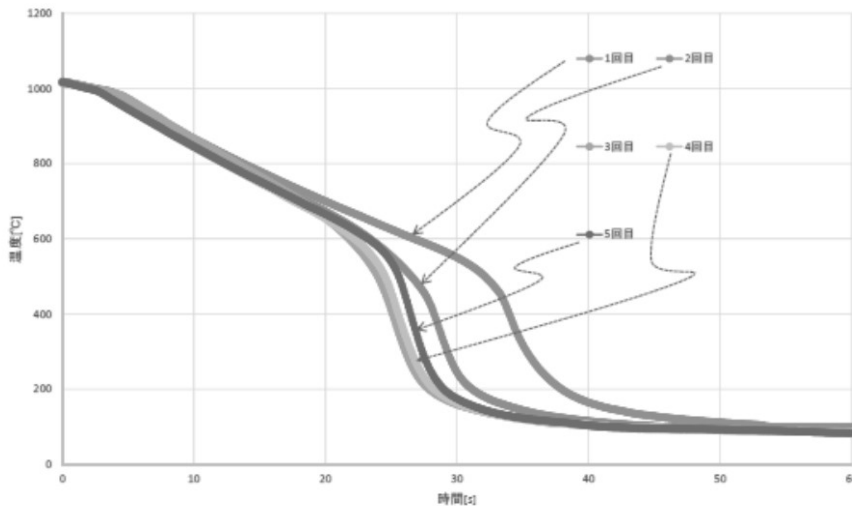
【0019】

[冷却曲線を用いた各パラメータの影響評価]

50

冷却時の温度変化をグラフにプロットすることで、各種条件がどのように冷却に影響を与えるのかを評価していく。

【表 3】

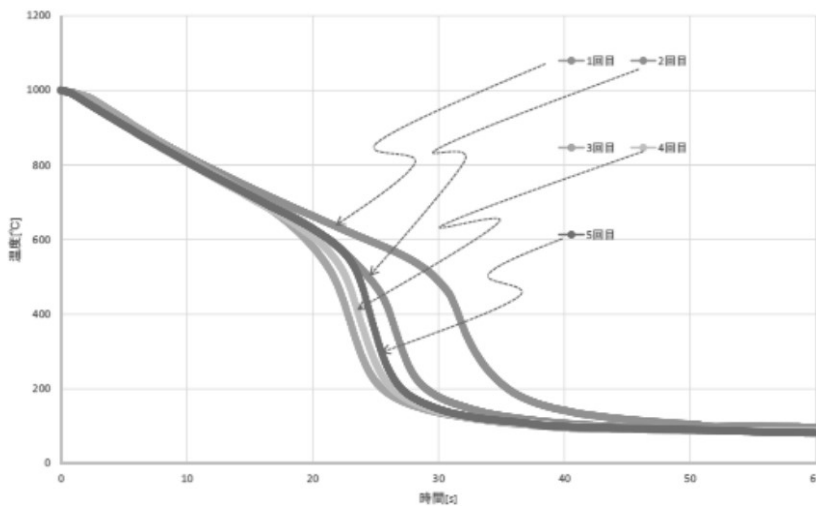


SAMPLE1

10

20

【表 4】



SAMPLE2

30

40

【 0 0 2 0 】

SAMPLE 1 とSAMPLE 2 は、グラフのプロット開始点がそれぞれ違う。SAMPLE 1 は、電気炉から抜き出した瞬間からの温度をプロットしたものであり。SAMPLE 2 は、1000 になったタイミングからプロットしたものである。SAMPLE 1 は、電気炉から冷却水までの移動の時間がまちまちであるため、冷却水に浸漬するタイミングがずれてしまう。SAMPLE 2 は、強制的に1000 からにしているためそれ以前に冷却水に浸漬していてもその温度変化を見逃してしまうことになる。ただ、今回は、すべての温度変化を追いながら、現象を理解していくために、温度変化が起きる電気炉からの抜き出しのタイミングでプロットしたSAMPLE 1 を基準としてすべてのグラフを作成した。

【 0 0 2 1 】

50

[浸漬回数による影響]

浸漬回数をパラメータとし、浸漬回数が冷却に与える影響を評価した。冷却水のサブクール度は20Kとした(図6)。

【0022】

蒸留水は、ほとんど冷却速度の変化が見られない。一方でシリカ・アルミナナノ流体は、浸漬回数を重ねることで、冷却速度が飛躍的に向上していることがわかる。チタンナノ流体はいくらか冷却速度が改善しているが、シリカ・アルミナナノ流体ほどではない。以上のことから一概にナノ流体中に浸漬すれば、冷却速度が向上するのではなく、ナノ粒子の種類が冷却速度の向上の一因であることがわかる。

【0023】

[サブクール度による影響]

サブクール度をパラメータとして、冷却水の種類ごとにサブクール度の冷却に与える影響を評価した。浸漬回数は、冷却速度が飛躍的に変化する2回目を取り上げた。

【0024】

図7よりいずれの場合もサブクール度が上昇するにつれて、濡れ開始温度が上昇していくことがわかる。

【0025】

[濃度による影響]

ここでは、濃度(0.4・0.04kg/m³)をパラメータとし、ナノ流体の濃度による冷却への影響を評価する。冷却水のサブクール度は20Kとした。

【0026】

図6と図8を比較するとシリカ・アルミナナノ流体については濃度の薄い方が濃い方に比べて濡れ開始温度が上昇せず、ナノ流体による影響が小さくなっている。このことから、濃度の低下によりナノ流体特有の冷却形態をとらず、冷却スピードがあまり上昇しないことがわかる。急冷を実現するには、ナノ流体の濃度がある一定以上の値を取らなければいけないことがわかる。

【0027】

材質による影響

ここでは、試料の材質であるS45CとSUS304をパラメータとし、サブクール度20Kとして各冷却水(水・シリカナノ流体)での冷却における影響を評価した。浸漬回数の増加に伴い、膜沸騰時の蒸気膜の乱れと蒸気膜が薄くなる様子が写真から確認できる。考えられる理由は、蒸留水中でのS45C材の焼入れの場合、材質的にSUS304より表面酸化が生じやすい。そのため、浸漬回数の増加に伴い、表面粗さが増加することで、膜沸騰段階での乱れが確認できる。この乱れにより局所的に液と試料の接触する部分が生じることで、蒸気膜が薄くなっていることがわかる。酸化皮膜が離脱するのは金属より酸化物の方が、熱膨張係数が小さいため、冷却中に酸化皮膜に圧縮応力が発生することで酸化皮膜の破壊、はく離が生じている。

【0028】

冷却曲線上の一部で冷却速度が一度遅くなっている部分がある。その時の様子を表したものが図10である。試料表面の酸化膜と試料の間に気泡がたまり、液が流入することができず、冷却を妨げていることが考えられる。そのため酸化膜が離脱後は液が急激に供給されることで、一気に冷却が促進される。浸漬回数の増加により、この酸化膜の大きさがより細かく、より早く離脱することで、徐々に冷却速度が上昇していると考えられる。

【0029】

浸漬回数の増加に伴い、冷却時間が短縮されていることがわかる。これは、シリカの試料表面への堆積と酸化膜が形成されることにより、濡れ性が向上することで蒸気膜の崩壊が促進されている。しかし、図11(b)、(c)の1回目の浸漬と2回目の浸漬時とでは、2回目は試料表面にシリカが付着しているにもかかわらず、濡れ性が向上している様子が見られない。これは、1回目の浸漬では、酸化による影響が大きく見られるために濡れ性が向上していると考えられる。その後、2回目の浸漬ではシリカが堆積することで

10

20

30

40

50

酸化膜によって形成された表面の粗さを埋めてしまい、結果として濡れ性が落ちてしまったのではないかと考えられる。その後は、浸漬回数による酸化による濡れ性の向上、ナノ粒子による発泡核の増加等で蒸気膜の崩壊が促進されている。

【0030】

[SUS304とS45Cの違い]

水の場合、S45Cは浸漬回数の増加により、冷却速度が向上している。シリカナノ流体の場合、いずれの場合も浸漬回数の増加に伴い冷却速度が向上している。ただ、SUS304の方が冷却速度は2倍ほど速い。冷却水の状態が同じであるにもかかわらず、冷却曲線にこれだけの違いが出ているのは、熱伝導率と酸化のしやすさの2つであると考えられる。熱伝導率が高いことで試料内部の冷却がより早く進み、また壁面が酸化されていることから、蒸気膜の不安定性・濡れ性の上昇が生じる。このことから材料により、冷却の様子が大きく変化していくことがわかる。

10

【0031】

[沸騰曲線を用いたナノ流体の特性評価]

ここでは、沸騰曲線と撮影した動画の映像よりナノ流体の特異的な冷却状況を明らかにすることが目的である。ナノ流体の特異的な冷却状況を明確に把握するため、実験条件は、サブクール度20K、材料はSUS304とした。

【0032】

[沸騰曲線の作図法]

本実験では、半径方向の熱流束のみを考えているため、軸方向の熱流束は考慮していない。しかし、熱の流出面積は、上部と下部も計算に入れて行った。

20

試料中心部と側面近傍の2点の温度を計測しているため、試料内部の温度分布2次曲線近似を行った。壁面加熱度は(1)式を用いて求めた。

上記で与えられた近似式を用いて、試料の持つ熱量を(2)(3)式で与えた。

今回の温度計測は、0.1秒刻みで行っていることから、その時間幅内での熱の収支を求め、(4)式で熱流束を与えた。

【数1】

$$T(r) = \frac{T_1 - T_0}{r_1^2} r^2 + T_0 \quad (1)$$

30

$$Q = \int_0^{r_0} \rho c T(r) dV \quad (2)$$

$$Q = \int_0^{r_0} \rho c T(r) dV \quad (3)$$

$$Q = \int_0^{r_0} \rho c T(r) dV \quad (4)$$

40

上記の結果を用いて、沸騰曲線を描いた。

【0033】

[特性評価]

水の沸騰曲線と各種ナノ流体の沸騰曲線を比較し、冷却液としての特性を評価する。

酸化の影響が出ないように材質はSUS304の実験結果を用いた。

50

浸漬初期は膜沸騰が生じ、壁面過熱度400付近で膜沸騰から遷移沸騰へ以降し、その後は、核沸騰になる。壁面過熱度200付近でCHFとなる。この現象は、浸漬回数が増加しても変化しない。このことから、酸化による影響は、小さく冷却の状態としては、冷却液に依存していることがわかる。図12の様子を高速度カメラで撮影した際のスナップ写真からは膜沸騰、遷移沸騰、核沸騰、対流冷却の順に試料底部から徐々に沸騰形態が移行していき、冷却が進行していく様子が確認できる。

【0034】

沸騰様相としては、膜沸騰、気泡微細化沸騰、遷移沸騰、核沸騰、対流冷却の順で遷移していくことが確認された。気泡微細化沸騰と判断した基準は、核沸騰以上の熱流束を壁面過熱度の高い部分で確認できたことからである。沸騰曲線からは、水の沸騰曲線とは違い、熱流束のピークが2個あることがわかる。壁面過熱度の低温部でのピークは、水の沸騰曲線の核沸騰時の壁面過熱度と等しいことから、核沸騰に遷移したことによるものと考えられる。一方、高温部でのピークは、核沸騰時の熱流束よりも高い値を取っている。また、浸漬回数が増加することでピークの方がより高温に遷移している。これは図13(g)、(h)より、アルミナのナノ粒子が試料表面に付着することで、生じているものと考えられる。

10

【0035】

沸騰様相としては、膜沸騰、気泡微細化沸騰、遷移沸騰、核沸騰、対流冷却の順で遷移していくことが確認された。沸騰曲線からはアルミナと同様に熱流束のピークが2個あることがわかる。壁面過熱度が低温部でのピークは、水の沸騰曲線と同様の壁面過熱度でピークを迎えているため核沸騰によるものと考えられる。高温部でのピークは、アルミナと同様にシリカのナノ粒子による影響で生じているピークと考えられる。いずれのピークでも浸漬回数の増加により、ピーク時の壁面過熱度が上昇している。

20

【0036】

高温部での熱流束のピークの後、変動しながら熱流束の値が低下している。微細だった気泡が成長し、大気泡が試料表面近くで生成することで固液の接触が間欠的になることで、熱流束が変動する。この様子は図14(d)より確認できる。5回目でピークの頂点部が平らになっているのは、浸漬時の液面からの深さがほかのものに比べて浅くなってしまったために生じてしまったものと考えられる。図14(h)は、図13(h)に比べて見た目は、ナノ流体が表面に多く付着しているように考えられる。

30

【0037】

チタンは、他のナノ流体とは異なり、透明度が悪いため冷却時の様子を高速度カメラで確認することができなかった。冷却曲線図と沸騰曲線図より熱流束のピークは、壁面過熱度200付近での1つである。これは、水と沸騰形態が同様の形で冷却が進行しているように考えられる。ただ、浸漬回数の増加により、ピーク時の熱流束が向上していることからチタンのナノ粒子の影響が出ていると考えられる。

【0038】

[材料試験]

本研究においては、材料試験としてビッカース硬さ試験を行った。実験の都合上、今回は、すべてSUS304材で生材、焼き入れ材(サブクール度70Kの純水とシリカナノ流体)の3種類について実験を行った。Table 3に結果をまとめる。

40

【0039】

Table 3の結果より、生材に比べて、焼き入れ材はビッカース硬さが減じている。これは、SUS304材は、オーステナイト系ステンレス鋼であり、焼入れにより、マルテンサイト組織に変態しない材料である。したがって、焼きの入らない材料といえる。今回の熱処理は、固溶化熱処理とよばれる組織改善のために行われる熱処理であると考えられる。

【0040】

(1) ナノ粒子によるクエンチ特性の変化

ナノ流体を用いることで(主にシリカ・アルミナ)、通常のサブクール沸騰とは、違う状態の沸騰形態をとることが、冷却曲線・沸騰曲線・高速度カメラの映像の3点から確認で

50

きた。この特異な沸騰により、純水よりも大幅な熱流束の向上が確認できた。特異な沸騰形態が生じた原因としては、表面に堆積したナノ粒子による表面の濡れ性の向上・発泡核の増加等が考えられます。表面に堆積したナノ粒子が沸騰形態に影響を与えると考えられるのは、特異な沸騰が1回目の焼入れではなく、2回目以降で生じているためである。

【0041】

(2) ナノ粒子のそれぞれの特徴

シリカ：平均粒子径が最も小さく、冷却速度が最も早い段階で向上する。

アルミナ：平均粒子径はこの3つの中では、真ん中。冷却速度は徐々に向上し、3回目最大を迎える。

チタン：平均粒子径は、一番大きい。冷却速度は浸漬回数の増加に伴い、向上するが、沸騰形態は、蒸留水の時と同じであると推測できる。(映像を撮影できないため)

【0042】

(3) 各種パラメータの影響

図16～図19に示すように、ナノ流体濃度、サブクール度、浸漬回数、試料材料などのパラメータを今回は設定して、実験を行った。冷却水の側から見れば、ナノ流体の濃度は高く、サブクール度は高いほうが冷却は促進される。浸漬回数は、ナノ流体だけに影響があり、その増加に伴い、ナノ粒流体中で生じる特異な沸騰が生じやすくなる。試料材料は熱伝導率のいい材料であるほど、内部の熱をより早く除去することができる。

【0043】

(4) 焼入れのために

今回は、冷却液の影響を見るために、比較的酸化の少ないSUS304材を採用した。しかし、焼きの入らない材料であるため、急冷を行うことで硬さが増加するような結果を得ることができなかった。ただし、特に低サブクール度条件下においても純水よりもナノ流体で急冷が可能となることを確認している。

【0044】

以上の結果から、冷却対象物を水で冷却した場合には、対象物の下方部から上方部に向かって段階的に冷却が行われるため、下方部と上方部との温度分布による、その温度差で対象物の内部にクラックが生じる場合があったが、本発明の冷却材で冷却を行うとナノ粒子の作用により対象物の外表面から内部に向かって均一に冷却が行われるため、内部にクラックが生じないという効果を得ることができる。その結果、

【符号の説明】

【0045】

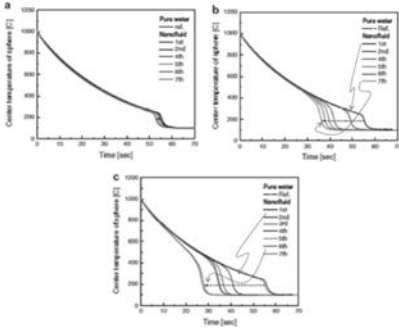
- 10 電気炉
- 20 データロガー
- 30 ホットプレート
- 40 高速度カメラ
- 50 ロッド
- 60 熱電対

10

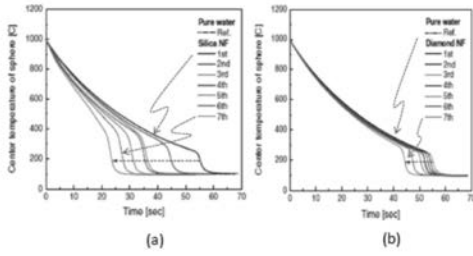
20

30

【 図 1 】



【 図 2 】



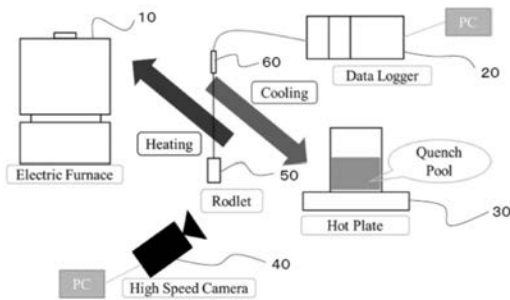
【 図 3 】



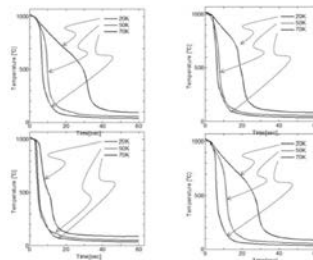
【 図 4 】



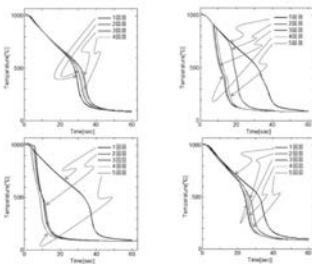
【 図 5 】



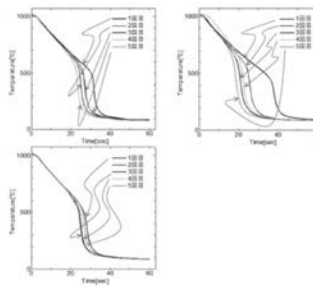
【 図 7 】



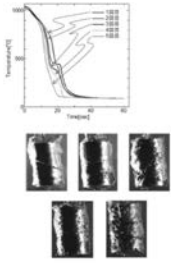
【 図 6 】



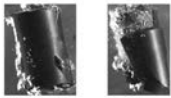
【 図 8 】



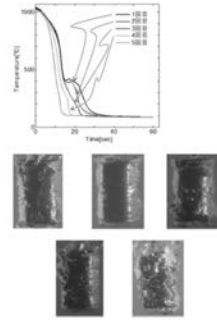
【 図 9 】



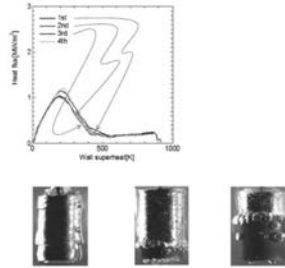
【 図 10 】



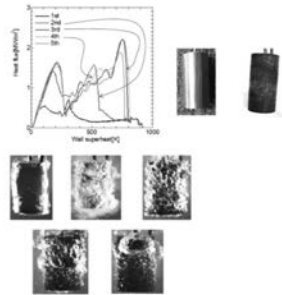
【 図 11 】



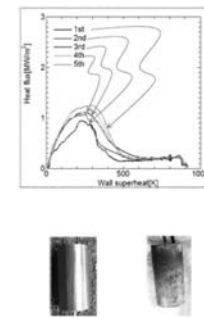
【 図 12 】



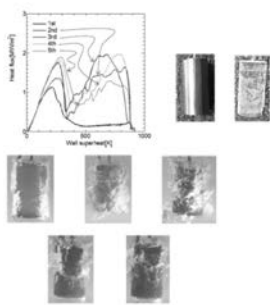
【 図 13 】



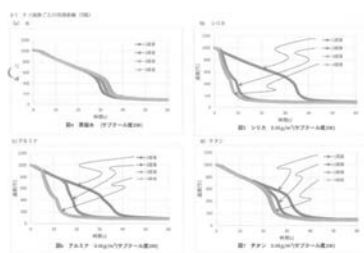
【 図 15 】



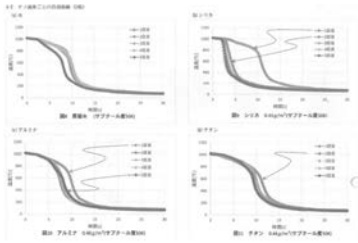
【 図 14 】



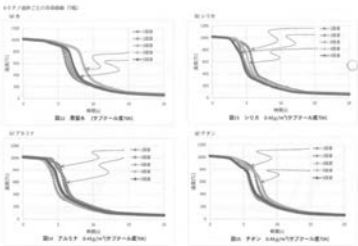
【 図 16 】



【図 17】



【図 18】



【図 19】

