

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2017年9月28日(28.09.2017)



(10) 国際公開番号

WO 2017/164016 A1

- (51) 国際特許分類:
H05B 6/10 (2006.01) C21D 9/08 (2006.01)
B21D 7/16 (2006.01) C21D 9/50 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2017/010277
- (22) 国際出願日: 2017年3月14日(14.03.2017)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:
特願 2016-060183 2016年3月24日(24.03.2016) JP
- (71) 出願人: 新日鐵住金株式会社(NIPPON STEEL & SUMITOMO METAL CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: 浜田 龍次(HAMADA, Ryuji); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 嶋田 直明(SHIMADA, Naoaki); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 植松 一夫(UEMATSU, Kazuo); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP). 岡田 信宏(OKADA,

Nobuhiro); 〒1008071 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 新日鐵住金株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人太陽国際特許事務所(TAIYO, NAKAJIMA & KATO); 〒1600022 東京都新宿区新宿4丁目3番17号 Tokyo (JP).

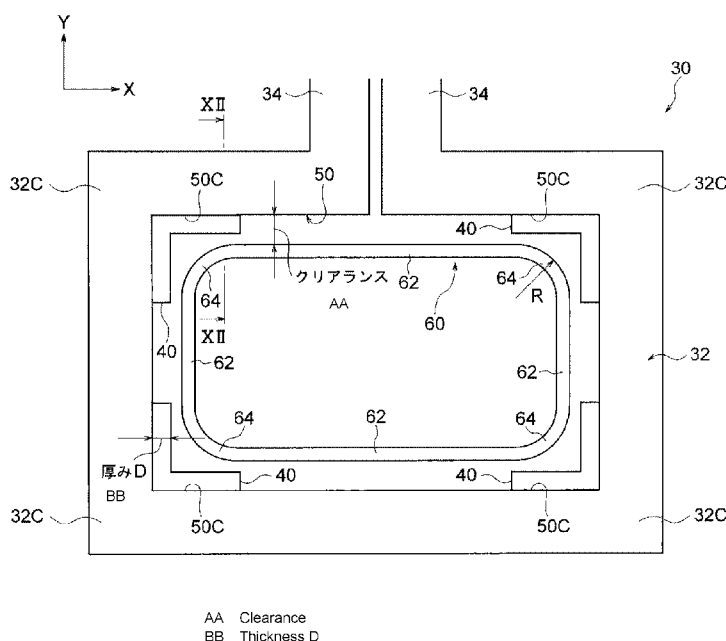
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[続葉有]

(54) Title: THREE-DIMENSIONAL HOT-BENDING AND QUENCHING DEVICE AND THREE-DIMENSIONAL HOT-BENDING AND QUENCHING METHOD FOR STEEL PIPE

(54) 発明の名称: 3次元熱間曲げ焼入れ装置及び鋼管の3次元熱間曲げ焼入れ方法



(57) Abstract: This three-dimensional hot-bending and quenching device comprises: a sending device for sending a pipe body in an axial direction; an induction heating coil disposed in such a manner as to surround an extending line in the pipe body sending direction of the sending device; a cooling device disposed to be adjacent to the induction heating coil on the downstream side thereof in the pipe body sending direction of the sending device; and a processing force applying device for applying a processing force upon the pipe body. In this three-dimensional hot-bending and quenching device, the induction heating coil comprises bent portions, each having an inner surface that is bent, and a magnetic body member is disposed on each of the bent portions of the induction heating coil in such a manner as to cover each of the inner surfaces of the induction heating coil.

(57) 要約: 本開示の3次元熱間曲げ焼入れ装置は、管体を軸方向に送る送り装置と、前記送り装置の管体送り方向の延長線を囲むように配置される誘導加熱コイルと、前記誘導加熱コイルの前記送り装置の管体送り方向下流側に隣接して配置される冷却装置と、前記管体に加工作力を付与する加工力付与装置と、を備える3次元熱間曲げ焼入れ

装置であって、前記誘導加熱コイルは、内側面が折れ曲がっている屈曲部を備えており、前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面を覆うように磁性体部材が配置されている、3次元熱間曲げ焼入れ装置である。

WO 2017/164016 A1

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称：

3次元熱間曲げ焼入れ装置及び鋼管の3次元熱間曲げ焼入れ方法

技術分野

[0001] 本開示は、3次元熱間曲げ焼入れ装置及び鋼管の3次元熱間曲げ焼入れ方法に関する。

背景技術

[0002] 複雑な形状の鋼管部材を金型を用いずに製造できる3次元熱間曲げ焼入れ(3DQ: 3Dimensional Hot Bending and Quench)技術が知られている。3DQは、例えば、自動車の構造材の製造に用いられる。3DQ加工により製造される構造材は軽量かつ高強度という特長がある。

[0003] 3DQは、次のような方法である。すなわち、素材となる鋼管を送りながら、誘導加熱装置でAc3変態点以上まで局部的に鋼管を加熱し、誘導加熱装置よりも鋼管の送り方向下流側の冷却装置で鋼管を速やかに冷却(焼入れ)する。このとき、鋼管における誘導加熱装置と冷却装置との間には局部的な高温部が生じる。この高温部に加工力を与えることで鋼管を熱間変形させ、冷却装置による冷却により焼入れと形状の固定を行う。

[0004] 高温部に加工力を与えるための加工力付与手段としては、国際公開第2006/093006号のように冷却手段の鋼管送り方向下流側に配置された可動ローラーダイス、国際公開第2010/050460号のように鋼管送り方向下流側の鋼管端部に取り付けられたチャックとマニピュレーター、国際公開第2011/007810号のように鋼管送り方向上流側の鋼管端部に取り付けられたチャックとマニピュレーターが例示される。

[0005] 3DQでは曲げ加工のほか、ねじり加工も可能である。国際公開第2006/093006号と国際公開第2011/007810号には3DQでねじり加工が可能であることが開示されている。国際公開第2010/084898号には3DQによるねじり部材が開示されている。

開示の概要

- [0006] 本発明者達は、素材として角形鋼管を用い、図1の3DQ装置で曲げ加工とねじり加工を実施した。
- [0007] 実験と観察を繰り返した結果、鋼管を大きく曲げ加工あるいはねじり加工すると、鋼管の角部が赤熱した状態で冷却手段を通過することがあり、この場合に加工後の部材に機械特性の不均一が生じることがあることに発明者達は気がついた。また、冷却手段を通過後、鋼管が赤熱するほど温度が高くない場合でも、焼入れ部が焼き戻されるあるいは焼き入れされない可能性がある。よって、機械特性の不均一を防止するためには、曲げ加工あるいはねじり加工において鋼管の角部の温度変化を注意して管理する必要があると発明者達は考えた。
- [0008] もちろん、鋼管の送り速度を低下させ、冷却手段で充分冷却した後、冷却手段から鋼管が出てくるようにすれば、加工後の部材に機械特性の不均一が生じることはない。しかし、それでは鋼管の送り速度が低下した分、製造能率が低下してしまう。
- [0009] またもちろん、冷却手段による鋼管に対する冷却範囲を長くすれば、充分に冷却することができる。しかし、それでは鋼管に生じる軟化した高温部が冷却手段の内部に向かって長くなり、加工力付与手段による形状コントロールが困難になる。
- [0010] 製造能率を低下させずかつ形状コントロール性を保ったままで加工した鋼管の機械特性の不均一を解消するために、鋼管の角部が赤熱した状態で冷却手段を通過する根源的な原因を発明者達は考えた。
- [0011] 第1の原因は、鋼管の加熱の不均一である。3DQにおいて加熱手段を誘導加熱とした場合、角形鋼管を加熱すると角部が特に加熱される。これはエッジ効果と呼ばれる現象であって、鋼管と誘導加熱装置の誘導加熱コイルとの隙間(クリアランス)が均一であっても、角部、端部、尖った部分(角部等)は特に加熱されるというものである。特に角部等の先端の曲率半径が小さい場合にエッジ効果が顕著になる。

[0012] 第2の原因は、曲げ加工あるいはねじり加工時の鋼管角部の冷却不良である。

[0013] 図2は、一般的な冷却装置（冷却手段）の断面図である。図3は、冷却装置を鋼管送り方向下流から上流に向かって見た図である。冷却水同士が衝突して鋼管への冷却水の衝突圧が損なわれることを避けるため、噴き出される冷却水が図3における方向から見て加工対象である鋼管の面に可能な限り直交しかつ冷却水同士が衝突しないように、冷却装置の冷却水噴出口が設けられる。

[0014] 図4に、冷却装置を通過する鋼管断面を示す。細線長方形は、ねじり加工も曲げ加工もしない場合の鋼管断面の位置である。点線長方形は、ねじり加工をした場合の鋼管断面の位置である。太線長方形はねじり加工と曲げ加工をした場合の鋼管断面の位置である。鋼管の冷却むらの発生する鋼管角部の位置の変化は、ねじり加工による位置の変化と曲げ加工による位置の変化の合計である。図3のU部に相当する角部では角部の位置がずれた結果、角部に冷却水が衝突する前に冷却水同士が干渉し、角部に冷却水が所定の圧力で衝突しないため、冷却能力が低い。図3のL部に相当する角部では、側面からの冷却水が角部に当たらず、下からの冷却水は鋼管角部の側面側に当たるものの鋼管の側面とのなす角が小さく、冷却水が鋼管表面の水蒸気膜を突破して鋼管を直接冷却できないため冷却能力が低い。

[0015] 以上のように、鋼管の角部は、ねじり加工や曲げ加工をしたときに冷却水が適切に当たらないことがあり、冷却不足となる懸念がある。

[0016] つまり、第1の原因により鋼管の角部が過剰に加熱されていて、第2の原因により曲げ加工あるいはねじり加工したときに鋼管の角部の過加熱が顕在化する。発明者達は、当初第1の原因に気が付いていなかったが、第2の原因の調査のため、鋼管の平板部分と角部に熱電対を取り付け温度変化を調査するなかで、第1の原因の存在とその影響が無視できないほど大きくなる場合があることに気がついた。第1の原因は、3DQにおいて曲げ加工やねじり加工をしなくても発生しているため、鋼管の角部が過加熱されないよう対

策をとり、鋼管角部に過加熱が無い状態で鋼管の適切な送り速度を見直せば、３ＤＱ加工全体の製造能率の底上げになる。

[0017] また、３ＤＱ加工した鋼管を疲労試験にかけると疲労破壊することがある。この場合、疲労破壊の起点にＣｕ（銅）が検出されることが多い。この現象について発明者達は次のように考えている。

[0018] すなわち、素材となる鋼管の表面にＣｕが付着することがある。表面にＣｕが付着した鋼管を１０００℃程に誘導加熱すると、Ｃｕが溶融し鋼管表面から鋼管の結晶粒界に溶け込む。Ｃｕが結晶粒界に溶け込むと結晶粒界が弱くなる。Ｃｕが溶け込んで結晶粒界が弱くなった鋼管に曲げ加工力が与えられると結晶粒界に沿って微細な亀裂が生じる。微細な亀裂を抱えたままの鋼管に繰り返し負荷が与えられると微細な亀裂が起点になり、疲労破壊が生じる。Ｃｕの融点は１０８５℃であるが、これより低い加熱温度でこの現象が生じるのは、Ｃｕの供給源が鋼管の搬送ラインで使用するＣｕより融点の低い黄銅であるためであると発明者達は推測している。

[0019] 振動が伝わる箇所に適用される部材、例えば自動車用構造部材（特に足回り部品）などの耐疲労性が必要な部材に３ＤＱ加工部材を適用するためには、この疲労問題を解決する必要がある。

[0020] そこで、対策としては、誘導加熱による加熱をＣｕが溶融しない温度範囲に抑えることが考えられる。しかしながら、上述のように、角形鋼管を誘導加熱する場合は角部が過加熱され、それ以外の部分（平板部分）との温度差ができてしまうため、例えば平板部分の加熱温度をＣｕが溶融しない温度範囲に抑えるように制御しても、角部においてはＣｕが溶融する温度まで加熱されてしまう。その結果、角形鋼管の角部において疲労破壊が起こりやすい鋼管が製造される懸念がある。

[0021] 以上の事情を鑑み、本開示が解決しようとする課題は、第１の原因の解消することで、製造能率及び形状コントロール性を低下させずに、３ＤＱ加工部材の機械特性の不均一を抑制し、また、３ＤＱ加工部材の疲労破壊を抑制することである。

- [0022] 本開示に係る３次元熱間曲げ焼入れ装置は、
管体を軸方向に送る送り装置と、
前記送り装置の管体送り方向の延長線を囲むように配置される誘導加熱コイルと、
前記誘導加熱コイルの前記送り装置の管体送り方向下流側に隣接して配置される冷却装置と、
前記管体に加工力を付与する加工力付与装置と、
を備える３次元熱間曲げ焼入れ装置であって、
前記誘導加熱コイルは、
内側面が折れ曲がっている屈曲部を備えており、
前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面を覆うように磁性体部材が配置されている。
- [0023] また、本開示に係る鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法は、
軸方向の断面に角部を有する鋼管を軸方向に送るステップと、
前記鋼管を誘導加熱コイルに通して加熱するステップと、
加熱された前記鋼管を冷却し前記鋼管に局所的に高温部を作るステップと、
、
前記高温部に加工力を付与するステップと、
を同時に行う鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法であって、
前記鋼管の前記角部に対向する前記誘導加熱コイルの内側面に磁性体部材を配置する。

図面の簡単な説明

- [0024] [図1] ３ＤＱ装置の全体構成を示す斜視図である。
[図2] 角形鋼管を冷却するための一般的な冷却装置の断面図である。
[図3] 図２の冷却装置を鋼管送り方向下流から上流に向かって見た図である。
[図4] 曲げ加工やねじり加工した際に冷却装置を通過する鋼管断面の位置を説明するための図である。
[図5] 素材となる角形鋼管の横断面図である。

[図6]第1実施形態の誘導加熱コイルを鋼管送り方向下流から上流に向かってみた様子を、挿通される鋼管の断面と共に示す図である。

[図7]比較例の誘導加熱コイルを鋼管送り方向下流から上流に向かってみた様子を、挿通される鋼管の断面と共に示す図である。

[図8]比較例の誘導加熱コイルを用いて鋼管を加熱した際の、角部外側曲率半径（角R）と、角部と平板部分との温度差と、の関係を示すグラフである。

[図9]第1実施形態の磁性体部材の厚みDと、角部と平板部分との温度差と、の関係を示すグラフである。

[図10]第2実施形態の誘導加熱コイルを鋼管送り方向下流から上流に向かってみた様子を、挿通される鋼管の断面と共に示す図である。

[図11]第2実施形態の磁性体部材の厚みD（角部コイル間隙差）と、角部と平板部分との温度差と、の関係を示すグラフである。

[図12]（A）は図6におけるX1-X1線断面図を示し、（B）は変形例に係る磁性体部材を示す図12（A）に対応した断面図である。

[図13]3DQ前の熱処理を行わなかったフェライトーパーライト組織の素管のSEM写真である。

[図14]3DQ前の熱処理を行なって製造したマルテンサイト組織を有する素管のSEM写真である。

[図15]3DQ前の熱処理を行なって製造したベイナイト組織を有する素管のSEM写真である。

[図16]3DQ加熱温度850℃の場合の硬度の比較を示す図である。

[図17A]3DQ前の熱処理がなく3DQ前の組織がフェライトーパーライトの素管を使用し、3DQ加熱温度900℃の場合のマイクロ스코プによる表面割れ観察写真である。

[図17B]3DQ前の熱処理を行い、3DQ前の組織をマルテンサイトとした素管を使用し、3DQ加熱温度900℃の場合のマイクロ스코プによる表面割れ観察写真である。

発明を実施するための形態

[0025] 以下、図面を用いて、本開示に係る３次元熱間曲げ焼入れ装置（以下、３ＤＱ装置と略記する。）の実施形態について説明する。

[0026] ＜３ＤＱ装置＞

図１には、３ＤＱ装置１０の全体構成が示されている。この図に示されるように、第１実施形態の３ＤＱ装置１０は、送り装置１２と、誘導加熱コイル３０と、冷却装置１４と、加工力付与装置１５としての可動ローラーダイス１６及び支持ローラー１８と、を備えている。

[0027] （送り装置）

送り装置１２は、鋼管６０の後端（送り方向の上流側の端部）を把持するチャック１３を備えており、このチャック１３が押し出されることで鋼管６０（管体）が軸方向に送られる。チャック１３は、鋼管６０の断面形状に応じた構造とされており、第１実施形態のチャック１３は、後に説明する断面矩形の角形鋼管（鋼管６０）の端部を把持可能な構造とされている。

[0028] （誘導加熱コイル）

送り装置１２によって送られる鋼管６０が挿通するように、誘導加熱コイル３０が設けられている。すなわち、誘導加熱コイル３０は、送り装置１２の送り方向の延長線を囲むように配置されている。鋼管６０が誘導加熱コイル３０に挿通されると、鋼管６０における誘導加熱コイル３０に挿通された部分が誘導加熱コイル３０によって急速に加熱される。第１実施形態の誘導加熱コイル３０の構造については、後に詳述する。

[0029] （冷却装置）

誘導加熱コイル３０の送り方向下流には、誘導加熱コイル３０と近接して、冷却装置１４が設けられている。冷却装置１４は、誘導加熱コイル３０で急速加熱された鋼管６０を急速に冷却する。これにより、鋼管６０を焼入れして強度を向上させる。冷却装置１４の具体的な構造としては、例えば、すでに説明した図２及び図３に示される冷却装置を用いることができる。

[0030] （加工力付与装置）

加工力付与装置１５は、可動ローラーダイス１６と支持ローラー１８とで

構成されている。支持ローラー１８は、誘導加熱コイル３０の送り方向上流に誘導加熱コイル３０に近接して設けられており、鋼管６０を軸方向の移動可能に支持する。他方、可動ローラーダイス１６は、冷却装置１４の送り方向下流に設けられており、鋼管６０を保持しつつ、自らが移動可能に構成されている。可動ローラーダイス１６が移動して鋼管６０に加工力を与え、支持ローラー１８が鋼管６０から加工反力を受けることで、鋼管６０に生じている軟化した高温部が変形する。

[0031] （素材となる鋼管）

図５には、３ＤＱ装置１０を用いて加工される素材の一例としての鋼管６０の横断面形状が示されている。この図に示されるように、鋼管６０は、断面形状が矩形の角形鋼管であり、４つの平板部分６２と、平板部分６２同士を接続する４つの角部６４と、から成っている。隣り合った平板部分６２の成す角度は９０度とされている。鋼管６０は、例えば、電縫鋼管（電気抵抗溶接鋼管）が用いられる。

[0032] ー誘導加熱コイルー

次に、第１実施形態の誘導加熱コイル３０について説明する。

[0033] 図６には、第１実施形態の誘導加熱コイル３０が、送り方向下流から上流に向かってみた状態で示されている。この図に示されるように、誘導加熱コイル３０は、コイル本体３２と、一对の端子３４と、磁性体部材４０と、を含んで構成されている。

[0034] コイル本体３２は例えば１回巻のコイルとされており、コイル本体３２の巻き始め部分と巻き終わり部分に対応して一对の端子３４が設けられている。なお、コイル本体３２は、１回巻のコイルに限定されず、複数回巻のコイルであってもよい。

[0035] ーコイル本体ー

コイル本体３２は、鋼管６０の断面形状にあわせて、矩形環状に形成されている。そして、コイル本体３２の内側面５０（以下、誘導加熱コイル３０の内側面５０ということもある）も矩形状とされており、４か所においてコ

イル外側に凸となるように折れ曲がっている。換言すると、誘導加熱コイル 30 は、内側面 50 が折れ曲がっている屈曲部 32 C を 4 つ備えている。

[0036] なお、この内側面 50 の矩形の形状は、誘導加熱コイル 30 に挿通される鋼管 60 の横断面形状（鋼管の外面の形状）と略相似している。このため、上述した送り装置 12 と誘導加熱コイル 30 を適切に配置・制御することによって、鋼管 60 と誘導加熱コイル 30 の内側面 50 とのクリアランスを鋼管 60 周方向に沿って略一定に保つように、鋼管 60 を誘導加熱コイル 30 に挿通させることができる。鋼管 60 の横断面形状が四角形以外の多角形の場合、コイル本体 32 の形状も鋼管 60 の断面形状にあわせて多角形となる。

[0037] 一磁性体部材一

誘導加熱コイル 30 の屈曲部 32 C には、その内側面 50（屈曲部 32 C における内側面 50 C）を覆うように磁性体部材 40 が配置されている。

[0038] 磁性体部材 40 の材料としては、透磁率が高いことが磁力線の遮蔽のために好ましい。また、磁性体部材 40 自体が発熱して変形や溶損することや、磁性体部材 40 自体が発熱してその輻射熱によって鋼管への悪影響を及ぼすことを避けるために、磁性体部材の材料の電気伝導度が低い（電気抵抗率が高い）ことが好ましい。具体的な磁性体部材 40 の材料としては、例えば、フェライトと呼ばれる酸化物を主成分とする磁性セラミックスや、金属イオンを含む亜鉄酸塩などが好適に用いられる。また、磁性体部材 40 は、誘導加熱コイル 30 に対して着脱可能であることが好ましい。着脱可能であることにより、配置する磁性体部材 40 の厚み D を調整することができるので、後述するように、鋼管 60 の角部 64 とそれ以外の部分との温度差を調節することができる。

[0039] 磁性体部材 40 は、4 つ設けられており、誘導加熱コイル 30 の 4 つの屈曲部 32 C に対してそれぞれ設けられている。それぞれの磁性体部材 40 は、屈曲部 32 C における内側面 50 C の折れ曲がった部分に沿うように略 L 字状に屈曲した形状とされている。これにより、図 12（A）にも示される

ように、磁性体部材４０は、屈曲部３２Ｃにおける内側面５０Ｃを覆っている。

[0040] なお、図６に示されるように、コイル本体３２の内側面５０の形状と略相似する断面形状の鋼管６０を誘導加熱コイル３０に挿通した場合、鋼管６０の角部６４には、コイル本体３２（誘導加熱コイル３０）の屈曲部３２Ｃにおける内側面５０Ｃが対向することとなる。上述したとおり、屈曲部３２Ｃにはその内側面５０Ｃを覆うように磁性体部材４０が配置されているので、結果的に、挿通される鋼管６０の角部６４と、誘導加熱コイル３０の屈曲部３２Ｃとの間に磁性体部材４０が配置されることとなる。

[0041] ＜作用・効果＞

次に、第１実施形態の作用及び効果について説明する。

[0042] 第１実施形態の３ＤＱ装置１０は、管体を軸方向に送る送り装置１２と、送り装置１２の管体送り方向の延長線を囲むように配置される誘導加熱コイル３０と、誘導加熱コイル３０の送り装置１２の管体送り方向下流側に隣接して配置される冷却装置１４と、管体に加工力を付与する加工力付与装置１５と、を備えている。

このため、この３ＤＱ装置１０を用いることで、断面に角部を有する鋼管６０を軸方向に送るステップと、鋼管６０を誘導加熱コイル３０に通して加熱するステップと、加熱された鋼管６０を冷却し鋼管６０に局所的に高温部を作るステップと、高温部に加工力を付与するステップと、を同時に行うことができる（３次元熱間曲げ焼入れ方法）。

[0043] また、第１実施形態の３ＤＱ装置１０では、誘導加熱コイル３０が、内側面５０が折れ曲がっている屈曲部３２Ｃを備えている。そして、誘導加熱コイル３０の屈曲部３２Ｃには、誘導加熱コイル３０の内側面５０を覆うように磁性体部材４０が配置されている。

このため、コイル本体３２（誘導加熱コイル３０）の内側面５０の形状と略相似する断面形状の鋼管６０を送り装置１２により誘導加熱コイル３０に挿通した場合、鋼管６０の角部６４に対向する誘導加熱コイル３０の内側面

50（すなわち、屈曲部32Cにおける内側面50C）に磁性体部材40が配置されることとなる。つまり、挿通される鋼管60の角部64と、誘導加熱コイル30の屈曲部32Cとの間に磁性体部材40が配置される。したがって、磁性体部材40により、鋼管60の角部64を通過する磁束密度を低減することができる。その結果、鋼管60の角部64に生じる渦電流を低減することができ、角部64における過加熱を抑制することができる。

[0044] 次に、比較例を用いることにより、第1実施形態の3DQ装置10及び3DQ方法の作用効果について、詳しく説明する。

[0045] 素材は、比較例及び第1実施形態共に、幅Wが50mm、高さHが40mm、肉厚tが1.4mmの鋼管60とする（図5参照）。

[0046] 図7には、比較例に係る3DQ装置510（誘導加熱コイル530）が示されている。この図に示されるように、比較例に係る誘導加熱コイル530は、磁性体部材40が配置されていない点以外、第1実施形態の誘導加熱コイル30と同一である。

[0047] 図7に示されるように、鋼管60の平板部分62と対向する誘導加熱コイル300（の内側面50）とクリアランスは3mmである。加熱温度は、平板部分62の温度が1100℃となるように設定する。

[0048] 図8に、角R（角部外側曲率半径）と、角部64と平板部分62との温度差と、の関係を示す。この図に示されるように、鋼管60の角Rが小さいほど角部64の温度差が高くなる（エッジ効果が大きくなる）。具体的には、角Rが5mmのとき温度差が約150℃であり、加熱目標温度（1100℃）に対して15%程度の過加熱となる。

[0049] 次に、角Rが5mmである鋼管を素材として、第1実施形態の3DQ装置10（誘導加熱コイル30）で加熱した場合を説明する。

[0050] 図9に、磁性体部材40の厚みDと、角部64と平板部分62との温度差と、の関係を示す。この図に示されるように、磁性体部材40の厚みDを増加させるほど温度差が小さくなる。具体的には、厚みDを1mmにすると温度差が約110℃まで減少し、厚みDを2.5mmにすると温度差が約60

℃まで減少する。

[0051] 以上の説明からも判るように、誘導加熱コイル30の屈曲部32Cに、その内側面50Cを覆うように磁性体部材40を配置することで、鋼管60の角部64における過加熱を抑制することができる。さらに、配置する磁性体部材40の厚みDを調整することで、鋼管60の角部64とそれ以外の部分との温度差を制御することができる。

[0052] さらに言うと、Ac3変態点は鋼材の組成にもよるがおよそ800～900℃であるため、誘導加熱コイル30による鋼管60の加熱温度を、平板部分62及び角部64について共にAc3変態点以上950℃以下の温度に制御することもできる。このような加熱温度に制御することで、鋼管60表面に付着したCuが融解することが抑制されるので、疲労破壊が起こり難い3DQ加工部材を製造することができる。

[0053] [第2実施形態]

次に、第2実施形態に係る3DQ装置110及び3DQ方法について説明する。

[0054] 第2実施形態に係る3DQ装置110は、誘導加熱コイル130のコイル本体132の形状が、第1実施形態の3DQ装置10と異なっている。

[0055] 図10には、第2実施形態に係る誘導加熱コイル130が示されている。この図に示されるように、コイル本体132は、矩形環状に形成されている。他方、コイル本体132の内側面50は、概略的には略矩形状に形成されているが、詳細には、略矩形状の四隅付近において、段差が設けられてコイル外側に広がった形状とされている。すなわち、コイル本体132の屈曲部132Cにおける内側面50には、コイル外側へ向かう段差部50Bが形成されている。以上より、第2実施形態のコイル本体132（誘導加熱コイル130）の内側面50は、誘導加熱コイル130の屈曲部132C以外の部分における内側面である一般部50Aと、コイル本体132の屈曲部132Cにおける内側面50に形成されたコイル外側へ向かう段差部50Bと、を含んで構成されている。

[0056] 具体的には、第2実施形態の段差部50Bは、内側面50の一般部50Aの端部からコイル外側へ直角に延びる2つの直角部50B1と、直角部50B1のコイル外側端から一般部50Aと平行に延びる2つの平行部50B2と、から成っている。これにより、隣り合う平行部50B2の境界において内側面50がコイル外側に凸となるように折れ曲がっている構成となっている。したがって、第2実施形態では、屈曲部132Cにおける内側面50Cは、段差部50Bと一致する。

[0057] 誘導加熱コイル130の屈曲部132Cには、その内側面50C（すなわち、段差部50B）を覆うように磁性体部材40が配置されている。磁性体部材40の厚みDは、段差部50Bの直角部50B1の長さとは一致する寸法とされている。これにより、内側面50の一般部50Aと、磁性体部材40とが所謂面一の関係となっている。

[0058] なお、内側面50の一般部50Aと磁性体部材40との関係は、必ずしも面一の関係となっている必要はない。例えば、段差部50Bの直角部50B1の長さよりも、磁性体部材40の厚みDが大きく設定されており、磁性体部材40が内側面50の一般部50Aに対してコイル内側に突出していてもよい。また例えば、段差部50Bの直角部50B1の長さよりも、磁性体部材40の厚みDが小さく設定されており、磁性体部材40が内側面50の一般部50Aに対してコイル外側に窪んでいてもよい。また、段差部50Bの端部が直角部50B1のような直角ではなく、傾斜していてもよい。更に、磁性体部材40の厚みは一定ではなく、角部に近づくに従い肉厚になっていてもよい。

[0059] 次に、第2実施形態の3DQ装置110及び3DQ方法の作用効果について説明する。

[0060] 第2実施形態の3DQ装置110では、第1実施形態と同様に、誘導加熱コイル130は、内側面50が折れ曲がっている屈曲部32Cを備えており、この屈曲部32Cにおける内側面50Cを覆うように磁性体部材40が配置されている。さらに、第2実施形態では、磁性体部材40が配置されてい

る屈曲部 32C における内側面 50C には、コイル外側へ向かう段差部 50B が形成されている。

このため、挿通される鋼管 60 とコイル本体 32 とのクリアランスが、鋼管 60 の角部 64 において（例えば第 1 実施形態と比較して）広がっている。よって、誘導加熱コイル 130 に流れる電流は、鋼管 60 の角部 64 を離れるように迂回する。したがって、同じ厚み D の磁性体部材 40 を配置した第 1 実施形態と比較して角部 64 の過加熱を抑制する効果が大きくなる。その結果、第 1 実施形態と比較して、磁性体部材 40 の厚み D を小さく（薄く）することができる。

[0061] ところで、仮に内側面 50 の一般部 50A に対する磁性体部材 40 のコイル内側への突出量が大きいと、曲げ加工やねじり加工を伴う 3DQ 方法では鋼管 60 と磁性体部材 40 とが接触する懸念がある。しかし、第 2 実施形態では、屈曲部 32C における内側面 50C には、コイル外側へ向かう段差部 50B が形成されており、この段差部 50B に磁性体部材 40 が配置されている。このため、磁性体部材 40 の厚み D を大きくしたとしても、内側面 50 の一般部 50A に対して磁性体部材 40 がコイル内側に突出する構成となりづらい。したがって、第 2 実施形態では、磁性体部材 40 の厚み D を選択する自由度が大きい。また、磁性体部材 40 の厚み D を変更することで、ほぼ同じ断面形状で角部の曲率半径の異なる鋼管に対応することができる。

[0062] なお、第 2 実施形態では、図 10 に示されるように、内側面 50 の一般部 50A の端部（直角部 50B1 との境界部分）がコイル外側へ向けて直角に曲がった形状となっている例を説明した。つまり、段差部 50B が形成されていることにより略矩形状の内側面 50 の四隅付近に段差が設けられている例を説明した。しかし、第 2 実施形態において段差が設けられていることは必ずしも必要なく、コイル外側へ向かって凹んだ形状の凹み部が形成されていればよい。例えば、内側面 50 の一般部 50A と段差部 50B との境界部分の形状は、緩やかに曲がった形状にしてもよい。緩やかに曲がった形状であっても、凹み部が形成された部分で鋼管 60 とコイル本体 132 とのクリ

アランスが広がり、上述した第2実施形態の段差部50Bに関する作用効果と同様の作用効果を奏する。

[0063] 次に、角Rが5mmである鋼管を素材として、第2実施形態の3DQ装置110（誘導加熱コイル130）で加熱した場合の具体的な効果を説明する。

[0064] ここでは、コイル本体32の内側面50の一般部50Aと段差部50Bとの段差（角部コイル間隙差、換言すると直角部50B1の寸法）を変化させると共に、これと併せて磁性体部材40の厚みDを変化させた場合について考える。つまり、内側面50の一般部50Aと磁性体部材40が面一となる関係を保ったまま、磁性体部材40の厚みDを変えた場合について考える。

[0065] 図11に、磁性体部材40の厚みD（角部コイル間隙差）と、角部64と平板部分62との温度差と、の関係を示す。この図に示されるように、磁性体部材40の厚みDを増加させるほど温度差が小さくなる。しかも、厚みDの増加量に対して減少する温度差が、第1実施形態よりも大きい。具体的には、厚みDを1mmにすると温度差が約70℃まで減少し、厚みDを2.0mmにすると温度差が約0℃まで減少する。

[0066] 以上の説明からも判るように、誘導加熱コイル30の内側面50の段差部50B（屈曲部32Cにおける内側面50C）を覆うように磁性体部材40を配置することで、第1実施形態と比較して厚みDの小さい磁性体部材40であっても、角部64の過加熱を効果的に抑制することができる。

[0067] [上記実施形態の補足説明]

[0068] なお、第1実施形態及び第2実施形態の誘導加熱コイル30、130では、コイル本体32、132が全体として矩形状とされており、4つの屈曲部32C、132Cを備えているが、本開示はこれに限定されない。誘導加熱コイルは、コイル本体の内側面がコイル外側に凸となるように折れ曲がった屈曲部を少なくとも一つ備えていればよい。

[0069] また、第1実施形態及び第2実施形態の誘導加熱コイル30、130では、図12（A）に示されるように、屈曲部32C、132Cにおける内側面

50Cのみを覆うように磁性体部材40が設けられているが、本開示はこれに限定されない。図12(B)に示されるように、屈曲部32Cにおける内側面50C及び当該内側面50Cに隣接する一对の隣接面52Cを併せて覆うように磁性体部材40が設けられていてもよい。換言すると、磁性体部材40は、屈曲部32Cにおける内側面50Cを覆う本体部40Aと、屈曲部32Cにおける内側面50Cに隣接する一对の隣接面52Cを覆う延長部40Bと、を含んで構成されていてもよい。

[0070] 上記実施形態の送り装置12は、チャック13により鋼管60の後端を押し出し、位置が固定された誘導加熱コイル30に鋼管60を挿通させるものであったが、本開示の「送り装置」はこれに限定されない。送り装置は、誘導加熱コイル30に対して鋼管60を軸方向に移動（相対移動）させる装置であればよく、例えば、鋼管60の後端を把持するチャック13が移動せずに誘導加熱コイル30が移動することにより、誘導加熱コイル30に対して鋼管60を軸方向に送るものであってもよい。

[0071] また、鋼管に加工力を与えるための加工力付与装置は、特に限定されない。加工力付与装置は、鋼管送り方向下流側の鋼管端部に取り付けられたチャックとマニピュレーターであってもよいし、鋼管送り方向上流側の鋼管後端に取り付けられたチャックとマニピュレーターであってもよい。

[0072] また、本開示の送り装置及び加工力付与装置は、各々が協調して制御される3台のマニピュレーターで構成されているものであってもよい。具体的には、鋼管の後端を把持するマニピュレーターが1台、誘導加熱コイルと冷却装置を保持するマニピュレーターが1台、鋼管の先端を把持するマニピュレーターが1台で、送り装置及び加工力付与装置が構成されていてもよい。

[0073] また、本開示の3DQ装置を用いれば、様々な自動車用構造部材を製造することができる。自動車用構造部材としては、例えば、車両前端部及び後端部に車幅方向に沿って設けられるバンパー補強部材や、フロントピラー、ドア内に配置されるドアビーム、シート補強材が挙げられる。特に、本開示に係る3DQ装置によれば、疲労破壊の発生が低減された3DQ加工部材を製

造することができるので、サスペンションのロアアームなど足回り部品となる自動車用構造部材の製造に好適に用いることができる。

[0074] 以上、主に、本開示の３次元熱間曲げ焼入れ方法に用いることができる３ＤＱ装置の形態について説明したが、以下では、熱間変形焼入れを行う前の素材について説明する。

[0075] 熱間変形焼入れ用の鋼管の焼入れ性を高めて、熱間変形焼入れ時の加熱温度を低温化するために、熱間変形焼入れ前に少なくとも１回以上、下記各元素の成分量（質量％）に対して下記実験式（１）で示されるＡｃ３変態点以上に加熱して熱間変形焼入れ前の鋼材の組織をマルテンサイト組織またはベイナイト組織に制御することが好ましい。

$$A c 3 = 910 - 203 \times \sqrt{C} - 15.2 \times Ni + 44.7 \times Si + 104 \times V + 31.5 \times Mo - 30 \times Mn - 11 \times Cr - 20 \times Cu + 700 \times P + 400 \times Al + 50 \times Ti \quad \dots \quad (1)$$

[0076] 上述のように、熱間変形焼入れ前（つまり、３次元熱間曲げ焼入れにおいて誘導加熱コイルで加熱する前）の鋼材の組織は、マルテンサイト組織またはベイナイト組織であることが好ましい。熱間変形焼入れ前の鋼材の組織をマルテンサイト組織またはベイナイト組織にする熱処理においては、鋼材をＡｃ３＋１０℃以上１１００℃以下に加熱し、その後冷却して、マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材にすることが好ましい。７２０℃以上Ａｃ３点以下の加熱温度においても冷却速度を制御して第２相をベイナイトまたはマルテンサイト組織を混在させた組織とすると、熱間変形焼入れ前の熱処理を行わないものに比べ焼入れ性が高まるが、熱間変形焼入れの加熱温度の低温化が十分ではないため、実施の形態では、Ａｃ３＋１０℃以上での加熱を行うことが好ましい。また、熱間変形焼入れの加熱温度が１１００℃を超えると、オーステナイト粒径が粗大化し、マルテンサイト変態時の焼入れ安定性を劣化させ、靱性を低下させるため、熱間変形焼入れの加熱温度は１１００℃以下にすることが好ましい。

[0077] 加熱温度と加熱時間は加熱様式によって異なり、急速加熱（例えば誘導加熱）の場合は、短時間で変態を完了させるべく、より高温まで加熱して完全なオーステナイト化を図ることが好ましい。一方低速加熱（例えば炉加熱）の場合は、急速加熱の場合よりも低温での加熱が可能となる。加熱時間は、安定したオーステナイト化を図るために $A_c3 + 10^\circ\text{C}$ 以上 1100°C 以下の温度領域での存在時間が少なくとも 0.3 秒以上であることが好ましい。上限の規定はないが、過度に長時間の加熱はスケール生成や生産性の低下を招くために好ましくは 10 分未満である。

[0078] 加熱後の冷却および温度条件は、狙いとする組織に応じて制御すればよい。ベイナイト組織を得るためには、例えば加熱後、約 450°C まで冷却してその温度で 80 秒以上保持することが好ましい。またマルテンサイト組織を得るためには、加熱後室温まで冷却すればよく、その材料の CCT（連続冷却変態線図）を見ながら設定すればよい。

[0079] なお、マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材は、好ましくは、マルテンサイト組織またはベイナイト組織：80 体積%以上、残部：残留オーステナイト、フェライトおよび炭化物である。この組成であると、オーステナイト化する際に炭化物が溶けやすく、そのため A_c3 変態点を低下させることが可能となる。その結果熱間変形焼入れ時の加熱温度の低温化が可能となるからである。

[0080] マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材を製造する素材としては、好ましくはフェライト・パーライト組織の鋼材が用いられる。

[0081] 3次元熱間曲げ焼入れ技術は、熱間で曲げ、振り、せん断等の変形を行いその後焼入れを行う技術であるので、金型等を必要としない。従って、熱間変形焼入れの素材となるマルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材は、鋼管形状のものを使用することができる。その中でも、溶接鋼管のマルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材が、熱間変形焼入れ用素材として好適に用いられる。

[0082] マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼板を溶接して溶接鋼管を製

造するのは、困難である。マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼材は強度が高く延性が低いため、造管加工性に劣り、溶接の際に割れてしまうからである。そこで、予め溶接鋼管を製造しておき、その溶接鋼管の鋼材を、 A_c3 変態点 $+10^{\circ}\text{C}$ 以上 1100°C 以下に加熱しその後冷却して、マルテンサイト組織あるいはベイナイト組織の鋼材を製造することが好ましい。予め製造しておく溶接鋼管は、フェライトーパーライト組織の鋼板を溶接して製造したフェライトーパーライト組織の溶接鋼管であることが好ましい。フェライトーパーライト組織の鋼材は、強度が高く延性が低いため、造管加工性に優れるからである。そのため、マルテンサイト組織またはベイナイト組織の鋼板を溶接して溶接鋼管を製造するのではなく、フェライトーパーライト組織の鋼板を予め溶接して溶接鋼管を製造しておき、その溶接鋼管を熱処理してマルテンサイト組織またはベイナイト組織の溶接鋼管を製造する方が容易である。熱間圧延後の組織は、一般にフェライトーパーライトであり、割れにくいだが、熱間圧延の条件によっては、組織の一部がベイナイトになることもある。ベイナイト組織が30体積%以下であれば、割れないので、フェライトーパーライト組織の鋼材は、30体積%以下のベイナイト組織を含んでいてもよい。

[0083] 実施の形態のマルテンサイト組織あるいはベイナイト組織の鋼材を製造する素材である鋼材は、好ましくは、

化学組成が、質量%で、

C : 0.12%以上0.60%以下、

Si : 0.001%以上2.0%以下、

Mn : 0.5%以上3.0%以下、

P : 0.05%以下、

S : 0.01%以下、

sol. Al : 0.001%以上1.0%以下、

N : 0.01%以下、

B : 0.01%以下、

残部：F e および不純物である。

[0084] また、前記化学組成が、F e の一部に代えて、質量%で、

T i : 0.001%以上0.05%以下、

N b : 0.001%以上0.05%以下、

V : 0.02%以上0.5%以下、

C r : 0.02%以上0.5%以下、

M o : 0.02以上0.5%以下、

C u : 0.02%以上1.0%以下および

N i : 0.02%以上1.0%以下、

からなる群から選ばれた1種または2種以上の元素を含有してもよい。

[0085] (1) Cは質量%で、0.12~0.60%の範囲であることが好ましい。

実施の形態における加工方法は、熱処理と加工履歴を制御して、オーステナイト相からマルテンサイト等の硬質相へ組織変態した高強度化・加工品を得る、いわゆる焼入れを利用した製造方法である。鋼板の焼入れ後の強度は、主にマルテンサイト相の硬さを支配するC含有量によって決まるため、求める強度に応じてC含有量を決定する。実施の形態での狙いの強度1200MPa以上を確保するために、C含有量を0.12%以上とすることが好ましい。より高強度を安定して得るためには0.20%超とすることがより好ましい。0.60%超のC含有量の場合、焼入れ後の組織靱性が劣化し、脆性破壊を発生する危険性が高まる。従ってC含有量の上限を0.60%とすることが好ましく、より好ましくは、0.50%以下である。

[0086] (2) S i は質量%で、0.001%~2.0%の範囲であることが好ましい。

S i は、オーステナイト相から低温変態相へ変態するまでの冷却過程において炭化物の生成を抑制するため延性を劣化させることなく、あるいは、延性を向上させて、焼入れ後の強度を高める作用を有する元素である。S i 含有量が0.001%未満では上記作用を得ることが困難である。したがって、S i 含有量は0.001%以上とすることが好ましい。なお、S i 含有量を

0.05%以上にすると、延性がさらに向上する。したがって、Si含有量は0.05%以上とすることがより好ましい。一方、Si含有量が2.0%超では、上記作用による効果は飽和して経済的に不利となる上、表面性状の劣化が著しくなる。したがって、Si含有量は2.0%以下であることが好ましい。より好ましくは1.5%以下である。

[0087] (3) Mnは質量%で、0.5%~3.0%以下の範囲であることが好ましい。

Mnは、鋼の焼入れ性を高め、焼入れ後の強度を安定して確保するために、非常に効果のある元素である。しかし、Mn含有量が0.5%未満では、実施の形態のような急速冷却条件下でもその効果が十分に得られず、焼入れ後の強度で1200MPa以上の引張強度を確保することが非常に困難となる。したがって、Mn含有量は0.5%以上とすることが好ましい。なお、Mn含有量を1.0%以上にすると、焼入れ後の強度で1350MPa以上の引張強度を確保することが可能となる。このため、Mn含有量は1.0%以上とすることがより好ましい。一方、Mn含有量が3.0%超では、バンド状の組織の不均一組織となり、衝撃特性の劣化が顕著となる。したがって、Mn含有量は3.0%以下とすることが好ましい。合金コスト等の観点からMn含有量を2.5%以下とすることがより好ましい。

[0088] (4) Pは質量%で0.05%以下であることが好ましい。Pは、一般には鋼に不可避免的に含有される不純物であるが、固溶強化により、強度を高める作用を有するので積極的に含有させてもよい。しかし、P含有量が0.05%超では本発明部材と他部材との抵抗溶接性の劣化が著しくなる。また2500MPa以上の高強度化を狙った場合に脆性破壊の危険性が高まる。したがって、P含有量は0.05%以下とすることが好ましい。P含有量はより好ましくは0.02%以下である。上記作用をより確実に得るには、P含有量を0.003%以上とすることが好ましい。

[0089] (5) Sは質量%で0.01%以下であることが好ましい。

Sは、鋼に不可避免的に含有される不純物であり、MnやTiと結合して硫化

物を生成して析出する。この析出物量が過度に増加するとその析出物と主相の界面が破壊の起点となることがあるため低いほど好ましい。S含有量が0.01%超ではその悪影響が著しくなる。したがって、S含有量は0.01%以下とすることが好ましい。より好ましくは0.003%以下、さらに好ましくは0.0015%以下である。

[0090] (6) soI . Alは0.001%~1.0%以下の範囲であることが好ましい。

Alは、鋼を脱酸して鋼材を健全化する作用を有する元素であり、また、Ti等の炭窒化物形成元素の歩留まりを向上させる作用を有する元素でもある。 soI . Al含有量が0.001%未満では上記作用を得ることが困難となる。したがって、 soI . Al含有量は0.001%以上とすることが好ましい。より好ましくは0.015%以上である。一方、 soI . Al含有量が1.0%超では、溶接性の低下が著しくなるとともに、酸化物系介在物が増加して表面性状の劣化が著しくなる。したがって、 soI . Al含有量は1.0%以下とすることが好ましい。より好ましくは0.080%以下である。

[0091] (7) Nは質量%で0.01%以下であることが好ましい。

Nは、鋼に不可避免的に含有される不純物であり、溶接性の観点からは低いほど好ましい。N含有量が0.01%超では溶接性の低下が著しくなる。したがって、N含有量は0.01%以下とすることが好ましい。より好ましくは0.006%以下である。

[0092] (8) Bは質量%で0.01%以下であることが好ましい。

Bは、低温靱性を高める作用を有する元素である。したがって、Bを含有させてもよい。しかし、0.01%を超えて含有させると、熱間加工性が劣化して、熱間圧延が困難になる。したがって、B含有量は0.01%以下とすることが好ましい。なお、上記作用による効果をより確実に得るには、B含有量を0.0003%以上とすることが好ましい。

[0093] (9) その他添加元素

質量％で、Ti：0.001％以上0.05％以下、Nb：0.001％以上0.05％以下、V：0.02％以上0.5％以下、Cr：0.02％以上0.5％以下、Mo：0.02以上0.5％以下、Cu：0.02％以上1.0％以下およびNi：0.02％以上1.0％以下からなる群から選ばれた1種または2種以上の元素を鋼の焼入れ性を向上させ、かつ焼入れ後の強度を安定して確保するために必要に応じて添加してもよい。

実施例

[0094] 本発明者達は、表1に示す化学組成を有する3DQ用の素管を用いて3DQ前の組織制御が3DQ後の表面割れおよび焼入れ性に及ぼす影響を調査した。3DQ前の組織制御をするさらに前の素管の組織は、鋼板から造管する際の加工性を確保するためにフェライトーパーライトであった。3DQ前の組織をマルテンサイトとした素管は、高周波誘導加熱によって1000℃まで、高周波誘導加熱によって昇温速度800℃/secで加熱した後、保持時間0secで、室温まで気水にて急冷（降温速度1000℃/sec）する熱処理により製造した。また、3DQ前の組織をベイナイト組織として素管は、同様に高周波誘導加熱によって1000℃まで昇温速度800℃/secで加熱した後、Arガスにて450℃まで冷却（降温速度50℃/sec）し、その温度で240sec保持した後、Arガスにて室温まで冷却（降温速度50℃/sec）する熱処理により製造した。3DQ前の熱処理を行わなかったフェライトーパーライト組織の素管、3DQ前の熱処理を行なって製造したマルテンサイト組織の素管および、3DQ前の熱処理を行なって製造したベイナイト組織の素管のSEM写真を図13、図14、図15にそれぞれ示す。倍率は2000倍である。

[0095] [表1]

素管の化学組成(質量%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ti	B	SolAl	N
0.21	0.24	1.25	0.008	0.0027	0.20	0.021	0.0018	0.035	0.0036

[0096] マルテンサイト組織の素管、ベイナイト組織の素管とフェライトーパーライト組織の素管を用いて、高周波誘導加熱により800℃～1050℃の条件でそれぞれの素管を加熱した後、曲げ半径95mmの条件で3次元熱間曲げ焼入れ加工（3DQ）を行った。その後、それぞれの加工品の曲げ外側表面を対象に、マイクロ스코プを用いて観察して表面割れを分析した。さらに曲げ中央部断面を切り出し、断面の長軸側断面方向に荷重1kgfでビッカース硬度を測定して焼入れの有無を評価した。

[0097] 図16に、3DQ加熱温度850℃の場合の硬度の比較を示す。3DQ前の熱処理がなく3DQ前の組織がフェライトーパーライトの場合には、850℃で狙いの硬度（ビッカース硬度470）が得られていないことがわかる。3DQ前の素管の組織をベイナイトまたはマルテンサイトとした場合は、850℃でも狙いの硬度（ビッカース硬度470）が得られることがわかる。また3DQ前の素管の組織がマルテンサイトよりはベイナイトの方がより高い硬度が得られることがわかる。

[0098] 図17A、図17Bに、3DQ加熱温度900℃の場合の3DQ前の熱処理有無によるマイクロ스코プによる表面割れ観察写真の比較を示す。倍率は175倍である。図17Aは、3DQ前の熱処理がなく3DQ前の組織がフェライトーパーライトの素管を使用した場合であり、図17Bは、3DQ前の熱処理を行い、3DQ前の組織をマルテンサイトとした素管を用いた場合である。3DQ前の熱処理がなく3DQ前の組織がフェライトーパーライトの素管を使用した場合には、表面割れが発生したが、3DQ前の熱処理を行い、3DQ前の組織をマルテンサイトとした素管を用いた場合は、900℃の3DQ加熱温度でも表面割れが発生しないことがわかる。

[0099] 表2に評価結果をまとめて示す。割れの有無はマイクロ스코プ（倍率175倍）により確認した。ビッカース硬度470以上の場合に焼入れ有と判定した。

[0100]

[表2]

前熱処理	評価項目	3DQ加熱温度(℃)						
		800	850	900	950	1000	1050	
無し	割れの有無	無	無	有	有	有	有	
金属組織:フェライト+パーライト	焼入れの有無	無	無	無	有	有	有	
有り:1000℃(昇温800℃/s)⇒保持0s⇒室温(水冷1000℃/s)	割れの有無	無	無	無	無	有	有	
金属組織:マルテンサイト	焼入れの有無	無	有	有	有	有	有	
有り:1000℃(昇温800℃/s)⇒450℃(ガス冷却50℃/s)⇒保持0s⇒室温(ガス冷却50℃/s)	割れの有無	無	無	無	無	有	有	
金属組織:ベイナイト	焼入れの有無	無	有	有	有	有	有	

[0101] 3 D Q 前の熱処理を行い、3 D Q 前の組織をベイナイトまたはマルテンサイトとした素管を用いた場合は、800℃～950℃の条件で表面割れがなく、また850℃以上の条件で狙いの焼入れ性が確保できることがわかる。これに対して、3 D Q 前の熱処理がなく3 D Q 前の組織がフェライト・パーライトの鋼材を3 D Q の素管として用いた場合には、800～850℃の3 D Q 加熱温度では表面割れがないが、900℃～1050℃で表面割れが存在した。ベイナイトまたはマルテンサイトとした素管に比べ、低い温度で表面割れが発生するのは、ベイナイトまたはマルテンサイトとする過程の熱処理でCu合金（黄銅）に含有されるZnが蒸発し、Cu合金の融点が上昇したためと推察される。950℃以上で狙いの焼入れ性が確保できていたが、800℃～900℃では、狙いの焼入れ性が確保できていなかった。すなわち、3 D Q 前の熱処理による3 D Q 前の組織制御を行わない素管を用いた場合には、表面割れなく狙いの硬さを得ることは不可能であるのに対し、3 D Q 前の熱処理を行い、3 D Q 前の組織をベイナイトまたはマルテンサイトとした素管を用いて3 D Q を行う場合は、850℃～950℃の条件で表面割れもなく、安定した狙い硬さの加工品が得られた。表面割れは、疲労破壊の起点であるので、表面割れを回避すれば疲労破壊を防止または抑制できる。

[0102] 以上まとめると、3 D Q 前にベイナイトまたはマルテンサイト組織とする熱処理を施した素管を用いることにより、制御された素管の組織によって3 D Q 工程の加熱時に短時間でオーステナイト化変態が可能となって安定した焼入れ性が実現できる。すなわち、厳しい曲げ加工条件においても表面割れがなく、安定した焼入れ性を確保することができる。

[0103] さらに、以下のことが言える。すなわち、素管としてベイナイトまたはマルテンサイト組織の鋼管を用いると共に、3 D Q における加熱手段として本開示の誘導加熱コイルを用いることで鋼管の高温部の最高温度を鋼管の角部及びそれ以外の部分において共にAc3変態点以上950℃以下にすること

が可能になり、鋼管の角部及びそれ以外の部分、つまり角部を有する鋼管全体において表面割れがなく安定した焼入れ性を確保することができる。

[0104] 1 0 3 D Q 装置（3次元熱間曲げ焼入れ装置）

1 2 送り装置

1 4 冷却装置

1 5 加工力付与装置

3 0 誘導加熱コイル

3 2 C 屈曲部

5 0 内側面

5 0 C 屈曲部における内側面

5 2 C 屈曲部における隣接面

6 0 鋼管（管体）

6 4 角部

[0105] ≪付記≫

本明細書からは、少なくとも以下の[1]～[13]までの態様が概念化される。

<1>

管体を軸方向に送る送り装置と、

前記送り装置の管体送り方向の延長線を囲むように配置される誘導加熱コイルと、

前記誘導加熱コイルの前記送り装置の管体送り方向下流側に隣接して配置される冷却装置と、

前記管体に加工力を付与する加工力付与装置と、

を備える3次元熱間曲げ焼入れ装置であって、

前記誘導加熱コイルは、内側面が折れ曲がっている屈曲部を備えており、

前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面を覆うように磁性体部材が配置されている、

3次元熱間曲げ焼入れ装置。

< 2 >

前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面及び一对の隣接面を覆うように磁性体部材が配置されている、

< 1 >に記載の 3 次元熱間曲げ焼入れ装置。

< 3 >

前記誘導加熱コイルの前記屈曲部における前記内側面には、コイル外側に向かって凹んだ凹み部が形成されている、

< 1 >又は< 2 >に記載の 3 次元熱間曲げ焼入れ装置。

< 4 >

前記磁性体部材は、前記誘導加熱コイルに対して着脱可能である、

< 1 >～< 3 >の何れか 1 項に記載の 3 次元熱間曲げ焼入れ装置。

< 5 >

軸方向の断面に角部を有する鋼管を軸方向に送るステップと、

前記鋼管を誘導加熱コイルに通して加熱するステップと、

加熱された前記鋼管を冷却し前記鋼管に局所的に高温部を作るステップと

、

前記高温部に加工力を付与するステップと、

を同時に行う鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法であって、

前記鋼管の前記角部に対向する前記誘導加熱コイルの内側面に磁性体部材を配置する、

鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法。

< 6 >

前記磁性体部材は、前記誘導加熱コイルに対して着脱可能である、

< 5 >に記載の鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法。

< 7 >

前記高温部の最高温度は、鋼管の角部及びそれ以外の部分において共に前記鋼管の A c 3 変態点以上 9 5 0 ℃以下である、

< 5 >又は< 6 >に記載の鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法。

< 8 >

前記加熱するステップで加熱する前の前記鋼管の組織は、マルテンサイト組織あるいはベイナイト組織である、

< 7 >に記載の鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法。

< 9 >

自動車用構造部材を製造する、

< 5 >～< 8 >の何れか 1 項に記載の鋼管の 3 次元熱間曲げ焼入れ方法。

[0106] 2016 年 3 月 24 日に出願された日本国特許出願 2016-060183 号の開示は、その全体が参照により本開示に取り込まれる。

本開示に記載された全ての文献、特許出願、および技術規格は、個々の文献、特許出願、および技術規格が参照により取り込まれることが具体的かつ個々に記された場合と同程度に、本開示に参照により取り込まれる。

[0107] 以上、種々の典型的な実施の形態および実施例を説明してきたが、本発明はそれらの実施の形態および実施例に限定されない。本発明の範囲は、次の請求の範囲によってのみ限定されるものである。

請求の範囲

- [請求項1] 管体を軸方向に送る送り装置と、
前記送り装置の管体送り方向の延長線を囲むように配置される誘導加熱コイルと、
前記誘導加熱コイルの前記送り装置の管体送り方向下流側に隣接して配置される冷却装置と、
前記管体に加工力を付与する加工力付与装置と、
を備える３次元熱間曲げ焼入れ装置であって、
前記誘導加熱コイルは、内側面が折れ曲がっている屈曲部を備えており、
前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面を覆うように磁性体部材が配置されている、
３次元熱間曲げ焼入れ装置。
- [請求項2] 前記誘導加熱コイルの前記屈曲部には、前記誘導加熱コイルの前記内側面及び一对の隣接面を覆うように磁性体部材が配置されている、
請求項１に記載の３次元熱間曲げ焼入れ装置。
- [請求項3] 前記誘導加熱コイルの前記屈曲部における前記内側面には、コイル外側に向かって凹んだ凹み部が形成されている、
請求項１又は請求項２に記載の３次元熱間曲げ焼入れ装置。
- [請求項4] 前記磁性体部材は、前記誘導加熱コイルに対して着脱可能である、
請求項１～請求項３の何れか１項に記載の３次元熱間曲げ焼入れ装置。
- [請求項5] 軸方向の断面に角部を有する鋼管を軸方向に送るステップと、
前記鋼管を誘導加熱コイルに通して加熱するステップと、
加熱された前記鋼管を冷却し前記鋼管に局所的に高温部を作るステップと、
前記高温部に加工力を付与するステップと、
を同時に行う鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法であって、

前記鋼管の前記角部に対向する前記誘導加熱コイルの内側面に磁性体部材を配置する、

鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法。

[請求項6] 前記磁性体部材は、前記誘導加熱コイルに対して着脱可能である、
請求項５に記載の鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法。

[請求項7] 前記高温部の最高温度は、鋼管の角部及びそれ以外の部分において共に前記鋼管の A_c3 変態点以上 950°C 以下である、

請求項５又は請求項６に記載の鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法。

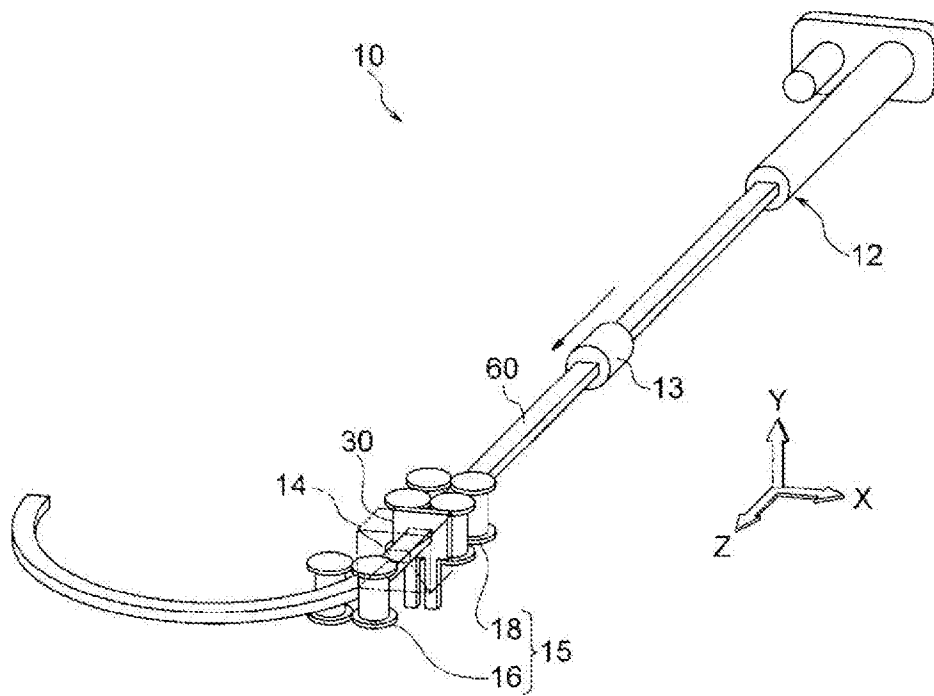
[請求項8] 前記加熱するステップで加熱する前の前記鋼管の組織は、マルテンサイト組織あるいはベイナイト組織である、

請求項７に記載の鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法。

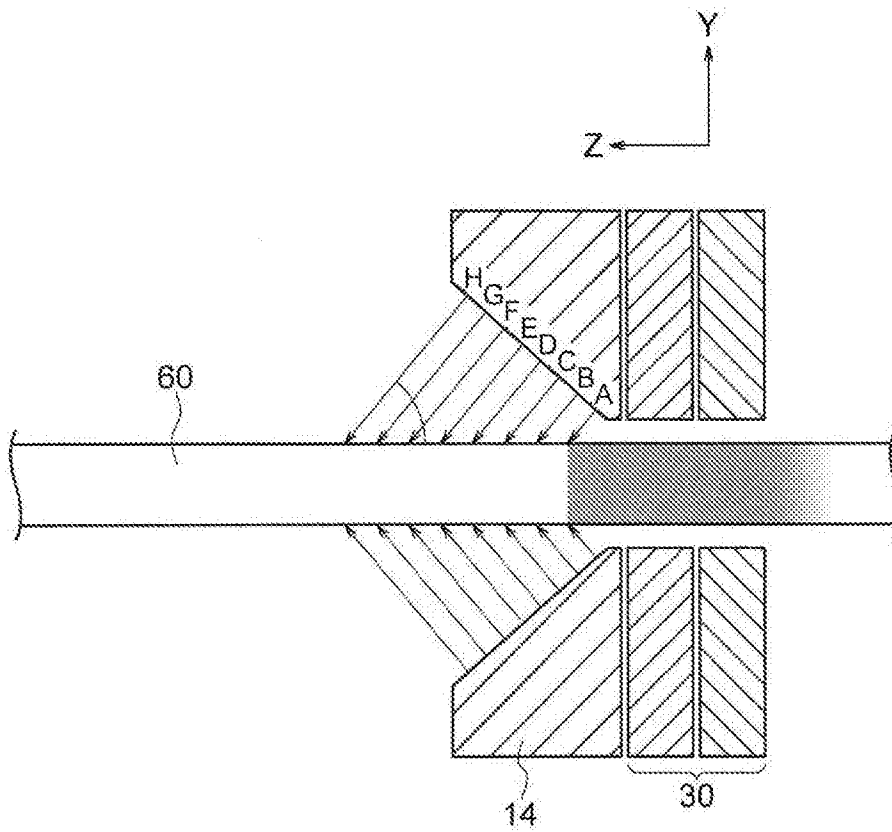
[請求項9] 自動車用構造部材を製造する、

請求項５～請求項８の何れか１項に記載の鋼管の３次元熱間曲げ焼入れ方法。

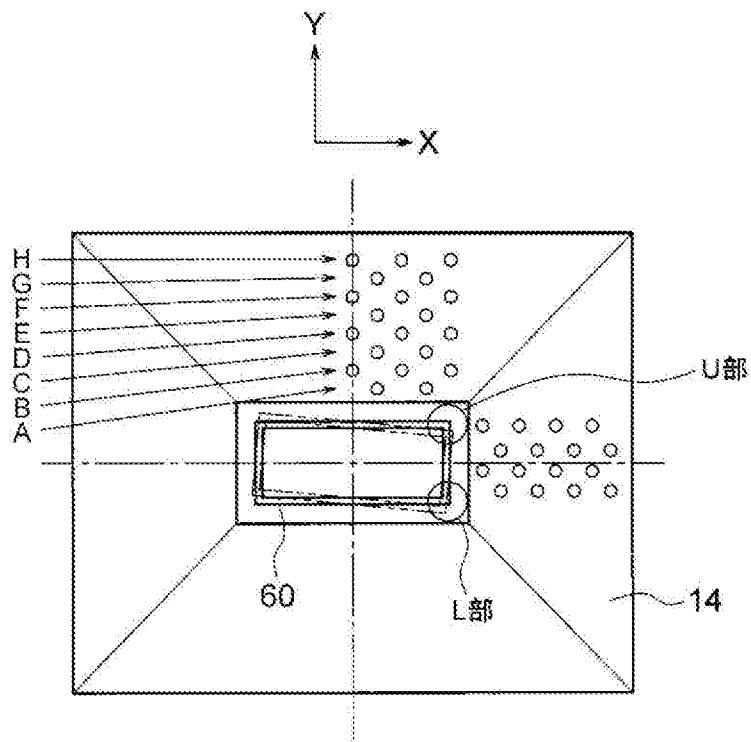
[図1]



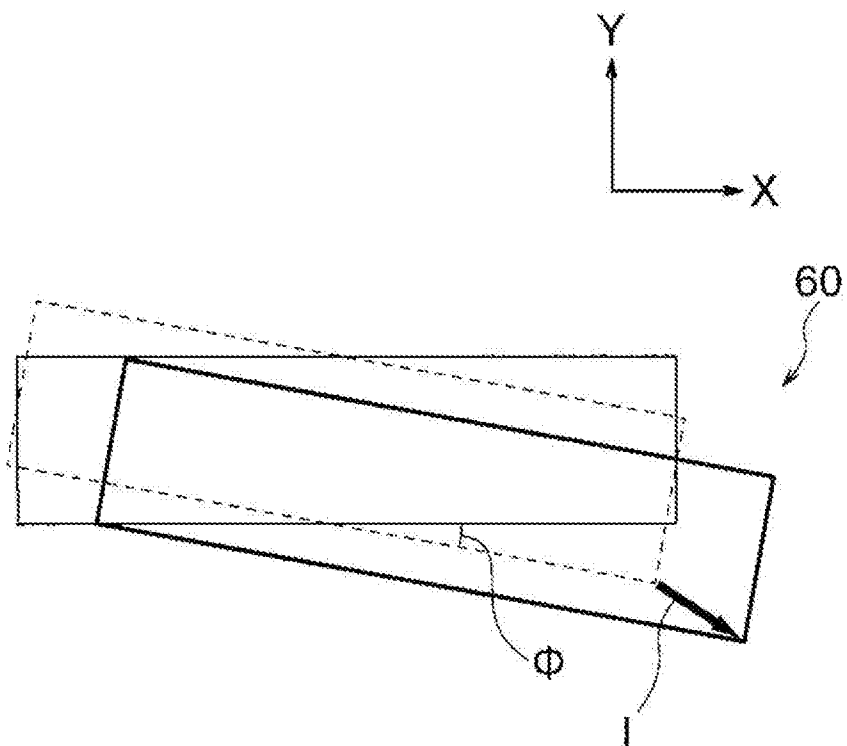
[図2]



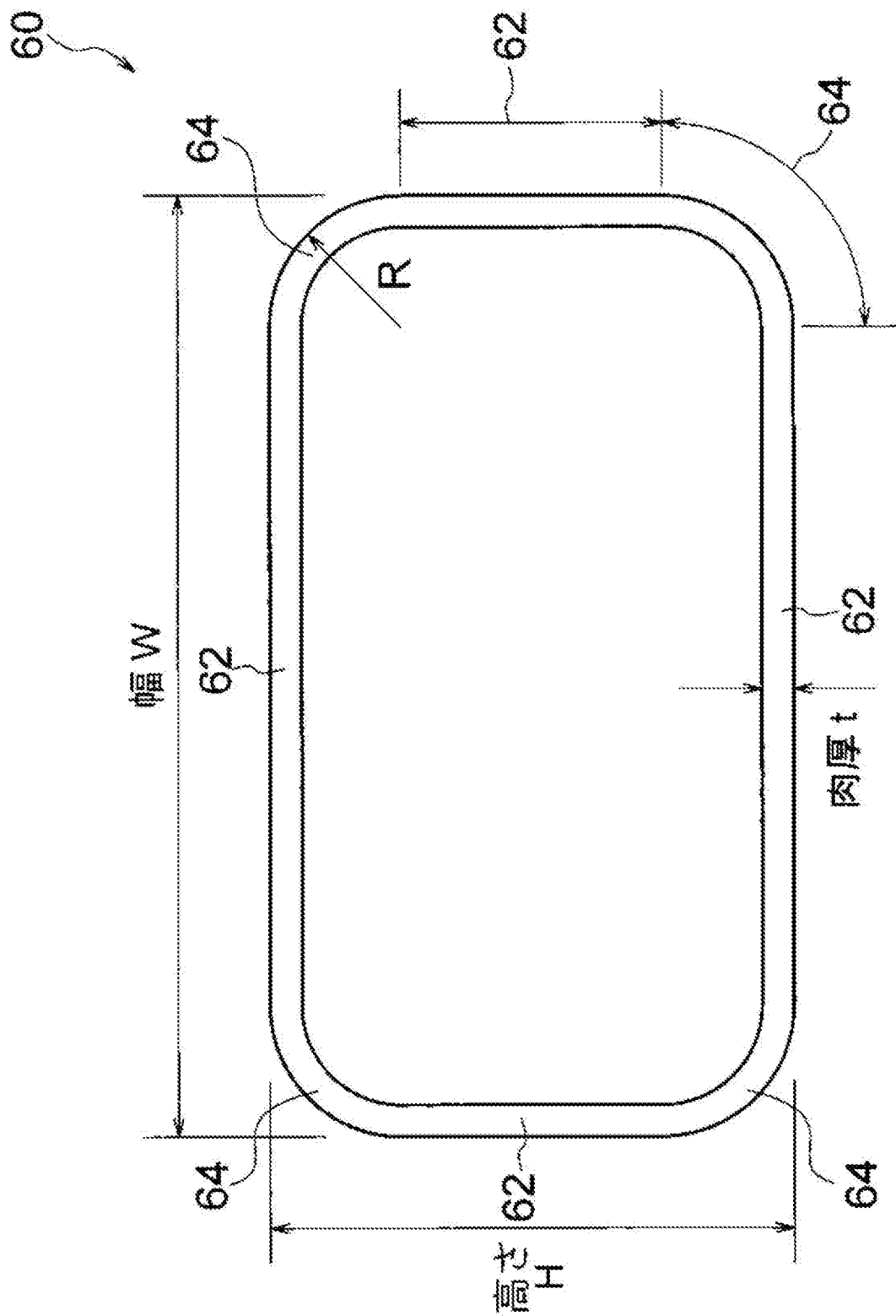
[図3]



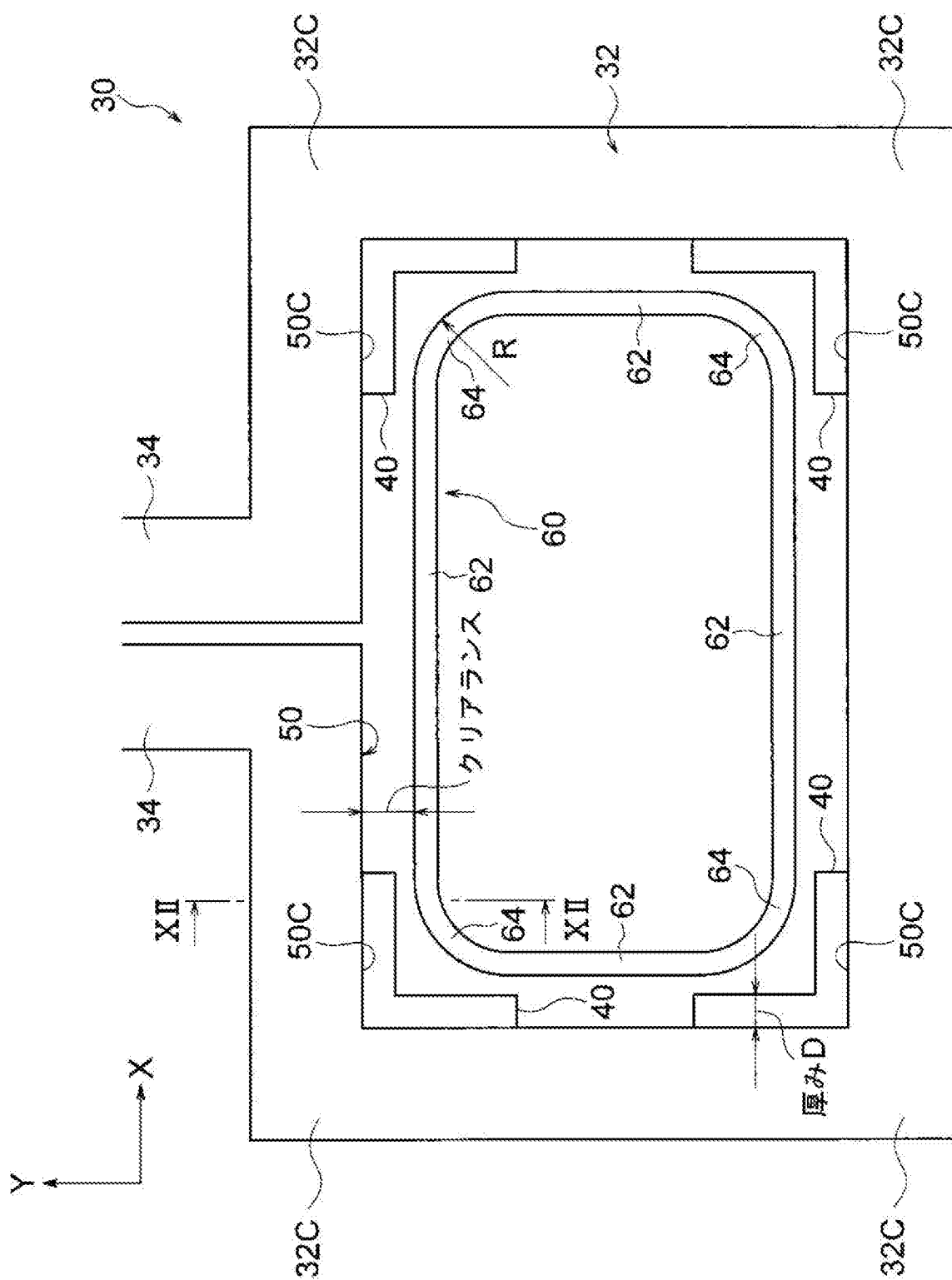
[図4]



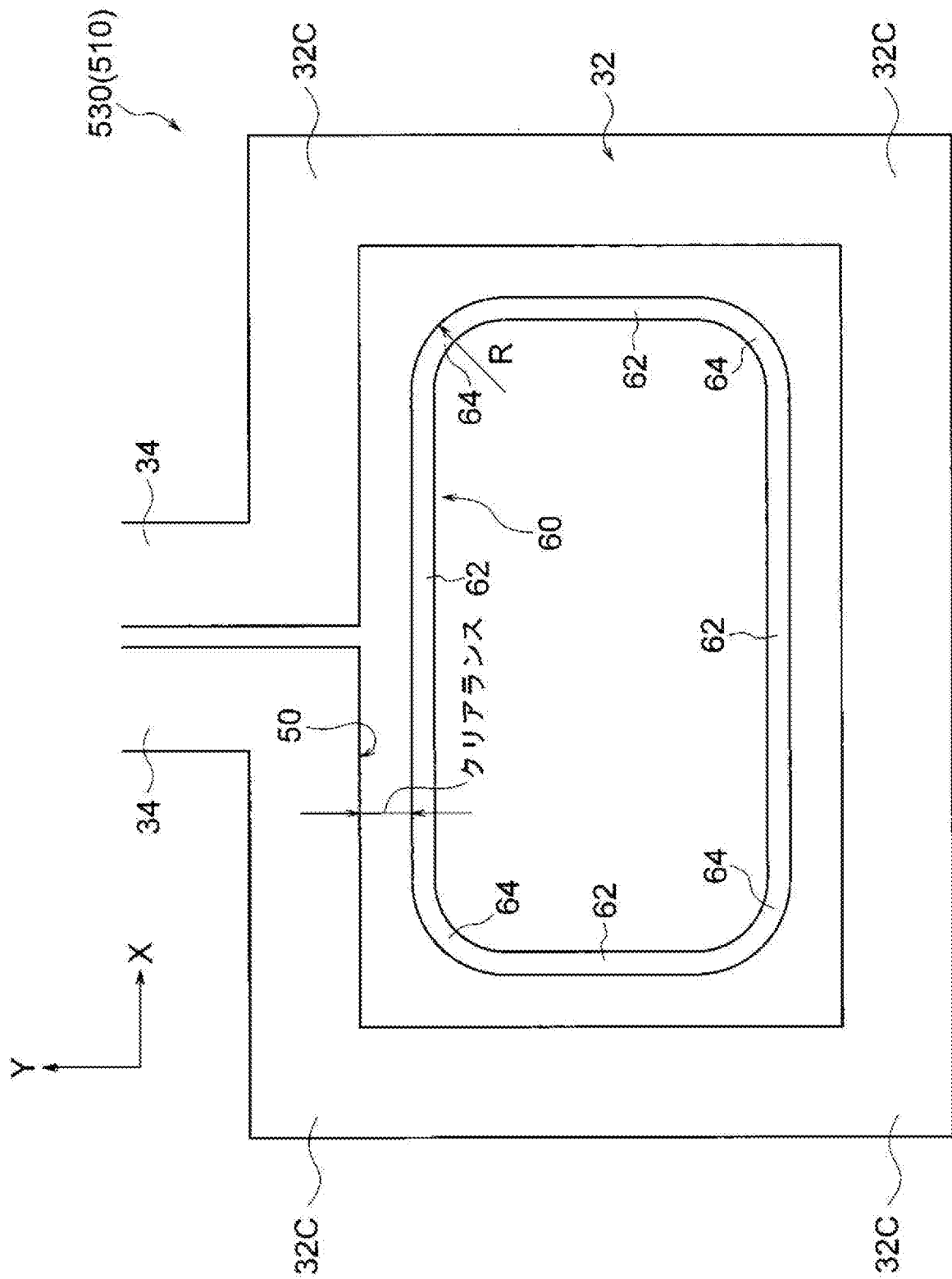
[図5]



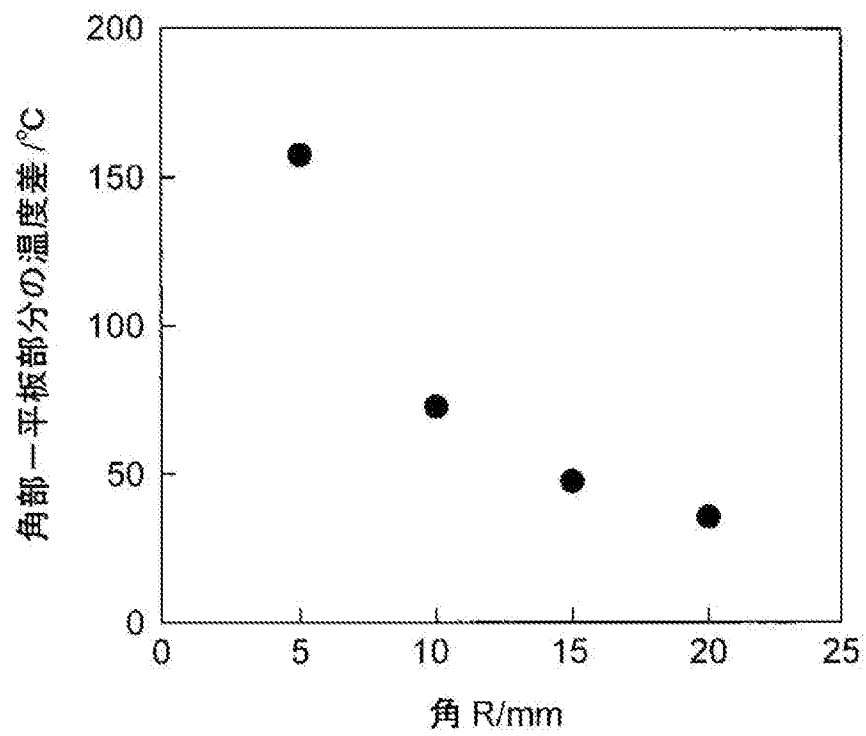
[図6]



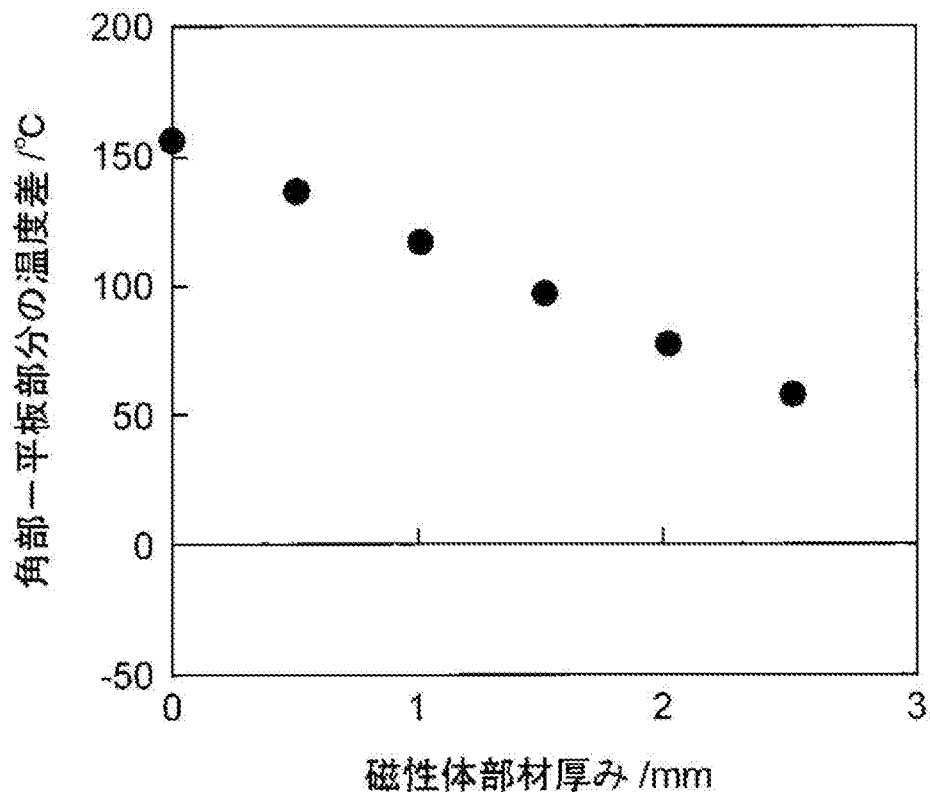
[図7]



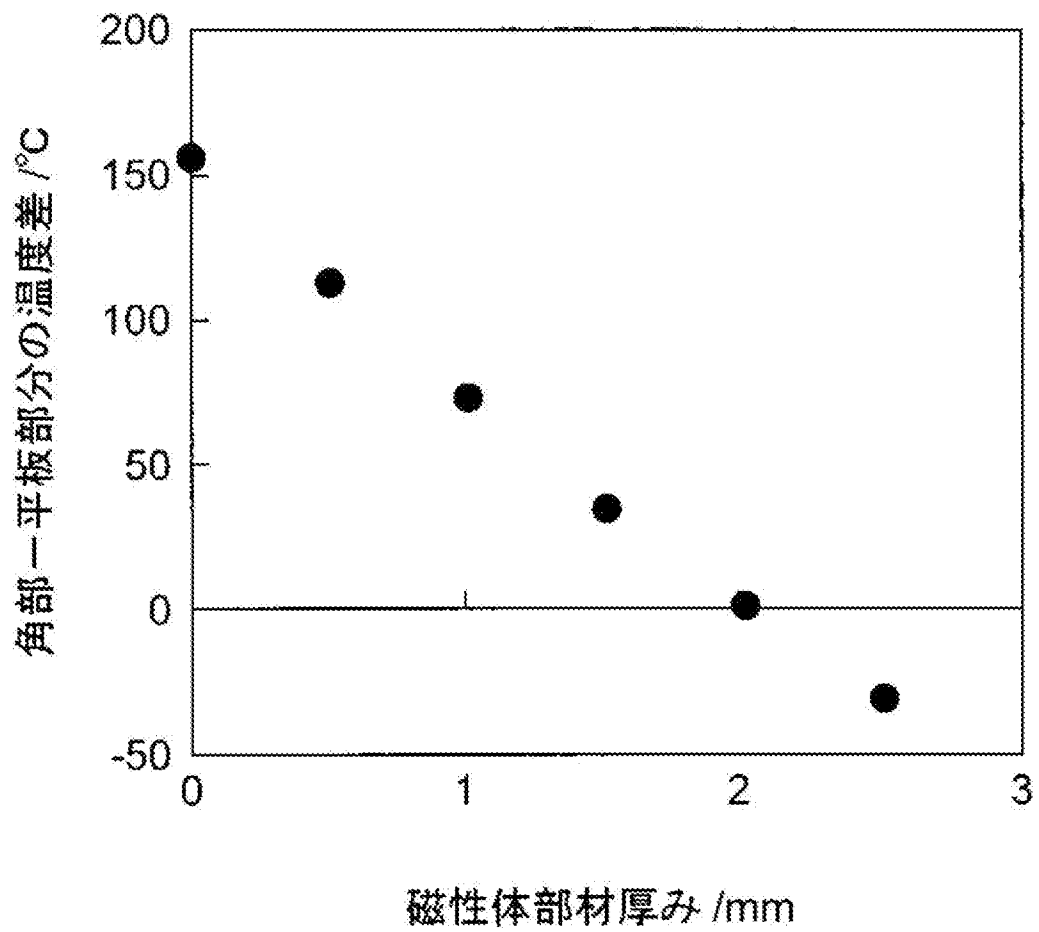
[図8]



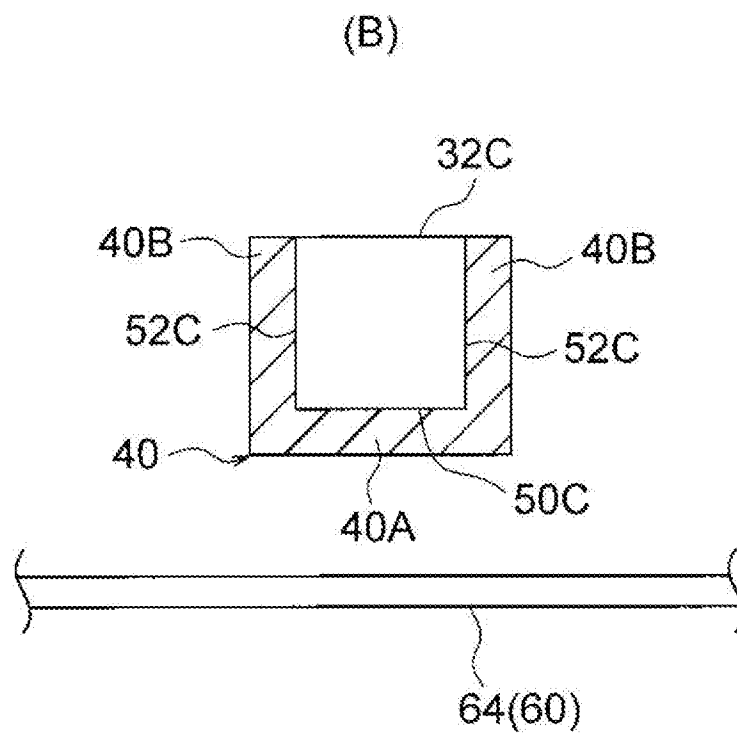
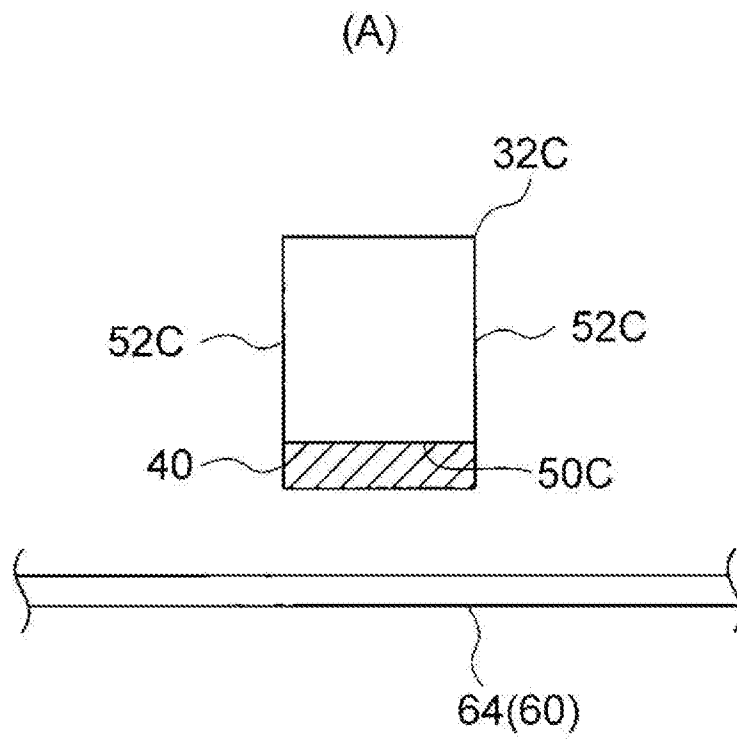
[図9]



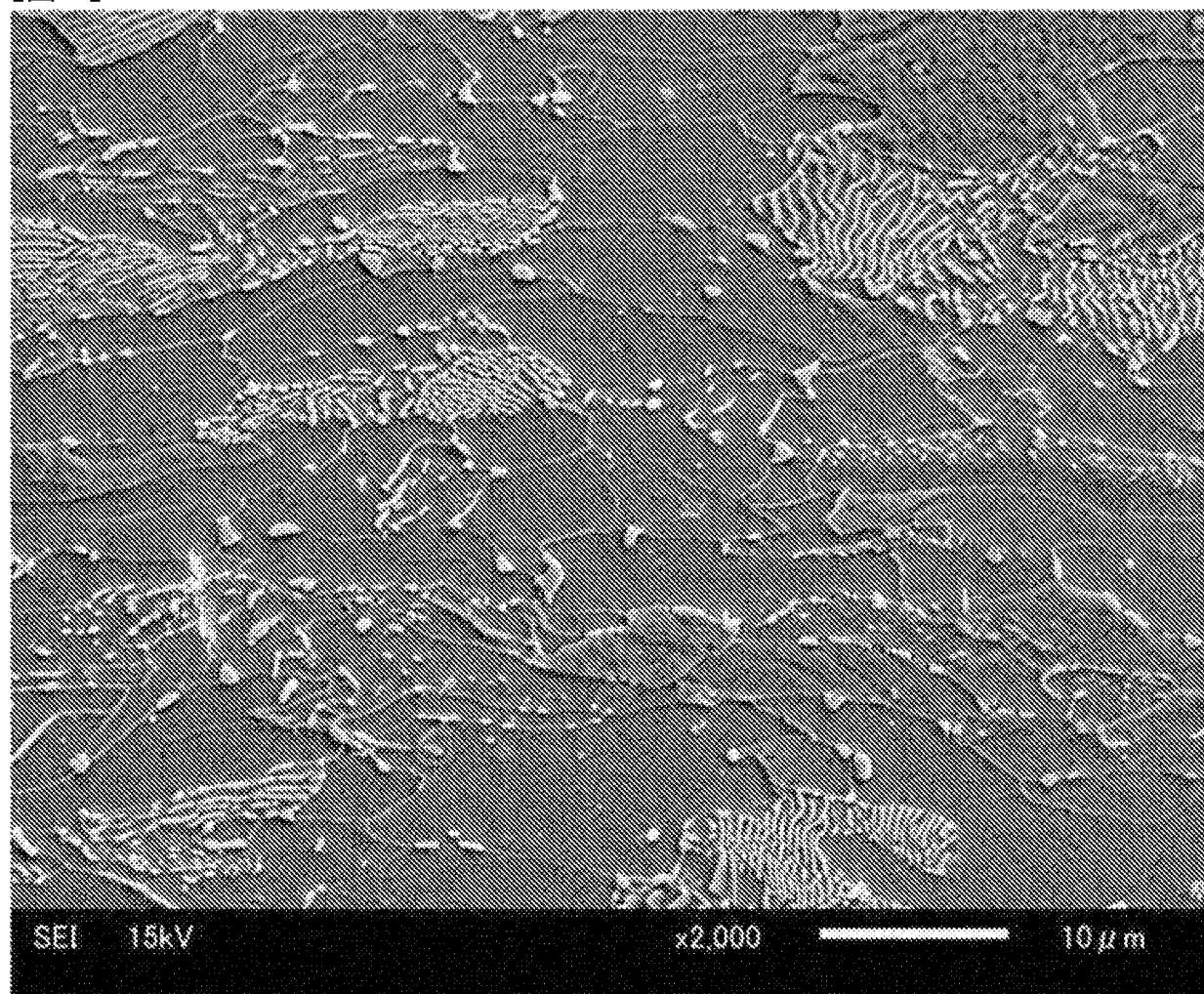
[図11]



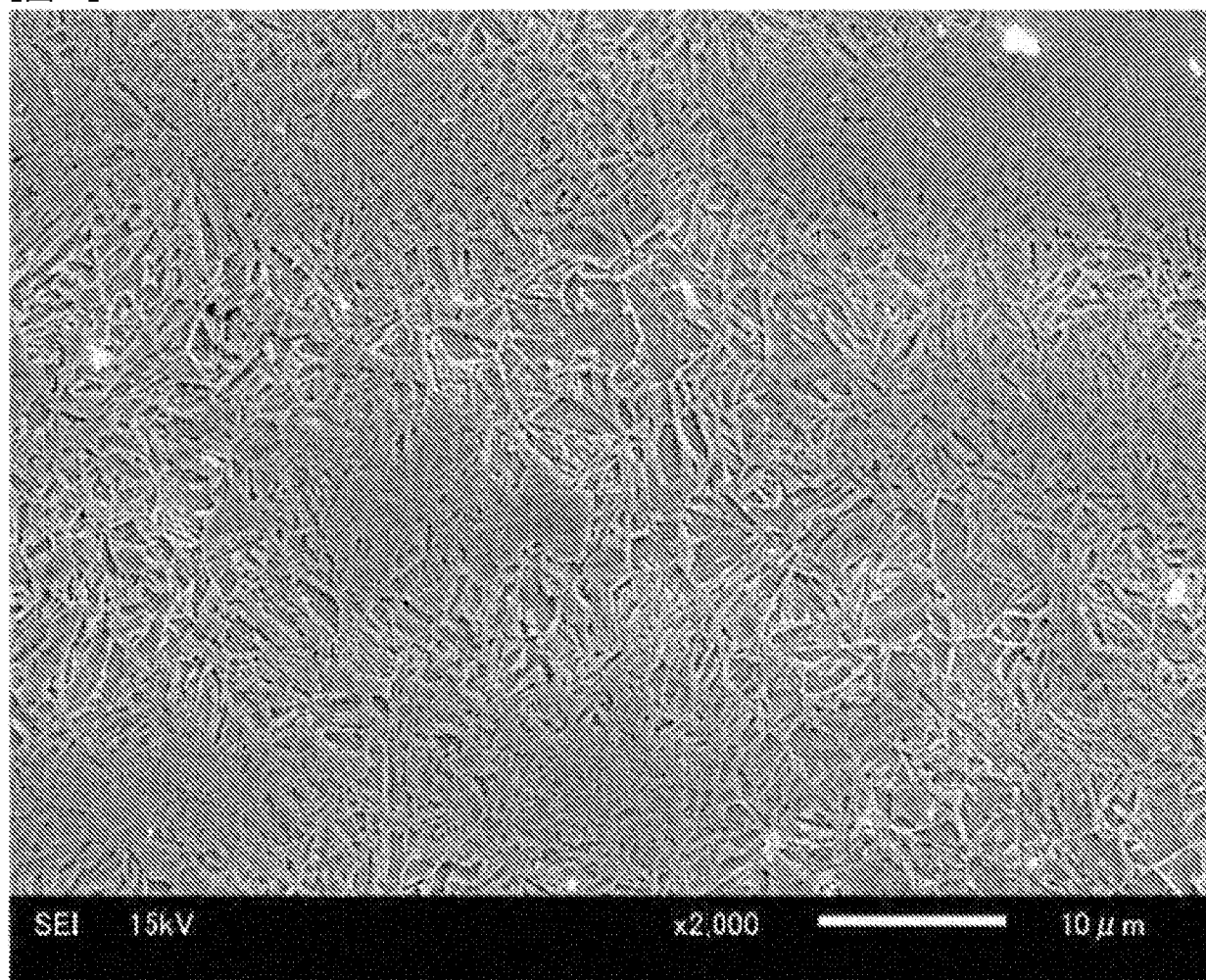
[図12]



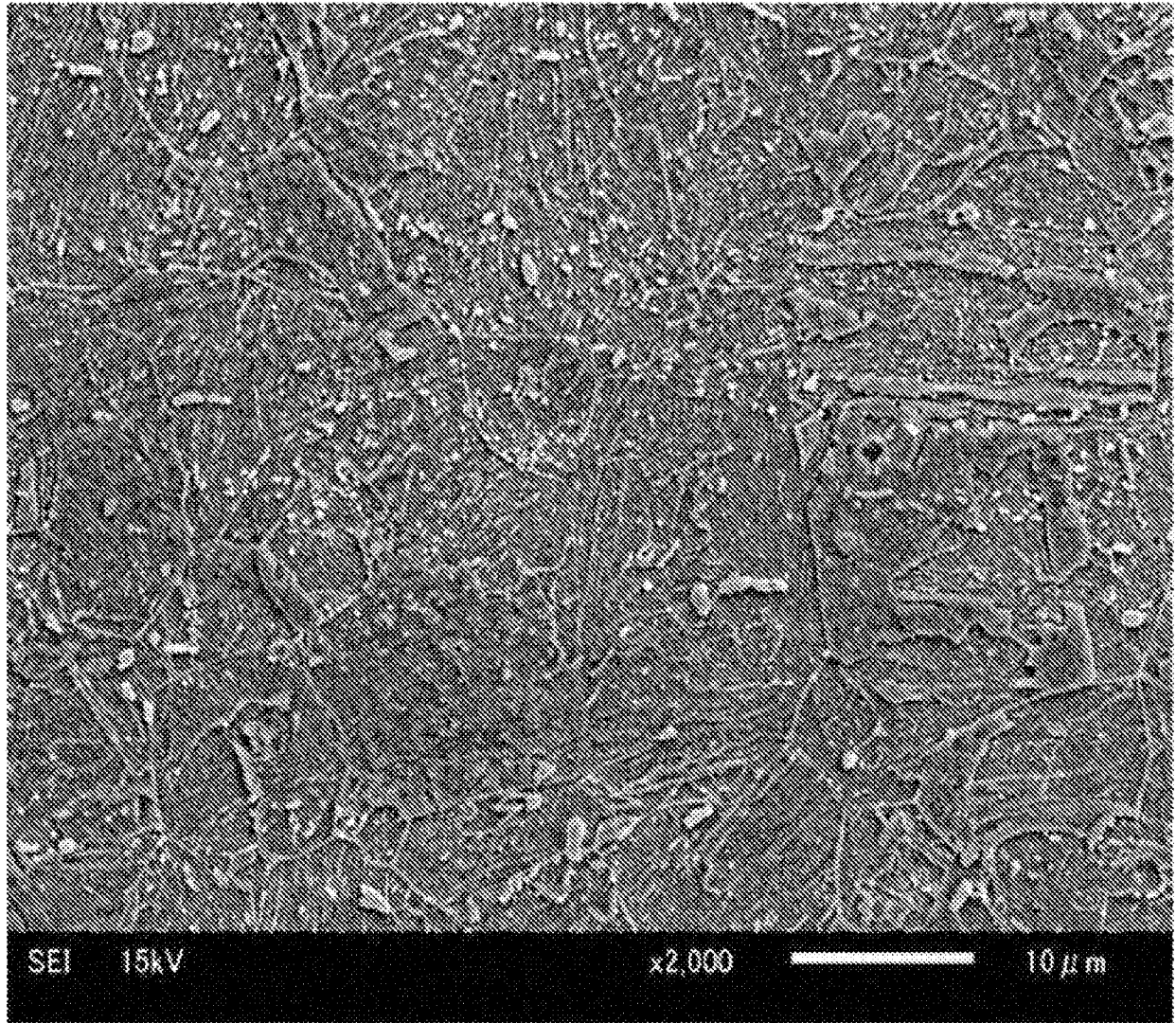
[図13]



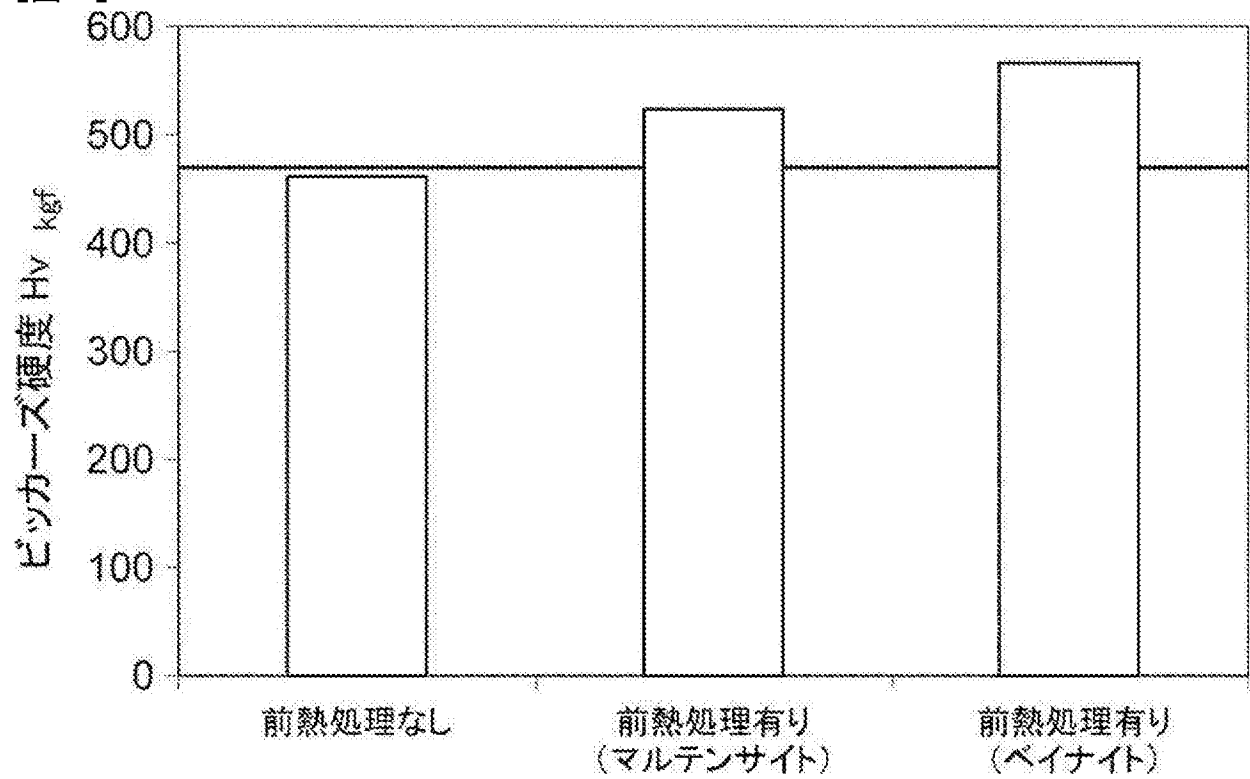
[図14]



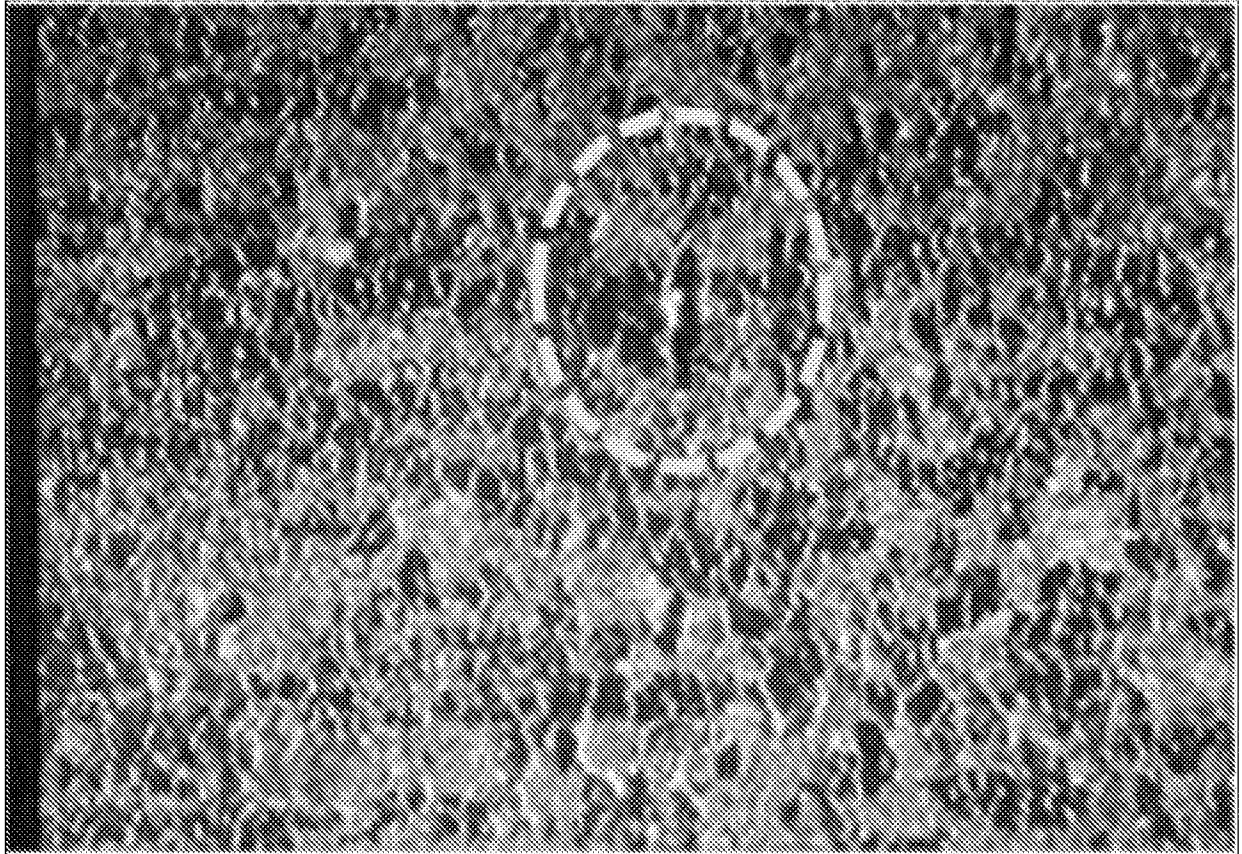
[図15]



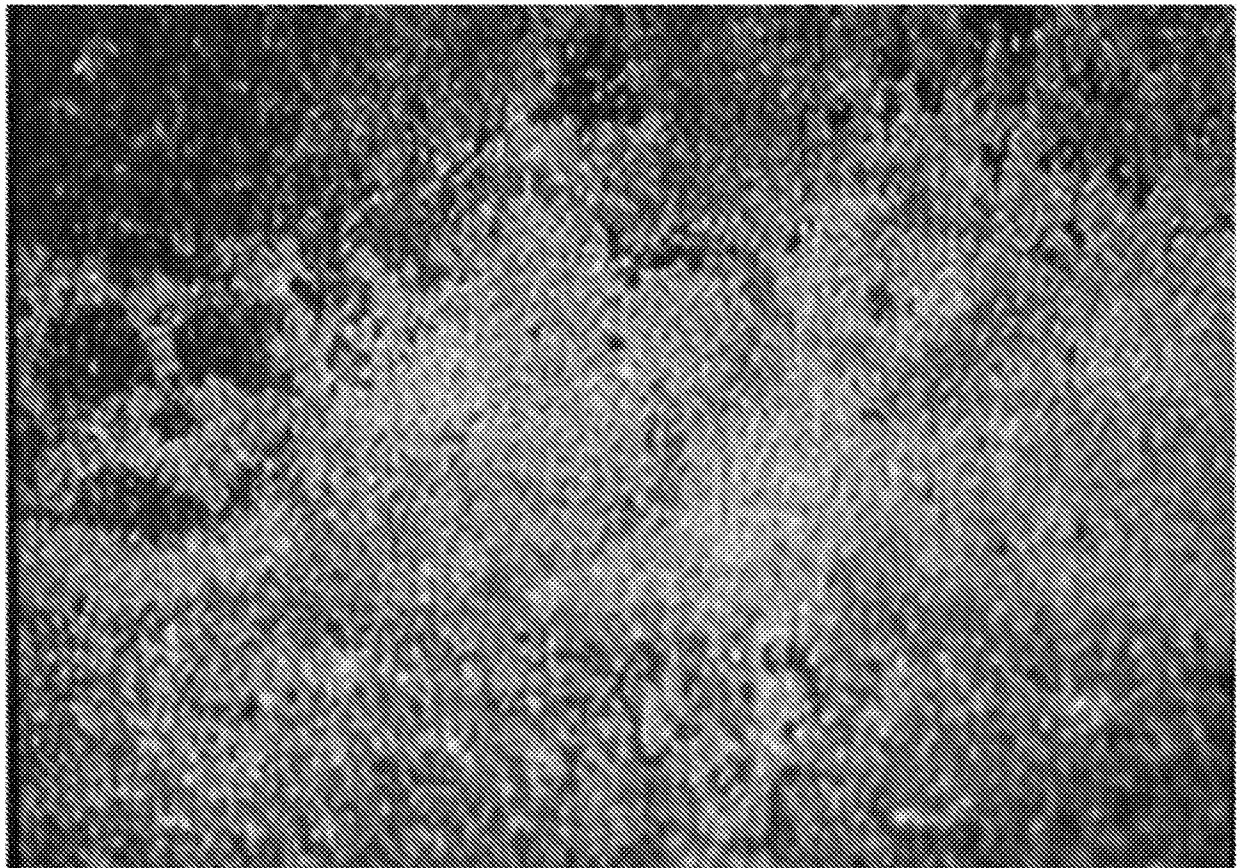
[図16]



[図17A]



[図17B]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/010277

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H05B6/10(2006.01)i, B21D7/16(2006.01)i, C21D1/18(2006.01)i, C21D9/08(2006.01)i, C21D9/50(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H05B6/10, B21D7/16, C21D1/18, C21D9/08, C21D9/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2017
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2017	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2017

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

DWPI(Thomson Innovation), Japio-GPG/FX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2012-197488 A (Sumitomo Metal Industries, Ltd.), 18 October 2012 (18.10.2012), paragraphs [0009], [0021] to [0023], [0027] to [0034], [0068], [0073] to [0075], [0077], [0083]; fig. 1 to 2 (Family: none)	1-2, 4-9 3
Y A	JP 49-017539 A (Mitsui Engineering & Shipbuilding Co., Ltd.), 16 February 1974 (16.02.1974), specification, column 1, lines 13 to 16; column 3, lines 4 to 18; fig. 1 to 3 (Family: none)	1-2, 4-9 3

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
24 April 2017 (24.04.17)

Date of mailing of the international search report
09 May 2017 (09.05.17)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2017/010277

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2012/005076 A1 (Honda Motor Co., Ltd.), 12 January 2012 (12.01.2012), paragraphs [0002], [0022]; fig. 1 to 2, 5 & US 2013/0175260 A1 paragraphs [0002], [0031]; fig. 1 to 2, 5 & EP 2592161 A1 & CN 102959097 A	1-2, 4-9
Y	WO 01/096625 A1 (Kawasaki Steel Corp.), 20 December 2001 (20.12.2001), description, page 7, line 25 to page 8, line 4; claim 2 & US 2003/0051782 A1 paragraph [0047]; claim 2 & EP 1293581 A1 & DE 60133816 T2 & CN 1388835 A	8-9

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H05B6/10(2006.01)i, B21D7/16(2006.01)i, C21D1/18(2006.01)i, C21D9/08(2006.01)i, C21D9/50(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. H05B6/10, B21D7/16, C21D1/18, C21D9/08, C21D9/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2017年
日本国実用新案登録公報	1996-2017年
日本国登録実用新案公報	1994-2017年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

DWPI (Thomson Innovation), Japio-GPG/FX

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2012-197488 A（住友金属工業株式会社）2012.10.18, 段落[0009], [0021]-[0023], [0027]-[0034], [0068], [0073]-[0075], [0077], [0083], 図1-2 (ファミリーなし)	1-2, 4-9 3
Y A	JP 49-017539 A（三井造船株式会社）1974.02.16, 明細書第1欄第13-16行, 第3欄第4-18行、図1-3 (ファミリーなし)	1-2, 4-9 3

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）

「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

24.04.2017

国際調査報告の発送日

09.05.2017

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

宮崎 光治

3 L

6 2 1 5

電話番号 03-3581-1101 内線 3337

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y	WO 2012/005076 A1 (本田技研工業株式会社) 2012. 01. 12, 段落[0002], [0022], 図 1-2, 5 & US 2013/0175260 A1, 段落[0002], [0031], 図 1-2, 5 & EP 2592161 A1 & CN 102959097 A	1-2, 4-9
Y	WO 01/096625 A1 (川崎製鉄株式会社) 2001. 12. 20, 明細書第 7 ページ第 25 行-第 8 ページ第 4 行, 請求項 2 & US 2003/0051782 A1, 段落[0047], 請求項 2 & EP 1293581 A1 & DE 60133816 T2 & CN 1388835 A	8-9