(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
2012 年 10 月 4 日(04.10.2012)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2012/132744 A1

(51) 国際特許分類:
C21D 9/32 (2006.01) *C23C 8/80* (2006.01)
C21D 1/06 (2006.01) *F16H 55/06* (2006.01)
C21D 1/10 (2006.01) *F16H 55/17* (2006.01)
C23C 8/22 (2006.01) *C22C 38/00* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/055156

(22) 国際出願日: 2012 年 3 月 1 日(01.03.2012)

(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 2011-077746 2011 年 3 月 31 日(31.03.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): アイシン・エィ・ダブリュ株式会社 (AISIN AW CO., LTD.) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根１０番地 Aichi (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 大林 巧治 (OBAYASHI Koji) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根１０番地 アイシン・エィ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 田口 圭太(TAGUCHI Keita) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根１０番地 アイシン・エィ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 三宅 保孝 (MIYAKE Yasutaka) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根１０番地 アイシン・エィ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP). 小木曽 貴昭(OGISO Takaaki) [JP/JP]; 〒4441192 愛知県安城市藤井町高根１０番地 アイシン・エィ・ダブリュ株式会社内 Aichi (JP).

(74) 代理人: 特許業務法人あいち国際特許事務所 (AICHI, Takahashi, Iwakura & Associates); 〒4500002 愛知県名古屋市中村区名駅３丁目２６番１９号 名駅永田ビル Aichi (JP).

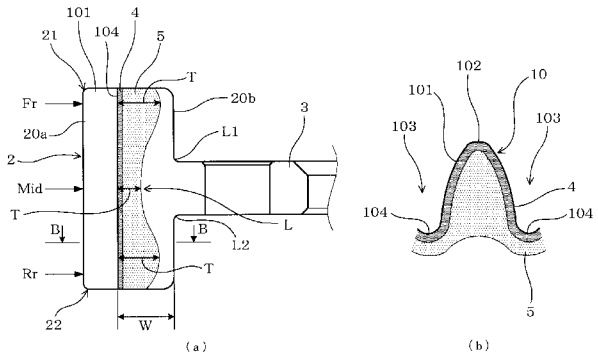
(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY,

[続葉有]

(54) **Title**: STEAL GEAR WHEEL AND METHOD FOR MANUFACTURING SAME

(54) 発明の名称 : 鋼製歯車およびその製造方法

[図2]



(57) **Abstract**: A steal gear wheel (1) comprises an outer circumferential ring (2) having a tooth profile (10) formed on an outer circumferential surface (20a), and a flange (3) that extends inward from an inner circumferential surface (20b). The outer circumferential ring (2) is provided with a first protruding section (21) that protrudes on one side in the axial direction, and a second protruding section (22) that protrudes on the other side in the axial direction, beyond the part (L) where the outer circumferential ring (2) is linked with the flange (3). The lengths of the first protruding section (21) and the second protruding section (22) in the axial direction are substantially the same. A carburized layer (4) formed on the surface layer of the tooth profile (10), and a thermal history layer (5) are formed on the outer circumferential ring (2). The thermal history layer (5) contains the carburized layer (4), is a deep region having an inward depth from the outer circumferential surface (20a) deeper than that of the carburized layer (4), and has a history of being heated by high-frequency induction heating until becoming austenite. The inward depth (T) of the thermal history layer (5) from the tooth bottom (104) is deeper with regard to the first protruding section (21) and the second protruding section (22) than the part (L) where the outer circumferential ring (2) is linked with the flange (3), and is substantially the same in the first protruding section (21) and the second protruding section (22).

(57) 要約:

[続葉有]

WO 2012/132744 A1

MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, 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, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告（条約第 21 条(3)）

鋼製歯車１は、外周面２０ａに歯形１０が形成された外周リング部２、内周面２０ｂから内方に延設されたフランジ部３を有する。外周リング部２は、フランジ部３との連結部Ｌよりも軸方向一方側に突出する第１突出部２１、他方側に突出する第２突出部２２を備える。第１突出部２１と第２突出部２２の軸方向長さは略同等である。外周リング部２には、歯形１０の表層の浸炭層４と、浸炭層４を含み外周面２０ａから内方に向かう深さが浸炭層４の深さよりも深い領域であって高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する熱履歴層５とが形成されている。歯底１０４から内方に向かう熱履歴層５の深さＴは、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１及び第２突出部２２の方が深く、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等である。

明　細　書

発明の名称 ： 鋼製歯車およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、鋼製歯車およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、多くの産業分野において鋼製歯車が用いられている。例えば、自動車分野で使用される差動装置等は、多数の鋼製歯車を有している。鋼製歯車には種々の形状がある。例えば、外周面に歯形が形成された円筒状の外周リング部と、該外周リング部の内周面における軸方向の中央位置に連結されたフランジ部とを備えた歯車が広く知られている。

[0003] 鋼製歯車は、高強度、耐摩耗性が要求される部材である。そのため、鋼製歯車には、靭性を維持しつつ表面硬度を高めるための処理として浸炭処理および焼入れ処理が施されることが多い。浸炭処理は、鋼をオーステナイト化温度以上に加熱した状態で表面の炭素濃度を増大させる処理である。通常、この浸炭処理を施した直後に焼入れ処理が行われる。鋼製歯車の歯形面に浸炭処理と焼入れ処理とを実施することにより、歯車内部の靭性を確保するとともに、歯形面の表面硬度を高めることができる。

[0004] 上記浸炭処理および焼入れ処理としては、従来、出側に油焼入れ槽を備えた大型の熱処理炉を用いてガス浸炭処理を長時間行った直後に油焼入れする方法が知られている。最近では、特許文献１に開示されるように、真空浸炭処理を行った後、一旦徐冷し、高周波誘導加熱によって鋼製部材の所望部分を再加熱した後に焼入れ処理を行う方法も提案されている（以下、高周波誘導加熱を利用した焼入れを、「高周波焼入れ」ということがある。）。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：国際公開第２００７／０３４９１１号

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] 浸炭処理後に一旦徐冷し、その後、所望部分を高周波誘導加熱した直後に急冷して焼入れるという「浸炭・徐冷・高周波焼入れ処理」は、ガス浸炭処理後に油焼入れする従来の「浸炭油焼入れ処理」に比較して、火炎や油を使わずに済み、熱処理時間も短縮することができる。そのため、CO_2排出量の低減を図ることができ、地球環境に優しい熱処理技術であるといえる。

[0007] しかしながら、外周リング部の内周面における軸方向の中央位置にフランジ部が連結されている鋼製歯車材に対して、単純に従来の「浸炭・徐冷・高周波焼入れ処理」を適用した場合、外周リング部に熱処理による歪変形が生じ、十分な寸法精度を有する鋼製歯車が得られない場合があるという問題がある。特に、鋼製歯車の互いに向かいあった２つの歯溝にボールを入れ、その外周寸法を評価するＯＢＤ評価において、歯幅方向の中央部のＯＢＤ値と両端部ＯＢＤ値のうち大きい方との差であるＯＢＤテーパーが悪化するという問題がある。

[0008] 本発明は、このような問題に鑑みてなされたものであり、従来よりも高い寸法精度を有する鋼製歯車を提供しようとするものである。また、従来よりも高い寸法精度を有する鋼製歯車を得ることが可能な製造方法を提供しようとするものである。

課題を解決するための手段

[0009] 本発明の一態様は、外周面に歯形が形成された略円筒状の外周リング部と、該外周リング部の内周面から径方向内方に延設されたフランジ部とを有し、

上記外周リング部は、上記フランジ部との連結部よりも軸方向一方側に突出する第１突出部と軸方向他方側に突出する第２突出部とを備えるとともに、上記第１突出部の軸方向長さと上記第２突出部の軸方向長さとが略同等に設けられており、

上記外周リング部には、上記歯形の表層に形成された浸炭層と、該浸炭層を含み上記外周面から内方に向かう深さが上記浸炭層の深さよりも深い領域

であって高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する熱履歴層とが形成されており、

上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記熱履歴層の深さは、上記フランジ部との連結部よりも上記第１突出部および上記第２突出部の方が深く、かつ、上記第１突出部と上記第２突出部とにおいて略同等であることを特徴とする鋼製歯車にある。

[0010] 本発明の他の態様は、外周面に歯形が形成された略円筒状の外周リング部と、該外周リング部の内周面から径方向内方に延設されたフランジ部とを有し、上記外周リング部は、上記フランジ部との連結部よりも軸方向一方側に突出する第１突出部と軸方向他方側に突出する第２突出部とを備えるとともに、上記第１突出部の軸方向長さと上記第２突出部の軸方向長さとが略同等に設けられている鋼製歯車材を準備する準備工程と、

上記鋼製歯車材を減圧下の浸炭ガス中においてオーステナイト化温度以上に加熱し、上記歯形の表層に浸炭層を形成する浸炭工程と、

該浸炭工程に引き続き、マルテンサイト変態する冷却速度よりも遅い冷却速度により上記鋼製歯車材を冷却し、かつ、冷却による組織変態が完了する温度以下まで上記鋼製歯車材を冷却する冷却工程と、

上記鋼製歯車材における上記浸炭層を含み上記外周面から内方に向かう深さが上記浸炭層の深さよりも深い領域を、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱した後、マルテンサイト変態する冷却速度以上の冷却速度により上記鋼製歯車材を冷却する焼入れ工程とを有し、

該焼入れ工程において、上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記高周波誘導加熱による加熱深さを、上記フランジ部との連結部よりも上記第１突出部および上記第２突出部の方が深く、かつ、上記第１突出部と上記第２突出部とにおいて略同等になるよう調整することを特徴とする鋼製歯車の製造方法にある。

発明の効果

[0011] 上記鋼製歯車は、外周リング部に形成された上記熱履歴層を有し、外周面

の歯形の歯底から内方に向かう熱履歴層の深さは、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等である。上記鋼製歯車は、このような構成の熱履歴層を採用したことにより、その製造方法として上記「浸炭・徐冷・高周波焼入れ処理」が適用された場合であっても、上記構成の熱履歴層を実現する限り、高い寸法精度を有する。

[0012] 上記製造方法は、上記の鋼製歯車を好適に製造することができる方法である。この製造方法では、準備工程において、外周面に歯形が形成された略円筒状の外周リング部と、外周リング部の内周面から径方向内方に延設されたフランジ部とを有する鋼製歯車材を準備する。ここで、この鋼製歯車材の外周リング部は、フランジ部との連結部よりも軸方向一方側に突出する第１突出部と軸方向他方側に突出する第２突出部とを備えるとともに、上記第１突出部の軸方向長さと上記第２突出部の軸方向長さとが略同等に設けられている。つまり、上記鋼製歯車材は、外周リング部の内周面における軸方向の略中央位置にフランジ部が連結されているといえる。上記製造方法では、このような形状の鋼製歯車材に対して「浸炭・徐冷・高周波焼入れ処理」が適用される。

[0013] すなわち、浸炭工程では、上記鋼製歯車材を減圧下の浸炭ガス中においてオーステナイト化温度以上に加熱し、歯形の表層に浸炭層を形成する。これにより、母材よりも高い炭素濃度を有する浸炭層が歯形の輪郭に沿って導入される。この浸炭工程に引き続き、冷却工程では、マルテンサイト変態する冷却速度よりも遅い冷却速度により鋼製歯車材を冷却し、かつ、冷却による組織変態が完了する温度以下まで鋼製歯車材を冷却する。これにより、外周リング部にマルテンサイト組織を実質的に含まない鋼製歯車材が得られる。

[0014] その後、焼入れ工程では、上記鋼製歯車材における浸炭層を含み外周面から内方に向かう深さが浸炭層の深さよりも深い領域を、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱した後、マルテンサイト変態する冷却速度以上の冷却速度により鋼製歯車材を冷却する。これにより浸炭層がマルテン

サイト組織となり、歯形の表層が高硬度化される。また、浸炭層を含み外周面から内方に向かう深さが浸炭層の深さよりも深い領域に、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する熱履歴層が形成される。

[0015] 上記焼入れ工程において注目すべき点は、外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さを、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等になるよう調整する点である。

[0016] 従来、上記形状の鋼製歯車材に対して高周波焼入れを適用する場合、外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さを、外周リング部の軸方向全域にわたって均一な深さとなるように調整するのが通常である。しかし、このような調整を行うと、外周リング部に熱処理による歪変形が生じ、十分な寸法精度が得られない。特に、外周リング部のＯＢＤテーパーが悪化してしまうことが多い。

[0017] ところが、上述したように、外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さを、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等になるよう調整した場合には、焼入れ工程を経た後の鋼製歯車の寸法精度を向上させることができる。特に、外周リング部のＯＢＤテーパーを小さくすることが可能になる。このような知見は、本発明によって初めて見出されたものである。この理由は、以下によるものと推察される。

[0018] 従来のように、外周リング部の外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さを、外周リング部の軸方向全域にわたって均一な深さとなるように調整した場合には、次のようなメカニズムが考えられる。すなわち、外周リング部におけるフランジ部との連結部は、フランジ部による拘束力が大きい。一方、第１突出部および第２突出部の先端部は、フランジ部から離れているために連結部に比べてフランジ部による拘束力が小さい。そのため、高周波誘導加熱時に、第１突出部および第２突出部の先端部側

は、熱膨張により径方向外方へ同等程度だけ少し変形する一方、連結部は、上記先端部側に比べ熱膨張による径方向外方へ変形し難いと考えられる。そして、この状態から焼入れにより冷却がなされると、フランジ部があるために連結部は径方向内方に変形し難いが、フランジ部がない第１突出部および第２突出部の先端部側は径方向内方に大きく変形する。そのため、従来の製造方法では、ＯＢＤテーパーが大きい状態に歪んだ形状の鋼製歯車が得られるものと考えられる。

[0019] これに対し、外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さを、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等になるよう調整した場合には、次のようなメカニズムが考えられる。すなわち、高周波誘導加熱時に上記加熱深さの調整を行うと、加熱深さを均一に調整した場合に比べて、第１突出部の先端部側と第２突出部の先端部側とが径方向外方へ同等程度だけ大きく変形すると考えられる。そして、この状態から焼入により冷却がなされると、第１突出部の先端部側および第２突出部の先端部側は、高周波誘導加熱時と同等程度だけ径方向内方へ変形すると考えられる。これにより最終的にはＯＢＤテーパーが小さな形状の鋼製歯車が得られるものと考えられる。

[0020] また、上記製造方法によれば、浸炭層を含み外周面の歯形の歯底から内方に向かう深さが浸炭層の深さよりも深い領域についても部分的に高周波焼入れされるので、内部の硬度が増加する。そのため、高い寸法精度が要求され、かつ、歯形の表層だけでなくその内部まで応力が掛かるディファレンシャルギヤのような高トルク伝達歯車等に好適な、高寸法精度かつ高強度を有する鋼製歯車を得ることができる。また、従来のガス浸炭処理後に油焼入れする「浸炭油焼入れ処理」による同形状の鋼製歯車に比べ、ショットピーニング処理を施さなくとも、同等程度の高強度化を図ることができる。

[0021] また、上記製造方法は、従来の「浸炭油焼入れ処理」に比較して、火炎や油を使わずに済み、熱処理時間も短縮することができる。そのため、CO_2排

出量の低減を図ることができ、地球環境にも優しい。また、熱処理ライン長を短くできる。そのため、コンパクトな鋼製歯車の製造ラインを構築することができる。

[0022] 以上のように、従来よりも高い寸法精度を有する鋼製歯車を提供することができる。また、従来よりも高い寸法精度を有する鋼製歯車を得ることが可能な製造方法を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]実施例１に係る鋼製歯車（ディファレンシャルギヤ）を示す説明図であり、（ａ）は平面図、（ｂ）はＡ－Ａ断面図である。

[図2]実施例１に係る鋼製歯車の外周リング部を示す説明図であり、（ａ）は歯底に沿った切断面を模式的に示した断面図、（ｂ）はＢ－Ｂ断面の一部を模式的に示した断面図である。

[図3]（ａ）は実施例１に係る鋼製歯車の製造方法におけるヒートパターンの一例を示す説明図、（ｂ）は従来の浸炭油焼入れによる鋼製歯車の製造方法におけるヒートパターンの一例を示す説明図である。

[図4]実施例１に係る鋼製歯車の製造方法における高周波誘導加熱時の状況を示す説明図である。

[図5]実施例における、Ｔ／Ｗ（％）とＯＢＤ変化量との関係を示す説明図である。

[図6]比較例１に係る鋼製歯車の製造方法における高周波誘導加熱時の状況を示す説明図である。

[図7]実施例１、比較例１に係る鋼製歯車の製造方法における各工程後の鋼製歯車材、実施例１、比較例１に係る鋼製歯車の歪発生状況を示す説明図である。

[図8]比較例１に係る鋼製歯車の製造方法において、ＯＢＤテーパーが大きな形状の鋼製歯車が得られる推定メカニズムを示す説明図であり、（ａ）は浸炭工程前の状態、（ｂ）は焼入れ工程における高周波誘導加熱時の状態、（ｃ）は焼入れ工程における冷却後の状態を示したものである。

[図9]実施例１に係る鋼製歯車の製造方法において、ＯＢＤテーパーが小さな形状の鋼製歯車が得られる推定メカニズムを示す説明図であり、（ａ）は浸炭工程前の状態、（ｂ）は焼入れ工程における高周波誘導加熱時の状態、（ｃ）は焼入れ工程における冷却後の状態を示したものである。

[図10]実施例１に係る鋼製歯車の切断面の写真および金属組織の写真であり、（ａ）は浸炭層、（ｂ）は熱履歴層、（ｃ）は熱履歴層よりも内部における金属組織の写真である。

[図11]実施例１に係る鋼製歯車の硬度分布を示す説明図である。

発明を実施するための形態

[0024] 上記鋼製歯車において、外周リング部の第１突出部の軸方向長さと第２突出部の軸方向長さとは略同等に形成されている。ここで、上記「第１突出部の軸方向長さ」とは、外周リング部の内周面に連結するフランジ部の第１突出部側の連結位置から第１突出部の先端部までの距離をいう。また、上記「第２突出部の軸方向長さ」とは、外周リング部の内周面に連結するフランジ部の第２突出部側の連結位置から第２突出部の先端部までの距離をいう。なお、上記「軸方向の長さが略同等」とは、第１突出部および第２突出部の軸方向長さが完全に同一である場合だけではなく、歯車設計上は各軸方向長さが同じ長さとされているが、製造上のバラつきなどによって各軸方向長さがわずかに異なる場合、つまり、実質的に同じ長さであるとみなせる場合も含む意味である。

[0025] 上記鋼製歯車を構成する鋼材の基本化学成分は、好ましくは、Ｃ含有量が０．１～０．４質量％の範囲内、より好ましくは、０．１５～０．２５質量％の範囲内であるとよい。上記「基本化学成分」とは、浸炭処理によって表層の炭素濃度が増える前の母材、つまり鋼そのものの基本的な化学成分を意味する。Ｃ含有量の下限が０．１５質量％以上であると、歯車内部の強度を確保しやすくなる。一方、Ｃ含有量の上限が０．２５質量％以下であると、鋼製歯車の靭性、切削性を良好な範囲にしやすくなる。他の化学成分については、浸炭に最適な成分を種々選択すればよい。

[0026] 上記鋼製歯車を構成する母材としての鋼材は、具体的には、ＳＣＭ４２０（ＪＩＳ）や、Ｃ含有量が上記範囲内にある各種の公知の浸炭用鋼などを例示することができる。

[0027] 上記外周リング部の浸炭層は、例えば、外周面に形成された歯形の輪郭に沿って存在させることができる。浸炭層は、後述する高周波誘導加熱の後に焼入れされ、母材よりも高い硬度を有している。浸炭層の炭素濃度は、鋼製歯車を構成する鋼材の母材の炭素濃度よりも高くなっている。浸炭層の炭素濃度は、ディファレンシャルギヤ等の自動車部品として望ましい表面硬度を得る、耐摩耗性、ピッチング強度などの観点から、好ましくは、０．５０～０．９０％、より好ましくは、０．５０～０．７０％であるとよい。

[0028] 上記外周リング部の熱履歴層は、浸炭層を含み、外周面から内方に向かう深さが浸炭層の深さよりも深い領域に存在する層である。上記熱履歴層は、外周面に形成された歯形の歯の部分については、歯の表面に形成された浸炭層を含み、歯先から歯底円までの間の領域に存在していてもよいし、さらに歯底円よりも径方向内方の領域に存在していてもよい。一方、上記熱履歴層は、外周面に形成された歯形の歯と歯の間である歯溝の部分については、歯底の表面に形成された浸炭層を含み、歯底から内方に向かう深さが浸炭層の深さよりも深い領域に存在している。

[0029] 上記熱履歴層は、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する層である。したがって、この熱履歴層よりも内部の領域であって高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱されていない領域とは、金属組織が異なっている。そのため、歯底に沿って切断した場合、簡易には切断面における金属組織の違いに起因する色の付き方から、詳細には切断面における金属組織観察から、歯底よりも内側に存在する熱履歴層と熱履歴層より内部の領域とを区別することが可能である。同様に、軸方向と垂直な方向に歯を切断すれば、歯先から歯底までの間に存在する熱履歴層や、さらには歯底よりも内部に存在しうる熱履歴層を確認することが可能である。

[0030] ここで、上記鋼製歯車は、外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記熱履歴層の深さが、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等にされている。つまり、上記鋼製歯車の歯底に沿って切断し、その切断面を確認した場合、上記鋼製歯車は、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が熱履歴層の深さが深いという深さ分布を有している。そして、この深さ分布において、第１突出部側と第２突出部側の両方に熱履歴層の深さのピークが存在しており、２つの深さピークが略同等の大きさになっている。

[0031] ここで、上記鋼製歯車は、外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記熱履歴層の深さをＴ、外周面の歯形の歯底から内周面までの距離をＷとした場合、フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも第１突出部におけるＴ／Ｗおよび第２突出部におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部におけるＴ／Ｗと第２突出部におけるＴ／Ｗとは略同等であることが好ましい。

[0032] この場合には、外周面の歯形の歯底から内周面までの距離を考慮して、第１突出部および第２突出部における熱履歴層の深さが調整されている。そのため、この鋼製歯車は、外周リング部のＯＢＤテーパーが小さく、高い寸法精度を有する。さらに、浸炭層だけでなく、浸炭層より内部も高硬度化されているので、高い強度を有する。

[0033] この場合も上記と同様に、上記鋼製歯車は、フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも第１突出部におけるＴ／Ｗおよび第２突出部におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部におけるＴ／Ｗと第２突出部におけるＴ／Ｗとは略同等の大きさである深さ分布とすることができる。つまり、この深さ分布において、第１突出部側と第２突出部側の両方にＴ／Ｗのピークを存在させ、２つの深さピークを略同等の大きさとすることができる。

[0034] なお、上述の熱履歴層に関して「深さやＴ／Ｗが略同等」とは、第１突出部と第２突出部における熱履歴層の深さやＴ／Ｗが完全に一致している場合だけではなく、製造上のバラつきなどによって第１突出部と第２突出部における熱履歴層の深さやＴ／Ｗが多少異なっているが、本発明と同じ効果が得

られ、実質的に同じ深さ、同じ大きさのＴ／Ｗであるとみなせる場合も含む意味である。後述する高周波誘導加熱に関して「加熱深さやＴ／Ｗが略同等」という場合も同様である。

[0035] 寸法精度の向上効果と内部硬度の上昇による高強度化とのバランスなどの観点から、第１突出部および第２突出部におけるＴ／Ｗは、好ましくは、３０～６０％、より好ましくは、３５～５５％、さらに好ましくは、４０～５０％の範囲内にあるとよい。一方、フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗは、好ましくは、１０～３５％、より好ましくは、１５～３０％の範囲内にあるとよい。なお、第１突出部および第２突出部におけるＴ／Ｗとフランジ部との連結部におけるＴ／Ｗとを重複する範囲から選択する場合には、フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも第１突出部および第２突出部におけるＴ／Ｗが大きくなるように選択することになる。

[0036] また、上記鋼製歯車において、外周リング部は、浸炭層がマルテンサイト組織からなり、熱履歴層のうち浸炭層を除いた部分がフェライト・マルテンサイト組織からなり、熱履歴層より内部がフェライト・パーライト組織からなることが好ましい。

[0037] この場合には、寸法精度と強度とのバランスに優れる。そのため、高い寸法精度が要求され、かつ、歯形の表層だけでなくその内部まで応力が掛かるディファレンシャルギヤのような高トルク伝達歯車等として好適に用いることができる。

[0038] 次に、上記鋼製歯車の製造方法における各工程は、以下のようにすることが好ましい。

すなわち、上記浸炭工程は、具体的には、大気圧よりも低く減圧した減圧下の浸炭ガス中において行うことが有効である。この場合には、高温の浸炭炉の内部を減圧状態に維持しながら比較的少量の浸炭ガスによって浸炭処理を行うことができるので、従来よりも効率よく浸炭処理を行うことができる。また、従来の大型の熱処理炉を用いた長時間の加熱処理が不要となるので、処理時間の短縮および消費エネルギーの低減、さらには、浸炭焼入れ設備

そのものの小型化を図ることができる。

[0039] また、上記浸炭工程は、１～１００ｈＰａの減圧条件下において行うことが好ましい。浸炭時の減圧が１ｈＰａ以上の場合には真空度維持のために高価な設備を不要にできるという利点がある。一方、１００ｈＰａ以下の場合には浸炭中にススが発生し難く、浸炭濃度ムラが生じ難いという利点がある。上記浸炭ガスとしては、例えば、アセチレン、プロパン、ブタン、メタン、エチレン、エタン等の炭化水素系のガスを適用することができる。

[0040] また、上記浸炭工程は、浸炭処理後における上記鋼製歯車材の歯面の表面炭素濃度が０．５０％～０．７０％の範囲となる条件で行うことが好ましい。この場合には、浸炭層を共析鋼以下の炭素量とすることとなり、焼入れ時の加熱により、オーステナイト変態させ、その後の急冷にて、セメンタイトを析出させずにマルテンサイト組織としやすくなる。

[0041] また、上記冷却工程は、少なくとも上記鋼製歯車材が冷却中にマルテンサイト変態する冷却速度よりも遅い徐冷条件で行う。これにより、マルテンサイト変態に伴う歪みの発生を抑制することができ、形状精度に優れた状態で浸炭処理を終えることができる。

[0042] より具体的には、上記冷却工程は、少なくとも上記鋼製歯車材の温度がＡ１変態点温度以上にある間の冷却速度が０．１℃／秒～３．０℃／秒となる徐冷条件で行うことが好ましい。上記冷却速度が３．０℃／秒以下である場合には、冷却時の歪み発生抑制効果を十分に得やすくなる。一方、上記冷却工程の冷却速度が０．１℃／秒以上である場合には、Ａ１変態点温度へ到達するまでの時間が長時間となり難い。そのため、浸炭した炭素の鋼中における拡散スピードにバラツキが生じ難く、結果的に炭素濃度のバラツキを抑制しやすくなる。

[0043] また、上記冷却工程は、冷却ガス中において、該冷却ガスを大気圧よりも低く減圧した状態で行うことが好ましい。これにより、冷却時の歪み発生をよりいっそう抑制することができる。

[0044] このような冷却ガスの減圧による効果を利用した冷却工程を採用した場合

には、鋼製歯車材の歪み発生を抑制した状態で次の焼き入れ工程に進めることができる。この効果は、冷却速度を遅くした徐冷を採用し、減圧徐冷とした場合に最も高くなる。そして、これに加え、上述した高周波誘導加熱を利用した焼入れ工程によるメリットも活かせば、焼入れ後の鋼製歯車の寸法精度を歪みの少ない高精度のものとしやすくなる。

[0045] また、上記浸炭工程において減圧浸炭を採用し、冷却工程において減圧冷却を採用し、これらを連続で行うようにした場合には、実際の設備では、減圧浸炭室と減圧冷却室とを直接繋ぐことができる。そのため、両室の間に減圧度を調整するような予備室等を設ける必要がない。すなわち、この場合には、浸炭工程と冷却工程とが両方とも減圧状態で行われるので、両工程間の圧力差を小さくすることができる。そのため、減圧浸炭処理を終えた鋼製歯車材を常圧状態にさらすことなく減圧冷却処理することができ、歪み発生を抑制した効率のよい処理が可能となる。

[0046] また、上記冷却工程の冷却ガスの減圧条件は、より具体的には、１００ｈＰａ～６５０ｈＰａであることが好ましい。上記の減圧冷却処理は、この場合の圧力が１００～６５０ｈＰａの範囲よりも高い場合には、減圧による効果が十分に得られない場合があり、一方、この範囲よりも低くすることは設備構成上困難となるおそれがある。そのため、より好ましくは、上記冷却ガスの減圧状態は、１００ｈＰａ～３００ｈＰａの範囲とするのがよい。

[0047] また、上記焼入れ工程では、鋼のオーステナイト化温度としては比較的低い範囲の温度（例えば７５０℃～９５０℃）を選択し、高周波誘導加熱時の投入エネルギーも比較的小さくして、加熱時間を比較的長い時間とすることが好ましい。具体的には、上記加熱時間の下限は、好ましくは、１０秒、より好ましくは、１５秒、さらに好ましくは、２０秒であるとよい。生産性などを考慮すると、上記加熱時間の上限は、好ましくは、３５秒、より好ましくは、３０秒、さらに好ましくは、２５秒であるとよい。

[0048] このように加熱時間を比較的長い時間とした場合には、伝熱によって表面から深さ１ｍｍ以上の深い部分まで加熱しやすい。つまり、高周波誘導加熱

の条件をこのような低温長時間加熱とした場合には、浸炭層の領域だけでなく、その内部奥深くまで加熱が可能になる。この際、外周リング部のおける内周面の略中央位置にはフランジ部が存在しているため、外周リング部のフランジ部との連結部では熱が奪われる。一方、外周リング部の第１突出部および第２突出部では、フランジ部により熱が奪われ難いので、連結部に比べてより内部奥深くまで加熱しやすくなる。したがって、加熱時間を上記範囲とした場合には、高周波誘導加熱による加熱深さを、フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部の方が深く、かつ、第１突出部と第２突出部とにおいて略同等になるよう調整しやすくなる。

[0049] また、上記焼入れ工程では、外周面の歯形の歯底から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さをＴ、外周面の歯形の歯底から内周面までの距離をＷとした場合、高周波誘導加熱による加熱深さの調整を、フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも第１突出部におけるＴ／Ｗおよび第２突出部におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部におけるＴ／Ｗと第２突出部におけるＴ／Ｗとが略同等になるよう調整することが好ましい。

[0050] この場合には、外周面の歯形の歯底から内周面までの距離を考慮して、第１突出部、第２突出部および連結部における上記高周波誘導加熱による加熱深さを調整することができる。そのため、外周リング部のＯＢＤテーパーが小さく、高い寸法精度を有する鋼製歯車が得られる。さらに、浸炭層だけでなく、浸炭層より内部も高硬度化することができるので、高い強度を有する鋼製歯車が得られる。なお、高周波誘導加熱手段には、公知のものを適用することができる。

[0051] 第１突出部、第２突出部および連結部における高周波誘導加熱による加熱深さを、上記のように調整する方法は、特に限定されるものではない。具体的な調整方法としては、例えば、高周波誘導加熱による加熱時間や投入するエネルギーを可変させたり、高周波誘導加熱手段のコイルの内径と歯車の歯先大径とのクリアランスを可変させたり、コイルの軸方向の幅を可変させたり、コイルの巻き数を調整し、連結部よりも第１突出部および第２突出部の

方がより加熱されるように設定したり、高周波誘導加熱時にフランジ部を冷却して連結部だけを優先的に冷却したりするなどの方法を例示することができる。

[0052] また、上記高周波誘導加熱時には、第１突出部の先端部および第２突出部の先端部を治具により把持することが好ましい。上記の各先端部は、高周波誘導加熱時に過度に加熱されやすい箇所である。そのため、これら各先端部を治具にて把持すれば、治具により各先端部が抜熱されるので、各先端部が溶融するのを回避しやすくなる。フランジ部との連結部よりも第１突出部および第２突出部において高周波誘導加熱による加熱深さを深く調整する必要のある上記製造方法では、特に有効である。

[0053] また、上記高周波誘導加熱後における鋼製歯車材の冷却は、水冷により行うことが好ましい。すなわち、高周波誘導加熱を利用すれば、鋼製歯車材の全体ではなく歯形面側の加熱を精度よく行うことができる。そのため、その後、非常に冷却効果の高い水を用いて水焼入れしても、従来の「浸炭油焼入れ処理」を施す場合に比べて焼入れ歪みの発生を抑制しやすい。そして、水冷による優れた急冷効果によって、焼入れ特性を高くすることができ、焼入れ部分のさらなる高強度化を図ることができる。また、この高強度化を利用して、浸炭処理の簡易化（処理時間の短縮）、つまり、浸炭層の薄肉化をしても要求強度を具備することができる場合があり、この場合には熱処理工程全体のさらなる時間短縮を図ることも可能である。

[0054] また、上記高周波誘導加熱による加熱は、上記鋼製歯車材を１個流しで処理し、加熱後の冷却時には、鋼製歯車材を回転させながら、周囲から冷却水を鋼製歯車材に向かって噴射して冷却することが好ましい。この場合には、冷却時に均一に冷やすことができ、さらに歪みの発生を抑えることができる。

実施例

[0055] 以下、実施例に係る鋼製歯車およびその製造方法につき、図面を用いて具体的に説明する。なお、本例の鋼製歯車は、ディファレンシャルギヤに適用

したものである。また、符号は、適宜使用する。

[0056] 先ず、実施例１に係る鋼製歯車の概略構成を説明する。図１に示すように、鋼製歯車１は、外周面２０ａに歯形１０が形成された略円筒状の外周リング部２と、外周リング部２の内周面２０ｂから径方向内方に延設されたフランジ部３とを有している。外周リング部２は、フランジ部３との連結部Ｌよりも軸方向一方側に突出する第１突出部２１と、フランジ部３との連結部Ｌよりも軸方向他方側に突出する第２突出部２２とを備えている。そして、第１突出部２１の軸方向長さと第２突出部２２の軸方向長さとは略同等に設けられている。本例では、外周リング部２の外周面２０ａの歯形１０を、はすば形状とした。なお、歯形１０は、図２（ｂ）に示すように、複数の歯１０１から構成される。歯１０１の先端が歯先１０２である。歯１０１と歯１０１との間が歯溝１０３である。歯溝１０３の底部が歯底１０４である。各歯底１０４を結んだ円が歯底円である。

[0057] 図２（ａ）（ｂ）に拡大して示すように、外周リング部２には、浸炭層４と熱履歴層５とが形成されている。浸炭層４は、歯形１０の表層に歯形１０の輪郭に沿って形成されている。また、熱履歴層５は、浸炭層４を含み、外周面２０ａから内方に向かう深さＴが浸炭層４の深さよりも深い領域に存在する層である。また、熱履歴層５は、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する層である。

[0058] 本例の鋼製歯車１では、図２（ａ）に示すように、熱履歴層５は、歯底１０４よりも径方向内方については、歯底１０４の表層に形成された浸炭層４を含み、かつ、歯底１０４から内方に向かう深さＴが浸炭層４の深さよりも深い領域に存在している。一方、図２（ｂ）に示すように、熱履歴層５は、歯形１０の歯１０１の部分については、歯１０１の表層に形成された浸炭層４を含み、かつ、歯先１０２からほぼ歯底円近傍までにわたる領域に存在している。

[0059] また、本例の鋼製歯車１では、図２（ａ）に示すように、歯形１０の歯底１０４から内方に向かう熱履歴層５の深さＴが、フランジ部３との連結部Ｌ

よりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深く、かつ、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等とされている。より具体的には、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内方に向かう熱履歴層５の深さをＴ、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内周面２０ｂまでの距離をＷとした場合、フランジ部３との連結部Ｌにおける Ｔ／Ｗよりも第１突出部２１における Ｔ／Ｗおよび第２突出部２２における Ｔ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部２１における Ｔ／Ｗと第２突出部２２における Ｔ／Ｗとは略同等の大きさとされている。つまり、鋼製歯車１は、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が熱履歴層５の深さが深いという深さ分布を有している。そして、この深さ分布において、第１突出部２１側と第２突出部２２側の両方に熱履歴層５の深さのピークが存在しており、２つの深さピークが略同等の大きさになっている。

[0060] 次に、実施例１に係る鋼製歯車の製造方法と、この製造方法により得られた実施例１に係る鋼製歯車についての評価結果について説明する。

[0061] 初めに、浸炭に適したＳＣＭ４２０（ＪＩＳ）を素材として用い、熱間鍛造によって図１に示した形状を有する鋼製歯車材を準備した。鋼製歯車材の第１突出部２１の軸方向長さ（フランジ部３の第１突出部２１側の連結位置Ｌ１から第１突出部２１の先端部までの距離）は、１１ｍｍ、第２突出部２２の軸方向長さ（フランジ部３の第２突出部２２側の連結位置Ｌ２から第２突出部２２の先端部までの距離）は、１１ｍｍの設定とした。フランジ部３の肉厚は、８ｍｍの設定とした。なお、フランジ部３は、ボルト等の締結部材を挿通するための挿通孔３１を周方向に複数有している。また、本例では、鋼製歯車材の外周リング部２における上記Ｗの値は、軸方向全長において一定の８．８８ｍｍの設定とした。

[0062] 次いで、上記準備した鋼製歯車材に対して「浸炭・徐冷・高周波焼入れ処理」を行った。以下、具体的に説明する。

[0063] 図３は、横軸に時間を、縦軸に温度を取り、熱処理中における鋼製歯車材の温度をヒートパターンとして示したものである。実施例１に係る鋼製歯車

の製造方法は、図３（ａ）のヒートパターンＡに示すように、浸炭温度である９５０℃まで７０分かけて加熱し、その温度で８０分間保持して浸炭工程ａ１を行った後、この浸炭工程ａ１に引き続いて、４０分かけて１５０℃以下の温度まで徐冷する冷却工程ａ２を行い、その後、再度焼入れ温度である９５０℃まで高周波誘導加熱により急速加熱した後に水焼入れする焼入れ工程ａ３を行うというものである。

[0064] 実施例１に係る鋼製歯車の製造方法は、浸炭工程ａ１の前に鋼製歯車材を洗浄するための前洗槽と、加熱室、減圧浸炭室、および減圧冷却室を備えた減圧浸炭徐冷装置と、高周波焼入れ装置と、欠陥を検査するための磁気探傷装置とを備えた熱処理設備を用いて行った。

[0065] なお、従来広く知られる鋼製歯車の製造方法は、例えば、図３（ｂ）のヒートパターンＢに示すように、浸炭温度である９５０℃まで７０分かけて加熱し、その温度で２２０分間保持する浸炭工程ｂ１を行い、その後、焼入れ温度である８５０℃に保持した後、油焼入れする工程ｂ２を行い、さらに、油焼入れ時に付着した冷却油を洗い落とす後洗工程ｂ３と焼き戻し工程ｂ４を行うといったものである。

[0066] 図３（ｂ）のヒートパターンＢを有する従来の鋼製歯車の製造方法は、浸炭工程ｂ１の前に鋼製歯車材を洗浄するための前洗槽と、加熱・浸炭を行うための浸炭炉および焼入れ油槽とを備えた長大な浸炭炉と、浸炭油焼入れ後に鋼製歯車材を洗浄するための後洗槽と、焼戻し処理を行う焼戻し炉とを備えた熱処理設備を用いて行われる。したがって、この「浸炭油焼入れ処理」による従来の鋼製歯車の製造方法に比較して、実施例１の鋼製歯車の製造方法は、火炎や油を使わず、熱処理時間も短縮することができる点で、CO_2排出量の低減でき、地球環境にも優しいといえる。また、熱処理ライン長を短くできるため、コンパクトな鋼製歯車の製造ラインを構築することができるといえる。

[0067] 実施例１に係る鋼製歯車の製造方法は、上記熱処理設備を用いて以下のように行った。すなわち、本例の製造方法では、具体的には、図３（ａ）のヒ

ートパターンＡに示すように、大気圧よりも低く減圧した減圧下の浸炭ガス中において準備した鋼製歯車材を浸炭処理する浸炭工程ａ１と、この浸炭工程ａ１に引き続き、鋼製歯車材を冷却ガス中において冷却するに当たり、冷却ガスを大気圧よりも低く減圧した状態で冷却する冷却工程ａ２と、冷却された鋼製歯車材を再度高周波誘導加熱によって加熱した後に水焼入れする焼入れ工程ａ３とを行った。

[0068] 上記浸炭工程ａ１は、浸炭期および拡散期からなる浸炭処理として鋼製歯車材をオーステナイト化温度以上の温度である９５０℃で８０分間保持することによって行った。この際の減圧浸炭室の減圧条件は、１～３．５ｈＰａとし、浸炭ガスとしてはアセチレンを用いた。

[0069] 上記冷却工程ａ２における冷却には減圧徐冷を採用した。この際の減圧条件は６００ｈＰａとした。また、冷却雰囲気ガスは窒素（N_2）とした。また、鋼製歯車材の冷却速度は、浸炭処理直後のオーステナイト化温度以上の温度からＡ１変態点よりも低い１５０℃の温度となるまで、０．１～３．０℃／秒の範囲内とした。

[0070] 上記焼入れ工程ａ３は、図３（ａ）に示すように、鋼製歯車材における外周リング部２の歯形面側を高周波誘導加熱によってオーステナイト化温度以上の温度に加熱する昇温手順ａ３１と、その後、浸炭層４においてマルテンサイト変態する急冷臨界冷却速度以上の冷却速度が容易に得られるように、水を噴射して水焼入れする急冷手順ａ３２とを含んでいる。

[0071] また、昇温手順ａ３１は、高周波誘導加熱におけるエネルギー投入量を約１８００ｋＪとするとともに、比較的長時間の２５秒かけて行った。一方、急冷手順ａ３２は、１４秒で行い、その冷却速度は、５０～６０℃／秒とした。

[0072] この際、外周リング部２における歯形面側の加熱は、図４に示すように、外周リング部２の第１突出部２１の先端部と第２突出部２２の先端部とを治具９ａ、９ｂにて把持しつつ行った。この治具９ａ、９ｂによって各先端部の熱を奪うことにより、各先端部の過熱による溶融を簡易に回避することが

できる。また、高周波誘導加熱手段のコイル８は、鋼製歯車材の軸方向の幅が同じものを用い、歯形１０が形成された外周面２０ａと離間させた状態で対向させた。上記離間距離は２ｍｍとした。

[0073] 上記高周波誘導加熱時の冷却により、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さＴを、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深く、かつ、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等になるよう調整した。より具体的には、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さをＴ、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内周面２０ｂまでの距離をＷとした場合、高周波誘導加熱による加熱深さの調整を、フランジ部３との連結部ＬにおけるＴ／Ｗよりも第１突出部２１におけるＴ／Ｗおよび第２突出部２２におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部２１におけるＴ／Ｗと第２突出部２２におけるＴ／Ｗとが略同等になるよう調整した。このようにして実施例１に係る鋼製歯車１の製造を行い、実施例１に係る鋼製歯車１を得た。

[0074] ここで、上記焼入れ工程ａ３において、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さＴを、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深く、かつ、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等になるよう調整したのは、次の試験結果に基づくものである。すなわち、図５は、高周波誘導加熱時における加熱条件を種々変更することによってＴ／Ｗ（％）を種々の割合に調整した場合における、外周リング部２の所定位置のＯＢＤ変化量（μｍ）をプロットしたものである。

[0075] 外周リング部２の所定位置は、図２（ａ）に示すように、第１突出部２１の先端部からフランジ部３側に３ｍｍ内側の位置（以下、Ｆｒ位置という。）、外周リング部２の軸方向の中央（歯幅の中点であり、フランジ部３との連結部Ｌ）の位置（以下、Ｍｉｄ位置という。）、第２突出部２２の先端部からフランジ部３側に３ｍｍ内側の位置（以下、Ｒｒ位置という。）とした

。また、上記ＯＢＤ変化量は、焼入れ工程ａ３後の鋼製歯車１の各所定位置におけるＯＢＤ値と、冷却工程ａ２後の鋼製歯車材の各所定位置におけるＯＢＤ値との差より求めた。なお、上記ＯＢＤ値は、図１に示すように、互いに向かいあった２つの歯溝にボールＯＢ１、ＯＢ２を入れ、各位置における外周寸法を専用のＯＢＤ測定器を用いて全周について測定し、その結果得られた各測定値の平均値である。

[0076] この図５からわかるように、Ｔ／Ｗ（％）とＯＢＤ変化量（μｍ）との関係には、相関関係があることがわかる。また、Ｆｒ位置およびＲｒ位置におけるＯＢＤ変化量とＭｉｄ位置におけるＯＢＤ変化量とを同等程度とするには、Ｍｉｄ位置におけるＴ／Ｗよりも Ｆｒ位置およびＲｒ位置におけるＴ／Ｗを大きくするとよいことがわかる。また、Ｆｒ位置およびＲｒ位置におけるＯＢＤ変化量を同等程度とするには、Ｆｒ位置およびＲｒ位置におけるＴ／Ｗを同等程度とするとよいことがわかる。つまり、この試験結果から、高周波誘導加熱による加熱深さの調整を、フランジ部３との連結部Ｌにおける Ｔ／Ｗよりも第１突出部２１におけるＴ／Ｗおよび第２突出部２２における Ｔ／Ｗの方が大きく、かつ、第１突出部２１におけるＴ／Ｗと第２突出部２２におけるＴ／Ｗとが略同等になるよう調整することにより、ＯＢＤテーパーの小さな鋼製歯車１が得られることがわかる。また、ＯＢＤ変化量を一定値（例えば、図の横線）とするには、第１突出部２１および第２突出部２２におけるＴ／Ｗは、好ましくは、３０～６０％、より好ましくは、３５～５５％、さらに好ましくは、４０～５０％の範囲内に調整するとよいことがわかる。一方、フランジ部３との連結部Ｌにおける Ｔ／Ｗは、好ましくは、１０～３５％、より好ましくは、１５～３０％の範囲内に調整するとよいことがわかる。

[0077] また、上述した実施例１に係る鋼製歯車１の製造方法の比較例として、図６に示すように、外周面２０ａの歯形１０の歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さＴを、外周リング部２の軸方向全域にわたってほぼ等しくなるように調整した以外は同様にして、比較例１に係る鋼製歯車

の製造を行い、比較例１に係る鋼製歯車を得た。なお、この際の加熱深さＴの調整は、本例の製造方法における昇温手順ａ３１において、高周波誘導加熱におけるエネルギー投入量を約１４００ｋＪ、加熱時間を１３秒とした点以外は同様にして調整を行った。

[0078] 次に、実施例１、比較例１に係る鋼製歯車の製造方法における各工程を経た後の鋼製歯車材、これら製造方法によって得られた実施例１、比較例１に係る鋼製歯車についての歪発生状況を調べた。その結果を図７に示す。なお、図７のＯＢＤ値は、上述した方法で測定した値である。ＯＢＤテーパーは、Ｍｉｄ位置のＯＢＤ値と、Ｆｒ位置のＯＢＤ値およびＲｒ位置のＯＢＤ値のうち大きい方との差の絶対値である。また、図７の各欄に示した表記において、Ｆｒ位置、Ｍｉｄ位置、Ｒｒ位置の３か所についてそれぞれ最大値、最小値、平均値がプロットされ、最大値と最小値とが線で結ばれている。また、３か所の位置の各平均値の間が線で結ばれている。

[0079] 図７からわかるように、比較例１によれば、寸法精度が悪く、ＯＢＤテーパーが大きい状態に歪んだ形状の鋼製歯車しか得られないことがわかる。これに対して、実施例１によれば、高い寸法精度を有し、ＯＢＤテーパーが小さな形状の鋼製歯車が得られることがわかる。この理由は、以下によるものと推察される。

[0080] 図８に示す比較例１のように、歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さＴを、外周リング部２の軸方向全域にわたって均一な深さとなるように調整した場合には、次のようなメカニズムが考えられる。すなわち、外周リング部２におけるフランジ部３との連結部Ｌは、フランジ部３による拘束力が大きい。一方、第１突出部２１および第２突出部２２の先端部は、フランジ部３から離れているために連結部Ｌに比べてフランジ部３による拘束力が小さい。そのため、高周波誘導加熱時に、第１突出部２１および第２突出部２２の先端部側は、熱膨張により径方向外方へ同等程度だけ少し変形する一方（矢印Ｒ）、連結部Ｌは、上記先端部側に比べ熱膨張による径方向外方への変形し難いと考えられる。そして、この状態から焼入れによ

り冷却がなされると、フランジ部３があるために連結部Ｌは径方向内方に変形し難いが、フランジ部３がない第１突出部２１および第２突出部２２の先端部側は径方向内方に大きく変形する（矢印ｒ）。そのため、比較例１では、ＯＢＤテーパーが大きい状態に歪んだ形状の鋼製歯車が得られたものと考えられる。

[0081] これに対し、図９に示す実施例１のように、歯底１０４から内方に向かう高周波誘導加熱による加熱深さＴを、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深く、かつ、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等になるよう調整した場合には、次のようなメカニズムが考えられる。すなわち、高周波誘導加熱時に上記加熱深さＴの調整を行うと、加熱深さＴを均一に調整した場合に比べて、第１突出部２１の先端部側と第２突出部２２の先端部側とが径方向外方へ同等程度だけ大きく変形すると考えられる（矢印Ｒ１）。そして、この状態から焼入れにより冷却がなされると、第１突出部２１の先端部側および第２突出部２２の先端部側は、高周波誘導加熱時と同等程度だけ径方向内方へ変形すると考えられる（矢印ｒ１）。これにより最終的にはＯＢＤテーパーが小さな形状の鋼製歯車が得られるものと考えられる。

[0082] 次に、実施例１に係る鋼製歯車について、歯形１０の歯底１０４に沿って切断し、その切断面の金属組織観察を行った。具体的には、上記切断面を硝酸３～５％のアルコール溶液で腐食し、光学顕微鏡にて観察を行った。図１０に、実施例１に係る鋼製歯車の切断面の写真とともに金属組織の写真を示す。図１０に示すように、上記切断面によれば、歯底１０４の表層に浸炭層４が形成されていることが確認できる。図１０（ａ）に示すように、浸炭層４は、マルテンサイト組織を主体とする層であった。

[0083] また、上記切断面によれば、浸炭層４を含み、外周リング部２の外周面２０ａ（この場合、歯底１０４）から内方に向かう深さが浸炭層４よりも深い部分に、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深さの深い層が存在することがわかる。そしてこの層は、第１突

出部２１および第２突出部２２における軸方向の略中央部に略同等の深さの深さピークを有していることが確認できる。また、この層は、この層よりも内部と色の付き方が異なっており、境界線が存在していることも確認できる。外周リング部２の外周面２０ａから上記境界線までの間の領域であって浸炭層４以外の領域について、金属組織を確認したところ、図１０（ｂ）に示すように、フェライト組織とマルテンサイト組織とを主体とすることが確認された。本例では、この層が熱履歴層５に該当する。なお、Ｆｒ位置における熱履歴層５の深さは約５．３ｍｍ、Ｍｉｄ位置における熱履歴層５の深さは約３．４ｍｍ、Ｒｒ位置における熱履歴層５の深さは約５．３ｍｍであった。

[0084] また、図１０（ｃ）に示すように、熱履歴層５よりも内部は、フェライト組織とパーライト組織とを主体とすることがわかった。上記結果から、熱履歴層５は、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する層であり、この熱履歴層よりも内部は、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱されていない層であるといえる。上記のように境界線を確認することができるのは、境界線の外方と内方において金属組織、結晶粒度等が異なるためであると考えられる。また、本例において、熱履歴層５はフェライト組織とマルテンサイト組織とを含んでいる。そのため、熱履歴層５の深さＴ、Ｔ／Ｗの大きさを調整することにより、鋼製歯車１の内部硬度を調整することが可能であることがわかる。なお、外周面２０ａの表面から５０μｍの位置における浸炭層４の表面炭素濃度を、Ｘ線マクロアナライザーにて測定した。上記表面炭素濃度は、０．６％であった。

[0085] 次に、実施例１に係る鋼製歯車の硬度分布を測定した。具体的には、実施例１に係る鋼製歯車の歯底１０４の表面からの距離に対するビッカース硬さ（Ｈｖ、試験荷重０．３ｋｇｆ）を測定した。その結果を図１１に示す。なお、図１１中には、浸炭層４の深さおよびＦｒ位置、Ｍｉｄ位置、Ｒｒ位置における熱履歴層５の深さをそれぞれ矢印により併記した。

[0086] 図１１によれば、浸炭層４の深さまでは、Ｆｒ位置、Ｍｉｄ位置、Ｒｒ位

置における硬さがほぼ同じであり、歯形面に対して均一な表面硬度を付与できていることがわかる。また、熱履歴層５は、浸炭層４より深い内部の領域では、Ｆｒ位置、Ｍｉｄ位置、Ｒｒ位置における硬さに差が生じていることがわかる。具体的には、Ｆｒ位置、Ｒｒ位置における硬さがほぼ同じであり、Ｍｉｄ位置における硬さが低くなっている。これは、高周波誘導加熱による加熱深さを、フランジ部３との連結部Ｌよりも第１突出部２１および第２突出部２２の方が深く、かつ、第１突出部２１と第２突出部２２とにおいて略同等になるよう調整したためである。また、この結果から、熱履歴層５の深さＴ、Ｔ／Ｗの大きさを調整することにより、有効ハダ焼深さを確保しつつ、高周波誘導加熱によって鋼製歯車の寸法精度を調整することが可能であるといえる。

[0087] 以上、実施例について説明したが、本発明は、上記実施例により限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲内で種々の改変が可能なものである。

符号の説明

[0088] １　鋼製歯車

１０　歯形

１０１　歯

１０２　歯先

１０３　歯底

１０４　歯溝

２　外周リング部

２０ａ　外周面

２０ｂ　内周面

２１　第１突出部

２２　第２突出部

Ｌ　連結部

３　フランジ部

4 浸炭層

5 熱履歴層

請求の範囲

［請求項1］ 外周面に歯形が形成された略円筒状の外周リング部と、該外周リング部の内周面から径方向内方に延設されたフランジ部とを有し、

上記外周リング部は、上記フランジ部との連結部よりも軸方向一方側に突出する第１突出部と軸方向他方側に突出する第２突出部とを備えるとともに、上記第１突出部の軸方向長さと上記第２突出部の軸方向長さとが略同等に設けられており、

上記外周リング部には、上記歯形の表層に形成された浸炭層と、該浸炭層を含み上記外周面から内方に向かう深さが上記浸炭層の深さよりも深い領域であって高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱された履歴を有する熱履歴層とが形成されており、

上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記熱履歴層の深さは、上記フランジ部との連結部よりも上記第１突出部および上記第２突出部の方が深く、かつ、上記第１突出部と上記第２突出部とにおいて略同等であることを特徴とする鋼製歯車。

［請求項2］ 請求項１に記載の鋼製歯車において、

上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記熱履歴層の深さをＴ、上記外周面の歯形の歯底から上記内周面までの距離をＷとした場合、

上記フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも上記第１突出部におけるＴ／Ｗおよび上記第２突出部におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、上記第１突出部におけるＴ／Ｗと上記第２突出部におけるＴ／Ｗとは略同等であることを特徴とする鋼製歯車。

［請求項3］ 請求項１または２に記載の鋼製歯車において、

上記外周リング部は、上記浸炭層がマルテンサイト組織からなり、上記熱履歴層のうち上記浸炭層を除いた部分がフェライト・マルテンサイト組織からなり、上記熱履歴層より内部がフェライト・パーライト組織からなることを特徴とする鋼製歯車。

［請求項4］ 外周面に歯形が形成された略円筒状の外周リング部と、該外周リング部の内周面から径方向内方に延設されたフランジ部とを有し、上記外周リング部は、上記フランジ部との連結部よりも軸方向一方側に突出する第１突出部と軸方向他方側に突出する第２突出部とを備えるとともに、上記第１突出部の軸方向長さと上記第２突出部の軸方向長さとが略同等に設けられている鋼製歯車材を準備する準備工程と、

上記鋼製歯車材を減圧下の浸炭ガス中においてオーステナイト化温度以上に加熱し、上記歯形の表層に浸炭層を形成する浸炭工程と、

該浸炭工程に引き続き、マルテンサイト変態する冷却速度よりも遅い冷却速度により上記鋼製歯車材を冷却し、かつ、冷却による組織変態が完了する温度以下まで上記鋼製歯車材を冷却する冷却工程と、

上記鋼製歯車材における上記浸炭層を含み上記外周面から内方に向かう深さが上記浸炭層の深さよりも深い領域を、高周波誘導加熱によりオーステナイトになるまで加熱した後、マルテンサイト変態する冷却速度以上の冷却速度により上記鋼製歯車材を冷却する焼入れ工程とを有し、

該焼入れ工程において、上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記高周波誘導加熱による加熱深さを、上記フランジ部との連結部よりも上記第１突出部および上記第２突出部の方が深く、かつ、上記第１突出部と上記第２突出部とにおいて略同等になるよう調整することを特徴とする鋼製歯車の製造方法。

［請求項5］ 請求項４に記載の鋼製歯車の製造方法において、

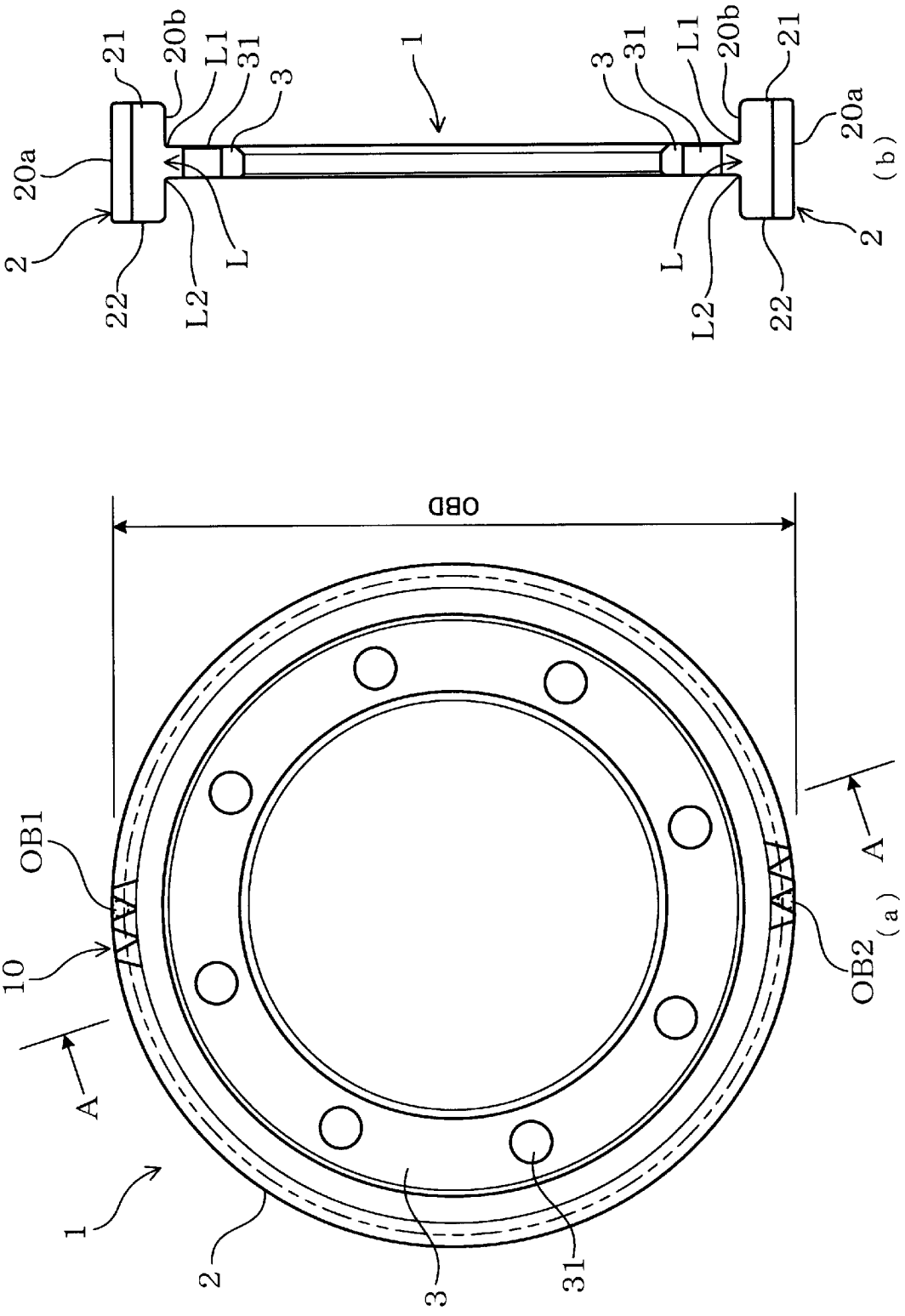
上記外周面の歯形の歯底から内方に向かう上記高周波誘導加熱による加熱深さをＴ、上記外周面の歯形の歯底から上記内周面までの距離をＷとした場合、

上記高周波誘導加熱による加熱深さの調整を、上記フランジ部との連結部におけるＴ／Ｗよりも上記第１突出部におけるＴ／Ｗおよび上記第２突出部におけるＴ／Ｗの方が大きく、かつ、上記第１突出部に

おけるＴ／Ｗと上記第２突出部におけるＴ／Ｗとが略同等になるよう調整することにより行うことを特徴とする鋼製歯車の製造方法。

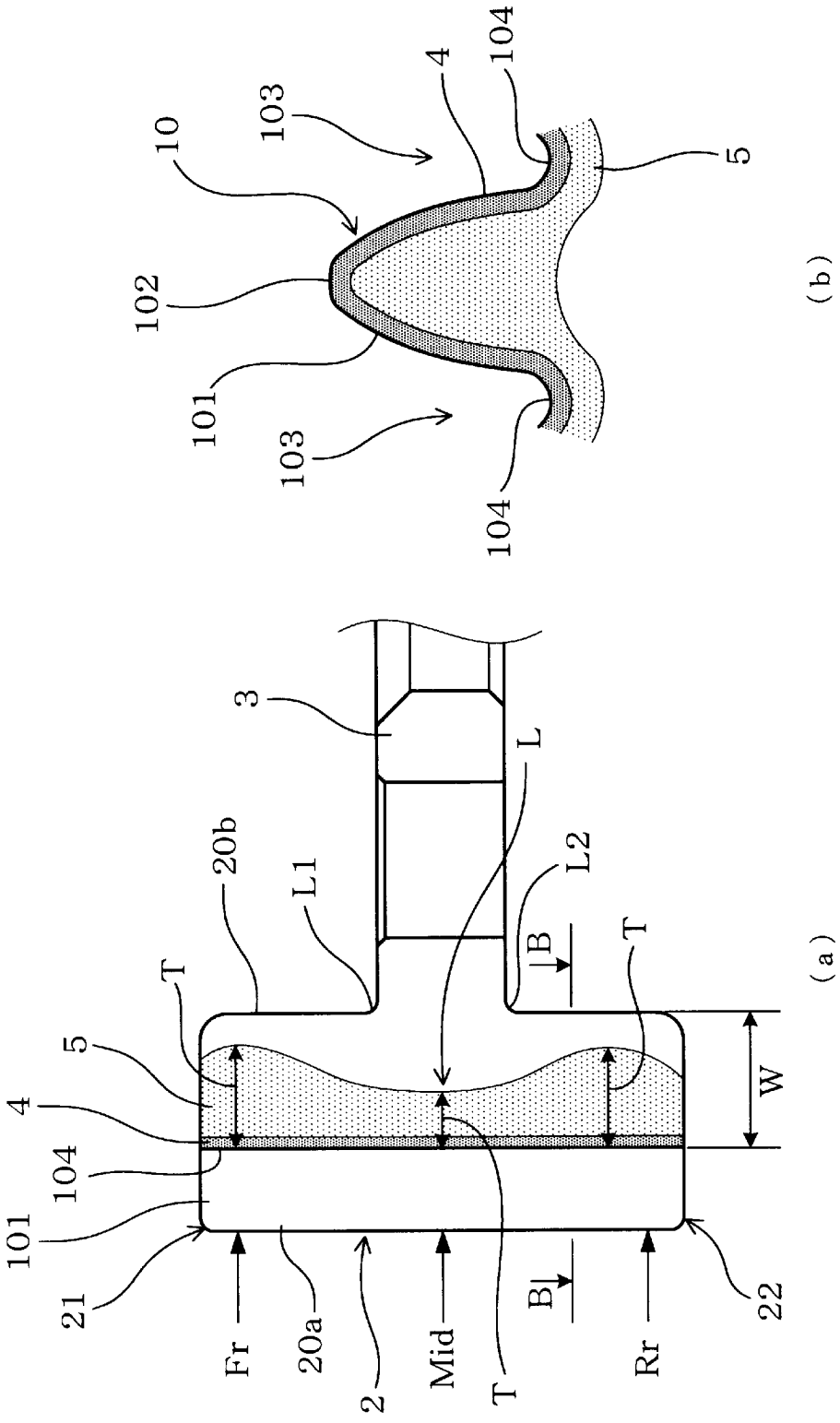
[図1]

(図１)


21
20b
L1
31
3
1
3
31
L1
20b
21
20a
20a
2
22
L2
L
L
L2
22
2
(b)
OBD
OB1
10
A
A
A
A
OB2
(a)
1
2
3
31

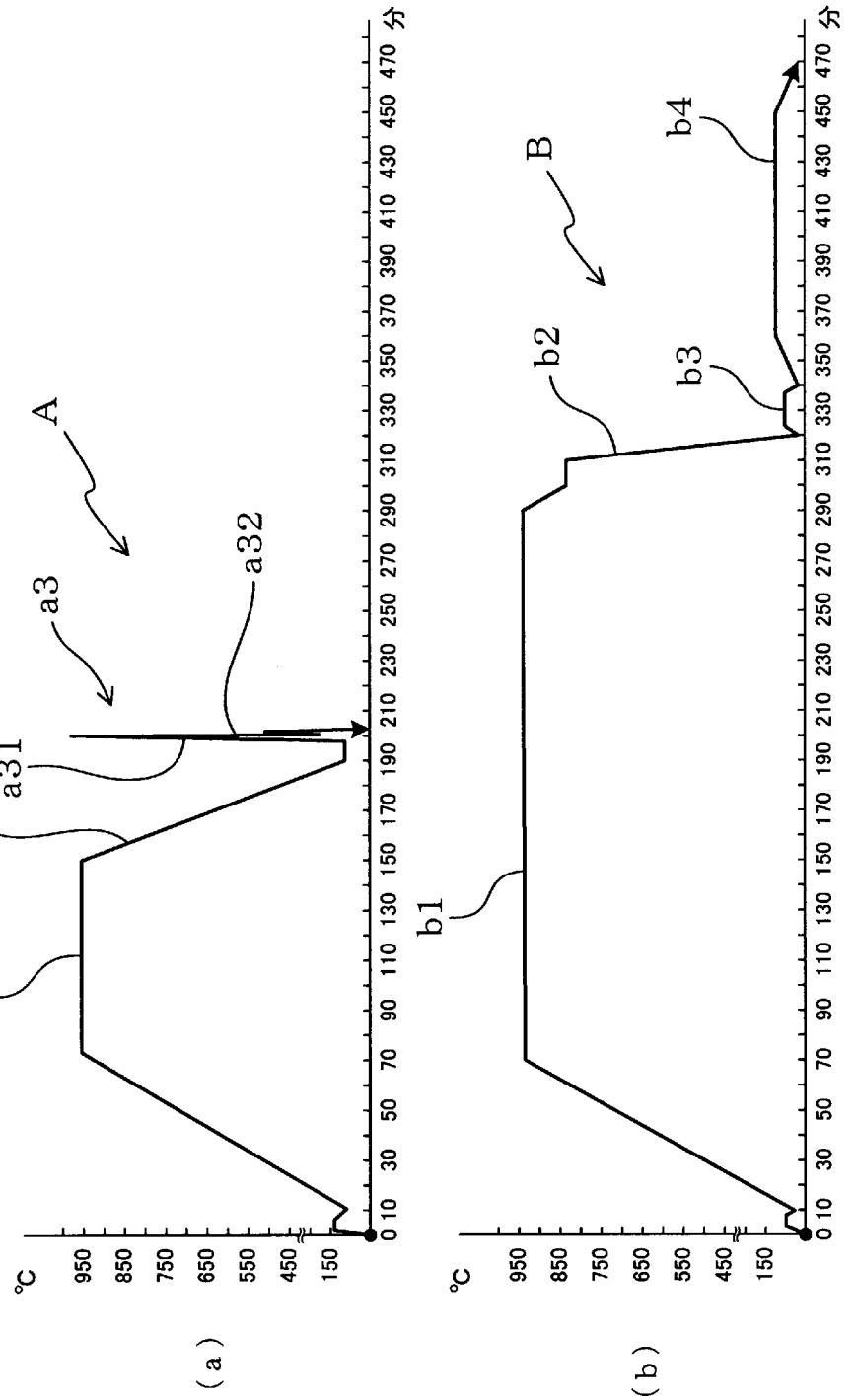
[図2]

(図２)


10
103
4
104
5
102
101
103
104
(b)
3
L
20b
L1
L2
B
T
T
5
4
104
101
21
Fr
20a
2
Mid
T
B
Rr
22
W
(a)

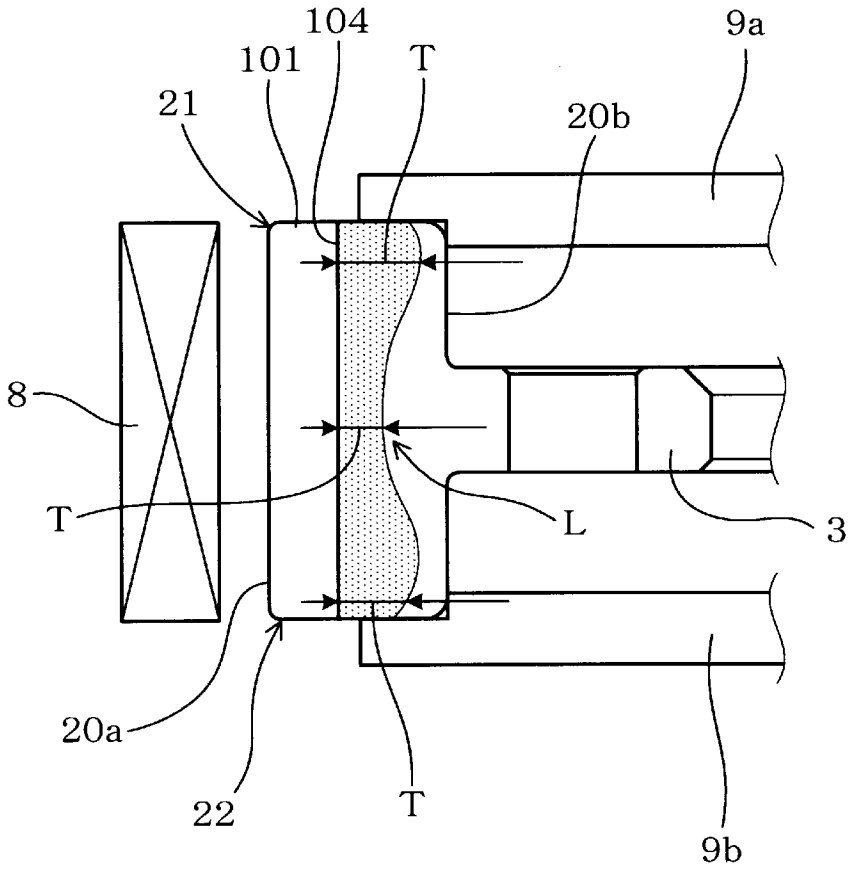
[図3]

(図３)


A
a1
a2
a31
a3
a32
℃
950
850
750
650
550
450
150
0 10 30 50 70 90 110 130 150 170 190 210 230 250 270 290 310 330 350 370 390 410 430 450 470 分
(a)
B
b1
b2
b3
b4
℃
950
850
750
650
550
450
150
0 10 30 50 70 90 110 130 150 170 190 210 230 250 270 290 310 330 350 370 390 410 430 450 470 分
(b)

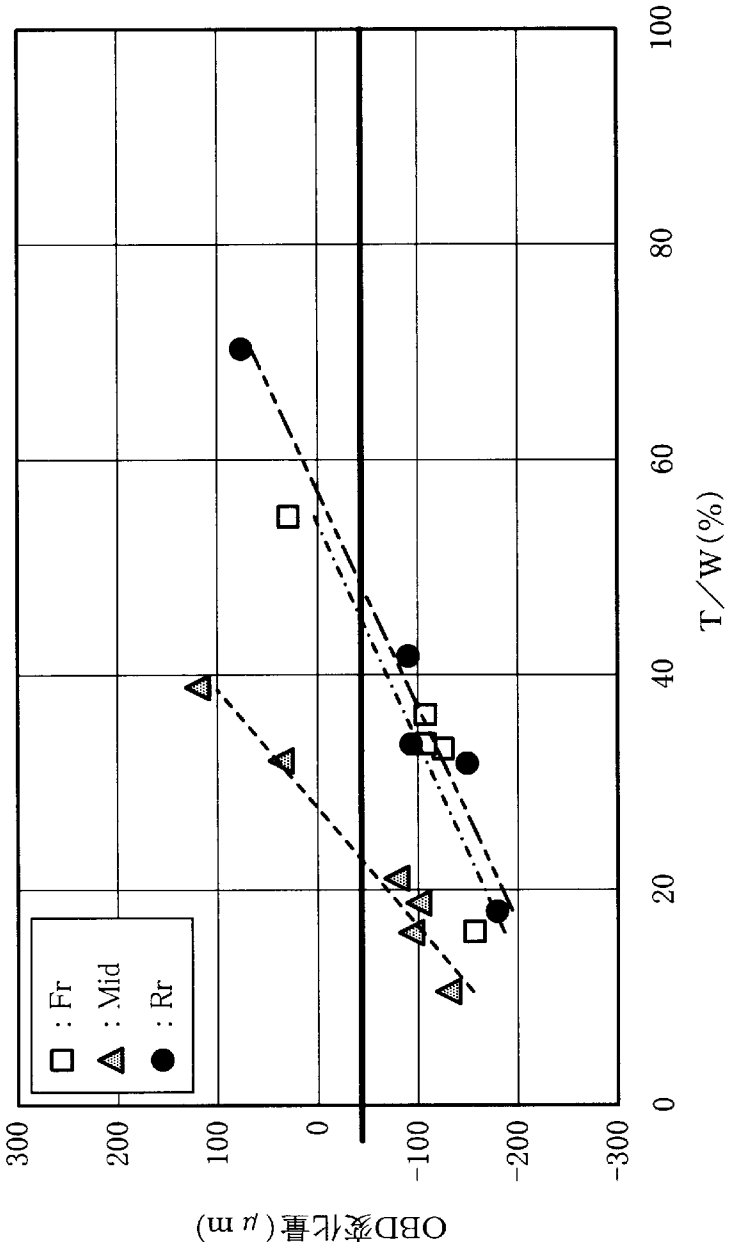
[図4]

（図４）



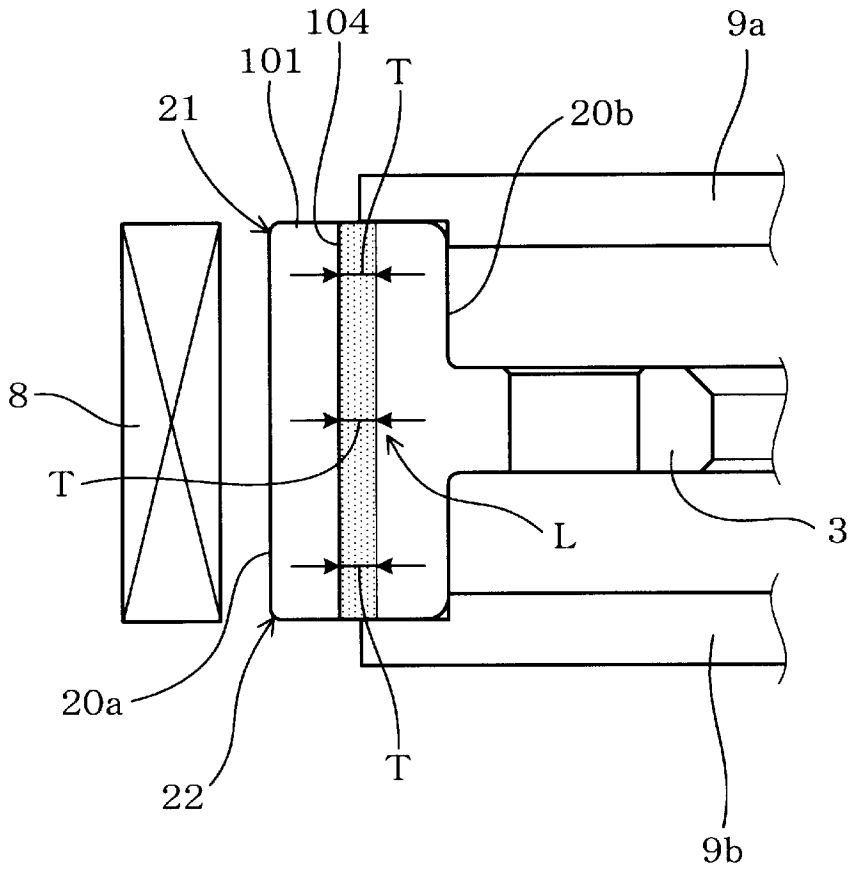
[図5]

(図５)



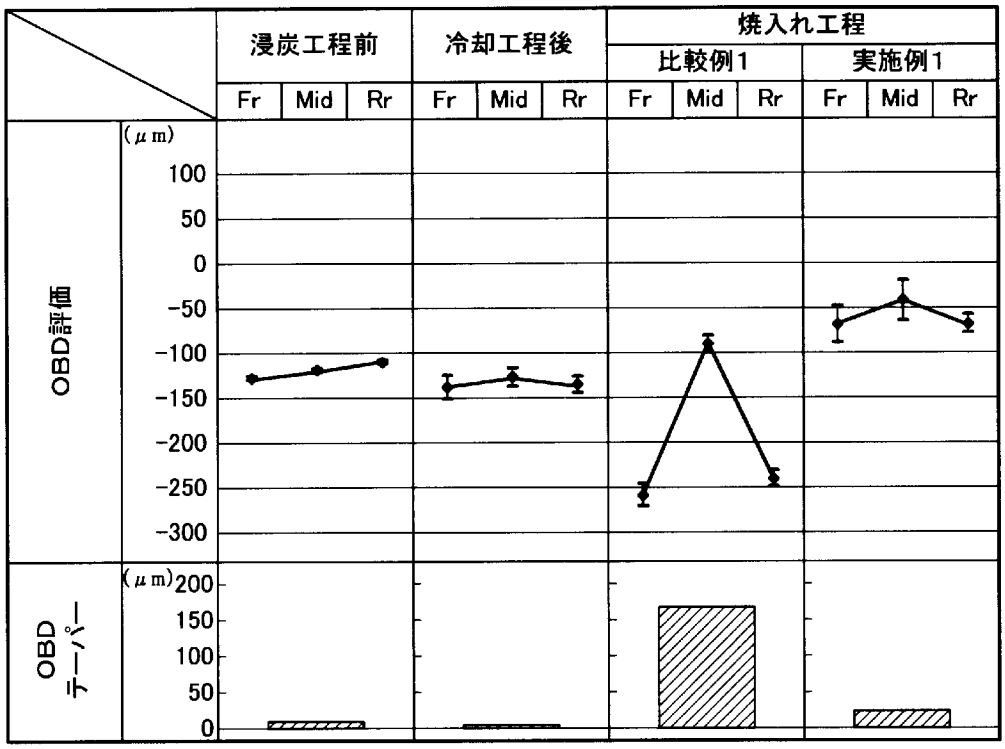
[図6]

(図６)



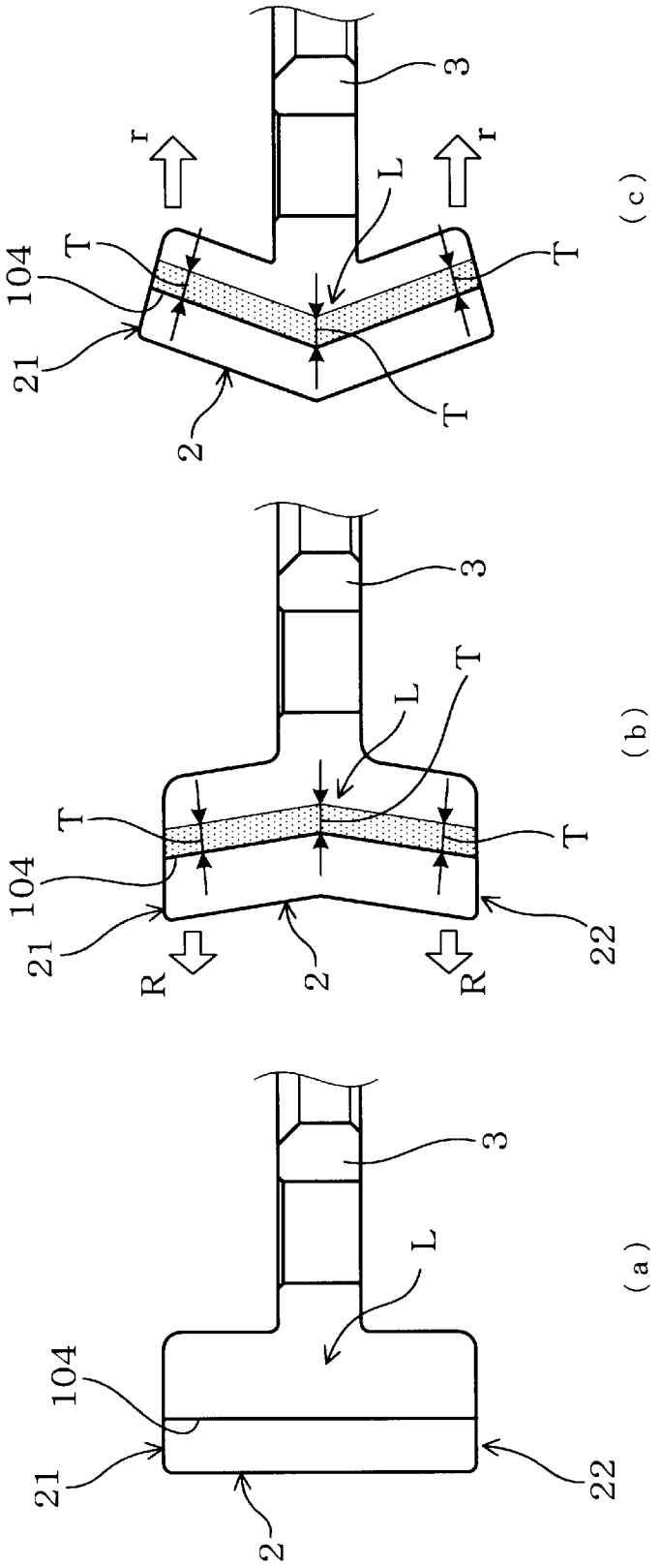
[図7]

（図７）


浸炭工程前
冷却工程後
焼入れ工程
比較例1
実施例1
Fr
Mid
Rr
OBD評価値
(μm)
100
50
0
-50
-100
-150
-200
-250
-300
OBD テーパー
(μm)
200
150
100
50
0

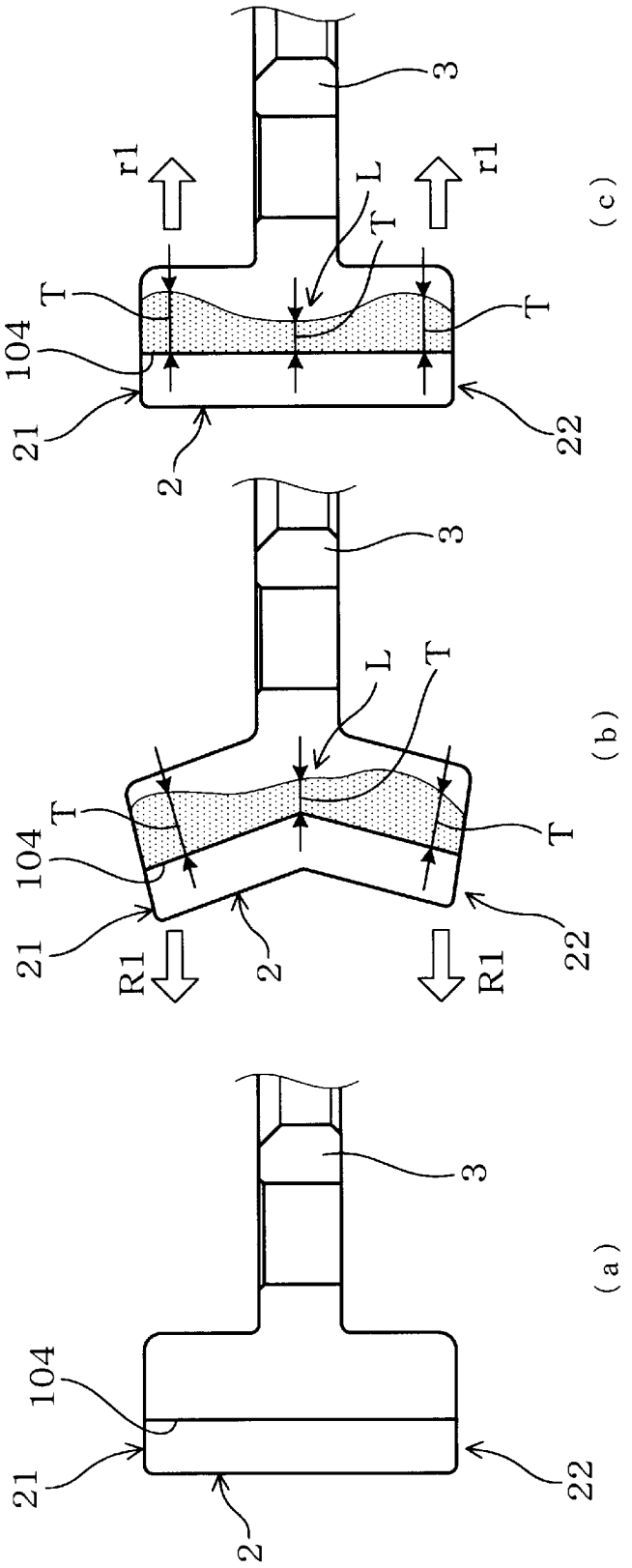
[図8]

(図８)



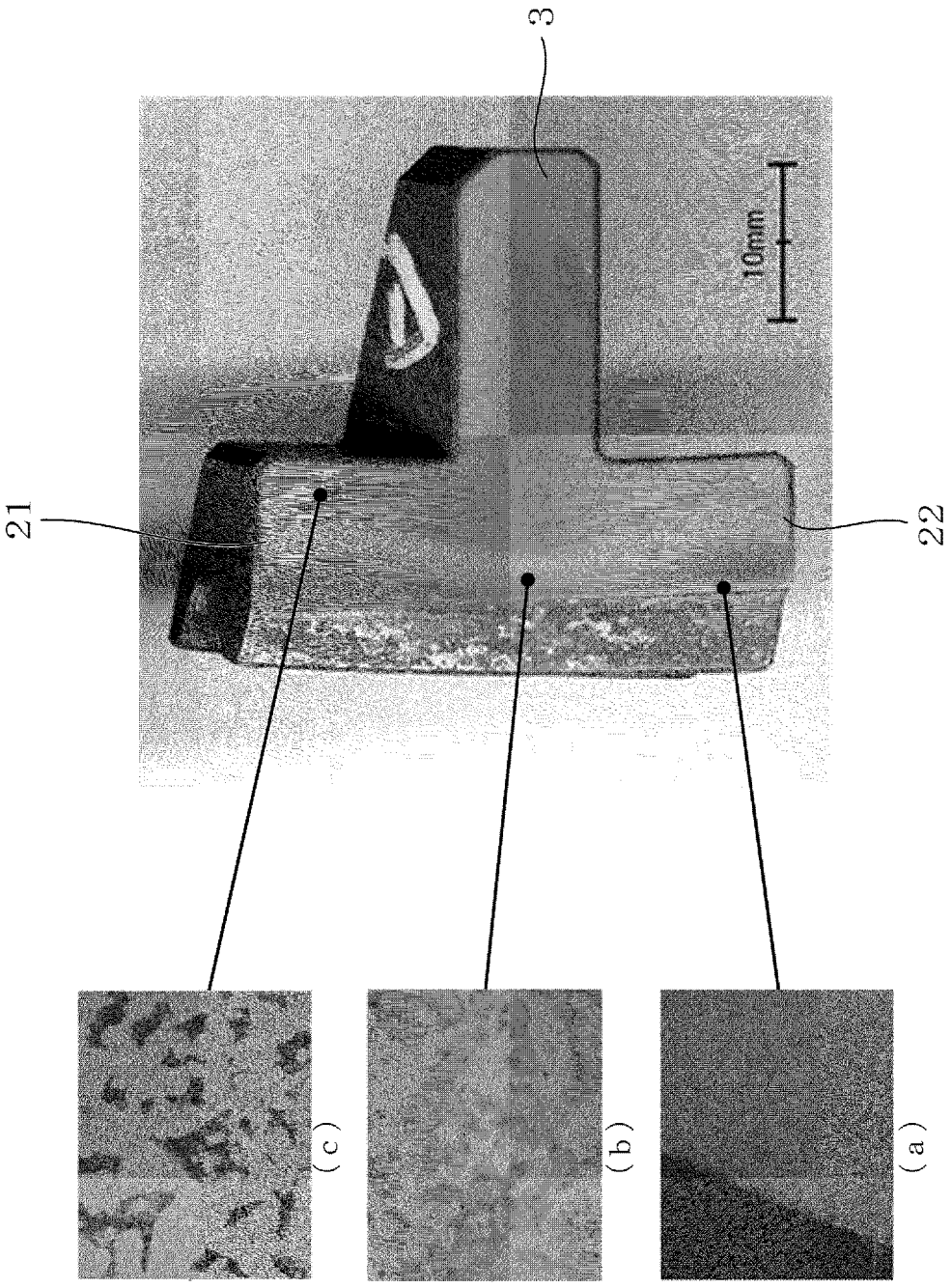
[図9]

(図９)



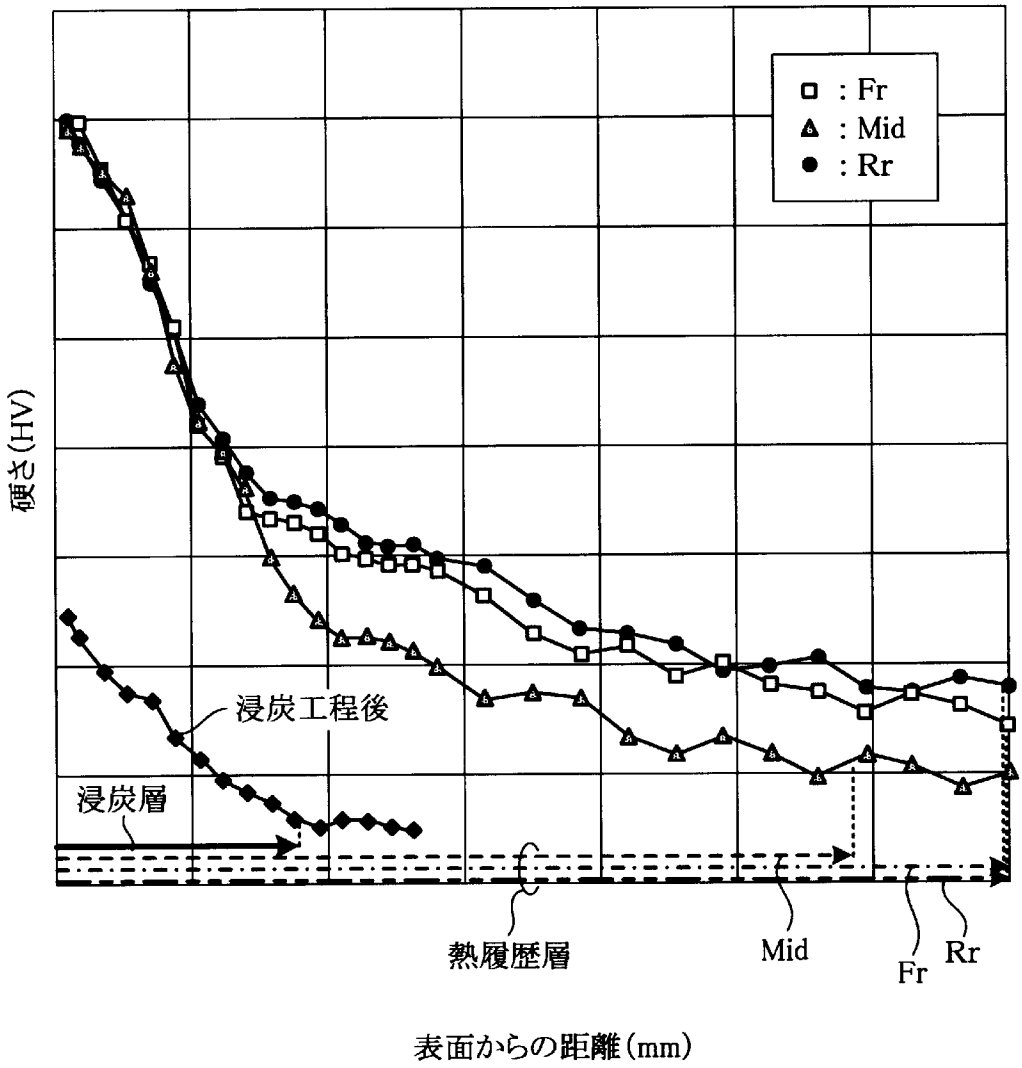
[図10]

（図１０）



[図11]

（図１１）



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2012/055156

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
C21D9/32(2006.01)i, *C21D1/06*(2006.01)i, *C21D1/10*(2006.01)i, *C23C8/22*(2006.01)i, *C23C8/80*(2006.01)i, *F16H55/06*(2006.01)i, *F16H55/17*(2006.01)i, *C22C38/00*(2006.01)n
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)
C21D9/32, C21D1/06, C21D1/10, C23C8/22, C23C8/80, F16H55/06, F16H55/17, C22C38/00

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	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

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

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	WO 2007/034911 A1 (Aisin AW Co., Ltd.), 29 March 2007 (29.03.2007), entire text; all drawings & US 2007/0102068 A1 & US 2009/0301608 A1 & EP 1876256 A1 & EP 1889929 A1 & WO 2006/118242 A1 & WO 2006/118243 A1 & CN 101184860 A & CN 101233247 A & KR 10-2007-0108569 A & KR 10-2008-0023333 A	1-5

☐ 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	Date of mailing of the international search report
15 May, 2012 (15.05.12)	22 May, 2012 (22.05.12)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１２／０５５１５６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　C21D9/32(2006.01)i, C21D1/06(2006.01)i, C21D1/10(2006.01)i, C23C8/22(2006.01)i, C23C8/80(2006.01)i, F16H55/06(2006.01)i, F16H55/17(2006.01)i, C22C38/00(2006.01)n

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.　C21D9/32, C21D1/06, C21D1/10, C23C8/22, C23C8/80, F16H55/06, F16H55/17, C22C38/00

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	１９７１－２０１２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１２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）

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
A	WO 2007/034911 A1 (アイシン・エィ・ダブリュ株式会社) 2007.03.29, 全文、全図 & US 2007/0102068 A1 & US 2009/0301608 A1 & EP 1876256 A1 & EP 1889929 A1 & WO 2006/118242 A1 & WO 2006/118243 A1 & CN 101184860 A & CN 101233247 A & KR 10-2007-0108569 A & KR 10-2008-0023333 A	1-5

☐　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	国際調査報告の発送日
１５．０５．２０１２	２２．０５．２０１２

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
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）　４Ｋ　４０３７
相澤　啓祐
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３４３５