

(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2014-47410

(P2014-47410A)

(43) 公開日 平成26年3月17日(2014.3.17)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 3 C 8/38 (2006.01)	C 2 3 C 8/38	4 K 0 2 8
C 2 3 C 8/80 (2006.01)	C 2 3 C 8/80	
C 2 1 D 1/06 (2006.01)	C 2 1 D 1/06	A

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号 特願2012-192922 (P2012-192922)
 (22) 出願日 平成24年9月3日 (2012.9.3)

特許法第30条第2項適用申請有り 発行者名 一般社団法人 日本熱処理技術協会 刊行物名 第73回 日本熱処理技術協会講演大会 講演概要集 発行年月日 平成24年6月14日

(71) 出願人 592032636
 学校法人トヨタ学園
 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
 (74) 代理人 110000648
 特許業務法人あいち国際特許事務所
 (72) 発明者 稲葉 孝二郎
 茨城県結城市新堤仲通り6番地2 株式会社結城高周波内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 鉄基合金材及びその製造方法

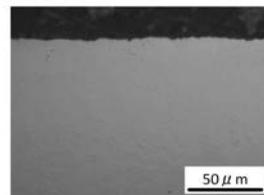
(57) 【要約】

【課題】 アンモニアを用いることなく鉄基合金材の表面に窒素を浸入させることができ、かつ、焼入れ処理後においてもポイドが抑制された表面硬化処理を施した鉄基合金材及びその製造方法を提供すること。

【解決手段】 鉄を主成分とする鉄基合金材からなるワークを590以上の温度に加熱した状態で、水素を供給することなく窒素ガスを供給しながら上記ワークにプラズマ浸室処理を行って、表層近傍に窒素が浸入した窒素拡散層を形成し、その後、ワークを590以上の温度から急冷し、上記窒素拡散層中にマルテンサイトを生成させる。窒素拡散層層は、0.1~1.2質量%の窒素が浸入した層とすることができる。

【選択図】 図4

(図4)



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

鉄を主成分とする鉄基合金材からなるワークを 590 以上の温度に加熱した状態で、水素を供給することなく窒素ガスを供給しながら上記ワークにプラズマ浸室処理を行って、表層近傍に窒素が浸入した窒素拡散層を形成し、

その後、上記ワークを 590 以上の温度から急冷し、上記窒素拡散層中にマルテンサイトを生成させることを特徴とする鉄基合金材の製造方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の鉄基合金材の製造方法において、上記窒素拡散層は、0.1 ~ 1.2 質量%の窒素が浸入した層であることを特徴とする鉄基合金材の製造方法。

10

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の鉄基合金材の製造方法において、上記プラズマ浸室処理後に、上記ワークを少なくとも 590 未満まで冷却し、その後、高周波誘導加熱により上記ワークを再加熱した後に上記急冷を行うことを特徴とする鉄基合金材の製造方法。

【請求項 4】

請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の鉄基合金材の製造方法において、上記プラズマ浸室処理は、上記ワークを装入した炉内を真空度 1000 Pa 以下まで減圧した後、上記炉内に設けた窒素導入部から窒素を導入し、その後、上記ワークを 590 以上に昇温した後、上記炉内に設けた電極又は炉壁を陽極、上記ワークを陰極として両者の間に直流電圧を印加してグロー放電を生じさせることにより行うことを特徴とする鉄基合金材の製造方法。

20

【請求項 5】

鉄を主成分とする鉄基合金材であって、

その表層近傍に窒素が浸入した窒素拡散層を有し、該窒素拡散層は、マルテンサイトが存在し、かつ、ポイドが存在していないことを特徴とする鉄基合金材。

【請求項 6】

請求項 5 に記載の鉄基合金材において、上記窒素拡散層は、0.1 ~ 1.2 質量%の窒素が浸入した層であることを特徴とする鉄基合金材。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

30

【0001】

本発明は、表面硬化処理を施してなる鉄基合金材及びその製造方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

鋼に代表される鉄を主成分として有する鉄基合金材の耐摩耗性や疲れ強さを向上させる方策として、種々の表面処理方法が提案されている。最も広く利用されている処理方法としては、鋼に対して行われる浸炭焼入れ処理が挙げられる。浸炭焼入れ処理は、被処理材を加熱した状態で表面から炭素を浸入・拡散させ、表層近傍の炭素濃度を高めた状態で、オーステナイト状態から急冷処理を施して表層部にマルテンサイトを生成させる処理である。マルテンサイト化した表層部は、耐摩耗性及び疲れ強さの向上に寄与する。

40

【0003】

一方、浸炭焼入れ処理は、一酸化炭素を含む雰囲気中での 727 を超えるような高温の熱処理が通常必要であり、これに必要なエネルギーの使用量も比較的多い。そのため、浸炭焼入れ処理は、近年注目される二酸化炭素排出量の抑制が難しい処理方法であると言える。また、浸炭焼入れ処理を施した鉄基合金材は、オーステナイトからマルテンサイトへの相変態（マルテンサイト変態）による歪みだけでなく、上記の高温からの急冷に伴う熱歪みが生じるため、寸法や形状を整える後工程が必要となるのが通常である。

【0004】

浸炭焼入れ処理と並んでよく行われている表面硬化処理としては、窒化処理がある。窒化処理は、一般に上記浸炭焼入れ処理よりも低温の条件で鉄基合金材の表面から窒素を浸

50

入・拡散させて窒化物を形成することによって表層部を硬化させる処理である。処理方法としては、ガス窒化、ガス軟窒化、塩浴軟窒化、プラズマ窒化に大別される。いずれの処理も、組織の変化によって硬化させるものではなく、硬さの高い窒化物を作ることによって硬化させるものであり、通常は、窒化処理後に焼入れは行わない。

【0005】

窒化処理は、上記のごとく通常は比較的低温で行う上に相変態を伴わないため、得られる鉄基合金材に生じるひずみ量を小さくすることができる。そのため、窒化処理は、ひずみを抑制し、工程合理化を図ることができる処理として、上述した浸炭焼入れ処理よりも好まれる場合がある。しかしながら、上記従来一般的な窒化処理の多くは、窒素の浸入・拡散の処理に長時間を要することが課題としてあげられている。

10

【0006】

比較的新しい表面硬化処理方法として、特許文献1に記載の浸窒焼入れ処理方法がある。この浸窒焼入れ処理方法は、600～800という従来一般的な窒化処理に比べて高温条件でアンモニアを用いて浸窒処理し、被処理材の表面から窒素を浸透拡散させた上で、急冷して焼入れするというものである。

【0007】

この特許文献1の浸窒焼入れ処理方法によれば、従来窒化処理における窒化物による硬化効果ではなく、窒素が拡散した領域をマルテンサイト変態させることによる硬化効果が得られる。また、この方法は、従来一般的な窒化処理に比べて浸窒処理の時間を大幅に短縮できる点で優れている。また、前述した浸炭焼入れ処理に比べると焼入れ前の加熱温度を低くできるため、その分ひずみの発生を抑制することもできる。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】特開2007-46088号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

上記のごとく、特許文献1の浸窒焼入れ処理方法は優れた表面硬化処理方法であると言えるが、アンモニアを処理ガスとして用いなければならない点が課題として挙げられている。アンモニアは、高温で加熱炉などの設備の劣化を早めるだけでなく、排気前に分解処理する必要があるなど不具合点が多い。また、上記浸窒焼入れ処理方法により比較的多量の窒素を浸入させた場合には、被処理品の断面観察の結果、表層近傍に多数のポイドが生じることがある。

30

【0010】

アンモニアを用いない方法として、従来一般的な窒化処理を浸窒処理として採用することが考えられる。しかしながら、上述したごとく、従来一般的な窒化処理の多くは、窒素の浸入・拡散の処理に長時間を要することが問題である。ここで、従来窒化処理のうち、窒素の浸入・拡散の処理時間が比較的短い処理として、プラズマ窒化がある。

【0011】

プラズマ窒化は、具体的には、処理炉内を真空ポンプで排気した後、炉内に窒素(N_2)と水素(H_2)の混合ガスを導入し、590未満の温度条件において、炉と被処理材との間に直流電圧を印加して両者の間にグロー放電を発生させ、グロー放電に伴って、窒素をイオン化して被処理材の表面から浸入させる処理である。このようなプラズマ窒化を上記浸窒焼入れ処理方法における浸窒処理工程に採用することも考えられるが、単純に従来のプラズマ窒化を採用しただけでは、AlやC1などの合金成分が添加されていない鋼を硬化させることが難しい。

40

【0012】

本発明は、かかる背景に鑑みてなされたものであり、アンモニアを用いることなく鉄基合金材の表面に窒素を浸入させることができ、かつ、焼入れ処理後においてもポイドが抑

50

制された表面硬化処理を施した鉄基合金材及びその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】

【0013】

本発明の一態様は、鉄を主成分とする鉄基合金材からなるワークを590 以上の温度に加熱した状態で、水素を供給することなく窒素ガスを供給しながら上記ワークにプラズマ浸室処理を行って、表層近傍に窒素が浸入した窒素拡散層を形成し、

その後、上記ワークを590 以上の温度から急冷し、上記窒素拡散層中にマルテンサイトを生成させることを特徴とする鉄基合金材の製造方法にある（請求項1）。

【0014】

本発明の他の態様は、鉄を主成分とする鉄基合金材であって、

その表層近傍に窒素が浸入した窒素拡散層を有し、該窒素拡散層は、マルテンサイトが存在し、かつ、ポイドが存在していないことを特徴とする鉄基合金材にある（請求項5）。

【発明の効果】

【0015】

上記鉄基合金材の製造方法は、上記ごとく、ワークを590 以上という比較的高温に加熱した状態で、水素ガスを用いることなく窒素ガスを供給しながら上記ワークにプラズマ浸室処理を施して窒素拡散層を形成する。つまり、上記鉄基合金材の製造方法は、水素ガスの導入を省略し、窒素ガスを用いてワークの表面からの窒素の浸入を進めることができる。そのため、従来のようなアンモニアを窒素源として利用する必要がない。したがって、アンモニアを取り扱う際の不具合を完全に排除することができる。

【0016】

また、上記プラズマ浸室処理を完了したワークには、590 以上の温度から急冷する焼入れ処理を施す。これにより、得られた鉄基合金材は、窒素を浸入させた窒素拡散層にマルテンサイトが生成して硬化効果が得られると共に、この窒素拡散層にポイドが生じることを確実に抑制することができる。ポイド生成を抑制できる理由は、上記プラズマ浸室処理時に水素ガスを用いないことにより、ワークの表層から窒素と共にわずかな水素が浸入することを防止できるためだと考えられる。また、窒素拡散層においてマルテンサイト生成による硬化効果が得られる理由は、プラズマ浸室処理を上記のごとく従来のプラズマ窒化よりも高温で行うことによって、窒素オーステナイト層中に窒素を高速浸入・高速拡散できるという作用効果が得られるためであると考えられる。

【0017】

このようなマルテンサイトが含まれた窒素拡散層を表層近傍に有すると共にこの窒素拡散層にポイドが全く含まれない鉄基合金材は、ポイドがき裂の起点となり、疲れ強さを低下させるという不具合が生じることを確実に抑制することができる。

【0018】

このように、上記態様によれば、アンモニアを用いることなく鉄基合金材の表面に窒素を浸入させることができ、かつ、焼入れ処理後においてもポイドが生じない表面硬化処理を施した鉄基合金材及びその製造方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0019】

【図1】プラズマ浸室処理を行うためのプラズマ浸室装置の概略を模式的に示した図である。

【図2】プラズマ浸室処理および焼入れ処理のプロファイルを示した図である。

【図3】試料1～試料3の窒素濃度プロファイルを示した図である。

【図4】試料2における横断面の光学顕微鏡写真である。

【図5】試料5における横断面の光学顕微鏡写真である。

【図6】試料2の硬さプロファイル及び窒素濃度プロファイルを示した図である。

【図7】試料6の硬さプロファイル及び窒素濃度プロファイルを示した図である。

10

20

30

40

50

【図 8】 試料 7 の硬さプロファイル及び窒素濃度プロファイルを示した図である。

【図 9】 試料 2、試料 6、試料 7 の窒素濃度プロファイルを示した図である。

【図 10】 試料 2、試料 6、試料 7 の硬さプロファイルを示した図である。

【図 11】 試料 4、試料 9 の硬さプロファイルを示した図である。

【図 12】 試料 8、試料 9、試料 10 の硬さプロファイルを示した図である。

【発明を実施するための形態】

【0020】

上記鉄基合金材としては、炭素鋼、合金鋼などの各種の鋼材料、ステンレス鋼、ばね鋼、軸受鋼、工具鋼、耐熱鋼等が挙げられる。特に、一般的な炭素鋼は、表面改質によってその用途を拡大することが可能であり、上記製造方法の利用が非常に有効である。

10

【0021】

また、上記プラズマ浸室処理時に供給する窒素ガスには、実質的には他の成分は混合させないことが好ましいが、水素ガス以外のガスであって、プラズマ浸室処理に悪影響を及ぼさないガスを何らかの理由で混合させることは許容しうる。供給する窒素ガスは、窒素の浸入・拡散を促進させる観点から、窒素分圧が 100 Pa 程度以上であることが好ましく、より好ましくは、150 Pa 程度以上であるとよい。また、上記窒素分圧は、異常放電などの観点から、1000 Pa 程度以下であるとよく、好ましくは、500 Pa 程度以下であるとよい。

【0022】

また、上記窒素拡散層は、0.1～1.2 質量%の窒素が浸入した層とすることができる（請求項 2、6）。窒素拡散層の窒素濃度を上記範囲にすることにより、窒素の浸入による焼入れ可能温度の低温化を利用したオーステナイトの生成（後のマルテンサイトの生成）の促進を図ることができる。上記焼入れ可能温度の低温化の効果を十分に得る観点から、上記窒素拡散層は、好ましくは、0.15 質量%以上、より好ましくは、0.2 質量%以上の窒素が浸入した層とすることができる。一方、製造性、ポイド抑制等の観点から、上記窒素拡散層は、好ましくは、1.15 質量%以下、より好ましくは、1.1 質量%以下の窒素が浸入した層とすることができる。

20

【0023】

また、上記プラズマ浸室処理後の焼入れ処理は、プラズマ浸室処理時の加熱状態から連続的に直接急冷する処理を採用してもよいが、プラズマ浸室処理と焼入れ処理とを分離することも可能である。プラズマ浸室処理と焼入れ処理を分離する場合には、上記プラズマ浸室処理後に、上記ワークを少なくとも 590 未満まで冷却し、その後、高周波誘導加熱により上記ワークを再加熱した後に上記急冷を行う方法を採用することができる（請求項 3）。この場合には、焼入れ処理前の加熱手段として上記高周波誘導加熱処理を採用することにより、特定部位または全体を短時間で精度よく加熱処理を行うことができ、製造の合理化を図ることができる。

30

【0024】

上記ワークを冷却する温度は、製造性などの観点から、100 程度以下が好ましく、より好ましくは、35 程度以下であるとよい。なお、上記ワークを冷却する温度は、コストなどの観点から、100 程度以上とすることもできる。

40

【0025】

また、上記プラズマ浸室処理は、上記ワークを装入した炉内を真空度 1000 Pa 以下まで減圧した後、上記炉内に設けた窒素導入部から窒素を導入し、その後、上記ワークを 590 以上に昇温した後、上記炉内に設けた電極又は炉壁を陽極、上記ワークを陰極として両者の間に直流電圧を印加してグロー放電を生じさせることにより行うことができる（請求項 4）。

【0026】

上記のごとく、炉内への窒素の導入の前に、炉内を所定範囲まで減圧することにより、処理前に炉内に存在していた雰囲気ガスを排出して非常にクリーンな状態でプラズマ浸室処理を進めることができる。上記減圧時の真空度は低いほど好ましいが、設備的な問題や

50

処理時間の関係から少なくとも上記特定の真空度を確保すればよい。

【0027】

また、上記グロー放電は、上記炉内に設けた電極又は炉壁とワークとの間で生じさせることが好ましい。これにより、窒素のイオン化を効率よく行うことができ、窒素の浸入・拡散を促進することができる。なお、炉内に設けた窒素導入部を上記電極として用いることも可能である。

【0028】

また、上記プラズマ浸室処理時の上記ワークの加熱温度は上記のごとく、590 以上とするが、その上限は、ワークにおいて結晶粒の粗大化が生じやすくなるという理由により1100 とすることが好ましい。また、上記プラズマ浸室処理をより効率よく行うためには、特に、600～800 とすることが好ましい。

10

【実施例】

【0029】

上記鉄基合金材及びその製造方法にかかる実施例及び比較例について説明する。本例では、複数種類の鉄基合金材（試料1～10）を製造し、各種特性を評価した。まず、試料1～10の材質としては、表1に示す材質a～cのいずれかを用いた。

【0030】

【表1】

[表1]

材質	化学成分[mass%]						備考
	C	Si	Mn	P	S	Fe	
a	0.03	0.2	0.5	0.03	0.03	bal.	純鉄
b	0.13～0.18	0.15～0.35	0.30～0.60	0.03	0.03	bal.	S15C
c	0.32～0.38	0.15～0.35	0.60～0.90	0.03	0.03	bal.	S35C

20

【0031】

各試料としては、上記材質からなる直径10mm×長さ35mmの棒材を準備した。そして、各試料（ワーク）に対し後述する条件でプラズマ浸室処理を施し、その後、一部の試料に対して後述する条件で焼入れ処理を施した。

30

【0032】

図1に示すように、プラズマ浸室処理を行うためのプラズマ浸室装置5は、内部を密閉してなる炉心管50と、その外周に配置された加熱装置51とを有する。炉心管50内には、外部の窒素供給源（図示略）から延びる窒素供給管52に接続された窒素導入部53を有している。窒素導入部53から所定距離離れた位置には、ワーク1（試料）設置場所が設けられている。また、炉心管50には、内部を減圧するための真空ポンプ54が接続されている。また、炉心管50には、バルブ59を介して焼入れ槽60が接続されており、大気に触れることなくワーク1を焼入れ槽に投入可能とされている。また、炉心管50内には、温度測定用の熱電対55が挿入配置されている。炉心管50の外部には、窒素導入部53を陽極、ワーク1を陰極として両者の間に直流電圧を印加するための直流電源56が設置されている。直流電源56は、電線57により窒素導入部53に電氣的に接続され、電線58によりワーク1に電氣的に接続されている。つまり、本例では、窒素導入部を陽極として用いている。

40

【0033】

プラズマ浸室処理は、このような構成のプラズマ浸室装置5を用いて、炉心管50内の真空度、温度、窒素ガスの供給量の制御に加え、直流電源56によって印加する電圧及び電流を制御することによって行う。

【0034】

焼入れ処理は、図示しない高周波誘導加熱装置と所定の冷却装置を用いて、一部の試料に対して実施した。

50

以下、各試料ごとの具体的な処理条件について説明する。

【 0 0 3 5 】

< 試料の作製 >

- 試料 1 -

試料 1 は、材質 b (表 1) を採用したものである。この試料 1 に対しては図 2 に示すプロファイルに従って、プラズマ浸室処理を施した。具体的には、まず、上記プラズマ浸室装置 5 の炉心管 5 0 内にワーク 1 (試料 1) をセットし、炉内を 2 0 P a まで減圧した (図 2 の (A))。その後、窒素ガスのみを窒素導入部 5 3 から導入した (図 2 の (B))。そして、炉内での窒素分圧が 1 5 0 P a に到達した時点で炉内の昇温を開始した (図 2 の (C))。その後、ワーク 1 の温度が 7 5 0 にて一定となるよう過熱状態を制御し、窒素分圧は 1 5 0 P a となるように制御した (図 2 の (D)、均熱処理)。この雰囲気状態において、窒素導入部 5 3 を陽極、ワーク 1 を陰極として両者の間に直流電圧を印加してグロー放電を生じさせた。直流電圧の条件は、電圧：7 0 0 V、通電時間 2 時間という条件とした (図 2 の (E))。その後、炉心管 5 0 の加熱を停止し、炉内と同様に減圧した焼入れ槽 6 0 へ大気に触れることなく試料 1 を投入して急冷した (図 2 の (F))。試料 1 は 8 0 の焼入れ油により焼入れされた。

10

【 0 0 3 6 】

- 試料 2、試料 3 -

試料 2 及び試料 3 は、試料 1 と同様に材質 b を採用したものであり、試料 1 と同様のプラズマ浸室処理及び焼入れ処理を行ったが、プラズマ浸室処理時の窒素分圧条件のみ変更したものである。試料 2 の場合には、窒素分圧を 2 0 0 P a に設定した。試料 3 の場合には、窒素分圧を 2 5 0 P a に設定した。

20

【 0 0 3 7 】

- 試料 4 -

試料 4 は、試料 2 と同様に材質 b を採用したものであり、試料 2 と同様のプラズマ浸室処理を施した後、焼入れ処理を行わなかったものである。つまり、試料 2 とは、焼入れ処理を行わなかった点だけ異なる。

【 0 0 3 8 】

- 試料 5 -

試料 5 は、試料 1 と同様に材質 b を採用したものであるが、従来アンモニアを窒素源として用いた窒化処理を行った例である。試料 5 の窒化条件は、上記のアンモニアによる窒化処理の条件であり、具体的には、導入窒素流量：5 [L / m i n]、導入アンモニア流量：1 [L / m i n]、処理温度：7 5 0、処理時間：1 . 5 時間という条件により実施した。焼入れは、大気雰囲気中で 8 0 の焼入れ油に投入することにより行った。その他の条件は、試料 1 の場合と同様とした。

30

【 0 0 3 9 】

- 試料 6 -

試料 6 は、試料 2 と材質を変更し、材質 a (表 1) を採用し、試料 2 と同じ浸室処理及び焼入れ処理を施したものである。

【 0 0 4 0 】

- 試料 7 -

試料 7 は、試料 2 と材質を変更し、材質 c (表 1) を採用し、試料 2 と同じ浸室処理及び焼入れ処理を施したものである。

40

【 0 0 4 1 】

- 試料 8 -

試料 8 は、試料 1 と同様に材質 b を採用したものであり、処理時間を 1 時間と変更した以外は試料 1 と同様のプラズマ浸室処理を施した。その後、炉心管 5 0 の加熱を停止し、炉内にワーク 1 を放置して 3 5 以下まで放冷した。次いで、このワーク 1 を高周波誘導加熱によって 8 3 0 まで加熱した後、水を噴射し焼入れした。

【 0 0 4 2 】

50

- 試料 9、試料 10 -

試料 9 及び試料 10 は、試料 8 と同様に材質 b を採用したものであり、試料 8 と同様のプラズマ浸室処理及び焼入れ処理を行ったが、プラズマ浸室処理時の窒素分圧条件のみ変更したものである。試料 9 の場合には、窒素分圧を 200 Pa に設定した。試料 10 の場合には、窒素分圧を 250 Pa に設定した。

【0043】

< 評価・考察 >

【0044】

図 3 に、試料 1 ~ 試料 3 の窒素濃度プロファイルを示す。試料 1 ~ 試料 3 は、試料作製時における窒素分圧が異なっている。なお、窒素濃度の測定には、電子プローブマイクロアナライザー (EPMA) を用いた。

10

【0045】

図 3 に示すように、水素ガスの導入を省略し、窒素ガスを用いて鉄基合金材からなるワークの表面から窒素の浸入を進めることができることがわかる。そのため、従来のようにアンモニアを窒素源として利用する必要がなく、アンモニアを取り扱う際の不具合を完全に排除できるといえる。また、プラズマ浸室処理時における炉内の窒素分圧が高いほどよりワークの表面から窒素が浸入しやすいこともわかる。これは、炉内の窒素分圧が高いほど活性な窒素イオンの量が増えるためであると考えられる。

【0046】

図 4 に、試料 2 における横断面の光学顕微鏡写真を示す。また、図 5 に、試料 5 における横断面の光学顕微鏡写真を示す。なお、試料 2 の表面窒素濃度は 1.15 mass % であり、試料 5 の表面窒素濃度は 1.02 mass % であった。

20

【0047】

これらの結果からわかるように、所定のプラズマ浸室処理及び焼入れ処理を行った試料 2 は、従来のアンモニアによる浸室処理および焼入れ処理を行った試料 5 に比べ、表面窒素濃度が高い。それにもかかわらず、試料 2 は、窒素拡散層中にポイド V が形成されていない。したがって、所定のプラズマ浸室処理及び焼入れ処理を行う手法は、ポイド生成を抑制する効果が高いといえる。

【0048】

図 6 ~ 図 8 に、それぞれ、試料 2、試料 6、試料 7 のそれぞれの硬さプロファイル及び窒素濃度プロファイルを示す。これらの図は、材質を純鉄 (材質 a)、S15C (材質 b)、S35C (材質 c) と変え、同一の条件で所定のプラズマ浸室処理及び焼入れ処理を施したときの硬さプロファイル及び窒素濃度プロファイルを示すものである。

30

【0049】

これらの結果からわかるように、いずれの材質を用いた場合であっても、窒素濃度が増えるほど、窒素拡散層の硬さが増加することがわかる。また、これらの結果と図 3 の結果とをあわせると、プラズマ浸室処理時における炉内の窒素分圧を制御し、窒素拡散層の窒素濃度を制御することにより、窒素拡散層の硬度を所望の値に制御することができるといえる。

【0050】

図 9 に、試料 2、試料 6、試料 7 の窒素濃度プロファイルを示す。図 10 に、試料 2、試料 6、試料 7 の硬さプロファイルを示す。これらの図は、それぞれ、材質別の窒素濃度プロファイル、材質別の硬さプロファイルを示すものである。

40

【0051】

これらの結果からわかるように、いずれの試料でも表面窒素濃度に大差はないが、炭素濃度が高い試料ほど窒素がより深くまで拡散していることがわかる。この理由としては、窒素は浸入型の原子なので炭素が多い鋼種ほど、鉄格子が歪められ隙間が大きくなり、窒素が拡散するのを助けているのではないかと推察される。

【0052】

図 11 に、試料 4、試料 9 の硬さプロファイルを示す。試料 4 と試料 9 は、ともにプラ

50

ズマ浸室処理の条件は同じであるが、試料４は、焼入れせずに炉内で空冷したものである。一方、試料９は、空冷後に高周波焼入れを行ったものである。

【 0 0 5 3 】

この結果からわかるように、ワークは、プラズマ浸室処理だけでは大幅に硬化しないが、その後、590以上の温度から急冷する焼入れ処理を組み合わせることにより大幅に硬化することがわかる。

【 0 0 5 4 】

図12に、試料8、試料9、試料10の硬さプロファイルを示す。図12は各窒素分圧における高周波焼入れ後の硬さプロファイルを示している。

この結果からわかるように、窒素分圧が高いほど鋼がより深くまで硬化していることがわかる。したがって、プラズマ浸室処理時における炉内の窒素分圧を制御して窒素拡散層の窒素濃度を制御し、さらに、高周波焼入れを併用することによって、窒素拡散層の硬度を所望の値に制御しつつ、ワークの特定部位または全体を短時間で精度良く加熱でき、製造の合理化を図ることができるといえる。

10

【 0 0 5 5 】

上記によれば、アンモニアを用いることなく鉄基合金材の表面に窒素を浸入させることができ、かつ、焼入れ処理後においてもボイドが生じない表面硬化処理を施した鉄基合金材及びその製造方法を提供することができることが確認された。

【 0 0 5 6 】

以上、本発明の実施例について詳細に説明したが、本発明は上記実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨を損なわない範囲内で種々の変更が可能である。

20

【 符号の説明 】

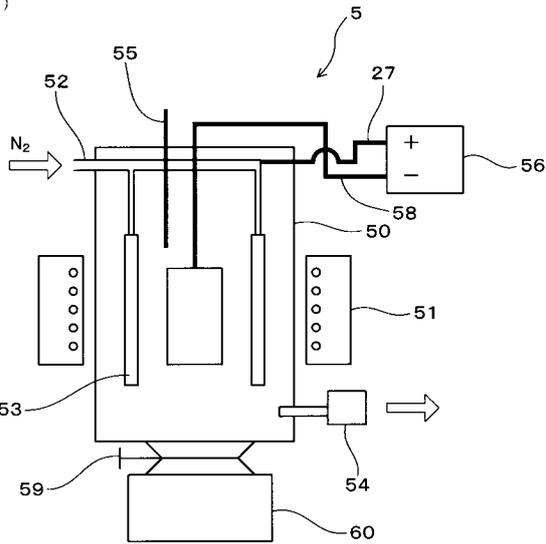
【 0 0 5 7 】

- 1 ワーク
- 5 プラズマ浸室装置
 - 50 炉心管
 - 51 加熱装置
 - 52 窒素供給管
 - 53 窒素導入部
 - 54 真空ポンプ
 - 60 焼入れ槽

30

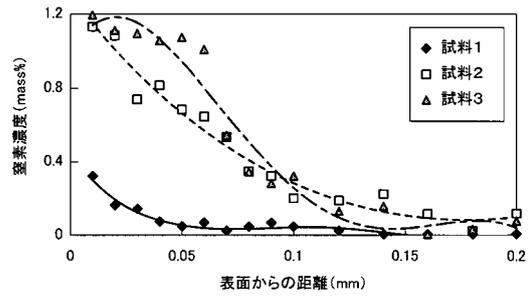
【 図 1 】

(図 1)



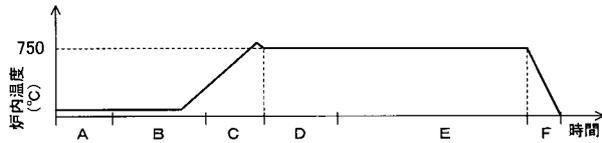
【 図 3 】

(図 3)



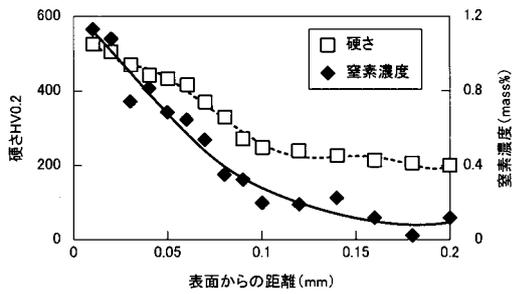
【 図 2 】

(図 2)



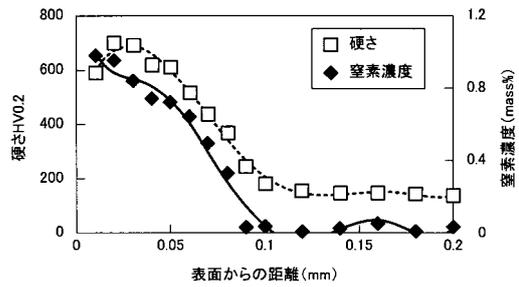
【 図 6 】

(図 6)



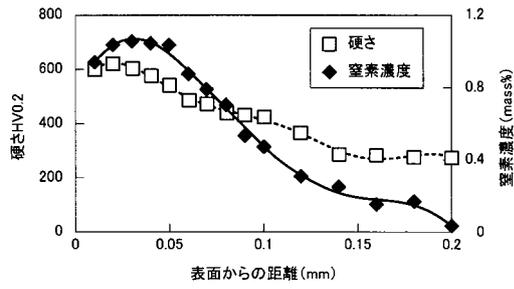
【 図 7 】

(図 7)



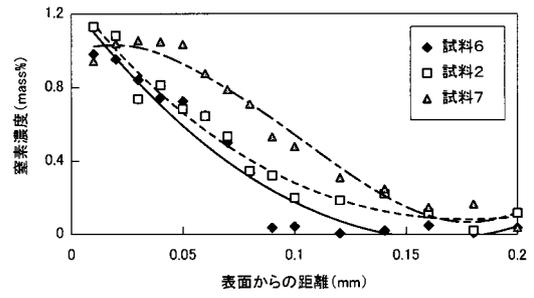
【 図 8 】

(図 8)



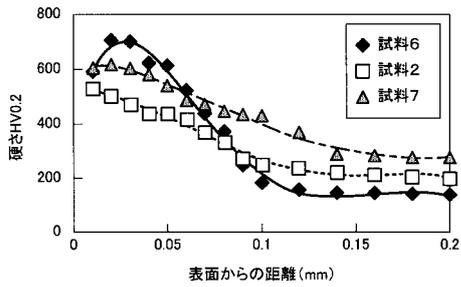
【 図 9 】

(図 9)



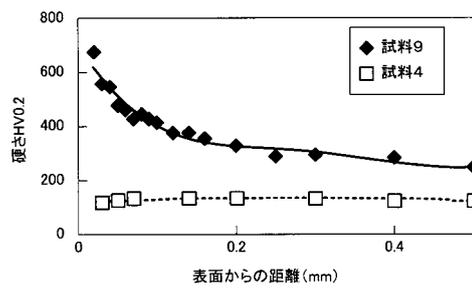
【 図 10 】

(図 10)



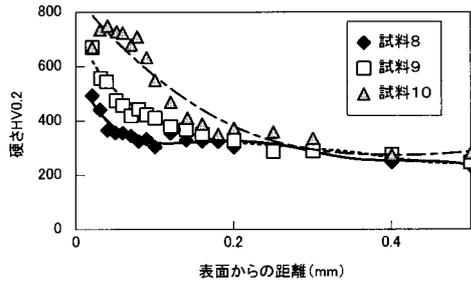
【 図 11 】

(図 11)



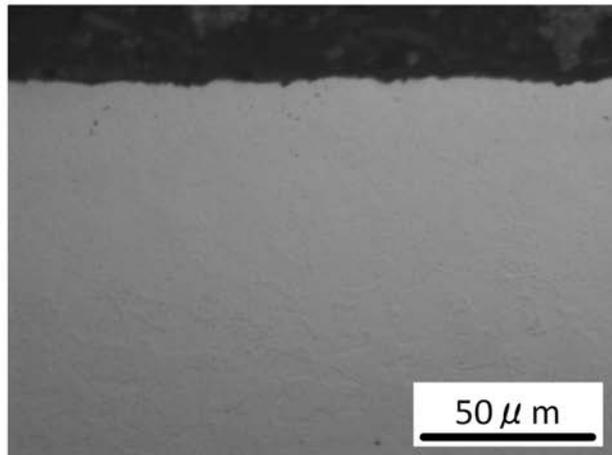
【 図 1 2 】

(図 1 2)



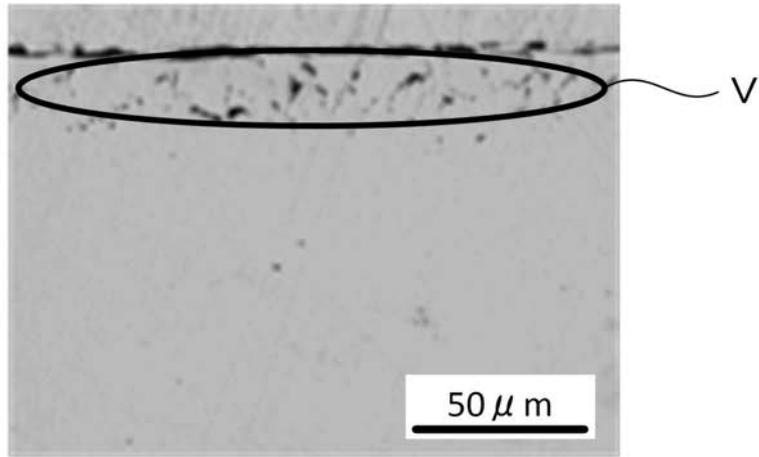
【 図 4 】

(図 4)



【 図 5 】

(図 5)



フロントページの続き

(72)発明者 奥宮 正洋

愛知県名古屋市天白区久方2丁目1番地1 豊田工業大学内

(72)発明者 松田 祥太

愛知県名古屋市天白区久方2丁目1番地1 豊田工業大学内

Fターム(参考) 4K028 BA02 BA12 BA21 BA22