

(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2010-196129

(P2010-196129A)

(43) 公開日 平成22年9月9日(2010.9.9)

(51) Int.Cl.		F 1	テーマコード (参考)
C 2 3 C 8/38 (2006.01)		C 2 3 C 8/38	4 K O 2 8
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 3 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2009-43784 (P2009-43784)
 (22) 出願日 平成21年2月26日 (2009.2.26)

(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 100091096
 弁理士 平木 祐輔
 (74) 代理人 100105463
 弁理士 関谷 三男

最終頁に続く

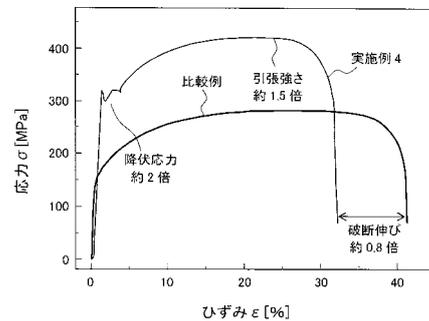
(54) 【発明の名称】 鋼材の製造方法

(57) 【要約】

【課題】 鋼材に対して厳格な温度管理を行うことなく安価に処理を行うことができ、機械的強度を高めつつ、靱性の低下もほとんど招かない鋼材の製造方法を提供する。

【解決手段】 放電プラズマから引き出して加速された電子ビームを、浸窒処理ガスの雰囲気中に導入して浸窒処理ガスをプラズマ化し、プラズマ化した浸窒処理ガスに低炭素鋼材を接触させて、該低炭素鋼材の表面から内部に、前記浸窒処理ガスの窒素原子を固溶させる。

【選択図】 図5



【特許請求の範囲】

【請求項1】

放電プラズマから引き出して加速された電子ビームを、浸窒処理ガスの雰囲気中に導入して浸窒処理ガスをプラズマ化し、

プラズマ化した浸窒処理ガスに低炭素鋼材を接触させて、該低炭素鋼材の表面から内部に、前記浸窒処理ガスの窒素原子を固溶させることを特徴とする鋼材の製造方法。

【請求項2】

前記低炭素鋼材は、非合金鋼からなることを特徴とする請求項1に記載の鋼材の製造方法。

【請求項3】

前記浸窒処理ガスは、窒素ガスであることを特徴とする請求項1又は2に記載の鋼材の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、鋼材の製造方法に係り、特に、炭素含有量が低く、合金元素が添加されていない安価な鋼材であっても、その鋼材の機械的強度を向上させるに好適な鋼材の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来から、炭素鋼などの鋼材（鉄系金属材料）は、他の金属に比べて汎用性が高いことから、工業的に広い分野で利用されている。鋼材のなかでも冷間圧延鋼板や、機械構造用炭素鋼のうち炭素含有量が低い鋼材は、Ni、Cr、Moなどの遷移金属を含まない鋼であるため、低廉に製造できると共に、機械加工性に優れていることから、特に利用されることが多い。

【0003】

しかしながら、このような低炭素鋼材は、炭素含有量が少なく、その中に遷移金属を含まないため焼入れにより鋼材の機械的強度を向上させ難く、熱処理により遷移金属と鉄との合金化により鋼材の機械的強度を向上させることも容易ではなかった。

【0004】

このような点を鑑みて、例えば、低炭素鋼材をプレス成形し、その後、プレス成形により歪を与えた部位に、熱処理を施す鋼材の製造方法が提案されている。具体的な熱処理としては、低炭素鋼材の歪を与えた部位に、高周波誘導加熱により急速加熱し、その後急冷して、金属組織の微細化を図るものである（例えば、特許文献1参照）。これにより、熱処理前の強度の1.4～4倍程度のプレス成形品を得ることができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2008-013835号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、一般的にプレス成形等により金属加工を行った場合、塑性変形の大きい部位は、組織が微細化することにより加工硬化が生じるため、その部位の機械的強度は、他の部位のものに比べて高くなる。すなわち、その他の部位（塑性変形のほとんど生じていない部位）の機械的強度を高めることはできない。

【0007】

そして、特許文献1に記載の方法であっても、プレス成形等により塑性変形（加工硬化）した部位に熱処理により機械的強度を高めることができるものであり、塑性変形がほとんどない部位の機械的強度も、十分に高めることができるものではない。また、特許文献

10

20

30

40

50

1のように、塑性変形後、熱処理を行った部位は、確かに機械的強度が向上するが、その向上に伴って、鋼材の靱性が極端に低下してしまう。

【0008】

さらに、高周波誘導加熱により熱処理を行う場合には、急速に鋼材を加熱することができるものの、熱電対等により温度管理をすることが難しい。また、連続ラインなどでは、鋼材そのものが移動するため、急速加熱後の急冷の温度管理も難しいものである。

【0009】

本発明は、上記する問題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、鋼材に対して厳格な温度管理を行うことなく安価に処理を行うことができ、機械的強度を高めつつ、靱性の低下もほとんど招かない鋼材の製造方法を提供することにある。

10

【課題を解決するための手段】

【0010】

前記課題を解決すべく、発明者らは、鋭意検討を重ねた結果、一般的に汎用される低炭素鋼材は、鋼材に含まれる炭素含有量が他の鋼材に比べて少なく、Ni、Cr、Mo等の遷移金属を含まない点に着眼した。

【0011】

そして、このような低炭素鋼材に対して、電子ビーム励起窒素プラズマ処理を行うことにより、窒素原子が、低炭素鋼材の表面層ばかりでなく、内部にまで固溶し、鋼材の靱性を損なうことがなく、画期的に機械的強度を向上させることができるとの新たな知見を得た。

20

【0012】

本発明は、このような新たな知見に基づくものであり、本発明に係る鋼材の製造方法は、放電プラズマから引き出して加速された電子ビームを、浸窒処理ガスの雰囲気中に導入して浸窒処理ガスをプラズマ化し、プラズマ化した浸窒処理ガスに低炭素鋼材を接触させて、該低炭素鋼材の表面から内部に、前記浸窒処理ガスの窒素原子を固溶させることを特徴とするものである。

【0013】

本願の発明によれば、プラズマ化された浸窒処理ガスの窒素原子を、低炭素鋼材の表面から内部に固溶させることができる。すなわち、低炭素鋼材の表面層だけでなく、内部にまで窒素原子が固溶されるので、厳格に温度管理が必要な特殊な熱処理を行うことなく、安価に鋼材の機械的強度を向上させることができると共に、鋼材の靱性の低下を抑制することができる。

30

【0014】

さらに、いわゆる電子ビーム励起窒素プラズマ処理を行うことにより、たとえ複雑な形状の鋼材であっても、ガス窒化処理に比べて、均一かつ高速で窒素原子を固溶させることができる。すなわち、一般的に、処理ガスにアンモニアガス等を用いた場合には、50時間～72時間程度加熱して、アンモニアガスの窒素原子を鋼材表面に固溶させるところ、本発明では、数時間で窒素原子を固溶させることができる。

【0015】

また、上述したように、低炭素鋼材は、加工性に優れているため、複雑な形状に加工を行うことが可能であり、このような複雑な形状の加工部材であっても、加工部位にかかわらず、鋼材全体に均一かつ高速で窒素原子を固溶させることができ、短時間で機械的強度の高い加工部材を得ることができる。

40

【0016】

本発明でいう「低炭素鋼材」とは、一般的な低炭素鋼からなる鋼材であり、炭素鋼のうち炭素含有量が0.15質量%以下の炭素含有量の低い炭素鋼材であり、より好ましくは、0.005質量%の極低炭素鋼材である。

【0017】

また、より好ましくは、本願の鋼材の製造方法における前記低炭素鋼材は、非合金鋼である。発明者らの研究によれば、電子ビーム励起窒素プラズマ処理により、例えば、合金

50

鋼の表面層に窒素原子を固溶させ、耐摩耗性及び耐食性を向上させることができ、これらの特性は、合金鋼に含まれるNi、Cr、Moなど、合金化に寄与する遷移元素（合金元素）に起因しているとの知見を得ている。すなわち、本発明では、低炭素鋼として非合金鋼を用いることにより、合金元素を含まないため窒素原子の内部への固溶拡散が阻害されることなく、より確実に鋼材の内部にまで窒素原子を含有させることができる。また、Ni、Cr、Moなどの遷移金属である合金元素を含有させないので、安価に製造することができる。

【0018】

ここで、合金鋼とは、一般的には、Ni、Cr、Moなどが含有した特殊鋼をいい、たとえば、クロム鋼、クロムモリブデン鋼などの合金鋼（JIS規格：SCr、SCMなど）だけでなく、工具に使用される合金工具鋼（JIS規格：SKS、SKDなど）、ステンレス鋼、軸受鋼、バネ鋼などの特殊用途鋼（JIS規格：SUS、SUJ、SUPなど）を挙げることもできる。

10

【0019】

従って、本発明に係る「非合金鋼」とは、上述した炭素含有量を満たしつつ、Ni、Cr、Mo等の遷移金属が、不可避不純物以外に含まない炭素鋼のことをいう。従って、非合金鋼からなる低炭素鋼は、遷移金属と鉄の合金化合物は含まない、炭素含有量が上述した範囲の炭素鋼をいう。

【0020】

また、本発明に係る浸窒処理ガスとは、例えば、窒素ガス、アンモニアガス、尿素ガスを含むガスであり、これらのガスにさらに、水素ガス、アルゴンガスなどの不活性ガスを含んでいてもよい。しかしながら、より好ましくは、本願の発明に係る鋼材の製造方法の浸窒処理ガスは、窒素ガスであることがより好ましい。

20

【0021】

本発明によれば、発明者らの実験から、アンモニアガス等の他の浸窒処理ガスを用いた場合には、鋼材の表面層で、鉄と窒素が合金化し、この合金化により、窒素原子の内部への固溶が阻害される場合があるが、窒素ガスを用いた場合には、このような合金化は発現され難く、鋼材の内部にまで窒素原子を固溶することができる。

【発明の効果】

【0022】

本発明によれば、炭素含有量が低く、合金元素が添加されていない安価な鋼材であっても、鋼材に対して厳格な温度管理を行うことなく安価に処理を行うことができ、機械的強度を高めつつ、靱性の低下もほとんど招かない鋼材を得ることができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本実施形態に係る鋼材を製造するための浸窒処理装置の模式的な全体構成図。

【図2】本実施形態に係る鋼材の製造の工程を示したフロー図。

【図3】実施例1～3及び比較例の鋼材の表面からの深さと、ビッカース硬度と、の関係を示した図。

【図4】実施例3～5及び比較例の鋼材の表面からの深さと、ビッカース硬度と、の関係を示した図。

40

【図5】実施例4及び比較例の鋼材の引張試験による応力-ひずみ線図を示した図。

【発明を実施するための形態】

【0024】

以下に、図面を参照して、本発明に係る鋼材の製造方法を本実施形態に基づいて説明する。

図1は、第一実施形態に係る本実施形態に係る鋼材を製造するための浸窒処理装置の模式的な全体構成図である。図1に示す浸窒処理装置は、電子ビーム励起プラズマ処理装置（EBEP（Electron-Beam-Excited Plasma）処理装置）の高密度窒素ラジカルを利用して、鋼材への窒素原子の固溶を効率よく行うようにしたも

50

のである。

【0025】

E B E P処理装置100は、放電プラズマ41を生成する放電室1、放電室1で生成された放電プラズマから引き出した電子ビーム42を加速させる加速室2、及び、加速室2からの電子ビーム42により浸窒処理ガスをプラズマ化して鋼材と反応させる反応室3を主に備えている。

【0026】

放電室1は、フィラメント11により加熱されたカソード電極12から電子が放出され、アノード電極13との間で放電を維持するように構成されている。この放電室1にはマスフローコントローラ14を介してアルゴンガスが導入され、放電プラズマ41が生成される。

10

【0027】

加速室2は、アノード電極13を介して、放電プラズマ41から電子を引き出し、この電子を収束して電子ビームにするように構成されている。具体的には、加速室2は、アノード電極13とこれに対向する加速電極21の間に加速電圧が印加されるように、加速電源23が接続されている。一方、アノード電極13と加速電極21には、磁場が形成されるようにコイル22が配置されている。このような装置構成により、コイル22で形成される磁場によって、放電室1から引き出された電子は、集束されて電子ビーム42となり、反応室3に入射する。

【0028】

通常の電子銃が数kVの高電圧で数100mA程度の電子流が得られるに過ぎないのに対して、E B E P処理装置100は、50~150Vの低電圧で10A以上の大電流の電子ビームを引き出すことができる。また、電子は、加速室2で印加される加速電圧により直接加速されて、加速電圧に対応するエネルギーを持つようになる。

20

【0029】

反応室3は、耐熱強化ガラス管31が設けられており、耐熱強化ガラス管31内に真空空間を確保すべく、真空ポンプ(図示せず)に接続されている。また、反応室3の後端には、側壁33を備えており、側壁33は電氣的に接地されている。

【0030】

また、反応室3の内部には、被処理材となる鋼材5を載置するための試料台34が設けられており、試料台34は、バイアス電源35に接続されている。さらに、耐熱強化ガラス管31内にそれぞれマスフローコントローラ36を介して水素ガス、窒素ガス、アルゴンガスが供給されるようになっている。また、試料台34にはヒータ37が設けられている。このようにして、反応室3に入射した電子ビームは、反応室内の気体分子(窒素分子)と衝突し、窒素分子を励起・電離・解離して電子ビーム励起プラズマ(E B E P)43を生成することができる。

30

【0031】

なお、本実施形態では、試料台34を設けたが、反応室3の内部で、鋼材5への浸窒処理を行うことができるのであれば、反応室3の内部空間に鋼材5を吊るすような装置構成にしてもよい。これにより、以下に示す処理方法で、鋼材5の全面を容易に浸窒処理することができる。

40

【0032】

このようなE B E P処理装置100を用いて、鋼材5の製造を行う。図2は、本実施形態に係る鋼材の製造の工程を示したフロー図である。まず、図2に示すように、ステップS1において、被処理材としての鋼材5を準備し、これを反応室3の試料台34に載置し、E B E P処理装置100内を真空に引く。

【0033】

ここで、準備する鋼材5は、炭素含有量が、0.15質量%以下の低炭素鋼材であり、Ni、Cr、Moなどの合金元素(遷移元素)を含まない低炭素非合金鋼材である。具体的には、炭素含有量が上記範囲の軟鋼、極軟鋼などが好ましく、熱間圧延軟鋼板(J I S

50

規格：SPH材（SPHC、SPHD、SPHEなど）や、冷間圧延鋼板（JIS規格：SPC材（SPCC、SPCD、SPCRなど））や、機械構造用炭素鋼のうちでも炭素の含有量が低い鋼材（JIS規格：S10C～S15Cなど）を挙げることができる。

【0034】

また、この鋼材5は、所望の形状に、曲げ加工、プレス加工、切削加工等の機械加工されていることがより好ましい。これは、後述する工程において、鋼材5そのものの機械的強度が向上するからであり、低炭素鋼材は、この時点では、他の鋼材に比べて機械加工性に優れているからである。

【0035】

ここで、真空吸引後、反応室に水素ガスを供給して電子ビームを導入し、水素プラズマを発生させて、鋼材5の表面を、所定時間（30分程度）クリーニングしてもよい。その間にヒータ37で、反応温度まで、鋼材5を加熱して昇温してもよい。

10

【0036】

その後、反応室3内の真空を維持しながら、水素ガス（クリーニングを行わない場合には内部にある空気）を窒素ガスに置換する（S2）。ここでは、反応性を高めるために窒素ガスのみで置換を行うが、後述するように、場合によっては、窒素ガスとアルゴンガスを混合した混合ガスを用いてもよい。また、この際の反応室3内の圧力は0.6Pa程度として、従来の窒化方法と比較すると低真空で反応ガス濃度が高い状態にして反応効率を向上させることができる。

【0037】

20

次に、ステップS3に進み、加速電源23の加速電圧を窒素の解離断面積が大きくなる50～150eVの範囲内の例えば80Vなどに選択する。これにより、放電プラズマから引き出した電子ビームが加速され、加速された電子ビームが反応室3内の窒素ガスの雰囲気中に導入され、窒素ガスがプラズマ化される。具体的には、窒素ガスの雰囲気中に、電子ビームを導入することにより、窒素ガスが、 N_2 （窒素ガス）+e（電子）→2N（窒素原子）+e（電子）のように解離し、この窒素原子が、鋼材5の表面から内部に解離する。このようにしてプラズマ化された窒素ガスは、高密度（高濃度）窒素プラズマであり、窒素ガスの励起・電離・解離を極めて効率的に行うことができる。

【0038】

30

そして、窒素ガスをプラズマ化すると共に試料台34にバイアス電源35で発生するバイアス電圧を印加すると、プラズマ化した窒素ガスに鋼材5が接触する。これにより、プラズマ中の荷電粒子が鋼材5の表面をスパッタリングして表面の酸化被膜等を除去すると同時に、窒化反応（浸窒反応）が同時に起こって、鋼材5の表面から内部に、プラズマ化した窒素ガス窒素原子を、固溶させることができる。

【0039】

ここで、窒素ガスよりアルゴンガスの方が、スパッタリング効果が大きいので、反応ガスとして窒素ガスとアルゴンガスの混合ガスを利用するが、アルゴンガスを含めると、その量に応じて窒素ガスによる浸窒処理の処理速度が遅くなるので、鋼材5をクリーニングしたい程度に合わせて、適当なバイアス電圧とアルゴンガスと窒素ガスのガス配合を選定することが望ましい。

40

【0040】

そして、所定時間浸窒反応を継続させて、所望の機械的強度となるまで、鋼材の表面から内部に窒素原子を固溶させることができれば、ステップS4に進み、冷却装置を稼働させて冷却する。なお、この浸窒反応を反応させる時間は、予備実験により決定することができる。

【0041】

このようにして、得られた鋼材は、低炭素鋼材を用いて処理をおこなったので、この鋼材は、炭素含有量が他の鋼材に比べて少なく、窒素原子が固溶しやすい。従って、金属組織を微細化させることなく、さらには特殊な熱処理を行うことなく、窒素ガスの窒素原子を、鋼材5の表面層だけでなく、内部にまで固溶拡散させることができる。さらには、こ

50

の鋼材は、Ni、Cr、Moなど合金元素を含まない低炭素鋼材であるため、より鋼材に内部に窒素原子を固溶拡散させることができる。このようにして、安価に入手可能な汎用性の高い鋼材を予め機械加工して、複雑な形状の鋼材であっても、均質に機械的強度を向上させることができると共に、鋼材の靱性の低下をも抑制することができる。

【実施例】

【0042】

以下に本発明を実施例により説明する。

(実施例1)

図1に示すEBEP処理装置を用いて、鋼材を製造した。まず、被処理材となる鋼材として、厚さ1.2mm以下の表1に示す冷間圧延鋼板(JIS規格:SPCC材)を準備した。この鋼材を、平行部の幅6.25mm、平行部の長さ30mmの引張試験片(JIS規格13B号の1/2スケール)に加工した。

10

【0043】

【表1】

組成	C	Si	Mn	P	S	残部
(質量%)	0.12以下	—	0.5以下	0.04以下	0.045以下	鉄及び不可避不純物

【0044】

20

次に、鋼材の表面を、中心線平均粗さRa0.5 μ mの表面粗さにバフ研磨し、研磨後の鋼材をアセトンで10分間洗浄した。このようにして、洗浄した鋼材を図1に示すEBEP処理装置に投入した。なお、このEBEP処理装置の反応室は、内径155mmの石英管からなり、端部には、小型EBEP源(図1に示す放電室1及び加速室2)を搭載し、図1に示すヒータ37の代わりに、その外周にヒータが搭載されたものを用いた。また、鋼材は、小型EBEP源から50cmの位置に配置した。

【0045】

そして、このようなEBEP処理装置を用いて、窒素ガス及びアルゴンガスの分圧を、それぞれ0.12Pa及び0.14Paとなるように、窒素ガス及びアルゴンガスを反応室に導入した。そして、電子ビームエネルギー80eV、電子ビーム電源8A、EBEP密度 $\sim 10^{-10}$ cm⁻³、処理温度530 $^{\circ}$ C、バイアス電圧-50V、処理時間0.25時間(15分)の条件で、浸窒処理を行い、鋼材を製作した。

30

【0046】

(実施例2～5)

実施例1と同じようにして、鋼材を製造した。実施例2～5が実施例1と相違する点は、実施例2～5のEBEP処理装置による浸窒処理時間を、それぞれ、1時間、2時間、6時間、12時間にした点である。

【0047】

(比較例)

実施例1と同じ鋼材を準備した。実施例1と相違する点は、EBEP処理装置による浸窒処理を行っていない点である。

40

【0048】

<評価方法>

[硬さ試験]

実施例1～4及び比較例の鋼材の断面を切断し、表面から深さ方向に沿って、押込み荷重0.01kgfの条件でビッカース硬さ試験を行った。この結果を、図3及び図4に示す。なお、図3は、実施例1～3及び比較例の鋼材の表面からの深さと、ビッカース硬度と、の関係を示した図であり、図4は、実施例3～5及び比較例の鋼材の表面からの深さと、ビッカース硬度と、の関係を示した図である。

[引張試験]

50

実施例4及び比較例の鋼材に対して引張試験を行ったこの結果を図5に示す。

【0049】

<結果>

実施例1～5は、比較例に比べて、ビッカース硬さが上昇（150HV_{0.01}から190HV_{0.01}に上昇）し、さらに、実施例3～5に示すように、2時間の処理時間で、鋼材の全範囲までビッカース硬さが上昇した。

【0050】

また、引張試験の結果から、実施例4は、比較例に比べて、最大引張強さが約1.5倍に上昇（280MPaから420MPaに上昇）したにもかかわらず、破断伸びは、0.8倍にとどまった。

【0051】

<考察>

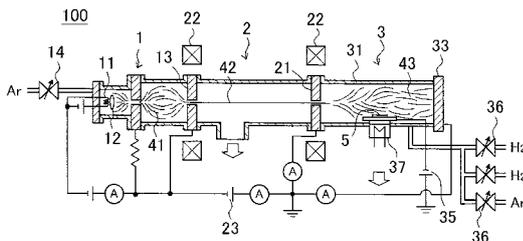
従来の一般的な合金鋼の窒化処理では、100μm程度しか窒素原子が固溶しないところ、実施例1～5の結果からも明らかなように、このような鋼材の製造方法によれば、低炭素非合金鋼材を用いることにより、窒素原子が鋼材の内部にまで固溶拡散し、これにより、鋼材の靱性がほとんど低下することなく、鋼材の機械的強度を向上させることができると考えられる。

【符号の説明】

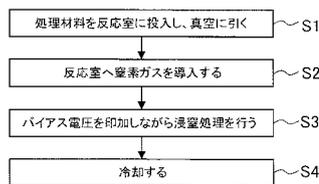
【0052】

1：放電室、2：加速室、3：反応室、5：鋼材、11：フィラメント、12：カソード電極、13：アノード電極、14：マスフローコントローラ、21：加速電極、22：コイル、23：加速電源、31：耐熱強化ガラス管、33：側壁、34：試料台、35：バイアス電源、36：マスフローコントローラ、37：ヒータ、41：プラズマ、42：ビーム、43：電子ビーム励起プラズマ（EBEP）

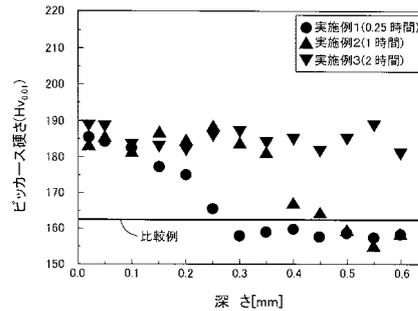
【図1】



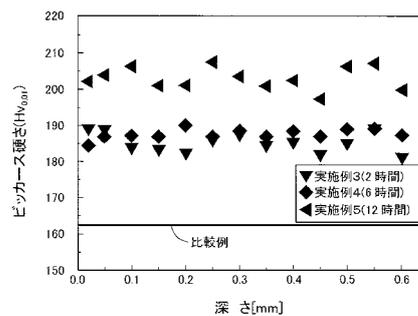
【図2】



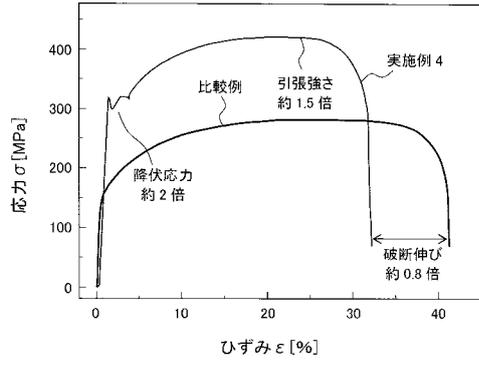
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

特許法第30条第1項適用申請有り ▲1▼2008年(平成20年)秋季 第69回応用物理学会学術講演会にて発表 刊行物名:2008年(平成20年)秋季 第69回応用物理学会学術講演会講演予稿集 第1分冊
発行所:社団法人 応用物理学会 開催日:2008年9月2日(火)~5日(金) 発表日:2008年9月2日(火) 講演番号:2p-ZD-16 講演予稿集発行日:2008年9月2日 ▲2▼電子通信回線でのプログラム発表 刊行物名:第25回プラズマ・核融合学会年会オンライン予稿集 学会名:第25回プラズマ・核融合学会年会 講演番号:2aC01P 電子通信回線掲載日:2008年11月7日 掲載アドレス:http://www.jspf.or.jp/jspf_annual08/index.html

(72)発明者 市來 龍大

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 豊田工業大学内

(72)発明者 原 民夫

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 豊田工業大学内

(72)発明者 奥宮 正洋

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 豊田工業大学内

(72)発明者 恒川 好樹

愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1 豊田工業大学内

Fターム(参考) 4K028 BA02 BA12