

(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2011-139584

(P2011-139584A)

(43) 公開日 平成23年7月14日(2011.7.14)

(51) Int.Cl. F 1 テーマコード (参考)  
 H02K 1/18 (2006.01) H02K 1/18 B 5H601

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 10 頁)

(21) 出願番号 特願2009-297629 (P2009-297629)  
 (22) 出願日 平成21年12月28日 (2009.12.28)

(71) 出願人 000001258  
 J F E スチール株式会社  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号  
 (74) 代理人 100147485  
 弁理士 杉村 憲司  
 (74) 代理人 100114292  
 弁理士 来間 清志  
 (74) 代理人 100149700  
 弁理士 高梨 玲子  
 (74) 代理人 100150360  
 弁理士 寺嶋 勇太  
 (72) 発明者 戸田 広朗  
 東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J  
 F E スチール株式会社内

最終頁に続く

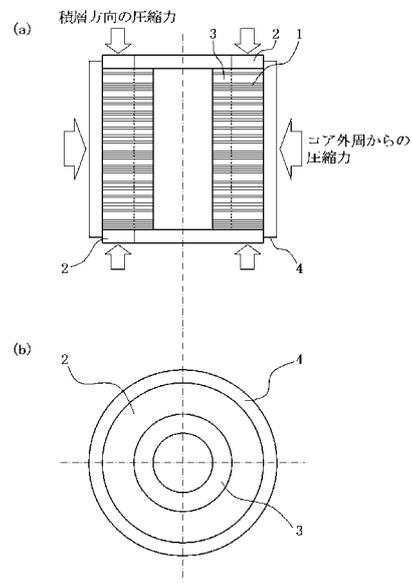
(54) 【発明の名称】 モータコア

(57) 【要約】

【課題】 コア外周から圧縮力が付加された状態での使用に際しても鉄損の劣化を効果的に軽減することができる、モータコアについて提案する。

【解決手段】 ティース部とバックヨーク部を有する電磁鋼板の積層体で構成されるステータをそなえ、該ステータの周方向に10MPa以上の圧縮応力が付与されるモータのコアにおいて、該バックヨークの積層方向に0.3MPa以上の圧縮応力を付与するとともに、前記電磁鋼板の絶縁被膜の厚さを片面当たり0.2 $\mu$ m以上7 $\mu$ m以下、かつ表面粗さを算術平均粗さで2 $\mu$ m以下とする。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

ティース部とバックヨーク部を有する電磁鋼板の積層体で構成されるステータをそなえ、該ステータの周方向に10MPa以上の圧縮応力が付与されるモータのコアにおいて、該バックヨークの積層方向に0.3MPa以上の圧縮応力を付与するとともに、前記電磁鋼板の絶縁被膜の厚さを片面当たり0.2 $\mu$ m以上7 $\mu$ m以下、かつ表面粗さを算術平均粗さで2 $\mu$ m以下とすることを特徴とするモータコア。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、モータコアに関し、特にコア外周から圧縮力が付加された場合に懸念されるコア鉄損の劣化を効果的に低減しようとするものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

家庭用エアコンのコンプレッサーモータは、可変速運転が行われており、最高周波数は200~400Hz程度であって、PWM (Pulse Width Modulation) 制御等により数kHzのキャリア周波数が重畳した状態で使用されている。

また、最近急速に普及しているハイブリッド電気自動車の駆動モータや発電機も、高出力、小型化の観点から数kHzの周波数で駆動されている。

## 【0003】

このようなモータのコア材として使用される無方向性電磁鋼板には、高周波鉄損の低いものが要望されていて、(Si+Al)量が3~4質量%程度の高グレードの電磁鋼板が使用されている。

## 【0004】

ところで、コンプレッサーモータでは、コア締結に焼きばめが適用されているため、モータコアはその外周から100MPa程度の圧縮力が付加された状態で使用されている。また、ハイブリッドEV (Electric Vehicle) の駆動モータにも、樹脂モールド等が施されることから、モータコアにはその外周から圧縮力が付加されることとなる。

しかしながら、このような圧縮応力下では電磁鋼板の磁気特性は大きく劣化することが知られている。

## 【0005】

圧縮応力下での鉄損特性を改善するものとして、例えば特許文献1には、Si:2.6~4%、比抵抗:50~75 $\times 10^{-8}$  m、結晶粒径:60~165 $\mu$ mとした無方向性電磁鋼板が開示されている。

## 【先行技術文献】

## 【特許文献】

## 【0006】

【特許文献1】特許第4023183号公報

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0007】

しかしながら、特許文献1に開示の材料を用いても、コア外周からの圧縮力付与による鉄損劣化代の改善量は従来材に比べて著しく多いわけではなく、そのため、かかる圧縮力下での鉄損の劣化を抑制する手法が求められている。

## 【0008】

本発明は、上記の要請に有利に応えるもので、コア外周から圧縮力が付加された状態での使用に際しても鉄損の劣化を効果的に軽減することができる、モータコアについて提案することを目的とする。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0009】

10

20

30

40

50

さて、発明者らは、上記の問題を解決すべく鋭意検討を重ねたところ、モータコアの積層方向に圧縮力を付与することにより、焼きばめ時等に付加されるステータの周方向への圧縮応力に起因した鉄損の劣化が効果的に軽減されること、そして用いる電磁鋼板の絶縁被膜の厚み、および表面粗さを規制することが鉄損劣化のさらなる抑制に有効であること、の知見を得た。

本発明は上記の知見に立脚するものである。

#### 【0010】

すなわち、本発明の要旨構成は次のとおりである。

ティース部とバックヨーク部を有する電磁鋼板の積層体で構成されるステータをそなえ、該ステータの周方向に10MPa以上の圧縮応力が付与されるモータのコアにおいて、該バックヨークの積層方向に0.3MPa以上の圧縮応力を付与するとともに、前記電磁鋼板の絶縁被膜の厚さを片面当たり0.2 $\mu$ m以上7 $\mu$ m以下、かつ表面粗さを算術平均粗さで2 $\mu$ m以下とすることを特徴とするモータコア。

10

#### 【発明の効果】

#### 【0011】

本発明によれば、ステータの円周方向に圧縮応力が付加された使用状態下においても、鉄損の低いモータコアを得ることができる。

従って、本発明のモータコアを用いることにより、焼きばめや樹脂モールド等によりコア材料に圧縮力が付加されるエアコンプレッサーモータや、ハイブリッドEV用駆動モータ、EV用駆動モータ、FCEV用駆動モータ、高速発電機等において、その鉄損を低減することが可能となる。

20

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0012】

【図1】モータコアにその外周から圧縮力が付加された状態およびバックヨークの積層方向に圧縮応力を付与する要領を示した図である。

【図2】ステータコアの円周方向の圧縮応力と鉄損との関係を示した図である。

【図3】積層方向の圧縮応力と鉄損との関係を示した図である。

【図4】電磁鋼板の被膜厚さが0.1 $\mu$ mの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を示した図である。

【図5】電磁鋼板の被膜厚さが0.2 $\mu$ mの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を示した図である。

30

【図6】電磁鋼板の被膜厚さが1 $\mu$ mの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を示した図である。

【図7】電磁鋼板の被膜厚さおよび表面粗さRaと鉄損との関係を示した図である。

#### 【発明を実施するための形態】

#### 【0013】

以下、本発明の解明経緯について説明する。

家電用エアコンプレッサーモータやハイブリッド電気自動車用のモータでは、コアを固定するために、ハウジングの焼きばめやハウジングへの圧入が行われる。この焼きばめや圧入によりモータコアに付加される圧縮応力は20~150MPa程度と言われており、かような圧縮応力下での鉄損劣化抑制手法が望まれていた。

40

#### 【0014】

まず、発明者らは、このような圧縮応力下での鉄損特性について詳細な検討を行ったところ、圧縮応力によってヒステリシス損だけでなく渦電流損も増加することが明らかとなった。ハイブリッドEVモータやエアコンプレッサーモータは高周波域で駆動されるだけでなく、インバータ制御が行われているため数kHzの高調波も加わっていることから、渦電流損による鉄損劣化を抑制することが重要となる。

#### 【0015】

そこで、発明者らは、この渦電流損劣化の原因について検討したところ、ステータコア(モータコア)に圧縮応力が付加された場合、それを緩和するためにコアを構成する電磁

50

鋼板の板面方向に磁化ベクトルが向き、この状態で磁化されると板面内で渦電流が流れ、これが鉄損劣化の原因であることが明らかとなった。

【0016】

そこで、さらに発明者らは、磁化ベクトルが電磁鋼板の板面方向を向くことを抑制することが渦電流損抑制の観点で重要と考え、その対策として、電磁鋼板の板面方向すなわちコアにおける積層方向に応力を付与することに思い至った。

【0017】

上記の考えを検証するため、板厚：0.35mmの3質量%Si鋼板を用い、12スロットのステータコアを打ち抜きにより作製した。ここで、ステータ外径は100mm、積み厚は60mmとした。

ついで、このコアに、焼きばめ代：5～50 $\mu$ mで焼きばめを行った。その際、コアバック中央部の円周方向の圧縮応力を歪みゲージを用いて測定したところ、円周方向の圧縮応力（焼きばめ応力）は5～50MPaであった。

ついで、積層方向に圧縮応力を付与するため、図1に示すように、バックヨーク部1に非磁性ステンレス鋼で作製したリング2を取り付け、このリング2を油圧プレスでコア積層方向に締めることにより、種々の圧縮力を付与した。その際の圧縮力は、リングとステータコア間に感圧紙を挟むことにより測定した。なお、図1中、番号3はティース部、4は焼きばめリング（ハウジング）である。

【0018】

図2に、ステータコアの円周方向の圧縮応力がコア鉄損に及ぼす影響について調べた結果を示す。なお、ステータコアの鉄損は、バックヨーク部の非磁性体の上から励磁コイル、ピックアップコイルを巻き線することにより、ステータコア円周方向の鉄損を測定することにより行った。

同図に示したとおり、コア外周からの圧縮応力が10MPa以上になると、鉄損の劣化が顕著になることが確認された。

【0019】

図3に、焼きばめ応力（円周方向の圧縮応力）が30MPaであるモータコアおよびかような焼きばめを行わなかったモータコアについて、積層方向（板厚方向）に圧縮力を付与した際の付与応力とコア鉄損との関係について調査した結果を示す。

同図から明らかのように、焼きばめを行わない場合は、積層方向に圧縮力を付与しても鉄損の変化はほとんどなかったが、焼きばめを行った場合には、積層方向に圧縮力を付与することによって、鉄損が大きく改善されることがわかる。特に付与応力が0.3MPa以上の場合に改善代は大きいことが判明した。

そこで、本発明では、積層方向の圧縮応力は0.3MPa以上、より好ましくは0.5MPa以上、さらに好ましくは3MPa以上とした。但し、積層方向に付与する圧縮応力があまりに大きいと、コア変形等の弊害を招くおそれがあるので、付与応力は100MPa以下とすることが好ましい。

ここで、板厚方向の圧縮応力は、焼きばめ応力が付与されるバックヨークの平均応力であり、バックヨーク全面において均一に付与されることが好ましい。

【0020】

なお、従来のもータコアにおいても、カシメ等により積層方向に圧縮力が付加される場合があるが、その場合の圧縮応力は0.2MPa以下程度の小さなものであり、またこの技術は、焼きばめ応力に起因した鉄損劣化を抑制することを狙いとしたものではなく、単にコアを固定することを目的としたものである。

また、ボルト締めにより固定されるモータコアも存在し、積層方向に圧縮力が加わっている場合もあるが、ボルト締めによる圧縮力はボルト近傍のみであり、磁束が主に流れているバックヨークには圧縮力はほとんど作用していない。しかも、ボルト締めにより固定されたモータコアに焼きばめを施すことは従来行われておらず、ボルト締めの目的は焼きばめ応力に起因した特性劣化を抑制するためのものではない。

【0021】

10

20

30

40

50

次に、モータコアの鉄損に及ぼす電磁鋼板の表面粗さおよび絶縁被膜厚さの影響を調査した。

板厚：0.30mmのSi：3質量%およびAl：1質量%を含有する鋼板を種々の表面粗さを有するロールで圧延することにより、表面粗さを算術平均粗さ（Ra：JIS B 0601-2001）で0.1～5 μmの範囲に変化させた鋼板の両面に、被膜厚さを片面当たり0.1～7 μmと変化させて半有機被膜を塗布し、外径：100mmのステータコアを作製し、図1に示したようにしてモータコアを作製後、鋼板の表面粗さおよび被膜厚さと鉄損との関係について調査した。なお、円周方向の圧縮応力は30MPaであり、また積層方向への付与応力は3MPaとした。

まず、図4に、被膜厚さが0.1 μmの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を示す。同図に示すとおり、積層方向に圧縮力を付与しない場合には、鉄損に及ぼす表面粗さの影響が認められなかった。また、0.5MPaの圧縮応力を付与した場合には、若干の鉄損低減が認められたものの、鉄損に及ぼす表面粗さの影響はほとんど認められなかった。被膜厚みが薄い場合は、鋼板間の絶縁性（層間抵抗）が充分でなく、板厚方向に圧縮力を加えることで、かえって、鋼板間に渦電流が流れやすくなったために、圧縮力による鉄損低減効果（面内渦電流損の低減効果）が減少してしまったものと考えられる。

#### 【0022】

次に、図5に被膜厚さが0.2 μmの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を、図6に被膜厚さが1 μmの場合の表面粗さRaと鉄損との関係を、それぞれ示す。いずれの場合においても、積層方向に圧縮力を付与しない場合には、鉄損に及ぼす表面粗さの影響は認められなかった。一方、0.5MPaの圧縮応力を付与した場合には、いずれの場合においても、表面粗さRaが2 μm以下では顕著な鉄損減少が認められたものの、表面粗さRaが2 μmを超えると鉄損減少効果が小さくなっていくことがわかる。これは、表面粗さRaが大きいと、鋼板表面に均一な圧縮応力が掛かりにくくなるためと考えられる。

#### 【0023】

さらに、図7に、被膜厚さおよび表面粗さRaと鉄損との関係を示す。同図には、圧縮応力を付与しない場合の鉄損に対して、0.5MPaの圧縮応力を付与した場合の鉄損が15%以上減少しているものを印で示した。同図より、電磁鋼板の絶縁被膜の厚さが片面当たり0.2 μm以上、かつ電磁鋼板の表面粗さRaが2 μm以下である場合に、圧縮応力付与時の鉄損が無付与時に比べて15%以上減少していることがわかる。

#### 【0024】

ここで、被膜厚さが7 μmを超えると、鉄心として積層占積率の低下が著しく、モータ効率が低下することから、上限は7 μmとする。従って、電磁鋼板の絶縁被膜の厚さは、0.2 μm以上7 μm以下とする。

#### 【0025】

なお、鋼板の表面粗さを高める方法はどのようなものでも構わないが、前述のような所定の表面粗さを有するロールで圧延する方法のほか、例えば、絶縁被膜中に直径2 μm以上の無機系の粒子を混入させる等の方法がある。

また、鋼板の絶縁被膜厚さを調整する方法もどのようなものでも構わないが、液比重、ニップ圧およびピックアップロールの回転数のいずれか1または2以上の制御により調整するのが一般的である。また、通板速度によっても変えることが可能である。

#### 【実施例1】

#### 【0026】

Siを3.5質量%含有する無方向性電磁鋼板について、種々の表面粗さを有するロールで圧延する、あるいは化学研磨やペーパー研磨を施すことにより、種々の表面粗さを有する、板厚が0.25mmの無方向性電磁鋼板を得た。この鋼板に、絶縁被膜の厚さを片面当たり0.1 μm～7 μmと変化させて、無機、半有機あるいは有機被膜を塗布した。これらを素材として、12スロットのステータコアをクリアランス：5%の金型にて打ち抜いた。ここで、ステータ外径は100mm、積み厚は60mmとした。その後、該コアに、ブルーイング処理あるいは歪取り焼鈍を行って、コア端面を酸化させ、端面短絡を低減ないし防止する処理を行った。

10

20

30

40

50

## 【0027】

次いで、得られたステータコアに焼きばめ代：0～50μmで焼きばめを行った。その際、コアバック中央部の円周方向の圧縮応力を歪みゲージを用いて測定した。ついで、積層方向に圧縮力を付与するため、図1に示したように、バックヨーク部に非磁性ステンレスで作製したリングを取り付け、リングを油圧プレスでコア積層方向に締めることにより圧縮力を変化させた。その際の圧縮応力は、リングとステータコア間に感圧紙を挟むことにより測定した。

また、ステータコアの損失は、バックヨーク部の非磁性体の上から励磁コイル、ピックアップコイルを巻き線することにより、ステータコア円周方向の鉄損を測定した。

かくして得られたステータコアの鉄損 $W_{10/1k}$  (W/kg)について調べた結果を、表1に示す。なお、表1には、鋼板の表面粗さRa、鋼板の被膜厚さ、焼きばめ応力(円周方向の圧縮応力)および積層方向に付与した圧縮応力も併せて示す。

## 【0028】

## 【表1】

表1

No.	表面粗さ Ra (μm)	絶縁被膜 被膜厚さ (μm)	焼きばめ応力 (MPa)	積層方向 圧縮応力 (MPa)	$W_{10/1k}$ (W/kg)	備考
1	0.3	0.4	0	0.0	52.0	比較例
2	0.3	0.4	0	1.0	52.2	比較例
3	0.3	0.4	30	0.0	101.0	比較例
4	0.3	0.4	30	0.1	99.8	比較例
5	0.3	0.4	30	0.3	85.5	発明例
6	0.3	0.4	30	0.5	84.2	発明例
7	0.3	0.4	30	1.0	81.5	発明例
8	0.3	0.4	30	3.0	77.6	発明例
9	0.3	0.4	30	5.0	73.4	発明例
10	0.3	0.4	30	10.0	68.0	発明例
11	0.3	0.4	30	15.0	63.3	発明例
12	0.3	0.2	30	0.5	85.0	発明例
13	0.3	0.1	30	0.3	95.0	比較例
14	2.5	0.3	30	0.3	93.5	比較例
15	0.2	5.0	50	0.0	106.6	比較例
16	0.2	5.0	50	1.0	85.0	発明例
17	1.5	5.0	50	1.0	88.0	発明例
18	3.0	5.0	50	1.0	97.0	比較例
19	1.0	0.1	30	0.5	96.5	比較例
20	1.0	0.2	30	0.5	86.3	発明例
21	2.1	0.4	30	0.3	90.0	比較例
22	1.9	0.4	30	0.3	85.0	発明例

## 【0029】

同表から明らかのように、本発明に従い、バックヨークの積層方向(鋼板の板厚方向)に0.3MPa以上の圧縮応力を付与するとともに、鋼板の表面粗さRaを2μm以下かつ被膜厚さを0.2μm～7μmの範囲とすることにより、焼きばめ応力に起因した鉄損劣化を軽減できることが分かる。

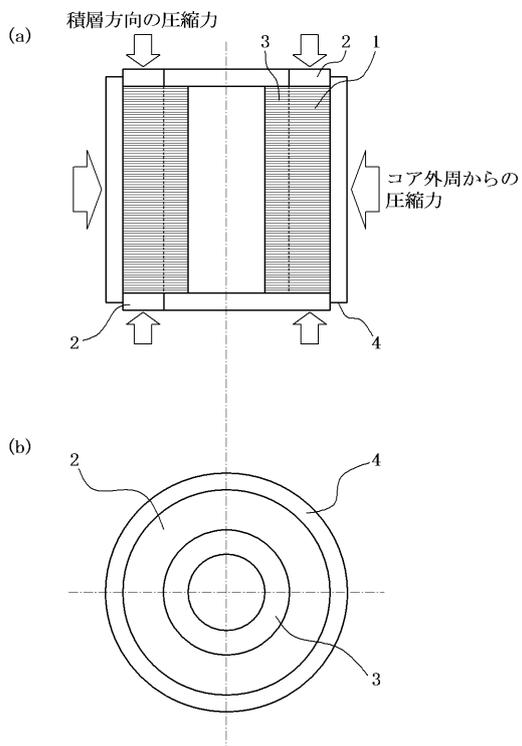
## 【符号の説明】

## 【0030】

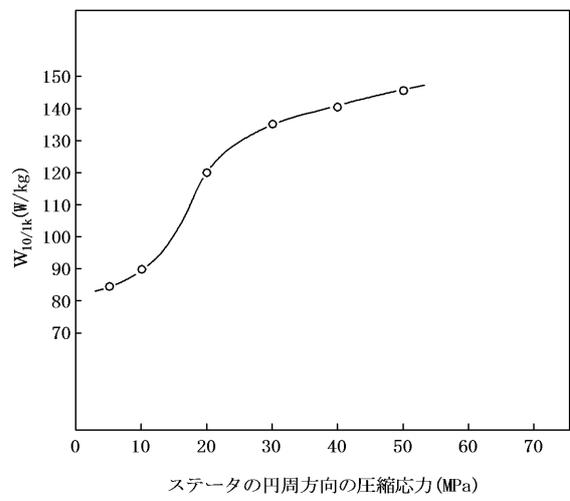
- 1 バックヨーク部
- 2 リング
- 3 ティース部

4 焼きばめリング (ハウジング)

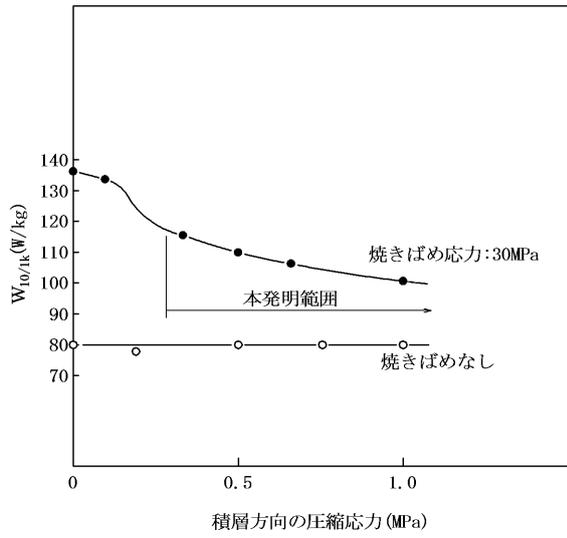
【 図 1 】



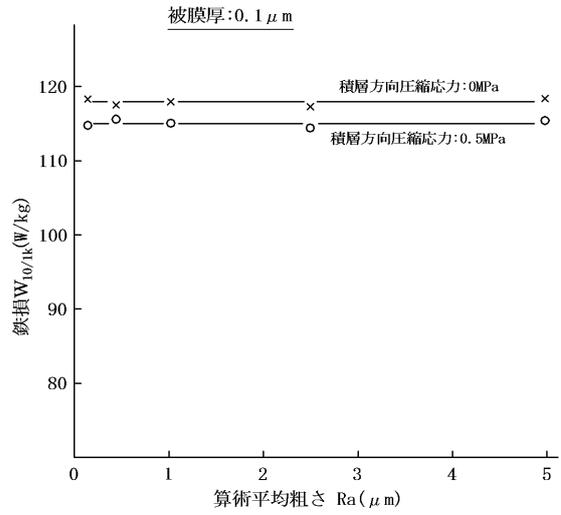
【 図 2 】



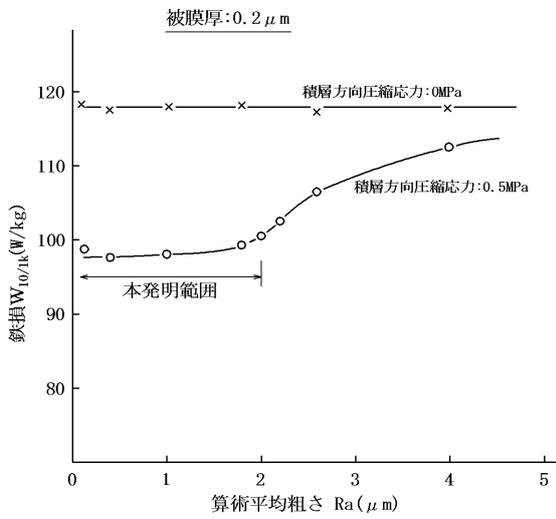
【 図 3 】



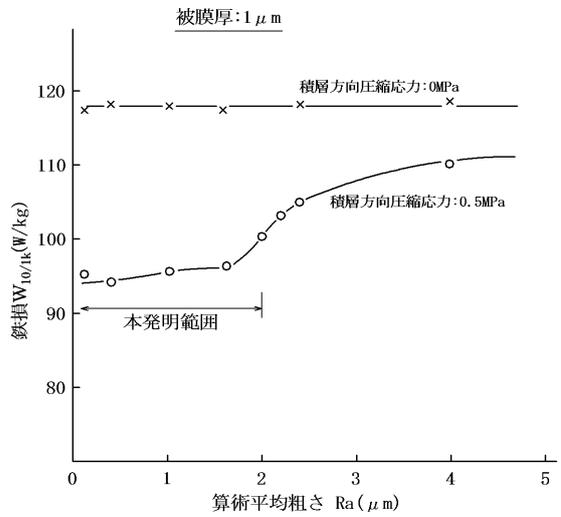
【 図 4 】



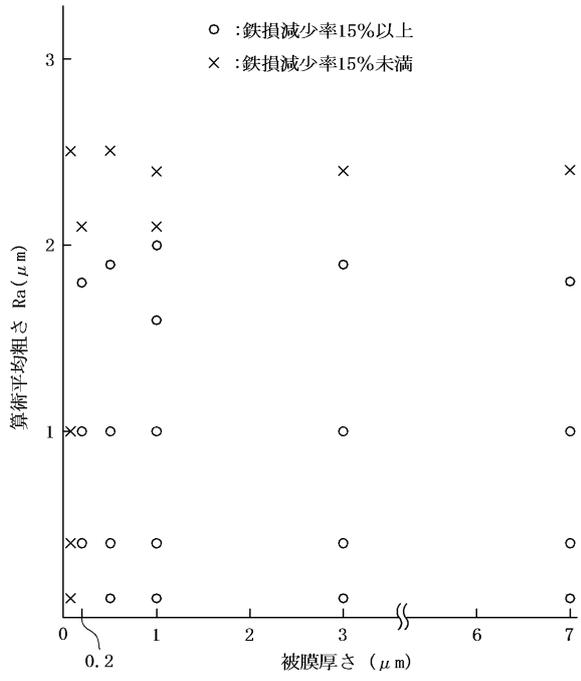
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



---

フロントページの続き

(72)発明者 尾田 善彦  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

(72)発明者 藤田 明  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

(72)発明者 河野 雅昭  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

(72)発明者 財前 善彰  
東京都千代田区内幸町二丁目2番3号 J F E スチール株式会社内

Fターム(参考) 5H601 AA01 AA26 BB01 CC11 DD01 DD11 FF01 FF03 GC12 KK15