

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3972848号  
(P3972848)

(45) 発行日 平成19年9月5日(2007.9.5)

(24) 登録日 平成19年6月22日(2007.6.22)

(51) Int. Cl.		F I			
<b>B 2 1 J</b>	<b>1/02</b>	<b>(2006.01)</b>	B 2 1 J	1/02	Z
<b>C 2 1 D</b>	<b>8/00</b>	<b>(2006.01)</b>	C 2 1 D	8/00	A

請求項の数 3 (全 9 頁)

(21) 出願番号	特願2003-87994 (P2003-87994)	(73) 特許権者	000003207 トヨタ自動車株式会社
(22) 出願日	平成15年3月27日(2003.3.27)		愛知県豊田市トヨタ町1番地
(65) 公開番号	特開2004-292906 (P2004-292906A)	(74) 代理人	110000291 特許業務法人コスモス特許事務所
(43) 公開日	平成16年10月21日(2004.10.21)	(72) 発明者	中野 修 愛知県豊田市トヨタ町1番地 トヨタ自動車株式会社内
審査請求日	平成17年6月16日(2005.6.16)	審査官	小川 武
前置審査			

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 微細結晶粒組織鋼の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

鋼を加工して微細結晶粒組織鋼を製造する方法において、  
鋼をその安定オーステナイト域の温度から急冷する第1の焼き入れを行い、  
その後、鋼をその再結晶温度より低い鍛造前温度からその再結晶温度より高く安定オーステナイト域には達しない鍛造後温度に至るまで鍛造加工する鍛造加工工程を複数回反復するとともに、前記鍛造加工工程の鍛造前温度を後の回ほど高くしていき、前記鍛造加工工程の鍛造後温度を後の回ほど低くしていき、  
最後の鍛造加工工程の鍛造加工後に第2の焼き入れを行うことを特徴とする微細結晶粒組織鋼の製造方法。

【請求項2】

請求項1に記載する微細結晶粒組織鋼の製造方法において、  
 前記鍛造加工工程の鍛造前温度と鍛造後温度との最大差が140K以内であり、  
 前記鍛造加工工程にてその都度再結晶による結晶核の生成を起こさせることを特徴とする微細結晶粒組織鋼の製造方法。

【請求項3】

請求項1または請求項2に記載する微細結晶粒組織鋼の製造方法において、  
 前記第2の焼き入れの後に再結晶温度より低い温度で焼き戻しを行うことを特徴とする微細結晶粒組織鋼の製造方法。

【発明の詳細な説明】

10

20

## 【0001】

## 【発明の属する技術分野】

本発明は、結晶粒を微細化させることにより高い強度、靱性を鋼に付与する微細結晶粒組織鋼の製造方法に関する。さらに詳細には、結晶粒径を概ね10 μm以下にまで微細化させる微細結晶粒組織鋼の製造方法に関するものである。

## 【0002】

## 【従来の技術】

従来の微細結晶粒組織鋼の製造方法としては、特許文献1に記載されている方法が挙げられる。この文献に記載されている方法は基本的に、熱間加工の終段に、フェライト・オーステナイト2相状態で所定の歪み条件での加工を行い、その後空冷する方法である。この方法における対象鋼材の表面温度の履歴は、図3の(a)の部分のように表される。特許文献1では、これにより、3 μm以下の微細結晶粒組織を有する鋼を製造できるとされている。そしてさらに、V、Nb、Ti等の炭素固定元素を添加して炭化物を微細分散させることにより、結晶粒の成長をよりよく抑制できるとされている。

10

## 【0003】

## 【特許文献1】

特開2000-96137号公報

## 【0004】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、前記した従来の技術には、次のような問題点があった。すなわち、平均的には確かに微細な結晶粒組織が得られるものの、局所的には粗大粒の生成を防止できないのである。その原因は、鍛造加工を、フェライト・オーステナイト2相域の温度で行っていることにあると考えられる。これは通常、再結晶温度より相当に高い温度であり、加工直後にはA<sub>3</sub>変態点を越えて安定オーステナイト域に達していると考えられる。このために粗大粒が生成してしまうのである。炭化物を微細分散させてもこれを完全には防止できない。特に、加工後に図3の(b)の部分に示すような後処理を行うと、全体焼き入れのための高温保持の際に粗大粒が生成する傾向がある。

20

## 【0005】

本発明は、前記した従来の技術が有する問題点を解決するためになされたものである。すなわちその課題とするところは、少なくとも表層付近では結晶粒が完全に微細化され、数μmオーダーの微細結晶粒組織で占められた鋼を製造できる微細結晶粒組織鋼の製造方法を提供することにある。

30

## 【0006】

## 【課題を解決するための手段】

この課題の解決を目的としてなされた本発明の微細結晶粒組織鋼の製造方法では、鋼を加工して微細結晶粒組織鋼を製造するに際し、鋼をその再結晶温度より低い鍛造前温度からその再結晶温度より高く安定オーステナイト域には達しない鍛造後温度に至るまで鍛造加工する鍛造加工工程を複数回反復する。このようにすることにより、加工対象である鋼は、鍛造加工されながら再結晶温度を何度も超えることになる。このため再結晶による結晶核の生成が繰り返され、結晶粒の個数が非常に多い状態となる。また、加工開始以後、安定オーステナイト域に達することはない。このため、結晶粒が顕著に成長してしまうことがない。これにより、粗大粒を含まず微細結晶粒組織のみで占められた鋼が製造される。

40

## 【0007】

また、本発明の微細結晶粒組織鋼の製造方法においては、鍛造加工工程の鍛造前温度を後の回ほど高くしていき、鍛造加工工程の鍛造後温度を後の回ほど低くしていく。特に鍛造後温度については、後の回ほど高いと、結晶粒の成長速度が速くなってしまいう傾向がある。よって、鍛造加工工程の鍛造後温度を後の回ほど低くすることが、粗大粒の生成を防止する上で有用なのである。また、鍛造加工を反復する場合、最終形状に近づくほど、すなわち後の回の加工ほど、加工の度合を低くしていくことが一般的に好ましい。このため

50

、各鍛造加工工程における加工発熱量は後の回ほど少ないのである。このため、鍛造前温度を後の回ほど高くしないと、再結晶温度を超えられないことも起こりうるのである。

【0008】

また、本発明の微細結晶粒組織鋼の製造方法においては、鍛造加工工程の鍛造前温度と再結晶温度との最大差、および、再結晶温度と鍛造後温度との最大差が、ともに70K以内であることが望ましい。すなわち、鍛造前温度と鍛造後温度との最大差が140K以内であることが望ましい。鍛造加工工程の鍛造前温度と鍛造後温度との差があまりに大きいと、鍛造後温度が高いことを意味する。これにより結晶粒の成長速度が速くなってしまふおそれがある。このような事態を防止するためには、鍛造前温度と鍛造後温度との最大差を規定しておき、その範囲内で加工することが有用なのである。一般的には、鍛造加工の加工発熱だけで鍛造前後の温度差が140Kを超えてしまふことはまずない。よって、鍛造加工を型加熱なく行うこととすればよい。

10

【0009】

また、本発明の微細結晶粒組織鋼の製造方法においては、鋼をその安定オーステナイト域の温度から急冷する第1の焼き入れを行い、その後鍛造加工工程を複数回反復するとともに、最後の鍛造加工工程の鍛造加工後に第2の焼き入れを行う。すなわち、鍛造加工工程の反復の前に、安定オーステナイト域の温度から焼き入れするのである（第1の焼き入れ）。これにより、全体を均一な組織とすることができる。そして、鍛造加工後には、最後の鍛造加工工程の鍛造後温度から焼き入れを行う（第2の焼き入れ）。そしてその後、再結晶温度より低い温度で焼き戻しを行うことが望ましい。これにより、加工後の鋼に靱性が付与される。

20

【0010】

【発明の実施の形態】

以下、本発明の最良の条件を具体化した実施の形態について、添付図面を参照しつつ詳細に説明する。本発明に係る微細結晶粒組織鋼の製造方法は、炭素鋼、合金鋼その他の構造用鋼材一般を対象鋼材とすることができる。V、Nb、Ti等の炭素固定元素を添加した鋼種を用いる必要はない。ただし、それらの元素を添加した鋼種を用いることを妨げない。

【0011】

本実施の形態では、熱処理および鍛造加工により、図1に示すような温度履歴を対象鋼材に付与する。まず、図1中に「前処理」と表示するように、対象鋼材をA<sub>3</sub>変態点以上の温度まで加熱する。そして、水または油等の冷却媒体により急冷して全体焼き入れを行う。これが第1の焼き入れである。この前処理により、対象鋼材から前履歴の影響を取り除き、その全体を均一な組織とすることができる。

30

【0012】

次に、鍛造加工を繰り返し行う。図1中に「鍛造加工」と表示する部分である。ここで、第n回目の鍛造加工の鍛造前温度をF<sub>s n</sub>、鍛造後温度をF<sub>f n</sub>で表し、対象鋼材のその時点での再結晶温度をR<sub>n</sub>で表すと、次の各関係が成り立つようにする。

$$F_{s n} < R_n < F_{f n} \quad (1)$$

$$F_{s 1} < F_{s 2} < F_{s 3} < \dots \quad (2)$$

$$F_{f 1} > F_{f 2} > F_{f 3} > \dots \quad (3)$$

40

【0013】

(1)式はむしろ、すべてのnについて成り立つ必要がある。この式は、各回の鍛造加工において、再結晶温度より低い鍛造前温度から鍛造加工を開始して、再結晶温度より高い鍛造後温度まで鍛造加工を行う、ということを意味している。すなわち、鍛造加工の繰り返し回数分、対象鋼材は再結晶温度を超えるのである。したがってその都度、再結晶による結晶核の生成が起こる。このことが結晶粒の微細化に寄与する。(2)式は、後の回の鍛造加工ほど、高い鍛造前温度から鍛造加工を開始する、ということを意味している。(3)式は、後の回の鍛造加工ほど、低い鍛造後温度で鍛造加工を終了する、ということを意味している。特に後の回の鍛造加工において高い鍛造後温度まで加工してしまうと、粗大粒が

50

生成してしまうおそれがある。これではそれまでの鍛造加工が無駄になってしまうので、これを防止するためである。ただし(1)式の要請により、その時点での再結晶温度を超える必要がある。

#### 【0014】

なお再結晶温度は、対象鋼材の成分はもちろん加工歴にも影響される。一般には、鍛造加工を受けていない状態での再結晶温度は、絶対温度でその鋼種の融点 $T_m$ の約 $1/2$ である。鍛造加工が加わると、加工度が大きくなるほど再結晶温度は低下する傾向がある。よって、各回の鍛造前温度 $F_{s n}$ および鍛造後温度 $F_{f n}$ は、対象鋼材の成分や各回の鍛造加工の加工度を考慮して決定すべきである。また、鍛造前温度 $F_{s n}$ と鍛造後温度 $F_{f n}$ との最大差、すなわち第1回の鍛造前温度 $F_{s 1}$ と鍛造後温度 $F_{f 1}$ との差は、鍛造後温度 $F_{f 1}$ が高すぎることをないように決定すべきである。鍛造後温度 $F_{f 1}$ が高すぎると、粗大粒が生成してしまうおそれがあるからである。一般的な鋼種では、この温度差が $140\text{K}$ 以内であればほぼ問題ない。

10

#### 【0015】

上記のような鍛造加工を行うためには、前処理で焼き入れされた対象鋼材を、まず第1回の鍛造加工の鍛造前温度 $F_{s 1}$ まで加熱する必要がある。その加熱は、高周波誘導加熱炉等、一般的な加熱炉を用いればよい。また、対象鋼材の少なくとも表面が鍛造前温度 $F_{s 1}$ に達したら、第1回の鍛造加工を開始してよい。加工の型を予熱しておく必要はないが、予熱しておいてもよい。対象鋼材の温度は、鍛造加工中の加工発熱により上昇していく。よって、加工中に型を加熱する必要はない。ただし、前述のように定めた鍛造後温度 $F_{f n}$ を超えない範囲内であれば、加工中に型を加熱してもよい。前段の鍛造後温度 $F_{f (n-1)}$ から次段の鍛造前温度 $F_{s n}$ までの冷却は、空冷でよい。ただし、最終の鍛造加工が終了したら、その時点での鍛造後温度から水または油等の冷却媒体により急冷する。これにより、表層に再焼き入れが施される。よって、その後さらに焼き入れを行う必要はない。すなわち、従来技術の図3の(b)中の全体焼き入れに相当する処理を行う必要はない。なお、図1では鍛造加工の回数は5回であるが、むしろ5回に限定されるものではない。

20

#### 【0016】

その後、図1中に「後処理」と表示するように、対象鋼材に焼き戻しを施す。その際の加熱温度はその時点での再結晶温度以下でなければならない。その後の冷却は空冷でよい。これにより対象鋼材に靱性が付与される。

30

#### 【0017】

以上詳細に説明したように本実施の形態では、 $A_3$ 変態点以上の温度からの全体焼き入れの後に、再結晶温度を下から上へ超える鍛造加工を反復して行うようにしている。その際、鍛造後温度が後の回ほど低くなるようにしている。そして、最終の鍛造後温度から表層再焼き入れを行うようにしている。このため、再結晶温度での結晶核の生成が何度も行われる。これにより、非常に多数の結晶粒が存在する状態となる。その一方で、最初の鍛造加工の開始後には、結晶粒が粗大化するような温度履歴を経ることがない。そのため個々の結晶粒は非常に微細化する。したがってこのようにして製造された鋼材の少なくとも表層は、粗大粒を含まず、 $10\mu\text{m}$ 未満の微細結晶粒組織で占められている。かくして、炭素固定元素に頼らない微細結晶粒組織鋼の製造方法が実現されている。なお、炭素固定元素を添加した鋼種を用いた場合には、より少ない鍛造加工工程の繰り返し回数で同じ効果が得られる。

40

#### 【0018】

##### 【実施例】

以下に実施例および比較例を示す。本実施例および比較例では、市販のSCM440H(JIS)の丸棒を出発材として、本発明に係る微細結晶粒組織鋼の製造方法を用いて鍛造加工を行った。使用した出発材の化学分析値(wt%)は、表1の通りであった。この鋼材の再結晶温度は、無加工状態で約 $730$ で、加工度が進んでいくと約 $710$ 程度まで低下する。また、この鋼材の $A_3$ 変態点は、 $790$ である。

50

【 0 0 1 9 】

【表 1】

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.39	0.32	0.71	0.99	0.24

【 0 0 2 0 】

本実施例および比較例では、出発材の丸棒から、500mm角の正方形断面の角材を切り出して供試材とした。この供試材を、880 から油冷にて全体焼き入れし、全体を均一なマルテンサイト組織とした。そして反復鍛造加工に供した。具体的には、図2に示すように、上型と下型とで供試材をプレスして小径化する鍛造加工を、供試材を45°ずつ回転させながら繰り返した。型の予熱および加工中加熱は、いずれもしなかった。そして最終の鍛造加工後に油冷にて供試材に表層再焼き入れを施した。さらに、供試材を530まで加熱してその後空冷する焼き戻しを行った。

10

【 0 0 2 1 】

本実施例および比較例における鍛造加工の鍛造前温度  $F_{s n}$  および鍛造後温度  $F_{f n}$  は、表2の通り(すべて )とした。表2において、実施例1~実施例5は、本発明の最良の条件に属する実施例である。比較例1~比較例4は、本発明の範囲に属しない鍛造条件による例である。なぜなら、鍛造前温度  $F_{s n}$  および鍛造後温度  $F_{f n}$  が全体に高く、鍛造前において既に供試材が再結晶温度より高温となっている鍛造加工工程を含んでいるからである。このために、再結晶による結晶粒の微細化があまり期待できない。特に比較例4は、鍛造加工工程を1回しか行っておらず、「反復」に該当しない。さらに、その鍛造加工を  $A_3$  変態点以上の温度で行っている点でも本発明の趣旨と合致しない。

20

【 0 0 2 2 】

【表 2】

	鍛造加工1			鍛造加工2			鍛造加工3			鍛造加工4		
	Fs1	Ff1	差	Fs2	Ff2	差	Fs3	Ff3	差	Fs4	Ff4	差
実施例1	671	772	101	693	752	59	706	734	28	711	728	17
実施例2	683	775	92	695	749	54	704	732	28	—		
実施例3	678	773	95	690	745	55	—					
実施例4	653	790	137	675	770	95	692	748	56	705	730	25
実施例5	649	788	139	679	773	94	695	747	52	—		
比較例1	730	828	98	752	811	59	771	793	22	—		
比較例2	713	807	94	732	792	60	751	777	26	—		
比較例3	692	793	101	709	771	62	735	753	18	751	758	7
比較例4	1100	1200		—								

30

40

【 0 0 2 3 】

表2に示した各実施例および各比較例の条件で鍛造加工した各供試材について、旧オーステナイト結晶粒径測定を行った。この測定は、軸方向に垂直な断面の組織を光学顕微鏡で観察することにより行った。すなわち、切断面を鏡面研磨し、さらにピクリン酸でエッチ

50

ングした面を観察に供した。そして、表層部分の平均粒径を測定値とした。また、各供試材からそれぞれ、JIS Z 2274 に準拠する回転曲げ疲労試験片（平行部の直径 10 mm）を切り出した。その各々を疲労試験に供した。その結果として得られた旧オーステナイト結晶の平均粒径（ $\mu\text{m}$ ）および疲労限度（MPa）を表 3 に示す。

【0024】

【表 3】

	平均粒径	疲労限度
実施例1	2	812
実施例2	5	756
実施例3	8	715
実施例4	5	743
実施例5	9	702
比較例1	35	559
比較例2	28	593
比較例3	25	610
比較例4	103	540

10

20

【0025】

表 3 によれば、実施例 1 ~ 実施例 5 による供試材ではいずれも、平均粒径が 10  $\mu\text{m}$  を下回っている。また、700 MPa を超える疲労限度が得られている。結晶粒の微細化が十分に

30

【0026】

これに対し比較例 1 ~ 比較例 4 による供試材では、平均粒径が数十  $\mu\text{m}$  オーダーと大きい。特に比較例 4 の供試材では、100  $\mu\text{m}$  を超えている。このように粒径が大きいのは、高い温度で鍛造加工を行っていることに原因があると考えられる。すなわち、鍛造加工時の温度が高すぎるために、再結晶による結晶核の生成が不十分であるとともに、既存の結晶粒の成長速度が速いのである。そして、疲労限度も高々 600 MPa 程度で、実施例 1 ~ 実施例 5 のものより低い。結晶粒の微細化が不十分であるために、狙いとする強度を達成できていないのである。

【0027】

なお、本実施例は単なる例示にすぎず、本発明を何ら限定するものではない。したがって本発明は当然に、その要旨を逸脱しない範囲内で種々の改良、変形が可能である。例えば鋼種については、前述のような Cr, Mo といった合金元素を含むものに限らず、特段の合金元素を添加しない炭素鋼でもよい。その一方、V, Nb, Ti 等の炭素固定元素を添加した鋼種であってもよい。Ni 等のオーステナイト安定化元素については、 $A_3$  変態点を大きく低下させない範囲内であれば添加してもよい。

40

【0028】

【発明の効果】

以上の説明から明らかなように本発明によれば、少なくとも表層付近では結晶粒が完全に微細化され、数  $\mu\text{m}$  オーダーの微細結晶粒組織で占められた鋼を製造できる微細結晶粒組

50

織鋼の製造方法が提供されている。

【図面の簡単な説明】

【図1】実施の形態に係る微細結晶粒組織鋼の製造方法における対象鋼材の温度履歴を示すグラフである。

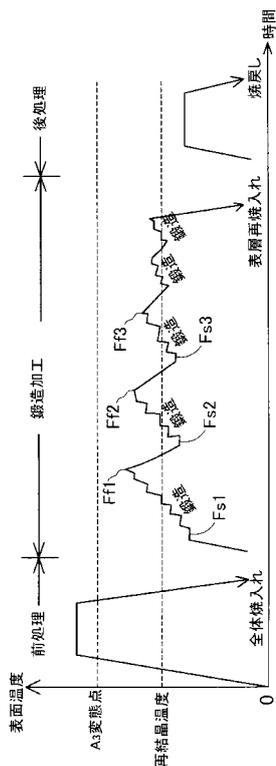
【図2】実施例として行った反復鍛造加工の概要を示す図である。

【図3】従来の微細結晶粒組織鋼の製造方法における対象鋼材の温度履歴を示すグラフである。

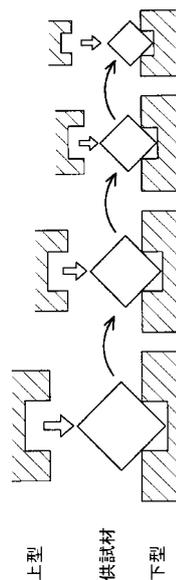
【符号の説明】

- F s 1 第1回の鍛造加工の鍛造前温度
- F s 2 第2回の鍛造加工の鍛造前温度
- F s 3 第3回の鍛造加工の鍛造前温度
- F f 1 第1回の鍛造加工の鍛造後温度
- F f 2 第2回の鍛造加工の鍛造後温度
- F f 3 第3回の鍛造加工の鍛造後温度

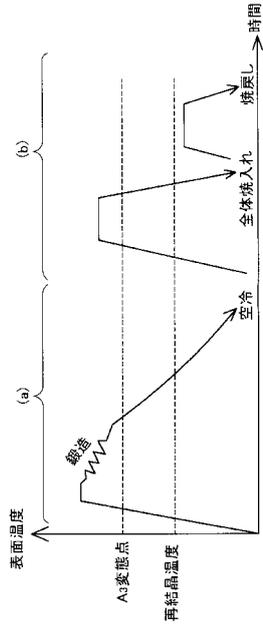
【図1】



【図2】



【 図 3 】



---

フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平01-230712(JP,A)  
特開昭64-015358(JP,A)  
特開2000-96137(JP,A)  
特開2002-219547(JP,A)  
特開2001-342544(JP,A)  
特開平09-314276(JP,A)  
特開2003-49221(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C21D 8/00-8/10  
B21J 1/02、5/00