

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7328606号
(P7328606)

(45)発行日 令和5年8月17日(2023.8.17)

(24)登録日 令和5年8月8日(2023.8.8)

(51)国際特許分類	F I		
B 2 1 B 27/00 (2006.01)	B 2 1 B 27/00		C
C 2 2 C 38/54 (2006.01)	C 2 2 C 38/54		
C 2 2 C 38/00 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 1 L	
B 2 1 B 27/02 (2006.01)	C 2 2 C 38/00	3 0 2 Z	
C 2 1 D 9/38 (2006.01)	B 2 1 B 27/02		A
請求項の数 3 (全19頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号	特願2023-516613(P2023-516613)	(73)特許権者	000006655 日本製鉄株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号
(86)(22)出願日	令和3年8月3日(2021.8.3)	(74)代理人	100099759 弁理士 青木 篤
(86)国際出願番号	PCT/JP2021/028833	(74)代理人	100123582 弁理士 三橋 真二
(87)国際公開番号	WO2023/012906	(74)代理人	100187702 弁理士 福地 律生
(87)国際公開日	令和5年2月9日(2023.2.9)	(74)代理人	100162204 弁理士 齋藤 学
審査請求日	令和5年3月13日(2023.3.13)	(74)代理人	100195213 弁理士 木村 健治
早期審査対象出願		(72)発明者	伊東 誠司 東京都千代田区丸の内二丁目6番1号 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 冷間圧延用鍛鋼ロール

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

400 におけるピッカース硬さHvが400以上であり、
化学組成が、質量%で、
C : 0.70 ~ 1.50%、
Si : 0.40 ~ 1.50%、
Mn : 0.20 ~ 1.50%、
P : 0.030%以下、
S : 0.0200%以下、
Al : 0.050%以下、
N : 0.0200%以下、
O : 0.0050%以下、
Cr : 2.80 ~ 8.00%、
Mo : 0.30 ~ 3.00%、
Cu : 0.100%以下、
B : 0.0100%以下、
Ni : 0 ~ 1.20%、
V : 0 ~ 2.00%、
Nb : 0 ~ 1.00%、並びに
残部 : Fe及び不純物からなり、かつ

下記式 1 を満たす、冷間圧延用鍛鋼ロール。

$$4.50 \text{ Cr} + \text{Mo} + \text{V} + \text{Nb} \leq 14.00 \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、式 1 中の各元素記号には、各元素の含有量（質量％）が代入され、元素を含まない場合は 0 が代入される。

【請求項 2】

前記化学組成が、質量％で、

Ni : 0.05 ~ 1.20 %、

V : 0.10 ~ 2.00 %、及び

Nb : 0.10 ~ 1.00 %

からなる群より選ばれる 1 種以上を含有する、請求項 1 に記載の冷間圧延用鍛鋼ロール。

10

【請求項 3】

昇温速度 180 / 分での昇温過程における収縮開始温度が 300 以上である、請求項 1 又は 2 に記載の冷間圧延用鍛鋼ロール。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、冷間圧延用鍛鋼ロールに関する。

【背景技術】

【0002】

冷間圧延用ロールとして一般的に鍛鋼などの鉄系材料が用いられている。このような冷間圧延用鍛鋼ロールを用いた冷間圧延では、例えば、長期の使用によりロール表面の粗度が次第に低下し、圧延中にロールと被圧延材との間でスリップが生じて圧延不能となったり、あるいはロールと鋼板との間に供給される潤滑油の油膜が圧延条件等の変化に起因して破断等することによりロールと鋼板が直接接触して焼付きを生じたりすることがある。そして、スリップや焼付き等の通板事故によりロール表面に熱衝撃が加わり、このような熱衝撃に起因してロール表面にき裂（クラック）が発生することがある。このき裂をそのままにしておくと、き裂がロール中を次第に進展する。き裂が進展すると、ロールの外表面に剥がれが生じることがあり、このようなロール破損現象は一般にスポーリングと呼ばれている。

20

【0003】

これに関連して、スポーリング等のロール破損を防ぐため、ロールにき裂が生じると、その後のき裂の進展を防ぐため、き裂の深さに応じてロール表面を研削して当該き裂を除去することが行われている。しかしながら、き裂が深くなると、当該き裂を除去するための研削量が多くなるため、ロール原単位（kg / ton）（ロール改削量（kg） / 製品圧延量（ton））が悪化するという問題がある。したがって、熱衝撃によるき裂の発生を抑制又は低減することが可能な高い耐き裂性を有する冷間圧延用ロール、特に冷間圧延用鍛鋼ロールに対するニーズがある。

30

【0004】

特許文献 1 では、C : 0.7 ~ 1.0 %、Si : 0.15 ~ 1.5 %、Mn : 0.15 ~ 1.5 %、Cr : 3.0 ~ 6.0 %、Mo : 3.0 ~ 5.0 %、V : 1.2 % 以下を含有する鋼を鑄造した素材を表層部のみ変態点以上の温度に加熱し、噴水焼入れを行った後、-30 以下の温度でサブゼロ処理を行い、更に、180 以上の温度で焼もどしを行うことを特徴とする金属圧延機用作業ロールの製造法が記載されている。特許文献 1 では、上記の製造法によれば、表面硬度を従来ロールと同様にした場合、焼もどし温度を 40 以上高くとれるため、圧延事故時の熱衝撃によるクラックに対する耐性を著しく高める効果があると記載されている。

40

【0005】

特許文献 2 では、重量パーセントで C : 0.45 ~ 0.95 %、Mn : 1.0 % 以下、Cr : 4.5 ~ 6.0 %、Mo : 0.3 ~ 0.7 %、Ni : 0.6 ~ 2.0 % を含有し、残部が Fe および不可避不純物から成り且つ不可避不純物としての Si 含有量を 0.1 %

50

未満に抑えたことを特徴とする高靱性圧延用ロールが記載されている。特許文献2では、従来のCr-Mo鋼をベースとしたロール材において、Si含有量を不可避不純物として0.1%以下に抑えかつNiを0.6~2.0%含有させることにより、従来ロールと同一の硬さレベルを確保しつつ、すなわち耐摩耗性、耐スポーリング性および耐熱衝撃クラック性を損なうことなく高靱性を有する圧延用ロール材を得ることができると記載されている。

【0006】

特許文献3では、C:0.90~1.10wt%、Si:0.5~1.0wt%、Mn:0.1~1.0wt%、Cr:4.0~6.0wt%、Mo:3.0~6.0wt%、V:0.5~2.0wt%、およびCo:1.0~3.0wt%を含有し、残部はFe及び不可避不純物からなることを特徴とする鍛鋼製冷間圧延用ワークロール材が記載されている。特許文献3では、上記の構成によれば、従来両立することが難しいとされた耐摩耗性及び耐熱衝撃性を兼備した冷間圧延用ワークロール材を得ることができると記載されている。

10

【0007】

特許文献4では、重量%でC:0.7~1.4%、Si:0.8~2.5%、Mn:0.8~2.5%、Ni:0.5~2.5%、Cr:2.5~6.5%、Mo:2.5~8.5%、W:0.3~3.0%、V:0.5~4.5%、残部Fe及び不可避的不純物からなり、サブゼロ処理後焼もどしによる残留オーステナイト量を15%~40%含むことを特徴とする圧延用焼入ロールが記載されている。特許文献4では、残留オーステナイト量を15~40%の範囲で残留させることにより、靱性が向上してクラック発生後にクラックの進展が防止される旨記載されている。

20

【0008】

特許文献5では、質量%で、C:0.6~1.2%、Si:0.4~0.8%、Mn:0.4~1.0%、Ni:0.4~1.0%、Cr:3.0~6.0%、Mo:0.2~0.5%を含有し、残部がFe及び不可避的不純物からなる鍛鋼製冷間圧延ロールであって、ロール表面から50mm以内のロール表層部の金属組織に分散した炭化物の平均粒径が1 μ m以下、且つ、分散した炭化物の面積率が5~30%であることを特徴とする鍛鋼製冷間圧延ロールが記載されている。特許文献5では、上記の鍛鋼製冷間圧延ロールによれば、高価なマイクロアロイ等の元素を使用したり、特殊な製法を採用したりすることがなくても、優れた靱性を確保することができ、高負荷環境時においても圧延時に割れが発生することがないと記載されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【文献】特開平2-185928号公報

特開平1-234548号公報

特開平5-086439号公報

特開平5-132738号公報

特開2010-242166号公報

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

熱衝撃による冷間圧延用ロールのき裂発生メカニズムは、従来、明らかにはされていない。本発明者らは、1つの可能性として、ロール表面のき裂は、以下のようにして生じるものと考えた。まず、熱衝撃によって瞬間的にロール表面の温度が上がり、その温度がある値を超えたときにミクロ組織の焼戻しが起こる。このミクロ組織の焼戻しに伴い、ロール表面において材料の収縮が起こる。次いで、材料の収縮が起こることでロール表面に引張応力が生じ、このような引張応力に起因して当該ロール表面においてき裂が発生する。

【0011】

50

上記の観点から、熱衝撃によるロール表面のき裂の発生を抑制又は低減するためには、当該熱衝撃の際の高温下におけるロール材料の硬さを向上させて、このような高温下での材料収縮に伴って生じるロール表面の引張応力に対する耐久性を高めることが有効な解決策として考えられる。上記の特許文献 1 ~ 5 では、ロール材料の化学組成や製造法についての検討はされているものの、熱衝撃によるき裂の発生を抑制又は低減することについて、高温下でのロール材料の硬さを向上させるという観点からの検討はなされていない。

【 0 0 1 2 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであり、その目的は、熱衝撃によるき裂の発生を低減することが可能な、耐き裂性が改善された冷間圧延用鍛鋼ロールを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 3 】

上記目的を達成する本発明は下記のとおりである。

(1) 4 0 0 におけるピッカース硬さ H v が 4 0 0 以上である、冷間圧延用鍛鋼ロール。

(2) 化学組成が、質量%で、

C : 0 . 7 0 ~ 1 . 5 0 %、

S i : 0 . 4 0 ~ 1 . 5 0 %、

M n : 0 . 2 0 ~ 1 . 5 0 %、

P : 0 . 0 3 0 % 以下、

S : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

A l : 0 . 0 5 0 % 以下、

N : 0 . 0 2 0 0 % 以下、

O : 0 . 0 0 5 0 % 以下、

C r : 2 . 8 0 ~ 8 . 0 0 %、

M o : 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 %、

C u : 0 . 1 0 0 % 以下、

B : 0 . 0 1 0 0 % 以下、

N i : 0 ~ 1 . 2 0 %、

V : 0 ~ 2 . 0 0 %、

N b : 0 ~ 1 . 0 0 %、並びに

残部：F e 及び不純物からなり、かつ

下記式 1 を満たす、上記 (1) に記載の冷間圧延用鍛鋼ロール。

$$4 . 5 0 \quad C r + M o + V + N b \quad 1 4 . 0 0 \quad \dots \text{式 1}$$

ここで、式 1 中の各元素記号には、各元素の含有量 (質量%) が代入され、元素を含まない場合は 0 が代入される。

(3) 前記化学組成が、質量%で、

N i : 0 . 0 5 ~ 1 . 2 0 %、

V : 0 . 1 0 ~ 2 . 0 0 %、及び

N b : 0 . 1 0 ~ 1 . 0 0 %

からなる群より選ばれる 1 種以上を含有する、上記 (2) に記載の冷間圧延用鍛鋼ロール。

(4) 昇温過程における収縮開始温度が 3 0 0 以上である、上記 (1) ~ (3) のいずれか 1 項に記載の冷間圧延用鍛鋼ロール。

【発明の効果】

【 0 0 1 4 】

本発明によれば、4 0 0 におけるピッカース硬さ H v が 4 0 0 以上である鍛鋼から製造されたロールを冷間圧延用ロールとして使用することで、ロール表面におけるき裂の発生を顕著に抑制又は低減させることができる。すなわち冷間圧延用ロールの耐き裂性を顕著に向上させることができる。このような冷間圧延用鍛鋼ロールを使用することで、仮に冷間圧延時にスリップや焼付き等の通板事故により熱衝撃がロールに加わった場合でも、

当該熱衝撃に起因して発生するき裂を浅くすることができる。そのため、当該き裂を除去するためのロール研削量を小さくすることができ、それゆえロール原単位を顕著に向上させることが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明に係る収縮開始温度を説明するための、フォーマスター試験機を用いた昇温過程におけるロール材料の熱膨張曲線を示すグラフである。

【図2】落重式摩擦熱衝撃試験機を用いた、実施例及び比較例の各試験材に対する熱衝撃試験を模式的に示す略図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

<冷間圧延用鍛鋼ロール>

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールは、400におけるビッカース硬さHvが400以上である。

【0017】

鍛鋼ロールを用いた冷間圧延では、圧延中にロールと被圧延材との間に発生するスリップや焼付き等の通板事故によりロール表面に熱衝撃が加わり、それに起因してロール表面にき裂（クラック）が発生することがある。このき裂が進展すると、ロールの外表面にスポーリングと呼ばれる剥がれが生じることがある。

【0018】

本発明者らは、熱衝撃によるロール表面でのき裂発生に対する耐久性の指標として、高温下におけるロール材料の硬さに着目し、当該ロール材料の硬さとき裂の発生との間の相関関係について調べた。その結果、本発明者らは、400におけるビッカース硬さHv（以下、単に「高温硬さ」ともいう）が400以上である鍛鋼から製造されたロールを冷間圧延用ロールとして使用することで、ロール表面におけるき裂の発生を顕著に抑制又は低減できること、すなわち冷間圧延用ロールの耐き裂性を顕著に向上させることができることを見出した。このような冷間圧延用鍛鋼ロールを使用することで、冷間圧延時にスリップや焼付き等の通板事故により熱衝撃がロールに加わった場合でも、当該熱衝撃に起因して発生するき裂を浅くすることが可能となる。これに関連して、当該き裂を除去するためのロール研削量を小さくすることができ、それゆえロール原単位を顕著に向上させることが可能となる。

【0019】

[400におけるビッカース硬さHv（高温硬さ）]

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールでは、400におけるビッカース硬さHvは400以上である。一般的に、温度が高くなるにつれて、ロール材料の硬度は低下する。これに関連して、本発明者らは、従来の冷間圧延用鍛鋼ロールでは、400付近の高温下で硬度が急激に低下することを見出した。さらに本発明者らは、化学組成を適切なものとしつつ、製造方法を工夫することにより、このような高温下でも冷間圧延用鍛鋼ロールのビッカース硬さHvを400以上の高いレベルに維持することができることを見出した。本発明の実施形態によれば、冷間圧延用鍛鋼ロールの400におけるビッカース硬さHvをこのような範囲に制御することで、熱衝撃の際の高温下においてロール表面に生じる引張応力に対して高い耐久性を得ることができ、結果として当該熱衝撃によるロール表面のき裂の発生を顕著に抑制又は低減することが可能となる。

【0020】

冷間圧延用鍛鋼ロールの400におけるビッカース硬さHvが高いほど、ロール表面の引張応力に対する耐久性はより高くなる。400におけるビッカース硬さHvは、好ましくは410以上、より好ましくは420以上、さらにより好ましくは430以上、最も好ましくは435以上又は440以上である。400におけるビッカース硬さHvの上限は特に限定されないが、高温硬さを過度に高くしても、き裂の発生を抑制又は低減する効果が飽和し、一方で靱性の低下を招く場合がある。したがって、400におけるビ

10

20

30

40

50

ッカーズ硬さHvは、700以下とすることが好ましく、600以下、550以下又は500以下であってもよい。

【0021】

ここで、「400」とは、ロール表面の温度をいう。「ピッカーズ硬さHv」は、ロールの胴部の表面から深さ10mmまでの領域のピッカーズ硬さをいう。本実施形態において、「400におけるピッカーズ硬さHv」は、冷間圧延用鍛鋼ロールの表面から採取した試験材について、高温ピッカーズ硬さ計を用いて室温から400に昇温して5分保持した際の硬さを測定することにより決定される。測定は、JIS Z 2252:1991に準拠した方法で実施される。より具体的には、試験材及び圧子を加熱して、寸法が5mm×5mm×10mmの試験材において5mm×10mmの測定面に荷重300gfを付加してピッカーズ硬さを5点測定し、それらの平均値を400におけるピッカーズ硬さHvとして決定する。より好ましくは、ロールの有効径領域において、400におけるピッカーズ硬さHvが400以上である。有効径領域とは、表面から圧延使用可能な最小径（廃却径）までの領域をいう。

10

【0022】

[収縮開始温度]

先に述べたとおり、熱衝撃によるロール表面のき裂の発生を抑制又は低減するためには、高温下での材料収縮に伴って生じるロール表面の引張応力に対する耐久性を高めることが1つの有効な解決策として考えられる。本発明者らは、これに加えて、高温下でのロール表面における材料収縮自体、ひいてはこのような材料収縮に伴う引張応力の発生自体を抑制又は低減することに着目してさらに検討を行った。より具体的には、本発明者らは、ロール材料においてこのような収縮が開始する温度（以下、単に「収縮開始温度」という）とき裂の発生との間の相関関係について調べた。その結果、本発明者らは、400におけるピッカーズ硬さHvが400以上であることに加えて、昇温過程における収縮開始温度が300以上である鍛鋼から製造されたロールを冷間圧延用ロールとして使用することで、ロール表面におけるき裂の発生をさらにより顕著に抑制又は低減できること、すなわち冷間圧延用ロールの耐き裂性をさらにより顕著に向上させることができることを見出した。

20

【0023】

本実施形態において、「収縮開始温度」とは、フォーマスター試験機を用いて昇温過程におけるロール材料の膨張量を測定し、その測定結果に基づいて得られた熱膨張曲線における低温側での変曲点（収縮を開始した時点）の温度をいうものである。

30

【0024】

図1は、本実施形態に係る収縮開始温度を説明するためのフォーマスター試験機を用いた昇温過程におけるロール材料の熱膨張曲線を示すグラフである。図1中の実線は、後で説明する実施例3に係るロール材料から採取した試験材の熱膨張曲線を示している。図1中の破線は、後で説明する比較例1に係るロール材料から採取した試験材の熱膨張曲線を示している。図1を参照すると、比較例1の試験材では、室温から昇温した際に250において膨張量変化の傾きが一旦減少している。

【0025】

一方で、実施例3の試験材では、同様に昇温した際に比較的低い温度下では、測定誤差と思われる微小な変動を除けば膨張量変化の傾きは特に減少せず、450の高温まで昇温して初めて膨張量変化の傾きが一旦減少する。このような膨張量変化の傾きの減少は、昇温過程において試験材のミクロ組織が焼戻されたことに起因して材料の収縮が開始したことを示唆する。本実施形態において、これらの温度はそれぞれ比較例1及び実施例3の試験材に関する収縮開始温度として定義される。なお、図1を参照すると、各試験材に関する熱膨張曲線において、一旦減少した膨張量変化の傾きが収縮開始温度よりも高温側で増加に転じていることが認められる。これらの温度は、ミクロ組織の焼戻しに起因する収縮が終了したことを示唆していると考えられる。

40

【0026】

50

本発明の好ましい実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールでは、上記のとおり、収縮開始温度は300以上である。例えば、図1の実施例3では、収縮開始温度が450であって非常に高い。そのため、仮にスリップや焼付き等の通板事故によりロール表面に熱衝撃が加わり、瞬間的に温度が上がったとしても、当該ロール表面において材料の収縮が起こらないか又はその収縮量を大幅に低減することが可能となる。本発明の好ましい実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールによれば、従来の材料と比較して、ロール表面における材料の収縮に伴う引張応力の発生自体を抑制又は低減することができるので、このような引張応力に起因するロール表面のき裂の発生を顕著に抑制又は低減することが可能となる。

【0027】

き裂の発生を抑制又は低減するという観点からは、収縮開始温度は高いほど好ましい。収縮開始温度は、350以上、400以上、450以上、500以上、600以上、650以上、670以上、700以上、750以上、800以上又は850以上であってもよい。しかしながら、収縮開始温度が高くなりすぎると、熱衝撃に起因するき裂の発生は抑制又は低減されるものの、ロールの靱性が低下する場合がある。したがって、例えば、収縮開始温度は950以下とすることが好ましい。

【0028】

[冷間圧延用鍛鋼ロールの好ましい化学組成]

本実施形態の冷間圧延用鍛鋼ロールは、400において400以上のピッカース硬さHv、好ましくはそれに加えて300以上の収縮開始温度を有する。それゆえ当該冷間圧延用鍛鋼ロールの化学組成は、400において400以上のピッカース硬さHv、好ましくはそれに加えて300以上の収縮開始温度を達成し得る任意の化学組成であってよく、特に限定されるものではない。より詳しくは、本実施形態は、上記のとおり熱衝撃によるき裂の発生を低減することが可能な耐き裂性が改善された冷間圧延用鍛鋼ロールを提供することを目的とするものであって、冷間圧延用鍛鋼ロールの400におけるピッカース硬さHvを400以上とすること、さらに好ましくは冷間圧延用鍛鋼ロールの収縮開始温度を300以上とすることによって当該目的を達成するものである。したがって、冷間圧延用鍛鋼ロールの化学組成は、本実施形態の目的を達成する上で必須の技術的特徴ではない。以下の記載において、高温硬さ及び収縮開始温度の特徴を達成するための冷間圧延用鍛鋼ロールの好ましい化学組成について詳しく説明するが、これらの説明は、冷間圧延用鍛鋼ロールの好ましい化学組成の単なる例示を意図するものであって、本実施形態をこのような特定の化学組成を有する冷間圧延用鍛鋼ロールに限定することを意図するものではない。以下の説明において、冷間圧延用鍛鋼ロールに含まれる各元素の含有量の単位である「%」は、特に断りがない限り「質量%」を意味するものである。また、本明細書において、数値範囲を示す「~」とは、特に断りがない場合、その前後に記載される数値を下限值及び上限値として含む意味で使用される。

【0029】

[C: 0.70~1.50%]

炭素(C)は、ロール表層の硬さを高めるのに必要な元素である。このような効果を十分に得るために、C含有量は0.70%以上とすることが好ましい。C含有量は0.75%以上、0.80%以上、0.85%以上又は0.90%以上であってもよい。一方で、Cを過度に含有すると、粗大な炭化物が生成し、上記の効果が十分に得られない場合がある。したがって、C含有量は1.50%以下とすることが好ましい。C含有量は1.40%以下、1.30%以下、1.20%以下、1.15%以下、1.10%以下、1.05%以下又は1.00%以下であってもよい。

【0030】

[Si: 0.40~1.50%]

シリコン(Si)は、一般的に鋼を脱酸し、さらに焼入れ性を高める元素である。今回、さらに、本発明者らは、Si含有量とロールの高温硬さ及び収縮開始温度との関係について調査した。その結果、これらの間には強い相関関係があり、Siを添加することで高温硬さと収縮開始温度の両方を高くすることができることを見出した。ロールの高温硬さ

10

20

30

40

50

を十分に向上させるという観点からは、Si含有量は0.40%以上とすることが好ましい。一方で、収縮開始温度を十分に向上させるという観点からは、Si含有量は0.45%以上とすることが好ましい。Si含有量は0.50%以上、0.60%以上、0.70%以上、0.75%以上、0.80%以上、0.85%以上又は0.90%以上であってもよい。後で詳しく説明する固溶Si量を増加させる観点からも、Si含有量は高い方が好ましい。一方で、Siを過度に含有すると、炭化物が偏析しやすくなって十分な靱性が得られない場合がある。したがって、ロールの高温硬さ及び/又は収縮開始温度の向上という観点からは必ずしもSi含有量の上限値は限定されないものの、十分な靱性を確保するという観点から、Si含有量は1.50%以下とすることが好ましい。Si含有量は1.40%以下、1.30%以下、1.20%以下、1.10%以下、1.05%以下、1.00%以下又は0.95%以下であってもよい。

10

【0031】

何ら特定の理論に束縛されることを意図するものではないが、Si含有量を高くすることにより、ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を増大させることができ、このような固溶Si量の増大に起因してロールの高温硬さ及び収縮開始温度を向上させることが可能になると考えられる。したがって、単にSi含有量を増加させても、その多くが炭化物等として析出してロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量が少なくなっている場合には、必ずしも十分なロールの高温硬さ及び/又は収縮開始温度を得られない虞がある。ロールの高温硬さ及び収縮開始温度を向上させるためには、適切なSi含有量を適用することに加えて、後で詳しく説明するように、製造方法を適切に制御してマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を増加させることが極めて重要となる。

20

【0032】

[Mn: 0.20 ~ 1.50%]

マンガン(Mn)は、焼入れ性を有効に高める元素である。このような効果を十分に得るために、Mn含有量は0.20%以上とすることが好ましい。Mn含有量は0.25%以上、0.30%以上、0.35%以上又は0.40%以上であってもよい。一方で、Mnを過度に含有すると、十分な靱性が得られない場合がある。したがって、焼入れ性を有効に高めかつ十分な靱性を確保するために、Mn含有量は1.50%以下とすることが好ましい。Mn含有量は1.40%以下、1.20%以下、1.00%以下、0.80%以下又は0.60%以下であってもよい。

30

【0033】

[P: 0.030%以下]

燐(P)は、不可避に含有される不純物である。すなわち、P含有量は0%超である。Pは、粒界に偏析して、鋼材の靱性が低下する場合がある。したがって、P含有量は0.030%以下とすることが好ましい。P含有量は、0.025%以下、又は0.020%以下であってもよい。P含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、P含有量の過剰な低減は、製鋼工程の精錬コストを大幅に高める。したがって、工業生産を考慮すれば、P含有量は0.001%以上とすることが好ましい。P含有量は、0.002%以上であってもよい。

【0034】

[S: 0.0200%以下]

硫黄(S)は、不可避に含有される不純物である。すなわち、S含有量は0%超である。Sは、粒界に偏析して、鋼材の靱性及び熱間加工性が低下する場合がある。したがって、S含有量は0.0200%以下とすることが好ましい。S含有量は、0.0050%以下、0.0040%以下、又は0.0030%以下であってもよい。S含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、S含有量の過剰な低減は、製鋼工程の精錬コストを大幅に高める。したがって、工業生産を考慮すれば、S含有量は0.0001%以上とすることが好ましい。S含有量は、0.0002%以上、又は0.0003%以上であってもよい。

40

【0035】

[Al: 0.050%以下]

50

アルミニウム (Al) は、不可避に含有される不純物である。すなわち、 Al 含有量は 0 % 超である。 Al は、溶鋼段階で鋼を脱酸する。一方、 Al 含有量が高過ぎると、 Al 窒化物が粗大化し、鋼材の靱性が低下する場合がある。したがって、 Al 含有量は、 0 . 0 5 0 % 以下とすることが好ましい。 Al 含有量は、 0 . 0 4 0 % 以下、又は 0 . 0 3 0 % 以下であってもよい。 Al 含有量は、 0 . 0 0 1 % 以上、又は 0 . 0 0 2 % 以上であってもよい。本明細書において、 Al 含有量は鋼中の全 Al 含有量を意味する。

【 0 0 3 6 】

[N : 0 . 0 2 0 0 % 以下]

窒素 (N) は、不可避に含有される不純物である。すなわち、 N 含有量は 0 % 超である。 N は、固溶強化により鋼の強度を高める。一方、 N 含有量が高すぎれば、粗大な窒化物系介在物を形成し、鋼材の靱性が低下する場合がある。したがって、 N 含有量は 0 . 0 2 0 0 % 以下とすることが好ましい。 N 含有量は、 0 . 0 1 5 0 % 以下であってもよい。 N 含有量は、 0 . 0 0 0 1 % 以上、又は 0 . 0 0 0 2 % 以上であってもよい。

10

【 0 0 3 7 】

[O : 0 . 0 0 5 0 % 以下]

酸素 (O) は、不可避に含有される不純物である。すなわち、 O 含有量は 0 % 超である。 O は粗大な酸化物系介在物を形成し、鋼材の靱性を低下させる場合がある。したがって、 O 含有量は 0 . 0 0 5 0 % 以下とすることが好ましい。 O 含有量は 0 . 0 0 4 0 % 以下、 0 . 0 0 3 5 % 以下、又は 0 . 0 0 3 0 % 以下であってもよい。 O 含有量はなるべく低い方が好ましい。ただし、 O 含有量の極端な低減は、製造コストを大幅に高める。したがって、工業生産を考慮すれば、 O 含有量は 0 . 0 0 0 1 % 以上、又は 0 . 0 0 0 5 % 以上とすることが好ましい。 O 含有量は、 0 . 0 0 0 7 % 以上であってもよい。

20

【 0 0 3 8 】

[Cr : 2 . 8 0 ~ 8 . 0 0 %]

クロム (Cr) は、炭化物を形成して耐摩耗性を高める元素である。また、 Cr は、焼戻し抵抗を高めて高温硬さを向上させる元素である。これらの効果を十分に得るために、 Cr 含有量は 2 . 8 0 % 以上とすることが好ましい。 Cr 含有量は 3 . 0 0 % 以上、 3 . 2 0 % 以上、 3 . 5 0 % 以上又は 4 . 0 0 % 以上であってもよい。一方で、 Cr を過度に含有すると、炭化物が粗大化して、冷間圧延用鍛鋼ロールの研削性や靱性が低下する場合がある。したがって、 Cr 含有量は 8 . 0 0 % 以下とすることが好ましい。 Cr 含有量は 7 . 5 0 % 以下、 7 . 0 0 % 以下、 6 . 5 0 % 以下、 6 . 0 0 % 以下又は 5 . 5 0 % 以下であってもよい。

30

【 0 0 3 9 】

[Mo : 0 . 3 0 ~ 3 . 0 0 %]

モリブデン (Mo) は、 Cr と同様に炭化物を形成して耐摩耗性を高める元素である。また、 Mo は、二次硬化により高温硬さを向上させる元素である。これらの効果を十分に得るために、 Mo 含有量は 0 . 3 0 % 以上とすることが好ましい。 Mo 含有量は 0 . 3 5 % 以上、 0 . 4 0 % 以上又は 0 . 4 5 % 以上であってもよい。一方で、 Mo を過度に含有すると、炭化物が粗大化して、冷間圧延用鍛鋼ロールの研削性や靱性が低下する場合がある。したがって、 Mo 含有量は 3 . 0 0 % 以下とすることが好ましい。 Mo 含有量は 2 . 8 0 % 以下、 2 . 5 0 % 以下、 2 . 0 0 % 以下、 1 . 8 0 % 以下、 1 . 5 0 % 以下、 1 . 0 0 % 以下、 0 . 8 0 % 以下、 0 . 6 0 % 以下又は 0 . 5 5 % 以下であってもよい。

40

【 0 0 4 0 】

[Cu : 0 . 1 0 0 % 以下]

銅 (Cu) は、不可避に含有される不純物である。すなわち、 Cu 含有量は 0 % 超である。 Cu は鋼の熱間加工性を低下させる場合がある。したがって、 Cu 含有量は 0 . 1 0 0 % 以下とすることが好ましい。 Cu 含有量は、 0 . 0 9 5 % 以下、 0 . 0 9 0 % 以下、 0 . 0 8 5 % 以下、 0 . 0 8 0 % 以下、 0 . 0 7 5 % 以下、又は 0 . 0 7 0 % 以下であってもよい。 Cu 含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、 Cu 含有量の過剰な低減は製造コストを引き上げる。したがって、 Cu 含有量は 0 . 0 0 1 % 以上とすること

50

が好ましい。Cu含有量は、0.002%以上であってもよい。

【0041】

[B: 0.0100%以下]

B(ホウ素)は、不可避に含有される不純物である。すなわち、B含有量は0%超である。Bは鋼の靱性を低下させる場合がある。したがって、B含有量は0.0100%以下とすることが好ましい。B含有量は、0.0080%以下、又は0.0060%以下であってもよい。B含有量はなるべく低い方が好ましい。しかしながら、B含有量の過剰な低減は製造コストを引き上げる。したがって、B含有量は0.0001%以上とすることが好ましい。B含有量は、0.0002%以上であってもよい。

【0042】

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールの基本化学組成は上記のとおりである。さらに、当該冷間圧延用鍛鋼ロールは、必要に応じて以下の元素のうち1種又は2種以上を含有していてもよい。

【0043】

[Ni: 0~1.20%]

ニッケル(Ni)は、焼入れ性を高める元素である。Ni含有量は0%であってもよいが、このような効果を十分に得るためには、Ni含有量は0.01%以上とすることが好ましい。Ni含有量は0.05%以上、0.10%以上、0.15%以上又は0.20%以上であってもよい。一方で、Niを過度に含有すると、残留オーステナイトが過剰に形成され、十分な硬さを維持できなくなる場合がある。したがって、Ni含有量は1.20%以下とすることが好ましい。Ni含有量は1.10%以下、1.00%以下、0.80%以下、0.60%以下、0.45%以下、0.30%以下、0.28%以下、0.26%以下、0.25%以下又は0.24%以下であってもよい。

【0044】

[V: 0~2.00%]

バナジウム(V)は、CrやMoと同様に炭化物を形成して耐摩耗性を高める元素である。また、Vは、二次硬化により高温硬さを向上させる元素である。V含有量は0%であってもよいが、これらの効果を十分に得るためには、V含有量は0.01%以上とすることが好ましい。V含有量は0.05%以上、0.10%以上、0.15%以上、0.20%以上又は0.25%以上であってもよい。一方で、Vを過度に含有すると、炭化物が粗大化して、冷間圧延用鍛鋼ロールの研削性や靱性が低下する場合がある。したがって、V含有量は2.00%以下とすることが好ましい。V含有量は1.80%以下、1.50%以下、1.00%以下、0.80%以下、0.60%以下又は0.40%以下であってもよい。

【0045】

[Nb: 0~1.00%]

ニオブ(Nb)は、Vなどの元素と同様にCと結合して高硬度の炭化物を形成する元素である。また、Nbは、二次硬化により高温硬さを向上させる元素である。Nb含有量は0%であってもよいが、これらの効果を十分に得るためには、Nb含有量は0.01%以上とすることが好ましい。Nb含有量は0.05%以上、0.10%以上、0.15%以上、0.20%以上又は0.25%以上であってもよい。一方で、Nbを過度に含有すると、炭化物が粗大化して、冷間圧延用鍛鋼ロールの研削性や靱性が低下する場合がある。したがって、Nb含有量は1.00%以下とすることが好ましい。Nb含有量は0.80%以下、0.60%以下又は0.40%以下であってもよい。

【0046】

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールにおいて、上記の元素以外の残部は、Fe及び不純物からなる。不純物とは、冷間圧延用鍛鋼ロールを工業的に製造する際に、鉾石やスクラップ等のような原料を始めとして、製造工程の種々の要因によって混入する成分等である。

【0047】

10

20

30

40

50

[4 . 5 0 C r + M o + V + N b 1 4 . 0 0]

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールの化学組成は、下記式 1 :

4 . 5 0 C r + M o + V + N b 1 4 . 0 0 . . . 式 1

を満たすことが好ましい。ここで、式 1 中の各元素記号には、各元素の含有量 (質量 %) が代入され、元素を含まない場合は 0 が代入される。

【 0 0 4 8 】

先に説明したとおり、ロールの高温硬さ及び / 又は収縮開始温度を高くするためには、製造方法の工夫に加えて、化学組成において特に S i 含有量を所定の範囲内に制御することが重要である。しかしながら、単に S i 含有量を所定の範囲内に制御しただけでは、ロール表面におけるき裂の発生を抑制又は低減するのに十分な高温硬さ及び / 又は収縮開始温度を達成することは難しい。本発明者らは、ロールに含まれる各元素の含有量を制御することに加えて、さらに C r、M o、V 及び N b の合計の含有量を所定の範囲内に制御することにより、4 0 0 における 4 0 0 以上のピッカース硬さ H v 及び 3 0 0 以上の収縮開始温度をより確実に達成することができることを見出した。

10

【 0 0 4 9 】

C r、M o、V 及び N b は、上で説明したとおり、炭化物を形成して耐摩耗性等を高める元素である。ロール中に含まれる炭化物の割合が少ない場合には、母材の割合が大きいため、これらの元素によって形成される炭化物が、ロールの高温硬さ及び / 又は収縮開始温度に与える影響は極めて小さいものと考えられる。しかしながら、炭化物は温度等によって特に変化しないため、ロール中におけるその割合が大きくなるにつれて、炭化物は高温硬さ及び / 又は収縮開始温度を上げる方向に寄与するものと考えられる。本発明の特定の実施形態においては、ロール中に含まれる各合金元素の含有量を先に説明した範囲内に制御しつつ、C r、M o、V 及び N b の合計の含有量を 4 . 5 0 % 以上、すなわち C r + M o + V + N b 4 . 5 0 に制御する。この制御により、4 0 0 における 4 0 0 以上のピッカース硬さ H v 及び 3 0 0 以上の収縮開始温度を達成するのに十分な量の炭化物を、ロール中に形成することができる。その結果として、熱衝撃によるき裂の発生を顕著に抑制又は低減することが可能となる。C r、M o、V 及び N b の合計の含有量は、4 . 8 0 % 以上、5 . 0 0 % 以上、5 . 2 0 % 以上、5 . 5 0 % 以上、5 . 6 0 % 以上、5 . 7 0 % 以上、5 . 8 0 % 以上、6 . 0 0 % 以上、又は 6 . 3 0 % 以上であってもよい。

20

【 0 0 5 0 】

一方で、C r、M o、V 及び N b の合計の含有量が高すぎると、高温硬さ及び収縮開始温度を高くするという観点からは必ずしも不利に影響はしないものの、形成される炭化物が粗大化して、冷間圧延用鍛鋼ロールの研削性や靱性が低下する場合がある。したがって、C r、M o、V 及び N b の合計の含有量は、1 4 . 0 0 % 以下とすることが好ましい。例えば、C r、M o、V 及び N b の合計の含有量は、1 2 . 0 0 % 以下、1 0 . 0 0 % 以下、9 . 0 0 % 以下、8 . 5 0 % 以下、8 . 0 0 % 以下、又は 7 . 5 0 % 以下であってもよい。

30

【 0 0 5 1 】

[冷間圧延用鍛鋼ロールの製造方法]

次に、本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールの好ましい製造方法について説明する。以下の説明は、本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールを製造するための特徴的な方法の例示を意図するものであって、当該冷間圧延用鍛鋼ロールを以下に説明するような製造方法によって製造されるものに限定することを意図するものではない。

40

【 0 0 5 2 】

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールの好ましい製造方法は、

冷間圧延用鍛鋼ロールに関連して先に説明した化学組成を有する溶鋼からインゴットを鑄造する鑄造工程、

鑄造されたインゴットを 1 2 0 0 ~ 1 3 0 0 の加熱温度で 1 0 時間以上保持し、次いで 1 1 0 0 ~ 1 2 0 0 の鍛造温度であって、前記加熱温度よりも 5 0 ~ 1 5 0 低い鍛造温度でロール形状に成形する鍛造工程、

50

成形されたロールを焼鈍する焼鈍工程、
 得られたロールを所望のロール形状に粗加工する粗加工工程、
 粗加工されたロールを900～1100の焼入れ温度で30～180秒間保持し、次いで冷却する焼入れ工程であって、前記ロールの表面温度が前記焼入れ温度から800に達するまでの時間が30～300秒となるように前記冷却が実施される焼入れ工程、
 ロールの硬度を調整するための焼戻し工程、及び
 研削により最終ロール形状に加工する仕上げ加工工程を含む。以下、各工程についてより詳細に説明する。

【0053】

[鑄造工程]

鑄造工程では、冷間圧延用鍛鋼ロールに関連して先に説明した化学組成を有する溶鋼から、当業者に公知の任意の適切な鑄造法によりインゴットが鑄造される。例えば、鍛鋼ロールが単体ロールである場合には、鑄造法は、例えば下注ぎ造塊法等であってもよい。また、鑄造したインゴットを電極として、エレクトロスラグ再溶解(ESR)法等を実施して、偏析や介在物を軽減するようにしてもよい。一方、鍛鋼ロールが芯材と外層からなる複合ロールである場合には、鑄造法は、例えば鑄掛け法や遠心鑄造法などであってもよい。

【0054】

[鍛造工程]

鍛造工程では、まず鑄造されたインゴットが加熱炉内にて加熱保持され、次いで鍛造によりロール形状に成形される。加熱保持においては、1200～1300、好ましくは1250～1300の加熱温度で、10時間以上、好ましくは15時間以上保持される。鍛造においては、1100～1200の鍛造温度であって、前記加熱温度よりも50～150、好ましくは60～100低い鍛造温度でロール形状に成形される。加熱保持を前記条件で行うことにより、鍛造工程において析出するSi系の炭化物等の析出物が、その後の焼鈍工程で再固溶しやすくなる。これにより、ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を十分に確保することができる。ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を十分に確保することで、最終的に得られる冷間圧延用鍛鋼ロールにおいて所望の高温硬さ及び/又は収縮開始温度を確実に達成することが可能となる。

【0055】

上記の加熱保持後に鍛造が実施される。その際の鍛造温度が1100よりも低いと、インゴットの延性が低下して鍛造割れが生じやすくなる。一方で、鍛造温度が1200よりも高いと、ロール中の空隙形成に伴う鍛造割れが生じやすくなる。したがって、このような鍛造割れを防ぐため、鍛造温度は1100～1200とする必要がある。例えば、鍛造中にインゴットの温度が900まで低下した場合には、インゴットを加熱炉に導入し、所定の鍛造温度まで再度加熱し、その後、インゴットを加熱炉から取り出して鍛造を実施すればよい。このような温度の低下は、例えば、表面温度計などを用いた測定や、あるいは目視による鋼表面の色の変化等により確認することが可能である。このような加熱と鍛造の繰り返しは複数回行ってよい。鍛造温度は、1100～1200の範囲内とすることに加えて、鍛造前の1200～1300の加熱温度との温度差(加熱温度-鍛造温度)が50～150の範囲内となるように適切に選択する必要がある。なぜならば、加熱温度と鍛造温度との温度差が小さすぎたり、大きすぎたりすると、鍛造工程において析出したSi系の炭化物等の析出物が、その後の焼鈍工程においても再固溶せずに残存しやすいためである。Si系析出物をより確実に低減する観点からは、加熱温度-鍛造温度は、60～100であることが好ましい。

【0056】

[焼鈍工程及び粗加工工程]

焼鈍工程及び粗加工工程は、当業者に公知の任意の適切な条件下で実施することができる。特に限定されないが、焼鈍工程は、雰囲気炉、例えば電気炉又はガス炉において、次の粗加工工程における粗加工を容易にするのに適切な条件下で実施することができる。先の鍛造工程において析出したSi系析出物は、この焼鈍工程において再固溶される。また

10

20

30

40

50

、粗加工工程では、焼鈍工程後のロールを、例えば研削盤を用いて研削することにより所望のロール形状に粗加工すればよい。

【 0 0 5 7 】

[焼入れ工程]

粗加工工程後のロールの胴部表層に対して焼入れ工程が実施される。焼入れ工程は、900～1100の焼入れ温度で30～180秒間保持し、次いで冷却することを含む。当該冷却は、ロールの表面温度が焼入れ温度から800に達するまでの時間が30～300秒となるような冷却速度で実施される。このような条件で焼入れ工程を実施することにより、焼鈍工程で再固溶したSiが再びSi系析出物として析出することを抑制することができる。その結果、ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を十分に確保することができ、最終的に得られる冷間圧延用鍛鋼ロールにおいて所望の高温硬さ及び/又は収縮開始温度を確実に達成することが可能となる。焼入れ工程における加熱保持は、誘導加熱などの任意の適切な手段を用いて行うことができ、冷却は水冷などにより行うことができる。また、必要に応じて又はとりわけ残留オーステナイトが多い場合には、焼入れ工程後のロールの胴部表層に対して周知のサブゼロ処理（例えばロールを冷媒に浸漬して-60～-140に冷却）を実施して、当該残留オーステナイトをマルテンサイトに変態させるようにしてもよい。

10

【 0 0 5 8 】

[焼戻し工程]

焼入れ工程後のロールに対して焼戻し工程が実施される。この焼戻し工程において、ロール胴部の表面から所定の深さに生成したマルテンサイト及びベイナイトを焼戻し、それによってロールの硬さを調整することができる。焼戻し温度は、100～600とすることが好ましい。焼戻し工程は、加熱炉、雰囲気炉、例えば電気炉又はガス炉において実施することができる。

20

【 0 0 5 9 】

[仕上げ加工工程]

最後に、焼戻し工程後のロールに対して仕上げ加工工程が実施される。仕上げ加工工程では、例えば研削盤を用いて研削することにより所望の最終ロール形状に加工する。こうして、所望の高温硬さ及び/又は収縮開始温度を有する本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールを製造することができる。

30

【 0 0 6 0 】

本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールは、種々の冷間圧延において適用することができ、例えば複数の圧延スタンドからなる冷間タンデム圧延機や、1台の圧延スタンドを往復させる冷間リバース圧延機においてワークロールとして適用することができる。また、本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールは、スキンプラス圧延（調質圧延）においても適用することが可能である。熱衝撃によるき裂の発生を抑制又は低減するという観点からは、スキンプラス圧延以外の冷間圧延用鍛鋼ロールとして適用することが好ましい。

【 0 0 6 1 】

以下、実施例によって本発明をより詳細に説明する。本発明はこれらの実施例に何ら限定されるものではない。

40

【 実施例 】

【 0 0 6 2 】

以下の実施例では、本発明の実施形態に係る冷間圧延用鍛鋼ロールを種々の条件下で製造した。得られた試験材について、400におけるビッカース硬さHv及び昇温過程における収縮開始温度を測定し、当該ビッカース硬さHv及び収縮開始温度と熱衝撃によるき裂の発生との関係について調べた。

【 0 0 6 3 】

[冷間圧延用鍛鋼ロールの製造]

まず、下表1に示す化学組成を有する溶鋼から下注ぎ造塊法によりインゴットを鑄造し、次いで、エレクトロスラグ再溶解（ESR）法を実施した。次に、得られたインゴット

50

に鍛造工程を実施した。鍛造工程では、加熱炉内にて下表 1 に示す加熱温度及び保持時間で加熱保持し、次いで下表 1 に示す鍛造温度まで温度を低下させた後、鍛造によりロール胴部の直径 700 mm、胴長 2100 mm、及び全長 4100 mm のロール形状に成形した。鍛造中にインゴットの温度が 900 まで低下した場合には、インゴットを加熱炉に導入し、所定の鍛造温度まで再度加熱し、その後、インゴットを加熱炉から取り出して鍛造を実施し、必要に応じてこのような加熱と鍛造を繰り返した。次に、鍛造により成形されたロールをガス炉に導入して、900 で 10 時間保持した後、600 で 15 時間保持することにより焼鈍を実施した。次いで、焼鈍後のロールを研削盤を用いて研削することにより、ロール胴部の直径 650 mm、胴長 2000 mm、及び全長 4000 mm のロール形状に粗加工した。

10

【0064】

次に、粗加工されたロールに焼入れ工程を実施した。焼入れ工程では、誘導加熱により下表 1 に示す焼入れ温度及び保持時間において加熱保持し、次いでロールの表面温度が焼入れ温度から 800 に達するまでの時間が下表 1 に示す時間となるような冷却速度で水冷を実施した。その後、ロールを冷媒に浸漬して -60 ~ -140 に冷却することでサブゼロ処理を実施した。次に、焼入れ工程後のロールを加熱炉に導入し、150 で焼戻しを実施した。最後に、焼戻し後のロールを研削盤を用いて研削してロール胴部の直径 645 mm、胴長 1950 mm、及び全長 3950 mm の最終ロール形状に仕上げ加工することにより、冷間圧延用鍛鋼ロールを得た。各鍛鋼ロールについて、400 におけるビッカース硬さ Hv、収縮開始温度、及び熱衝撃によるき裂の測定を以下に示す方法により行った。

20

【0065】

[400 におけるビッカース硬さ Hv の測定]

実施例及び比較例の各鍛鋼ロールの胴部中央部の表面から採取した試験材について、ニコン製 QM2 型高温ビッカース硬さ計を用い、室温から 400 に昇温し 5 分間保持した際の硬さを測定することにより、400 におけるビッカース硬さ Hv を決定した。測定は、JIS Z 2252 : 1991 に準拠した方法で実施した。より具体的には、まず鍛鋼ロールの胴部中央部の表面から 5 mm x 5 mm x 10 mm の試験材を切り出した。熱電対を取り付けた試験材及び圧子を真空中 (3×10^{-5} Torr) で室温から 400 に加熱し、5 分間保持した。その後、試験材において 5 mm x 10 mm の測定面に荷重 300 g f を付加し、ビッカース硬さを 5 点測定し、それらの平均値を 400 におけるビッカース硬さ Hv とした。5 点の測定位置は、測定面の 10 mm 方向 (深さ方向) において、両端を含め 2.5 mm おきの 5 点とした。

30

【0066】

[収縮開始温度の測定]

実施例及び比較例の各鍛鋼ロールの胴部中央部の表面から採取した試験材について、フォーマスター試験機 (富士電波工機製 Formastor EDP) を用いて、収縮開始温度を測定した。具体的には、まず鍛鋼ロールの胴部中央部の表面から寸法 3 mm x 10 mm の試験材を採取した。フォーマスター試験機 (富士電波工機製 Formastor EDP) を用いて、熱電対を取り付けた試験材を真空中 (1×10^{-3} Pa) で室温から昇温速度 180 / 分で昇温した際の 10 mm の辺の膨張量を測定した。その測定結果に基づいて得られた熱膨張曲線 (例えば、図 1 に示すような熱膨張曲線) における低温側での変曲点の温度を求め、得られた値を各ロール材料の収縮開始温度として決定した。

40

【0067】

[熱衝撃によるき裂の測定]

図 2 は、実施例及び比較例の各試験材に対する、落重式摩擦熱衝撃試験機を用いた熱衝撃試験を模式的に示す略図である。耐き裂性を評価するために、図 2 に示す落重式摩擦熱衝撃試験機 10 を用いて、各試験材 13 に対して熱衝撃試験を実施した。まず鍛鋼ロールの胴部中央部の表面から寸法 20 mm x 20 mm x 30 mm の試験材 13 を採取した。落重式摩擦熱衝撃試験機 10 により、ラック (図示せず) に重りを落下させることによりピ

50

ニオン11を回動させ、試験材13の20mm×30mmの表面13Aに、JIS G 3505：2017で規格されている軟鋼線材SWRM6からなる直径5mm×長さ10mmの噛み込み材12を長さ方向に強く接触させて、試験材13の表面13Aに熱衝撃を与えた。熱衝撃試験後の試験材13の接触面断面のき裂発生状況を観察し、き裂の最大深さにより耐き裂性を評価した。より具体的には、き裂の最大深さが400μm未満の場合を合格とし、一方で、き裂の最大深さが400μm以上の場合を不合格とした。その結果を下表1に示す。

【0068】

【表1-1】

表1-1

	化学組成 (質量%、残留Fe及び不純物)															
	C	Si	Mn	P	S	Al	N	O	Cr	Mo	Cu	B	Ni	V	Nb	Cr+Mo+V+Nb
比較例1	0.90	0.30	0.40	0.015	0.0010	0.020	0.0060	0.0022	5.00	0.50	0.020	0.0002		0.20		5.70
比較例2	0.90	0.35	0.40	0.015	0.0010	0.015	0.0054	0.0020	5.00	0.50	0.030	0.0003		0.20		5.70
実施例1	0.90	0.40	0.40	0.015	0.0010	0.016	0.0068	0.0018	5.00	0.50	0.030	0.0001		0.20		5.70
実施例2	0.90	0.45	0.40	0.016	0.0010	0.014	0.0064	0.0015	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
実施例3	0.90	0.60	0.40	0.015	0.0010	0.019	0.0034	0.0008	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
実施例4	0.90	0.80	0.40	0.015	0.0010	0.016	0.0052	0.0024	5.00	0.50	0.030	0.0003		0.20		5.70
実施例5	0.90	0.90	0.40	0.011	0.0010	0.015	0.0061	0.0023	5.00	0.50	0.040	0.0004		0.20		5.70
実施例6	0.90	1.00	0.40	0.017	0.0010	0.014	0.0083	0.0020	5.00	0.50	0.020	0.0004		0.20		5.70
実施例7	0.90	1.20	0.40	0.016	0.0010	0.011	0.0051	0.0019	5.00	0.50	0.030	0.0003		0.20		5.70
実施例8	0.75	0.60	0.40	0.011	0.0020	0.015	0.0071	0.0017	5.00	0.70	0.030	0.0001				5.70
実施例9	1.10	0.60	0.40	0.015	0.0010	0.014	0.0064	0.0030	5.00	0.50	0.030	0.0004	0.30	0.20		5.70
実施例10	0.90	0.60	0.30	0.015	0.0010	0.020	0.0052	0.0015	2.90	0.80	0.030	0.0002		1.00	0.30	5.00
実施例11	0.90	0.60	1.30	0.019	0.0010	0.014	0.0069	0.0012	6.50	0.30	0.030	0.0003		0.20		7.00
実施例12	0.90	0.60	0.40	0.017	0.0010	0.012	0.0061	0.0018	5.00	0.50	0.030	0.0003	1.10	0.20		5.70
実施例13	0.90	0.60	0.40	0.016	0.0010	0.024	0.0059	0.0032	4.50	0.50	0.040	0.0002		0.20		5.20
実施例14	0.90	0.60	0.40	0.015	0.0020	0.020	0.0056	0.0012	4.70	0.50	0.030	0.0002		0.30		5.50
実施例15	0.90	1.40	0.40	0.019	0.0010	0.019	0.0046	0.0020	5.00	0.50	0.020	0.0001		0.20		5.70
実施例16	0.90	0.60	0.40	0.019	0.0010	0.012	0.0051	0.0028	5.00	2.70	0.030	0.0003		0.20		7.90
実施例17	1.20	0.60	0.40	0.013	0.0020	0.024	0.0060	0.0015	6.30	1.90	0.030	0.0002	0.40	0.80	0.40	9.40
実施例18	1.25	0.60	0.40	0.017	0.0010	0.023	0.0067	0.0028	6.80	2.30	0.020	0.0004	0.50	1.30	0.50	10.90
実施例19	1.35	0.60	0.40	0.018	0.0020	0.016	0.0064	0.0030	7.40	2.70	0.030	0.0002	0.70	1.80	0.70	12.60
実施例20	1.45	0.60	0.40	0.010	0.0020	0.022	0.0055	0.0030	8.00	3.00	0.030	0.0002	0.90	2.00	1.00	14.00
実施例21	0.90	0.60	0.40	0.016	0.0010	0.018	0.0055	0.0025	5.00	0.50	0.040	0.0003				5.50
実施例22	1.20	0.60	0.40	0.018	0.0010	0.012	0.0076	0.0016	6.30	1.90	0.030	0.0002	0.40		0.40	8.60
比較例3	0.90	0.60	0.40	0.019	0.0010	0.014	0.0058	0.0013	3.50	0.50	0.030	0.0001		0.20		4.20
比較例4	0.90	0.60	0.40	0.018	0.0010	0.016	0.0064	0.0017	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
比較例5	0.90	0.60	0.40	0.014	0.0010	0.016	0.0060	0.0018	5.00	0.50	0.030	0.0004		0.20		5.70
比較例6	0.90	0.60	0.40	0.013	0.0010	0.016	0.0060	0.0015	5.00	0.50	0.030	0.0003		0.20		5.70
比較例7	0.90	0.60	0.40	0.017	0.0010	0.014	0.0067	0.0020	5.00	0.50	0.030	0.0005		0.20		5.70
比較例8	0.90	0.60	0.40	0.025	0.0010	0.017	0.0055	0.0021	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
比較例9	0.90	0.60	0.40	0.017	0.0010	0.018	0.0052	0.0018	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
比較例10	0.90	0.60	0.40	0.020	0.0010	0.018	0.0055	0.0017	5.00	0.50	0.050	0.0005		0.20		5.70
比較例11	0.90	0.60	0.40	0.019	0.0010	0.015	0.0044	0.0028	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70
比較例12	0.90	0.60	0.40	0.015	0.0010	0.019	0.0052	0.0026	5.00	0.50	0.050	0.0006		0.20		5.70
比較例13	0.90	0.60	0.40	0.011	0.0010	0.010	0.0051	0.0022	5.00	0.50	0.020	0.0001		0.20		5.70
比較例14	0.90	0.60	0.40	0.020	0.0010	0.014	0.0048	0.0014	5.00	0.50	0.020	0.0002		0.20		5.70
比較例15	0.90	1.40	0.40	0.019	0.0010	0.018	0.0053	0.0011	5.00	0.50	0.030	0.0002		0.20		5.70

【0069】

10

20

30

40

50

【表 1 - 2】

表 1 - 2

	鍛造工程				焼入れ工程			400°C における ビッカース 硬さHv	収縮開 始温度 °C	き裂の 最大深さ μm
	加熱 温度(A) °C	保持 時間 hrs	鍛造 温度(B) °C	(A - B) °C	焼入れ 温度 °C	保持 時間 sec	焼入れ温度 から800°C までの時間 sec			
比較例1	1250	15	1180	70	1000	120	100	370	250	450
比較例2	1250	15	1180	70	1000	120	100	385	280	410
実施例1	1250	15	1180	70	1000	120	100	400	290	390
実施例2	1250	15	1180	70	1000	120	100	410	300	300
実施例3	1250	15	1180	70	1000	120	100	420	450	250
実施例4	1250	15	1180	70	1000	120	100	430	600	210
実施例5	1250	15	1180	70	1000	120	100	435	670	180
実施例6	1250	15	1180	70	1000	120	100	440	750	160
実施例7	1250	15	1180	70	1000	120	100	450	850	150
実施例8	1250	15	1180	70	1000	120	100	410	430	270
実施例9	1250	15	1180	70	1000	120	100	420	460	240
実施例10	1250	15	1180	70	1000	120	100	425	500	230
実施例11	1250	15	1180	70	1000	120	100	430	550	220
実施例12	1250	15	1180	70	1000	120	100	420	450	250
実施例13	1250	15	1180	70	1000	120	100	410	340	320
実施例14	1250	15	1180	70	1000	120	100	415	380	310
実施例15	1250	15	1180	70	1000	120	100	455	900	140
実施例16	1250	15	1180	70	1000	120	100	425	500	240
実施例17	1250	15	1180	70	1000	120	100	425	455	240
実施例18	1250	15	1180	70	1000	120	100	425	460	240
実施例19	1250	15	1180	70	1000	120	100	430	465	230
実施例20	1250	15	1180	70	1000	120	100	430	475	220
実施例21	1250	15	1180	70	1000	120	100	415	420	260
実施例22	1250	15	1180	70	1000	120	100	420	445	250
比較例3	1250	15	1180	70	1000	120	100	395	270	420
比較例4	1170	15	1100	70	1000	120	100	350	230	470
比較例5	1330	15	1180	150	1000	120	100	385	280	405
比較例6	1250	7	1180	70	1000	120	100	330	210	500
比較例7	1230	15	1200	30	1000	120	100	305	190	530
比較例8	1280	15	1100	180	1000	120	100	340	220	490
比較例9	1250	15	1180	70	880	120	100	290	180	550
比較例10	1250	15	1180	70	1120	120	100	315	200	510
比較例11	1250	15	1180	70	1000	15	100	335	210	495
比較例12	1250	15	1180	70	1000	210	100	360	230	460
比較例13	1250	15	1180	70	1000	120	10	370	260	440
比較例14	1250	15	1180	70	1000	120	350	300	180	550
比較例15	1180	15	1110	70	1000	120	100	380	260	430

10

20

30

40

【 0 0 7 0 】

本実施例では、き裂の最大深さが400 μm未満の場合に、耐き裂性が改善された冷間圧延用鍛鋼ロールとして評価した。表1を参照すると、比較例1～15は、所望の高温硬さ及び収縮開始温度が得られず、き裂の最大深さが400 μm以上となり、十分な耐き裂性を達成することができなかった。とりわけ、比較例4～6は、鍛造工程における加熱温度が適切でないか又は保持時間が短かったために、ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を十分に確保することができなかったと考えられる。その結果として、所望の高温硬さ及び収縮開始温度が得られず、き裂の最大深さが400 μm以上となり、十分な耐き裂性を達成することができなかった。比較例7及び8は、鍛造工程における加

50

熱温度と鍛造温度との温度差（加熱温度 - 鍛造温度）が適切でなかったために、鍛造工程において析出したSi系析出物をその後の焼鈍工程において十分に再固溶させることができなかつたと考えられる。その結果として、所望の高温硬さ及び収縮開始温度が得られず、き裂の最大深さが400 μm以上となり、十分な耐き裂性を達成することができなかつた。比較例9～14は、焼入れ工程における焼入れ温度、保持時間、又は焼入れ温度から800 に達するまでの時間が適切でなかったために、焼鈍工程で再固溶したSiが焼入れ工程において再びSi系析出物として析出することを十分に抑制することができなかつたと考えられる。その結果として、所望の高温硬さ及び収縮開始温度が得られず、き裂の最大深さが400 μm以上となり、十分な耐き裂性を達成することができなかつた。比較例15は、Si含有量が比較的高い1.40%であるにもかかわらず、鍛造工程における加熱温度が適切でなかったために、ロールのマトリックス中に固溶状態で存在するSiの量を十分に確保することができなかつたと考えられる。その結果として、所望の高温硬さ及び収縮開始温度が得られず、き裂の最大深さが400 μm以上となり、十分な耐き裂性を達成することができなかつた。

10

【0071】

これとは対照的に、400 におけるビッカース硬さHvが400以上である実施例1～22は、き裂の最大深さが390 μm以下となり、比較例1～15と比べて高い耐き裂性を達成することができた。収縮開始温度が300 以上である実施例2～22は、き裂の最大深さが320 μm以下となり、実施例1と比較してさらに耐き裂性を向上させることができた。とりわけ、400 におけるビッカース硬さHvが435以上（及び収縮開始温度が670 以上）の実施例5～7及び15は、き裂の最大深さが200 μm未満となり、非常に高い耐き裂性を達成することができた。

20

【符号の説明】

【0072】

- 10 落重式摩擦熱衝撃試験機
- 11 ピニオン
- 12 噛み込み材
- 13 試験材
- 13A 試験材の表面

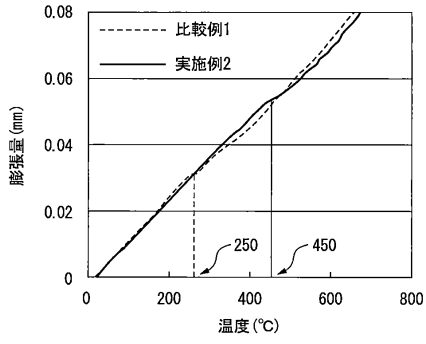
30

40

50

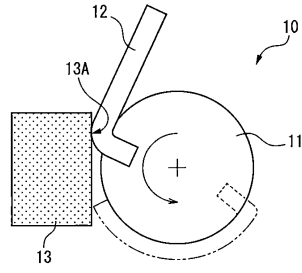
【図面】
【図 1】

図1



【図 2】

図2



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

F I

C 2 1 D

9/38

A

日本製鉄株式会社内

(72)発明者

高 濱 義久

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

平山 佳歩

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

廣川 博英

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

花折 和也

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

(72)発明者

瀬羅 知暁

東京都千代田区丸の内二丁目 6 番 1 号 日本製鉄株式会社内

審査官

藤長 千香子

(56)参考文献

特公昭 4 6 - 0 3 8 8 9 6 (J P , B 1)

特公昭 5 6 - 0 4 2 6 6 5 (J P , B 2)

国際公開第 2 0 1 7 / 1 5 4 6 5 8 (W O , A 1)

特開昭 6 1 - 2 1 3 3 4 9 (J P , A)

特開平 0 6 - 2 1 0 3 2 6 (J P , A)

特開昭 5 9 - 0 2 3 8 4 6 (J P , A)

特開昭 5 6 - 0 0 9 3 2 8 (J P , A)

特開 2 0 1 9 - 0 5 5 4 1 9 (J P , A)

特開 2 0 1 2 - 1 8 4 4 7 1 (J P , A)

特開昭 6 2 - 1 0 9 9 2 6 (J P , A)

特開平 1 1 - 3 1 4 1 0 5 (J P , A)

(58)調査した分野

(Int.Cl., D B 名)

B 2 1 B 2 7 / 0 0

B 2 1 B 2 7 / 0 2

C 2 2 C 3 8 / 0 0

C 2 2 C 3 8 / 5 4