

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4831346号
(P4831346)

(45) 発行日 平成23年12月7日 (2011. 12. 7)

(24) 登録日 平成23年9月30日 (2011. 9. 30)

(51) Int. Cl.

F 1

C 2 2 C 37/00 (2006. 01)

C 2 2 C 37/00

B

B 2 1 B 27/00 (2006. 01)

B 2 1 B 27/00

A

F 1 6 C 13/00 (2006. 01)

B 2 1 B 27/00

C

F 1 6 C 13/00

A

F 1 6 C 13/00

E

請求項の数 18 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2006-535156 (P2006-535156)

(86) (22) 出願日 平成17年9月13日 (2005. 9. 13)

(86) 国際出願番号 PCT/JP2005/016859

(87) 国際公開番号 W02006/030795

(87) 国際公開日 平成18年3月23日 (2006. 3. 23)

審査請求日 平成20年3月6日 (2008. 3. 6)

(31) 優先権主張番号 特願2004-265628 (P2004-265628)

(32) 優先日 平成16年9月13日 (2004. 9. 13)

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(31) 優先権主張番号 特願2005-117008 (P2005-117008)

(32) 優先日 平成17年4月14日 (2005. 4. 14)

(33) 優先権主張国 日本国 (JP)

(73) 特許権者 000005083

日立金属株式会社

東京都港区芝浦一丁目2番1号

(74) 代理人 100080012

弁理士 高石 橋馬

(72) 発明者 古島 清史

福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1

株式会社日立金属若松内

(72) 発明者 松本 俊二

福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1

株式会社日立金属若松内

(72) 発明者 本田 亮太

福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1

株式会社日立金属若松内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 圧延ロール用遠心鑄造外層及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

質量％で、C：4.5～9％、Si：0.1～3.5％、Mn：0.1～3.5％、V：18～40％、並びにCr：1～15％、Mo：0.5～10％及びW：1～40％からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物からなる組成を有することを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、Vの少なくとも一部が、下記式 (1)：

$$18\% \quad V\% + 0.55 \times Nb\% \quad 40\% \cdots (1)$$

を満たす量のNbで置換されていることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 3】

請求項 1 又は 2 に記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、下記式 (2)：

$$0 \quad C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%) \quad 2\% (\text{質量}\%) \cdots (2)$$

を満たすことを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 4】

請求項 1～3 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、さらに質量％で、2％以下のNi及び／又は10％以下のCoを含有することを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 5】

10

20

請求項 1 ~ 4 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、さらに質量%で、0.5%以下のTi及び/又は0.5%以下のAlを含有することを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 6】

質量%で、C: 2.5 ~ 9%、Si: 0.1 ~ 3.5%、Mn: 0.1 ~ 3.5%、V: 11 ~ 40%、並びにCr: 1 ~ 15%、Mo: 0.5 ~ 20% 及び W: 1 ~ 40% からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物からなる組成を有する圧延ロール用遠心鑄造外層であって、ピッカース硬さがHv550 ~ 900の基地に、面積率でMC炭化物が20 ~ 60%分散した組織を有し、前記組織において円相当直径が15 µm以上のMC炭化物を含まない領域の最大内接円直径が150 µmを超えないことを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

10

【請求項 7】

質量%で、C: 2.5 ~ 9%、Si: 0.1 ~ 3.5%、Mn: 0.1 ~ 3.5%、V: 11 ~ 40%、並びにCr: 1 ~ 15%、Mo: 0.5 ~ 20% 及び W: 1 ~ 40% からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免の不純物からなる組成を有する圧延ロール用遠心鑄造外層であって、ピッカース硬さがHv550 ~ 900の基地に、面積率でMC炭化物が20 ~ 60%分散した組織を有し、前記組織において円相当直径が15 µm以上のMC炭化物間の平均距離が10 ~ 40 µmであることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 8】

請求項 6 又は 7 に記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、MC炭化物の平均円相当直径が10 ~ 50 µmであることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

20

【請求項 9】

請求項 6 ~ 8 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、円相当直径が15 µm以上のMC炭化物間の平均距離Bと、MC炭化物の平均円相当直径Aとの比(B/A)が2以下であることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 10】

請求項 6 ~ 9 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、面積率で円相当直径が1 µm以上のM₂C、M₆C及びM₇C₃炭化物が総量で0 ~ 5%分散していることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 11】

請求項 6 ~ 10 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、Vの少なくとも一部が、下記式(3) :

$$11\% \quad V\% + 0.55 \times Nb\% \quad 40\% \quad \cdots (3)$$

を満たす量のNbで置換されていることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

30

【請求項 12】

請求項 6 ~ 11 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、さらに下記式(2) :

$$0 \quad C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%) \quad 2\% \text{ (質量\%)} \quad \cdots (2)$$

を満たすことを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 13】

請求項 6 ~ 12 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、さらに質量%で、2%以下のNi及び/又は10%以下のCoを含有することを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

40

【請求項 14】

請求項 6 ~ 13 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、さらに質量%で、0.5%以下のTi及び/又は0.5%以下のAlを含有することを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 15】

請求項 1 ~ 14 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、室温 ~ 300 °C における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

50

【請求項 16】

請求項 1 ~ 15 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、300 における熱伝導率が25 W/m・K以下であることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 17】

請求項 1 ~ 16 のいずれかに記載の圧延ロール用遠心鑄造外層において、縦弾性係数が240 GPa以上であることを特徴とする圧延ロール用遠心鑄造外層。

【請求項 18】

面積率でMC炭化物が20~60%分散した組織を有する圧延ロール用外層を製造する方法であって、質量%で、C:2.2~6.0%、Si:0.1~3.5%、Mn:0.1~3.5%、V:8~22%、並びにCr:1~15%、Mo:0.5~20%及びW:1.5~19.3%からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物元素からなる組成を有する溶湯を遠心鑄造することにより、MC炭化物が濃化した内周層と、MC炭化物が乏しい外周層と、前記内周層と前記外周層の間でMC炭化物の面積率が変化する濃度傾斜層とからなる円筒体を作製し、MC炭化物の面積率が20%以上となる深さまで前記円筒体を切削加工することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、耐摩耗性、耐肌荒れ性及び耐焼付き性等に優れ、特に熱間薄板圧延機の仕上列のワークロールに好適な圧延ロール用遠心鑄造外層、及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

圧延ロールの耐摩耗性及び耐肌荒れ性は圧延の生産性を決定する重要な特性である。耐摩耗性が乏しいと、早期にロール表面が摩耗し、被圧延材の寸法精度が損なわれる。また圧延ロールは、被圧延材との接触やバックアップロールとの接触等により表面が不均一に摩耗し、肌荒れが発生すると、その肌荒れが被圧延材に転写され、被圧延材の表面の外観を損なう。これらを防止するためにロールを頻繁に取り替えなければならない、圧延作業の中断の頻度が増えることによる圧延工場の生産性の低下、ロール表面研削加工に要するコストの増大、さらにロール表面研削量の増大によるロール原単位の低下といった問題が発生する。

【0003】

圧延ロールの耐焼付き性も重要である。耐焼付き性に乏しいと、圧延時のロールバイト内での発熱等により、被圧延材がロールに焼付き、正常な圧延ができなくなる。特に熱間薄板圧延機の仕上列の後段スタンドでは、被圧延材の端部が何らかの要因で二枚重ねで圧延される、いわゆる“絞り”と称される事故が発生する。その際、耐焼付き性に乏しいと被圧延材がロールに焼付いたり、さらに被圧延材がロール胴体に巻きつき圧延停止を余儀なくされる。また、被圧延材がロールに焼付いたまま圧延されると、その焼付き部に圧延荷重が集中することによりクラックが発生し、それを起点にスポール等のロール破損に至る場合がある。

【0004】

圧延ロールは硬さを増すと、耐摩耗性も向上する。ハイス系ロール材は合金元素からなる高硬度の炭化物(MC、 M_2C 、 M_6C 、 M_7C_3 等)を含有する。合金元素のうち特にV及びNbはピッカース硬さでHv 2400~3200程度の極めて高硬度のMC炭化物を形成し、耐摩耗性の向上に著しく寄与する。しかし、V及びNbを多く含む溶湯を遠心鑄造すると、MC炭化物は遠心分離により内面側に偏析する。

【0005】

特開平8-60289号は、質量%で、C:1.0~3.0%、Si:0.1~3.0%、Mn:0.1~2.0%、Cr:2.0~10.0%、Mo:0.1~10.0%、V:1.0~10.0%、W:0.1~10.0%、Mo+W 10.0%、及び残部Fe及び不純物からなる組成を有する外層と、鑄鉄又は鑄鋼の内層とからなる中実又は中空の遠心鑄造複合ロールを開示している。この文献には、Vが10.0質量%を超えると、遠心鑄造により軽い炭化物は内面側に偏析し、圧延に用いる外層の外表面では炭化物

10

20

30

40

50

量が少ないことが記載されている。この現象は、溶湯が初晶で粒状炭化物を晶出する場合に発生しやすい。初晶粒状炭化物は比重が 6 g/cm^3 程度と溶湯（比重： $7 \sim 8 \text{ g/cm}^3$ 程度）より軽いので、遠心力により内面側に移動する。

【0006】

炭化物の比重を大きくすることにより遠心分離による偏析を防止するために、特開平9-256108号は、C：3.5～5.5%、Si：0.1～1.5%、Mn：0.1～1.2%、Cr：4.0～12.0%、Mo：2.0～8.0%、V：12.0～18.0%、残部Fe及び不可避的不純物からなることを特徴とする熱間圧延用工具鋼を提案している。VCは比重が小さいので遠心 casting により偏析するが、NbはVと比重の大きな複合炭化物(V, Nb)Cを形成するので、遠心分離による炭化物の偏析を防止する。

10

【0007】

特開平3-254304号は、面積比で5～30%の粒状炭化物及び5%以下の非粒状炭化物を含有する組織を有し、基地の硬さがビッカース硬さHvで550以上の外層を有する熱間圧延用複合ロールを開示している。この熱間圧延用複合ロールの外層の基本組成は、1.0～3.5質量%のC、3.0質量%以下のSi、1.5質量%以下のMn、2～10質量%のCr、9質量%以下のMo、20質量%以下のW、2～15質量%のV、残部Fe及び不純物からなる。しかしながら、この複合ロールは、鋼材からなる芯材の周囲に高周波コイルを用いて連続的に外層を形成するいわゆる連続肉盛 casting 法により形成されており、遠心 casting 法と比較して製造コストが高く、またロールの大型化に対応しづらいという問題がある。

【0008】

20

特開平7-268569号は、重量比で、C：1.8～5%、Si：2%以下、Mn：2%以下、Cr：4～6%、W：2～8%、Mo：2～10%、V：11%超17%以下、Co7～13%、残部Fe及び不可避的不純物からなり、平均粒径 $1 \sim 30 \mu\text{m}$ 、面積率20～40%のMC炭化物を含有する耐摩耗焼結合金を開示している。しかしながら、この合金はHIP法により形成されたもので、遠心 casting 法と比較して製造コストが高く、またロールの大型化に対応しづらいという問題がある。

【0009】

特開2000-303135号は、遠心 casting 外層と内層とを中間層を介して溶着した熱間圧延用複合ロールであって、前記外層が、重量比でC：1.5～2.6%、Si：0.1～2.0%、Mn：0.1～2.0%、Cr：7～15%、Mo：2.5～10%、V：3～10%、Nb：0.5～5%を含み、残部Fe及び不可避的不純物からなる組成を有し、かつ室温～300℃における平均熱膨張係数が $11.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下である熱間圧延用複合ロールを開示している。この複合ロールでは外層の熱膨張係数を制御することにより熱膨張が抑制されているが、遠心 casting 外層ではVC等のMC炭化物が内側に偏析するので、表面の耐摩耗性は必ずしも十分に改善されない。

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

従って、本発明の目的は、遠心 casting ロール外層におけるMC炭化物の偏析の問題を解消し、耐摩耗性、耐肌荒れ性及び耐焼付き性に優れた圧延ロール用遠心 casting 外層、及びその製造方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

40

【0011】

上記目的に鑑み鋭意研究の結果、本発明者は、下記の発見に基づき本発明に想到した。
(a) 初晶MC炭化物を晶出する組成を有する溶湯を遠心 casting すると、比重の小さなMC炭化物が内面側に濃化することを積極的に利用し、遠心 casting 後MC炭化物が濃化した層だけを残すように切削すれば、溶湯中のVの濃度を著しく高くする必要はなしに、MC炭化物が多いロール外層を低コストで確実に形成することができる。

(b) サーマルクラウンの抑制に有効な熱膨張係数の低下のために、外層組織に熱膨張係数の小さいMC炭化物を多量に均一に析出させるのが良い。

【0012】

(c) MC炭化物はFe系基地より熱伝導率が低い（特にVCの熱伝導率は $4 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 程度と

50

、Fe系基地の30～50 W/m・K程度と比べると極めて低いため)、ロール外層の熱伝導率を低くするのに有効である。

【0013】

本発明の第一の圧延ロール用遠心鑄造外層は、質量%で、C：4.5～9%、Si：0.1～3.5%、Mn：0.1～3.5%、V：18～40%、並びにCr：1～15%、Mo：0.5～10%及びW：1～40%からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物からなる組成を有することを特徴とする。

【0015】

Vの少なくとも一部は、下記式(1)：

$$18\% \quad V\% + 0.55 \times Nb\% \quad 40\% \quad (\text{質量}\%) \cdots (1)$$

を満たす量のNbで置換されていてもよい。

【0016】

第一の圧延ロール用遠心鑄造外層は、下記式(2)：

$$0 \quad C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%) \quad 2\% \quad (\text{質量}\%) \cdots (2)$$

を満たすのが好ましい。

【0017】

第一の圧延ロール用遠心鑄造外層はさらに質量%で、2%以下のNi及び/又は10%以下のCoを含有するのが好ましい。

【0018】

第一の圧延ロール用遠心鑄造外層はさらに質量%で、0.5%以下のTi及び/又は0.5%以下のAlを含有するのが好ましい。

【0019】

本発明の第二の圧延ロール用遠心鑄造外層は、質量%で、C：2.5～9%、Si：0.1～3.5%、Mn：0.1～3.5%、V：11～40%、並びにCr：1～15%、Mo：0.5～20%及びW：1～40%からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物からなる組成を有する圧延ロール用遠心鑄造外層であって、ピッカース硬さがHv550～900の基地に、面積率でMC炭化物が20～60%分散した組織を有し、前記組織において円相当直径が15 μm以上のMC炭化物を含まない領域の最大内接円直径が150 μmを超えないことを特徴とする。

【0020】

本発明の第三の圧延ロール用遠心鑄造外層は、質量%で、C：2.5～9%、Si：0.1～3.5%、Mn：0.1～3.5%、V：11～40%、並びにCr：1～15%、Mo：0.5～20%及びW：1～40%からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物からなる組成を有する圧延ロール用遠心鑄造外層であって、ピッカース硬さがHv550～900の基地に、面積率でMC炭化物が20～60%分散した組織を有し、前記組織において円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離が10～40 μmであることを特徴とする。

【0021】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層において、MC炭化物の平均円相当直径は10～50 μmであるのが好ましい。また円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離Bと、MC炭化物の平均円相当直径Aとの比(B/A)は2以下であるのが好ましい。

【0022】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層において、面積率で円相当直径が1 μm以上のM₂C、M₆C及びM₇C₃炭化物が総量で0～5%分散してもよい。

【0025】

Vの少なくとも一部は、下記式(3)：

$$11\% \quad V\% + 0.55 \times Nb\% \quad 40\% \quad (\text{質量}\%) \cdots (3)$$

を満たす量のNbで置換しても良い。

【0026】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層は、さらに下記式(2)：

$$0 \quad C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%) \quad 2\% \quad (\text{質量}\%) \cdots (2)$$

を満たすのが好ましい。

【0027】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層はさらに質量％で、2％以下のNi及び／又は10％以下のCoを含有するのが好ましい。

【0028】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層はさらに質量％で、0.5％以下のTi及び／又は0.5％以下のAlを含有するのが好ましい。

【0029】

第二及び第三の圧延ロール用遠心鑄造外層は、室温～300℃における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であるのが好ましい。また300℃における熱伝導率が25 W/m・K以下であるのが好ましい。さらに縦弾性係数が240 GPa以上であるのが好ましい。

【0030】

面積率でMC炭化物が20～60％分散した組織を有する圧延ロール用外層を製造する本発明の方法は、質量％で、C：2.2～6.0％、Si：0.1～3.5％、Mn：0.1～3.5％、V：8～22％、並びにCr：1～15％、Mo：0.5～20％及びW：1.5～19.3％からなる群から選ばれた少なくとも一種を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物元素からなる組成を有する溶湯を遠心鑄造することにより、MC炭化物が濃化した内周層と、MC炭化物が乏しい外周層と、前記内周層と前記外周層の間でMC炭化物の面積率が変化する中間層（MC炭化物の濃度が傾斜している層－単に「濃度傾斜層」という）とからなる円筒体を作製し、MC炭化物の面積率が20％以上となる深さまで前記円筒体を切削加工することを特徴とする。

【発明の効果】

【0032】

本発明の圧延ロール用遠心鑄造外層は、圧延用ワークロール、特に熱間薄板圧延機の仕上列に用いられるワークロールで、優れた耐摩耗性、耐肌荒れ性及び耐焼付き性を発揮し、圧延の生産性の向上やロール原単位の向上に寄与する。また本発明の方法により、溶湯中のVの含有量を高くするために溶湯温度を著しく高める必要なく、従来と同じ遠心鑄造装置を用いて、MC炭化物を多量かつ均一に分散できるために、優れた耐摩耗性、耐肌荒れ性及び耐焼付き性を有する圧延ロール用遠心鑄造外層を低コストで製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【0033】

【図1】MC炭化物の円相当直径を求める方法を示す概略図である。

【図2】MC炭化物間の平均距離を求める方法を示す概略図である。

【図3】MC炭化物を含まない領域の最大内接円直径を求める方法を示す概略図である。

【図4(a)】遠心鑄造の際MC炭化物が内面側に移動する様子を示す概略図である。

【図4(b)】本発明の圧延ロール用遠心鑄造外層を示す半径方向断面図である。

【図4(c)】図4(b)のA-A断面におけるMC炭化物の分布を示すグラフである。

【図5】実施例4の遠心鑄造円筒体における元素の半径方向分布を示すグラフである。

【図6】実施例4の遠心鑄造円筒体におけるMC炭化物の半径方向分布を示すグラフである。

【図7】実施例6の遠心鑄造円筒体における元素の半径方向分布を示すグラフである。

【図8】実施例6の遠心鑄造円筒体におけるMC炭化物の半径方向分布を示すグラフである。

【図9】従来例2の遠心鑄造円筒体における元素の半径方向分布を示すグラフである。

【図10】従来例2の遠心鑄造円筒体におけるMC炭化物の半径方向分布を示すグラフである。

【図11】圧延摩耗試験機を示す概略図である。

【図12】焼付き試験機を示す概略図である。

【図13】実施例4の試験片の金属組織を示す光学顕微鏡写真である。

【図14】比較例1の試験片の金属組織を示す光学顕微鏡写真である。

【図15】従来例2の試験片の金属組織を示す光学顕微鏡写真である。

【図 1 6】 $(V\% + 0.55 \times Nb\%)$ の値とMC炭化物の面積率との関係を示すグラフである。

【図 1 7】 実施例4、比較例1及び従来例2の試験片における熱膨張係数と温度との関係を示すグラフである。

【図 1 8】 実施例4、比較例1及び従来例2の試験片における熱伝導率と温度との関係を示すグラフである。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 3 4 】

[1] 圧延ロール用遠心鑄造外層の組成 (質量%)

(1) 必須成分

(a) C : 2.5 ~ 9%

10

Cは、主にV, Nb等の合金元素と結合し、MC炭化物を形成することにより耐摩耗性を向上させる必須元素である。合金元素と結合しないCは主に基地中に固溶するか極微細に析出し、基地を強化する。Cが2.5%未満ではMC炭化物の量が不足し、十分な耐摩耗性が得られない。一方、Cが9%を超えると、炭化物が過多となり、ロール外層の耐熱亀裂性が劣化する。C含有量は好ましくは3.5~9%であり、より好ましくは4.5~9%である。

【 0 0 3 5 】

(b) Si : 0.1 ~ 3.5%

Siは溶湯中で脱酸剤として作用する。Siが0.1%未満では脱酸効果が不足し、鑄造欠陥を生じやすい。一方、Siが3.5%を超えるとロール外層は脆化する。Si含有量は好ましくは0.2~2.5%であり、より好ましくは0.2~1.5%である。

20

【 0 0 3 6 】

(c) Mn : 0.1 ~ 3.5%

Mnは溶湯の脱酸や不純物であるSをMnSとして固定する作用を有する。Mnが0.1%未満であると、これらの効果が不十分である。一方、Mnが3.5%を超えると残留オーステナイトを生じやすくなり、硬さを安定的に維持できず、耐摩耗性が劣化しやすくなる。Mn含有量は好ましくは0.2~2.5%であり、より好ましくは0.2~1.5%である。

【 0 0 3 7 】

(d) V : 11 ~ 40%

Vは主にCと結合し、MC炭化物を形成する元素である。ロール外層に多量のMC炭化物を含ませるために、11~40%のVが必要である。Vが11%未満では、MC炭化物が不足し、十分な耐摩耗性が得られない。一方、Vが40%超であると、MC炭化物が過剰となり、ロール外層の靱性が劣化する。V含有量は好ましくは15~40%以下であり、より好ましくは18~40%である。

30

【 0 0 3 8 】

(e) Nb

NbはMC炭化物を形成する点でVと同様の作用を有する。原子量の比より、質量%で $0.55 \times Nb\%$ とV%とが等価である。従って、下記式(3)：

$$11\% \quad V\% + 0.55 \times Nb\% \quad 40\% \text{ (質量\%)} \cdots (3)$$

を満たす量のNbでVの一部又は全部を置換しても良い。 $(V\% + 0.55 \times Nb\%)$ のより好ましい範囲は、質量%で、15~40%であり、最も好ましい範囲は18~40%である。

40

【 0 0 3 9 】

またNbはC及びVと、下記式(2)：

$$0 \quad C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%) \quad 2\% \text{ (質量\%)} \cdots (2)$$

を満たすのが好ましい。 $[C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%)]$ の値が0未満であると、MC炭化物が十分に得られず、基地中にV及びNbが過剰となり、十分な硬さ及び耐摩耗性が得られない。一方、 $[C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%)]$ の値が2%を超えると、 M_2C 、 M_6C 、及び M_7C_3 炭化物等の非粒状炭化物が網目状に晶出し、ロール外層の耐熱亀裂性が劣化する。

【 0 0 4 0 】

(2) 任意成分

圧延ロールの用途及び使用方法に応じて、外層は以下の元素を適宜含有しても良い。

50

【0041】

(a) Cr : 1 ~ 15 %

Crは基地に固溶して焼入性を高めるだけでなく、一部はCと結合して極微細な炭化物として析出し、基地を強化する。Crが1%未満では、基地強化の効果が十分に得られない。一方、Crが15%を超えると、 M_7C_3 炭化物等のMC炭化物以外の炭化物が網目状に晶出し、ロール外層の耐熱亀裂性が劣化する。より好ましいCr含有量は3~9%である。

【0042】

(b) Mo : 0.5 ~ 20 %

Moは基地に固溶して焼入性を高めるだけでなく、一部はCと結合して極微細な炭化物として析出し、基地を強化する。またMoの一部は粒状炭化物を形成する。Moが0.5%未満では、基地強化の効果が十分に得られない。一方、Moが20%を超えると M_2C や M_6C 等の非粒状炭化物が網目状に晶出し、ロール外層の耐熱亀裂性が劣化する。Mo含有量はより好ましくは2.5~20%であり、特に2.5~10%である。

10

【0043】

(c) W : 1 ~ 40 %

Wは基地部に固溶して焼入性を高め、一部はCと結合して極微細な炭化物として析出し、基地を強化する。またWの一部は粒状炭化物を形成する。Wが1%未満であると、基地強化の効果が十分に得られない。一方、Wが40%を超えると M_6C や M_2C 等の非粒状炭化物が網目状に晶出し、ロール外層の耐熱亀裂性が劣化する。W含有量はより好ましくは5~40%であり、特に5~20%である。

20

【0044】

本発明のロール外層に十分な耐摩耗性を付与するために、基地の強化元素であるCr、Mo及びWの少なくとも一種を含有するのが好ましい。

【0045】

(d) Ni : 2% 以下

Niは基地に固溶し、基地の焼入れ性を向上させるのに有効である。Niが2%を超えると、基地のオーステナイトが安定化するため、基地の硬化効果が不十分である。

【0046】

(e) Co : 10% 以下

Coは基地に固溶し、基地強化の効果がある。またCoを含有すると、高温でも基地の硬さを維持できる。Coが10%を超えると、ロール外層の靱性が低下する。Coは高価であるので、経済性及び使用条件を考慮し、その含有量を決定するのが望ましい。

30

【0047】

(f) Ti : 0.5% 以下

Tiは溶湯中で脱酸剤として作用するほか、Nと結合して窒化物を形成し、粒状炭化物の核となり、粒状炭化物を微細にする効果がある。また一部はCと結合して粒状炭化物となる。Tiの添加効果は0.5%以下で十分である。

【0048】

(g) Al : 0.5% 以下

Alは溶湯中で脱酸剤として作用するほか、粒状炭化物を微細にする効果がある。Alが0.5%を超えると、外層の焼入れ性が悪化し、十分な基地硬さが得られなくなる。

40

【0049】

[2] 圧延ロール用遠心鑄造外層の組織及び特性

(1) MC炭化物

粒状炭化物であるMC炭化物は、他の炭化物(M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物等)に比べると高硬度であり、耐摩耗性の向上に寄与する。またMC炭化物は高温で安定であり、被圧延材と金属結合しにくいので、耐焼付き性改善にも優れた効果を発揮する。MC炭化物が面積率で20%未満では、耐摩耗性、耐焼付き性及び耐熱亀裂性が不十分である。一方、MC炭化物が面積率で60%を超えると、耐焼付き性改善効果が飽和するとともに、ロール外層の靱性が著しく低下する。その上、隣り合う粒状炭化物同士の間隔が狭く、クラックが伝播しやすい

50

くなるため、耐熱亀裂性が劣化する。従って、MC炭化物は面積率で20～60%である。好ましい面積率は30～50%である。

【0050】

(2) MC炭化物の大きさ

MC炭化物（粒状炭化物）の平均円相当直径は10～50 μmであるのが好ましい。熱間圧延時にロールは高熱の圧延鋼板と接触し、表面から10 μm程度まで基地が軟化するので、MC炭化物の平均円相当直径が10 μm未満では、基地がMC炭化物を十分に支持できず、ロールの耐摩耗性及び耐肌荒れ性は低い。一方、平均円相当直径が50 μmを超えると、耐焼付き性の向上効果が飽和するとともに、靱性が低下する。MC炭化物の平均円相当直径はより好ましくは10～40 μmであり、最も好ましくは15～30 μmである。

10

【0051】

図1に示すように、MC炭化物1の円相当直径は、MC炭化物1と等しい面積の円10の直径を D_{10} と定義する。MC炭化物1の面積をSとすると、 $D_{10} = 2 \times (S/\pi)^{1/2}$ である。MC炭化物の平均円相当直径は D_{10} の平均値である。

【0052】

(3) MC炭化物間の平均距離

本発明のロール外層の組織において、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離は10～40 μmであるのが好ましい。平均MC炭化物間距離が10 μm未満であると、MC炭化物の偏在が多すぎ、MC炭化物の多い部分と少ない部分で摩耗差によるミクロ的な凹凸が生じ、耐肌荒れ性が低い。一方、平均MC炭化物間距離が40 μm超であると、MC炭化物の分布のばらつきが無視できないほど大きく、耐焼付き性の向上が見られない。円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離は20～30 μmであるのがより好ましい。

20

【0053】

MC炭化物間の平均距離の求め方を、ロール外層の組織を概略的に示す図2により説明する。この組織は、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物（白色）1aと、円相当直径が15 μm未満のMC炭化物（黒色）1bとを含有する。2は基地（ M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物を含有する）を示す。この組織に任意の直線Lを引くと、MC炭化物1a₁、1a₂、1a₃・・・1a_nが交差し、これらのMC炭化物間の距離 L_1 、 L_2 、 L_3 ・・・ L_n が計測される。従って、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離は、 $[(L_1 + L_2 + \dots + L_n)/n]$ により求まる。

30

【0054】

(4) 平均MC炭化物間距離 / 平均円相当直径

本発明のロール外層の組織において、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離Bと、MC炭化物の平均円相当直径Aとの比（B/A）は2以下であるのが好ましい。多量のMC炭化物を含有する本発明のロール外層では、MC炭化物が凝集しやすい。MC炭化物が凝集すると、MC炭化物の多い部分と少ない部分で摩耗差によるミクロ的な凹凸が生じ、耐肌荒れ性が損なわれる。B/A比はMC炭化物の凝集の程度を示す。B/Aが2を超えると、MC炭化物が凝集しすぎている。より好ましいB/A比は1.5以下である。

【0055】

(5) MC炭化物を含まない領域の最大内接円直径

40

本発明のロール外層の組織において、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物を含まない領域の最大内接円直径は150 μmを超えないのが好ましい。最大内接円直径が150 μm超であると、MC炭化物の分布のばらつきが無視できないほど大きい。最大内接円直径は120 μm以下であるのがより好ましく、80 μm以下であるのがより好ましい。

【0056】

円相当直径が15 μm以上のMC炭化物を含まない領域の最大内接円直径は図3に示すように求める。図示の視野では、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物1a₁、1a₂、1a₃、1a₄に内接する円20の直径は D_{20} である。同様にして、他のMC炭化物群に内接する円の直径を求める。この操作を任意の複数の視野について行い、最大の内接円直径 D_{20max} を決める。

【0057】

50

(6) 基地の硬さ

基地は主にFe及び合金元素からなり、熱処理による変態や極微細な炭化物の析出により硬さが変化する。基地の硬さがビッカース硬さでHv 550未満では、ロール外層の耐摩耗性が不十分である。耐摩耗性向上の観点から基地は硬いほうが望ましいが、Hv 900を超えると、基地の靱性が低下する。基地のより好ましい硬さはHv 650～850であり、さらに好ましくはHv 650～750である。

【0058】

(7) 平均熱膨張係数

本発明のロール外層は室温～300℃における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下である。MC炭化物は他の炭化物に比べ熱膨張係数が小さいため、外層の熱膨張係数を小さくするのに効果的である。特にVCの室温～300℃における平均熱膨張係数は $7 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 程度であり、Cr炭化物である Cr_{23}C_6 の $10 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 程度に比べると小さい。小さい平均熱膨張係数により、サーマルクラウンの成長を抑制することができる。ただし、外層の熱膨張係数が小さすぎると、ロールの残留応力が過大となり、折損や外層剥離のリスクが増大する。室温～300℃における平均熱膨張係数はより好ましくは $9.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 以下であり、最も好ましくは $8 \sim 9.5 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ である。

【0059】

(8) 熱伝導率

本発明のロール外層は、300℃における熱伝導率が $25 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以下であるのが好ましい。MC炭化物の熱伝導率はFe系基地より著しく低く、例えばVCの熱伝導率は約 $4 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ であり、Fe系基地の約 $30 \sim 50 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ より極めて低い。そのため、金属組織中に面積率で $20 \sim 60\%$ のMC炭化物を分散させることにより、ロールの軸方向中央部付近及びその内部の温度上昇を低減させ、サーマルクラウンの成長を抑制し、通板性を向上させることができる。300℃における熱伝導率はより好ましくは $23 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以下であり、最も好ましくは $21 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 以下である。

【0060】

(9) 縦弾性係数

MC炭化物はFeに比べ縦弾性係数が高いので、MC炭化物を多量に含むことにより、ロール外層の縦弾性係数は増大する。例えばVCの縦弾性係数は 270 GPa 程度であり、NbCは 340 GPa 程度であり、基地は $200 \sim 220 \text{ GPa}$ 程度である。

【0061】

(10) 非粒状炭化物

本発明のロール外層には、円相当直径が $1 \mu\text{m}$ 以上の非粒状炭化物(M_2C 、 M_6C 、及び M_7C_3 炭化物)が合計面積率で $0 \sim 5\%$ 分散していても良い。非粒状炭化物の合計面積率が 5% を超えると、非粒状炭化物が粗大化してロールの耐肌荒れ性及び靱性を損なうだけでなく、網目状に晶出した非粒状炭化物に沿ってクラックが進展することにより耐熱亀裂性が低下する。非粒状炭化物の合計面積率は少なければ少ないほど良い。円相当直径が $1 \mu\text{m}$ 以上の M_2C 、 M_6C 、及び M_7C_3 炭化物の合計面積率はより好ましくは $0 \sim 3\%$ であり、さらに好ましくは $0 \sim 1\%$ である。なおMC、 M_2C 、 M_6C 、及び M_7C_3 炭化物以外の炭化物を微量含んでも良い。

【0062】

[3] 遠心鋳造法

本発明の圧延ロール用外層を製造するには、まず初晶MC炭化物を晶出する化学組成に調整した溶湯を円筒形鋳型に鋳込み、遠心鋳造する。遠心鋳造によるMC炭化物の遠心分離を利用する本発明では、溶湯組成はロール外層の組成と異なる。[1]に記載の外層組成を得るためには、溶湯組成は、質量%で、C: $2.2 \sim 6.0\%$ 、Si: $0.1 \sim 3.5\%$ 、Mn: $0.1 \sim 3.5\%$ 、及びV: $8 \sim 22\%$ を含有し、残部Fe及び不可避免的不純物元素からなる。NbはVの少なくとも一部を置換し、かつMC炭化物として遠心鋳造により遠心分離するので、溶湯に、下記式(4):

$$8 \text{ \% } \text{V} \% + 0.55 \times \text{Nb} \% \quad 22 \% (\text{質量} \%) \cdots (4)$$

10

20

30

40

50

を満たす量のNbを添加することができる。

【0063】

好ましくは、溶湯組成は、質量%で、C：2.5～6.0%、Si：0.2～1.5%、Mn：0.2～1.5%、及びV：10～22%を含有し、Nbを10% $V\% + 0.55 \times Nb\%$ 22%（質量%）を満たす量だけ含有しても良い。

【0064】

任意元素であるCr、Mo、Ni、Co及びAlはほとんど遠心分離しないので、溶湯中の含有量はロール外層における含有量と同じでよい。W及びTiは、その一部が初晶MC炭化物に固溶するため、若干遠心分離される。

【0065】

図4(a) に示すように、鑄型41内での遠心鑄造の際、溶湯42中で比重の小さな初晶MC炭化物43は中空部44に接するロールの内側に移動する。その結果、図4(b) 及び図4(c) に示すように、MC炭化物が濃化した内周層40aと、MC炭化物が乏しい外周層40bと、MC炭化物の面積率が変化する濃度傾斜層40cとからなる円筒体40が得られる。次いで円筒体40から外周層40bの全て及び濃度傾斜層40cの少なくとも一部を切削等により除去し、MC炭化物が濃化した部分（主として内周層40a）を圧延ロール用外層とする。

【0066】

外周層40b及び濃度傾斜層40cの厚さは、溶湯の組成及び遠心鑄造条件により決まるので、予測可能である。濃度傾斜層40cは全て除去する必要がある訳ではないので、濃度傾斜層40cのどの深さまで除去するかを予め設定する。勿論、確実に高耐摩耗性を得るために、内周層40aの一部までも除去して良い。例えば図4(c) に示すように、完全に除去すべき外周層40bの厚さDout、及び少なくとも部分的に除去すべき濃度傾斜層40cの除去深さDim、さらに必要に応じて部分的に除去すべき内周層40aの除去深さDinが、実験的に又はシミュレーションにより溶湯の組成及び遠心鑄造条件により決まると、 $Dout + Dim (+Din)$ の深さだけ円筒体40を切削することにより露出する内周層40a（又は内周層40a + 濃度傾斜層40cの一部）が所望の厚さ（外層の目標厚さ）Dtを有するように、円筒体40の肉厚 $Do [= Dt + Dout + Dim (+Din)]$ を予め設定することができる。既存の鑄型41を用いて外層の目標厚さDtより大きい肉厚Doを有する円筒体40を遠心鑄造法により形成すれば、 $Dout + Dim (+Din)$ の深さだけ円筒体40を切削することにより、容易かつ低コストで厚さDtのロール外層を得ることができる。

【0067】

本発明の方法において、前記溶湯組成及び遠心鑄造条件により予測される前記MC炭化物の分布から、MC炭化物の面積率が20%以上となる深さを予測し、その深さの分だけ、前記円筒体を前記外層の目標外径より大きな外径に作製するのが好ましい。

【0068】

[4] 内層材

本発明の外層を有する圧延ロールにおいて、外層との健全な溶着を得るため、内層を外層より低い融点の合金で形成するのが好ましい。具体的には、内層用合金は、球状黒鉛鑄鉄、片状黒鉛鑄鉄等の鑄鉄や、黒鉛鋼が好ましい。複合圧延ロールにおいて、外層と内層の間に中間層を設けてもよい。具体的には中間層はアダマイト系材料等により形成することができる。圧延ロールは、本発明の外層を有する限り中実でも中空でもよい。また本発明の外層からなるスリーブを軸材に嵌合してもよい。

【0069】

内層の材質は特に限定されない。例えば内層に縦弾性係数が210 GPa程度の鋼材を使用した場合、高縦弾性係数を有する外層との相乗効果によりロール全体が高い剛性を有することができる。また内層が180 GPa程度の縦弾性係数を有するダクタイル鑄鉄からなる場合、高縦弾性係数の外層と組合せても、ロールベンディング等による板形状制御を容易にすることができる。このように内層の材質は用途や目的に応じて適宜選定すればよい。

【0070】

本発明を以下の実施例によりさらに詳細に説明するが、本発明はそれらに限定されるも

10

20

30

40

50

のではない。

【 0 0 7 1 】

実施例1～8、比較例1～3、従来例1及び2

表1に示す化学組成（質量％）に調整した溶湯を遠心鑄造用鑄型内で遠心鑄造し、円筒体を作製した。ただし比較例1のみ静置鑄造法を用いた。

【 0 0 7 2 】

表 1

例 No.	溶湯の組成（質量％）						
	C	Si	Mn	V	Nb	Cr	Mo
実施例 1	4.5	0.7	0.5	19.0	—	8.8	—
実施例 2	3.1	0.2	0.9	11.5	2.2	—	2.2
実施例 3	2.4	0.4	0.7	—	14.7	11.4	2.0
実施例 4	4.4	0.9	0.7	17.3	—	4.6	5.3
実施例 5	4.7	0.3	0.3	18.0	—	2.5	8.5
実施例 6	2.8	0.2	0.9	7.7	1.7	—	2.3
実施例 7	3.2	0.4	0.7	—	14.5	11.6	2.0
実施例 8	2.6	0.7	0.5	11.6	—	8.8	—
比較例 1	4.3	1.0	0.5	19.3	—	4.1	0.3
比較例 2	2.0	1.5	0.2	21.7	—	—	2.4
比較例 3	5.1	0.4	0.6	9.4	—	15.9	2.4
従来例 1	3.0	2.0	0.5	5.0	—	2.0	1.0
従来例 2	2.0	0.8	0.4	5.3	—	6.7	2.7

【 0 0 7 3 】

表 1 (続く)

例 No.	溶湯の組成 (質量%)				
	W	Ni	Co	Ti	Al
実施例 1	12.0	1.5	—	—	—
実施例 2	3.2	—	—	—	—
実施例 3	1.5	—	—	—	0.15
実施例 4	19.3	—	—	—	—
実施例 5	—	—	4.7	0.05	—
実施例 6	3.2	—	—	—	—
実施例 7	1.5	—	—	—	—
実施例 8	12.0	1.5	—	—	0.11
比較例 1	—	0.6	—	—	—
比較例 2	—	—	—	—	—
比較例 3	—	—	—	—	—
従来例 1	1.0	4.0	—	—	—
従来例 2	2.4	0.6	—	—	—

【 0 0 7 4 】

得られた円筒体のうち、実施例4及び6並びに従来例2の円筒体について、円筒体の半径方向断面における元素分布及びMC炭化物分布を測定した。結果を図5～図10に示す。

【 0 0 7 5 】

図5に示すように、実施例4の円筒体では、Vは外周層ではほぼ5質量%と少なかったが、内周層では25質量%以上と多く、またWも外周層ではほぼ10～15質量%と少なかったが、内周層では20～25質量%と多かった。Cも、外周層ではほぼ2.5質量%と少なかったが、内周層では5質量%以上と多かった。その他の元素(Cr, Mo)については、外周層～内周層で濃度分布はほとんどなかった。図6に示すように、MC炭化物の面積率分布もVの濃度分布とほぼ同じ傾向を示した。すなわち、MC炭化物の面積率は外周層ではほぼ4～8面積%と乏しかったが、内周層ではほぼ35面積%以上と多かった。従って、例えば外周層の全部及び濃度傾斜層の大部分を含む深さ(図中線分Aで示す)まで円筒体を切削し、35面積%以上のMC炭化物を含有する部分を圧延ロール用外層とした。

【 0 0 7 6 】

図7に示すように、実施例6の円筒体では、Vは外周層ではほぼ6質量%以下と少なかったが、内周層では15質量%以上と多く、またC, Nb及びWも外周層ではほぼ5質量%以下と少なかったが、内周層では8質量%以上と僅かに多かった。Moについては、外周層～内周層で濃度分布はほとんどなかった。図8に示すように、MC炭化物の面積率は外周層ではほぼ4面積%以下と乏しかったが、内周層ではほぼ25面積%以上と多かった。従って、例えば外周層の全部及び濃度傾斜層の大部分を含む深さ(図中線分A'で示す)まで円筒体を切削

し、25面積%以上のMC炭化物を含有する部分を圧延ロール用外層とした。

【0077】

従来例2の円筒体では、図9及び図10に示すように、外周層と内周層との間で元素の濃度分布はほとんどなかった。MC炭化物はどの深さでもほぼ8面積%以下とであった。

【0078】

実施例4及び6の円筒体と同様に、他の実施例の円筒体についてもMC炭化物が濃化した部分が露出するまで切削等で除去し、圧延ロール用遠心鑄造外層を作製した。

【0079】

得られたロール外層の組成を表2に示す。各ロール外層に対して、1000～1200 での焼入れ、及び500～600 での3回の焼戻しからなる熱処理を行った。ただし従来例1のロール外層に対しては、400～500 での残留オーステナイト分解兼歪取り熱処理を行った。

【0080】

表 2

例 No.	ロール外層の組成 (質量%)						
	C	Si	Mn	V	Nb	Cr	Mo
実施例 1	6.8	0.6	0.5	31.5	—	8.8	—
実施例 2	4.7	0.2	0.8	19.6	5.5	—	2.3
実施例 3	4.9	0.4	0.6	—	37.5	12.9	2.2
実施例 4	5.8	0.8	0.6	25.3	—	4.6	5.4
実施例 5	8.1	0.3	0.3	34.8	—	2.5	8.7
実施例 6	4.5	0.2	0.8	20.3	3.5	—	2.6
実施例 7	4.9	0.4	0.6	—	27.4	12.9	2.2
実施例 8	3.4	0.6	0.5	15.7	—	8.8	—
比較例 1	4.3	1.0	0.5	19.3	—	4.1	0.3
比較例 2	2.0	1.5	0.2	21.7	—	—	2.4
比較例 3	5.1	0.4	0.6	9.4	—	15.9	2.4
従来例 1	3.0	2.0	0.5	5.0	—	2.0	1.0
従来例 2	2.0	0.8	0.4	5.3	—	6.7	2.7

【0081】

表 2 (続く)

例 No.	ロール外層の組成 (質量%)						
	W	Ni	Co	Ti	Al	式(1)	式(2)
実施例 1	15.4	1.2	—	—	—	31.5	0.5
実施例 2	4.9	—	—	—	—	22.6	0.2
実施例 3	1.9	—	—	—	0.13	20.6	0.8
実施例 4	23.2	—	—	—	—	25.3	0.7
実施例 5	—	—	4.7	0.15	—	34.8	1.1
実施例 6	5.2	—	—	—	—	22.2	0.1
実施例 7	1.9	—	—	—	—	15.1	1.9
実施例 8	15.4	1.2	—	—	0.11	15.7	0.3
比較例 1	—	0.6	—	—	—	19.3	0.4
比較例 2	6.8	2.3	8.3	0.11	0.23	21.7	-2.3
比較例 3	—	—	—	—	—	9.4	3.2
従来例 1	1.0	4.0	—	—	—	5.0	2.0
従来例 2	2.4	0.6	—	—	—	5.3	0.9

注：式(1) は $(V\% + 0.55 \times Nb\%)$ (質量%) の値を示し、式(2) は $[C\% - 0.2 \times (V\% + 0.55 \times Nb\%)]$ (質量%) の値を示す。

【 0 0 8 2 】

各ロール外層から切り出した試験片に対して、MC炭化物の面積率(%)、円相当直径が $1\ \mu\text{m}$ 以上の M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 の合計面積率(%)、MC炭化物の平均円相当直径(μm)、円相当直径が $15\ \mu\text{m}$ 以上のMC炭化物間の平均距離(μm)、円相当直径が $15\ \mu\text{m}$ 以上のMC炭化物を含まない領域の内接円直径の最大値(μm)、基地のピッカース硬さ(Hv)、摩耗深さ(μm)、表面粗さRz(μm)、焼付き面積率(%)、破壊靱性値KIC($\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$)、平均熱膨張係数($\times 10^{-6}/$)、熱伝導率($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)、及び縦弾性係数(GPa)を以下の方法により測定した。測定結果を表3に示す。

【 0 0 8 3 】

(1) MC炭化物の面積率

各試験片を鏡面研磨し、重クロム酸カリウム水溶液で電解腐食することによりMC炭化物を黒色に腐食させた後、画像解析装置(日本アビオニクス株式会社製SPICCA-II)を使用して、それぞれ試験片の $0.23\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ の部分に相当する20個の任意の視野で、MC炭化物の面積率(%)を測定し、測定値を平均した。

【 0 0 8 4 】

(2) 非粒状炭化物(M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3)の合計面積率

各試験片を鏡面研磨し、村上試薬で腐食することにより M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物を黒色

又は灰色に腐食させた後、上記画像解析装置を使用して、それぞれの試験片において0.23 mm×0.25 mmの部分に相当する20個の任意の視野で M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物の合計面積率(%)を測定し、測定値を平均した。なお、識別が容易な円相当直径で1 μm以上の M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物を測定対象とした。

【0085】

(3) MC炭化物の平均円相当直径

各試験片を鏡面研磨し、重クロム酸カリウム水溶液で電解腐食することによりMC炭化物を黒色に腐食させた後、上記画像解析装置を使用して、それぞれの試験片において0.23 mm×0.25 mmの部分に相当する20個の任意の視野で、MC炭化物の平均円相当直径(μm)を測定し、測定値を平均した。

10

【0086】

(4) MC炭化物間の平均距離

各試験片を鏡面研磨し、ピクリン酸アルコール溶液で基地を腐食させた。この光学顕微鏡観察(200倍)では、基地は濃い灰色、MC炭化物は薄い灰色、 M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物は白色に見えた。それぞれ試験片の1.0 mm×1.5 mmの部分に相当する20個の任意の視野で、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物間の平均距離(μm)を測定し、測定値を平均した。

【0087】

(5) MC炭化物を含まない領域の内接円直径の最大値

(4)と同様に腐食させた各試験片を光学顕微鏡(100倍)で観察し、それぞれ試験片の2.0 mm×3.0 mmの部分に相当する20個の任意の視野で、円相当直径が15 μm以上のMC炭化物を含まない領域の内接円直径の最大値(μm)を測定し、測定値を平均した。

20

【0088】

(6) 基地のビッカース硬さ

各試験片を鏡面研磨し、ピクリン酸エタノール溶液で軽く腐食させた後、ビッカース硬さ試験機を用いて、試験片の任意の5箇所で、荷重50~200 gの範囲で、ビッカース硬さ(Hv)を測定し、測定値を平均した。

【0089】

(7) 摩耗深さ及び表面粗さRz

耐摩耗性及び耐肌荒れ性の評価として、図11に概略的に示す圧延摩耗試験機を用いて、圧延した後のロールに対して、摩耗深さ(μm)及び十点平均表面粗さRzを下記の通り測定した。なお表面粗さRzは触針式表面粗さ計により測定した。

30

【0090】

圧延摩耗試験機は、実施例1~8、比較例1~3、及び従来例1及び2によりそれぞれ製造した外径60 mm、内径40 mm及び幅40 mmの小型スリーブロールからなる試験用ロール52、53を具備する圧延機51と、加熱炉54と、冷却水槽55と、巻取り機56と、テンションコントロール57とを有する。圧延摩耗試験条件は以下の通りであった。

圧延材S: SUS304

圧下率: 25%

圧延速度: 150 m / 分

圧延温度: 900

圧延距離: 300 m

ロール冷却: 水冷

ロール数: 4重式

40

【0091】

(8) 焼付き面積率

図12に概略的に示す焼付き試験機は、試験片61を載置する台63と、試験片61の上面に下端が当接するラック68と、ラック68と係合するピニオン60と、ラック68上に落下する重り69と、ピニオン60の回転により試験片61に噛み込むようになっている噛み込み部材62(軟鋼製)とを具備する。この試験機において、重さ100 kgの重り69をラック68に落下させる

50

と、ピニオン60が回転し、噛み込み部材62は試験片61に強く押圧され、試験片61に圧痕ができるとともに、部材62が試験片61に焼付く。試験片61の焼付き面積率は、焼付き面積 / 圧痕面積 (%) により算出する。この焼付き試験を各試験片につき2回行い、焼付き面積率の平均値を求めた。

【 0 0 9 2 】

(9) 破壊靱性値KIC

各試験片の破壊靱性値KICをASTM E399に準拠して測定した。測定は2個の試験片について行い、その平均値を求めた。

【 0 0 9 3 】

(10) 平均熱膨張係数

10

8mm × 8mm × 17mm に加工した各試験片の室温 ~ 300 における平均熱膨張係数を熱応力歪測定装置 (セイコー電子工業株式会社製SSC/5200) により測定した。

【 0 0 9 4 】

(11) 熱伝導率

直径10mm 及び厚さ1mm に加工した各試験片の300 における熱伝導率をレーザーフラッシュ法により測定した。

【 0 0 9 5 】

(12) 縦弾性係数

幅10mm、長さ60mm 及び厚さ1.5mm に加工した各試験片の縦弾性係数を自由共振式固有振動法により測定した。

20

【 0 0 9 6 】

表 3

例 No.	MC炭化物の面積率 (%)	非粒状炭化物の面積率 (%)	平均円相当直径A (μm)	平均粒子間距離B (μm)
実施例 1	40.9	0.6	18	20.0
実施例 2	32.5	0.1	28	48.3
実施例 3	33.5	0.3	42	59.4
実施例 4	38.3	0.8	20	26.0
実施例 5	54.6	1.7	13	14.3
実施例 6	32.9	0.0	31	49.6
実施例 7	22.3	2.9	47	65.8
実施例 8	23.2	0.4	17	32.3
比較例 1	26.8	0.2	22	61.6
比較例 2	8.9	0.0	4	17.2
比較例 3	15.4	24.9	11	84.7
従来例 1	5.7	0.0	6	32.4
従来例 2	7.4	8.5	8	52.0

10

20

30

表 3 (続く)

例 No.	最大内接円直径(μm)	B/A ⁽¹⁾	基地硬さ(Hv)	摩耗深さ(μm)	表面粗さRz(μm)
実施例 1	55	1.1	753	1.1	3.2
実施例 2	85	1.7	651	1.8	2.8
実施例 3	110	1.4	680	2.1	3.7
実施例 4	65	1.3	698	1.4	3.2
実施例 5	45	1.1	852	0.8	2.8
実施例 6	90	1.6	663	1.9	3.7
実施例 7	125	1.4	726	2.8	4.1
実施例 8	140	1.9	553	2.5	4.4
比較例 1	210	2.8	610	4.2	6.3
比較例 2	-	4.3	426	9.3	4.2
比較例 3	135	7.7	712	4.1	5.8
従来例 1	-	5.4	570	13.0	4.5
従来例 2	550	6.5	659	5.1	4.9

注：(1) 平均粒子間距離／平均円相当直径。

表 3 (続く)

例 No.	焼付き面 積率 (%)	KIC ($\text{kg}/\text{mm}^{3/2}$)	平均熱膨張係 数($\times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$)	熱伝導率 ($\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}$)	縦弾性係数 (GPa)
実施例 1	45	72.8	8.6	18.5	260
実施例 2	53	76.3	8.9	20.2	253
実施例 3	50	76.7	9.4	21.8	281
実施例 4	47	75.4	8.8	19.6	258
実施例 5	41	71.2	8.1	17.1	264
実施例 6	51	76.8	9.0	20.3	255
実施例 7	53	70.9	9.8	24.4	278
実施例 8	59	78.4	9.5	22.8	244
比較例 1	71	74.7	10.1	26.0	234
比較例 2	87	82.9	10.9	30.5	235
比較例 3	45	63.2	10.5	26.2	238
従来例 1	39	72.4	12.3	28.8	205
従来例 2	63	70.6	11.9	29.9	227

10

20

30

【 0 0 9 9 】

図13及び図14はそれぞれ実施例4及び比較例1の試験片の金属組織を示す。白色の部分はMC炭化物であり、黒色の部分は基地である。実施例4の試験片ではMC炭化物が高濃度に分布しているが、比較例1の試験片ではMC炭化物が部分的に偏在しているのが分かる。

【 0 1 0 0 】

図15は従来例2のハイス系ロール材の金属組織を示す。白色の微細粒状部はMC炭化物であり、白色の網目状部分は M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物であり、黒色の部分は基地である。従来例2のロール材ではMC炭化物が部分的に偏在して分布し、 M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物が網目状に分布しているのが分かる。

【 0 1 0 1 】

40

実施例1～8の摩耗深さは、従来例1に比べほぼ半分以下であり、耐摩耗性が極めて良好であることが分かる。また実施例1～8は、耐肌荒れ性、耐焼付き性及び靱性のいずれにおいても従来例1より優れていることが分かる。

【 0 1 0 2 】

図16は、MC炭化物の面積率と式(1)の $(V\% + 0.55 \times \text{Nb}\%)$ の値との関係を示す。両者の関係はほぼ直線的であり、 $(V\% + 0.55 \times \text{Nb}\%)$ が約15質量%以上であると、MC炭化物の面積率が約20%以上となることが分かる。

【 0 1 0 3 】

図17は実施例4、比較例1及び従来例2の100 ～ 600 での熱膨張係数を示す。図中、横軸は温度()を示し、縦軸は室温から各温度までの平均熱膨張係数($\times 10^{-6}/$)を示

50

す。100 ～ 600 の範囲にわたって熱膨張係数は、実施例4では $10 \times 10^{-6} /$ 以下であったが、比較例1ではほぼ $9 \times 10^{-6} /$ ～ $10.5 \times 10^{-6} /$ であり、また従来例2では、ほぼ $11 \times 10^{-6} /$ ～ $13 \times 10^{-6} /$ であった。また表3から明らかなように、実施例4～8の室温～300 における平均熱膨張係数はすべて $10 \times 10^{-6} /$ 以下であり、サーマルクラウンの大幅な抑制が可能であることが分かる。これは、MC炭化物が面積率で20%以上分散しているためであると考えられる。特にMC炭化物の面積率が30%を超えると、平均熱膨張係数が $9 \times 10^{-6} /$ 以下となり、サーマルクラウンの抑制効果が大きくなる。

【 0 1 0 4 】

図18は実施例4、比較例1及び従来例2の室温～600 での熱伝導率を示す。図中、横軸は温度()を示し、縦軸は熱伝導率(W/m・K)を示す。300 での熱伝導率は、実施例4では20 W/m・K未満であったが、比較例1では25 W/m・K超であり、また従来例2では30 W/m・Kであった。また表3から明らかなように、実施例4～8の300 における熱伝導率は全て25 W/m・K以下であり、サーマルクラウンの大幅な抑制が可能であることが分かる。これは、MC炭化物が面積率で20%以上分散しているためであると考えられる。特にMC炭化物の面積率が30%を超えると、300 における熱伝導率が21 W/m・K以下となり、サーマルクラウンの抑制効果が大きくなる。

10

【 0 1 0 5 】

実施例4～8の縦弾性係数はすべて240 GPa以上であり、特にMC炭化物の面積%が大きいものは、従来材に比べ格段に高い縦弾性係数を示した。

【 0 1 0 6 】

20

比較例1の試験片では、円相当直径が $15 \mu\text{m}$ 以上のMC炭化物を含まない領域の内接円直径が $150 \mu\text{m}$ を超え、また円相当直径が $15 \mu\text{m}$ 以上のMC炭化物間の平均距離Bと、MC炭化物の平均円相当直径Aとの比(B/A)が2を超えていた。そのため、耐肌荒れ性及び耐焼付き性に劣っていた。

【 0 1 0 7 】

比較例2は、Cの含有量、式(2)、MC炭化物の面積率、基地硬さ、及びMC炭化物の平均円相当直径が本発明の範囲外であり、またB/Aが2を超えていた。そのため、耐摩耗性及び耐焼付き性に劣っていた。また室温～300 における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} /$ 超であり、また300 における熱伝導率が25 W/m・K超であるので、サーマルクラウンの成長を十分に抑制できない。

30

【 0 1 0 8 】

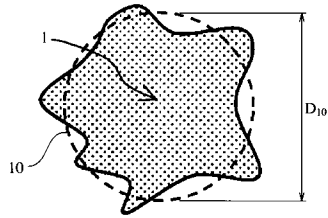
比較例3は、Vの含有量、式(1)及び式(2)、MC炭化物の面積率、及び M_2C 、 M_6C 及び M_7C_3 炭化物の合計面積率が本発明の範囲外であり、またB/Aが2を超えていた。そのため、耐肌荒れ性及び靱性に劣っていた。また室温～300 における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} /$ 超であり、また300 における熱伝導率が25 W/m・K超であるので、サーマルクラウンの成長を十分に抑制できない。

【 0 1 0 9 】

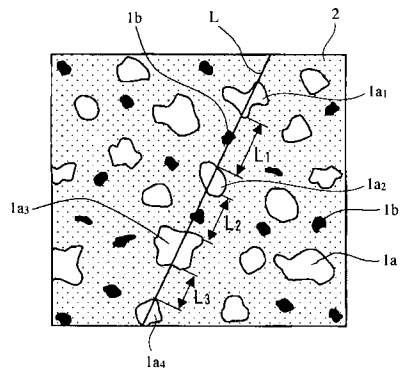
従来例1は、Vの含有量、式(1)、MC炭化物の面積率、及びMC炭化物の平均円相当直径が本発明の範囲外であり、またB/Aが2を超えた。そのため、耐摩耗性に劣っていた。また室温～300 における平均熱膨張係数が $10 \times 10^{-6} /$ 超であり、また300 における熱伝導率が25 W/m・K超であるので、サーマルクラウンの成長を十分に抑制できない。

40

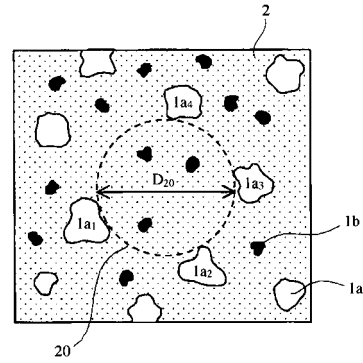
【図 1】



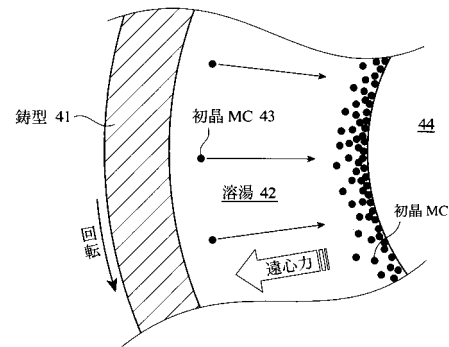
【図 2】



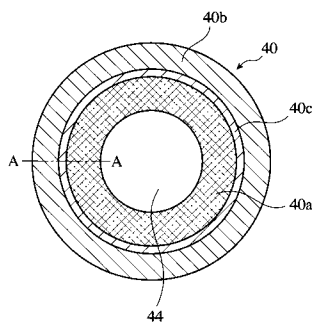
【図 3】



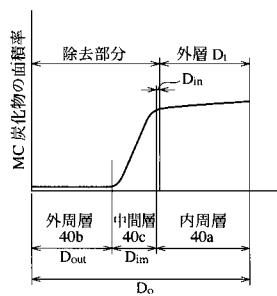
【図 4 (a)】



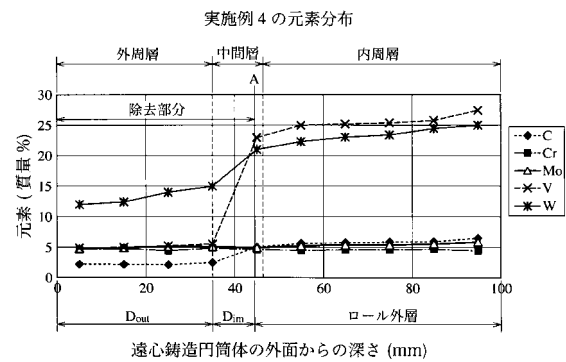
【図 4 (b)】



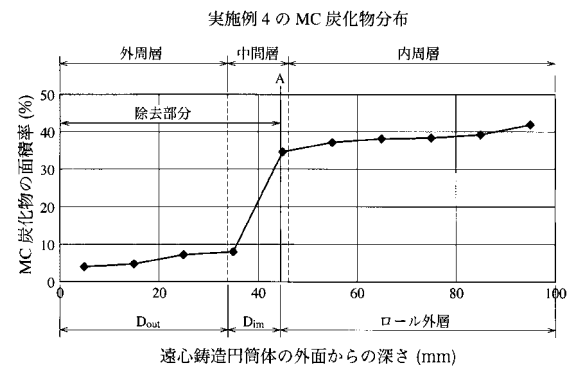
【図 4 (c)】



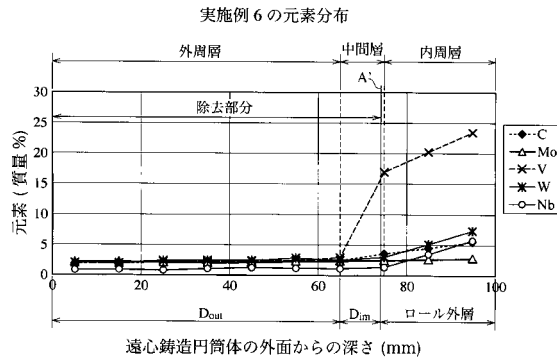
【図 5】



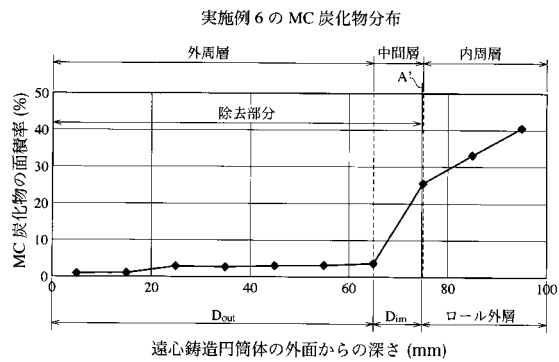
【図 6】



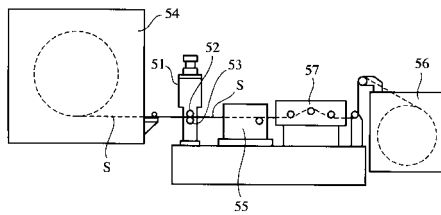
【図 7】



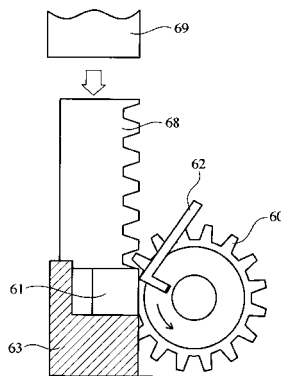
【図 8】



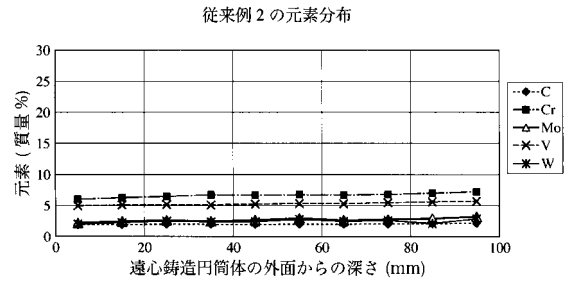
【図 11】



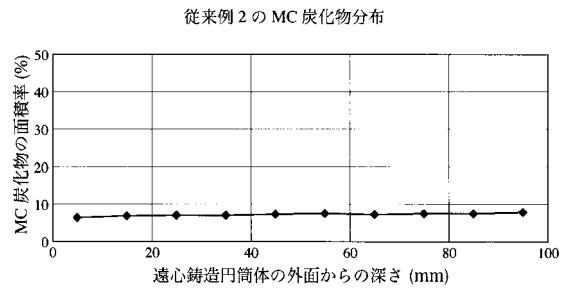
【図 12】



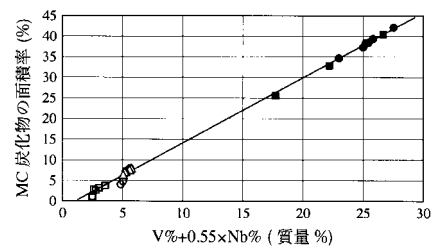
【図 9】



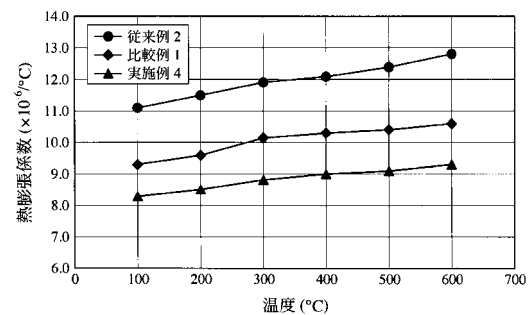
【図 10】



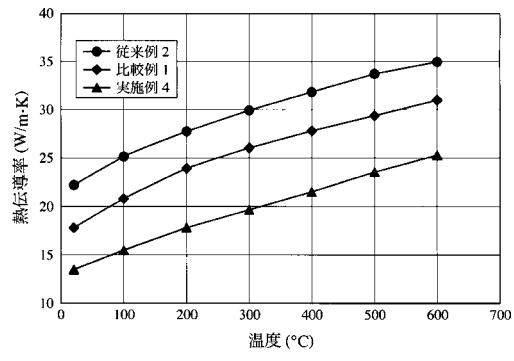
【図 16】



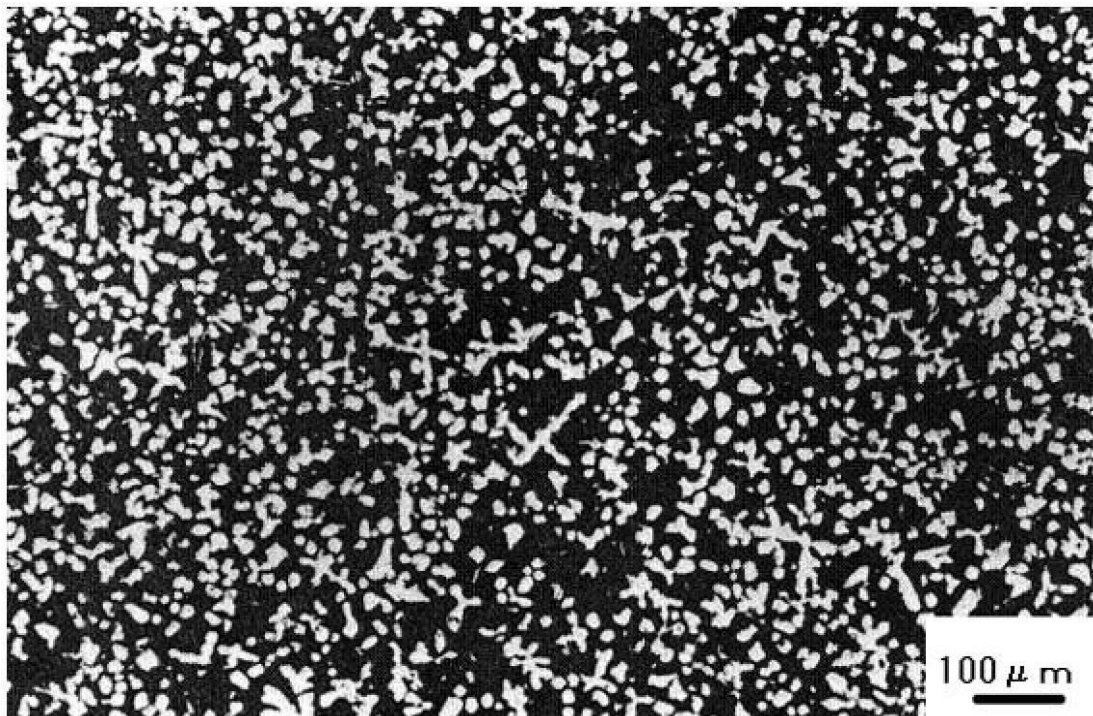
【図 17】



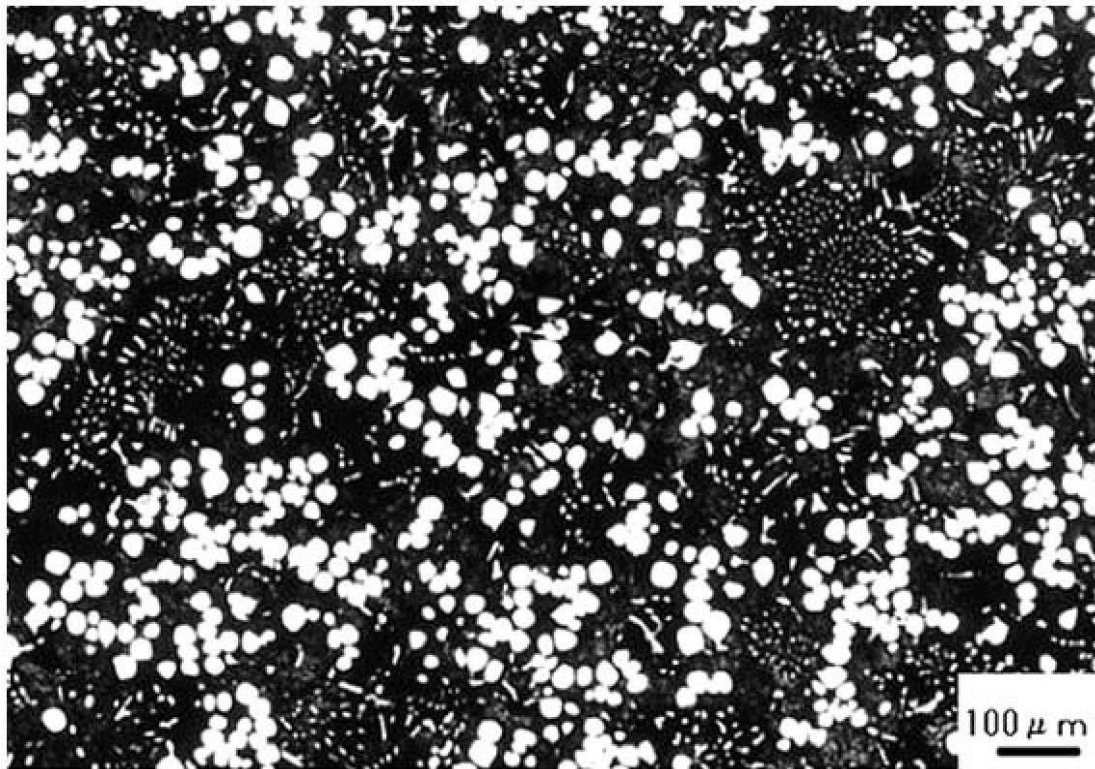
【図 18】



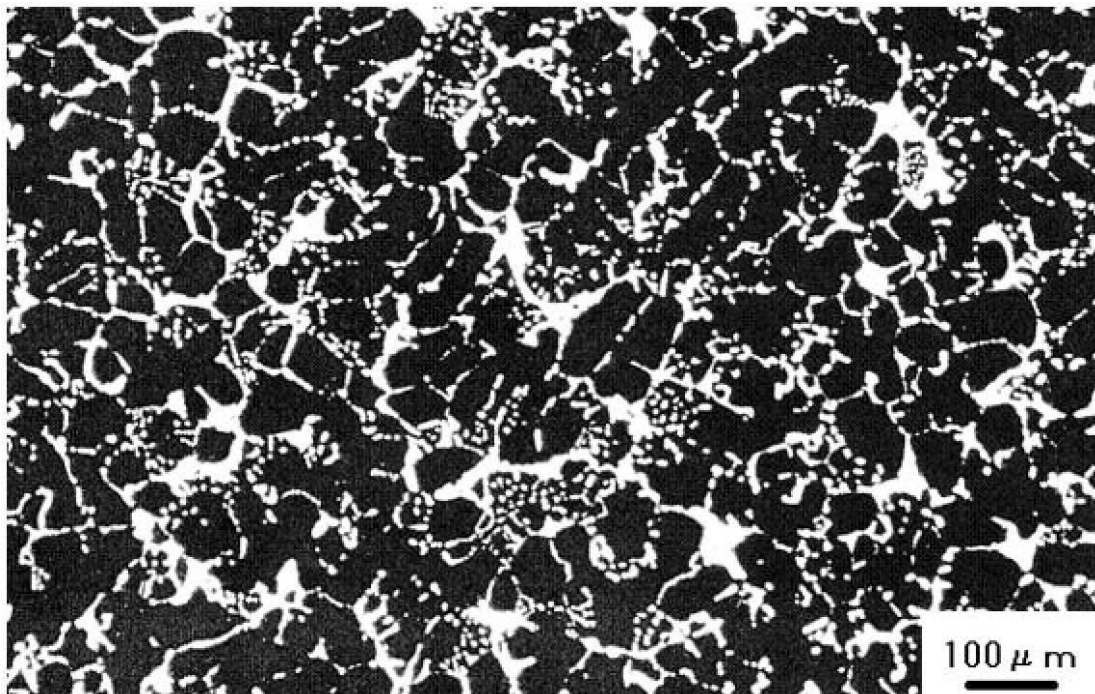
【図 13】



【図 14】



【図 15】



フロントページの続き

- (72)発明者 林 清
福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1 株式会社日立金属若松内
- (72)発明者 本田 崇
福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1 株式会社日立金属若松内
- (72)発明者 内田 真継
福岡県北九州市若松区北浜1丁目9-1 株式会社日立金属若松内

審査官 鈴木 毅

- (56)参考文献 特開平08-302444(JP,A)
特開2000-288708(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | | |
|------|-------|---------|
| C22C | 37/00 | - 37/10 |
| B21B | 27/00 | - 27/05 |
| B22D | 13/00 | - 13/12 |