



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公告本

(11)證書號數：TW I460284 B

(45)公告日：中華民國 103 (2014) 年 11 月 11 日

(21)申請案號：101138423

(22)申請日：中華民國 101 (2012) 年 10 月 18 日

(51)Int. Cl. : C22C37/06 (2006.01)

C22C37/10 (2006.01)

B21B27/00 (2006.01)

B22D13/00 (2006.01)

(30)優先權：2011/10/19 日本

2011-229398

2012/02/20 日本

2012-033506

(71)申請人：J F E 鋼鐵股份有限公司 (日本) JFE STEEL CORPORATION (JP)

日本

(72)發明人：市野健司 ICHINO, KENJI (JP)；持田哲男 MOCHIDA, TETSUO (JP)；柴田浩光 SHIBATA, HIROMITSU (JP)

(74)代理人：林志剛

(56)參考文獻：

CN 1264749A

CN 101037760A

US 4433032

審查人員：潘煒琳

申請專利範圍項數：2 項 圖式數：3 共 0 頁

(54)名稱

耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材以及熱軋用離心鑄造製複合軋輥

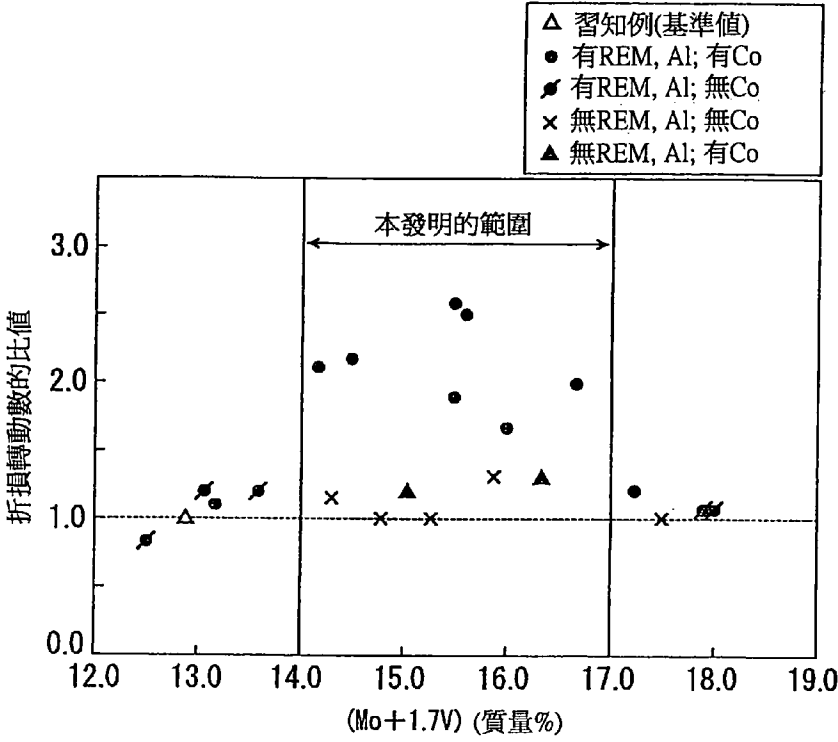
ROLL SHELL MATERIAL AND CENTRIFUGAL CAST ROLL FOR HOT ROLLING MILL WITH EXCELLENT FATIGUE RESISTANCE

(57)摘要

本發明是提供：軋輥表層的耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材。

該離心鑄造製軋輥外層材，其組成分以質量%計，是含有 C：2.3~2.9%、Si：0.2~0.8%、Mn：0.2~1.0%、Cr：5.0~7.5%、Mo：4.4~6.5%、V：5.3~7.0%、Nb：0.6~1.5%、Co：0.1~4.0%而且符合 $14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0$ 的關係(此處的 Mo、V：是各元素的含量(質量%))，此外又含有 Al：0.001~0.03%及/或 REM：0.001~0.03%，並且含有碳化物，以面積率計是 13~40%。藉此，表層的耐疲勞性可顯著地提昇。此外，將這種軋輥外層材與軸材熔合形成一體化以做成複合軋輥，藉此可成為：表層的耐疲勞性也優異之很適合作為熱間最終軋軋用軋輥來使用的離心鑄造製複合軋輥。

第3圖



發明專利說明書

(本申請書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：101138423

C22C 37/06 (2006.01)

C22C 37/10 (2006.01)

※申請日：101 年 10 月 18 日

※IPC 分類：

B21B 27/60 (2006.01)

B22D 13/00 (2006.01)

一、發明名稱：(中文／英文)

耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材以及熱軋用離心鑄造製複合軋輥
 Roll shell material and centrifugal cast roll for hot rolling mill with excellent fatigue
 resistance

二、中文發明摘要：

本發明是提供：軋輥表層的耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材。

該離心鑄造製軋輥外層材，其組成分以質量%計，是含有 C：2.3～2.9%、Si：0.2～0.8%、Mn：0.2～1.0%、Cr：5.0～7.5%、Mo：4.4～6.5%、V：5.3～7.0%、Nb：0.6～1.5%、Co：0.1～4.0% 而且符合 $14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0$ 的關係（此處的 Mo、V：是各元素的含量（質量%）），此外又含有 Al：0.001～0.03% 及 / 或 REM：0.001～0.03%，並且含有碳化物，以面積率計是 13～40%。藉此，表層的耐疲勞性可顯著地提昇。此外，將這種軋輥外層材與軸材熔合形成一體化以做成複合軋輥，藉此可成為：表層的耐疲勞性也優異之很適合作為熱間最終軋輥用軋輥來使用的離心鑄造製複合軋輥。

三、英文發明摘要：

四、指定代表圖：

(一) 本案指定代表圖為：第(3)圖。

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：無

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：無

六、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明是有關於熱軋用（hot rolling mill）軋輥（roll），尤其是關於很適合使用於鋼板的熱間最終軋軋用的軋軋機（hot finish rolling mill）的離心鑄造製複合軋輥（centrifugal cast roll）。

【先前技術】

近年來，鋼板的熱間軋軋技術明顯進步的同時，熱軋用軋輥的使用環境也更趨於嚴酷。尤其是在最近，高強度鋼板、薄型化製品等之對於熱間軋軋負荷較大的鋼板的生產量大增。因此，對於提昇所使用的熱軋用軋輥特性，特別是對於耐磨損性（wear resistance）的提昇更是受到強烈的要求。針對這種提昇耐磨損性的要求，已經有人開發出：將外層組成（surface layer）採用與高速工具鋼（high-speed tool steel）的組成類似的組成，並且將硬質碳化物大量地分散來大幅地提昇耐磨損性的高速鋼系的軋輥（high-speed steel roll）且已經有許多使用實例。

這種高速鋼系的軋輥外層材，例如在專利文獻 1、專利文獻 2 都有記載。專利文獻 1 所揭示的軋輥外層材，以質量%計，含有 C：1.5～3.5%、Si：1.5%以下、Mn：1.2%以下、Ni：5.5%以下、Cr：5.5～12.0%、Mo：2.0～8.0%、V：3.0～10.0%、Nb：0.5～7.0%，而且 Nb 及 V 的含量或者 Nb、V 及 C 的含量是符合特定的關係，此外，

Nb 與 V 的含量比是落在特定的範圍內。藉此，即使利用離心鑄造法來進行製造，亦可抑制外層材中的結晶偏析（segregation），而成為耐磨損性與耐龜裂性（crack resistance）優異的軋軋用軋軋外層材。

又，專利文獻 2 所揭示的軋軋外層材，以質量%計，是含有 C：1.5～3.5%、Si：1.5%以下、Mn：1.2%以下、Cr：5.5～12.0%、Mo：2.0～8.0%、V：3.0～10.0%、Nb：0.5～7.0%，且 Nb 及 V 的含量，或者 Nb、V 及 C 的含量是符合特定的關係，此外，Nb 與 V 的含量比是落在特定的範圍內。藉此，即使利用離心鑄造法來進行製造，亦可抑制外層材中的結晶偏析，提昇耐磨損性與耐龜裂性，對於提昇熱間軋軋的生產性有很大的貢獻。

專利文獻 3 是揭示：軋軋表層的耐疲勞性（fatigue resistance）優異的軋軋外層材。專利文獻 3 所揭示的軋軋外層材，以質量%計，是含有 C：2.2～2.6%、Si：0.2～0.7%、Mn：0.2～0.7%、Cr：5.0～8.0%、Mo：4.4～6.0%、V：5.3～7.0%、Nb：0.6～1.3%，並且是以 $Mo + V、C - 0.24V - 0.13Nb$ 的關係分別落在特定範圍內的方式來調整 Mo、V、C、Nb 的含量。藉此，耐疲勞性顯著提昇，可明顯抑制軋軋表面損傷，能夠提昇軋軋壽命，並且可獲得軋軋製品的表面品質之顯著的提昇。

〔先行技術文獻〕

〔專利文獻〕

〔專利文獻 1〕日本特開平 04-365836 號公報

〔專利文獻 2〕日本特開平 05-1350 號公報

〔專利文獻 3〕日本特開 2009-221573 號公報

【發明內容】

〔發明所欲解決的技術課題〕

然而，最近的熱軋鋼板（軋軋製品）被要求更為薄型化、高強度化以及高品質化，熱間軋軋負荷的增大更明顯，而且隨著生產性的提昇，連續軋軋量也增加，熱間軋軋條件變得更為嚴酷，熱軋用軋軋的使用環境也更加趨於嚴酷化。

熱軋用作業軋軋（work roll）的表面，當對於被軋軋材進行熱間軋軋時，係有：朝軋軋轉動方向作用的摩擦應力（friction stress）、以及朝軋軋軸方向作用的轉動應力（rolling motion stress）不斷反覆地作用在該表面。此外，還有來自支承軋軋（back up roll）之不斷反覆的轉動應力作用在該表面。隨著上述的這種軋軋的使用環境的嚴酷化，即使使用專利文獻 1、2 所揭示的軋軋外層材，也會因為這種高熱與應力的反覆負荷，而導致作業軋軋表層產生疲勞，進而變成發生：軋軋的軋軋面的表皮粗糙（surface deterioration）、疲勞龜裂（fatigue crack）、表層缺損（surface chipping）之類的疲勞損傷（fatigue damages）的重大問題。

又，即使使用專利文獻 3 所揭示的軋軋外層材，也還是會有：發生了表層缺損、疲勞龜裂等的情況之問題。

本發明是有鑒於這些先前技術的問題，其目的是在於提供：可有效地解決這些問題，並且可抑制表層缺損、疲勞龜裂之類的疲勞損傷之耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材以及熱軋用離心鑄造製複合軋輥。

〔用來解決技術課題的技術方案〕

本發明人等爲了達成上述目的，針對於會影響發生在離心鑄造製的軋輥身上的表層缺損、疲勞龜裂的各種因素不斷地努力進行研究。其結果得知：發生在軋輥表層的缺損、疲勞龜裂乃是因爲：隨著軋輥的使用環境的嚴酷化，對於作業軋輥表面之來自被軋軋材與冷卻水（cooling water）之不斷反覆的熱移動所產生的熱間轉動疲勞的增加；以及來自支承輥的過大的面壓（壓縮應力）之不斷反覆的負荷的這兩種因素的重疊所造成的。因此，爲了防止發生：軋輥表層的缺損、疲勞龜裂等問題的有效方法是提昇軋輥外層材的耐熱間轉動疲勞性、以及使得壓縮 0.2% 耐力增加。

然後也針對於會影響：軋輥外層材的耐熱間轉動疲勞性、以及壓縮 0.2% 的耐力之各種因素進行了研究。其結果發現了：藉由將 Mo 和 V 的含量調整到特定範圍，並且調整碳化物量落在特定範圍之後，又含有微量的 Al 及 / 或 REM 的話，耐熱間轉動疲勞性可以顯著地提昇，而且也可以提昇壓縮 0.2% 耐力。

首先，說明構成本發明的基礎之實驗結果。將其組成

分以質量%計，是含有 C：2.1～3.1%、Si：0.3～0.7%、Mn：0.3～1.0%、Nb：0.7～1.4%、Co：0～3.1%，且將 Cr 在 4.8～9.8%的範圍進行改變，將 Mo 在 3.8～6.9%的範圍進行改變，將 V 在 4.9～7.3%的範圍進行改變，進而又含有 Al：0～0.018%，含有 REM：0～0.023%，其餘部分由 Fe 及不可避免的雜質所組成之熔融金屬，利用高周波爐（high frequency furnace）進行熔解，以離心鑄造法鑄造成：相當於軋輥外層材的環狀軋輥材（外徑：250mm ϕ 、厚度：55mm）。此外，澆鑄溫度（pouring temperature）是 1380℃～1450℃，離心力以重力倍數來換算是 176 G。鑄造之後，實施淬火處理、回火處理，將硬度調整為 HS 是 78～86。此外，淬火處理是將先加熱到溫度為 1050℃，然後進行空冷處理或爐冷處理，回火處理則是進行加熱到回火溫度為 540～560℃的加熱處理。

此外，將相當於：作為熱間最終軋軋的軋軋機使用的高速系離心鑄造製的軋輥外層材（2.1 質量% C - 0.4 質量% Si - 0.4 質量% Mn - 6.3 質量% Cr - 4.2 質量% Mo - 5.1 質量% V - 0.1 質量% Nb - 其餘部分為 Fe 及不可避免的雜質）的材料（環狀軋輥材），同樣地進行離心鑄造，接下來，實施同樣的熱處理，來當作基準（習知例）。

從所製得的環狀軋輥材採取出疲勞試驗片（外徑 60mm ϕ 、厚度 10mm）來實施熱間轉動疲勞試驗。此外，針對於疲勞試驗片，在外周面的兩個地方（分開 180°的位置上），使用直徑 0.20mm ϕ 的焊線之放電加工（焊線切

割)法，導入如第 2 圖所示的缺口(深度 $t: 1.2\text{mm}$ 、周方向長度 $L: 0.8\text{mm}$)。且將疲勞試驗片的轉動面的端部形成導角(chamfer)($1.2C$)。

熱間轉動疲勞試驗係如第 1 圖所示般地，是以試驗片與對造材的兩個圓盤滑動轉動方式來進行的。一方面對於具有第 2 圖所示的缺口的試驗片(疲勞試驗片)進行水冷，一方面以 700 rpm 的轉速令其旋轉，針對於旋轉中的該試驗片，將已經被加熱到 790°C 的對造片(材質： $S45C$ 、外徑： $190\text{mm}\phi$ 、寬度： 15mm 、具有導角)以荷重為 980N 的力量壓接到該試驗片，並且以滑動率為 10% 的條件令該試驗片進行轉動。一直令該試驗片進行轉動，直到被導入在疲勞試驗片的兩個缺口折損為止，分別求出各缺口折損之前的轉動旋轉數，將其平均值定為折損轉動旋轉數。

將習知例的折損轉動旋轉數當作基準值 1.0 ，並且計算出：相對於基準值之各環狀軋輥材的折損轉動旋轉數的比值(亦即，環狀軋輥材的折損轉動旋轉數)/(習知例的折損轉動旋轉數)。如果這個比值超過 1.5 的話，就評比為：耐疲勞性顯著優異。此外，本發明人等，係根據日本特開 $2010-101752$ 號公報所揭示的方式，只要使用這種熱間轉動疲勞試驗的話，即可重現出：在熱軋用軋輥身上所產生的表皮粗糙、疲勞龜裂的發生與進展。又，藉由使用這種可簡便地對於熱軋用軋輥的耐疲勞性進行評比的熱間轉動疲勞試驗，只要是折損轉動旋轉數較多的軋輥外層

材的話，就可以確認為具有優異的耐疲勞性之軋輥外層材。

將所獲得的結果，依據：折損轉動旋轉數的比值與 $(Mo + 1.7V)$ (質量%) 量的關係，顯示於第 3 圖。在第 3 圖中所顯示的，係以質量%計，含有 C：2.1～3.1%、Si：0.3～0.7%、Mn：0.3～1.0%、Nb：0.7～1.4%、Co：0～3.1%，此外，Cr 的含量範圍是 4.8～9.8%、Mo 的含量範圍是 3.8～6.9%、V 的含量範圍是 4.9～7.3%，並且又含有 Al 及/或 REM 的情況，以及不含有 Al、REM 的情況。此外，不含有 Co 的情況也另外顯示出來。

由第 3 圖可以看出：當 $(Mo + 1.7V)$ 落在 14.0～17.0 的範圍且含有 Al 及/或 REM 的情況（標示 ● 記號的情況），折損轉動旋轉數的比值是 1.5 以上，是較之習知例（標示 △ 記號的情況）更為增加，耐熱間轉動疲勞性有顯著地提昇。另一方面，即使 $(Mo + 1.7V)$ 落在 14.0～17.0 的範圍內且不含有 Al、REM 的情況（標示 × 記號的情況），則是看不到折損轉動旋轉數的比值有顯著的增加。

本發明就是基於這種創見，加入更進一步的檢討而完成的。亦即，本發明的要旨如下所述。

(1) 一種耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材，是使用了在熱軋用離心鑄造製複合軋輥的軋輥外層材，其特徵為：其組成分以質量%計，是含有 C：2.3～2.9%、Si：0.2～0.8%、Mn：0.2～1.0%、Cr：5.0～7.5%、Mo：4.4～6.5%、V：5.3～7.0%、Nb：0.6～1.5%、

Co : 0.1 ~ 4.0% , 並且其含量是符合下列數式 (1) 的關係 ,

$$14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0 \quad \cdots \cdots (1)$$

(此處的 Mo、V 是各元素的含量 (質量%)) ,

此外又含有 Al : 0.001 ~ 0.03% 及 / 或 REM : 0.001 ~ 0.03% , 其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所組成的。

(2) 一種耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製複合軋輥 , 是由外層以及與該外層熔合成一體的內層所構成的離心鑄造製複合軋輥 , 其特徵為 : 前述外層的組成分以質量%計 , 是含有 C : 2.3 ~ 2.9%、Si : 0.2 ~ 0.8%、Mn : 0.2 ~ 1.0%、Cr : 5.0 ~ 7.5%、Mo : 4.4 ~ 6.5%、V : 5.3 ~ 7.0%、Nb : 0.6 ~ 1.5%、Co : 0.1 ~ 4.0% , 並且其含量是符合下列數式 (1) 的關係 , $14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0 \quad \cdots \cdots (1)$

(此處的 Mo、V 是各元素的含量 (質量%)) ,

此外又含有 Al : 0.001 ~ 0.03% 及 / 或 REM : 0.001 ~ 0.03% , 其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所組成的。

[發明之效果]

根據本發明 , 係可容易且低價地製造出 : 兼具有較高的壓縮 0.2% 耐力、以及優異的耐熱間轉動疲勞性之軋輥外層材 ; 以及耐疲勞性顯著提昇的高性能之熱軋用離心鑄造製複合軋輥 , 可達成產業上特別有用的效果。本發明之熱軋用離心鑄造製複合軋輥 , 耐疲勞性係顯著提昇 , 即使在具有高軋軋負荷的嚴酷的熱間軋軋環境下 , 亦可明顯抑

制磨損、表皮粗糙、表層缺損、還有疲勞龜裂之類的軋輥表面損傷。根據本發明，亦可達成：顯著地提昇熱軋鋼板的表面品質、提昇熱軋鋼板的生產性、並且也同時提昇軋輥壽命之效果。

【實施方式】

本發明的軋輥外層材是利用離心鑄造來製造，雖然亦可維持原狀直接當作環狀軋輥、套筒軋輥來使用，但是特別適用當作：熱間最終軋軋時所使用的熱軋用複合軋輥的外層材。又，本發明的熱軋用複合軋輥是由：離心鑄造的外層、以及與該外層熔合成一體的內層所構成的。此外，亦可在外層與內層之間配置了中間層。亦即，亦可製作成：與外層熔合成一體的中間層以及與該中間層熔合成一體的內層，來取代與外層熔合成一體的內層。再者，內層係採用靜止鑄造法來製造為佳。在本發明中，內層、中間層的組成分雖然未特別地限定，但是，內層係採用球狀石墨鑄鐵（spherical graphitic cast iron）、中間層係採用C：1.5～3 質量%的高碳鋼材為佳。

首先，說明限定軋輥外層材（外層）的組成分的理由。此外，在以下的說明中的質量%，若沒有特別例外的話，都只以%來標示。

C：2.3～2.9%

C 是可以固溶而增加底材的硬度，並且會與碳化物形

成元素相結合而形成硬質碳化物（form hard carbide），具有提昇軋輥外層材的耐磨損性的作用。隨著 C 含量的不同，共晶碳化物（eutectic carbide）量也會改變。共晶碳化物會影響軋輥使用特性，若 C 含量未達 2.3% 的話，共晶碳化物量會不足，軋輥時的摩擦力會增加，導致軋輥趨於不穩定，並且軋輥外層材之壓縮 0.2% 耐力也會降低。另外，C 含量超過 2.9% 的話，將會使得共晶碳化物量過度增加，會導致軋輥外層材變硬脆化，將會促進疲勞龜裂的發生與成長，因而降低了耐疲勞性。因此，將 C 含量限定在 2.3 ~ 2.9% 的範圍。

Si : 0.2 ~ 0.8 %

Si 係具有脫氧劑的作用（serves as deoxidizer agent），並且是可提昇金屬熔湯的鑄造性的元素。想要獲得這種效果，含量必須是 0.2% 以上。另一方面，即使含量超過 0.8%，其效果趨於飽和，無法獲得與含量成正比的效果，並不經濟。因此，將 Si 含量限定在 0.2 ~ 0.8% 的範圍。

Mn : 0.2 ~ 1.0 %

Mn 是會將 S 變成 MnS 予以固定，具有可將 S 予以無害化的作用，並且有一部分會固溶於底材，具有提昇淬火性的效果之元素。想要獲得這種效果，含量必須是 0.2% 以上，但即使含量超過 1.0%，其效果趨於飽和，無法獲

得與含量成正比的效果，而且有時候還會導致材質脆化。因此，將 Mn 含量限定在 0.2～1.0% 的範圍。

Cr：5.0～7.5%

Cr 是會與 C 相結合而主要是形成共晶碳化物，將會使耐磨損性提昇，並且在軋軋時會降低軋軋與鋼板的摩擦力，具有可減輕軋軋的表面損傷且使軋軋穩定化的作用之元素。若想要獲得這種效果，含量必須是 5.0% 以上。另一方面，若含量超過 7.5% 的話，硬脆的共晶碳化物將會增加太多，會使得耐疲勞性降低。因此，將 Cr 含量限定在 5.0～7.5% 的範圍。

Mo：4.4～6.5%

Mo 是會與 C 相結合而形成硬質的碳化物，提昇耐磨損性的元素。此外，Mo 會固溶在因 V、Nb 與 C 相結合而形成的硬質的 MC 型碳化物（MC carbide）中，可將碳化物予以強化，並且也會固溶在共晶碳化物中，增加這些碳化物的破壞阻力。經由這種作用，Mo 係可提昇軋軋外層材的耐磨損性、耐疲勞性。若想要獲得這種效果，含量必須是 4.4% 以上。但是含量若超過 6.5% 的話，將會生成以 Mo 為主體的硬脆碳化物，會降低耐熱間轉動疲勞性，降低耐疲勞性。因此，將 Mo 含量限定在 4.4～6.5% 的範圍。

V : 5.3 ~ 7.0 %

V 是用來使得軋輥兼具有耐磨損性與耐疲勞性之在本發明中的重要元素。V 係可形成極硬質的碳化物（MC 型碳化物），可提昇耐磨損性，並且可將共晶碳化物予以斷開，可有效地促使共晶碳化物分散晶析出來。此外，也是可提昇耐熱間轉動疲勞性，可顯著地提昇作為軋輥外層材使用時的耐疲勞性之元素。這種效果是 V 含量 5.3% 以上時才趨於顯著。但是，若 V 含量超過 7.0% 的話，將導致 MC 型碳化物粗大化，並且助長 MC 型碳化物的離心鑄造偏析，將導致軋輥用軋輥的各種特性變得不穩定。因此，將 V 含量限定在 5.3 ~ 7.0% 的範圍。

Nb : 0.6 ~ 1.5 %

Nb 是可固溶於 MC 型碳化物來強化 MC 型碳化物，經由可增加 MC 型碳化物的破壞阻力的作用，可以提昇耐磨損性尤其是可更提昇耐疲勞性。Nb 與 Mo 都是可固溶在碳化物中，藉此，耐磨損性以及耐疲勞性的提昇更為顯著。又，Nb 係具有可促進共晶碳化物的分斷，抑制共晶碳化物的破壞的作用，係可提昇軋輥外層材的耐疲勞性的元素。又，Nb 也兼具有抑制 MC 型碳化物在離心鑄造時的偏析之作用。這種效果，是 Nb 含量為 0.6% 以上時才趨於顯著，但是若 Nb 含量超過 1.5% 的話，將會促進金屬熔湯中的 MC 型碳化物的成長，助長離心鑄造時的碳化物偏析。因此，Nb 含量是限定在 0.6 ~ 1.5% 的範圍。

Co : 0.1 ~ 4.0 %

Co 是可固熔在底材中，尤其是在高溫中係可強化底材，具有提昇耐疲勞性的作用之元素。想要獲得這種效果，Co 含量必須是 0.1% 以上。另一方面，即使 Co 含量超過 4.0%，其效果趨於飽和，無法獲得與含量成正比的效果，並不經濟。因此，將 Co 含量限定在 0.1 ~ 4.0% 的範圍。此外，更好的是 0.2 ~ 3.0% 的範圍。

本發明中是在上述的範圍含有 Mo、V，而且調整成可符合下列 (1) 式的關係，

$$14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0 \quad \dots (1)$$

(此處的 Mo、V 是各元素的含量 (質量%))。

如第 3 圖所示，藉由將 Mo、V 的含量之 $(Mo + 1.7V)$ 的關係調整成符合上述 (1) 式，當又含有 Al 及 / 或 REM 的時候，折損轉動數係可較之基準值 (習知例) 更顯著地增加，耐熱間轉動疲勞性也會顯著地提昇。 $(Mo + 1.7V)$ 是當作提昇耐熱間轉動疲勞性的驅動力的重要因素，只有被調整成 $(Mo + 1.7V)$ 落在 14.0 ~ 17.0 的範圍時，才可以維持優異的耐熱間轉動疲勞性。當 $(Mo + 1.7V)$ 落在 14.0 ~ 17.0 的範圍外時，即使又含有 Al 及 / 或 REM 的情況下，耐熱間轉動疲勞性也會惡化。因此，在本發明中，必須將 Mo、V 的含量調整成可符合 (1) 式的關係。

本發明中，除了將 Mo、V 調整成可符合上述 (1) 式

的關係之外，也必須含有 Al 及 / 或 REM。

Al：0.001～0.03% 及 / 或 REM：0.001～0.03%

Al 及 / 或 REM 是只有當 Mo、V 的含量符合上述 (1) 式的時候，才會具有如第 3 圖所示的這種明顯提昇耐熱間轉動疲勞性的作用。想要獲得這種效果，Al、REM 的含量必須分別為 0.001% 以上。另一方面，即使 Al、REM 的含量分別超過 0.03%，不僅上述效果趨於飽和，也會產生氣泡，降低熔鋼的流動性，導致鑄造性變差。因此，限定 Al 在 0.001～0.03% 的範圍及 / 或限定 REM 在 0.001～0.03% 的範圍。

上述成分以外的其餘部分是 Fe 及不可避免的雜質所組成。

不可避免的雜質，係可例舉出 P：0.05% 以下、S：0.05% 以下、N：0.06% 以下。P 是會偏析在粒界，導致材質惡化，所以在本發明中是儘量減少為宜，但若是 0.05% 以下的話，則可被容許。又，S 是作為硫化物系夾雜物而存在，會降低材質，因此儘可能減少為宜，但若是 0.05% 以下的話，則可被容許。N，如果是一般的鋼的熔解過程的話，將會有 0.06% 以下的程度混入其中，但是這種程度的話，對於本發明的效果不會有影響。此外，N 有時候會在複合軋軋的外層與中間層或者外層與內層的境界產生缺陷，因此是未達 0.05% 為宜。

此外，本發明的軋軋外層材，是大量地含有 Cr、V、

Mo 等，且分散著極硬質的碳化物（MC 型碳化物）以及共晶碳化物，而可確保所期望的硬度、所期望的耐磨損性等。碳化物的量以面積率計，若未達 13% 的話，難以確保所期望的硬度、耐磨損性等。另一方面，若含量超過 20% 的話，有時候會導致軋輥材質脆化。因此，碳化物以面積率計，是限定在 13~20% 的範圍為宜。

接下來，說明本發明的熱軋用複合軋輥的較佳製造方法。

首先，在本發明中，軋輥外層材的製造方法是採用：能源成本較低廉的離心鑄造法。

首先，將上述的軋輥外層材組成分的金屬熔湯注入到在內面披覆著以鋳等作為主材的耐火材料之可進行旋轉的鑄模，進行離心鑄造以形成預定的厚度。如果是形成中間層的話，是在軋輥外層材的凝固途中或者完全凝固之後，一方面令鑄型進行旋轉，一方面將中間層組成分的金屬熔湯注入其中，進行離心鑄造為宜。外層或中間層完全凝固之後，將鑄模的旋轉停止，將鑄模豎立起來之後，將內層材進行靜置鑄造而製作成複合軋輥為宜。藉此，軋輥外層材的內面側將被再熔解，外層與內層、或者外層與中間層、中間層與內層將熔合成一體而成為複合軋輥。

又，靜置鑄造的內層係採用：鑄造性與機械性質優異的球狀石墨鑄鐵、芋蟲狀石墨鑄鐵（VC 鑄鐵）等為宜。離心鑄造製軋輥是因為外層與內層熔合成一體，所以外層材的成分將會有 1~8% 的程度混入到內層。包含在外層材

內的 Cr、V 等係強力的碳化物形成元素，這些元素混入到內層的話，會使得內層脆弱化。因此，外層成分混入到內層的混入率是抑制在未達 6% 為宜。

又，若是形成有中間層的情況下，中間層材是採用：石墨鋼、高碳鋼、亞共晶鑄鐵等為宜。中間層與外層是同樣地熔合成一體，外層成分將會有 10% 以上 90% 以下程度的範圍混入到中間層。基於抑制外層成分混入到內層的混入量的觀點，儘可能地預先減少外層成分混入到中間層的混入量的作法是很重要的。

本發明的熱軋用複合軋輥，是在鑄造後，又實施熱處理為宜。熱處理的方式，是將：加熱到 950~1150℃，然後進行空冷或衝風空冷的工序、以及又進行加熱保持在 450~600℃ 之後進行冷卻的工序，實施一次以上的處理方式為佳。

此外，本發明的熱軋用複合軋輥的較佳硬度是 79~88HS，更佳的硬度是 80~86HS。為了可以穩定地確保這種硬度，最好是調整鑄造後的熱處理。

〔實施例〕

將具有表 1 所示的軋輥外層材組成分的金屬熔湯以高周波爐進行熔解，利用離心鑄造法，製作成環狀試驗材（環狀軋輥；外徑：250mm ϕ 、厚度：55mm）。此外，澆鑄溫度選定為 1380~1450℃、離心力以重力倍數計，係選定為 176 G。鑄造之後，再加熱到淬火溫度：1050℃，空

冷之後，實施淬火處理，以及實施又加熱及保持在回火溫度：450～600℃之後進行冷卻的回火處理，將硬度調整成78～84 HS。

此外，以同樣的離心鑄造法來鑄造：熱間最終軋軋的軋軋機所使用的高速鋼系離心鑄造製軋軋外層材（其組成成分以質量%計，含有 2.1% C-0.4% Si-0.4% Mn-6.3% Cr-4.2% Mo-5.1% V-0.1% Nb-其餘部分是 Fe 以及不可避免的雜質）的環狀試驗材（環狀軋軋），進一步實施熱處理以製作成基準材（習知例）。

從所製得的環狀試驗材，採取硬度試驗片、壓縮試驗片、熱間轉動疲勞試驗片以及組織觀察用試驗片，來實施了：硬度試驗、壓縮試驗、熱間轉動疲勞試驗以及組織觀察試驗。試驗方法如下所述。

（1）硬度試驗

針對於所製得的硬度試驗片，遵照日本工業規格 JIS Z 2244 的規定，利用維氏硬度計（試驗力：50 kgf（490 kN））來進行測定維氏硬度 HV50 之後，再以 JIS 換算表來換算成蕭氏硬度 HS。此外，測定點是分別採用各 10 點，去除掉最高值、最低值之後，再以算術平均值來作為該試驗材的硬度。

（2）壓縮試驗

針對於所製得的壓縮試驗片（直徑 10mm ϕ × 長度

20mm)，在室溫下實施了壓縮試驗。反覆的試驗次數為兩次。此外，壓縮試驗的方法是在壓縮試驗片的中央部貼上應變計，來測定應力-應變曲線，再從所獲得的應力-應變曲線讀取 0.2%耐力。各試驗材的 0.2%耐力係採用兩片試驗片所分別獲得的 0.2%耐力的平均值。

(3) 熱間轉動疲勞試驗

從所製得的環狀試驗材採取如第 2 圖所示形狀的熱間轉動疲勞試驗片（外徑 60mm ϕ 、厚度 10mm、具有導角）。針對於這個熱間轉動疲勞試驗片，在外周面的兩個地方（分開 180°的位置上），使用直徑 0.20mm ϕ 的焊線之放電加工（焊線切割）法，導入如第 2 圖所示的缺口（深度 t：1.2mm、周方向長度 L：0.8mm）。熱間轉動疲勞試驗係如第 1 圖所示般地，是以試驗片與對造材的兩個圓盤滑動轉動方式來進行的。一方面對於試驗片進行水冷，一方面以 700 rpm 的轉速令其旋轉，針對於旋轉中的該試驗片，將已經被加熱到 790℃ 的對造片（材質：S45C、外徑：190mm ϕ 、寬度：15mm、具有導角）以荷重為 980 N 的力量壓接到該試驗片，並且以滑動率為 10% 的條件令該試驗片進行轉動。一直令該試驗片進行轉動，直到被導入在熱間轉動疲勞試驗片的兩個缺口折損為止，分別求出各缺口折損之前的轉動旋轉數，將其平均值定為折損轉動旋轉數。將習知例的折損轉動旋轉數當作基準值 1.0，並且計算出：所製得的各環狀試驗材與習知例的折

損轉動旋轉數的比值（亦即，各環狀試驗材的折損轉動旋轉數）/（習知例的折損轉動旋轉數）來當作耐疲勞性的指標。如果這個折損轉動旋轉數的比值超過 1.5 的話，就評比為：耐疲勞性優異。

（4）組織觀察試驗

對於所取得的組織觀察用試驗片進行研磨，以硝酸腐蝕液進行腐蝕之後，使用圖像解析裝置，以光學顯微鏡之 50 倍率來觀察組織。將所獲得的圖像予以二位元數值化，來測定碳化物的面積率，當作各試驗材的碳化物量。

將所獲得的結果顯示於表 2。

表1

試驗材 No.	化 學 組 成 分 (質量%)													備 註	
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Nb	Co	REM	Al	Mo+ 1.7V		(1)式的適 用與否*
A	2.5	0.5	0.4	0.02	0.008	6.2	5.3	6	0.9	2.1	0.023	0.015	15.5	適	本發明例
B	2.6	0.3	0.5	0.025	0.009	6.3	6.3	5.7	1.1	0.3	—	0.012	16	適	本發明例
C	2.5	0.4	0.4	0.028	0.01	7.5	5.1	5.5	1.3	3.1	0.01	—	14.5	適	本發明例
D	2.7	0.4	0.3	0.015	0.008	7.1	4.6	6.4	1	0.9	—	0.013	15.5	適	本發明例
E	2.7	0.6	0.5	0.022	0.007	7	5.4	6	1.2	1.3	0.007	0.006	15.6	適	本發明例
F	2.4	0.7	1	0.03	0.01	6.7	4.5	5.7	1.4	2	0.006	0.015	14.2	適	本發明例
G	2.8	0.4	0.8	0.019	0.009	5.1	5.6	6.5	0.8	0.4	0.004	0.018	16.7	適	本發明例
H	2.3	0.4	0.5	0.018	0.01	7.2	4.8	4.9	1.2	—	—	0.005	13.1	不適	比較例
I	2.1	0.3	0.4	0.019	0.008	6	6.1	6.9	1.2	—	0.021	—	17.9	不適	比較例
J	2.6	0.4	0.4	0.019	0.009	7.9	4.1	5.6	1.1	—	—	0.01	13.6	不適	比較例
K	3.1	0.4	0.4	0.024	0.009	7.3	5.6	7.3	1.1	—	0.004	0.006	18	不適	比較例
L	2.9	0.5	0.9	0.022	0.008	7.4	5.6	5.4	0.7	—	—	0.0004	14.8	適	比較例
M	2.8	0.4	0.4	0.017	0.008	6.8	5.5	6.1	1	—	—	—	15.9	適	比較例
N	2.6	0.6	0.6	0.021	0.009	6.5	4.8	5.6	1.1	—	—	—	14.3	適	比較例
O	2.7	0.4	0.5	0.023	0.008	6.9	5.5	5.8	1.1	—	—	—	15.3	適	比較例
P	2.1	0.4	0.4	0.026	0.011	6.3	4.2	5.1	0.1	—	—	—	12.9	不適	習知例
Q	2.7	0.3	0.3	0.021	0.009	9.8	6	5	1.3	—	—	—	14.5	適	比較例
R	2.6	0.4	0.3	0.019	0.01	4.8	3.8	5.1	1	—	—	0.011	12.5	不適	比較例
S	2.7	0.3	0.3	0.018	0.008	7	6.9	6.2	1	—	—	—	17.5	不適	比較例
T	2.5	0.5	0.6	0.018	0.008	7.1	6	5.4	1	1.5	—	—	15.2	適	比較例
U	2.7	0.4	0.5	0.025	0.01	7.3	5.7	6.4	1.1	2	—	—	16.6	適	比較例
V	2.6	0.6	0.4	0.028	0.008	7	4	5.5	1.2	1	0.007	0.015	13.4	不適	比較例
W	2.5	0.5	0.5	0.018	0.006	6.9	6.9	6.2	0.9	1.5	0.009	0.018	17.4	不適	比較例

(1) 式的適用與否* 14.0 ≤ (Mo+1.7V) ≤ 17.0

表 2

試驗材 No.	碳化物量	硬度	強度	耐疲勞性	備 註
	面積率 (%)	HS	壓縮0.2% 耐力 (MPa)	折損轉動 旋轉數的比值	
A	17.6	82	2215	2.6	本發明例
B	15.8	85	2263	1.7	本發明例
C	19	83	2145	2.2	本發明例
D	18.3	81	2140	1.9	本發明例
E	16.5	84	2190	2.5	本發明例
F	14.9	80	2110	2.1	本發明例
G	17	83	2142	2	本發明例
H	18.3	83	1916	1.2	比較例
I	11.2	82	1713	1.1	比較例
J	17.5	84	1983	1.2	比較例
K	22.7	84	1867	1.1	比較例
L	24.2	82	1867	1	比較例
M	16.7	83	1923	1.3	比較例
N	15.9	84	1996	1.2	比較例
O	16.9	84	1196	1	比較例
P	8.2	81	1823	1.0(基準值)	習知例
Q	23.5	82	1910	1.2	比較例
R	13.6	82	1891	0.8	比較例
S	18.7	84	1872	1	比較例
T	16.8	81	1885	1.2	比較例
U	17.1	80	1925	1.3	比較例
V	18	83	1954	1.1	比較例
W	16.4	82	1863	1.2	比較例

本發明例的其中任何一個與習知例（基準）相比較，折損轉動旋轉數都增加且超過 1.5 倍，耐熱間轉動疲勞性有顯著地提昇。又，壓縮 0.2% 耐力也高達 2000 MPa 以上，可保持較高的壓縮 0.2% 耐力，兼具有較高的壓縮 0.2% 耐力、以及優異的耐熱間轉動疲勞性，可成為耐疲勞性優異之軋輥外層材。另一方面，脫離了本發明的範圍之

比較例，不是壓縮 0.2% 耐力降低，就是耐熱間轉動疲勞性降低，或者兩者都降低。

【圖式簡單說明】

第 1 圖是熱間轉動疲勞試驗用的試驗機的結構之示意說明圖。

第 2 圖是在實施例所使用的熱間轉動疲勞試驗用試驗片（疲勞試驗片）的外周面所導入的缺口的形狀、尺寸的示意說明圖。

第 3 圖的圖表是顯示出 REM 及 / 或 Al 對於熱間轉動疲勞試驗的折損轉動旋轉數的比值與（Mo + 1.7V）量的關係所帶來的影響。

七、申請專利範圍：

103年5月23日修正
對線頁(本)

1. 一種耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製軋輥外層材，是使用了在熱軋用離心鑄造製複合軋輥的軋輥外層材，其特徵為：其組成分以質量%計，是含有

C : 2.3 ~ 2.9%、 Si : 0.2 ~ 0.8%、
Mn : 0.2 ~ 1.0%、 Cr : 5.0 ~ 7.5%、
Mo : 4.4 ~ 6.5%、 V : 5.3 ~ 7.0%、
Nb : 0.6 ~ 1.5%、 Co : 0.1 ~ 4.0%

並且其含量是符合下列數式 (1) 的關係，

$$14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0 \quad \cdots \cdots (1)$$

此處的 Mo、V 是各元素的含量 (質量%)，

此外又含有 Al : 0.001 ~ 0.03% 及 / 或 REM : 0.001 ~ 0.03%，其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所組成的。

2. 一種耐疲勞性優異之熱軋用離心鑄造製複合軋輥，是由外層以及與該外層熔合成一體的內層所構成的離心鑄造製複合軋輥，其特徵為：前述外層的組成分以質量%計，是含有

C : 2.3 ~ 2.9%、 Si : 0.2 ~ 0.8%、
Mn : 0.2 ~ 1.0%、 Cr : 5.0 ~ 7.5%、
Mo : 4.4 ~ 6.5%、 V : 5.3 ~ 7.0%、
Nb : 0.6 ~ 1.5%、 Co : 0.1 ~ 4.0%

並且其含量是符合下列數式 (1) 的關係，

$$14.0 \leq (Mo + 1.7V) \leq 17.0 \quad \cdots \cdots (1)$$

此處的 Mo、V 是各元素的含量 (質量%)，

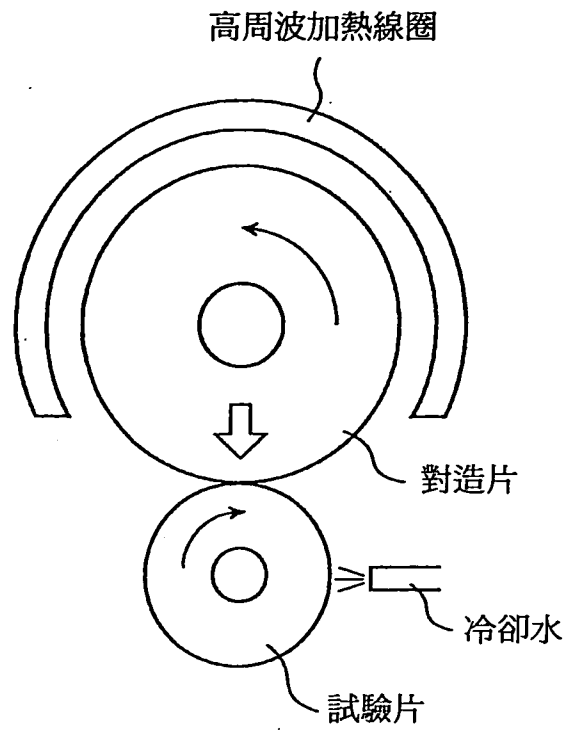
第 101138423 號

103年5月23日修正
劃線頁(本)

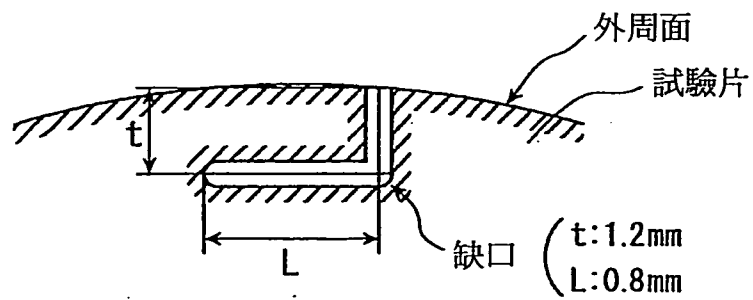
民國 103 年 5 月 23 日修正

此外又含有 Al : 0.001 ~ 0.03% 及 / 或 REM : 0.001 ~ 0.03% , 其餘部分是由 Fe 以及不可避免的雜質所組成的。

第1圖



第2圖



第3圖

