



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201736620 A

(43)公開日：中華民國 106 (2017) 年 10 月 16 日

(21)申請案號：106107235

(22)申請日：中華民國 106 (2017) 年 03 月 06 日

(51)Int. Cl. : C22C38/28 (2006.01)

C22C38/04 (2006.01)

C22C38/00 (2006.01)

F16C33/30 (2006.01)

(30)優先權：2016/03/07 日本

2016-043159

(71)申請人：神戶製鋼所股份有限公司 (日本) KABUSHIKI KAISHA KOBE SEIKO SHO (KOBE STEEL, LTD.) (JP)

日本

(72)發明人：島本正樹 SHIMAMOTO, MASAKI (JP)；木村世意 KIMURA, SEI (JP)；太田裕己 OHTA, HIROKI (JP)；岩崎克浩 IWASAKI, KATSUHIRO (JP)；大脇章弘 OWAKI, AKIHIRO (JP)；杉村朋子 SUGIMURA, TOMOKO (JP)

(74)代理人：林志剛

申請實體審查：有 申請專利範圍項數：7 項 圖式數：0 共 54 頁

(54)名稱

滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、其製造方法以及軸承零件

(57)摘要

本發明的軸承用鋼材，其鋼成分係含有：C、Si、Mn、Cr、P、S、Al、Ti、N、O，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質，存在於鋼材中之短徑為 1 $\mu$ m 以上的氧化物系夾雜物，係含有：Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、TiO<sub>2</sub>，其餘部分是不可避免的氧化物，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 以及 TiO<sub>2</sub> 之合計質量百分率是 60% 以上，TiO<sub>2</sub> 的質量對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以及 SiO<sub>2</sub> 之合計質量的質量比是 0.10 以上且 1.50 以下，該氧化物系夾雜物之中，在與前述鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數係佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率之 30% 以上。

## 發明摘要

※申請案號：106107235

※申請日：106年03月06日

※IPC分類：  
**G22C 38/28** (2006.01)  
**G22C 38/04** (2006.01)  
**G22C 38/00** (2006.01)  
**F16C 33/30** (2006.01)

【發明名稱】(中文/英文)

滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、其製造方法以及軸承零件

【中文】

本發明的軸承用鋼材，其鋼成分係含有：C、Si、Mn、Cr、P、S、Al、Ti、N、O，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質，存在於鋼材中之短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，係含有： $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$ 、 $\text{TiO}_2$ ，其餘部分是不可避免的氧化物， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  之合計質量百分率是 60% 以上， $\text{TiO}_2$  的質量對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  之合計質量的質量比是 0.10 以上且 1.50 以下，該氧化物系夾雜物之中，在與前述鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數係佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率之 30% 以上。

【英文】

【代表圖】

【本案指定代表圖】：無

【本代表圖之符號簡單說明】：無

【本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式】：無

# 發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動)

## 【發明名稱】(中文/英文)

滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、其製造方法以及軸承零件

## 【技術領域】

本發明是關於：滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、其製造方法以及滾動疲勞特性優異的軸承零件。更詳細地說，是關於：在被使用於各種產業機械和汽車等的軸承之中，作為滾動體或軌道輪等的零件使用時，可發揮優異的滾動疲勞特性之軸承用鋼材、該軸承用鋼材的製造方法、以及從該軸承用鋼材所製得的軸承零件。

## 【先前技術】

軸承被使用於各種產業機械和汽車等的時候，該軸承中的滾動體以及軌道輪係被加諸很高的反覆應力。因此，軸承的滾動體以及軌道輪係被要求具有較長的滾動疲勞壽命。針對提昇滾動疲勞壽命的這種要求，係對應於產業機械類的高性能化、輕量化而逐年愈趨嚴格。為了更為提昇軸承零件的耐久性，軸承用鋼材係被要求具有更長的滾動疲勞壽命。

傳統上，是被認為：滾動疲勞壽命是與在鋼中所生成的氧化物系夾雜物之中的例如：主要是在 Al 脫氧鋼中生

成較多的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  之類的硬質氧化物系夾雜物的個數密度有很深的相關性，可藉由減少該硬質氧化物系夾雜物的個數密度，來延長滾動疲勞壽命。因此，在製鋼工序中，不斷地嘗試以降低鋼中的含氧量來延長滾動疲勞壽命。

然而，近年來隨著針對：滾動疲勞壽命與由氧化物系夾雜物所代表的非金屬夾雜物之間的關係的研究的進展，已經得知：氧化物系夾雜物的個數密度與滾動疲勞壽命未必具有相關性。並且已經得知：滾動疲勞壽命係與非金屬夾雜物的尺寸大小，例如：係與非金屬夾雜物的面積的平方根具有密切的相關性，想要延長滾動疲勞壽命的話，將非金屬夾雜物的尺寸變小的作法，是較之減少非金屬夾雜物的個數密度的作法，更為有效。

另一方面，有人提出的技術方案（下列的專利文獻 1、2），係不使用傳統的 Al 脫氧鋼，除了極力地減少鋼中的 Al 含量之外，也藉由使用 Si 脫氧鋼來將所生成的氧化物的組成分控制成：並非以  $\text{Al}_2\text{O}_3$  作為主體，而是以  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{CaO}$  等作為主體的組成分，如此一來，可利用軋軋工序來使非金屬夾雜物延伸且分斷而可降低非金屬夾雜物的尺寸大小，進而可延長滾動疲勞壽命之方法。

專利文獻 1 所揭示的技術方案之軸承鋼材，以質量%計，係含有  $\text{CaO}$ ：10~60%、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：20% 以下、 $\text{MnO}$ ：50% 以下以及  $\text{MgO}$ ：15% 以下，其餘部分是  $\text{SiO}_2$  以及由存在於鋼材內部之不可避免的氧化物所構成的氧化物系夾雜物，在鋼材的長軸方向的縱斷面的 10 個地方的  $100\text{mm}^2$

的面積中所存在的該氧化物系夾雜物的最大厚度之算術平均值與硫化物系夾雜物的最大厚度之算術平均值，分別是  $8.5\mu\text{m}$  以下。

專利文獻 2 所揭示的技術方案之高清淨度 Si 脫氧鋼材，係將專利文獻 1 所記載的氧化物系夾雜物中的氧化物成分，又含有：既定含量的  $\text{ZrO}_2$ 。

另一方面，專利文獻 3 所揭示的技術方案，是控制 REM 夾雜物的生成，來使氧化鋁、TiN、以及 MnS 無害化之具有較長疲勞壽命的彈簧用鋼及其製造方法。更詳細地說，係將氧化鋁改質變成 REM-Al-O-S 夾雜物，以防止粗大化，並將 S 予以固定化而成為 REM-Al-O-S 夾雜物來抑制產生粗大的 MnS，並且將 TiN 複合到 REM-Al-O-S 的夾雜物中，來減少對於疲勞壽命有害的 TiN 的個數密度之方法。

專利文獻 4 所揭示的軸承用鋼材的技術方案，係藉由在利用 Si 脫氧而得到的氧化物系夾雜物中含有  $\text{TiO}_2$ ，來抑制該氧化物系夾雜物的結晶化，如此一來，可減少發生在鋼中的母相（基底相）與氧化物系夾雜物的界面上的空洞而可提昇滾動疲勞壽命。

[先前技術文獻]

[專利文獻]

[專利文獻 1] 日本特開 2009-30145 號公報

[專利文獻 2] 日本特開 2010-202905 號公報

[專利文獻 3] 日本特開 2013-108171 號公報

[專利文獻 4] 日本特開 2014-25083 號公報

### 【發明內容】

專利文獻 1，並未針對於鋼中的母相與氧化物系夾雜物的界面上的空洞，採行應該如何做才可減少空洞的對策，因此，無法稱為：能夠獲得充分的滾動疲勞壽命。

專利文獻 2 則是完全未揭示出與因為前述界面處的剝離而產生的空洞相關的記載。原本專利文獻 2 主要只是著眼於將整體非金屬夾雜物予以細微化的技術而已，即使在實施例的評比方法當中，也只是利用 ASTM E45 法的 C 系夾雜物評點的算術平均值來進行評比而已。因此，以這種方法所製造出來的鋼材的滾動疲勞壽命未必一定是長的。

專利文獻 3，氧化物系夾雜物是由 REM 和 Al 之類的強脫氧元素所構成的，並非以 Si 之類的弱脫氧元素作為主體，因此，無法抑制在鋼中的氧化物系夾雜物與母相的界面所產生的剝離。

專利文獻 4，因為是減少了在非晶質體的氧化物系夾雜物與母相的界面上所產生的空洞，所以無論被施加荷重的方向是哪一個方向，都可以提昇滾動疲勞壽命。然而，基於：針對於較之以往的軸承零件更為提昇耐久性的要求，還是希望能夠開發出滾動疲勞壽命更長的軸承用鋼材。

本發明是有鑒於上述情事而開發完成的，其目的是要提供：滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、其製造方法以及

滾動疲勞特性優異的軸承零件。

本發明的一種態樣的滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材，係為：

以質量%計，含有 C：0.8%以上 1.1%以下、Si：0.15%以上 0.8%以下、Mn：0.1%以上 1.0%以下、Cr：1.3%以上 1.8%以下、P：高於 0%且 0.05%以下、S：高於 0%且 0.015%以下、Al：0.0002%以上 0.005%以下、Ti：0.0005%以上 0.010%以下、N：0.0030%以上 0.010%以下、O：高於 0%且 0.0030%以下，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質之軸承用鋼材，

前述鋼材中所存在的短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，以質量%計，係含有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：5%以上 50%以下、 $\text{SiO}_2$ ：10%以上 70%以下、 $\text{TiO}_2$ ：3%以上 50%以下，其餘部分是不可避免的氧化物，

前述  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、前述  $\text{SiO}_2$  以及前述  $\text{TiO}_2$  之合計質量百分率是 60%以上，前述  $\text{TiO}_2$  的質量相對於前述  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及前述  $\text{SiO}_2$  的合計質量之比值是 0.10 以上 1.50 以下，

該氧化物系夾雜物之中，在與前述鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數係佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率之 30%以上。

本發明的另外一種態樣之滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材的製造方法，係具有：進行 Si 脫氧處理而製得由前述鋼成分所構成的鋼素材之熔製工序；第 1 均熱工序；分塊工序；第 2 均熱工序；熱軋工序，前述第 2 均熱工序時

的保持溫度是 1240°C 以下，在前述第 1 均熱工序以及前述第 2 均熱工序中，在 900~1240°C 的溫度下的保持時間合計為 60 分鐘以上。

本發明的另一種態樣，是由前述軸承用鋼材所構成的軸承零件。

本發明之目的、特徵、態樣以及優點，將會因為以下的詳細說明而更為清楚。

## 【實施方式】

### 《軸承用鋼材》

首先，說明本發明一種態樣之滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材。

本發明人等，在揭示了前述專利文獻 4 之後，為了想要提供更加延長滾動疲勞壽命的軸承用鋼材，進一步地加以檢討。因而發現：當藉由 Si 脫氧而獲得氧化物系夾雜物中所含的 CaO 的量很少的話，依據在分塊軋軋或熱軋前的加熱工序時的加熱保持溫度的高低或加熱保持時間的長短，軸承用鋼材的滾動疲勞壽命係有大幅的變動。

因此，本發明人等乃將以  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  為主成分的氧化物系夾雜物，作為利用 Si 脫氧而獲得的氧化物系夾雜物，並且假設出：如果在該氧化物系夾雜物與鋼材的母相（鋼材的基底相）的界面有 TiN 存在的話，理應會使滾動疲勞壽命更為延長的想。其具體的方法，係針對於：氧化物系夾雜物的尺寸大小及組成分、以及在前述

界面中有 TiN 存在的夾雜物佔該氧化物系夾雜物的個數比率，進行了檢討。

其結果，找到了一種創見就是：只要符合下列要件 (a) ~ (c) 的話，就能夠達成所期望之目的，因而完成了本發明的滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材。

(a) 鋼材的鋼成分，以質量%計，係含有 C：0.8% 以上 1.1% 以下、Si：0.15% 以上 0.8% 以下、Mn：0.1% 以上 1.0% 以下、Cr：1.3% 以上 1.8% 以下、P：高於 0% 且 0.05% 以下、S：高於 0% 且 0.015% 以下、Al：0.0002% 以上 0.005% 以下、Ti：0.0005% 以上 0.010% 以下、N：0.0030% 以上 0.010% 以下、O：高於 0% 且 0.0030% 以下，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質；

(b) 鋼材中所存在的短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，以質量%計，係含有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：5% 以上 50% 以下、 $\text{SiO}_2$ ：10% 以上 70% 以下、 $\text{TiO}_2$ ：3% 以上 50% 以下，其餘部分是不可避免的氧化物， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  之合計質量百分率為 60% 以上， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值為 0.10 以上 1.50 以下；

(c) 該氧化物系夾雜物之中，在與鋼材的母相的界面中有 TiN 存在的夾雜物（在本說明書中有時候稱為複合夾雜物）的個數之佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率為 30% 以上。

在本發明中所稱的「滾動疲勞特性優異」係指：在後述的實施例中所記載的推力滾動疲勞試驗時的疲勞壽命

$L_{10}$  為  $5.4 \times 10^7$  次以上。

以下將詳細說明直到完成本發明為止的經過，以及本發明與專利文獻 4 乃至於與專利文獻 3 的關係。

本發明人等，為了想要提供：較之專利文獻 4 的鋼材的滾動疲勞壽命更長的 Si 脫氧鋼材，乃不斷地進行各種的檢討。

已知：利用 Si 脫氧而獲得的氧化物系夾雜物，很容易成為非晶質，而經由熱軋就很容易延伸。因此，經過熱軋後的鋼材，會在氧化物系夾雜物身上產生異方性。其結果，在鋼材的滾動疲勞壽命上也會產生異方性，所以並不合宜。另一方面，藉由控制氧化物系夾雜物的組成分，可使其在被實施熱間加工時的高溫範圍內進行結晶化而可變成多結晶體。但是，變成多結晶體後的氧化物系夾雜物，其變形阻力高於鋼的母相，因此，在進行熱間加工或冷間加工時，很容易在鋼中的母相與氧化物系夾雜物的界面上發生空隙。發生在界面上的空隙，將會對於滾動疲勞壽命帶來不良影響，因此，並不合宜。

因此，本發明人等，不僅是針對於利用 Si 脫氧而獲得的氧化物系夾雜物的組成分，也針對於藉由控制 TiN 的生成狀況來減少發生空隙的控制方法，努力地進行檢討。其結果，找到了一種創見就是：如果在利用 Si 脫氧而獲得的氧化物系夾雜物與母相的界面上生成既定的量的 TiN 的話，即可減少在該界面處的剝離，而能夠明顯提昇滾動疲勞壽命。

關於 TiN，係如專利文獻 3 所示般地，已經有許多的報告係說明其會對於疲勞壽命帶來不良影響。但是，上述的報告全部都是和專利文獻 3 同樣的是與在 Al 脫氧鋼中所生成的 TiN 相關的。亦即，在 Al 脫氧鋼的情況下， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、(Ca, Al) 系氧化物之類的脫氧生成物，是在熔鋼中以固相狀態來生成，因此很容易以該脫氧生成物作為生成核而生成 TiN。此外， $\text{Al}_2\text{O}_3$  等係很容易在熔鋼中凝集而形成粗大化，因而生成於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等的 TiN 也具有粗大化的傾向。其結果被認為是：前述  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等之脫氧生成物與 TiN 的複合體，也具有粗大化的傾向，而會對於滾動疲勞壽命帶來不良影響。此外，也被認為是：想要利用 TiN 來將粗大化的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等之大部分予以披覆的話，必須生成大量的 TiN，如此一來，反而會導致前述複合體的粗大化，而會對於滾動疲勞壽命帶來不良影響。此外，未受到 TiN 披覆的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  等的氧化物系夾雜物與母相的界面處，依然還是會發生剝離現象，因此被認為是：該剝離現象正是無法提昇鋼材的滾動疲勞壽命之原因。

是以，在傳統的技術中，已經揭示出許多：著眼於在氧化物系夾雜物與母相的界面上所生成的 TiN 的技術。但是，如專利文獻 3 所示般地，全部都是以使用 Al 脫氧鋼為原料的鋼材來當作對象。並且其解決方法，都只是揭示出：以減少對於疲勞壽命有害的 TiN 的個數密度而使其無害化的技術而已。專利文獻 3 所揭示的解決方法，並無法

抑制：發生在氧化物系夾雜物與母相的界面上之會對於滾動疲勞壽命帶來不良影響的剝離現象。

相對於此，本發明的鋼材則是使用 Si 脫氧鋼，在 Si 脫氧鋼的熔製階段，就已經抑制： $\text{Al}_2\text{O}_3$  之類的容易變粗大化的脫氧生成物的產生。並且本發明的鋼材也就是 Si 脫氧鋼，在其熔製階段時，就已經生成了  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  作為脫氧生成物， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  的合計質量係佔脫氧生成物整體的百分率為 60% 以上。由  $\text{Al}_2\text{O}_3$  與  $\text{SiO}_2$  與  $\text{TiO}_2$  所構成的氧化物系夾雜物，與利用 Al 脫氧而生成的脫氧生成物（ $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ 、（Ca，Al）系氧化物等）相較，其融點更低，在熔鋼中不易凝集，而有不形成粗大化的傾向。因此，在熱間加工（例如：分塊軋軋、分塊鍛造、熱軋）前的加熱階段時，即使是以氧化物系夾雜物（利用 Si 脫氧而生成的脫氧生成物）作為生成核來生成 TiN 而形成複合夾雜物，該複合夾雜物還是維持著比較細微的狀態。此外，為人熟知的事實是 TiN 係與結晶構造為 bcc 構造的  $\alpha\text{-Fe}$  的晶格具有優異的整合性。因此，利用 TiN 可使前述複合夾雜物與母相的密著性更為良好，其結果被認為是：可減少發生在前述複合夾雜物與母相的界面上的剝離現象。其結果被認為是：可飛躍性的提昇滾動疲勞壽命。

為了確保既定量的前述複合夾雜物，必須如前所述的這樣，將在分塊軋軋、分塊鍛造、熱軋等之前所執行的加熱時的保持溫度與保持時間，設定在適合生成 TiN 的溫

度，並且保持適當的時間。關於這一點，專利文獻 4，為了延長滾動疲勞壽命，其主要是著眼於將利用 Si 脫氧所獲得的氧化物系夾雜物維持在非晶質體，前述加熱時的保持溫度以及保持時間依舊是維持在傳統的狀態，完全沒有做特別的考慮與配合。此外，針對專利文獻 4 中的延長滾動疲勞壽命的作法，本發明人等再加以檢討的結果，得知：將以往未特別留意的前述加熱時的保持時間，在適合生成 TiN 的溫度下，保持較之以往方式更長的時間的話，TiN 將會生成在前述氧化物系夾雜物與母相的界面上，可提昇氧化物系夾雜物與母相的界面之密著性，而可減少空隙，可使滾動疲勞壽命更為延長。終於得知了：例如將在分塊軋軋、分塊鍛造、熱軋等之前所執行的加熱時的保持溫度與保持時間，在適合生成 TiN 的溫度下，進行長時間的保持的話，TiN 將會生成在前述氧化物系夾雜物與母相的界面上，會提昇氧化物系夾雜物與母相的界面之密著性而減少空隙，因而可提昇滾動疲勞壽命，進而完成了本發明。

以下，將說明本發明的軸承用鋼材的要件 (a) ~ (c)。

#### (a) 關於鋼材的化學組成分 (鋼成分)

本發明的軸承用鋼材，其係由：以質量%計，含有 C：0.8% 以上 1.1% 以下、Si：0.15% 以上 0.8% 以下、Mn：0.1% 以上 1.0% 以下、Cr：1.3% 以上 1.8% 以下、

P：高於 0% 且 0.05% 以下、S：高於 0% 且 0.015% 以下、Al：0.0002% 以上 0.005% 以下、Ti：0.0005% 以上 0.010% 以下、N：0.0030% 以上 0.010% 以下、O：高於 0% 且 0.0030% 以下，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質的鋼成分所構成的鋼材。其次，說明限定在這種範圍的理由如下。

[C：0.8~1.1%]

C 可增大冷淬硬度，是用來維持室溫及高溫時的強度且賦予耐磨損性的必要元素。想要使其發揮這種作用，C 含量要在 0.8% 以上、優選為 0.85% 以上、更好為 0.90% 以上。但是，C 含量過多的話，很容易在軸承的芯部生成巨大碳化物，對於滾動疲勞特性帶來不良影響。從而，將 C 含量設在 1.1% 以下、優選為 1.05% 以下、更好為 1.0% 以下。

[Si：0.15~0.8%]

Si 可作為脫氧元素有效地發揮作用之外，也具有可提高淬硬及回火軟化阻力進而提高硬度的作用。想要使其有效地發揮這種作用，Si 含量必須是 0.15% 以上、優選為 0.20% 以上、更好為 0.25% 以上。但是，Si 含量過剩的話，不僅鍛造時模具的壽命會變差，也會導致成本增加。從而，將 Si 含量設在 0.8% 以下、優選為 0.7% 以下、更好為 0.6% 以下。

[Mn：0.1~1.0%]

Mn 是可提昇鋼材母相的固溶強化以及淬火硬化性的元素。想要使其有效地發揮這種作用，Mn 含量必須是 0.1% 以上、優選為 0.2% 以上、更好為 0.3% 以上。但是，Mn 含量過剩的話，將會增加低級氧化物也就是 MnO 的含量，會使滾動疲勞特性惡化之外，加工性和被切削性也會明顯變差。從而，將 Mn 含量設在 1.0% 以下、優選為 0.8% 以下、更好為 0.6% 以下。

[Cr：1.3~1.8%]

Cr 是可提昇淬火硬化性且藉由形成穩定的碳化物而可提昇強度以及耐磨損性，可藉此而改善滾動疲勞特性之有效的元素。想要使其發揮這種作用，Cr 含量必須是 1.3% 以上、優選為 1.35% 以上、更好為 1.4% 以上。但是，Cr 含量過剩的話，碳化物會變粗大化而使滾動疲勞特性以及被切削性變差。從而，將 Cr 含量設在 1.8% 以下、優選為 1.7% 以下、更好為 1.6% 以下。

[P：高於 0% 且 0.05% 以下]

P 是不可避免的含在鋼材中的元素。P 含量過剩的話，將會偏析在結晶粒界而對於滾動疲勞特性帶來不良影響。從而，將 P 含量設在 0.05% 以下、優選為 0.03% 以下、更好為 0.02% 以下。P 含量愈少愈好。P 含量的下限

值並未特別地限定，就工業規模上可達成的含量而言，是在 0.002%。

[S：高於 0% 且 0.015% 以下]

S 是不可避免的含在鋼材中的元素，也是可形成硫化物的元素。S 含量過剩的話，粗大的硫化物會殘留在鋼材中，因而滾動疲勞特性會變差。從而，將 S 含量設在 0.015% 以下、優選為 0.007% 以下、更好為 0.005% 以下。S 含量愈少愈好。S 含量的下限值並未特別地限定，就工業規模上可達成的含量而言，是在 0.0005%。

[Al：0.0002~0.005%]

Al 是脫氧元素，也是可視其含量的多寡而使得氧化物系夾雜物的組成分發生變動的元素。Al 含量過剩的話，以  $Al_2O_3$  為主體的硬質氧化物的生成量變多，而且熱軋後也會成為粗大的氧化物殘留下來，因此，滾動疲勞特性會惡化。從而，將 Al 含量設在 0.005% 以下、優選為 0.002% 以下、更好為 0.0015% 以下。在本發明中，因為是利用 Si 來脫氧，因此，並不是像 Al 脫氧鋼這樣地在氧化精煉後添加 Al 來進行脫氧處理。但是，Al 含量太少的話，氧化物中的  $Al_2O_3$  含量變得太少，將會生成  $SiO_2$  含量較多的氧化物系夾雜物而使得滾動疲勞特性變差。此外，想要極力減少 Al 含量的話，必須減少 Al 的混入。因此，不只是鋼中的組成分，也必須減少在助熔劑中的  $Al_2O_3$  含

量。但是， $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量很少的助熔劑的價格非常昂貴，對於高碳鋼的軸承鋼而言，並不合乎經濟效應。從而，將 Al 含量設在 0.0002% 以上、優選為 0.0003% 以上、更好為 0.0005% 以上。

[Ti: 0.0005~0.010%]

Ti 是對於本發明賦予特徵的元素。藉由添加既定量的 Ti，可使得 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，而可減少在該界面所發生的剝離現象。其結果，可改善滾動疲勞特性。此外，可控制氧化物系夾雜物中的  $\text{TiO}_2$  濃度，對於降低縱橫比（容後詳述）亦可有效地作用，可更為提昇滾動疲勞特性。想要使其發揮這種作用，Ti 含量必須是 0.0005% 以上、優選為 0.0008% 以上、更好為 0.0011% 以上。但是，Ti 含量過剩的話，TiN 會變粗大化，並且導致  $\text{TiO}_2$  系氧化物的粗大化，滾動疲勞特性會惡化。從而，將 Ti 含量設在 0.010% 以下、優選為 0.0050% 以下、更好為 0.0030% 以下。

[N: 0.0030~0.010%]

N 也是與前述 Ti 同樣地是對於本發明賦予特徵的元素。藉由添加既定量的 N，可使得 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，而可減少在該界面所發生的剝離現象。其結果，可改善滾動疲勞特性。想要使其發揮這種作用，N 含量必須是 0.0030% 以上、優選為 0.0035% 以上、

更好為 0.0040% 以上。但是，N 含量過剩的話，TiN 會變粗大化，滾動疲勞特性會惡化。從而，將 N 含量設在 0.010% 以下、優選為 0.008% 以下、更好為 0.007% 以下。

[O：高於 0% 且 0.0030% 以下]

O 是不可避免的含在鋼材中的元素。O 含量過剩的話，很容易生成粗大的氧化物，即使在熱軋以及冷軋後，氧化物系夾雜物也還是保持粗大的氧化物殘留下來，而對於滾動疲勞特性帶來不良影響。從而，將 O 含量設在 0.0030% 以下、優選為 0.0025% 以下、更好為 0.0020% 以下。為了改善滾動疲勞特性，O 含量愈少愈好。O 含量的下限值，基於改善滾動疲勞特性的觀點而言，並未特別地限定，但是考慮到經濟性等因素的話，優選為 0.0004% 以上、更好為 0.0008% 以上。因為想要將 O 含量控制成低於 0.0004% 的話，必須嚴格地執行從熔鋼除去 O 的工作，熔鋼處理時間將會變長而不符合經濟效應。

[其他的成分]

本發明的軸承用鋼材，係符合前述各成分，其餘部分的成分是鐵以及前述 P、S 以及 O 以外之不可避免的雜質。前述不可避免的雜質係可舉出：因為原料、資材、製造設備等的狀況之因素而夾帶進來的元素（例如：H、Ni 等）。

(b) 短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物的組成分

本發明的軸承用鋼材，係具有：短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，其組成分以質量%計，係含有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：5%以上 50%以下、 $\text{SiO}_2$ ：10%以上 70%以下、 $\text{TiO}_2$ ：3%以上 50%以下，其餘部分是不可避免的氧化物， $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  之合計質量百分率是 60%以上， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值是 0.10 以上 1.50 以下。其次，說明限定在這種範圍的理由如下。

[氧化物系夾雜物的短徑： $1\mu\text{m}$  以上]

滾動疲勞特性被認為是：氧化物系夾雜物的尺寸愈大，不良影響度愈大。因此，在本發明中，為了評判可能會對於滾動疲勞特性帶來不良影響之尺寸較大的氧化物系夾雜物，乃對於前述大小（短徑為  $1\mu\text{m}$  以上）的氧化物系夾雜物進行控制。

[ $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：5~50%]

$\text{Al}_2\text{O}_3$  係具有降低以  $\text{SiO}_2$  為主體的氧化物的液相線溫度的效果。因此，係具有可抑制氧化物的粗大化，而使  $\text{TiN}$  生成在氧化物系夾雜物鋼與母相的界面上的效果。其結果，係可改善滾動疲勞特性。此外， $\text{Al}_2\text{O}_3$  係具有促進氧化物系夾雜物結晶化之效果。因此，對於降低氧化物系夾雜物的縱橫比具有重要的功能。想要使其有效地發揮這

種效果，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量必須是 5% 以上、優選為 8% 以上、更好為 12% 以上。但是，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量過剩的話，在熔鋼中以及凝固過程中， $\text{Al}_2\text{O}_3$ （鋼玉）的結晶相會晶析出來，或者與  $\text{MgO}$  一起晶析出來  $\text{MgO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ （尖晶石）的結晶相。這些的固體相都是硬質且以粗大夾雜物的形態存在，在加工中很容易生成空洞，而使滾動疲勞特性惡化。從而，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量必須是在 50% 以下、優選為 40% 以下、更好為 30% 以下。

[ $\text{SiO}_2$  : 10~70%]

$\text{SiO}_2$  具有降低氧化物系夾雜物的液相線溫度的效果。因此，可抑制氧化物的粗大化而具有可使  $\text{TiN}$  生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上的效果。其結果，可改善滾動疲勞特性。想要使其有效地發揮這種效果，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{SiO}_2$  含量必須是 10% 以上、優選為 15% 以上、更好為 25% 以上、更優為 30% 以上。但是，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{SiO}_2$  含量過剩的話，氧化物將變粗大化而使滾動疲勞特性惡化。此外，氧化物將會延伸而使縱橫比變大，因而滾動疲勞特性會惡化。從而，氧化物系夾雜物的組成成分中的  $\text{SiO}_2$  含量必須是 70% 以下、優選為 60% 以下、更好為 45% 以下。

[ $\text{TiO}_2$  : 3~50%]

TiO<sub>2</sub> 具有可降低以 SiO<sub>2</sub> 為主體的氧化物的液相線溫度的效果。因此，可抑制氧化物的粗大化而具有可使 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上的效果。其結果，可改善滾動疲勞特性。此外，TiO<sub>2</sub> 具有可促進氧化物系夾雜物結晶化的效果。因此，對於降低氧化物系夾雜物的縱橫比具有重要的功能。想要使其有效地發揮這種效果，氧化物系夾雜物的組成成分中的 TiO<sub>2</sub> 含量必須是 3% 以上、優選為 5% 以上、更好為 10% 以上、更優為 20% 以上。但是，氧化物系夾雜物的組成成分中的 TiO<sub>2</sub> 含量過剩的話，氧化物會變粗大化而使滾動疲勞特性惡化。從而，氧化物系夾雜物的組成成分中的 TiO<sub>2</sub> 含量必須是 50% 以下、優選為 45% 以下、更好為 40% 以下。

#### [不可避免的氧化物]

前述氧化物系夾雜物係含有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、以及 TiO<sub>2</sub>，其餘部分的成分是不可避免的氧化物。不可避免的氧化物係指：在製造過程當中，不可避免的含有的氧化物，可舉出例如：CaO、REM<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、MgO、MnO、ZrO<sub>2</sub>、Na<sub>2</sub>O、K<sub>2</sub>O、Li<sub>2</sub>O、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、NbO、FeO、Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>。但是，在對於前述氧化物系夾雜物的結晶化狀態和縱橫比不會造成不良影響，並且可獲得所期望的特性的限度範圍內，亦可含有不可避免的氧化物。不可避免的氧化物的合計質量相對於前述氧化物系夾雜物的總質量的百分率，大致上是 30% 以下為宜，20% 以下更好。例如：可在相對

於前述氧化物系夾雜物的總質量之質量百分率為 20% 以下的範圍內含有 CaO。此外， $REM_2O_3$ 、MgO、MnO、 $ZrO_2$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、 $Li_2O$ 、 $Cr_2O_3$ 、NbO、FeO、 $Fe_3O_4$ 、 $Fe_2O_3$ ，係分別可在相對於前述氧化物系夾雜物的總質量之質量百分率為低於 10% 的範圍內含有它。此外，在本發明中，所稱的 REM 係指：鑷系元素（屬於周期表第 6 周期第 3 族的 La 至 Lu 的 15 種元素）、Sc（鈦）以及 Y（鈮）之共 17 種元素。在這些元素當中，係含有從 La、Ce 及 Y 之中所選出的至少一種元素為宜，含有 La 及 / 或 Ce 更好。

[ $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  的合計質量百分率：60% 以上 ( $Al_2O_3+SiO_2+TiO_2 \geq 60\%$ ) ]

如上所述， $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  是本發明中的氧化物系夾雜物的主要成分，其各自的含量是受到控制，而且在本發明中，必須就  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  的合計含量做合宜的控制。如此一來，可使 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，而可抑制在界面處的剝離現象，進而可改善滾動疲勞特性。 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  的合計含量太少的話，氧化物會變粗大化，無法充分利用 TiN 來控制前述界面，因而無法提昇滾動疲勞特性。基於這種觀點考量，而將  $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  的合計含量設在 60% 以上。 $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  以及  $TiO_2$  的合計含量愈多愈好，優選為 65% 以上，70% 以上更好。另一方面， $Al_2O_3$ 、 $SiO_2$  及  $TiO_2$  的合計含量的上限值並未特別限定，例如亦可為 100

%。

[TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 及 SiO<sub>2</sub> 的合計質量之比值：0.10 以上 1.50 以下 ( $1.50 \geq \text{TiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2) \geq 0.10$ )]

如上所述，Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub> 以及 TiO<sub>2</sub> 是本發明中的氧化物系夾雜物的主要成分。TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 的合計質量的比值，落在既定的範圍內的話，可使 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上而可抑制在界面處的剝離現象。TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 的合計質量的比值太小的話，在氧化物系夾雜物中所佔的 TiO<sub>2</sub> 的比率太少，而變成以 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 為主體。其結果，無法使 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，而未能提昇滾動疲勞特性。此外，氧化物系夾雜物的縱橫比也會變大。基於這種觀點考量，TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 的合計質量之比值必須是 0.10 以上、優選為 0.15 以上、更好為 0.25 以上。但是，TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 的合計質量之比值太大的話，在氧化物系夾雜物之中的 TiO<sub>2</sub> 所佔的比率太大，無法使 TiN 生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，未能提昇滾動疲勞特性。從而，TiO<sub>2</sub> 的質量相對於 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 與 SiO<sub>2</sub> 的合計質量之比值必須是 1.50 以下、優選為 1.30 以下、更好為 1.00 以下。

(c) 該氧化物系夾雜物之中，在與鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數佔短徑為 1 $\mu$ m 以上的氧

氧化物系夾雜物的總個數的百分率

存在於本發明的軸承用鋼材中之短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，在該氧化物系夾雜物之中，在與鋼材的母相（基底相）的界面上有 TiN 存在的夾雜物的個數佔該氧化物系夾雜物的總個數之百分率（以下，有時候稱為 TiN 個數比率）是 30% 以上。其次，說明限定在這種範圍的理由如下。

所稱的「存在於前述界面上的 TiN」係指：如後述的實施例的說明欄所示般地，生成在前述氧化物系夾雜物（與鋼材的母相（基底相）的界面）上的 TiN 之意。這種 TiN 是對於提昇滾動疲勞壽命極為重要，藉由讓 TiN 存在於前述界面，可抑制在複合夾雜物與母相的界面所發生的剝離現象。對於滾動疲勞壽命造成不良影響的界面剝離受到抑制的結果，即可提昇滾動疲勞壽命。可以產生這種效果之 TiN 個數比率必須是 30% 以上。TiN 個數比率愈多愈好，40% 以上更好，50% 以上更優。另一方面，TiN 個數比率的上限並未特別地限定，亦可為例如：100%。

關於 TiN 個數比率的測定方法，將在後述的實施例的說明欄中詳述。

本發明的軸承用鋼材，是以上述的方式來將鋼組成分以及氧化物組成分做合宜的控制，如此一來，可將存在於朝與鋼材的長軸方向平行的方向切斷的剖斷面內的氧化物系夾雜物的縱橫比（長徑／短徑）的平均值（以下，有時候單純只稱為縱橫比）降低到 3.0 以下。藉此，無論是被

施加任何一個方向的荷重，都可以穩定的改善滾動疲勞特性。前述縱橫比是愈小愈好，大致上是 2.5 以下為宜，2.0 以下更好。

縱橫比的測定方法，將在後述的實施例的說明欄中詳述。

### 《軸承用鋼材的製造方法》

接下來，說明本發明的另一種態樣之滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材的製造方法。

本發明的軸承用鋼材，係可藉由：進行 Si 脫氧處理以製得由前述鋼成分所構成的鋼素材之熔製工序；第 1 均熱工序；分塊工序；第 2 均熱工序；熱軋工序；並且將前述第 2 均熱工序時的保持溫度設定在 1240℃ 以下，將前述第 1 均熱工序以及前述第 2 均熱工序中的在 900~1240℃ 的溫度下的保持時間，合計設定在 60 分鐘以上，而製造出來。

在製造本發明的軸承用鋼材時，必須對於熔製工序、第 1 均熱工序以及第 2 均熱工序特別留意，方可獲得既定的氧化物組成分以及 TiN 的個數比率。這些工序以外的工序，則可適當地選用：在製造軸承用鋼時，一般通常被採用的方法。

以下將說明：熔製工序、第 1 均熱工序以及第 2 均熱工序。

## [熔製工序]

先熔製出由前述鋼成分所組成的鋼，再進行鑄造而可獲得鑄片也就是鋼素材。在進行熔製鋼的時候，並不採用一般的方法所實施的利用添加 Al 來進行脫氧處理，而是實施利用添加 Si 來進行脫氧處理（Si 脫氧處理）。

用來獲得前述氧化物組成分的優選熔製方法如下所述。

熔製時，為了控制  $Al_2O_3$  的含量，係將鋼中所含的 Al 的含量如前所述地，控制在 0.0002~0.005%。

$TiO_2$  的控制方法並未特別限定。只要根據該技術領域中的一般常用方法，在進行熔製時，係以可將鋼中所含的 Ti 含量控制在前述的 0.0005~0.010% 的範圍內的方式來添加 Ti 即可。這種情況下的 Ti 的添加方法並未特別限定。例如：係可藉由添加含有 Ti 的鐵系合金來進行調整，或者，亦可藉由控制爐渣的組成分來控制熔鋼中的 Ti 濃度。

$SiO_2$  的含量，係藉由以前述的方式控制其他的氧化物，而被間接的控制。

用來獲得前述 TiN 的個數比率的優選控制方法如下所述。

依照一般常用方法進行鋼的熔製時，是以可使得鋼中的 Ti 含量控制在前述的 0.0005~0.010% 的範圍內，N 含量控制在前述的 0.003~0.010% 的範圍內的方式，進行添加 Ti、N。Ti 的添加方法並未特別限定。例如：可藉由添

加含有 Ti 的鐵系合金來進行調整，或者亦可藉由控制爐渣的組成分來控制熔鋼中的 Ti 濃度。N 的添加方法也並未特別限定。例如：可藉由添加含有 N 的合金來進行調整，亦可在對於熔鋼進行加氣攪拌時，使用氮氣來控制 N 含量，或者，亦可藉由控制與熔鋼進行接觸的氣相中的氮氣分壓。

#### [第 1 均熱工序以及第 2 均熱工序]

在進行分塊軋軋或分塊鍛造之前所進行的加熱，以及在熱軋之前所進行的加熱時，係在可使得 TiN 很容易生成於前述氧化物系夾雜物與鋼的界面之保持溫度（900~1240℃）下，將保持在該溫度下的時間控制在一定時間以上（60 分鐘以上），以資使得在熱軋後，TiN 存在於前述氧化物系夾雜物與鋼材的母相（鋼材的基底相）的界面。

茲詳細說明如下。

在分塊軋軋或分塊鍛造之前所進行的加熱，係包含：鋼素材昇溫到達指定溫度之後，在該指定溫度（第 1 指定溫度）下，保持指定的時間（第 1 指定時間）的工序（第 1 均熱工序）。另一方面，在熱軋之前所進行的加熱，則是包含：對於鋼素材進行分塊軋軋或分塊鍛造而獲得的軋軋素材昇溫到達其他的指定溫度之後，在該其他的指定溫度（第 2 指定溫度）下，保持其他的指定時間（第 2 指定時間）的工序（第 2 均熱工序）。在熱軋之前所進行的加熱時，為了不要讓生成在前述氧化物系夾雜物與鋼的界面

上的 TiN 消失，乃將第 2 指定溫度設定在 1240°C 以下。並且將鋼素材以及輥軋素材的第 1 均熱工序以及第 2 均熱工序中在 900~1240°C 的溫度下的保持時間控制成合計為 60 分鐘以上。

具體而言，係將第 1 均熱工序以及第 2 均熱工序中的第 1 指定溫度、第 2 指定溫度、第 1 指定時間以及第 2 指定時間，予以控制成可符合下列條件 1~條件 3 之中的任一項條件。

條件 1：第 1 指定溫度為 900~1240°C，第 2 指定溫度為低於 900°C，在第 1 均熱工序中，鋼素材以第 1 指定溫度進行保持的時間（第 1 指定時間）為 60 分鐘以上；

條件 2：第 1 指定溫度高於 1240°C，第 2 指定溫度為 900~1240°C，在第 2 均熱工序中，輥軋素材以第 2 指定溫度進行保持的時間（第 2 指定時間）為 60 分鐘以上；

條件 3：第 1 指定溫度以及第 2 指定溫度之兩者皆為 900~1240°C，在第 1 均熱工序中，鋼素材以第 1 指定溫度進行保持的時間（第 1 指定時間）與在第 2 均熱工序中，輥軋素材以第 2 指定溫度進行保持的時間（第 2 指定時間）之合計為 60 分鐘以上。

例如：（1）可以控制成：在第 1 均熱工序中，以容易生成 TiN 的溫度（900~1240°C）來將鋼素材進行保持的時間，設定在 60 分鐘以上，並且，在第 2 均熱工序中，係以不易生成 TiN 的溫度（低於 900°C）來對於輥軋素材進行保持。（2）也可以控制成：在第 1 均熱工序中，係

以即使生成了 TiN 也不容易消失的溫度（高於 1240℃）來對於鋼素材進行保持，並且，在第 2 均熱工序中，係將以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）來對於輥軋素材進行保持的時間設定在 60 分鐘以上。（3）也可以控制成：在第 1 均熱工序中，係以不易生成 TiN 的溫度（低於 900℃）來對於鋼素材進行保持，並且，在第 2 均熱工序中，係將以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）來對於輥軋素材進行保持的時間設定在 60 分鐘以上。（4）也可以控制成：將第 1 均熱工序中，以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）進行保持的時間以及將第 2 均熱工序中，以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）來進行保持的時間之其中一方或雙方設定為 60 分鐘以上。（5）也可以控制成：在第 1 均熱工序中，以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）來進行保持的時間，與在第 2 均熱工序中，以可容易生成 TiN 的溫度（900~1240℃）來進行保持的時間之兩者的合計設定在 60 分鐘以上。

前述條件 1 中的第 1 指定溫度的下限值，優選為 950℃。前述條件 1 中的第 1 指定溫度的上限值，優選為 1200℃，1150℃更好。前述條件 1 中的第 1 指定時間愈長愈好。例如：優選為 80 分鐘以上，100 分鐘以上更好，150 分鐘以上更優。另一方面，前述條件 1 中的第 1 指定時間的上限值，並未特別限定，但是考慮到製造效率等因素的話，大致上是設定在 20 小時以下為宜。前述條件 1 中的第 2 指定溫度的下限值，優選是 700℃。

前述條件 2 中的第 2 指定溫度的下限值，優選是 950℃。前述條件 2 中的第 2 指定溫度的上限值，優選是 1200℃，1150℃ 更好。前述條件 2 中的第 2 指定時間愈長愈好。例如：優選為 80 分鐘以上，100 分鐘以上更好，150 分鐘以上更優。另一方面，前述條件 2 中的第 2 指定時間的上限值，並未特別限定，但是考慮到製造效率等因素的話，大致上是設定在 20 小時以下為宜。前述條件 2 中的第 1 指定溫度的上限值，優選是 1300℃。

前述條件 3 中的第 1 指定溫度以及第 2 指定溫度的下限值，分別是 950℃ 為宜。前述條件 3 中的第 1 指定溫度以及第 2 指定溫度的上限值，分別是 1200℃ 為宜，1150℃ 更好。前述條件 3 中的第 1 指定時間與第 2 指定時間之合計值是愈長愈好。例如：第 1 指定時間與第 2 指定時間的合計是 80 分鐘以上為宜，100 分鐘以上更好，150 分鐘以上更優。另一方面，前述條件 3 中的第 1 指定時間與第 2 指定時間之合計的上限值，並未特別限定，但是考慮到製造效率等因素的話，大致上是設定在 20 小時以下為宜。

在前述條件 1~3 中，第 1 指定時間以及第 2 指定時間的各個範圍，係在第 1 均熱工序中與在第 2 均熱工序中，第 1 指定溫度以及第 2 指定溫度不相同，因此，最好是設定為：因應於第 1 指定溫度的較佳第 1 指定時間；以及因應於第 2 指定溫度的較佳第 2 指定時間。

此外，第 1 均熱工序中的保持，係指：將鋼素材維持

在第 1 指定溫度，係包含：因為受到設備的制約而導致的：相對於作為目標的第 1 指定溫度，鋼素材的溫度往高溫或往低溫發生變動的情形。如果已指定了既定的溫度範圍作為第 1 指定溫度的話，係指：將鋼素材維持在該既定的溫度範圍內而言。例如：第 1 指定溫度若為 900~1240℃ 的話，只要將鋼素材維持在 900~1240℃ 的範圍內即可，但是亦可維持在 900~1240℃ 的範圍內的特定溫度（例如：1200℃）。

此外，第 2 均熱工序中的保持，係指：將輥軋素材維持在第 2 指定溫度，係包含：因為受到設備的制約而導致的：相對於作為目標的第 2 指定溫度，鋼素材的溫度往高溫或往低溫發生變動的情形。如果已指定了既定的溫度範圍作為第 2 指定溫度的話，係指：將輥軋素材維持在該既定的溫度範圍內而言。例如：第 2 指定溫度若為 900~1240℃ 的話，只要將輥軋素材維持 900~1240℃ 的範圍內即可，但是亦可維持在 900~1240℃ 的範圍內的特定溫度（例如：1000℃）。

並且對於在第 1 均熱工序中在第 1 指定溫度下保持了第 1 指定時間後的鋼素材，依據一般常用的方法，進行分塊輥軋或分塊鍛造。此外，對於在第 2 均熱工序中在第 2 指定溫度下保持了第 2 指定時間後的輥軋素材，依據一般常用的方法，進行熱軋，然後進行球狀化退火之後，實施熱間加工或冷間加工。如此一來，可製得本發明的軸承用鋼材。此外，實施分塊輥軋或分塊鍛造後的輥軋素材，係

可先予以冷卻之後才進行加熱，亦可不予以冷卻就進行加熱。

### 《 軸承零件 》

將根據這種工序而製得的本發明的軸承用鋼材，進行切削加工成既定的零件形狀，再實施淬硬暨回火處理，即可獲得本發明的另一種態樣的軸承零件。在進行製造鋼材的階段的形狀，係包含：可適用在上述製造方式的線狀以及棒狀。在進行製造鋼材的階段中的中間品的尺寸大小，則是配合最終製品的大小來做適宜的選定。

前述軸承零件，係可舉出例如：滾柱、滾針、滾珠等的滾動體；以及外環圈、內環圈等的軌道輪。

如上所述，本發明的一種態樣的滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材，以質量%計，係含有 C：0.8%以上 1.1%以下、Si：0.15%以上 0.8%以下、Mn：0.1%以上 1.0%以下、Cr：1.3%以上 1.8%以下、P：高於 0%且 0.05%以下、S：高於 0%且 0.015%以下、Al：0.0002%以上 0.005%以下、Ti：0.0005%以上 0.010%以下、N：0.0030%以上 0.010%以下、O：高於 0%且 0.0030%以下，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質之軸承用鋼材，

前述鋼材中所存在的短徑為 1 $\mu$ m 以上的氧化物系夾雜物的組成分，以質量%計，係含有 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>：5%以上 50%以下、SiO<sub>2</sub>：10%以上 70%以下、TiO<sub>2</sub>：3%以上 50%以下，其餘部分是不可避免的氧化物，前述 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、前述

SiO<sub>2</sub> 以及前述 TiO<sub>2</sub> 的合計質量百分率是 60% 以上，前述 TiO<sub>2</sub> 的質量對於前述 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 以及前述 SiO<sub>2</sub> 的合計質量的比值是 0.10 以上 1.50 以下，該氧化物系夾雜物之中，在與前述鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數係佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率之 30% 以上。

根據這種構成，鋼成分以及鋼中所含有的氧化物系夾雜物的組成分是受到適切的控制，因此，可顯示出優異的滾動疲勞特性。尤其是存在於母相與氧化物系夾雜物的界面上的 TiN 可使兩者緊密貼合，因此可抑制因滾動疲勞所產生的提早剝離現象。

從而，本發明的軸承用鋼材，可很適合作為：外環圈、內環圈等之被反覆地加諸推力方向的荷重之軸承零件的素材。此外，存在於母相與氧化物系夾雜物的界面上的 TiN 的緊密貼合力，並沒有因為推力方向或徑向而有所差異，因此，本發明的軸承用鋼材也可很適合作為：滾柱、滾針、滾珠等之主要被反覆地加諸徑向荷重的軸承零件的素材。

本發明的軸承用鋼材，在前述氧化物系夾雜物中所含有的前述不可避免的氧化物之 CaO 的含量，以質量%計，是高於 0% 且低於 10% 為宜。根據這種構成，可使得 TiN 更為生成在氧化物系夾雜物與母相的界面上，可獲得優異的滾動疲勞特性。

本發明的另一種態樣之滾動疲勞特性優異的軸承用鋼

材的製造方法，具有：進行 Si 脫氧處理而獲得由前述鋼成分所構成的鋼素材之熔製工序、第 1 均熱工序、分塊工序、第 2 均熱工序、熱軋工序；前述第 2 均熱工序時的保持溫度係 1240°C 以下；在前述第 1 均熱工序以及前述第 2 均熱工序中，於 900~1240°C 的溫度下的保持時間合計為 60 分鐘以上。

更具體而言，這種滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材的製造方法，是具有：對於熔鋼進行 Si 脫氧處理，再藉由進行鑄造而獲得由前述鋼成分所構成的鋼素材之熔製工序；將前述鋼素材以第 1 指定溫度進行保持的第 1 均熱工序；對於在前述第 1 均熱工序中以前述第 1 指定溫度進行保持後的前述鋼素材，藉由進行分塊軋軋或分塊鍛造而獲得軋軋素材之分塊工序；將前述軋軋素材以第 2 指定溫度進行保持的第 2 均熱工序；對於在前述第 2 均熱工序中以前述第 2 指定溫度進行保持後的前述軋軋素材進行熱軋的熱軋工序，前述第 2 指定溫度是 1240°C 以下，將前述鋼素材以及前述軋軋素材的至少其中一方在前述第 1 均熱工序與前述第 2 均熱工序中，在 900~1240°C 的溫度下進行保持的時間，合計是 60 分鐘以上。

根據這種構成，可很適合製造出本發明的軸承用鋼材。

本發明的軸承用鋼材的製造方法，例如：（1）亦可將前述第 1 均熱工序中的保持溫度（第 1 指定溫度）設定在 900~1240°C，將前述第 2 均熱工序中的保持溫度（第 2

指定溫度) 設定為低於 900°C，並且將前述第 1 均熱工序中的保持時間設定在 60 分鐘以上；(2) 亦可將前述第 1 均熱工序中的保持溫度(第 1 指定溫度) 設定為高於 1240°C，將前述第 2 均熱工序中的保持溫度(第 2 指定溫度) 設定在 900~1240°C，並且將前述第 2 均熱工序中的保持時間設定在 60 分鐘以上；(3) 亦可將前述第 1 均熱工序中的保持溫度(第 1 指定溫度) 以及前述第 2 均熱工序中的保持溫度(第 2 指定溫度) 之兩者都設定在 900~1240°C，將前述第 1 均熱工序中的保持時間與前述第 2 均熱工序中的保持時間的合計，設定在 60 分鐘以上。

本發明之另外一種態樣是由前述軸承用鋼材所構成的軸承零件。根據這種構成，因為軸承零件的素材是使用本發明的軸承用鋼材，因此，無論被施加荷重的方向是哪一種方向，都可以穩定的改善軸承零件的滾動疲勞特性。

根據本發明，係可提供：滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材、及其製造方法以及滾動疲勞特性優異的軸承零件。

#### [實施例]

以下將舉出實施例更具體的說明本發明。此外，本發明並不受到下述的實施例的限制，亦可在符合前述和後述的發明要旨的範圍內加以變更來實施，這些變更也都被包含在本發明的技術範圍內。

#### < 1 > 製作鑄片

使用 1 次裝料的容量為 170kg 的小型熔解爐，熔製出下列的表 1 所示的鋼成分的鋼（其餘部分是鐵以及不可避免的雜質）。從這種熔鋼製作出表 1 所示的鋼材 No.1~47 的鑄片。各鑄片的尺寸，上部的直徑是 245mm，下部的直徑是 210mm，高度（長度）是 480mm。

在進行前述熔製時，係使用 MgO 系耐火物的澆桶。針對於鋼材 No.1~46 的鋼，熔製時係進行 Si 脫氧處理，使用 C、Si、Mn 以及 Cr 來調整熔鋼中的溶存含氧量之後，投入含 Ti 源來控制 Ti 含量。前述含 Ti 源，係採用 Fe-Ti 合金。N 含量係藉由控制氣相氛圍中的氮氣分壓，並且在進行添加含 Ti 源之前，先添加氮化錳來調整 N 含量。另一方面，針對於鋼材 No.47 的鋼，則是在進行熔製時，利用添加 Al 來進行脫氧處理。

## < 2 > 製作熱軋材

對於鋼材 No.1~47 的鑄片，實施分塊輥軋以及熱軋而製得直徑為 65mm 的熱軋材（圓棒鋼）。前述鑄片，在進行分塊輥軋之前，先進行加熱到下列的表 2 所示的分塊前加熱爐保持溫度（前述第 1 均熱工序中的保持溫度，亦即，前述第 1 指定溫度），在該溫度下進行保持如該表 2 所示的分塊前加熱爐保持時間（前述第 1 均熱工序中的保持時間，亦即，前述第 1 指定時間）之後，在 900~1200℃ 的溫度下，實施分塊輥軋，然後冷卻至室溫為止。然後，被實施了分塊輥軋後的鑄片，係先加熱到達表 2 所示

的熱軋前加熱爐保持溫度（前述第 2 均熱工序中的保持溫度，亦即，前述第 2 指定溫度），在該溫度下進行保持如該表 2 所示的熱軋前加熱爐保持時間（前述第 2 均熱工序中的保持時間，亦即，前述第 2 指定時間）之後，在 830~1100℃ 的溫度下，實施熱軋。

< 3 > 氧化物系夾雜物的組成分測定用試驗片的製作與組成分的測定

鋼材 No.1~47 的熱軋材，是在 760~800℃ 的溫度下進行加熱 2~8 小時之後，再以 10~15℃/時的平均冷卻速度進行冷卻至（ $Ar_1$  變態點 -60℃）的溫度之後，在大氣中放冷（球狀化退火）。如此一來，可獲得使球狀化雪明鐵呈分散狀態的球狀化退火材。從這個球狀化退火材裁切出直徑（D）為 60mm，高度（熱軋材的軋軋方向長度）為 30mm 之圓柱狀的試驗片。將裁切出來的試驗片，以 840℃ 的溫度進行加熱 30 分鐘之後，進行油冷淬硬，接下來，以 160℃ 的溫度進行 120 分鐘的回火，而製作出氧化物系夾雜物的組成分測定用試驗片。

從以這種方式製作的鋼材 No.1~47 的組成分測定用試驗片裁切出一個微型試料，是從該試驗片的直徑 D（60mm）的 1/4 的位置處進行裁切，該微型試料在包含軋軋方向的斷面上的尺寸為：沿著軋軋方向上的長度是 20mm，並且在與軋軋方向垂直的方向上的長度為 20mm。並且對於微型試料的前述斷面進行研磨。

針對於鋼材 No.1~47 的微型試料的研磨面，係使用日本電子株式會社製造的電子線微探針 X 射線分析裝置（Electron Probe X-ray Micro Analyzer：EPMA，商品名「JXA-8500F」）來進行觀察，並且針對於短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物的組成分進行定量分析。茲詳細說明如下。將微型試料的研磨面的觀察面積設為  $100\text{mm}^2$ ，利用特性 X 射線的波長分散分光，針對於夾雜物的中央部的組成分進行定量分析。分析對象元素係設定為：Ca、Al、Si、Ti、Ce、La、Mg、Mn、Zr、Na、K、Cr、O（氧），先採用已知的物質，預先求出各元素的 X 射線強度與元素濃度的關係的檢量線，然後，再從由作為分析對象的前述夾雜物所獲得的 X 射線強度與前述檢量線，將各夾雜物所含的元素量加以定量，將其結果進行算術平均，即可求出夾雜物的組成分。以這種方式進行定量分析的夾雜物之中，將氧（O）含量為 5 質量% 以上的夾雜物視為氧化物系夾雜物。此時，如果從單一個氧化物系夾雜物觀測到複數種元素的話，就從可顯示出這些元素的存在之 X 射線強度的比值，換算成各元素之單獨氧化物之後，計算出氧化物的組成分。在本發明中，係將作為前述單獨氧化物進行質量換算後的平均值當作氧化物的組成分。並將前述定量分析的結果顯示於表 3。表 3 中所示的組成分，係表示短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物的組成分（其餘部分是不可避免的氧化物）。相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  的合計質量百分率（ $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{SiO}_2+\text{TiO}_2$ ）、以及  $\text{Al}_2\text{O}_3$

以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量之  $\text{TiO}_2$  的質量的比值 ( $\text{TiO}_2 / (\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiO}_2)$ ) 也顯示於表 3。

#### < 4 > 氧化物系夾雜物的縱橫比的測定

使用鋼材 No.1~47 的氧化物系夾雜物的組成分測定用試驗片，選出 100 個短徑為  $1\mu\text{m}$  以上之任意的氧化物系夾雜物（分析對象元素為 Ca、Al、Si、Ti、Ce、La、Mg、Mn、Zr、Na、K、Cr、O（氧）），測定各個氧化物系夾雜物的長徑與短徑，計算出各個氧化物系夾雜物的縱橫比（=長徑 / 短徑）。將其結果進行算術平均，而獲得氧化物系夾雜物之平均縱橫比。將所獲得的縱橫比顯示於表 3。

#### < 5 > TiN 的個數比率的測定

首先，針對於鋼材 No.1~47 的氧化物系夾雜物的組成分測定用試驗片的前述研磨面上之  $100\text{mm}^2$  的觀察面積，使用電子線微探針 X 射線分析裝置，選出 5 個短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物（分析對象元素為 Ca、Al、Si、Ti、Ce、La、Mg、Mn、Zr、Na、K、Cr、O（氧），含氧量為 5 質量% 以上的夾雜物）。關於 5 個氧化物系夾雜物的選定基準，是從存在於  $100\text{mm}^2$  的觀察面積內的氧化物系夾雜物當中，由尺寸最大者開始依序選出 5 個。選定氧化物系夾雜物的尺寸最大者的理由，是因為：氧化物系夾雜物的尺寸愈大的話，對於滾動疲勞特性的不良影響程度

愈大之緣故。此外，氧化物系夾雜物的尺寸，係根據顯現於前述觀察面內的氧化物系夾雜物的「長徑×短徑」的數值來比較其大小。

接下來，成為選定對象的氧化物系夾雜物，再藉由 FIB 法（Focused Ion Beam，集中離子束加工法），使得氧化物系夾雜物被削薄成可利用穿透式電子顯微鏡（TEM）進行觀察的厚度。將氧化物系夾雜物薄片化時所採用的裝置，是日立製作所製造的集中離子束加工觀察裝置 FB2000A，加速電壓為 30kV，採用 Ga 金屬作為離子發射源。然後，將薄片化後的氧化物系夾雜物利用穿透式電子顯微鏡（TEM）進行觀察。TEM 觀察所採用的裝置是日本電子株式會社製造的電場釋放型穿透式電子顯微鏡 JEM-2010F，並且利用 Noran 公司製造的 EDX（Energy dispersive X-ray spectrometry）分析裝置 Vantage，來對於氧化物系夾雜物與母相的界面，實施了 EDX 分析。分析對象元素是設定為：Ca、Al、Si、Ti、Ce、La、Mg、Mn、Zr、Na、K、Cr，並且選定 Ti 濃度為 30% 以上的相，對於該相進行利用電子線繞射的辨識解析，並且將具有立方晶的結晶構造者判斷為 TiN。此時，如果作為對象的氧化物系夾雜物與母相的界面上有 TiN 存在的話（換言之，藉由用來判斷 TiN 的前述方法，確認出係有 TiN 存在的話），就判斷為：係有 TiN 存在於氧化物系夾雜物與母相的界面上的氧化物系夾雜物，因此可得知：存在於所測定的 5 個氧化物系夾雜物之中，有前述 TiN 存在的氧化物

系夾雜物的個數的比率。並且將所得知的比率（亦即，TiN 的個數比率）顯示於表 3。

#### < 6 > 推力滾動疲勞試驗片的製作與滾動疲勞特性的評比

自前述 < 3 > 所製得的球狀化退火材裁切出直徑為 60mm，厚度為 6mm 的試驗片。對於裁切出來的試驗片，以 840℃ 的溫度進行 30 分鐘的加熱之後，進行油冷淬硬，接下來，以 160℃ 的溫度進行 120 分鐘的回火處理。對於回火處理後的試驗片，實施鏡面研磨，製作成表面粗糙度 Ra 為 0.04μm 以下的推力滾動疲勞試驗片。針對於以這種方式製得的鋼材 No.1~47 的推力滾動疲勞試驗片，使用推力疲勞試驗機（推力型滾動疲勞試驗機「FJ-5T」、富士試驗機製作所製造），以負荷速度為 1200rpm，鋼球數目為 3 個，面壓為 5.24GPa，中止次數為 2 億次的條件，來實施了推力滾動疲勞試驗。

作為檢視滾動疲勞壽命的尺度，通常都是採用：疲勞壽命  $L_{10}$ （累積破損概率為 10% 之到達疲勞破損之前的應力反覆次數，以下有時候也稱為「 $L_{10}$  壽命」）。詳細地說， $L_{10}$  係指：將試驗結果標示在威布爾概率紙而得到的累積破損概率為 10% 之到達疲勞破損之前的反覆次數之意（請參考「軸承」乙書，岩波全書店發行，曾田範宗著）。針對於鋼材 No.1~47 的各鋼材，係使用 16 個試料來進行前述推力滾動疲勞試驗而決定  $L_{10}$  壽命。接下來，求出：鋼材 No.1~46 的各鋼材的  $L_{10}$  壽命相對於在熔製時

添加 Al 來進行脫氧處理的傳統鋼的鋼材 No.47 的  $L_{10}$  壽命 ( $1.2 \times 10^7$  次) 之壽命比，並且根據下列的基準來進行評比。

不可 (滾動疲勞壽命不佳) :  $L_{10}$  壽命是低於  $5.4 \times 10^7$  次 (壽命比是低於 4.5 倍)

可 (滾動疲勞壽命優異) :  $L_{10}$  壽命是  $5.4 \times 10^7$  次以上且低於  $6.0 \times 10^7$  次 (壽命比是 4.5 倍以上且低於 5.0 倍)

良 (滾動疲勞壽命特優) :  $L_{10}$  壽命是  $6.0 \times 10^7$  次以上且低於  $6.5 \times 10^7$  次 (壽命比是 5.0 倍以上且低於 5.4 倍)

優 (滾動疲勞壽命特特優) :  $L_{10}$  壽命是  $6.5 \times 10^7$  次以上 (壽命比是 5.4 倍以上)

在上述基準之中，「不可」是表示不合格，「可」、「良」以及「優」是表示合格。

此外，前述合格基準中的最低水準的「可」的壽命比 (4.5 倍以上)，是超過在專利文獻 4 的實施例所能夠獲得的最高壽命比之表 2 的試驗 No.11、試驗 No.35 (壽命比是 3.8 倍) 的壽命比，在本實施例中的合格基準，係設成較之專利文獻 4 更高的合格基準。

將鋼材 No.1~47 的  $L_{10}$  壽命、壽命比以及是否合格，顯示於表 4。表 4 中的「E+07」係表示：「 $\times 10^7$ 」之意。

鋼材 No.1~26，是符合本發明所規定的要件 (a) ~ (c) 之例子，全部都顯示出優異的滾動疲勞特性。鋼材 No.1~26，氧化物系夾雜物的縱橫比也受到適切的控制。

此外，在本實施例中，雖然是測定了推力方向上的滾

動疲勞特性，但是因為本實施例中的氧化物系夾雜物的縱橫比很小，因此，可以推定其徑向的滾動疲勞壽命也很良好。

另一方面，鋼材 No.27~47，是不符合本發明所規定的要件 (a) ~ (c) 中的至少其中一項要件之例子，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

具體而言，鋼材 No.27，是鋼中的 C 含量太多之例子。鋼材 No.28，是鋼中的 Mn 含量太多之例子。鋼材 No.29，是鋼中的 Cr 含量太多之例子。鋼材 No.30，是鋼中的 Cr 含量太少之例子。鋼材 No.31，是鋼中的 P 含量太多之例子。鋼材 No.32，是鋼中的 S 含量太多之例子。鋼材 No.37，是鋼中的 N 含量太多之例子。鋼材 No.39，是鋼中的 O 含量太多之例子。這些的  $L_{10}$  壽命以及壽命比都是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.33，是鋼中的 Al 含量太多之例子。並且鋼材 No.33，是短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量太多，並且在該氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值太小，TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.33 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比都是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.34，是鋼中的 Al 含量太少之例子。並且鋼材 No.34，是短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中的

$\text{Al}_2\text{O}_3$  含量太少，並且在該氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值太大， $\text{TiN}$  的個數比率太小之例子。鋼材 No.34 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比都是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.35，是鋼中的 Ti 含量太多之例子。並且鋼材 No.35，是短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中的  $\text{TiO}_2$  含量太多並且  $\text{SiO}_2$  含量太少，在該氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值太大， $\text{TiN}$  的個數比率太小之例子。鋼材 No.35 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比都是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.36，是鋼中的 Al 含量以及 Ti 含量太少之例子。並且鋼材 No.36，是短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中的  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量以及  $\text{TiO}_2$  含量太少並且  $\text{SiO}_2$  含量太多，在氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量的比值太小，在氧化物系夾雜物與母相的界面上並無  $\text{TiN}$  的存在（亦即， $\text{TiN}$  的個數比率太小）之例子。鋼材 No.36 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比都是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.38，是鋼中的 N 含量太少並且  $\text{TiN}$  的個數比率太小之例子。鋼材 No.38 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.40，是  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  的合計質量佔

短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物的總質量的比率太少並且 TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.40 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.41，是在短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量之比值太大並且 TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.41 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.42，是在短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中， $\text{TiO}_2$  的質量相對於  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及  $\text{SiO}_2$  的合計質量之比值太小並且 TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.42 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.43，是分塊軋軋前的加熱爐保持溫度以及熱軋前的加熱爐保持溫度太高，TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.43 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.44、46，是分塊軋軋前的加熱爐保持溫度太高，並且熱軋前的加熱爐保持時間太短，TiN 的個數比率太小之例子。鋼材 No.44、46 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.45，是分塊軋軋前的加熱爐保持溫度太高，並且熱軋前的加熱爐保持溫度太低，TiN 的個數比率太小

之例子。鋼材 No.45 的  $L_{10}$  壽命以及壽命比是低於基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

鋼材 No.47，是在熔製時利用添加 Al 來做脫氧處理之例子。在短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物中，並無  $\text{SiO}_2$  以及  $\text{TiO}_2$  的存在。鋼材 No.47 是當作  $L_{10}$  壽命以及壽命比的基準值，因此，並未顯現出所期望的滾動疲勞特性。

【表1】

| 鋼材No. | 鋼成分 (質量%) |      |      |     |       |       |        |        |        |        |
|-------|-----------|------|------|-----|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
|       | C         | Si   | Mn   | Cr  | P     | S     | Al     | Ti     | N      | O      |
| 1     | 0.97      | 0.27 | 0.40 | 1.5 | 0.015 | 0.003 | 0.0023 | 0.0012 | 0.0063 | 0.0016 |
| 2     | 0.92      | 0.26 | 0.37 | 1.4 | 0.012 | 0.003 | 0.0018 | 0.0024 | 0.0067 | 0.0011 |
| 3     | 0.93      | 0.30 | 0.38 | 1.5 | 0.014 | 0.003 | 0.0010 | 0.0016 | 0.0065 | 0.0011 |
| 4     | 0.99      | 0.27 | 0.41 | 1.5 | 0.011 | 0.004 | 0.0004 | 0.0022 | 0.0056 | 0.0017 |
| 5     | 0.93      | 0.28 | 0.44 | 1.5 | 0.016 | 0.004 | 0.0002 | 0.0014 | 0.0062 | 0.0018 |
| 6     | 0.93      | 0.31 | 0.42 | 1.5 | 0.013 | 0.004 | 0.0005 | 0.0038 | 0.0049 | 0.0013 |
| 7     | 0.98      | 0.31 | 0.40 | 1.4 | 0.011 | 0.003 | 0.0010 | 0.0022 | 0.0067 | 0.0016 |
| 8     | 0.94      | 0.30 | 0.42 | 1.5 | 0.014 | 0.004 | 0.0011 | 0.0010 | 0.0053 | 0.0019 |
| 9     | 0.92      | 0.26 | 0.37 | 1.5 | 0.013 | 0.004 | 0.0005 | 0.0018 | 0.0068 | 0.0011 |
| 10    | 0.94      | 0.27 | 0.36 | 1.4 | 0.010 | 0.003 | 0.0009 | 0.0019 | 0.0057 | 0.0013 |
| 11    | 0.99      | 0.29 | 0.36 | 1.4 | 0.015 | 0.004 | 0.0011 | 0.0028 | 0.0068 | 0.0013 |
| 12    | 0.98      | 0.26 | 0.39 | 1.5 | 0.011 | 0.004 | 0.0010 | 0.0012 | 0.0067 | 0.0012 |
| 13    | 0.93      | 0.25 | 0.41 | 1.4 | 0.016 | 0.004 | 0.0013 | 0.0018 | 0.0062 | 0.0018 |
| 14    | 0.92      | 0.25 | 0.41 | 1.4 | 0.014 | 0.004 | 0.0008 | 0.0016 | 0.0065 | 0.0019 |
| 15    | 0.96      | 0.26 | 0.45 | 1.5 | 0.017 | 0.003 | 0.0008 | 0.0027 | 0.0061 | 0.0015 |
| 16    | 0.96      | 0.27 | 0.41 | 1.4 | 0.016 | 0.004 | 0.0007 | 0.0021 | 0.0063 | 0.0013 |
| 17    | 0.95      | 0.28 | 0.40 | 1.4 | 0.013 | 0.003 | 0.0010 | 0.0019 | 0.0062 | 0.0012 |
| 18    | 0.93      | 0.29 | 0.43 | 1.4 | 0.015 | 0.003 | 0.0005 | 0.0020 | 0.0062 | 0.0011 |
| 19    | 0.98      | 0.26 | 0.45 | 1.4 | 0.014 | 0.004 | 0.0011 | 0.0013 | 0.0066 | 0.0019 |
| 20    | 0.93      | 0.25 | 0.42 | 1.5 | 0.016 | 0.004 | 0.0008 | 0.0022 | 0.0044 | 0.0014 |
| 21    | 0.98      | 0.28 | 0.37 | 1.4 | 0.016 | 0.003 | 0.0006 | 0.0025 | 0.0052 | 0.0016 |
| 22    | 0.97      | 0.29 | 0.45 | 1.5 | 0.014 | 0.003 | 0.0006 | 0.0018 | 0.0060 | 0.0013 |
| 23    | 0.92      | 0.25 | 0.43 | 1.4 | 0.015 | 0.003 | 0.0006 | 0.0014 | 0.0044 | 0.0016 |
| 24    | 0.94      | 0.31 | 0.44 | 1.5 | 0.010 | 0.003 | 0.0010 | 0.0016 | 0.0056 | 0.0012 |
| 25    | 0.93      | 0.25 | 0.41 | 1.4 | 0.012 | 0.004 | 0.0004 | 0.0013 | 0.0064 | 0.0015 |
| 26    | 0.97      | 0.27 | 0.39 | 1.4 | 0.014 | 0.005 | 0.0005 | 0.0012 | 0.0065 | 0.0013 |
| 27    | 1.13      | 0.31 | 0.43 | 1.5 | 0.013 | 0.003 | 0.0006 | 0.0021 | 0.0067 | 0.0015 |
| 28    | 0.95      | 0.30 | 1.06 | 1.5 | 0.017 | 0.004 | 0.0008 | 0.0017 | 0.0059 | 0.0010 |
| 29    | 0.98      | 0.25 | 0.45 | 1.9 | 0.017 | 0.003 | 0.0010 | 0.0017 | 0.0050 | 0.0011 |
| 30    | 0.96      | 0.29 | 0.43 | 1.2 | 0.014 | 0.003 | 0.0007 | 0.0017 | 0.0058 | 0.0010 |
| 31    | 0.98      | 0.27 | 0.36 | 1.5 | 0.053 | 0.004 | 0.0009 | 0.0014 | 0.0060 | 0.0013 |
| 32    | 0.98      | 0.26 | 0.40 | 1.4 | 0.012 | 0.016 | 0.0007 | 0.0016 | 0.0061 | 0.0018 |
| 33    | 0.94      | 0.26 | 0.42 | 1.4 | 0.010 | 0.004 | 0.0056 | 0.0015 | 0.0051 | 0.0015 |
| 34    | 0.99      | 0.27 | 0.40 | 1.4 | 0.017 | 0.004 | 0.0001 | 0.0026 | 0.0044 | 0.0011 |
| 35    | 0.96      | 0.31 | 0.39 | 1.5 | 0.015 | 0.004 | 0.0009 | 0.0113 | 0.0058 | 0.0019 |
| 36    | 0.97      | 0.30 | 0.41 | 1.5 | 0.011 | 0.004 | 0.0001 | 0.0003 | 0.0067 | 0.0015 |
| 37    | 0.97      | 0.31 | 0.43 | 1.5 | 0.014 | 0.003 | 0.0009 | 0.0026 | 0.0108 | 0.0018 |
| 38    | 0.94      | 0.31 | 0.42 | 1.4 | 0.012 | 0.004 | 0.0010 | 0.0016 | 0.0025 | 0.0013 |
| 39    | 0.96      | 0.25 | 0.45 | 1.5 | 0.017 | 0.003 | 0.0005 | 0.0024 | 0.0041 | 0.0032 |
| 40    | 0.97      | 0.27 | 0.55 | 1.4 | 0.014 | 0.004 | 0.0004 | 0.0006 | 0.0050 | 0.0019 |
| 41    | 0.97      | 0.25 | 0.36 | 1.4 | 0.015 | 0.004 | 0.0006 | 0.0075 | 0.0058 | 0.0015 |
| 42    | 0.98      | 0.27 | 0.38 | 1.4 | 0.014 | 0.004 | 0.0016 | 0.0008 | 0.0058 | 0.0017 |
| 43    | 0.94      | 0.26 | 0.42 | 1.4 | 0.010 | 0.003 | 0.0011 | 0.0025 | 0.0067 | 0.0011 |
| 44    | 0.98      | 0.28 | 0.39 | 1.4 | 0.015 | 0.003 | 0.0010 | 0.0023 | 0.0064 | 0.0010 |
| 45    | 0.94      | 0.26 | 0.39 | 1.4 | 0.010 | 0.004 | 0.0008 | 0.0012 | 0.0049 | 0.0012 |
| 46    | 0.96      | 0.27 | 0.38 | 1.4 | 0.013 | 0.004 | 0.0013 | 0.0012 | 0.0060 | 0.0014 |
| 47    | 0.97      | 0.20 | 0.47 | 1.5 | 0.012 | 0.005 | 0.0215 | 0.0008 | 0.0065 | 0.0007 |

【表2】

| 鋼材No. | 分塊前<br>加熱爐保持溫度<br>(°C) | 分塊前<br>加熱爐保持時間<br>(分鐘) | 熱軋前<br>加熱爐保持溫度<br>(°C) | 熱軋前<br>加熱爐保持時間<br>(分鐘) |
|-------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 2     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 3     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 4     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 5     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 60                     |
| 6     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 7     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 8     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 60                     |
| 9     | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 10    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 11    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 12    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 13    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 60                     |
| 14    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 15    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 16    | 1200                   | 60                     | 890                    | 120                    |
| 17    | 1200                   | 45                     | 1000                   | 45                     |
| 18    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 19    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 20    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 21    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 22    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 23    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 24    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 60                     |
| 25    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 26    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 27    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 28    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 29    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 60                     |
| 30    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 31    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 32    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |
| 33    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 34    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 35    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 36    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 37    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 38    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 39    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 40    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 41    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 90                     |
| 42    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 120                    |
| 43    | 1250                   | 60                     | 1250                   | 90                     |
| 44    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 50                     |
| 45    | 1250                   | 60                     | 890                    | 120                    |
| 46    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 45                     |
| 47    | 1250                   | 60                     | 1000                   | 180                    |

【表3】

| 鋼材No. | 組成分 (質量%)                      |                  |                  |      | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> +TiO <sub>2</sub><br>(質量%) | TiO <sub>2</sub> /(Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +SiO <sub>2</sub> )<br>(質量比) | TiN<br>個數比率 | 縱橫比 |
|-------|--------------------------------|------------------|------------------|------|---|--|-------------|-----|
|       | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | TiO <sub>2</sub> | CaO  |   |  |             |     |
| 1     | 44.2                           | 31.5             | 9.4              | 4.8  | 85.1  | 0.12   | 40          | 1.2 |
| 2     | 36.4                           | 25.7             | 12.4             | 4.0  | 74.5  | 0.20   | 40          | 1.4 |
| 3     | 14.1                           | 40.9             | 25.6             | 5.3  | 80.6  | 0.47   | 100         | 1.6 |
| 4     | 10.1                           | 36.5             | 40.6             | 5.9  | 87.2  | 0.87   | 40          | 1.7 |
| 5     | 7.2                            | 41.1             | 34.5             | 6.7  | 82.8  | 0.71   | 40          | 1.6 |
| 6     | 14.5                           | 36.5             | 44.9             | 1.9  | 95.9  | 0.88   | 40          | 1.3 |
| 7     | 21.9                           | 41.5             | 27.7             | 5.3  | 91.1  | 0.44   | 80          | 1.5 |
| 8     | 26.3                           | 34.5             | 19.8             | 5.7  | 80.6  | 0.33   | 40          | 1.2 |
| 9     | 13.1                           | 41.6             | 37.1             | 4.9  | 91.8  | 0.68   | 100         | 1.5 |
| 10    | 29.1                           | 31.4             | 31.2             | 4.4  | 91.7  | 0.52   | 100         | 1.5 |
| 11    | 22.6                           | 33.4             | 31.9             | 4.8  | 87.9  | 0.57   | 100         | 1.3 |
| 12    | 29.6                           | 34.0             | 20.3             | 5.8  | 83.9  | 0.32   | 80          | 1.6 |
| 13    | 29.4                           | 31.3             | 21.3             | 5.4  | 82.0  | 0.35   | 60          | 1.4 |
| 14    | 23.7                           | 39.4             | 29.7             | 1.4  | 92.8  | 0.47   | 80          | 1.6 |
| 15    | 13.6                           | 37.9             | 40.8             | 4.0  | 92.3  | 0.79   | 100         | 1.1 |
| 16    | 24.2                           | 35.1             | 31.2             | 4.3  | 90.5  | 0.53   | 40          | 1.5 |
| 17    | 18.3                           | 32.8             | 33.4             | 5.3  | 84.5  | 0.65   | 60          | 1.6 |
| 18    | 13.8                           | 40.8             | 34.4             | 5.7  | 89.0  | 0.63   | 100         | 1.6 |
| 19    | 24.5                           | 33.0             | 19.6             | 6.0  | 77.1  | 0.34   | 60          | 1.2 |
| 20    | 23.8                           | 31.3             | 37.2             | 2.3  | 92.3  | 0.68   | 100         | 1.1 |
| 21    | 14.4                           | 40.0             | 39.4             | 2.7  | 93.8  | 0.72   | 100         | 1.1 |
| 22    | 13.1                           | 43.1             | 31.9             | 2.7  | 88.1  | 0.57   | 80          | 1.7 |
| 23    | 12.2                           | 44.3             | 31.1             | 4.4  | 87.6  | 0.55   | 80          | 1.4 |
| 24    | 28.2                           | 33.1             | 27.9             | 3.3  | 89.2  | 0.46   | 60          | 1.7 |
| 25    | 12.1                           | 33.5             | 31.1             | 11.1 | 76.7  | 0.68   | 40          | 1.3 |
| 26    | 14.5                           | 44.3             | 24.1             | 10.5 | 82.9  | 0.41   | 40          | 1.3 |
| 27    | 12.4                           | 30.3             | 37.9             | 6.0  | 80.6  | 0.89   | 80          | 1.1 |
| 28    | 21.1                           | 33.3             | 31.5             | 5.7  | 85.9  | 0.58   | 100         | 1.2 |
| 29    | 24.9                           | 33.1             | 27.9             | 5.5  | 85.9  | 0.48   | 60          | 1.4 |
| 30    | 15.0                           | 41.5             | 30.2             | 5.7  | 86.7  | 0.53   | 100         | 1.6 |
| 31    | 19.3                           | 32.3             | 24.9             | 5.8  | 76.5  | 0.48   | 80          | 1.2 |
| 32    | 13.1                           | 39.1             | 28.1             | 5.9  | 80.3  | 0.54   | 100         | 1.7 |
| 33    | 58.3                           | 20.8             | 7.2              | 0.7  | 86.3  | 0.09   | 20          | 1.8 |
| 34    | 4.3                            | 23.8             | 47.0             | 5.8  | 75.1  | 1.67   | 20          | 1.5 |
| 35    | 13.1                           | 8.3              | 61.0             | 0.5  | 82.4  | 2.85   | 20          | 1.6 |
| 36    | 3.7                            | 73.5             | 2.4              | 7.6  | 79.6  | 0.03   | 0           | 3.3 |
| 37    | 22.3                           | 32.5             | 32.7             | 4.7  | 87.5  | 0.60   | 80          | 1.4 |
| 38    | 24.5                           | 36.2             | 23.3             | 5.8  | 84.0  | 0.38   | 20          | 1.2 |
| 39    | 8.8                            | 40.6             | 38.9             | 5.5  | 88.3  | 0.79   | 100         | 1.1 |
| 40    | 6.5                            | 40.8             | 8.3              | 6.9  | 55.6  | 0.18   | 20          | 1.5 |
| 41    | 14.3                           | 15.5             | 48.1             | 0.9  | 77.9  | 1.61   | 20          | 1.5 |
| 42    | 45.2                           | 35.8             | 7.3              | 5.5  | 88.3  | 0.09   | 20          | 1.7 |
| 43    | 24.8                           | 41.1             | 25.6             | 3.3  | 91.5  | 0.39   | 20          | 1.4 |
| 44    | 27.3                           | 33.6             | 29.5             | 3.7  | 90.4  | 0.48   | 20          | 1.6 |
| 45    | 19.6                           | 30.5             | 22.2             | 6.1  | 72.3  | 0.44   | 20          | 1.1 |
| 46    | 28.3                           | 35.8             | 14.9             | 5.8  | 79.0  | 0.23   | 20          | 1.4 |
| 47    | 86.5                           | 0.0              | 0.0              | 0.0  | 86.5  | 0.00   | 20          | 1.3 |

【表4】

| 鋼材No. | 滾動疲勞特性             |     |      |
|-------|--------------------|-----|------|
|       | L <sub>10</sub> 壽命 | 壽命比 | 是否合格 |
| 1     | 5.6E+07            | 4.7 | 可    |
| 2     | 6.2E+07            | 5.2 | 良    |
| 3     | 6.6E+07            | 5.5 | 優    |
| 4     | 6.1E+07            | 5.1 | 良    |
| 5     | 5.4E+07            | 4.5 | 可    |
| 6     | 6.2E+07            | 5.2 | 良    |
| 7     | 6.6E+07            | 5.5 | 優    |
| 8     | 5.6E+07            | 4.7 | 可    |
| 9     | 6.3E+07            | 5.3 | 良    |
| 10    | 6.5E+07            | 5.4 | 優    |
| 11    | 6.7E+07            | 5.6 | 優    |
| 12    | 6.5E+07            | 5.4 | 優    |
| 13    | 5.8E+07            | 4.8 | 可    |
| 14    | 6.5E+07            | 5.4 | 優    |
| 15    | 6.6E+07            | 5.5 | 優    |
| 16    | 5.8E+07            | 4.8 | 可    |
| 17    | 6.3E+07            | 5.3 | 良    |
| 18    | 6.6E+07            | 5.5 | 優    |
| 19    | 6.4E+07            | 5.3 | 良    |
| 20    | 6.8E+07            | 5.7 | 優    |
| 21    | 6.6E+07            | 5.5 | 優    |
| 22    | 6.1E+07            | 5.1 | 良    |
| 23    | 6.0E+07            | 5.0 | 良    |
| 24    | 5.5E+07            | 4.6 | 可    |
| 25    | 5.7E+07            | 4.8 | 可    |
| 26    | 5.9E+07            | 4.9 | 可    |
| 27    | 3.1E+07            | 2.6 | 不可   |
| 28    | 3.2E+07            | 2.7 | 不可   |
| 29    | 3.5E+07            | 2.9 | 不可   |
| 30    | 3.1E+07            | 2.6 | 不可   |
| 31    | 1.1E+07            | 0.9 | 不可   |
| 32    | 1.7E+07            | 1.4 | 不可   |
| 33    | 4.5E+07            | 3.8 | 不可   |
| 34    | 5.1E+07            | 4.3 | 不可   |
| 35    | 5.1E+07            | 4.3 | 不可   |
| 36    | 4.9E+07            | 4.1 | 不可   |
| 37    | 5.2E+07            | 4.3 | 不可   |
| 38    | 5.2E+07            | 4.3 | 不可   |
| 39    | 4.9E+07            | 4.1 | 不可   |
| 40    | 5.0E+07            | 4.2 | 不可   |
| 41    | 4.7E+07            | 3.9 | 不可   |
| 42    | 5.2E+07            | 4.3 | 不可   |
| 43    | 5.0E+07            | 4.2 | 不可   |
| 44    | 4.8E+07            | 4.0 | 不可   |
| 45    | 5.1E+07            | 4.3 | 不可   |
| 46    | 4.9E+07            | 4.1 | 不可   |
| 47    | 1.2E+07            | 1.0 | 不可   |

本申請案的基礎申請案是 2016 年 3 月 7 日提出申請的日本國特許出願之特願 2016-043159 號，因此，其內容係被包含在本申請案。

為了表現本發明，係如上所述地透過實施方式，適切且充分地說明了本發明，但是，只要是本技術領域的人士的話，理應可很容易將上述的實施方式加以變更及／或改良。從而，本技術領域的人士所實施的變更形態或改良形態，若是未超越本案的申請專利範圍所記載的請求項的權利範圍的程度的話，該變更形態或該改良形態，也應該被解釋為被包含在該請求項的權利範圍內。

## 申請專利範圍

1. 一種滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材，其係由：以質量%計，含有 C：0.8%以上 1.1%以下、Si：0.15%以上 0.8%以下、Mn：0.1%以上 1.0%以下、Cr：1.3%以上 1.8%以下、P：高於 0%且 0.05%以下、S：高於 0%且 0.015%以下、Al：0.0002%以上 0.005%以下、Ti：0.0005%以上 0.010%以下、N：0.0030%以上 0.010%以下、O：高於 0%且 0.0030%以下，其餘部分是鐵以及不可避免的雜質之鋼成分所構成的軸承用鋼材，

存在於前述鋼材中之短徑為  $1\mu\text{m}$  以上的氧化物系夾雜物，以質量%計，含有  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ：5%以上 50%以下、 $\text{SiO}_2$ ：10%以上 70%以下、 $\text{TiO}_2$ ：3%以上 50%以下，其餘部分是不可避免的氧化物，前述  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、前述  $\text{SiO}_2$  以及前述  $\text{TiO}_2$  之合計質量百分率是 60%以上，前述  $\text{TiO}_2$  的質量相對於前述  $\text{Al}_2\text{O}_3$  以及前述  $\text{SiO}_2$  的合計質量之比值為 0.10 以上 1.50 以下，

該氧化物系夾雜物之中，在與前述鋼材的母相的界面上有 TiN 存在的複合夾雜物的個數，佔前述氧化物系夾雜物的總個數的百分率為 30%以上。

2. 如請求項 1 所述的滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材，其中，前述氧化物系夾雜物之前述不可避免的氧化物，以質量%計，係含有 CaO：高於 0%且低於 10%。

3. 一種軸承用鋼材的製造方法，其係用來製造如請求項 1 或 2 所述的滾動疲勞特性優異的軸承用鋼材的方

法，

具有：進行 Si 脫氧處理而獲得由前述鋼成分所構成的鋼素材之熔製工序、第 1 均熱工序、分塊工序、第 2 均熱工序、熱軋工序；

前述第 2 均熱工序時的保持溫度係 1240°C 以下；

在前述第 1 均熱工序以及前述第 2 均熱工序中，於 900~1240°C 的溫度下的保持時間合計為 60 分鐘以上。

4. 如請求項 3 所述的軸承用鋼材的製造方法，其中，

前述第 1 均熱工序時的保持溫度係 900~1240°C；

前述第 2 均熱工序時的保持溫度係低於 900°C；

前述第 1 均熱工序時的保持時間係 60 分鐘以上。

5. 如請求項 3 所述的軸承用鋼材的製造方法，其中，

前述第 1 均熱工序時的保持溫度係高於 1240°C；

前述第 2 均熱工序時的保持溫度係 900~1240°C；

前述第 2 均熱工序時的保持時間係 60 分鐘以上。

6. 如請求項 3 所述的軸承用鋼材的製造方法，其中，

前述第 1 均熱工序時的保持溫度以及前述第 2 均熱工序時的保持溫度係 900~1240°C；

前述第 1 均熱工序時的保持時間與前述第 2 均熱工序時的保持時間的合計，係 60 分鐘以上。

7. 一種軸承零件，其係由請求項 1 或 2 所述的軸承

用鋼材所製成。