

(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 102105604 A

(43) 申请公布日 2011. 06. 22

(21) 申请号 200980129227. 3

代理人 柳春琦

(22) 申请日 2009. 05. 26

(51) Int. Cl.

(30) 优先权数据

2008-138776 2008. 05. 27 JP

2008-138775 2008. 05. 27 JP

2008-138774 2008. 05. 27 JP

G21D 8/00 (2006. 01)

B21J 1/02 (2006. 01)

G21C 7/04 (2006. 01)

G21C 7/06 (2006. 01)

G21D 6/00 (2006. 01)

G21D 9/00 (2006. 01)

G21D 9/32 (2006. 01)

G21D 9/40 (2006. 01)

G21D 1/32 (2006. 01)

G22C 38/00 (2006. 01)

G22C 38/22 (2006. 01)

F16C 33/64 (2006. 01)

(85) PCT申请进入国家阶段日

2011. 01. 25

(86) PCT申请的申请数据

PCT/JP2009/059573 2009. 05. 26

(87) PCT申请的公布数据

W02009/145168 JA 2009. 12. 03

(71) 申请人 山阳特殊制钢株式会社

地址 日本兵库县

(72) 发明人 桥本和弥 藤松威史 常阴典正

平冈和彦

(74) 专利代理机构 中科专利商标代理有限责任

公司 11021

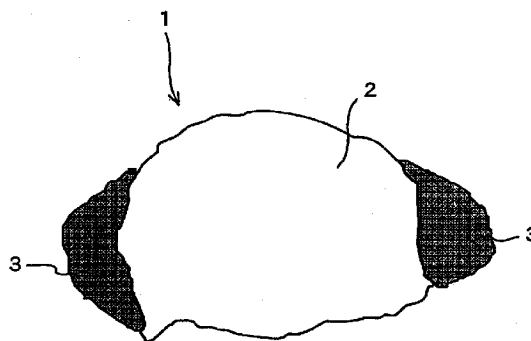
权利要求书 1 页 说明书 13 页 附图 1 页

(54) 发明名称

用于制造具有优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件的方法

(57) 摘要

提供了用于制造机械部件的方法,所述机械部件具有至少 58 HRC 的表面硬度,其中,与在制造钢时减少了非金属夹杂物和其尺寸降低的钢材相比,即使在制造钢时没有减少非金属夹杂物或其尺寸降低,也实现了优异的稳定滚动接触疲劳寿命。除对机械结构用钢进行用于提供钢形状的工序或用于提供后来的机械部件的形状的工序以外,此方法还包括以下工序:在前述工序中对所述钢进行加工;将钢加热至至少 780℃ 并且施加至少 80MPa 的静水压力,以使在钢中的非金属夹杂物和作为母相的钢在界面彼此紧密接触;然后对部分或全部的钢进行淬火和回火。



1. 一种用于制造机械部件的方法,所述方法通过对机械结构用钢的部分或全部进行淬火和回火处理而制造具有 58 HRC 以上的表面硬度和优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件,所述方法包括以下步骤:

对所述机械结构用钢进行用于提供钢材形状的步骤或用于提供机械部件形状的后续步骤,其中对所述钢进行塑性加工;

将已进行所述塑性加工的钢加热至 780°C 以上,以施加 80MPa 以上的静水压力,由此使得包含在钢中的非金属夹杂物和作为基体的钢在界面彼此紧密接触;然后

对所述钢的部分或全部进行淬火和回火处理。

2. 根据权利要求 1 所述的方法,其中所述加热在 800°C 以上进行,并且其中所述静水压力为 100MPa 以上。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中要进行所述塑性加工的所述机械结构用钢已经通过以下方式而脱氧:添加除含有通常使用的 Al 以外还含有 Si 的脱氧剂或不添加含 Al 的脱氧剂。

4. 根据权利要求 1 或 2 所述的方法,其中要进行所述塑性加工的所述机械结构用钢已经通过以下方式而脱氧:添加除含有通常使用的 Al 以外还含有 Ca 的脱氧剂。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法,其中进行多次所述塑性加工,其中在所述多次塑性加工中的最后一次塑性加工是热塑性加工。

6. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法,其中进行多次所述塑性加工,其中在所述多次塑性加工中的最后一次塑性加工是温塑性加工。

7. 根据权利要求 1 至 4 中任一项所述的方法,其中进行多次所述塑性加工,其中在所述多次塑性加工中的最后一次塑性加工是冷塑性加工。

用于制造具有优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件的方法

[0001] 对相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求 2008 年 5 月 27 日提交的日本专利申请 2008-138774、2008 年 5 月 27 日提交的日本专利申请 2008-138775、2008 年 5 月 27 日提交的日本专利申请 2008-138776 的优先权,所述日本专利申请通过全文引用结合在本文中。

技术领域

[0003] 本发明涉及用于制造需要滚动接触疲劳寿命的机械部件的方法,所述机械部件为例如轴承、齿轮、轮毂单元 (hub unit)、恒定变速传动装置、等速接头、活塞销等,对于所述机械部件非金属夹杂物或孔隙可能是破损的起点,并且所述部件包含被硬化为具有 58 HRC 的表面硬度以供使用的钢材。

背景技术

[0004] 近年来,归因于各种机器日益提高的性能,机械部件或装置的使用环境变得非常严格,所以高度需求对于寿命和可靠性的改善。应此需求,进行对钢的基体组分的优化或减少杂质元素作为在钢材方面的对策。

[0005] 在钢组分中的杂质元素中,氧、氮和硫分别形成非金属夹杂物如 Al_2O_3 、MnS 和 TiN,而成为钢部件中破损的起点,并因此已知是特别有害的。此外,还已知当非金属夹杂物的尺寸变得更大时钢部件的滚动接触疲劳寿命变得越短。由于此原因,提出了各种高清洁度钢,所述高清洁度钢具有减少的非金属夹杂物的量,即,具有高清洁度并且具有极少量的夹杂物尺寸为 $20\ \mu\text{m}$ 以上的大的氧化物夹杂物(例如,见日本专利公开出版物 2006-63402 和日本专利公开出版物 H6(1994)-192790)。

[0006] 即使使用具有这样高清洁度的钢材也无法在短的寿命中充分地防止破损。因此,进行了积极的开发以减少钢材中非金属夹杂物的量以及减小非金属夹杂物的尺寸。

[0007] 发明概述

[0008] 本发明人目前发现的是,即使在制造钢时不降低非金属夹杂物的量和尺寸,通过使钢材具有钢中的非金属夹杂物和基体相之间的孔穴闭合的状态,也可以提供具有 58 HRC 以上的表面硬度、防止剥落并且具有优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件。

[0009] 即,为了提高轴承和其他机械部件的滚动接触疲劳寿命,重要的是减少用于这些机械部件的钢材中的非金属夹杂物的量。还已知的是,由于轴承或其它机械部件的滚走表面下的大的夹杂物的存在可能导致机械部件中的剥落而导致破损,特别重要的是减小非金属夹杂物的尺寸以提高轴承和其它机械部件的使用寿命,所述非金属夹杂物可能是轴承或其它机械部件的滚走表面下的剥落的起点。虽然进行了大量发明以在大规模制造过程中减小夹杂物的尺寸,但是难以稳定地减小非金属夹杂物的尺寸。

[0010] 本发明人通过使用含有人造孔缺陷的材料观察龟裂而深入地研究了产生滚动接触疲劳中的破损即剥落的过程。已经发现的是,在源自非金属夹杂物的龟裂通过它们的生长导致发生剥落的过程中,该过程经历了通过非金属杂质周围的应力集中作用使龟裂位移

的龟裂初始阶段（在下文中，“模式 I-型初期龟裂”）。所述过程随后经历取决于剪切应力的龟裂扩展而导致破损，如传统已知的。这意味着，在本发明人发现的没有产生模式 I-型初期龟裂的情况下，随后的龟裂扩展和破损将不发生。此外，在非金属夹杂物和基体之间的界面处形成物理孔穴的前提下，产生模式 I-型初期龟裂。通过应力分析确定在没有形成物理孔穴的情况下，不产生模式 I-型初期龟裂（见，铁和钢 (Tetsu-to-Hagane), 94(2008), 第 13 页; Kazuhiko Hiraoka 于 2008 年所著的兵库县立大学 (University of Hyogo) 博士学位论文 (2008 年 1 月), 其通过引用结合在本文中)。

[0011] 此外，还发现了由于在制造钢材的过程或将钢材成形为部件的过程即热轧、冷轧、热锻、温锻、冷锻、轧锻、冷轧、冷镦和拉拔中所必须进行的一些塑性加工而形成物理孔穴。图 1 显示在将热轧钢材切开并进行离子铣削 (ion milling) 后，借助于扫描电子显微镜 (FE-SEM) 观察在夹杂物周围存在 / 不存在孔穴的图像的概念视图。图 1 中，附图标记 2 表示 Al_2O_3 ，而附图标记 3 表示孔穴。特别地，在机械结构用钢中，Al 通常作用于脱氧的氧化物形成元素。已经确定的是，归因于与钢的可变形性的不同以及形状， Al_2O_3 夹杂物倾向于形成孔穴，特别是在与基体的界面处。本发明在以上新发现的基础上完成。

[0012] 因此，本发明的一个目的是提供用于制造机械部件的方法，所述方法即使在制造钢时没有降低非金属夹杂物的量和尺寸的情况下，通过改善钢材中非金属夹杂物与基体之间的界面的状态，制造与其中在制造钢时降低了非金属夹杂物的量和尺寸的钢材相比，也可以稳定地表现优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件。

[0013] 根据本发明，提供了一种用于制造机械部件的方法，所述方法通过对机械结构用钢的部分或全部进行淬火和回火处理而制造具有 58 HRC 以上的表面硬度和优异的滚动接触疲劳寿命的机械部件，所述方法包括以下步骤：

[0014] 对所述机械结构用钢进行用于提供钢材形状的步骤或用于提供机械部件形状的后续步骤，其中对所述钢进行塑性加工；

[0015] 将已进行所述塑性加工的钢加热至 $780^{\circ}C$ 以上，以施加 80MPa 以上的静水压力，由此使得包含在钢中的非金属夹杂物和作为基体的钢在界面彼此紧密接触；然后

[0016] 对所述钢的部分或全部进行淬火和回火处理。

[0017] 根据本发明的第一优选实施方案，提供了以上制造方法，其中所述加热在 $800^{\circ}C$ 以上进行，并且其中所述静水压力为 100MPa 以上。

[0018] 根据本发明的第二优选实施方案，提供了以上制造方法，其中要进行所述塑性加工的所述机械结构用钢已经通过以下方式而脱氧：添加除含有通常使用的 Al 以外还含有 Si 的脱氧剂或不添加含 Al 的脱氧剂。

[0019] 根据本发明的第三实施方案，提供了以上制造方法，其中要进行所述塑性加工的所述机械结构用钢已经通过以下方式而脱氧：添加除含有通常使用的 Al 以外还含有 Ca 的脱氧剂。

[0020] 根据所述用于制造机械部件的方法，即使在制造钢时不减小非金属夹杂物的量和尺寸的情况下，当闭合在基体与通过一些塑性加工而包含在钢中的非金属夹杂物之间的界面处形成的物理孔穴时，也可以避免由于源自非金属夹杂物的滚动接触疲劳而发生的剥落，导致使用寿命的显著提高。

[0021] 附图简述

[0022] 图 1 是描述在将热轧钢切开并进行离子铣削后,借助于扫描电子显微镜 (FE-SEM) 观察的夹杂物周围的图像的概念视图。

[0023] 实施方案描述

[0024] 本发明的机械结构用钢广泛地包括机械部件所需的钢,所述机械部件为例如轴承、齿轮、轮毂单元、恒定变速传动装置、等速接头、活塞销等。具体地,作为这样的机械结构用钢,通常使用 JIS G 4805 中定义的高碳铬轴承钢, JIS G 4051 中定义的用于机械结构用途的碳钢, JIS G 4052 中定义的具有规定淬硬性带的结构钢 (H 钢), JIS G 4053 中定义的用于机械结构用途的低合金钢, JIS G 3441 中定义的用于机械用途的合金钢管, JIS G3445 中定义的用于机械结构用途的碳钢管, JIS G 3507-1 中定义的用于冷镦的碳钢 - 第一部分:线材, JIS G 3507-2 中定义的用于冷镦的碳钢 - 第二部分:线, JIS G 3509-1 中定义的用于冷镦的低合金钢 - 第一部分:线材, JIS G 3509-2 中定义的用于冷镦的低合金钢 - 第二部分:线,它们的相关外国标准钢,具有类似组分的钢,以及具有改良组分的钢。这些 JIS 标准的公开内容通过引用结合在本文中。本发明中的机械结构用钢包括满足在以上 JIS 标准中描述的化学组分的钢。

[0025] 本发明中的机械结构用钢的优选组成的数值范围 (重量%) 如下:

	优选范围	更优选的范围	还优选的范围
C	0.10-1.10	0.95-1.10	0.95-1.10
Si	2.0 以下	0.15-0.70	0.15-0.35
Mn	3.0 以下	1.15 以下	0.50 以下
P	0.025 以下	0.025 以下	0.025 以下
[0026] S	0.100 以下	0.025 以下	0.025 以下
Cr	15.0 以下	0.90-1.60	1.30-1.60
Mo	2.0 以下	0.25 以下	0.08 以下
Ni	5.0 以下	0.25 以下	0.25 以下
Cu	0.25 以下	0.25 以下	0.25 以下
余量	Fe 和不可避免的杂质		
备注	JIS G 4805	JIS G 4805	
	SUJ1-5	SUJ2	

[0027] 注意不可避免的杂质可能包括作为脱氧剂的 Al 和 / 或 Ca。

[0028] 这些机械结构用钢通常通过以下方法制造:1) 熔融钢在电弧熔化炉或转炉中的氧化精炼,2) 在钢包精炼炉 (LF) 中的还原精炼,3) 通过旋转流真空脱气设备 (rotary-flow vacuum degaseer) 的旋转流真空脱气处理 (RH 处理),4) 通过连续铸造或铸锭的钢锭铸造和 5) 塑性加工步骤,包括钢锭的热轧或热压锻造和冷轧或冷压锻造。用于提供钢材形状的

步骤表示以上步骤,而钢材的形状表示型钢、钢棒、钢管、线材、钢板和钢带。

[0029] 通过对钢材进行如下塑性加工可以使其成形为所需材料:例如热锻、半热锻、温锻、冷锻、轧锻、冷轧、冷镦和拉拔,在一些情况下为拉拔和冷镦,以及它们的组合,如有必要,用于软化或结构控制的热处理,或车削。提供机械部件的形状的步骤表示以上步骤。

[0030] 在热塑性加工中术语“热”是指钢的再结晶温度以上。在温塑性加工中术语“温”是指在室温至再结晶温度范围内的温度,而在冷塑性加工中术语“冷”是指大约室温。

[0031] 通常,随后对已进行塑性加工的钢进行淬火和回火以实现 58HRC 以上的表面硬度,如完全硬化(彻底硬化)、渗碳和淬火、碳氮共渗和淬火、渗氮和淬火、以及感应硬化(induction hardening),这取决于钢材和预期用途。对已淬火和回火的钢进行精整处理如抛光和磨削,以制造本发明所要提供的机械部件。术语“淬火和回火处理”如在本文中使用的表示以上处理。

[0032] 然而,为了实现本发明的效果,有必要在将机械部件淬火和回火以获得 58 HRC 以上的表面硬度之前的阶段,强制进行使存在于氧化物夹杂物和基体之间界面处的孔穴闭合的步骤。用于实现此的手段优选为能够在加热至 780°C 后施加 80MPa 以上的静水压力的方法。例如,这样的方法可以为热等静压制(HIP)法,热压法,或者几乎完全由模具密封的热锻法。

[0033] 在其中没有将钢完全密封在模具中的热锻、半热锻、温锻、冷锻、轧锻、冷轧、冷镦或拉拔中,不可能获得本发明的效果,因为无法将静水压力施加到钢的整个部分或者因为钢持续在某个方向伸长。

[0034] 在加热至 780°C 后施加 80MPa 以上的静水压力的理由如下。即,当钢材的加热温度更高时钢更易变形。因此,当钢材的加热温度较高时,对于使存在于氧化物-基非金属夹杂物和基体之间界面处的孔穴闭合所必要的静水压力可以较低。作为本发明人深入研究的结果,当将钢加热至 780°C 以上的温度并且对钢施加 80MPa 以上的静水压力时可以获得本发明的效果。根据第一优选实施方案,以上加热在 800°C 进行而静水压力为 100MPa 以上。

[0035] 根据第二优选实施方案,已经通过添加除通常使用的 Al 以外还含有 Si 的脱氧剂或通过不添加含 Al 的脱氧剂将所要进行塑性加工的机械结构用钢脱氧。通常,用 Al 将机械结构用钢脱氧。因此,形成的氧化物夹杂物主要由 Al_2O_3 主体组成。因为 Al_2O_3 是硬夹杂物,其倾向于在精炼后团聚而形成 ASTM E 45 所定义的 B 型的构形,所以限制用于施加最佳静水压力的条件范围以便在施加静水压力时将存在于氧化物夹杂物和基体之间界面处的孔穴完全闭合。结果,控制氧化物夹杂物的构形导致提高了在施加静水压力时将存在于氧化物夹杂物和基体之间界面处的孔穴完全闭合的效果。作为实现此的手段,优选通过添加除通常使用的 Al 以外还含有 Si 的脱氧剂或通过不添加含 Al 的脱氧剂脱氧,从而将所要形成的氧化物夹杂物软化以缩小夹杂物和基体之间可变形性的差别。

[0036] 根据第三优选实施方案,已经通过添加除了通常使用的 Al 以外还含有 Ca 的脱氧剂将所要进行塑性加工的机械结构用钢脱氧。通常,用 Al 将机械结构用钢脱氧。因此,形成的氧化物夹杂物主要由 Al_2O_3 组成。因为 Al_2O_3 成分是硬夹杂物,其倾向于在精炼后团聚而形成 ASTM E 45 所定义的 B 型的构形,所以限制用于施加最佳静水压力的条件范围以便在施加静水压力时将存在于氧化物夹杂物和基体之间界面处的孔穴完全闭合。结果,控制氧化物夹杂物的构形导致提高了在施加静水压力时将存在于氧化物夹杂物和基体之间界

面处的孔穴完全闭合的效果。作为实现此的手段,优选通过添加除通常使用的 Al 以外还含有 Si 的脱氧剂脱氧,从而控制所要形成的氧化物夹杂物具有 ASTM E 45 所定义的 D 型(颗粒状)的构形,以便可以对在非金属夹杂物周围的基体均匀地施加静水压力。

[0037] 理所当然的是将第一、第二和 / 或第三优选实施方案任意组合来实施本发明。

[0038] 实施例 1

[0039] 将具体说明用于实施第一实施方案的条件和由此获得的结果。首先,样品的化学组成显示在表 1 中。本发明的样品基于 SUJ2 钢,其满足 JIS G4805 的组成。对熔融钢进行以下加工:在电弧熔化炉(ark melting furnace)中氧化精炼,在钢包精炼炉(LF)中还原精炼,在旋转流真空脱气设备中旋转流真空脱气处理(RH 处理),和连续铸造以铸造钢。将钢锭热轧以制造钢材。随后,将钢材在 800℃进行球化退火。

[0040] [表 1]

[0041] 样品组分(重量%,除了 0 是指 ppm)

[0042]

钢	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	O
SUJ2	1.04	0.22	0.32	0.007	1.44	0.03	0.011	6

[0043] 此外,根据以下所示的条件 1 至 3 中的任何一个对以上球化退火的钢材进行加工。

[0044] 加工条件 1:将钢材切割为轴承垫圈(bearing washer)的形状,所述轴承垫圈为推力(thrust)型滚动轴承的构件。

[0045] 加工条件 2:将钢材加热至 600℃,即室温至再结晶温度范围内的加温条件,镦锻,然后将其切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0046] 加工条件 3:将钢材冷镦锻,然后切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0047] 对垫圈形产品分别进行热等静压制(HIP)处理。处理条件显示在表 2 中。压制条件 A 和 B 满足本发明的加热温度条件和静水压力条件。压制条件 C 至 E 不能满足本发明的加热温度条件和静水压力条件,原因在于压制条件 C 和 D 不满足本发明的压制条件并且压制条件 E 不包括 HIP 处理。根据这些压制条件 A 和 B 将垫圈形产品保持在 835℃达 20 分钟,通过油淬火进行淬火,然后在 170℃回火 90 分钟以获得 58HRC 以上的所需硬度。此外,将产品抛光以精整推力型滚动轴承,评价所述推力型滚动轴承的滚动接触疲劳寿命。将可商购的用于推力型滚动轴承的滚珠(ball)用作滚动元件。

[0048] [表 2]

[0049] 压制条件

[0050]

条件	加热温度 (°C)	压制压力 (MPa)	备注
A	800	100	加工实施例
B	1100	200	
C	700	100	比较例
D	800	50	
E	未进行压制		

[0051] 在最大Hertz应力 P_{max} 为5292MPa的情况下,在如上所示的每种压制条件进行10次推力型滚动疲劳测试。从结果基于Weibull分布函数通过从短寿命侧计数,测量10%的样品引起剥落之前的圈数,并将此数称为 L_{10} 寿命。这些样品在淬火和回火后的表面硬度以及从进行推力型滚动疲劳测试的每种条件的10个样品的寿命计算的 L_{10} 寿命显示在表3中。对于每种条件的样品,为测试方便起见而在达到 1×10^8 圈时停止测试,即使没有剥落发生。

[0052] [表3]

[0053]

加工条件	压制条件	表面硬度 (HRC)	L ₁₀ 寿命 (x10 ⁶ 圈)
1	A	60.9	83
	B	58.0	100*
	C	59.1	10.9
	D	59.4	15.4
	E	61.9	8.9
2	A	58.4	81
	B	61.3	100*
	C	58.1	11.7
	D	60.3	10.1
	E	61.4	9.5
3	A	58.2	100*
	B	59.9	100*
	C	59.1	13.3
	D	60.3	12.9
	E	59.3	10.6

[0054] * :此符号表示在 1×10^8 圈中没有剥落发生。

[0055] 表 3 中用于 L₁₀ 寿命的符号“*”表示在 1×10^8 圈中没有剥落发生。在表 3 中,满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的压制条件 A 和 B 导致 58 HRC 以上的表面硬度。不满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的压制条件 C 至 E 也导致 58 HRC 以上的表面硬度。然而,如在压制条件 C 至 E 下的比较例相比,在条件 A 和 B 之下的加工实施例导致滚动接触疲劳寿命的显著提高,而不论精整加工是热塑性加工、温塑性加工还是冷塑性加工。

[0056] 实施例 2

[0057] 将具体说明用于实施第二实施方案的条件和由此获得的结果。首先,样品的化学组成显示在表 4 中。这些样品的钢 A 和 B 都基于 SUJ2 钢,其满足 JIS G 4805 的化学组成。对熔融钢进行以下加工:在电弧熔化炉中氧化精炼,在钢包精炼炉(LF)中还原精炼,在旋转流真空脱气设备中旋转流真空脱气处理(RH处理),和连续铸造以铸造钢。将钢锭热轧以制造钢材。已经在脱氧过程中在没有添加 Al 的情况下用 Si 和 Mn 将样品的钢 A 脱氧,因此表 4 中显示的 0.003% 的 Al 是作为不可避免的杂质而被包含的。已经如传统方式用 Al 对钢 B 进行了脱氧。将通过热轧获得的钢材在 800℃ 进行球化退火。

[0058] [表 4]

[0059] 样品组分(重量%,除了 0 是指 ppm)

[0060]

钢	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	O
A	1.00	0.26	0.30	0.009	1.41	0.03	0.003	10
B	1.04	0.22	0.32	0.007	1.44	0.03	0.011	6

[0061] 此外,根据以下所示的条件 1 至 3 中的任何一个对以上球化退火的钢材进行加工。

[0062] 加工条件 1:将钢材切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0063] 加工条件 2:将钢材加热至 600℃,即室温至再结晶温度范围内的加温条件,锻造,然后将其切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0064] 加工条件 3:将钢材冷锻造,然后切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0065] 对垫圈形产品分别进行热等静压制 (HIP) 处理或热压处理。处理条件显示在表 5 中。压制条件 (1) 涉及热压处理,而压制条件 (2) 至 (4) 涉及 HIP 处理。压制条件 (1) 至 (3) 是满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的加工实施例。反之,压制条件 (4) 是其中加热温度为 700℃,低于本发明的 HIP 处理的加热温度,从而不满足本发明的条件的比较例。此外,压制条件 (5) 是其中没有进行压制的比较例。将垫圈形产品保持在 835℃达 20 分钟,通过油淬火进行淬火,然后在 170℃回火 90 分钟以获得 58HRC 以上的所需硬度。此外,将产品抛光以精整推力型滚动轴承,评价所述推力型滚动轴承的滚动接触疲劳寿命。将可商购的用于推力型滚动轴承的滚珠用作滚动元件。

[0066] [表 5]

[0067] 压制条件

[0068]

条件	加热温度 (°C)	压制压力 (MPa)	备注
(1)	780	80	加工实施例
(2)	800	100	
(3)	1100	150	
(4)	700	80	比较例
(5)	未进行压制		

[0069] 在最大 Hertz 应力 P_{max} 为 5292MPa 的情况下,在如上所示的每种压制条件进行 10 次推力型滚动疲劳测试。从结果基于 Weibull 分布函数通过从短寿命侧计数,测量 10% 的样品引起剥落之前的圈数,并将此数称为 L_{10} 寿命。这些样品在淬火和回火后的表面硬度以及从进行推力型滚动疲劳测试的每种条件的 10 个样品的寿命计算的 L_{10} 寿命显示在表 6(钢 A) 和表 7(钢 B) 中。对于每种样品,为测试方便起见而在达到 1×10^8 圈时停止测试,即使没有剥落发生。

[0070] [表 6]

[0071]

加工条件	压制条件	表面硬度 (HRC)	L ₁₀ 寿命 (x10 ⁶ 圈)
1	(1)	58.2	100*
	(2)	59.1	100*
	(3)	60.3	100*
	(4)	59.9	37.9
	(5)	61.3	23.1
2	(1)	59.6	100*
	(2)	60.4	100*
	(3)	58.0	100*
	(4)	59.8	28.4
	(5)	60.4	11.3
3	(1)	59.7	100*
	(2)	62.4	100*
	(3)	60.9	100*
	(4)	58.2	30.1
	(5)	60.6	10.9

[0072] * :此符号表示在 1x10⁸ 圈中没有剥落发生。

[0073] [表 7]

[0074]

加工条件	压制条件	表面硬度 (HRC)	L ₁₀ 寿命 (x10 ⁶ 圈)
1	(1)	59.7	16.4
	(2)	60.1	80.4
	(3)	58.3	100*
	(4)	61.4	10.9
	(5)	60.3	7.3
2	(1)	58.0	19.3
	(2)	59.1	65.3
	(3)	59.9	100*
	(4)	58.3	10.4
	(5)	61.2	6.2
3	(1)	61.4	10.9
	(2)	59.8	77.9
	(3)	58.1	100*
	(4)	60.9	9.9
	(5)	62.1	5.4

[0075] * :此符号表示在 1×10^8 圈中没有剥落发生。

[0076] 满足本发明的构成的表 6 中的钢 A 和表 7 中的钢 B 导致 58 HRC 以上的表面硬度。与作为不满足本发明条件的比较例的压制条件 (4) 和 (5) 相比,满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的压制条件 (1) 至 (3) 在滚动接触疲劳寿命方面优异。此外,钢 A 和 B 比钢 C 更优异,原因在于当在满足本发明条件的压制条件 (1) 至 (3) 下施加最佳静水压力时可以扩展条件的范围。

[0077] 实施例 3

[0078] 将具体说明用于实施第三实施方案的条件和由此获得的结果。首先,样品的组成显示在表 8 中。这些样品的钢 A 和 B 都基于 SUJ2 钢,其满足 JIS G 4805 的组成。对熔融钢进行以下加工:在电弧熔化炉中氧化精炼,在钢包精炼炉 (LF) 中还原精炼,在旋转流真空脱气设备中旋转流真空脱气处理 (RH 处理),和连续铸造以铸造钢。将钢锭热轧以制造钢材。已经用 Al 将样品的钢 A 基本脱氧,并在 LF 完成后添加 Ca。已经如传统方式用 Al 对钢 B 进行了脱氧。将通过热轧获得的钢材在 800°C 进行球化退火。

[0079] [表 8]

[0080] 样品组分 (重量%,除了 Ca 和 O 是指 ppm)

[0081]

钢	C	Si	Mn	S	Cr	Mo	Al	Ca	O
A	1.01	0.22	0.35	0.008	1.42	0.03	0.015	9	8
B	1.04	0.22	0.32	0.007	1.44	0.03	0.011	-	6

[0082] 此外,根据以下所示的条件 1 至 3 中的任何一个对以上球化退火的钢材进行加工。

[0083] 加工条件 1:将钢材切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0084] 加工条件 2:将钢材加热至 600℃,即室温至再结晶温度范围内的加温条件,锻造,然后将其切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0085] 加工条件 3:将钢材冷锻造,然后切割为轴承垫圈的形状,所述轴承垫圈为推力型滚动轴承的构件。

[0086] 对垫圈形产品分别进行热等静压制(HIP)处理或热压处理。处理条件显示在表 9 中。压制条件(1)涉及热压处理,而压制条件(2)至(4)涉及 HIP 处理。压制条件(1)至(3)是满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的加工实施例。反之,压制条件(4)是其中加热温度为 700℃,低于本发明的 HIP 处理的加热温度,从而不满足本发明的条件的比较例。此外,压制条件(5)是其中没有进行压制的比较例。将垫圈形产品保持在 835℃达 20 分钟,通过油淬火进行淬火,然后在 170℃回火 90 分钟以获得 58 HRC 以上的所需硬度。此外,将产品抛光以精整推力型滚动轴承,评价所述推力型滚动轴承的滚动接触疲劳寿命。将可商购的用于推力型滚动轴承的滚珠用作滚动元件。

[0087] [表 9]

[0088] 压制条件

[0089]

条件	加热温度 (°C)	压制压力 (MPa)	备注
(1)	780	80	加工实施例
(2)	800	100	
(3)	1100	150	
(4)	700	80	比较例
(5)	未进行压制		

[0090] 在最大 Hertz 应力 P_{max} 为 5292MPa 的情况下,在如上所示的每种压制条件进行 10 次推力型滚动疲劳测试。从结果基于 Weibull 分布函数通过从短寿命侧计数,测量 10% 的样品引起剥落之前的圈数,并将此数称为 L_{10} 寿命。这些样品在淬火和回火后的表面硬度以及从进行推力型滚动疲劳测试的每种条件的 10 个样品的寿命计算的 L_{10} 寿命显示在表 10(钢 A)和表 11(钢 B)中。对于每种样品,为测试方便起见而在达到 1×10^8 圈时停止测试,即使没有剥落发生。

[0091] [表 10]

[0092]

加工条件	压制条件	表面硬度 (HRC)	L ₁₀ 寿命 (x10 ⁶ 圈)
1	(1)	58.9	100*
	(2)	58.1	100*
	(3)	60.9	100*
	(4)	58.0	29.1
	(5)	62.1	18.6
2	(1)	58.0	100*
	(2)	61.3	100*
	(3)	58.9	100*
	(4)	61.8	22.3
	(5)	60.1	9.6
3	(1)	60.4	100*
	(2)	61.3	100*
	(3)	58.1	100*
	(4)	59.9	34.3
	(5)	62.4	14.3

[0093] * :此符号表示在 1×10^8 圈中没有剥落发生。

[0094] [表 11]

[0095]

加工条件	压制条件	表面硬度 (HRC)	L ₁₀ 寿命 (x10 ⁶ 圈)
1	(1)	59.7	16.4
	(2)	60.1	80.4
	(3)	58.3	100*
	(4)	61.4	10.9
	(5)	60.3	7.3
2	(1)	58.0	19.3
	(2)	59.1	65.3
	(3)	59.9	100*
	(4)	58.3	10.4
	(5)	61.2	6.2
3	(1)	61.4	10.9
	(2)	59.8	77.9
	(3)	58.1	100*
	(4)	60.9	9.9
	(5)	62.1	5.4

[0096] * :此符号表示在 1×10^8 圈中没有剥落发生。

[0097] 表 10 中,满足本发明的构成的钢 A 导致 58 HRC 以上的表面硬度。与作为不满足本发明条件的比较例的压制条件 (4) 和 (5) 相比,满足本发明的加热温度条件和静水压力条件的压制条件 (1) 至 (3) 在滚动接触疲劳寿命方面优异。此外,钢 A 比显示在表 11 中的钢 B 优异,原因在于当在满足本发明条件的压制条件 (1) 至 (3) 下施加最佳静水压力时可以扩展条件的范围。

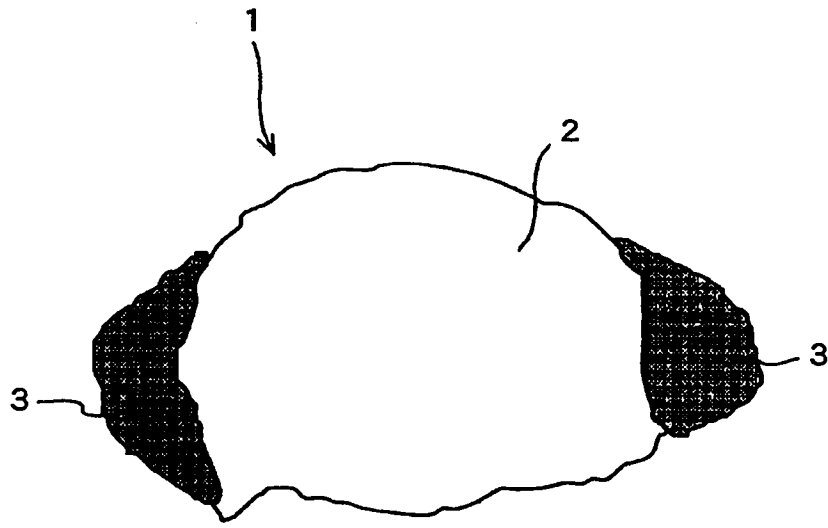


图 1