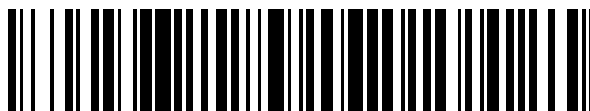


19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 784 129**

51 Int. Cl.:

C22C 38/02	(2006.01) C21D 9/04	(2006.01)
C22C 38/04	(2006.01) C21D 6/00	(2006.01)
C22C 38/24	(2006.01)	
C22C 38/42	(2006.01)	
C22C 38/44	(2006.01)	
C22C 38/46	(2006.01)	
C22C 38/06	(2006.01)	
C22C 38/20	(2006.01)	
C22C 38/22	(2006.01)	
C21D 1/18	(2006.01)	

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **18.11.2011** **PCT/JP2011/076695**

87 Fecha y número de publicación internacional: **24.05.2012** **WO12067237**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **18.11.2011** **E 11841233 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **18.03.2020** **EP 2641988**

54 Título: **Rueda**

30 Prioridad:

18.11.2010 JP 2010257440

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:

22.09.2020

73 Titular/es:

NIPPON STEEL CORPORATION (100.0%)
6-1, Marunouchi 2-chome, Chiyoda-ku
Tokyo 100-8071, JP

72 Inventor/es:

YAMAMOTO, YUICHIRO;
TAKESHITA, YUKITERU;
KATO, TAKANORI y
KIRIYAMA, KENTARO

74 Agente/Representante:

ELZABURU, S.L.P

ES 2 784 129 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Rueda

Campo técnico

5 La presente invención pertenece a una rueda. Más particularmente, la presente invención se refiere a una rueda para ferrocarril de elevada dureza, que tiene excelente resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación.

10 La descamación es un fenómeno por el que una parte de la rueda, cuando se calienta y se enfría rápidamente mediante el frenado de emergencia o similar, se transforma en martensita frágil denominada capa blanca, a partir de la cual se propaga la fisura, y la capa blanca se ve sometida a fractura frágil y se despega. Este fenómeno también se denomina "fisura térmica" en algunos casos.

Técnica anterior

En los últimos años, con el aumento mundial de las distancias de operación y la capacidad de carga, se demanda una rueda para ferrocarril (en lo sucesivo, denominada "rueda") que tenga una vida de servicio más prolongada que antes.

15 Existen tres fenómenos que principalmente provocan daños en la rueda: (i) desgaste, (ii) fatiga por contacto de rodadura, y (iii) descamación. Especialmente en los últimos años, un número creciente de ruedas se han visto dañadas por el desgaste resultante del aumento de la distancia de operación y la fatiga por contacto de rodadura resultante del aumento de la capacidad de carga. La fatiga por contacto de rodadura en ocasiones se denomina "descascarillado". Aunque la fisura provocada por la descamación también se denomina "descascarillado" en
20 algunos casos, en la presente descripción, la generación de la fisura provocada por la formación de la capa blanca se define como "descamación".

Empíricamente, se sabe que la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura son propiedades que resultan incompatibles con la resistencia a la descamación. Existe una necesidad urgente de desarrollar acero para ruedas que sea excelente en cuanto al equilibrio entre resistencia al desgaste, resistencia a la
25 fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación, y pueda proporcionar una vida prolongada a la rueda.

Por ejemplo, los Documentos de Patente 1 a 7 divulgan técnicas que hacen referencia a una rueda.

El Documento de Patente 1 divulga un "acero para una rueda de ferrocarril de alta tenacidad" que contiene V.

30 El Documento de Patente 2 divulga una "lanta o rueda de monobloque para un conjunto de rueda de ferrocarril de material de reserva para rodadura" que sea excelente en cuanto a resistencia al desgaste, resistencia a la fractura y resistencia a la fisura térmica.

35 El Documento de Patente 3 divulga una "rueda para material de reserva de rodadura" en el que el contenido de C disminuye y la parte de banda de rodadura de la misma tiene una estructura compuesta por estructura bainítica, estructura matensítica atemperada, o una estructura mixta de bainita y martensita atemperada, de modo que tanto la resistencia al descascarillado como la resistencia a la descamación, que sirven como resistencia a la fisura térmica, se ven mejoradas.

El Documento de Patente 4 divulga una "rueda para vehículo de ferrocarril de alto contenido en carbono que tiene excelente resistencia al desgaste y resistencia a la fisuración térmica" en la que el contenido de C aumenta hasta un 0,85 a un 1,20 %.

40 El Documento de Patente 5 divulga una "rueda para material de reserva de rodadura excelente en cuanto a resistencia al desgaste y resistencia a la fisura térmica" de un tipo de monobloque formado por una rueda que tiene una composición química que consiste en C: de un 0,4 a un 0,75 %, Si: de un 0,4 a un 0,95 %, Mn: de un 0,6 a un 1,2 %, Cr: más de un 0 % y menos de un 0,2 %, P: un 0,03 % o menos, y S: un 0,03 % o menos, siendo el equilibrio Fe e impurezas, en la que la región al menos hasta una profundidad de 50 mm desde la superficie de la parte de la
45 banda de rodadura de la rueda está formada por una estructura de perlita, y el documento también divulga la producción de la rueda.

Los Documentos 6 y 7 divulgan "aceros para ruedas de ferrocarril" en los que aumenta la resistencia y se mejoran la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y la resistencia a la descamación incorporando de un 0,01 a un 0,12 % y de un 0,009 a un 0,013 %, respectivamente, de Nb.

50 Documento de Patente 1 JP50-104717A

Documento de Patente 2 JP2001-158940A

Documento de Patente 3 JP2005-350769A

Documento de Patente 4 JP2004-315928A

Documento de Patente 5 JP9-202937A

Documento de Patente 6 US7559999A

5 Documento de Patente 7 US7591909A

El documento JPS57 143469A divulga un acero para rueda de ferrocarril con resistencia al desgaste superior y resistencia a la pérdida por fisuración mejorada. Este acero se lamina para dar lugar a una rueda y se usa tal y como se lamina sin llevar a cabo un tratamiento térmico.

Divulgación de la invención

10 Problemas a solucionar por la invención

El acero divulgado en el Documento de Patente 1 tiene una baja dureza debido a que el contenido de C del mismo es tan bajo como de un 0,50 a un 0,60 %. Por tanto, este acero no tiene la suficiente resistencia a la fatiga por contacto de rodadura, y no puede responder al aumento reciente de la capacidad de carga.

15 El acero divulgado en el Documento de Patente 2 tiene baja dureza debido a que el contenido de C del mismo es tan bajo como de un 0,45 a un 0,55 %. Por tanto, este acero tampoco tiene suficiente resistencia a la fatiga por contacto de rodadura, y no puede responder al aumento reciente de la capacidad de carga.

La rueda divulgada en el Documento de Patente 3 es una rueda en la que la parte de la banda de rodadura de la misma tiene una estructura compuesta por una estructura bainítica, estructura martensítica atemperada o una estructura mixta de bainita y martensita atemperada. Por tanto, a pesar de su elevada resistencia, la resistencia al desgaste es menor que el caso en el que la parte de la banda de rodadura está formada por una estructura perlítica, y resulta difícil obtener resistencia al desgaste mayor que la del material de rueda para un vehículo de mercancías convencional. Es decir, en comparación con la estructura perlítica que resulta excelente en la propiedad de endurecimiento por procesado y además muestra un comportamiento en el que su laminilla se redispone en paralelo a la superficie como cantidad para aumentar el desgaste, la estructura bainítica y la estructura martensítica atemperada proporcionan una gran cantidad de desgaste (por ejemplo, en referencia a Sadahiro Yamamoto, "Technique for Improving Wear Resistance of Steel by Structure Control – Structure Control Technique for Wear-Resistant Steel having Weldability-" 161st-162nd Nishiyama Memorial Seminar, Heisei 8º año, editado por The Iron and Steel Institute of Japan, p.221).

El acero para ruedas divulgado en el Documento de Patente 4 presenta la dificultad de aplicarse a una rueda fabricada por medio de un tratamiento único a la rueda denominado "proceso de templado instantáneo de la banda de rodadura". La Figura 1 es una vista esquemática de una "rueda de monobloque" mostrada como ejemplo de rueda. En el caso de la rueda, después de haber calentado la totalidad de la rueda, se lleva a cabo un tratamiento térmico para enfriar la parte de la llanta de la misma desde la superficie externa de la rueda con el fin de proporcionar una tensión residual compresiva a la parte de la llanta. En este tratamiento de enfriamiento, la parte de la llanta y las proximidades de la misma se enfrían de forma rápida, pero la parte de cubo de la misma sufre una baja tasa de enfriamiento. Por tanto, en el caso de que el acero para rueda divulgado en el presente Documento de Patente se trate térmicamente por medio de un proceso de templado instantáneo de la banda de rodadura, puede tener lugar la precipitación de cementita hipereutectoide en la frontera de grano de austenita de la parte de cubo. La cementita hipereutectoide actúa de la misma manera que las inclusiones gruesas, y reduce en gran medida la tenacidad y la vida de fatiga (por ejemplo, en referencia a Takayoshi Murakami, "Influence of Minute Defects and Inclusions (2004)" p. 182 "Yokendo").

La rueda divulgada en el Documento de Patente 5 puede tener una dureza insuficiente. Por tanto, esta rueda no siempre es capaz de responder al reciente aumento de la capacidad de carga.

45 El acero de rueda para ferrocarril divulgado en el Documento de Patente 6 contiene de un 0,20 a un 0,30 % de Mo. Por tanto, resulta probable la producción de una estructura que tenga una baja resistencia al desgaste tal como una estructura bainítica o una estructura perlítica-degenerada, de manera que resulte difícil obtener una buena resistencia al desgaste. Además, este acero siempre contiene de un 0,01 a un 0,12 % de Nb. En el acero que contiene Nb, se pueden formar inclusiones gruesas, de manera que las inclusiones gruesas reduzcan extremadamente la tenacidad y la vida de fatiga de manera similar a la cementita hipereutectoide anteriormente descrita.

50 Similarmente, el acero para rueda de ferrocarril divulgado en el Documento de Patente 7 siempre contiene de un 0,009 a un 0,013 % de Nb. Como se ha descrito anteriormente, en el acero que contiene Nb, se pueden formar inclusiones gruesas, de manera que las inclusiones gruesas reduzcan extremadamente la tenacidad y la vida de fatiga similarmente a la cementita hipereutectoide.

La presente invención se ha llevado a cabo para solucionar los problemas anteriormente descritos y, por consiguiente, un objetivo de la misma consiste en proporcionar una rueda que tenga un excelente equilibrio entre resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación, con una vida prolongada.

5 Medios para solucionar los problemas

Los presentes inventores llevaron a cabo diversos estudios sobre resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación, y encontraron como resultado de ellos los siguientes puntos (a) a (c).

- 10 (a) La resistencia al desgaste aumenta cuando la estructura del material de acero es una estructura perlítica y aumenta la dureza.
- (b) La resistencia a la fatiga por contacto de rodadura aumenta cuando aumenta la dureza independientemente de la estructura.
- (c) La resistencia a la descamación aumenta cuando disminuye la templabilidad.

- 15 A partir de estos descubrimientos, los presentes inventores llegaron a la conclusión de que, con el fin de solucionar los problemas anteriormente descritos, únicamente es necesario desarrollar un acero en el que se pueda proporcionar la estructura perlítica por medio de templado instantáneo de la banda de rodadura, y además, la dureza sea elevada y la templabilidad sea baja.

En lo sucesivo, se explica con detalle un ejemplo de estudios llevados a cabo por parte de los presentes inventores.

- 20 Los presentes inventores evaluaron la influencia de elementos sobre la dureza y templabilidad por medio de ensayo de templado instantáneo final de Jominy (en lo sucesivo denominado "ensayo de Jominy"), en el que las condiciones de tratamiento térmico del mismo son similares a las del templado instantáneo de la banda de rodadura de la rueda real.

En primer lugar, se produjeron lingotes por medio de fusión de aceros 1 a 24 que tenían las composiciones químicas que se proporcionan en la Tabla 1, en un horno de vacío a escala de laboratorio.

- 25 A continuación, para cada uno de los aceros, se produjeron una barra redonda de 35 mm de diámetro, una barra redonda de 160 mm de diámetro y una barra redonda de 70 mm de diámetro, a partir del lingote por medio de forjado del lingote en caliente.

Además, para el acero 1, también se produjo una barra redonda de 220 mm de diámetro para preparar una "muestra de ensayo de ferrocarril" para el ensayo de fatiga por contacto de rodadura descrito a continuación.

- 30 El acero 1 de la Tabla 1 corresponde a un acero para rueda de ferrocarril de la "Clase C" en las normas M-107/M-207 de AAR (Association of American Railroads).

Tabla 1

Acero	Composición química (% en masa) Equilibrio: Fe e impurezas										
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al
1	0,69	0,29	0,82	0,013	0,007	0,01	0,02	0,08	0,01	0,01	0,056
2	0,69	0,80	0,76	0,011	0,007	-	0,03	0,10	0,01	0,01	0,050
3	0,70	0,82	0,82	0,004	0,008	-	0,04	0,09	0,01	0,10	0,034
4	0,77	0,83	0,82	0,004	0,007	-	0,04	0,09	0,01	0,09	0,036
5	0,86	0,85	0,83	0,004	0,008	-	0,04	0,10	0,01	0,01	0,037
6	0,88	0,50	0,61	0,004	0,008	-	0,04	0,25	0,01	0,01	0,034
7	0,74	0,80	0,39	0,004	0,008	-	0,04	0,45	0,01	0,09	0,033
8	0,71	0,79	0,77	0,014	0,007	0,01	0,02	0,10	0,01	0,09	0,036
9	0,80	0,78	0,76	0,014	0,006	0,01	0,02	0,10	0,01	0,09	0,039
10	0,63	0,79	0,79	0,014	0,009	0,01	0,02	0,10	0,01	0,09	0,037
11	0,72	0,23	0,18	0,003	0,001	0,01	0,01	-	0,01	-	0,031
12	0,72	0,25	0,77	0,003	0,001	0,01	0,01	0,19	0,01	-	0,021
13	0,76	0,25	0,78	0,003	0,001	0,01	0,01	-	0,09	-	0,031
14	0,75	0,25	0,79	0,004	0,001	0,01	0,01	-	0,20	-	0,035

15	0,74	0,23	0,74	0,003	0,001	0,01	0,01	-	0,01	0,09	0,026
16	0,74	0,79	0,80	0,004	0,001	0,01	0,01	-	0,01	0,05	0,034
17	0,75	0,86	0,79	0,004	0,001	0,01	0,01	0,15	0,15	-	0,041
18	0,75	0,81	0,82	0,003	0,001	0,01	0,02	0,42	0,07	0,07	0,023
19	0,74	0,65	0,82	0,004	0,001	0,01	0,02	0,54	0,11	-	0,032
20	0,74	1,10	0,82	0,003	0,001	0,01	0,01	-	0,01	-	0,041
21	0,74	0,23	2,10	0,004	0,001	0,01	0,01	-	0,01	-	0,038
22	0,73	0,25	0,81	0,003	0,001	0,01	0,01	-	0,01	0,21	0,028
23	0,75	0,79	0,83	0,003	0,001	0,01	0,02	0,82	0,18	-	0,026
24	0,74	0,84	0,82	0,004	0,001	0,01	0,02	0,54	0,25	0,08	0,031

Se tomó una muestra de la muestra de ensayo de Jominy a partir de una barra redonda de 35 mm de diámetro. Se sometió la muestra de ensayo a austenización a 900 °C durante 30 minutos en la atmósfera, y posteriormente se sometió a templado instantáneo final. A continuación, se llevó a cabo la medición de la dureza de Rockwell C (en lo sucesivo, también denominada "HRC") por medio de corte en paralelo de 1,0 mm.

Se midió HRC en una posición distante 40 mm desde el extremo de enfriamiento con agua (en lo sucesivo, denominado como "dureza a 40 mm"), y se evaluó la influencia de los elementos sobre el valor de medición. Como resultado de ello, se encontró que la "dureza de 40 mm" tenía una relación proporcional con Fn 1 expresada por medio de la Fórmula (1) como se muestra en la Figura 2. Además, se encontró que, similarmente a las ruedas 23 y 24, si Fn1 supera 43, se formaba una estructura bainítica al menos en una parte, y no era posible mantener la relación proporcional.

El motivo por el cual se midió HRC en la posición 40 mm distante del extremo de enfriamiento con agua es que la rueda se fabrica para ser sometida a maquinizado tras el templado instantáneo de la banda de rodadura. De igual forma, el motivo para ello es que la rueda que se usa se somete a re-perfilado posteriormente y, en ocasiones, se usa por medio de repetición del trabajo de re-perfilado, y las propiedades del acero en el interior que tiene una dureza menor que la superficie ejercen una gran influencia en la vida de servicio de la rueda.

En la Figura 2, el acero 1 que correspondía a la rueda de acero para ferrocarril de "Clase C" de AAR se indicó con la marca "▲". Se decidió la estructura mediante observación al microscopio óptico, mediante trituración invertida, de la posición que dista 40 mm del extremo de enfriamiento con agua y posteriormente sometiendo a corrosión con nital.

$$Fn\ 1 = 2,7 + 29,5 \times C + 2,9 \times Si + 6,9 \times Mn + 10,8 \times Cr + 30,3 \times Mo + 44,4 \times V \dots (1)$$

en la que C, Si, Mn, Cr, Mo y V significan cada uno de ellos el contenido en porcentaje en masa del elemento.

La Tabla 2 proporciona el valor de medición de la "dureza de 40 mm" y Fn1 expresado por medio de la Fórmula (1) que se ponen por orden.

Se evaluó la templabilidad, basándose en la dureza en el caso en el que la fracción de estructura martensítica descrita en la norma ASTM A255 fuera de un 50 %, midiendo la distancia en unidades de milímetros a partir del extremo de enfriamiento con agua en cuya distancia la fracción de estructura martensítica es de un 50 % (en lo sucesivo, denominado "M50 %") a partir de la dureza de Jominy. Como resultado de ello, se encontró que "M50 %" está correlacionado con Fn2 expresado por medio de la Fórmula (2) como se muestra en la Figura 3. En la Figura 3, también, el acero 1 viene indicado por medio de la marca "▲".

$$Fn2 = \exp(0,76) \times \exp(0,05 \times C) \times \exp(1,35 \times Si) \times \exp(0,38 \times Mn) \times \exp(0,77 \times Cr) \times \exp(3,0 \times Mo) \times \exp(4,6 \times V) \dots (2)$$

en la que C, Si, Mn, Cr, Mo y V significan también cada uno de ellos el contenido en porcentaje en masa del elemento. El término "exp (0,05 x C)" y similares significan expresiones exponenciales tales como "e^{0,05xC}". La letra "e" es una de las constantes matemáticas: "número de Napier" y se usa como base del logaritmo natural.

La Tabla 2 proporciona el valor de medición de "M50 %" y Fn2 expresado por medio de la Fórmula (2) que se ponen en orden.

Tabla 2

Acero	Dureza de 40-mm (HRC)	Fn1	M 50% (mm)	Fn2	Vida de fatiga por contacto de rodadura (ciclo)	Cantidad de desgaste (g)
1	31,1	31,2	5,6	5,1	1830898	0,320
2	32,3	32,4	8,3	10,1	2191425	0,312
3	36,6	37,1	13,6	16,0	3283349	0,268
4	39,3	38,7	16,5	15,5	4453779	0,242
5	38,6	38,1	10,6	11,2	4114188	0,241
6	37,3	37,8	6,3	7,2	3675793	0,249
7	38,9	38,7	14,2	16,7	4342381	0,225
8	37,8	36,6	16,2	14,5	3688978	0,247
9	39,6	39,2	15,7	14,3	4480886	0,241
10	35,0	34,4	15,5	14,6	2867978	0,279
11	25,4	26,2	3,8	3,3	814399	0,384
12	32,6	32,3	4,6	5,0	2138325	0,312
13	34,1	34,0	4,5	5,5	2583220	0,286
14	37,2	37,1	6,8	7,7	3602246	0,253
15	35,8	34,6	5,4	6,3	3089949	0,263
16	34,8	34,9	9,2	11,3	2785571	0,279
17	38,9	38,9	15,0	16,8	4258560	0,242
18	42,1	42,6	21,8	21,3	5621775	0,201
19	41,0	41,2	16,5	15,4	5092738	0,223
20	32,4	33,7	14,9	13,8	2085608	0,327
21	39,7	40,0	7,1	6,9	4587370	0,227
22	38,7	40,2	11,2	11,4	4266610	0,235
23	42,5	47,2	29,7	28,5	5892201	0,314
24	42,6	49,6	46,9	43,7	5675736	0,312
$Fn1 = 2,7 + 29,5 \times C + 2,9 \times Si + 6,9 \times Mn + 10,8 \times Cr + 30,3 \times Mo + 44,3 \times V$ $Fn2 = \exp(0,76) \times \exp(0,05 \times C) \times \exp(1,35 \times Si) \times \exp(0,38 \times Mn) \times \exp(0,77 \times Cr) \times \exp(3,0 \times Mo) \times \exp(4,6 \times V)$						

A continuación, los presentes inventores examinaron la relación entre la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura, la resistencia al desgaste y Fn1 expresado por medio de la Fórmula (1) mediante el uso de aceros 1 a 24 proporcionados en la Tabla 1.

Es decir, para cada uno de los aceros, después de haber cortado la barra redonda de 160 mm de diámetro con una longitud de 100 mm, se produjo una muestra de ensayo por medio de templado instantáneo en aceite tras el calentamiento a 900 °C durante 30 minutos.

Para los aceros 1 a 24, en primer lugar, a partir de la parte central de la muestra de ensayo producida de este modo, se tomó una muestra de la muestra de ensayo que tenía la configuración mostrada en la Figura 4(a) como "muestra de ensayo para rueda" para el ensayo de fatiga por contado de rodadura.

Para el acero 1, después de haber cortado la barra redonda de 220 mm de diámetro con una longitud de 100 mm, se produjo una muestra de ensayo por medio de templado instantáneo en aceite tras el calentamiento a 900 °C durante 30 minutos. A partir de la parte central de la presente muestra de ensayo, se tomó una muestra de la muestra de ensayo que tenía la configuración mostrada en la Figura 4(b) como "muestra de ensayo de ferrocarril" usada para el ensayo de fatiga por contacto de rodadura.

Similarmente, para los aceros 1 a 24, después de haber cortado la barra redonda de 70 mm de diámetro con una longitud de 100 mm, se produjo una muestra de ensayo por medio de templado instantáneo en aceite tras el calentamiento a 900 °C durante 30 minutos. A partir de la parte central de la presente muestra de ensayo, se tomó una muestra de la muestra de ensayo que tenía la configuración mostrada en la Figura 5(a) como "muestra de ensayo de ferrocarril" usada para el ensayo de desgaste.

Para el acero 1, se produjo una muestra de ensayo de barra redonda de 70 mm de diámetro que tenía una longitud de 100 mm sometiendo a tratamiento térmico similar al de la muestra de ensayo para rueda descrita anteriormente, y a partir de la parte central de la misma, se tomó una muestra de ensayo que tenía la configuración mostrada en la Figura 5(b) como "muestra de ensayo para ferrocarril" usada para el ensayo de desgaste.

- 5 En primer lugar, se llevó a cabo el ensayo de fatiga por contacto de rodadura por medio del método que se muestra esquemáticamente en la Figura 6, usando las muestras de ensayo mostradas en la Figura 4(a) de los aceros 1 a 24 y la muestra de ensayo de ferrocarril mostrada en la Figura 4(b) del acero 1.

10 Las condiciones del ensayo de fatiga por contacto de rodadura fueron tensión hertziana: 1100 MPa, relación de deslizamiento: un 0,28 % y velocidad rotacional: 1000 rpm sobre el lado de la rueda y 602 rpm sobre el lado del rail, y se llevó a cabo el ensayo en condiciones de lubricación de agua. El ensayo se llevó a cabo al tiempo que se midió la aceleración mediante el uso de un acelerómetro de vibración, y se evaluó el número de ciclos en los que se detectó 0,5 G como la vida de fatiga por contacto de rodadura. El motivo de tomar 0,5G como base es que, como resultado de la evaluación de la relación entre la aceleración detectada y el estado dañado llevado a cabo por el ensayo preliminar, se podría confirmar que una parte de la superficie de contacto se despegaba al parecer cuando se supera 0,5G.

15 La Tabla 2 proporciona adicionalmente la vida de fatiga por contacto de rodadura. De igual forma, la Figura 7 muestra la relación entre la vida de fatiga por contacto de rodadura y F_n1 expresado por medio de la Fórmula (1).

En la Figura 7, "2.E+06" y similares significan " $2,0 \times 10^6$ " y similares. En la Figura 7, también, el acero 1 viene indicado por medio de la marca "▲".

- 20 Se encontró que, como se muestra en la Figura 7, la vida de fatiga por contacto de rodadura está correlacionada con F_n1 expresado por medio de la Fórmula (1), y si F_n1 es 34 o más, la vida de fatiga por contacto de rodadura aumenta en un 40 % o más, en comparación con la vida de fatiga por contacto de rodadura del acero 1 que corresponde al acero de rueda para ferrocarril de "Clase C" de AAR.

25 Además, se llevó a cabo el ensayo de desgaste por medio del método mostrado esquemáticamente en la Figura 8 usando las muestras de ensayo de rueda mostradas en la Figura 5(a) de los aceros 1 a 24 y la muestra de ensayo de ferrocarril mostrada en la Figura 5(b) del acero 1. Para el ensayo de desgaste, se usó una máquina de ensayo de desgaste de tipo Nishihara.

30 Las condiciones de ensayo específicas fueron tensión hertziana: 2200 MPa, relación de deslizamiento: un 0,8 % y velocidad rotacional: 776 rpm sobre el lado de la rueda y 800 rpm sobre el lado del rail. Después de llevar a cabo el ensayo hasta un número de ciclos de 5×10^5 , se determinó la cantidad de desgaste a partir de la diferencia en masa de la muestra de ensayo antes y después del ensayo.

Adicionalmente, la Tabla 2 proporciona la cantidad de desgaste. De igual forma, la Figura 9 muestra la relación entre la cantidad de desgaste y F_n1 expresada por medio de la Fórmula (1). En la Figura 9 también, el acero 1 está indicado por medio de la marca "▲".

- 35 Se encontró que, como se muestra en la Figura 9, con tal de que la estructura sea una estructura perlítica, la cantidad de desgaste disminuye en proporción con F_n1 expresado por medio de la Fórmula (1), y si F_n1 es 34 o más, la cantidad de desgaste disminuye en un 10 % o más, en comparación con la cantidad de desgaste de la rueda 1, y por tanto la resistencia al desgaste se ve mejorada.

40 Por otra parte, si F_n1 supera 43, se forma una estructura bainítica al menos en una parte como se ha descrito con anterioridad. Se podría confirmar que en caso de que esté presente la estructura bainítica, incluso si aumenta F_n1 , la cantidad de desgaste no disminuye, y la resistencia al desgaste es más pobre que en el caso de que la estructura esté compuesta principalmente por perlita.

45 En Japan Railway & Technical Review, Vol. 19 (2005), N.º 9, p. 17, Kanetaka et al. Presentaron que a medida que aumenta el espesor de la capa templada de forma instantánea denominada capa blanca, aumenta la profundidad de la fisura y, por tanto, es probable que tenga lugar la descamación (aunque se describe como "descascarillado" en Review, esto significa "descamación").

Por consiguiente, los presentes inventores también llevaron a cabo estudios detallados sobre la influencia de la templabilidad tras la descamación.

- 50 A partir del informe de Kanetaka et al., se presume que, con un aumento de la templabilidad, aumenta el espesor de la capa blanca, y tiene lugar el inicio de la fisura, de forma que la vida de descamación disminuye. Por tanto, los presentes inventores examinaron la relación entre templabilidad y vida de inicio de fisuración en caso de formación de capa blanca.

Específicamente, se usaron las "muestras de ensayo de ruedas" que presentaban cada una de ellas una configuración mostrada en la Figura 4(a) de los aceros 1, 2, 5, 11, 12 y 14 descritos en la Tabla 1, y la "muestra de

ensayo de raíl" que tenía la configuración mostrada en la Figura 4(b) de acero 1. Se formó una capa blanca gruesa que condujo a descamación sobre la superficie de ensayo de la "muestra de ensayo de rueda" por medio de láser YAG, y posteriormente se llevó a cabo el ensayo de fatiga por contacto de rodadura para examinar la vida de inicio de fisuración (resistencia a la descamación). Las condiciones de calentamiento por láser YAG fueron potencia de salida del láser: 2500 W y tasa de alimentación: 1,2 ml/minuto, y la muestra de ensayo se enfrió al aire tras el calentamiento con láser.

Las condiciones del ensayo de fatiga por contacto de rodadura fueron tensión hertziana: 1100 MPa, relación de deslizamiento: un 0,28 % y velocidad rotacional: 100 rpm sobre el lado de la rueda y 60 rpm sobre el lado de raíl, y se llevó a cabo el ensayo en condiciones de lubricación. Hasta alcanzar un número de 2000 ciclos, se detuvo el ensayo cada 200 ciclos y en caso de que el número superara 2000 ciclos, se detuvo el ensayo cada 2000 ciclos para comprobar visualmente la presencia de fisuras sobre la superficie de la muestra de ensayo.

Como resultado de ello, se encontró que, como se muestra en las Figuras 10 y 11, con un aumento de F_n2 expresada por medio de la Fórmula (2) que está correlacionada con "M50%", que es el índice de templabilidad, el espesor de la capa blanca aumenta y, por consiguiente, la vida de inicio de fisuración disminuye de forma repentina.

Además, se encontró que cuando F_n2 supera 25, la vida de inicio de fisuración disminuye de forma extrema de tal forma que las fisuras pueden resultar apreciables incluso en la primera inspección visual (es decir, en la inspección visual en el momento en el que el número de ciclos alcanza la cifra de 200 ciclos).

A partir de los resultados anteriores, los presentes inventores han concluido que si la composición química del acero se hace tal que F_n2 expresado por medio de la Fórmula (2) es de 25 o menos, es posible evitar que la vida de descamación disminuya de forma extrema.

La presente invención se ha completado en base a los descubrimientos anteriormente descritos, y lo esencial de la misma se describe en las reivindicaciones.

Las impurezas a las que se hace referencia en la presente memoria son elementos que penetran en forma mezclada procedentes del mineral o la chatarra como materias primas de acero, el entorno del proceso de fabricación o similares, cuando se fabrica el material de acero desde el punto de vista industrial.

Ventaja de la invención

La rueda de acuerdo con la presente invención es excelente en cuanto a equilibrio entre resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación y tiene una larga vida. Específicamente, para la rueda de acuerdo con la presente invención que usa el acero para rueda como material, la cantidad de desgaste disminuye en un 10 a un 35 %, y la vida de fatiga por contacto de rodadura aumenta de 1,4 a 3,2 veces, en comparación con la rueda que usa el acero para rueda de ferrocarril de "Clase C" de AAR, y es menos probable que tenga lugar la descamación. Por tanto, el acero para rueda resulta extremadamente apropiado como material para rueda de ferrocarril usada en un entorno agreste de mayor distancia de operación y mayor capacidad de carga.

Breve descripción de los dibujos

La Figura 1 es una vista esquemática para explicar la "rueda de monobloque" como ejemplo de rueda.

La Figura 2 es un gráfico que muestra sistemáticamente la relación entre "dureza de 40 mm", que es la dureza C de Rockwell en una posición que dista 40 mm del extremo de enfriamiento de agua, y " F_n1 " que se expresa por medio de la Fórmula (1), para los aceros 1 a 24. En la presente figura, "bainita" indica que se forma la estructura de bainita en partes del acero.

La Figura 3 es un gráfico que muestra sistemáticamente la relación entre "M50 %" que es la distancia en unidades de milímetros desde el extremo de enfriamiento de agua a cuya distancia la fracción de estructura martensítica es de un 50 % a partir de la dureza de Jominy, y " F_n ", que se expresa por medio de la Fórmula (2), para los aceros 1 a 24.

La Figura 4 son vistas que muestran las configuraciones de una "muestra de ensayo de rueda" y una "muestra de ensayo de raíl" usadas en el ensayo de fatiga por contacto de rodadura, mostrando la Figura 4(a) la "muestra de ensayo de rueda" y la Figura 4(b) la "muestra de ensayo de raíl". En la presente figura, las unidades de dimensión son "mm".

La Figura 5 son vistas que muestran las configuraciones de una "muestra de ensayo de rueda" y una "muestra de ensayo de raíl" usadas en el ensayo de fatiga por contacto de rodadura, mostrando la Figura 5(a) la "muestra de ensayo de rueda" y la Figura 5(b) la "muestra de ensayo de raíl". En la presente figura, las unidades de dimensión son "mm".

La Figura 6 es una vista esquemática para explicar el método de ensayo de fatiga por contacto de rodadura que usa una muestra de ensayo de rueda mostrada en la Figura 4(a) y la muestra de ensayo de raíl mostrada en la

Figura 4(b).

La Figura 7 es un gráfico que muestra esquemáticamente la relación entre la vida de fatiga de contacto por rodadura y "Fn1" expresado por medio de la Fórmula (1). En la presente figura, "bainita" indica que se forma una estructura bainítica en partes del acero.

5 La Figura 8 es una vista esquemática para explicar un método de ensayo de desgaste usando la muestra de ensayo de rueda mostrada en la Figura 5(a) y la muestra de ensayo de rail mostrada en la Figura 5(b).

La Figura 9 es un gráfico que muestra sistemáticamente la relación entre la cantidad de desgaste y "Fn1" expresado por medio de la Fórmula (1). En la presente figura, "bainita" indica que se forma la estructura de bainita en partes del acero.

10 La Figura 10 es un gráfico que muestra sistemáticamente la relación entre el espesor de una capa blanca y "Fn2" expresado por medio de la Fórmula (2) para los aceros 1, 2, 5, 11, 12 y 14.

La Figura 11 es un gráfico que muestra sistemáticamente la relación entre vida de inicio de fisuración y "Fn2" expresado por medio de la Fórmula (2) para aceros 1, 2, 5, 11, 12 y 14.

15 La Figura 12 es una vista para explicar un dispositivo usado en los ejemplos para someter una rueda al denominado "templado instantáneo de la banda de rodadura".

La Figura 13 es una vista para explicar una posición de medición de dureza de Brinell de una rueda fabricada en los ejemplos.

La Figura 14 es una vista que explica una posición en la que se examinó la microestructura de la parte de llanta de una rueda fabricada en los ejemplos.

20 La Figura 15 es una vista que explica una posición en la que se examinó la microestructura de la parte de cubo de una rueda fabricada en los ejemplos.

La Figura 16 es una vista que explica una posición a partir de la cual se tomaron muestras de la muestra de ensayo de desgaste, muestra de ensayo de fatiga por contacto de rodadura y muestra de ensayo de Jominy, a partir de la rueda fabricada en los ejemplos. La muestra de ensayo de desgaste, la muestra de ensayo de fatiga por contacto de rodadura y la muestra de ensayo de Jominy se tomaron sobre la base de las posiciones indicadas por "a", "b" y "c", respectivamente, en la presente figura.

25

Mejor modo de llevar a cabo la invención

Los requisitos de la presente invención se explican con detalle. Un ideograma en "%" del contenido de cada elemento significa el "porcentaje en masa".

30 C: de un 0,65 a un 0,85 %

El carbono (C) aumenta la dureza y mejora la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura. Además, C es un elemento capaz de aumentar la dureza sin disminuir la resistencia a la descamación debido a que el aumento de la templabilidad resultante del aumento de contenido es ligero. Si el contenido de C es menor de un 0,65 %, no es posible obtener una dureza suficiente, y además la fracción de área de ferrita aumenta, de forma que la resistencia al desgaste disminuye. Por otra parte, si el contenido de C supera un 0,84 %, se forma cementita hipereutectoide en la parte de cubo de la rueda, de manera que la tenacidad y la vida de fatiga se ven disminuidas de forma extrema, lo cual no resulta favorable en términos de seguridad. Por tanto, el contenido de C fue de un 0,65 a un 0,84 %. Preferentemente, el contenido de C es de un 0,68 % o más y también de un 0,82 % o menos.

40 Si: de un 0,02 a un 0,40 %

El silicio (Si) es un elemento que aumenta la dureza disminuyendo los espacios entre las laminillas de perlita y por medio del fortalecimiento sólido-disolución de la ferrita en la estructura perlítica. Si el contenido de Si es menor de un 0,20 %, el efecto anteriormente descrito resulta insuficiente. Por otra parte, si el contenido de Si supera un 1,00 %, la tenacidad disminuye, y además, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación también disminuye. Por tanto, el contenido de Si fue de un 0,02 a un 0,40 %. El efecto de aumento de dureza de Si no es muy grande, por tanto, se puede añadir mucho Si con el fin de obtener un acero de elevada dureza. Por consiguiente, la templabilidad resulta fácil de aumentar. Por consiguiente, el contenido de Si es de un 0,40 % o menos.

45

Mn: de un 0,50 a un 1,90 %

El manganeso (Mn) es un elemento que aumenta la dureza a través de la disminución de los espacios entre las laminillas de perlita y por medio del fortalecimiento de sólido-disolución de la ferrita en la estructura perlítica. Además, Mn tiene la acción de restringir la fragilidad de frontera de grano por medio de la captura de S en el acero

50

para formar MnS. Si el contenido de Mn es menor de un 0,50 %, los efectos anteriormente descritos, especialmente el efecto de captura de S, resultan insuficientes. Por otra parte, si el contenido de Mn supera un 1,90 %, se forma la estructura bainítica y, con ello, se reduce la resistencia al desgaste, y además, aumenta la templabilidad y, con ello, también se ve reducida la resistencia a la descamación. Por tanto, el contenido de Mn fue de un 0,50 a un 1,90 %. El contenido de Mn es preferentemente de un 1,40 % o menos.

Cr: de un 0,02 a un 0,50 %

El cromo (Cr) logra un efecto de aumento notable de la dureza de perlita a través de la disminución de los espacios entre las laminillas de perlita. Si el contenido de Cr es menor de un 0,02 %, el efecto resulta insuficiente. Por otra parte, si el contenido de Cr supera un 0,50 %, es menos probable que los carburos formen una disolución de sólidos en austenita en el momento de calentamiento, y se forman carburos no disueltos dependiendo de las condiciones de calentamiento, de manera que la dureza, tenacidad, resistencia a la fatiga y similares se pueden ver disminuidas. Además, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación disminuye. Por tanto, el contenido de Cr fue de un 0,02 a un 0,50 %. Preferentemente, el contenido de Cr es de un 0,05 % o más y también de un 0,45 % o menos.

V: de un 0,02 a un 0,20 %

El vanadio (V) logra un efecto de aumento notable de la dureza de perlita por medio de precipitación en la ferrita en perlita en forma de carburos de V. Si el contenido de V es menor de un 0,02 %, el efecto resulta insuficiente. Por otra parte, incluso si V tiene un contenido superior a un 0,20 %, por medio de tratamiento térmico ordinario, la dureza se satura y el coste aumenta, y adicionalmente, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación disminuye. Por tanto, el contenido de V fue de un 0,02 a un 0,20 %. El contenido de V es preferentemente de un 0,03 % o más y también de un 0,15 % o menos.

S: un 0,04 % o menos

El azufre (S) es una impureza presente en el acero. También, en caso de que S esté presente positivamente, aunque la influencia sobre la dureza y la templabilidad sea pequeña, se logra un efecto de mejora de la maquinabilidad. Si el contenido de S supera un 0,04 %, la tenacidad disminuye. Por tanto, el contenido de S es de un 0,04 % o menos. El contenido de S es preferentemente de un 0,03 % o menos. Con el fin de lograr el efecto de mejora de la maquinabilidad, el contenido de S es preferentemente de un 0,005 % o más.

Fn1: de 35 a 43

Para el acero para ruedas de acuerdo con la presente invención, Fn1 expresado por medio de la Fórmula 1 debe ser de 35 a 43.

$$Fn1 = 2,7 + 29,5 \times C + 2,9 \times Si + 6,9 \times Mn + 10,8 \times Cr + 30,3 \times Mo + 44,3 \times V \dots (1)$$

en la que C, Si, Mn, Cr, Mo y V significan cada uno de ellos en contenido en porcentaje en masa del elemento.

Si Fn1 es menor de 34, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura apenas mejoran en comparación con el acero para rueda de ferrocarril de "Clase C" de AAR y en algunos casos, la resistencia se vuelve menor que la del acero para rueda de ferrocarril de "Clase C". Por tanto, resulta difícil usar este acero como material para la rueda de ferrocarril usada en un entorno muy agreste de mayor distancia de operación y mayor capacidad de carga.

Por otra parte, si Fn1 supera 43, es menos probable la obtención de la estructura compuesta principalmente por perlita y la resistencia al desgaste disminuye. Además, dado que la dureza aumenta demasiado, la tenacidad disminuye.

Cuando Fn1 es 34 o más, la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura aumenta en un 40 % o más, en comparación con el acero para rueda de ferrocarril de "Clase C" de AAR. La resistencia mejora en un 50 % o más cuando Fn1 es 35 o más, y se mejora en un 70 % o más cuando Fn1 es 36 o más. Fn1 es de 35 a 43.

Fn2: 25 o menos

Para el acero para ruedas de acuerdo con la presente invención, Fn2 expresado por medio de la Fórmula (2) debe ser 25 o menos.

$$Fn2 = \exp(0,76) \times \exp(0,05 \times C) \times \exp(1,35 \times Si) \times \exp(0,38 \times Mn) \times \exp(0,77 \times Cr) \times \exp(3,0 \times Mo) \times \exp(4,6 \times V) \dots (2)$$

en la que C, Si, Mn, Cr, Mo y V significan cada uno el contenido en porcentaje en masa del elemento.

Si Fn2 supera 25, aumenta la templabilidad, y disminuye la resistencia a la descamación. Fn2 es preferentemente 20 o menos, y más preferentemente 15 o menos.

Si F_{n2} es menor de 3, resulta difícil hacer que F_{n1} expresado por medio de la Fórmula (1) sea 34 o más. Por tanto, F_{n2} es preferentemente 3 o más.

Uno de los aceros para ruedas de acuerdo con la presente invención tiene una composición química que consiste en los elementos anteriormente descritos y el equilibrio consiste en Fe e impurezas.

- 5 En la presente invención, las impurezas contienen P: un 0,05 % o menos, Cu: un 0,20 % o menos, y Ni: un 0,20 % o menos.

A continuación, se explican estos elementos.

P: un 0,05 % o menos

- 10 El fósforo (P) es una impureza presente en el acero. Si el contenido de P supera un 0,05 %, la tenacidad disminuye. Por tanto, el contenido de P en las impurezas es de un 0,05 % o menos. Preferentemente, el contenido de P es de un 0,025 % o menos.

Cu: un 0,20 % o menos

- 15 El cobre (Cu) es una impureza presente en el acero. Si el contenido de Cu supera un 0,20 %, aumenta el número de defectos superficiales formados en el momento de fabricación, y además, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación disminuye. Por tanto, el contenido de Cu en las impurezas es de un 0,20 % o menos. El contenido de Cu es preferentemente de un 0,10 % o menos.

Ni: un 0,20 % o menos

- 20 El níquel (Ni) es una impureza presente en el acero. Si el contenido de Ni supera un 0,20 %, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación disminuye. Por tanto, el contenido de Ni en las impurezas es de un 0,20 % o menos. El contenido de Ni es preferentemente de un 0,10 % o menos.

Como otra composición química del acero para ruedas de acuerdo con la presente invención, puede estar presente el siguiente contenido de Mo según sea necesaria en lugar de una parte de Fe.

Mo: un 0,20 % o menos

- 25 El molibdeno (Mo) puede estar presente debido a que tiene acción para aumentar la dureza de perlita. No obstante, si el contenido de Mo supera un 0,20 %, se forma una estructura bainítica y la resistencia al desgaste disminuye, y además, la templabilidad aumenta y la resistencia a la descamación disminuye. Por tanto, el contenido de Mo en caso de estar presente es de un 0,20 % o menos. El contenido de Mo en caso de estar presente es preferentemente de un 0,07 % o menos.

- 30 Por otra parte, con el fin de lograr de forma estable los efectos anteriormente descritos de Mo, el contenido de Mo es preferentemente de un 0,02 % o más.

A modo de otra composición química del acero para rueda de acuerdo con la presente invención, el siguiente contenido de Al puede estar presente según sea necesario en lugar de una parte de Fe.

Al: un 0,20 % o menos

- 35 El aluminio (Al) puede estar presente debido a que logra un efecto de refinado del tamaño de grano y, con ello, de mejora de la tenacidad. No obstante, si el contenido de Al supera un 0,20 %, la cantidad de inclusiones gruesas aumenta, de modo que la tenacidad y la resistencia a la fatiga disminuyen. Por tanto, el contenido de Al en caso de estar presente es de un 0,20 % o menos. El contenido de Al en caso de estar presente es preferentemente de un 0,15 % o menos.

- 40 Por otra parte, con el fin de lograr de forma estable el efecto de refinado del tamaño de grano de Al, el contenido de Al es preferentemente de un 0,002 % o más.

- 45 Para la microestructura de la rueda que usa el acero para rueda de acuerdo con la presente invención como material, la fracción de área de estructura perlítica de la parte de llanta de la misma es un 95 % o más, y un 100 % de la estructura perlítica resulta lo más deseable. El motivo para esto es que una estructura diferente de perlita, tal como una estructura ferrítica y una estructura bainítica, tiene baja resistencia al desgaste, y resulta deseable que la fracción total en área de las estructuras diferentes de perlita sea de un 5 % o menos. Además, una estructura en la cual cementita hipereutectoide no precipita resulta deseable. El motivo para ello es que la precipitación de la cementita hipereutectoide disminuye la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura.

- 50 Resulta deseable que la parte de cubo de la rueda tenga la misma estructura que la parte de llanta, aunque no supone un problema especial incluso si la fracción en área de las estructuras diferentes de perlita superan un 5 %. No obstante, una estructura en la que la cementita hipereutectoide no precipita resulta deseable. El motivo para esto

es que, en algunos casos, la precipitación de la cementita hipereutectoide conduce a una disminución extrema de la tenacidad y la vida de fatiga. Al menos, se debe evitar la formación de cementita hipereutectoide observada al microscopio óptico.

- 5 La rueda que usa el acero para ruedas de acuerdo con la presente invención como material se puede fabricar llevando a cabo de forma sucesiva el tratamiento descrito, por ejemplo, en los siguientes puntos (1) a (3). Tras el tratamiento del punto (3), se lleva a cabo el tratamiento de atemperado.

(1) Fusión y colada del acero

- 10 Tras la fusión en un horno eléctrico, un convertidor o similar, se cuela el material para dar lugar a un lingote. El lingote puede ser una pieza colada obtenida por medio de colada continua, o puede ser un lingote colado en un molde.

(2) Conformación para dar lugar a una rueda

- 15 Para obtener una configuración de rueda predeterminada, se conforma el lingote para dar lugar directamente a una rueda, o por medio de un método apropiado, tal como forjado en caliente o maquinizado, después de haber fabricado una plancha. El lingote se puede conformar para dar lugar a una configuración de rueda, directamente por medio de colada, pero resulta deseable que el lingote no se someta a forjado en caliente.

(3) Templado instantáneo de la banda de rodadura

- 20 Se emplea un método de templado instantáneo en el que tiene lugar la tensión residual compresiva en la parte de llanta, tal como el "proceso de templado instantáneo de la banda de rodadura". La temperatura de calentamiento en el templado instantáneo está entre el punto A_{c3} y (punto $A_{c3} + 250$ °C). Si la temperatura de calentamiento es menor que el punto A_{c3} , la estructura no se transforma en austenita, y en ciertos casos, no es posible obtener perlita que tenga una elevada dureza por medio de enfriamiento tras el calentamiento. Por otra parte, si la temperatura de calentamiento supera (punto $A_{c3} + 250$ °C), el tamaño de grano se engrosa, de modo que la tenacidad en ocasiones se ve disminuida, lo cual no resulta favorable en términos de rendimiento de la rueda.

- 25 El enfriamiento tras el calentamiento se lleva a cabo preferentemente por medio de un método apropiado tal como enfriamiento en agua, enfriamiento en aceite, enfriamiento con niebla o enfriamiento con aire, dando el tamaño de la rueda, la instalación y similares, de modo que se pueda obtener la estructura anteriormente descrita en la rueda.

A continuación, se explica la presente invención más específicamente mediante el uso de ejemplos. No obstante, la presente invención no está limitada a estos ejemplos.

Realización

- 30 Después de haber fundido los aceros 25 a 46 que tenían los componentes químicos proporcionados en la Tabla 3 en un horno eléctrico, se coló cada uno de los aceros fundidos en un molde que tenía un diámetro de 513 mm para producir lingotes.

- 35 Los aceros 29, 31, 34 y 40 son aceros de las realizaciones de ejemplo de la presente invención en los que la composición química se encuentra dentro del intervalo definido en la presente invención. Por otra parte, los aceros 25 a 27, 30, 32 y 35 a 37 son aceros de los ejemplos comparativos en los que la composición química se desvía de las condiciones definidas en la presente invención. Los aceros 28, 33, 38, 39 y 41 a 46 son ejemplos de referencia.

Entre los aceros de los ejemplos comparativos, el acero 25 es un acero que corresponde al acero de rueda para ferrocarril de "Clase C" de AAR.

Tabla 3

Acero	Composición química (% en masa) Equilibrio: Fe e impurezas												
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	Al	Fn1	Fn2
25	0,69	0,29	0,78	0,012	0,008	0,01	0,02	0,09	-	*-	0,024	*30,25	4,7
26	*0,58	0,31	0,82	0,014	0,009	0,02	0,03	0,07	-	0,16	0,024	34,21	10,1
27	*0,87	0,29	0,81	0,011	0,008	0,02	0,02	0,07	-	*-	0,015	35,55	4,7
28	0,72	0,98	0,83	0,016	0,009	0,03	0,02	0,18	-	0,06	0,023	37,11	17,3
29	0,73	0,25	1,39	0,014	0,009	0,03	0,03	0,11	-	0,08	0,019	39,28	8,3
30	0,71	0,97	0,88	0,017	0,010	0,02	0,03	0,43	0,02	0,09	0,027	41,77	*25,6
31	0,73	0,28	0,82	0,013	0,012	0,03	0,02	0,17	0,07	0,09	0,018	38,65	9,4
32	0,71	0,32	0,83	0,014	0,009	0,02	0,02	0,07	*0,30	*-	0,014	40,15	12,1

33	0,75	0,31	0,83	0,013	0,011	0,02	0,02	0,14	-	0,04	0,015	34,74	6,2
34	0,71	0,29	0,81	0,014	0,008	0,02	0,03	0,09	-	0,11	0,016	35,92	7,9
35	0,66	0,29	0,68	0,013	0,012	0,03	0,02	0,05	-	0,03	0,023	*29,57	5,1
36	0,79	0,31	0,80	0,011	0,009	0,02	0,03	0,20	0,10	0,18	0,015	*45,59	16,5
37	0,71	*1,02	0,82	0,015	0,007	0,03	0,02	0,07	0,10	0,10	0,017	40,48	* 27,1
38	0,74	0,80	0,83	0,014	0,008	0,03	0,02	0,44	0,02	0,11	0,037	42,81	22,1
39	0,75	0,48	0,82	0,014	0,009	0,02	0,03	0,42	-	0,07	0,031	39,51	11,1
40	0,76	0,21	0,81	0,015	0,008	0,03	0,02	0,39	-	0,10	0,034	39,96	8,6
41	0,76	0,81	0,79	0,013	0,032	0,03	0,02	0,18	-	0,11	0,042	39,74	17,1
42	0,72	0,48	0,83	0,012	0,037	0,03	0,03	0,31	-	0,08	0,024	37,95	10,7
43	0,73	0,48	0,80	0,014	0,012	0,09	0,02	0,28	-	0,09	-	38,16	10,8
44	0,71	0,47	0,83	0,015	0,010	0,02	0,08	0,26	-	0,09	-	37,53	10,6
45	0,73	0,47	0,80	0,017	0,008	0,02	0,02	0,30	-	0,09	0,092	38,35	10,8
46	0,72	0,47	0,81	0,014	0,011	0,03	0,02	0,10	0,05	0,05	-	35,70	9,0
Fn1 = 2,7 + 29,5 × C + 2,9 × Si + 6,9 × Mn + 10,8 × Cr + 30,3 × Mo + 44,3 × V													
Fn2 = exp (0,76) × exp (0,05 × C) × exp (1,35 × Si) × exp (0,38 × Mn) × exp (0,77 × Cr) × exp (3,0 × Mo) × exp (4,6 × V)													
* la marca indica que la composición química se desvía de las condiciones definidas en la presente invención.													

Se cortó el lingote de cada acero con una longitud de 300 mm, y tras haber calentado a 1200 °C, se forjó en caliente el lingote cortado por medio del método ordinario, de modo que se fabricó una rueda que tenía un diámetro de 965 mm. Esta rueda tiene la configuración, de "AAR TIPO:B-38" descrita en las normas M-107/M-207 de AAR.

- 5 A continuación, tras haber calentado a 900 °C durante 2 horas, se trató térmicamente cada una de las ruedas por medio de un método en el que, usando el dispositivo mostrado en la Figura 12, se enfrió la rueda por medio de agua de pulverización procedente de boquillas al tiempo que se hizo rotar la rueda (denominado "proceso de templado instantáneo de la banda de rodadura").

- 10 Tras el tratamiento térmico anteriormente descrito, se llevó a cabo el tratamiento de atemperado (tratamiento en el que la rueda se mantiene en 500 °C durante 2 horas y posteriormente se enfría en la atmósfera).

Sobre la rueda fabricada de este modo, se llevaron a cabo el ensayo de dureza de la parte de llanta, el examen de microestructura de la parte de llanta y la parte de cubo, el ensayo de desgaste, el ensayo de fatiga por contacto de rodadura y el ensayo de Jominy. En cada ensayo, los resultados de ensayo estuvieron basados en el signo de ensayo A que usaba acero 25.

- 15 [1] Ensayo de dureza de la parte de llanta

Para cada acero, como se muestra en la Figura 13, se midió la dureza de Brinell (a continuación, referida como "HBW") en una posición distante 40 mm de la banda de rodadura en la parte central de la banda de rodadura de la parte de llanta.

- [2] Examen de microestructura de la parte de llanta

- 20 Para cada acero, como se muestra en la Figura 14, se examinó la microestructura en una posición distante 40 mm de la banda de rodadura en la parte central de la banda de rodadura de la parte de llanta. Se sometió a corrosión la posición con nital y se observó la microestructura al microscopio óptico a 400 aumentos.

- 25 En el caso en el que la microestructura presentara estructura ferrítica o bainítica, se midió la fracción de área de la misma. Si la fracción de área fue de un 5 % o más, se reconoció la microestructura como microestructura que contenía ferrita o bainita. En caso de que ferrita o bainita estuvieran presentes, se escribieron "P + F" o "P + B" en la Tabla 4 descrita a continuación.

- [3] Examen de microestructura de la parte de cubo

- 30 Para cada acero, como se muestra en la Figura 15, se examinó la microestructura en una posición en el centro de la parte de cubo. Se sometió a corrosión la posición con nital y se observó la microestructura del mismo modo que en la parte de llanta.

[4] Ensayo de desgaste

Para cada acero, como se muestra en la Figura 16, sobre la base de la posición que dista 40 mm de la banda de rodadura en la parte central de la banda de rodadura de la parte de llanta (la posición indicada por "a" en la Figura 16), se tomó una muestra de la "muestra de ensayo de rueda" (una muestra de ensayo que tenía la configuración, mostrada en la Figura 5(a)) usada para el ensayo de desgaste.

Por medio del uso de la "muestra de ensayo de rueda" de cada uno de los aceros 25 a 46 y la "muestra de ensayo de rail" de acero anteriormente mencionada, se llevó a cabo el ensayo de desgaste usando una máquina de ensayo de desgaste de tipo Nishihara en las mismas condiciones que las de los aceros 1 a 24 para determinar la cantidad de desgaste.

Específicamente, se llevó a cabo el ensayo de desgaste en las condiciones de tensión hertziana: 2200 MPa, relación de deslizamiento: un 0,8 %, y velocidad rotacional: 776 rpm sobre el lado de la rueda y 800 rpm sobre el lado del rail, y después de haber llevado a cabo el ensayo hasta un número de ciclos de 5×10^5 , se determinó la cantidad de desgaste a partir de la diferencia de masa de la muestra de ensayo antes y después del ensayo.

[5] Ensayo de fatiga por contacto de rodadura

Para cada nivel, como se muestra en la Figura 16, sobre la base de la posición de 40 mm distante de la banda de rodadura en la parte central de la banda de rodadura de la parte de llanta (la posición indicada por "b" en la Figura 16), se tomó muestra de la "muestra de ensayo de rueda" (una muestra de ensayo que tenía la configuración mostrada en la Figura 4(a)) usada para el ensayo de fatiga por contacto de rodadura.

Por medio del uso de esta "muestra de ensayo de rueda", se llevó a cabo el ensayo de fatiga por contacto de rodadura en las mismas condiciones que para los aceros 1 a 24 para determinar la vida de fatiga por contacto de rodadura.

Específicamente, mediante el uso de la "muestra de ensayo de rueda" de cada uno de los aceros 25 a 46 y la "muestra de ensayo de rail" de acero anteriormente mencionada, se llevó a cabo el ensayo de fatiga por contacto de rodadura en las condiciones de tensión hertziana: 1100 MPa, relación de deslizamiento: un 0,28 %, velocidad rotacional: 1000 rpm sobre el lado de rueda y 602 rpm sobre el lado de rail, y bajo lubricación de agua, y se evaluó el número de ciclos en los que se detectó 0,5G por medio de un acelerómetro como la vida de fatiga por contacto de rodadura.

[6] Ensayo de Jominy

Para cada acero, como se muestra en la Figura 16, sobre la base de la posición de 40 mm distante de la banda de rodadura en la parte central de la banda de rodadura de la parte de llanta (la posición indicada por "c" en la Figura 16), se tomó una muestra de la muestra de ensayo de Jominy y se llevó a cabo el ensayo de Jominy en las mismas condiciones que para los aceros 1 a 24 para determinar el "M50 %".

Específicamente, se sometió a austenización la muestra de ensayo a 900 °C durante 30 minutos en la atmósfera, y se sometió posteriormente a enfriamiento final. A continuación, se midió la distribución de dureza hasta una posición de 50 mm distante del extremo de enfriamiento de agua tras el corte paralelo de 1,0 mm, y de este modo se determinó "M50 %" por medio del mismo método que se ha descrito con anterioridad.

La Tabla 4 proporciona sistemáticamente los resultados de ensayo.

Tabla 4

Signo de ensayo	Acero	Dureza de la parte de llanta (HBW)	Estructura de la parte de llanta		Estructura de la parte de cubo		Cantidad de desgaste (g)	Vida de fatiga por contacto de rodadura (ciclo)	M 50% (mm)	Observaciones
			Fase	(Hiper-eutética θ)	Fase	(cementita hipereutectoide)				
A	*25	318	P	Ausente	P	Ausente	0.318	1865869	5.2	Base
B	*26	351	P+F	Ausente	P+F	Ausente	0.343	2773396	11.4	Ejemplo Comparativo
C	*27	360	P	Ausente	P	Presente	0.274	3205980	5.3	Ejemplo Comparativo
D	28	363	P	Ausente	P	Ausente	0.263	3363547	17.2	Realización de ejemplo de la presente invención
E	29	392	P	Ausente	P	Ausente	0.212	4623395	7.8	Realización de ejemplo de la presente invención
F	*30	405	P	Ausente	P	Ausente	0.219	5118336	25.9	Ejemplo Comparativo
G	31	376	P	Ausente	P	Ausente	0.239	4182543	8.4	Realización de ejemplo de la presente invención
H	*32	391	P+B	Ausente	P+B	Ausente	0.311	4706338	11.7	Ejemplo Comparativo
I	33	348	P	Ausente	P	Ausente	0.265	3129876	6.9	Realización de ejemplo de la presente invención
J	34	373	P	Ausente	P	Ausente	0.256	3848436	9.0	Realización de ejemplo de la presente invención
K	*35	308	P	Ausente	P	Ausente	0.331	1722439	5.5	Ejemplo Comparativo
L	*36	415	P+B	Ausente	P+B	Ausente	0.327	5777157	18.3	Ejemplo Comparativo
M	*37	402	P	Ausente	P	Ausente	0.208	5280593	27.8	Ejemplo Comparativo
N	38	401	P	Ausente	P	Ausente	0,202	5466597	23,6	Realización de ejemplo de la presente invención
O	39	385	P	Ausente	P	Ausente	0,221	4212039	11,3	Realización de ejemplo de la presente invención
P	40	389	P	Ausente	P	Ausente	0,214	4975350	9,5	Realización de ejemplo de la presente invención
Q	41	385	P	Ausente	P	Ausente	0,215	4458924	17,2	Realización de ejemplo de la presente invención
R	42	382	P	Ausente	P	Ausente	0,238	3975456	11,4	Realización de ejemplo de la presente invención
S	43	375	P	Ausente	P	Ausente	0,239	4373751	11,9	Realización de ejemplo de la presente invención
T	44	371	P	Ausente	P	Ausente	0,245	3864426	11,5	Realización de ejemplo de la presente invención
U	45	378	P	Ausente	P	Ausente	0,247	3808409	10,2	Realización de ejemplo de la presente invención
V	46	359	P	Ausente	P	Ausente	0,271	3123496	10,6	Realización de ejemplo de la presente invención

"P", "F", "B" y "θ" en las columnas de estructura de la parte de llanta y la parte de cubo significa perlita, ferrita, bainita y cementita, respectivamente.

* la marca indica que la composición química se desvía de las condiciones definidas en la presente invención.

Como resulta evidente a partir de la Tabla 4, para los signos de ensayo E, G, J y P de las realizaciones de ejemplo de la presente invención en las que se usa el acero cuya composición química cumple las condiciones definidas en la presente invención, la resistencia al desgaste y la resistencia a la fatiga por contacto de rodadura fueron excelentes en comparación con el signo de ensayo A, que es la base que usa el acero 25 que corresponde al acero de rueda para ferrocarril de la "Clase C" de AAR.

Todos los valores de Fn2 de los aceros usados para los signos de ensayo de las realizaciones de ejemplo de la presente invención fueron menores de 25. Por tanto, se presume que la templabilidad es baja y la resistencia a la descamación resulta excelente.

Por el contrario, para el signo de ensayo B del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 26 cuyo contenido C es tan bajo como un 0,58 %, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, se formó un 5 % o más de ferrita en la estructura, y la cantidad de desgaste fue grande.

Para el signo de ensayo C del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 27 cuyo contenido de C es tan elevado como un 0,87 % y que no contiene V, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, se observó cementita hipereutectoide en la parte de cubo.

Para el signo de ensayo F del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 30 cuyo Fn2 es tan elevado como 25,6, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, la templabilidad resultó elevada. Por tanto, se presume que la resistencia a la descamación es pobre.

Para el signo de ensayo H del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 32 cuyo contenido de Mo es tan elevado como un 0,30 % y que no contiene V, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, se formó un 5 % o más de bainita, de forma que la cantidad de desgaste fue grande.

Para el signo de ensayo K del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 35 cuyo Fn1 es tan bajo como 29,57, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, la dureza de la parte de llanta fue tan baja como 308 en HBW, de forma que la cantidad de desgaste fue grande. Además, la vida de fatiga de contacto por rodadura también fue reducida.

Para el signo de ensayo L del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 36 cuyo Fn1 es tan elevado como 45,59, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, se formó un 5 % o más de bainita en la estructura, de forma que la cantidad de desgaste fue grande.

Para el signo de ensayo M del ejemplo comparativo en el que se usa el acero 37 cuyo contenido de Si y Fn2 son tan elevados como un 1,02 % y 27,1, respectivamente, que se desvía de las condiciones definidas en la presente invención, la templabilidad fue elevada. Por tanto, se presume que la resistencia a la descamación es pobre.

Aplicabilidad industrial

La rueda de acuerdo con la presente invención resulta excelente en cuanto a equilibrio entre resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga por contacto de rodadura y resistencia a la descamación, y tiene una vida larga. Específicamente, para la rueda de acuerdo con la invención que usa el acero para ruedas como material, la cantidad de desgaste disminuye en un 10 a un 35 %, y la vida de fatiga por contacto de rodadura aumenta de 1,4 a 3,2 veces, en comparación con la rueda que usa el acero para rueda de ferrocarril de "Clase C" de AAR, y la descamación es menos probable que suceda. Por tanto, la rueda de acuerdo con la presente invención resulta extremadamente apropiada para una rueda de ferrocarril usada en un entorno muy agreste de mayor distancia de operación y mayor capacidad de carga.

REIVINDICACIONES

1.- Una rueda que tiene una composición química que consiste en, porcentaje en masa, C: de un 0,65 a un 0,84 %, Si: de un 0,02 a un 0,40 %, Mn: de un 0,50 a un 1,90 %, Cr: de un 0,02 a un 0,50 %, V: de un 0,02 a un 0,20 %, y S: un 0,04 % o menos, opcionalmente al menos uno seleccionado entre un 0,20 % o menos de Mo, un 0,20 % o menos de Al, Cu: un 0,20 % o menos, y Ni: un 0,20 % o menos, en la que Fn1 expresado por medio de la Fórmula (1) es de 35 a 43 y Fn2 expresado por medio de la Fórmula (2) es de 25 o menos, siendo el equilibrio Fe e impurezas, y conteniendo las impurezas P: un 0,05 % o menos;

$$Fn\ 1 = 2,7 + 29,5 \times C + 2,9 \times Si + 6,9 \times Mn + 10,8 \times Cr + 30,3 \times Mo + 44,3 \times V \dots (1)$$

$$Fn2 = \exp(0,76) \times \exp(0,05 \times C) \times \exp(1,35 \times Si) \times \exp(0,38 \times Mn) \times \exp(0,77 \times Cr) \times \exp(3,0 \times Mo) \times \exp(4,6 \times V) \dots (2)$$

en las Fórmula (1) y (2), C, Si, Mn, Cr, Mo y V significan cada uno de ellos el contenido en porcentaje en masa del elemento,

en la que la fracción de área de estructura perlítica de una parte de llanta de la rueda es un 95 % o más.

2.- La rueda de acuerdo con la reivindicación 1, que es una rueda para ferrocarril.

3.- La rueda de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el contenido es al menos uno de (a) a (e):

(a) el contenido de C es un 0,68 % o más y un 0,82 % o menos;

(b) el contenido de Mn es de un 1,40 % o menos;

(c) el contenido de Cr es un 0,05 % o más y un 0,45 % o menos;

(d) el contenido de V es un 0,02 % o más y un 0,15 % o menos;

(e) el contenido de S es un 0,03 % o menos y/o un 0,005 % o más.

4.- La rueda de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que Fn1 es 36 o más.

5.- La rueda de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que Fn2 es 3 o más y/o 15 o menos.

6.- La rueda de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el contenido de Mo es de un 0,07 % o menos y/o un 0,02 % o más.

7.- La rueda de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones anteriores, en la que el contenido de Al es de un 0,15 % o menos y/o un 0,002 % o más.

8.- Método de fabricación de una rueda de acuerdo con la reivindicación 1, llevando a cabo de forma sucesiva las etapas de:

(1) fundir un acero que tiene una composición química que consiste en, en porcentaje en masa, C: de un 0,65 a un 0,84 %, Si: de un 0,02 a un 0,40 %, Mn: de un 0,50 a un 1,90 %, Cr: de un 0,02 a un 0,50 %, V: de un 0,02 a un 0,20 %, y S: un 0,04 % o menos, opcionalmente al menos uno seleccionado entre un 0,20 % o menos de Mo, un 0,20 % o menos de Al, Cu: un 0,20 % o menos, y Ni: un 0,20 % o menos, en el que Fn1 expresado por medio de la Fórmula (1) como se define en la reivindicación 1 es de 35 a 43, y Fn2 expresado por medio de la Fórmula (2) como se define en la reivindicación 1 es 25 o menos, siendo el equilibrio Fe e impurezas, y las impurezas conteniendo P: un 0,05 % o menos; y colar el acero para dar lugar a un lingote;

(2) conformar el lingote para dar lugar a una rueda por medio de forjado en caliente;

(3) Templar instantáneamente la banda de rodadura de la rueda por medio de calentamiento de la misma a una temperatura entre el punto Ac3 y el punto Ac3 + 250 °C, y enfriar;

(4) Atemperar la rueda.

9.- El método de acuerdo con la reivindicación 8, en el que la rueda es una rueda de ferrocarril.

10.- El método de acuerdo con la reivindicación 8 o 9, en el que el contenido es al menos uno de (a) a (e):

(a) el contenido de C es un 0,68 % o más y un 0,82 % o menos;

(b) el contenido de Mn es de un 1,40 % o menos;

- (c) el contenido de Cr es un 0,05 % o más y un 0,45 % o menos;
- (d) el contenido de V es un 0,02 % o más y un 0,15 % o menos;
- (e) el contenido de S es un 0,03 % o menos y/o un 0,005 % o más.

11.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 10, en el que Fn1 es 36 o más.

5 12.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 11, en el que Fn2 es 3 o más y/o 15 o menos.

13.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 12, en el que el contenido de Mo es un 0,07 % o menos y/o un 0,02 % o más.

10 14.- El método de acuerdo con una cualquiera de las reivindicaciones 8 a 13, en el que el contenido de Al es un 0,15 % o menos y/o un 0,002 % o más.

Figura 1

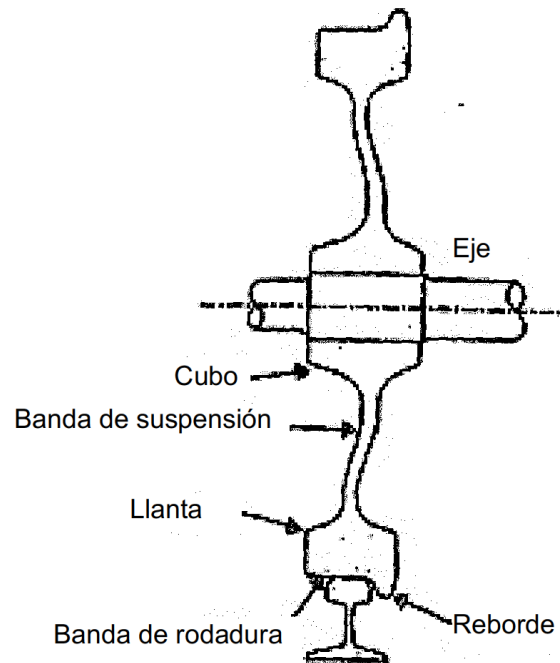


Figura 2

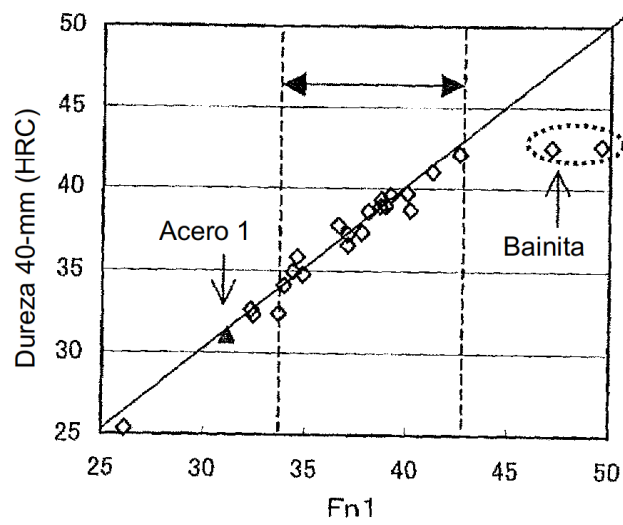


Figura 3

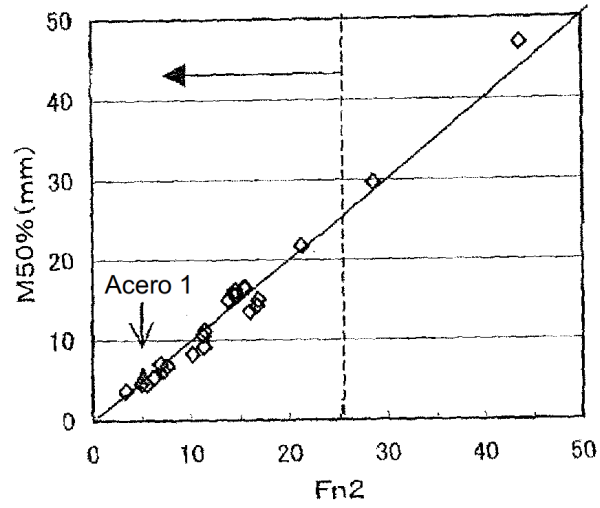


Figura 4

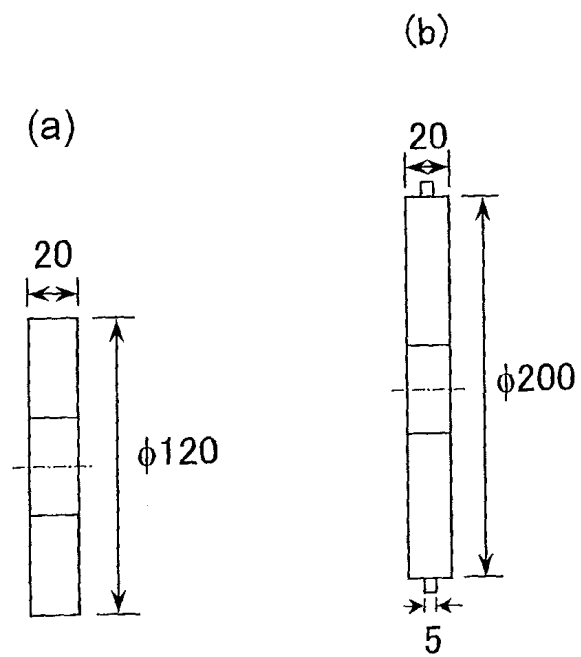


Figura 5

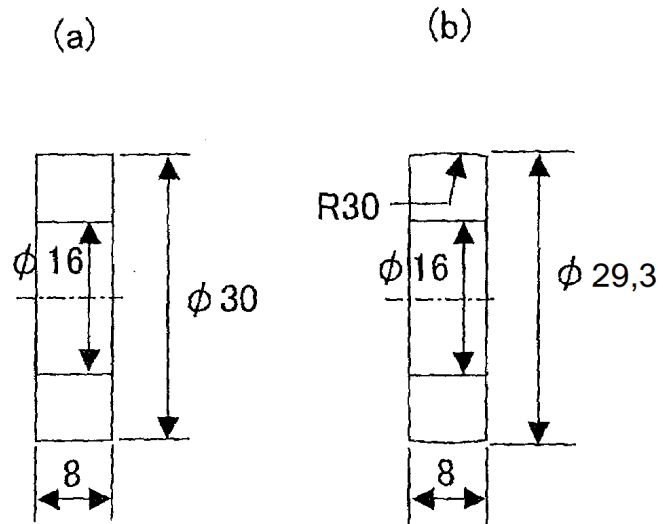


Figura 6

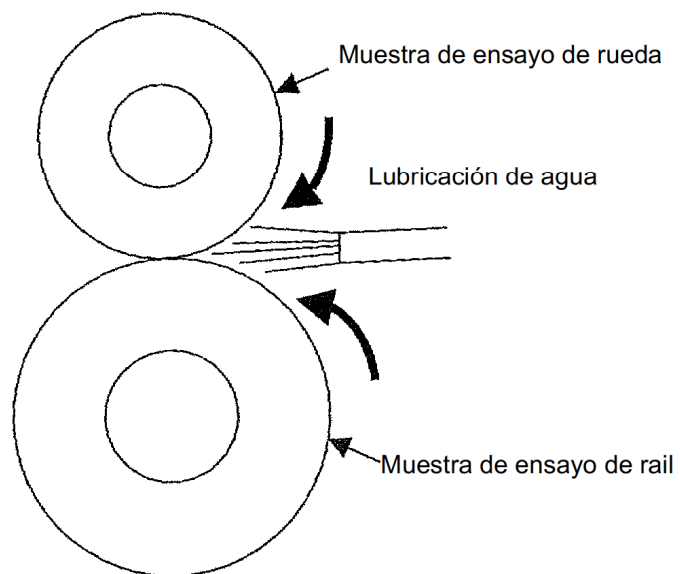


Figura 7

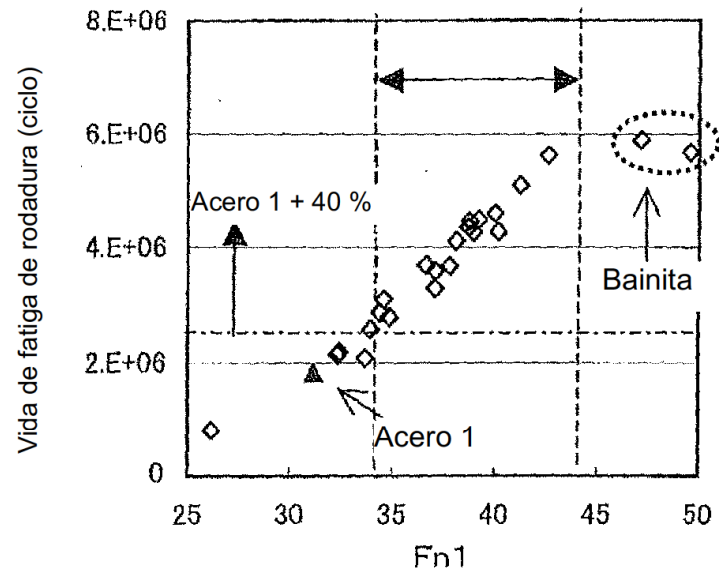


Figura 8

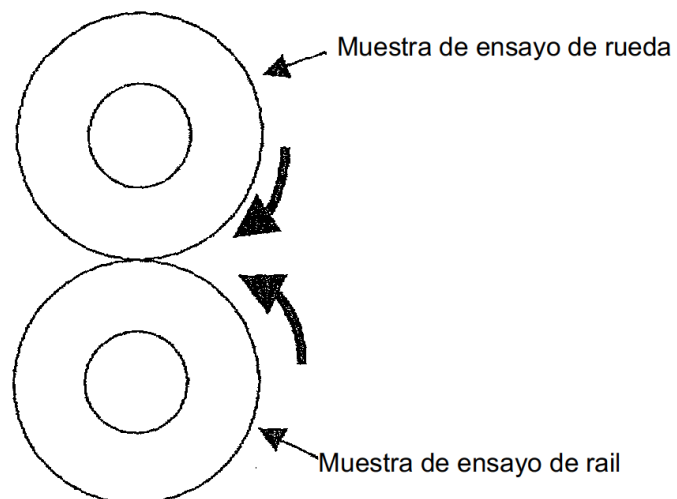


Figura 9

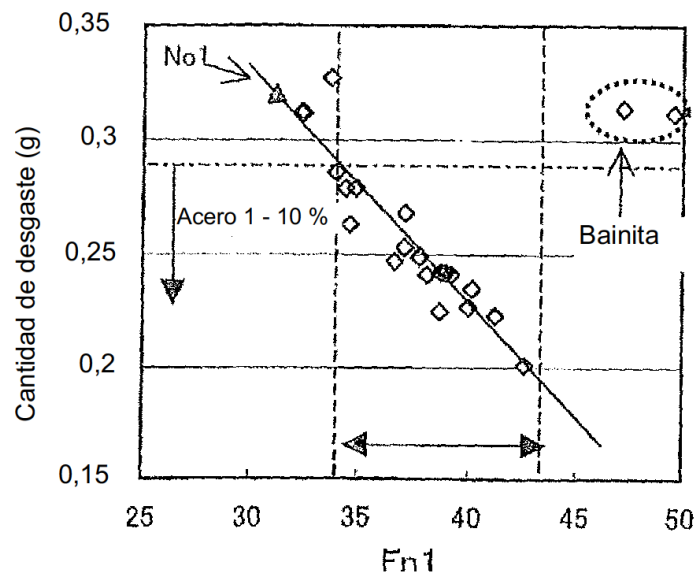


Figura 10

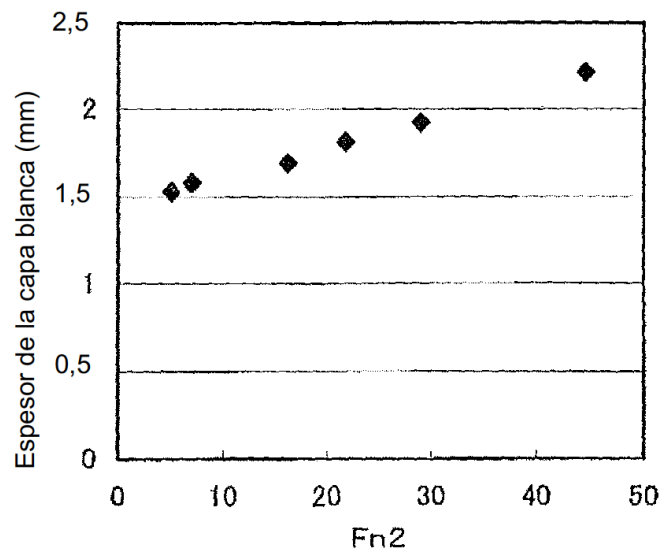


Figura 11

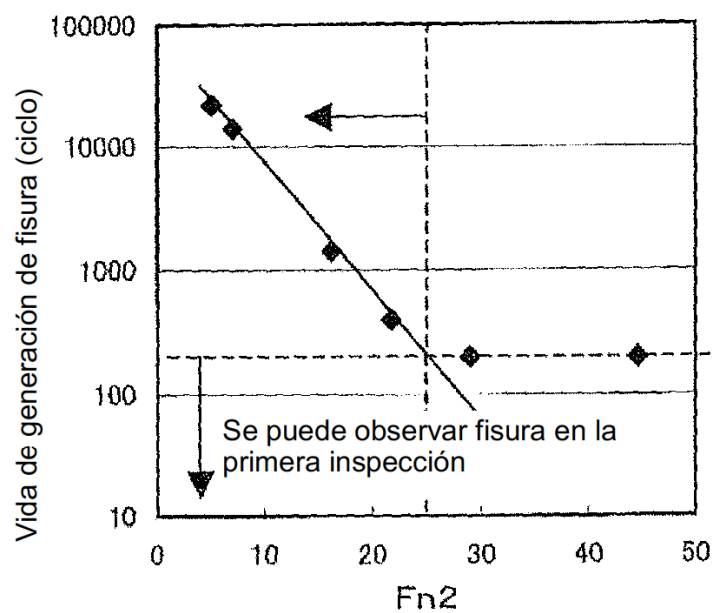


Figura 12

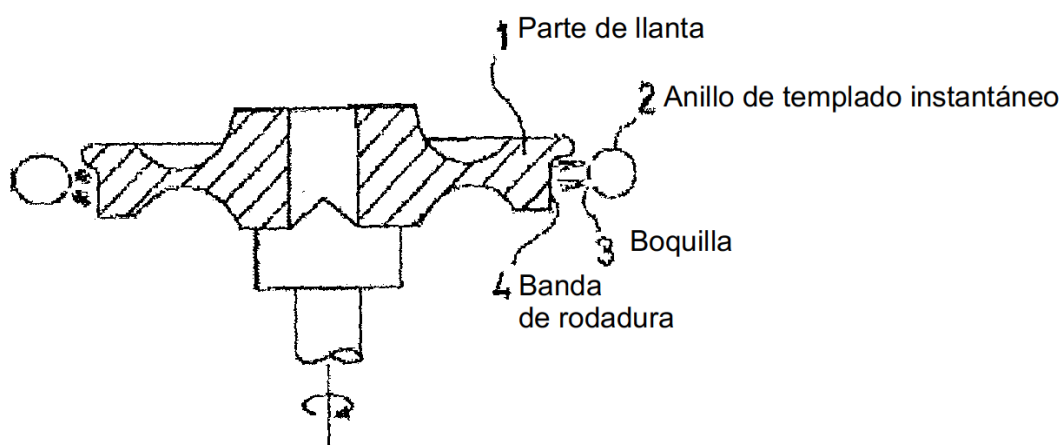


Figura 13

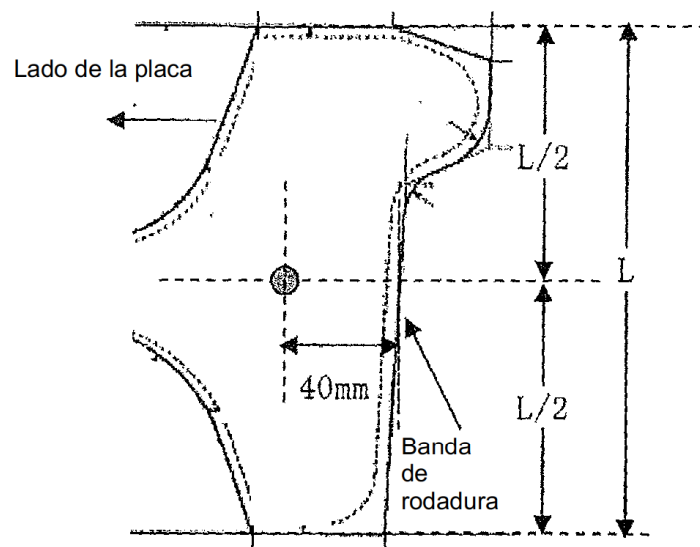


Figura 14

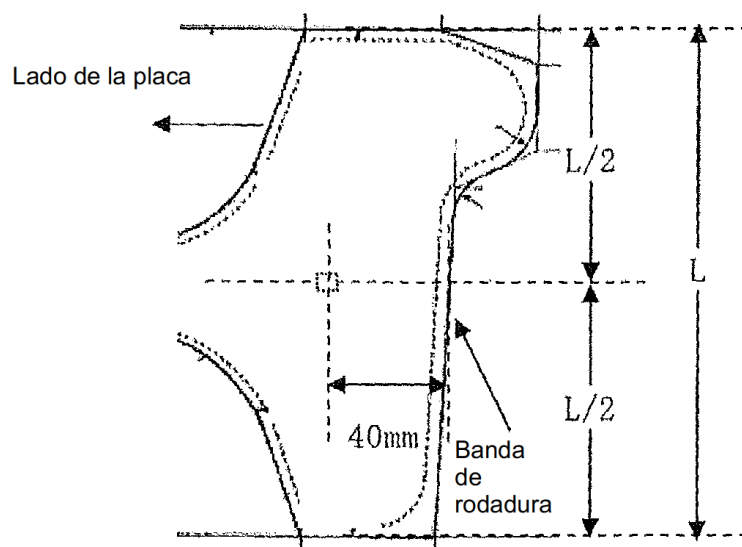


Figura 15

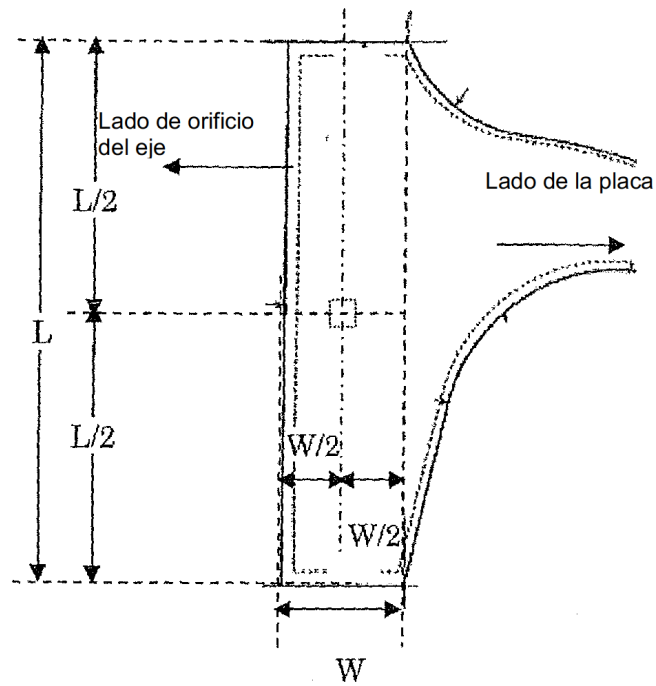


Figura 16

