



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(51) МПК
F16H 55/32 (2006.01)
C22C 38/52 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)
C22C 38/30 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/12 (2006.01)
C22C 38/10 (2006.01)

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2007137074/02, 09.10.2007

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
09.10.2007

(43) Дата публикации заявки: 20.04.2009

(45) Опубликовано: 10.10.2009 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2136767 C1, 10.09.1999. JP 2004-315928
A, 11.11.2004. UA 80110 C2, 27.08.2007. WO
9517529 A1, 29.06.1995.

Адрес для переписки:

119017, Москва, Пыжевский пер., 5, ОАО
"Институт Цветметобработка"

(72) Автор(ы):

Райков Юрий Николаевич (RU),
Булыгин Юрий Серафимович (RU),
Дружинина Татьяна Ивановна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Райков Юрий Николаевич (RU),
Булыгин Юрий Серафимович (RU),
Дружинина Татьяна Ивановна (RU)**(54) ПАРА ТРЕНИЯ, СОДЕРЖАЩАЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫЙ РЕЛЬС И
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЕ КОЛЕСО, ВЫПОЛНЕННЫЕ ИЗ СТАЛИ**

(57) Реферат:

Изобретение относится к черной металлургии, а именно к составам группы сталей, применяемых для изготовления пары трения железнодорожное колесо - железнодорожный рельс при движении колес до 500 км/час. Рельс выполнен из стали, содержащей углерод, ванадий, кобальт, иттрий, медь, никель, хром, марганец, серу, фосфор, алюминий, кремний и железо при следующем соотношении компонентов, мас.%: углерод 1,20-1,35, ванадий 2,0-2,2, кобальт 0,80-1,92, иттрий 0,20-0,70, медь 0,30-0,60, никель <0,3, хром <0,3, марганец <0,5, сера <0,035,

фосфор <0,03, алюминий <0,01, кремний 0,17-0,37, железо остальное, а колесо выполнено из стали, содержащей углерод, ванадий, иттрий, медь, никель, хром, марганец, серу, фосфор, алюминий, кремний и железо при следующем соотношении компонентов, мас.%: углерод 0,36-0,49, ванадий 0,26-0,40, иттрий 0,20-0,70, медь 1,10-1,72, никель 2,10-2,50, хром <0,3, марганец <0,5, сера <0,035, фосфор <0,03, алюминий <0,01, кремний 0,17-0,37, железо остальное. Повышается контактно-усталостная прочность и, как следствие, надежность и долговечность пары колесо-рельс. 2 табл.



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(51) Int. Cl.

F16H 55/32 (2006.01)*C22C 38/52* (2006.01)*C22C 38/46* (2006.01)*C22C 38/30* (2006.01)*C22C 38/24* (2006.01)*C22C 38/12* (2006.01)*C22C 38/10* (2006.01)**(12) ABSTRACT OF INVENTION**(21), (22) Application: **2007137074/02, 09.10.2007**(24) Effective date for property rights:
09.10.2007(43) Application published: **20.04.2009**(45) Date of publication: **10.10.2009 Bull. 28**

Mail address:

**119017, Moskva, Pyzhevskij per., 5, OAO "Institut
Tsvetmetobrabotka"**

(72) Inventor(s):

**Rajkov Jurij Nikolaevich (RU),
Bulygin Jurij Serafimovich (RU),
Druzhinina Tat'jana Ivanovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**Rajkov Jurij Nikolaevich (RU),
Bulygin Jurij Serafimovich (RU),
Druzhinina Tat'jana Ivanovna (RU)****(54) FRICTION PAIR CONTAINING RAILROAD RAIL AND RAILROAD WHEEL MADE OUT OF STEEL**

(57) Abstract:

FIELD: metallurgy.

SUBSTANCE: invention refers to iron and steel metallurgy, particularly to compositions of steel group applied for production of friction pair railroad wheel - railroad rail with wheel moving rate up to 500 km/h. The rail is made out of steel containing carbon, vanadium, cobalt, yttrium, copper, nickel, chromium, manganese, sulphur, phosphorus, aluminium, silicon and iron at the following ratio of components, wt %: carbon 1.20 - 1.35, vanadium 2.0-2.2, cobalt 0.80 - 1.92, yttrium 0.20 - 0.70, copper 0.30 - 0.60, nickel < 0.3; chromium < 0.3, manganese < 0.5, sulphur < 0.035, phosphorus < 0.03, aluminium < 0.01, silicon

0.17 - 0.37, iron - the rest; while the wheel is made out of steel containing carbon, vanadium, yttrium, copper, nickel, chromium, manganese, sulphur, phosphorus, aluminium, silicon and iron at the following ratio of components, wt %: carbon 0.36 - 0.49, vanadium 0.26 - 0.40, yttrium 0.20 - 0.70, copper 1.10 - 1.72, nickel 2.10 - 2.50, chromium < 0.3, manganese < 0.5, sulphur < 0.035, phosphorus < 0.03, aluminium < 0.01, silicon 0.17 - 0.37, iron - the rest.

EFFECT: increased contact-fatigue strength and, as result, reliability and durability of pair wheel-rail.

2 tbl

Изобретение относится к черной металлургии, в частности к сплавам группы сталей, применяемых для железнодорожных колес вагонов и движителей и для рельсов.

Цель - обеспечение необходимой долговечности и надежности пары трения «колесо-рельс» высоконагруженных и высокоскоростных до 500 км/час.

Эти детали, изготовленные из представленных ниже сталей, рассматриваются совместно и только заявленные составы сталей дают максимальный технический эффект.

Контактно-усталостная прочность образцов из сталей для пары «рельс-колесо» заявленных составов в 2,2 раза больше, чем у применяемых сталей.

Указанный технический результат достигается тем, что сталь для рельсов и сталь для колес содержат элементы в следующем соотношении (мас.%):

	Сталь для рельсов	Сталь для колес
Углерод	1,20-1,35	0,36-0,49
Ванадий	2,0-2,2	0,26-0,40
Кобальт	0,80-1,92	-
Иттрий	0,20-0,70	0,20-0,70
Медь	0,30-0,60	1,10-1,72
Никель	<0,3	2,10-2,50
Хром	<0,3	<0,3
Марганец	<0,5	<0,5
Сера	<0,035	<0,035
Фосфор	<0,03	<0,03
Алюминий	<0,01	<0,01
Кремний	0,17-0,37	0,17-0,37
Железо	Остальное	Остальное

В стали для рельсов находится углерод в пределах 1,2-1,35%. Это связано прежде всего с тем, что необходимо обеспечить высокую прочность и износостойкость стали без термической обработки (улучшения) рельсов. При этом с увеличением содержания ванадия увеличивается количество карбида ванадия, который затем остается единственной стабильной фазой. Карбидообразующее действие ванадия больше, чем хрома и вольфрама. Это обстоятельство вызвало необходимость легирования стали для рельсов ванадием в оптимальном количестве 2,0-2,2%. Причем все количество ванадия связано углеродом в объеме 0,4-0,5%, т.к. сложные карбиды в ванадиевой стали не образуются, в связи с этим твердый раствор имеет эвтектоидный состав. Наибольшей ударно-абразивной износостойкостью обладает сталь с 0,8% С после нормализации. Уже при небольшой скорости охлаждения после последней клетки со степенью деформации 10-12% при температуре около 900°C превращение в перлитной области оказывается подавленным. В сложнoleгированных сталях карбид ванадия выделяется в очень мелкодисперсном виде. Величина частиц составляет около 100 Å. Это приводит к высокой твердости стали. Установлено, что легирование ванадием измельчает зерно, уменьшает размер карбидов по границам зерен и ограничивает наличие вторичной фазы. Это способствует повышению стойкости стали к трещинообразованию, увеличению износостойкости и контактно-усталостной прочности.

Для уменьшения количества остаточного аустенита в стали для рельс введен кобальт в объеме 0,8-1,92%. В этих пределах не изменяется температура начала мартенситного превращения и не оказывает влияния на температуру бейнитного превращения. Присутствие в стали 0,8-1,92% Со способствует уменьшению размера зерна аустенита и сохраняется природная мелкозернистая структура. Кобальт не

участвует в процессах выделения карбидов и не входит в карбид железа, повышает твердость феррита, тем самым повышает прочностные и контактные свойства стали. Содержание кобальта в стали для рельсов несколько уменьшает твердость цементита, улучшает его деформируемость, может существенно улучшить пластичность стали в 5 содержании до 1,92%. Это приведет к уменьшению отслаивания поверхности рельсов.

Присутствие кобальта в указанных пределах увеличивает адгезионную компоненту молекулярно-механической теории трения применительно к бейнитной структуре рельса. Несколько уменьшая прокаливаемость, кобальт равномерно снижает 10 твердость и тем самым учитывается наличие в микроструктуре стали различных типов гетерогенных зон, которые могут быть причинами увеличения чувствительности к разрушению.

При легировании медью важным свойством для контактной прочности является устранение локальной коррозии и повышение теплоустойчивости до 400°C. В связи с 15 этим в рельсовой стали содержание меди составляет 0,3-0,6%. Обеспечение необходимой прокаливаемости стали колеса образуется при суммарном содержании никеля и меди более 3% при принятой технологии закалки. Одновременно с увеличением прокаливаемости стали колес повышается ударная вязкость на 10,5

Дж/см² образца, вырезанного из заготовки \varnothing 50 мм.

Как известно, легирование медью увеличивает чувствительность стали к образованию трещин, но никель устраняет вредное влияние меди. Содержание меди и никеля в стали оказывает слабое влияние на напряжения, вызывающие растрескивание 25 окалины при всех температурах, и, соответственно, практически не оказывает влияния на деформацию деталей (рельсов, колес). Упрочнение стали с высоким содержанием меди связывают с различием между свободными энергиями пересыщенного медного раствора, что приводит к повышению скорости зарождения и выделения фаз и обеспечивает максимальную твердость.

В связи с этим содержание меди в стали для колеса равно 1,1-1,72%, а никеля 30 2,1-2,5%. Несколько повышенное содержание никеля препятствует процессу наводораживания и снижает склонность стали к замедленному разрушению независимо от состояния поверхности исследованных образцов.

В стали для колес содержание ванадия 0,26-0,40% необходимо прежде всего для 35 стабилизации цементита и увеличения контактно-усталостной прочности при содержании углерода 0,36-0,49%. При взаимодействии тормозной колодки с поверхностью колеса исключается возможность образования «белого слоя», т.е. мартенситной структуры в присутствии 0,2-0,7% иттрия. Легирование иттрием также 40 обеспечивает образование при локальных нагревах окисной пленки. Влияние добавок иттрия, кроме его воздействия на механизм роста пленки окиси алюминия, объясняют формированием стабильных сульфидов, что препятствует сегрегации раздела окисел-металл. Сульфиды в виде полос исчезают в стали при соотношении $Y/(S+O)>5$. Как известно, полосы сульфидов являются одной из причин отслаивания 45 поверхностного слоя рельсов. Методами рентгеноэлектронной спектроскопии и вторичноионной масс-спектрометрии исследовали состав и химическое состояние элементов на свободной поверхности, были обнаружены соединения Y с Ni и S, а также Y с Co и S равномерно по сечению образцов из сталей для рельсов и колес.

Химический состав плавов представлен в табл.1, а их механические свойства в 50 табл.2. Плавки 1.1, 1.2, 1.3 имитируют состав стали для рельсов, а плавки 2.1, 2.2, 2.3 - для колес.

Испытания на контактно-усталостную прочность проводили на машине типа

Амслера. Ролики диаметром 50 мм, пары 1.1.-2.1., 1.2.-2.2., 1.3.-2.3. Состояние поверхности осматривали без увеличительных приборов. Предел контактно-усталостной прочности составляет 3500 МПа.

5

Таблица 1													
Номер плавки	углерод	ванадий	кобальт	иттрий	медь	никель	хром	марганец	сера	фосфор	алюминий	кремний	
1.1.	1,20	1,98	0,8	0,20	0,30	0,30	0,25	0,50	0,035	0,02	0,008	0,17	
1.2.	1,35	2,2	1,92	0,70	0,60	0,25	0,15	0,40	0,03	0,018	0,002	0,37	
1.3.	1,28	2,0	0,85	0,26	0,50	0,20	0,18	0,30	0,02	0,025	0,003	0,30	
10	2.1.	0,36	0,26	-	0,20	1,10	2,10	0,30	0,45	0,03	0,02	0,009	0,19
	2.2.	0,49	0,40	-	0,68	1,72	2,51	0,25	0,50	0,03	0,015	0,01	0,25
	2.3.	0,42	0,38	-	0,70	1,50	2,36	0,30	0,45	0,035	0,03	0,006	0,35

15

Таблица 2									
Номер плавки	Механические свойства						Термическая обработка	Предел контактно-усталостной прочности, МПа	
	Временное сопротивление σ_B , МПа	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, МПа	Относительное удлинение, δ , %	Относительное сужение ψ , %	Ударная вязкость КСУ, Дж/см ²	Вязкость разрушения K_{1C} , МПа·м ^{1/2}			
1.1.	1350	1180	12,5	38,0	30,0	75,0	Ускоренное охлаждение вентилятором и отпуск	3500	
1.2.	1400	1200	12,0	36,0	25,5	75,0			
1.3.	1320	1150	12,6	36,5	29,0	70,6			
2.1.	1720	1450	14,8	40,0	30,0	100,5	Закалка с т-ры A_{c3} +50°C и отпуск 450-500°C		
2.2.	1790	1420	14,0	45,0	28,0	103,0			
2.3.	1760	1440	14,0	38,0	28,0	103,0			
25	Для испытания на контактно-усталостную прочность один ролик изготовлялся из стали, предназначенной для колеса, а другой ролик из стали, предназначенной для рельс.								

I. ЛИТЕРАТУРА

1. Влияние содержания меди на кинетику старения легированных медью сталей. Lin Jing, Xie Darno / ISIG Int. 1999. 39. №6. С 614-616.
2. Новые эмпирические соотношения между динамическими и статическими механическими свойствами сталей, содержащих Mn, Cr, Mo / Гарсиа де Андрес К., Кабаллеро Ф.Г. // Металлург, 2001. №2, С.41-44.
3. Разрушение окалина, образующейся на сталях, содержащих медь, в процессе охлаждения. Taniguchi Shigeij, Furukama Takashi, Shibata Toshio / ISIG Int. 1997. 37. №3. С 263-271.
4. Influences of yttrium on cyclic oxidation of Fe-Cr-Al alloy. Xin Li, Li Meishuan, Qian Yuhai, Lie Tie-fan G. Rare Earths. Chin, rare Earths. 2001. 19. №1. С.53-56.
5. Влияние углерода и иттрия на охрупчивание сплава Fe-15Cr-4Al при старении. Li Bei, Wu Shuangxia, Teng Yung, Liu Cuilan, Yan Yuxin, Zhax Zengoi, Wu Hong. Ginshu xuebao = Acta met. Sin - 1996. 32. №9. С.926-932.
6. Высокопрочные рельсы на основе бейнитной структуры. / Корнева Л.В., Осколкова Т.Н. // Вестник горно-металлургической секции РАЕН. Отделение металлургии. 2006. №6, С.141-147.
7. Вязкость разрушения среднеуглеродистой колесной стали в разных структурных состояниях. / И.Г.Узлов, Л.А.Моисеева, Н.Г.Мирошниченко, Н.А.Умеренкова, А.И.Бабаченко. // Сталь, 1996. №4, С.51-54.
8. Качество рельсов из непрерывно-литой стали, выплавленной на основе «первородной» шихты / Б.Ю.Зеличенко, А.А.Киричков, В.А.Паршин, В.А.Синельников // Сталь, 1996. №5. С.51-56.
9. Наноструктура и твердость «белого слоя» на поверхности железнодорожных

рельсов. / Иванисенко Ю.В., Баушани Г., Фехт Г., Кноте К., Сафаров И.М., Корзинков А.В., Валиев Р.З. // Физ. мет. и металловедение, 1997. 83. №3. С.104-111.

10. Механические свойства при изотермической выдержке рельсовой стали. / Кузнецова В.А., Бердышев В.А., Лебедев В.И., Громов В.Е. // Микромеханизмы пластич., разрушающих и сопутствующих явлений. Тез. докл. Междунар. конф. Тамбов, 24-28 июня, 1996. - Тамбов, 1996. С.195-196.

11. Изменение механических свойств в зависимости от закалочной среды и способов терм. обработки стали М76 / Петров В.И., Кузнецова В.А., Бердышев В.А., Лебедев В.И., Громов В.Е. // Тез. докл. Междунар. конф. сопутствующих явлений. Тамбов, 24-28 июня, 1996. - Тамбов, 1996. С.194-195.

12. Влияние микролегирования стали на вязкость разрушения железнодорожных колес. / Узлов И.Г., Бабаченко А.И., Дементьева Ж.А. // Металлург, и горнорудная промышленность. 2005. №5. С.46-47.

13. Влияние химического состава рельсовой стали Э76В на твердость и механические свойства. / Козырев Н.А., Яковлев П.Ю. // Математические и экономические модели в оперативном управлении производством. 1977. №3. С.51-55.

14. Влияние РЗМ и ниобия на структуру слитков после горячей прокатки и свойства сталей для высоконагруженных рельсов. / Yu Ning, Sun Zhenyan и др. // Zhongguo xituxuebao = G.Chin. Rare Earth Soc. 2005, 23. №5. С.621-626.

15. Методы повышения эксплуатационных свойств рельсовой стали. / Бердышев В.А., Петров В.И., Кузнецова В.А., Громов В.Е. // Известия вузов. Черная металлургия. 1997. №10. С.70-72.

16. Влияние легирования хромом на механические свойства острижков стрелочных переводов. / Борц А.И., Федин В.М. // 4-е собрание металловедов России. Пенза, 23-25 сент., 1998; Сб. матер. Ч.2. - Пенза, 1998. С.32-33.

17. Микроструктура и сопротивление износу перлитных рельсовых сталей. Microstructure and wear resistance of Pearlitic rail steels / Perez-Unzuenta Alberto G., Beynon Gohn H. / Wear. - 1993. 162-164. Pta. - С.173-182.

18. Повышение эксплуатационной стойкости рельсов в условиях Сибири и Крайнего Севера. / Дементьев В.Г., Черняк С.С., Поздеев В.Н., Войлошников В.Д., Тужилина Л.В. // 4-е Собр. Металловедов России. Пенза, 23-25 сент., 1998; Сб. мат. Ч.2. - Пенза, 1998. С.51-52.

19. Поведение рельсовых сталей при качении со скольжением. Rolling-sliding behavior of reil steels. / Sato M., Anderson P.M., Rigney D.A. // Wear. - 1993. 162-164. Pta. - С.159-172.

20. Зарождение и распространение усталостной трещины в перлитных структурах. Fatigue crack initiation and Propagation behavior in pearlite structures. / Urashima C., Nishida S. // Fatigue '96: Proc. 6th Int. Fatigue Congr., Berlin, 6-10 May. 1996. vol.1 - Kidlington, 1996. С.319-324.

21. Послойный структурно-фазовый анализ прошедшей дифференцированную закалку рельсовой стали. / Бердышев В.А., Иванов Ю.Ф., Петров В.И., Громов В.Е., Козлов Э.В. // Изв. вузов. Черная металлургия. 1998. №6. С.17-21.

22. Влияние уровня твердости и содержания углерода на контактный износ при вращении перлитных сталей. Ueda Masaharu, Uchino Koichi, Senuma Takehide / Tetsu to hagane = G. Iron and Steel Inst. Gap. 2001. 87. №4. С.190-197.

23. Градиентные структурно-фазовые состояния в рельсовой стали. / Громов В.Е., Бердышев В.А., Козлов Э.В., Петров В.И., Сарычев В.Д., Дорофеев В.В., Иванов Ю.Ф., Игнатенко Л.Н., Попова Н.А., Целлермаер В.В. // Недра коммюникейшенс

ЛТД. 2000. Рус. ISBN 5-85723-027-6.

24. Вклад в оценку чистоты рельсовой стали по примесям. Contribution to the examination of railroad steel track composition purity. Vitez J., Budic J., Krumes D. // Metalurgija, Zagreb, 2000. 39. №4. С.267-260.

25. Разработка заэвтектоидной рельсовой стали для высоконагруженных транспортных путей. Ueda Masaharu, Uchino Koichi, Kageyama Hideaki, Kobayashi Akira / Materia = Mater. Gap. 2000. 39. №3. С.281-283.

26. Особенности износа и отслаивания в перлитных и бейнитных рельсовых сталях с разной прочностью при растяжении. Yokoyama Hiroyasu, Mitao Shinji, Sakai Iunich, Yamamoto Sadahiro / Tetsu to hagate = G. Iron and Steel Inst. / Gap. 2000. 86. №6. С.417-424.

27. Исследование градиентных структур в рельсовой стали и моделирование теплофизических процессов их образования при термической обработке. /Грачев В.В., Сарычев В.Д., Петров В.И., Громов В.Е. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2001. №10. С.38-41.

28. Рельсы из высокопрочной бейнитной стали для высоконагруженных железнодорожных путей с высоким сопротивлением разрушению. Yokoyama Hiroyasu, Mitao Shinji, Yamamoto Sadahiro, Katacka Yuzuru, Sugiyama Toru. NKK Techn. Rev. 2001. №84. С.44-51.

29. Определение механических характеристик и изменений в конструкции цельнокатаных колес грузовых вагонов с учетом повышения осевых нагрузок. //Автореферат дисс. на соискан. уч. ст. к.т.н. Разумов А.С. ВНИИ ж-д трансп. Москва. 2003. - 23 с.

30. Распад цементита при пластинчатой деформации стали. / Гаврилюк В.Г. // Изв. вузов. Черная металлургия. 2004. №12. С.26-30.

31. Влияние содержания углерода и микроструктуры на ударно-абразивную стойкость углеродистой стали. Yu Changshan, Liu Bingri / Ginshu rechuli = Heat Treat. Metals. // 1996. №10. С.10-11, 30.

32. Э.Гудремон. Специальные стали. М. 1966.

33. Влияние Ni, Si и Cu на свойства стальных прутков для предварительно напряженного железобетона. Shiraga Tetsuo, Ishikawa Nobuyuki, Yamashita Eiji, Mizoguchi Shigeru // NKK Techn. Rev. - 1966. №75. С.11-18.

34. Вязкость разрушения среднеуглеродистой колесной стали в разных структурных состояниях. / Узлов И.Г., Мирошниченко Н.Г., Умеренкова Н.А., Бюабаченко А.И. // Сталь, 1996. №4. С.51-54.

35. Разрушение окалина, образующейся на низкоуглеродистых сталях, содержащих медь, в процессе охлаждения. / Taniguchi Shigeji, Furukawa Takashi, Shibata Toshio // ISIG Int. - 1997. 37. №3. С 263-271.

36. Влияние Ni и Si на замедленное разрушение высокопрочной стали с прочностью 1420 МПа. Shigara Tetsuo, Ishikawa Nobuyuki, Ishiguro Moriyuki, Yamashita Eiji, Mizogochi Shigeru Tetsu to Hagate = G. Iron and Steel. G. 1966. 82. №9. С.777-782.

37. Влияние содержания меди на кинетику старения легированных медью сталей. Liu Iing, Xie Darno / ISIG Int. - 1999. 39. №6. С.614-616.

38. Образование цементита в отпущенных сплавах Fe-Co-C. Pereloma E.V., Timoshina T.B., Swender S.P. Micron. 2001. 32. С.825-829.

39. Влияние иттрия на поведение при циклическом окислении сплава Fe-Cr-Al. Xin Li, Li Moi-shuan, Qian Yu-hai, Li Tie-fan G. Rare Earths. Chin., Soc. Rare Earths. 2001. 19. №1. С.53-55.

Формула изобретения

Пара трения, содержащая железнодорожный рельс и железнодорожное колесо, выполненные из стали, отличающаяся тем, что рельс выполнен из стали, содержащей углерод, ванадий, кобальт, иттрий, медь, никель, хром, марганец, серу, фосфор, алюминий, кремний и железо, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

5		углерод	1,20-1,35
10		ванадий	2,0-2,2
		кобальт	0,80-1,92
		иттрий	0,20-0,70
		медь	0,30-0,60
		никель	<0,3
		хром	<0,3
15		марганец	<0,5
		сера	<0,035
		фосфор	<0,03
		алюминий	<0,01
		кремний	0,17-0,37
20		железо	остальное,

а колесо выполнено из стали, содержащей углерод, ванадий, иттрий, медь, никель, хром, марганец, серу, фосфор, алюминий, кремний и железо, при следующем соотношении компонентов, мас. %:

25		углерод	0,36-0,49
		ванадий	0,26-0,40
		иттрий	0,20-0,70
		медь	1,10-1,72
		никель	2,10-2,50
30		хром	<0,3
		марганец	<0,5
		сера	<0,035
		фосфор	<0,03
		алюминий	<0,01
35		кремний	0,17-0,37
		железо	остальное

40

45

50