(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国 际 局

(43) 国际公布日
2018 年 1 月 11 日 (11.01.2018)

WIPO | PCT

(10) 国际公布号
WO 2018/006845 A1

(51) 国际专利分类号:
C22C 38/08 (2006.01)

(21) 国际申请号: PCT/CN2017/091930

(22) 国际申请日: 2017 年 7 月 6 日 (06.07.2017)

(25) 申请语言: 中文

(26) 公布语言: 中文

(30) 优先权:
201610527582.8 2016年7月6日 (06.07.2016) CN

(71) 申请人: 马钢（集团）控股有限公司 (MAGANG (GROUP) HOLDING CO., LTD.) [CN/CN]; 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 马鞍山钢铁股份有限公司 (MAANSHAN IRON & STEEL CO., LTD.) [CN/CN]; 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。

(72) 发明人: 张明如 (ZHANG, Mingru); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 赵海 (ZHAO, Hai); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 张峰 (ZHANG, Feng); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 方政 (FANG, Zheng); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 浦红 (PU, Hong); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。 谢世红 (XIE, Shihong); 中国安徽省马鞍山市雨山区九华西路8号, Anhui 243003 (CN)。

(74) 代理人: 南京知识律师事务所 (NANJING ZHISHI LAW FIRM OF INTELLECTUAL PROPERTY); 中国江苏省南京市新模范马路5号南京科技广场B座9楼, Jiangsu 210009 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明，要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL,

(54) **Title:** HIGH TOUGHNESS BAINITIC STEEL WHEEL FOR RAIL TRANSIT, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮及其制造方法

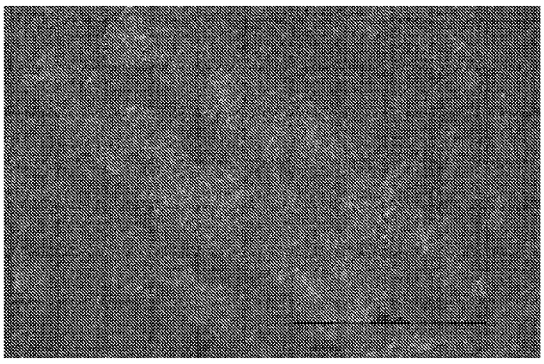


图 3（3a）

(57) **Abstract:** A high toughness bainitic steel wheel for rail transit, and a manufacturing method therefor. The wheel includes the following elements by weight percentage: carbon (C): 0.10-0.40%, silicon (Si): 1.00-2.00%, manganese (Mn): 1.00-2.50%, nickel (Ni): 0.20-1.00%, rare earth (RE): 0.001-0.040%, less than or equal to 0.020% of phosphorus (P), and less than or equal to 0.020% of sulphur (S), the remainder being iron and unavoidable residual elements, 1.50% ≤ Si+Ni ≤ 2.50%, 2.00% ≤ Si+Mn ≤ 4.00%. Via steel chemical composition design and manufacturing processes, the wheel rim has a carbide-free bainitic structure, the spokes and hub have a mainly granular bainitic and saturated ferritic microstructure, and the wheel has comprehensive mechanical properties such as high yield strength, toughness and low-temperature toughness, and good service usage properties. In addition, costs are reduced, and the service life and comprehensive benefits of the wheel are improved.

WO 2018/006845 A1

[见续页]

PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国(除另有指明，要求每一种可提供的地区保护)：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

根据细则4.17的声明：

— 发明人资格(细则4.17(iv))

本国际公布：

— 包括国际检索报告(条约第21条(3))。

(57) 摘要：一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮及其制造方法，包含以下重量百分比的元素：碳C：0.10～0.40%，硅Si：1.00～2.00%，锰Mn：1.00～2.50%，镍Ni：0.20～1.00%，稀土RE：0.001～0.040%，磷P≤0.020%，硫S≤0.020%，其余为铁和不可避免的残余元素；且1.50%≤Si+Ni≤2.50%，2.00%≤Si+Mn≤4.00%。通过钢的化学成分设计和生产制造工艺，使车轮轮辋获得无碳化物贝氏体组织结构；辐板、轮毂获得粒状贝氏体和过饱和铁素体为主的金相组织结构，车轮具有高的屈服强度、韧性和低温韧性等综合力学性能，以及良好的服役使用性能，而且降低了成本，提高了车轮的使用寿命和综合效益。

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮及其制造方法

技术领域

本发明属于钢的化学成分设计和车轮制造的领域，具体涉及一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮及其制造方法，以及轨道交通其它零部件和类似部件的钢种设计和生产制造方法。

背景技术

“高速、重载和低噪声”是世界轨道交通的主要发展方向，车轮是轨道交通的“鞋子”，是最重要行走部件之一，直接影响运行的安全。在列车正常运行过程中，车轮承受着车辆全部载重量，受到磨损和滚动接触疲劳（RCF）的损伤，同时，更重要的是，它与钢轨、闸瓦、车轴，以及周围介质有着非常复杂的作用关系，处在动态的、交替变化的应力状态中。特别是车轮与钢轨、车轮与制动闸瓦（盘式制动除外）是两对时刻存在的、不可忽视的摩擦副；在紧急情况或者特殊道路运行时，制动热损伤、擦伤则非常显著，产生热疲劳，也影响着车轮安全和使用寿命。

轨道交通，在车轮满足基本强度的情况下，特别关注车轮的韧性指标，确保安全性和可靠性，货运用车轮磨损和滚动接触疲劳（RCF）损伤大，而且是踏面制动，热疲劳损伤也大，产生剥离、剥落和辋裂等缺陷。客运用车轮更加关注车轮的韧性和低温韧性，由于客运采用盘式制动，制动热疲劳减轻。

目前，国内外轨道交通用车轮钢，例如中国车轮标准 GB/T8601、TB/T2817，欧洲车轮标准 EN13262，日本车轮标准 JRS 和 JIS B5402，以及北美车轮标准 AAR M107 等等，都是中高碳碳素钢或者中高碳微合金化钢，其金相组织都是珠光体−铁素体组织。

CL60 钢车轮是我国目前轨道交通车辆（客运与货运）主要使用的辗钢车轮钢，BZ-L 是我国目前轨道交通车辆（货运）主要使用的铸钢车轮钢，它们的金相组织都是珠光体−铁素体组织。

车轮各部位名称示意图见图 1，CL60 钢主要技术指标要求见下表 1。

表 1 CL60 车轮主要技术要求

材质	成分，wt%			轮辋性能要求			
	C	Si	Mn	R_m,MPa	A%	Z%	硬度,HB
CL60	0.55-0.65	0.17-0.37	0.50-0.80	≥910	≥10	≥14	265-320

生产制造过程中，要保证车轮材质优良，钢中有害气体和有害残余元素含量低。车轮在高温状态下，轮辋踏面经过喷水强化冷却，进一步提高轮辋的强度和硬度；辐板和轮毂相当于正火热处理，从而达到轮辋有高的强度和韧性的匹配，辐板有高的韧性，最终实现车轮有优良的综合力学性能和服役使用性能。

在珠光体-少量铁素体车轮钢中，铁素体是材料中软相，韧性好，屈服强度低，因其较软所以抗滚动接触疲劳（RCF）性能差。通常，铁素体含量越高，钢的冲击韧性越好；与铁素体相比，珠光体强度较高，韧性较差，因此冲击性能较差。轨道交通的发展方向是高速、重载化，车轮运行时承受的载荷将大幅增加，现有珠光体-少量铁素体材质车轮在运行服役过程中暴露的问题越来越多，主要有以下几个方面不足：

（1）轮辋屈服强度低，一般不超过 600 MPa，因车轮在运行时轮轨间的滚动接触应力较大，有时超过车轮钢的屈服强度，使得车轮在运行过程当中产生塑性变形，导致踏面次表面发生塑性变形，又因为钢中存在夹杂物、渗碳体等脆性相，容易导致轮辋萌生微细裂纹，这些微细裂纹在车轮运行滚动接触疲劳的作用下，产生剥离、辋裂等缺陷。

（2）钢中含碳量高，抗热损伤能力差，当采用踏面制动或者车轮滑行时出现擦伤时，车轮局部瞬间升温至钢的奥氏体化温度，随后激冷，产生马氏体，如此反复热疲劳，形成制动热裂纹，产生剥落、掉块等缺陷。

（3）车轮钢淬透性差，车轮轮辋存在一定的硬度梯度，硬度不均匀，容易产生轮缘磨耗与失圆等缺陷。

随着贝氏体钢相变研究的发展与突破，尤其是无碳化物贝氏体钢的理论和应用研究，可以实现高强度、高韧性的良好匹配。无碳化物贝氏体钢具有理想的显微组织结构，也具有优良的力学性能，其精细显微组织结构为无碳化物贝氏体，也就是，纳米尺度的板条状过饱和铁素体，中间为纳米尺度的薄膜状富碳残余奥氏体，从而提高钢的强度和韧性，特别提高钢的屈服强度和冲击韧性与断裂韧性，降低钢的缺口敏感性。因此，贝氏体钢车轮有效增强车轮的抗滚动接触疲劳（RCF）性能，减少车轮剥离和剥落等现象，提高车轮的安全性能和使用性能。由于贝氏体钢车轮的含碳量低，改善车轮的热疲劳性能，防止轮辋热裂纹的产生，减少车轮的镟修次数和镟修量，提高轮辋金属的使用效率，提高车轮使用寿命。

公开日为2006年7月12日，公开号为CN 1800427A的中国专利“铁道车辆车轮用贝氏体钢” 公开的钢的化学成份范围（wt%）为：碳C：0.08-0.45%，硅Si：0.60-2.10%，锰Mn：0.60-2.10%，钼Mo：0.08-0.60%，镍Ni：0.00-2.10%，铬Cr：＜0.25%，钒V：0.00-0.20%，铜Cu：0.00-1.00%。该贝氏体钢的典型组织为无碳化物贝氏体，其具有优异的强韧性，低的缺口敏感性，良好的抗热裂性能。Mo元素的加入能增加钢的淬透性，但对于大截面车轮，生产控制难度大，且成本较高。

英国钢铁有限公司专利CN1059239C公开了一种贝氏体钢及其生产工艺，该钢种的化学成份范围（wt%）为：碳C：0.05-0.50%，硅Si和/或铝Al：1.00-3.00%，锰Mn：0.50-2.50%，铬Cr：0.25-2.50%。该贝氏体钢的典型组织为无碳化物贝氏体，其具有高的耐磨性和抗滚压接触疲劳性能。该钢种虽具有良好的强韧性，但钢轨截面较简单，且20℃的冲击韧性性能不高，而且钢种成本高。

发明内容

本发明的目的在于，提供一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，C-Si-Mn-Ni-RE系，不特别添加Mo、V、Cr和B等合金元素，使轮辋典型组织为无碳化物贝氏体，车轮具有优异的强韧性和低的缺口敏感性等特点。

本发明还提供了一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，通过热处理工艺和技术，使车轮获得良好的综合力学性能，生产控制较容易。

本发明提供的一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，包含以下重量百分比的元素：

碳C：0.10~0.40%，硅Si：1.00~2.00%，锰Mn：1.00~2.50%，

镍Ni：0.20~1.00%，稀土RE：0.001 ~0.040%，

磷P≤0.020%，硫S≤0.020%，其余为铁和不可避免的残余元素；

且1.50%≤Si＋Ni≤2.50%，2.00%≤Si +Mn≤4.00%。

优选的，所述高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，包含以下重量百分比的元素：

碳C：0.15~0.25%，硅Si：1.20~1.80%，锰Mn：1.60~2.10%，

镍Ni：0.20~0.80%，稀土RE：0.010 ~0.040%，磷P≤0.020%，硫S≤0.020%，其余为铁和不可避免的残余元素；且1.50%≤Si＋Ni≤2.50%，2.00%≤Si +Mn≤4.00%。

优选的，所述高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，包含以下重量百分比的元素：

碳 C：0.20%，硅 Si：1.45%，锰 Mn：1.92%，

镍 Ni：0.35%，稀土 RE：0.018%，磷 P：0.013%，硫 S：0.008%，其余为铁和不可避免的杂质元素。

Si 和 Mn 总含量低于 2%时，钢的淬透性降低，且容易形成碳化物，不利于获得具有良好强韧性的无碳化物贝氏体组织；Si 和 Mn 总含量高于 4%时，钢的淬透性过高，容易形成马氏体等不良组织，且生产控制难度大。

Si 和 Ni 总含量低于 1.5%时，钢中易形成碳化物，不利于获得具有良好强韧性的无碳化物贝氏体组织；Si 和 Ni 总含量高于 2.5%时，无法有效发挥元素作用，且会增加成本。

所得到的车轮显微组织为：车轮轮辋踏面下 40 毫米内金相组织为无碳化物贝氏体组织，即为纳米尺度的板条状过饱和铁素体，板条状过饱和铁素体中间为纳米尺度的薄膜状富碳残余奥氏体，其中残余奥氏体体积百分数为 4%~15%；轮辋显微组织过饱和铁素体与富碳的残余奥氏体所组成的复相结构，其尺寸大小为纳米尺度，纳米尺度是指 1 纳米至 999 纳米的长度。

本发明提供的车轮可以用于货车车轮和客车车轮，以及轨道交通其它零部件及类似部件的生产。

本发明提供的一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，包括冶炼、精炼、成型和热处理工艺；冶炼和成型工艺利用现有技术，其热处理工艺为：

将成型车轮加热至奥氏体化温度，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，回火处理。所述加热至奥氏体化温度具体为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时。所述回火处理为：车轮小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温；或轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，空冷至室温，期间利用辐板、轮毂的余热自回火。

热处理工艺还可以为：利用成型后高温余热，直接将成型车轮轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，回火处理。所述回火处理为：车轮小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温；或轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，空冷至室温，期间利用辐板、轮毂的余热自回火。

热处理工艺还可以为：车轮成型后，车轮空冷至 400℃以下，回火处理。回

火处理为：车轮小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温；或空冷至 400℃以下，空冷至室温，期间利用辐板、轮毂的余热自回火。

具体为，所述热处理工序为以下方式中任意一种：

车轮加热至奥氏体化温度，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，空冷至室温，期间利用余热自回火；

或，车轮加热至奥氏体化温度，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温。

所述加热至奥氏体化温度具体为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时。

或，利用车轮成型后高温余热，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，空冷至室温，期间利用辐板、轮毂的余热自回火。

或，利用车轮成型后高温余热，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温；

或，车轮成型后，车轮空冷至 400℃以下，期间利用辐板、轮毂的余热自回火。

或，车轮成型后，车轮空冷至 400℃以下，再小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温。

本发明中各元素的作用如下：

C 含量：钢中基础元素，有强烈的间隙固溶硬化和析出强化作用，随着碳含量的增加，钢的强度增加，韧性下降；碳在奥氏体中的溶解度要比在铁素体中大得多，而且是一种有效的奥氏体稳定元素；钢中碳化物的体积分数与碳含量成正比。为获得无碳化物贝氏体组织，必须确保一定的 C 含量固溶在过冷奥氏体中，以及在过饱和铁素体中，进一步有效提高材料强硬度，特别是提高材料的屈服强度。C 含量高于 0.40%时，会导致渗碳体的析出，降低钢的韧性，C 含量低于 0.10%时，铁素体的过饱和度降低，钢的强度下降，因此碳含量合理范围宜 0.10-0.40%。

Si 含量：钢中基本合金元素，常用的脱氧剂，其原子半径小于铁原子半径，对奥氏体和铁素体有强烈的固溶强化作用，使奥氏体的切变强度提高；Si 是非碳化物形成元素，阻止渗碳体的析出，促进贝氏体-铁素体间富碳奥氏体薄膜和（M-A）岛状组织的形成，是获得无碳化物贝氏体钢的主要元素；Si 还能阻止渗碳体的析出，防止过冷奥氏体分解析出碳化物，在 300℃~400℃回火时渗碳体析

出完全被抑制，提高了奥氏体的热稳定性和机械稳定性。钢中 Si 含量高于 2.00%，析出先共析铁素体倾向增加，残余奥氏体量增加，钢的强韧性下降，Si 含量低于 1.00%时，钢中容易析出渗碳体，不易获得无碳化物贝氏体组织，因此 Si 含量应控制在 1.00-2.00%。

Ni 含量：Ni 是非碳化物形成元素，在贝氏体转变过程中可抑制碳化物的析出，从而使贝氏体铁素体板条之间形成稳定的奥氏体薄膜，有利于无碳化物贝氏体组织的形成。Ni 能提高钢的强度及韧性，是获得高冲击韧性必不可少的合金元素，并降低冲击韧性转变温度。Ni 含量低于 0.20%，不利于无碳化物贝氏体形成，Ni 含量高于 1.00%，钢的强韧性贡献率将会出现较大幅度下降，且增加生产成本，因此 Ni 含量应控制在 0.20-1.00%。

Mn 含量：Mn 是钢中奥氏体稳定化元素，增加钢的淬透性，提高钢的力学性能。通过适当调整 Si 与 Mn 的合金量，获得无碳化物析出的，且在贝氏体铁素体板条之间相间分布的薄膜状奥氏体组织，即无碳化物贝氏体；Mn 也能提高 P 的扩散系数，增加钢的脆性。Mn 含量低于 1.00%，钢的淬透性差，不利于获得无碳化物贝氏体，Mn 含量高于 2.50%，钢的淬透性显著增加，也会大幅提高 P 的扩散倾向，降低钢的韧性，因此 Mn 含量应控制在 1.00-2.50%。

RE 含量：钢中加入 RE 元素，可细化奥氏体晶粒，且有净化和变质作用，能减少有害杂质元素在晶界的偏聚，改善和强化晶界，从而提高钢的强度和韧性。同时，RE 可以促进夹杂物的球化，进一步提高钢的韧性，减少材料的缺口敏感性。当 RE 含量过高时，其有利作用会减弱，同时会增加钢的生产成本。RE 含量低于 0.001%时，无法完全去除有害元素生成韧性稀土夹杂物，RE 含量高于 0.040%时，会造成 RE 元素富余，无法有效发挥其作用，综合考虑，RE 含量控制在 0.001-0.040%。

P 含量：P 在中高碳钢中，容易在晶界偏聚，从而弱化晶界，降低钢的强度和韧性。作为有害元素，当 P≤0.020%时，不会对性能造成大的不利影响。

S 含量：S 容易在晶界偏聚，且容易与其它元素形成夹杂物，降低钢的强度和韧性。作为有害元素，当 S≤0.020%时，不会对性能造成大的不利影响。

在钢的元素设计中，本发明采用 C-Si-Mn-Ni-RE 系，不特别添加 Mo、V、Cr 和 B 等合金元素，结合热处理工艺，使轮辋典型组织为无碳化物贝氏体，也

就是，纳米尺度的板条状过饱和铁素体，中间为纳米尺度的薄膜状富碳残余奥氏体，其中残余奥氏体为4%~15%，车轮具有优异的强韧性和低的缺口敏感性等特点。该钢种具有中等淬透性，较容易进行生产控制，成本较低，稀土元素能球化钢中夹杂物，强化晶界，使得本钢种具有较高的20℃的冲击韧性性能。Ni的加入使得获得的贝氏体钢更高的20℃冲击韧性性能。

本发明中通过设计成分和制造工艺，实现了车轮高强度和高韧性的配合，提供车轮的综合力学性能，达到改善车轮服役使用性能的目的，也可以用于轨道交通其它关键零部件及类似部件的生产制造。

本发明主要利用Si和Ni 非碳化物形成元素，提高碳在铁素体中的活度，推迟和抑制碳化物析出，通过合适的成型工艺（包括锻造辗压轧制或者模型铸造等），特别是热处理工艺，根据钢的配方，采用轮辋踏面喷水强化冷却使车轮轮辋得到无碳化物贝氏体组织，利用余热自回火或者中低温回火，进一步改善车轮的组织稳定性和车轮的综合力学性能。同时，利用Mn元素具有优良的奥氏体稳定化作用，增加钢的淬透性，提高钢的强度。稀土元素具有吸附钢中氢等有害气体的作用，球化钢中不可避免的夹杂物，进一步提高钢的韧性。通过适当调整Si 、Ni与Mn，以及RE的含量，轮辋获得无碳化物析出的无碳化物贝氏体组织，进一步提高车轮的强度和韧性，利用Ni元素具有优良的固溶强化的特点，在不降低韧性指标的情况下，进一步提高强度和韧性；也利用Ni元素具有耐腐蚀性能，实现车轮耐大气腐蚀性能，提高车轮使用寿命，实现高韧性贝氏体钢车轮，满足轨道交通运行条件苛刻的要求。

与现有技术相比，本发明制备的贝氏体钢车轮与CL60车轮相比，轮辋强韧性匹配明显提高，从而在确保安全性的前提下，有效提高了车轮的屈服强度、韧性和低温韧性，提高车轮抗滚动接触疲劳（RCF）性能，提高车轮抗热裂纹性能，提高车轮的耐蚀性能，降低了车轮缺口敏感性，减小车轮在使用过程中剥离、剥落发生的几率，实现车轮踏面均匀磨耗以及少镟修，提高车轮轮辋金属使用效率，提高车轮的使用寿命和综合效益，具有一定的经济效益和社会效益。

附图说明

图1为车轮各部位名称示意图；

1为轮毂孔，2为轮辋外侧面，3为轮辋，4为轮辋内侧面，5为辐板，6为

轮毂，7 为踏面；

图 2a 为实施例 1 轮辋 100× 光学金相组织图；

图 2b 为实施例 1 轮辋 500× 光学金相组织图；

图 3a 为实施例 2 轮辋 100× 光学金相组织图；

图 3b 为实施例 2 轮辋 500× 光学金相组织图；

图 3c 为实施例 2 轮辋 500× 染色金相组织图；

图 3d 为实施例 2 轮辋透射电镜组织图；

图 4a 为实施例 3 轮辋 100× 光学金相组织图；

图 4b 为实施例 3 轮辋 500× 光学金相组织图；

图 5 为实施例 2 钢的连续冷却转变曲线（CCT 曲线）；

图 6 为实施例 2 车轮与 CL60 车轮摩擦磨损试验中摩擦系数与转数的关系比较；

图 7 为实施例 2 车轮与 CL60 车轮摩擦磨损试验后试样表面变形层组织。

具体实施方式

实施例 1、2、3 中的车轮钢的化学成分重量百分比如表 2 所示，实施例 1、2、3 均采用电炉冶炼经 LF+RH 精炼真空脱气后直接连铸成 φ380mm 的圆坯，经切锭、加热与辗压轧制、热处理、精加工后形成直径为 915mm 车轮。

实施例 1

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，含有以下重量百分比的元素如下表 2 所示。

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，包括以下步骤：

将化学成分如表 2 实施例 1 的钢水经过电炉炼钢工序、LF 炉精炼工序、RH 真空处理工序、圆坯连铸工序、切锭轧制工序、热处理工序、加工、成品检测工序而形成。所述的热处理工序为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时，轮辋喷水冷却，冷却到 400℃以下，然后在 280℃回火处理 4.5-5.0 小时。

如图 2a、图 2b 所示，本实施例制备的车轮轮辋金相组织主要为无碳化物贝氏体组织。本实施例车轮机械性能如表 3 所示，车轮实物强韧性匹配优于 CL60 车轮。

实施例 2

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，含有以下重量百分比的元素如下表 2 所示。

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，包括以下步骤：

将化学成分如表 2 实施例 2 的钢水经过电炉炼钢工序、LF 炉精炼工序、RH 真空处理工序、圆坯连铸工序、切锭轧制工序、热处理工序、加工、成品检测工序而形成。所述的热处理工序为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时，轮辋喷水冷却，冷却到 400℃以下，然后在 240℃回火处理 4.5-5.0 小时。

如图 3a、3b、3c、3d 所示，本实施例制备的车轮轮辋金相组织主要为无碳化物贝氏体。本实施例车轮机械性能如表 3 所示，车轮实物强韧性匹配优于 CL60 车轮。

实施例 3

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，含有以下重量百分比的元素如下表 2 所示。

一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，包括以下步骤：

将化学成分如表 2 实施例 3 的钢水经过电炉炼钢工序、LF 炉精炼工序、RH 真空处理工序、圆坯连铸工序、切锭轧制工序、热处理工序、加工、成品检测工序而形成。所述的热处理工序为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时，轮辋喷水冷却，冷却到 400℃以下，然后在 200℃回火处理 4.5-5.0 小时。。

如图 4a、4b 所示，本实施例制备的车轮轮辋金相组织主要为无碳化物贝氏体。本实施例车轮机械性能如表 3 所示，车轮实物强韧性匹配优于 CL60 车轮。

表 2 实施例 1、2、3 及对比例车轮的化学成分（wt%）

实施实例	C	Si	Mn	Ni	RE	P	S
实施例 1	0.13	1.79	2.15	0.48	0.035	0.009	0.009
实施例 2	0.20	1.45	1.92	0.35	0.018	0.013	0.008
实施例 3	0.33	1.39	1.28	0.41	0.006	0.015	0.011
CL60 车轮	0.63	0.24	0.71	/	/	0.010	0.001
中国专利 CN100395366C	0.20	1.5	1.8	0.2	/	/	/
英国专利 CN1059239C	0.22	0.5-3.0	0.5-2.5	/	/	/	/

表 3 实施例 1、2、3 及对比例车轮轮辋机械性能

实施实例	$Rp_{0.2}$ MPa	Rm MPa	A %	Z %	断面硬度 HB	室温 KU J	K_Q $MPa \cdot m^{1/2}$
实施例 1	653	1062	16	43	323	95	100.2
实施例 2	718	1114	15	41	335	82	91.5
实施例 3	727	1148	14	38	340	71	84.3
CL60 车轮	630	994	15.5	39	290	25	56.3
中国专利 CN100395366C	779	1198	16	40	360	52	/
英国专利 CN1059239C	730	1250	17	55	400	39	60 （-20℃）

权利要求书

1、一种高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，其特征在于，所述高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮包含以下重量百分比的元素：

碳 C：0.10~0.40%，硅 Si：1.00~2.00%，锰 Mn：1.00~2.50%，

镍 Ni：0.20~1.00%，稀土 RE：0.001 ~0.040%，

磷 P≤0.020%，硫 S≤0.020%，其余为铁和不可避免的残余元素；

且 1.50%≤Si＋Ni≤2.50%，2.00%≤Si +Mn≤4.00%。

2、根据权利要求 1 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，其特征在于，所述高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮包含以下重量百分比的元素：

碳 C：0.15~0.25%，硅 Si：1.20~1.80%，锰 Mn：1.60~2.10%，

镍 Ni：0.20~0.80%，稀土 RE：0.010 ~0.040%，磷 P≤0.020%，硫 S≤0.020%，其余为铁和不可避免的残余元素；且 1.50%≤Si＋Ni≤2.50%，2.00%≤Si +Mn≤4.00%。

3、根据权利要求 1 或 2 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，其特征在于，所述高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮包含以下重量百分比的元素：

碳 C：0.20%，硅 Si：1.45%，锰 Mn：1.92%，镍 Ni：0.35%，稀土 RE：0.018%，磷 P：0.013%，硫 S：0.008%，其余为铁和不可避免的杂质元素。

4、根据权利要求 1 或 2 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，其特征在于，所述贝氏体钢车轮轮辋踏面下 40 毫米内金相组织为无碳化物贝氏体组织，即为纳米尺度的板条状过饱和铁素体，板条状过饱和铁素体中间为纳米尺度的薄膜状富碳残余奥氏体，其中残余奥氏体体积百分数为 4%~15%。

5、根据权利要求 1 或 2 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮，其特征在于，车轮轮辋显微结构为过饱和铁素体与富碳的残余奥氏体所组成的复相结构，其大小为纳米尺度，所述纳米尺度为 1-999nm。

6、一种权利要求 1-5 任一项所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，包括冶炼、精炼、成型和热处理工艺，其特征在于，所述热处理工艺为：将成型车轮加热至奥氏体化温度，轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，回火处理。

7、根据权利要求 6 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，其特征在于，所述加热至奥氏体化温度具体为：加热至 860-930℃保温 2.0-2.5 小时。

8、根据权利要求 6 或 7 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，其特征在于，所述回火处理为：车轮小于 400℃中低温回火，回火时间 30 分钟以上，回火后空冷至室温；或轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，空冷至室温，期间利用余热自回火。

9、根据权利要求 6 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，其特征在于，热处理工艺还可以为：利用成型后高温余热，直接将成型车轮轮辋踏面喷水强化冷却至 400℃以下，回火处理。

10、根据权利要求 6 所述的高韧性轨道交通用贝氏体钢车轮的制造方法，其特征在于，热处理工艺还可以为：车轮成型后，车轮空冷至 400℃以下，回火处理。

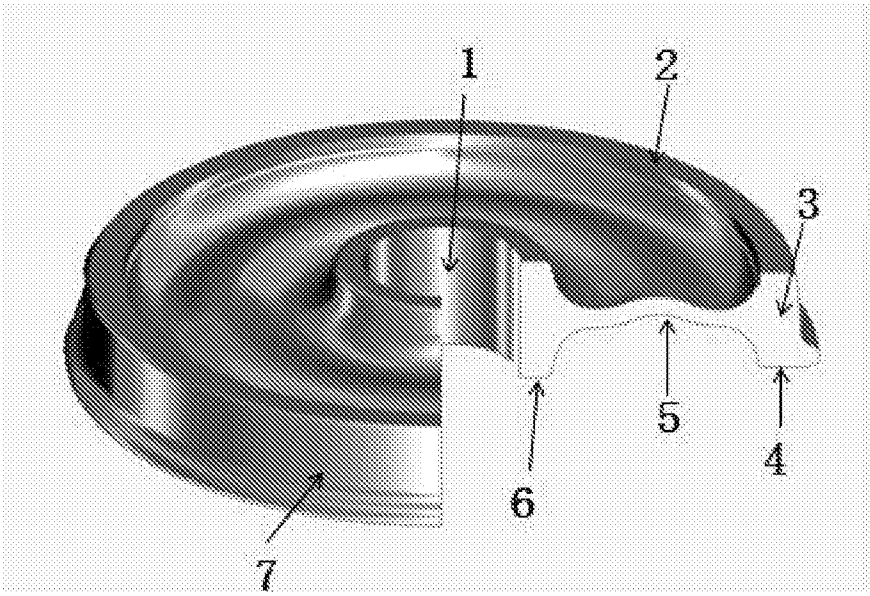


图 1

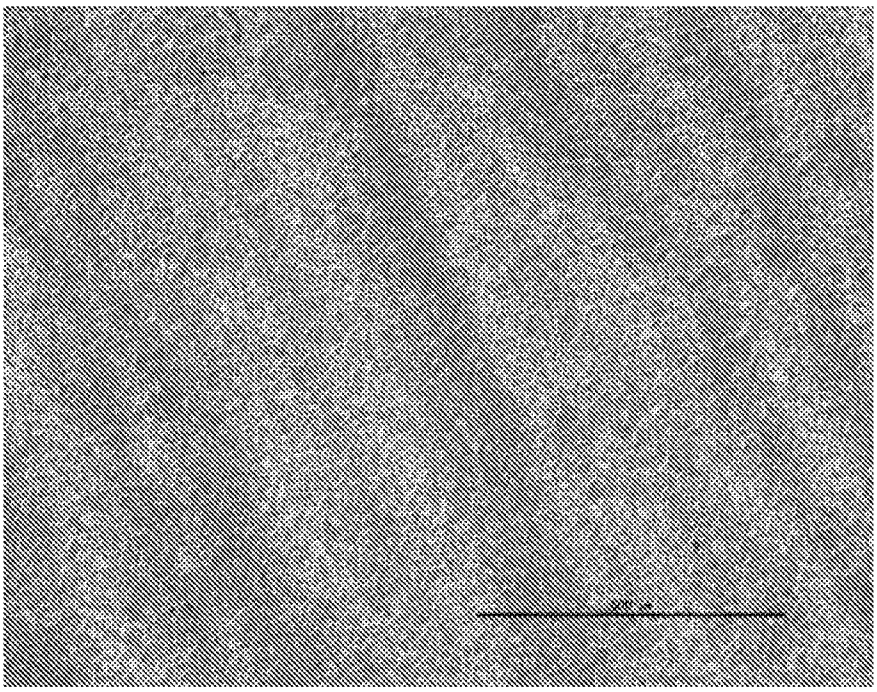


图 2（2a）

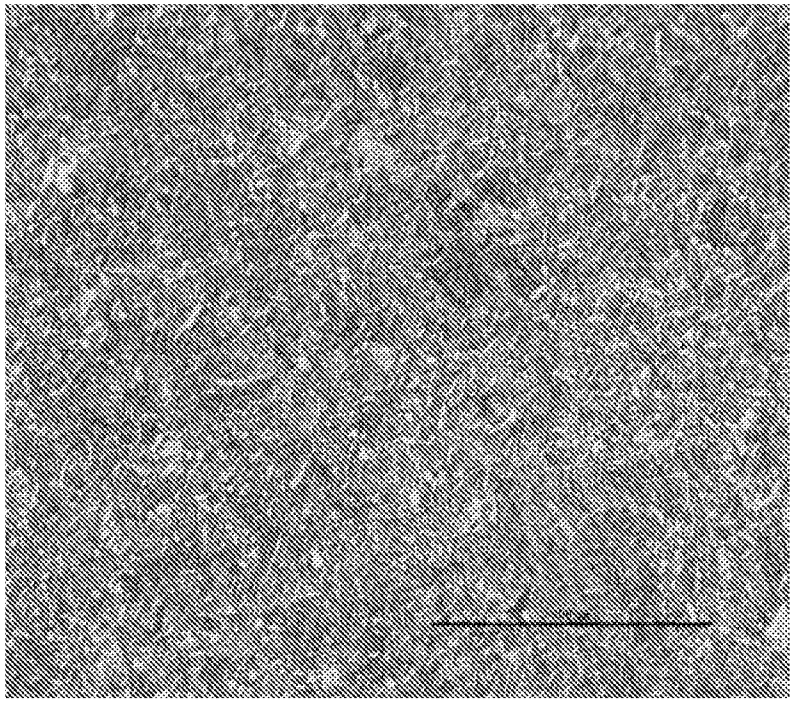


图 2（2b）

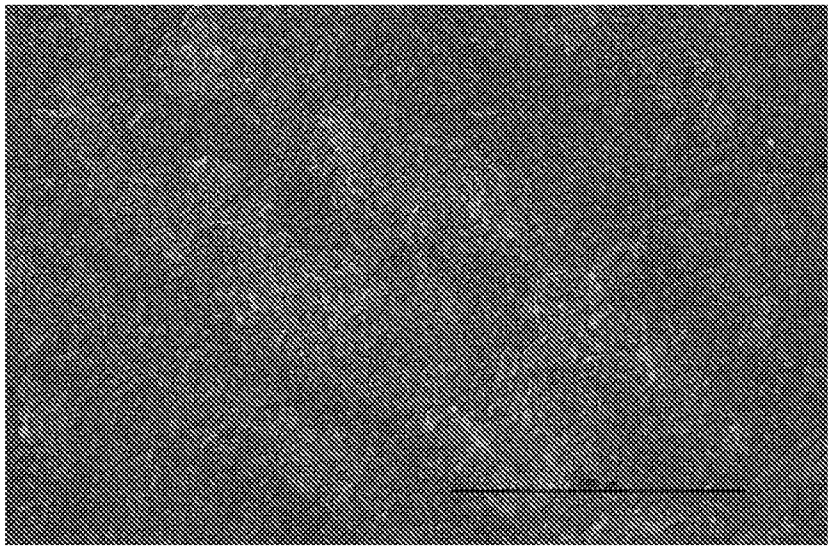


图 3（3a）

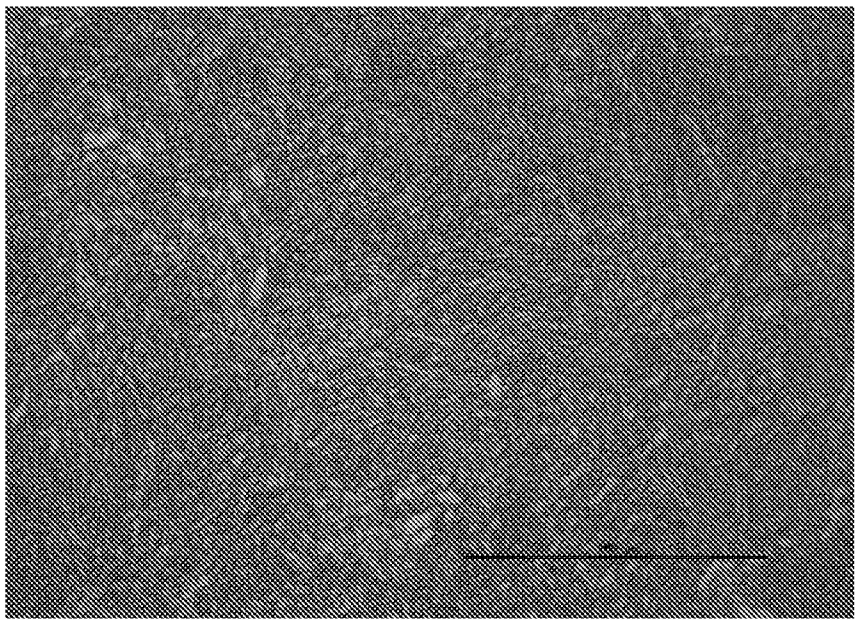


图 3（3b）



图 3（3c）

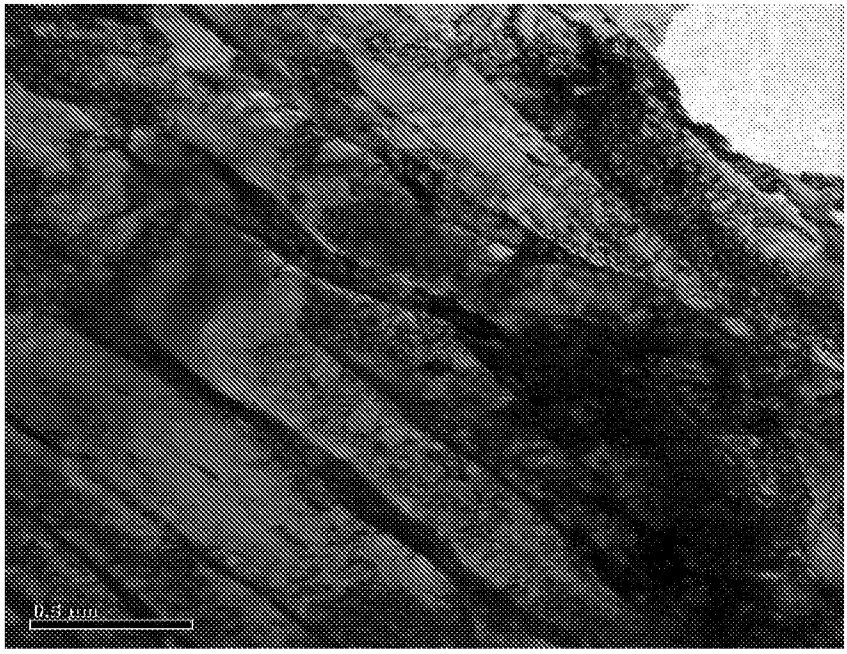


图 3（3d）

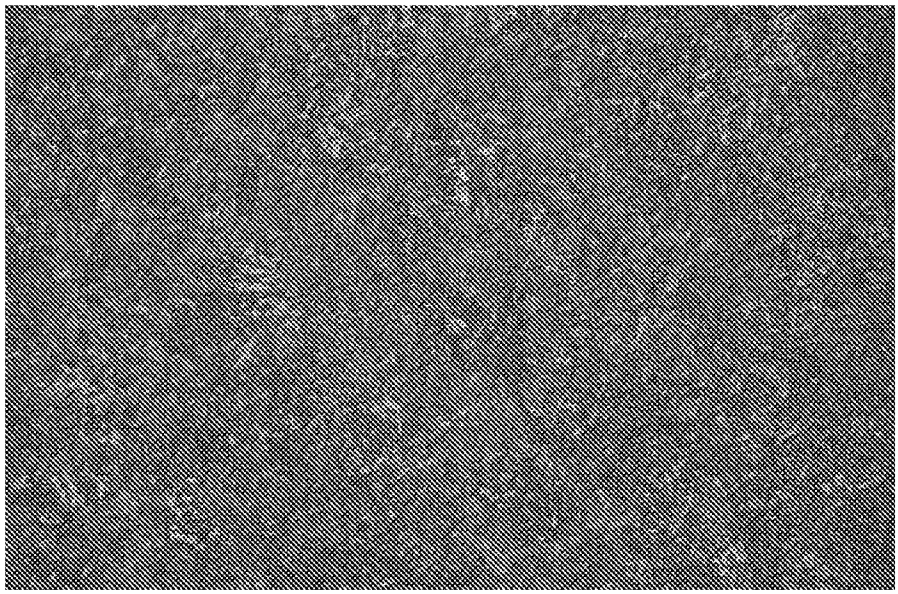


图 4（4a）

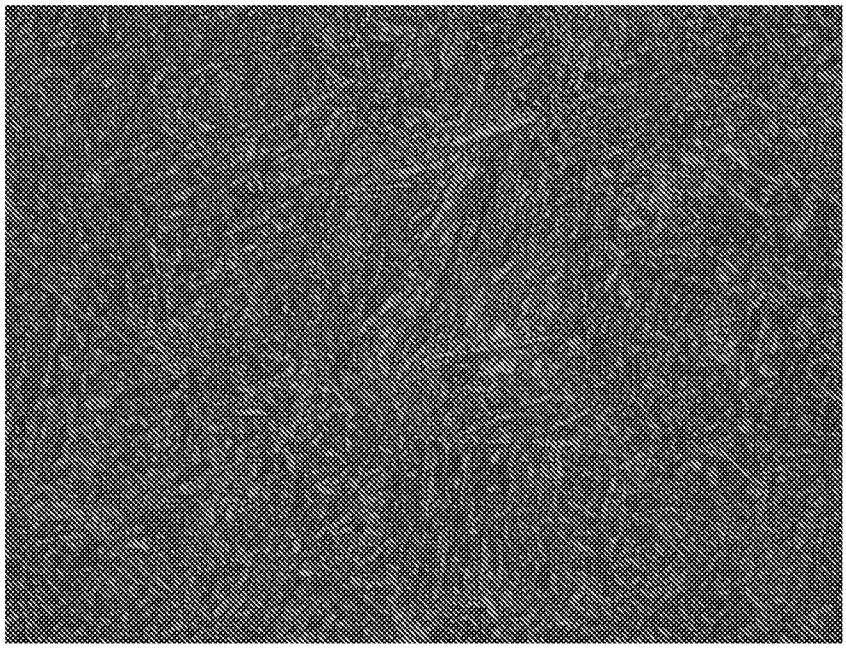


图 4（4b）

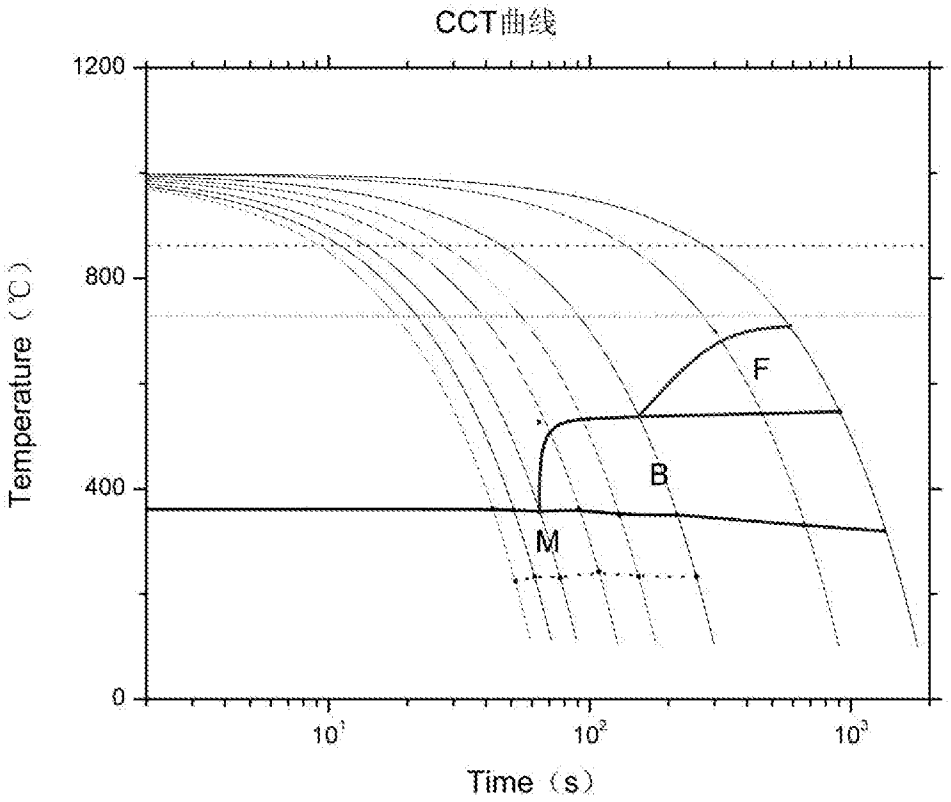


图 5

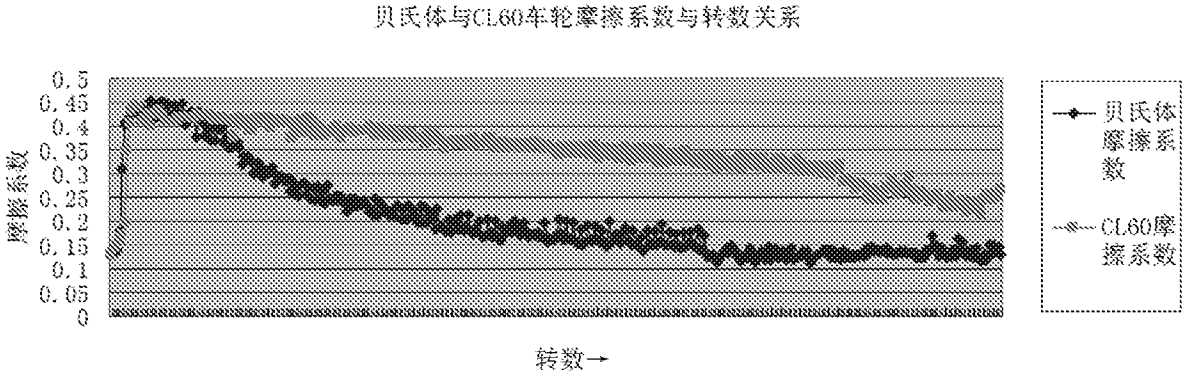
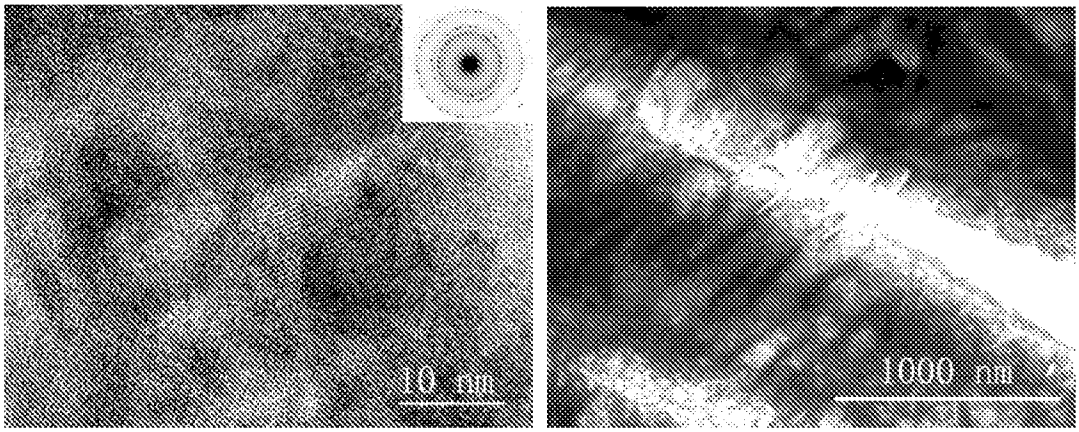


图 6



贝氏体车轮 CL60 车轮

图 7

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2017/091930

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C22C 38/08 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C22C 38/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPODOC, JPABS, CNABS, CNKI: carbon, silicon, manganese, nickel, rare earth, bainitic carbide-free steel, TBF steel, bainitic ferrite steel, C, Si, Mn, Ni, RE

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 106048430 A (MAGANG (GROUP) HOLDING CO., LTD. et al.), 26 October 2016 (26.10.2016), claims 1-10	1-10
X	CN 1800427 A (MAANSHAN IRON & STEEL CO., LTD.), 12 July 2006 (12.07.2006), description, page 3, paragraphs 2-5	1-10
A	CN 101338399 A (NANJING IRON & STEEL CO., LTD.), 07 January 2009 (07.01.2009), the whole document	1-10
A	WO 2012048841 A1 (CORUS STAAL BV et al.), 19 April 2012 (19.04.2012), the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
22 August 2017 (22.08.2017)	**12 October 2017 (12.10.2017)**
Name and mailing address of the ISA/CN: State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No.: (86-10) 62019451	Authorized officer **PENG, Min** Telephone No.: (86-10) **62084744**

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 2009)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2017/091930

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN 106048430 A	26 October 2016	None	
CN 1800427 A	12 July 2006	CN 100395366 C	18 June 2008
CN 101338399 A	07 January 2009	CN 100567549 C	09 December 2009
WO 2012048841 A1	19 April 2012	EP 2627790 B1	08 October 2014
		JP 2013545890 A	26 December 2013
		EP 2627790 A1	21 August 2013
		CN 103154279 A	12 June 2013
		CN 103154279 B	23 September 2015
		WO 2012048841 A8	25 April 2013
		US 2013192726 A1	01 August 2013
		IN 201303610 P4	10 June 2016

国际检索报告

国际申请号 PCT/CN2017/091930

A. 主题的分类

C22C 38/08(2006.01)i

按照国际专利分类(IPC)或者同时按照国家分类和IPC两种分类

B. 检索领域

检索的最低限度文献(标明分类系统和分类号)

C22C 38/-

包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献

在国际检索时查阅的电子数据库(数据库的名称，和使用的检索词（如使用））

EPODOC，JPABS，CNABS，CNKI：无碳化物贝氏体钢、TBF钢、贝氏体铁素体钢、碳、硅、锰、镍、稀土,bainitic carbide-free steel,TBF steel,bainitic ferrite steel,C,Si,Mn,Ni,RE

C. 相关文件

类 型*	引用文件，必要时，指明相关段落	相关的权利要求
PX	CN 106048430 A (马钢集团控股有限公司等) 2016年 10月 26日 (2016-10-26) 权利要求1-10	1-10
X	CN 1800427 A (马鞍山钢铁股份有限公司) 2006年 7月 12日 (2006-07-12) 说明书第3页第2-5段	1-10
A	CN 101338399 A (南京钢铁股份有限公司) 2009年 1月 7日 (2009-01-07) 全文	1-10
A	WO 2012048841 A1 (CORUS STAAL BV等) 2012年 4月 19日 (2012-04-19) 全文	1-10

☐ 其余文件在C栏的续页中列出。

☑ 见同族专利附件。

* 引用文件的具体类型：

“A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件

“E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利

“L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件，或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件（如具体说明的）

“O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件

“P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件

“T” 在申请日或优先权日之后公布，与申请不相抵触，但为了理解发明之理论或原理的在后文件

“X” 特别相关的文件，单独考虑该文件，认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性

“Y” 特别相关的文件，当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时，要求保护的发明不具有创造性

“&” 同族专利的文件

国际检索实际完成的日期	国际检索报告邮寄日期
2017年 8月 22日	2017年 10月 12日
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局(ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451	受权官员 彭敏 电话号码 (86-10)62084744

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号
PCT/CN2017/091930

检索报告引用的专利文件			公布日（年/月/日）	同族专利			公布日（年/月/日）
CN	106048430	A	2016年 10月 26日	无			
CN	1800427	A	2006年 7月 12日	CN	100395366	C	2008年 6月 18日
CN	101338399	A	2009年 1月 7日	CN	100567549	C	2009年 12月 9日
WO	2012048841	A1	2012年 4月 19日	EP	2627790	B1	2014年 10月 8日
				JP	2013545890	A	2013年 12月 26日
				EP	2627790	A1	2013年 8月 21日
				CN	103154279	A	2013年 6月 12日
				CN	103154279	B	2015年 9月 23日
				WO	2012048841	A8	2013年 4月 25日
				US	2013192726	A1	2013年 8月 1日
				IN	201303610	P4	2016年 6月 10日