

[19] 中华人民共和国国家知识产权局



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 200610042759.1

[51] Int. Cl.

*B21B 27/02 (2006.01)*  
*C22C 38/60 (2006.01)*  
*C22C 38/38 (2006.01)*  
*C22C 38/36 (2006.01)*  
*C22C 37/04 (2006.01)*  
*B22D 13/12 (2006.01)*

[45] 授权公告日 2008年2月20日

[11] 授权公告号 CN 100369681C

[51] Int. Cl. (续)

*C21D 9/38 (2006.01)*

*C21D 5/00 (2006.01)*

*C21D 6/00 (2006.01)*

[22] 申请日 2006.4.30

[21] 申请号 200610042759.1

[73] 专利权人 郑州航空工业管理学院

地址 450015 河南省郑州市大学中路2号

[72] 发明人 符寒光 蒋志强 冯锡兰

[56] 参考文献

CN1631565A 2005.6.29

CN1212204C 2005.7.27

CN1064556C 2001.4.18

JP6-145887A 1994.5.27

US6095957A 2000.8.1

离心铸造复合高速钢辊环的研制. 吴卫强, 符寒光. 钢铁钒钛, 第20卷第4期. 1999

审查员 仓公林

[74] 专利代理机构 西安通大专利代理有限责任公司

代理人 李郑建

权利要求书3页 说明书12页

[54] 发明名称

一种高速钢复合轧辊及其制造方法

[57] 摘要

本发明公开了一种高速钢复合轧辊及其制造方法, 本发明的高速钢复合轧辊由辊身和辊芯通过离心铸造方法复合而成, 辊身材料是高碳高速钢, 主要含有的化学成分的重量百分比是: C, 1.8~2.8; Mo, 4.0~8.0; V, 3.0~7.0; Nb, 1.5~4.0; Cr, 6.0~12.0; RE, 0.1~0.25; Ti, 0.15~0.40; N, 0.08~0.20; K, 0.06~0.18; Si < 2.0; Mn < 2.0; S < 0.05; P < 0.05; 余量为Fe和不可检测的微量杂质; 辊芯材料是高强度球墨铸铁, 主要含有的化学成分的重量百分比是: C, 3.2~3.6; Si, 1.8~2.4; Mn, 0.4~0.8; Ni, 0.3~1.2; Cr, 0.3~0.8; Mo, 0.2~0.5; Mg, 0.03~0.08; RE, 0.05~0.14; P < 0.08; S < 0.03; 余量为Fe和不可检测的微量杂质。其耐磨性明显优于高镍铬无限冷硬铸铁轧辊和高铬铸铁轧辊, 工艺简单, 生产效率高。

1、一种高速钢复合轧辊，由辊身和辊芯组成；其特征在于：

辊身材料是高碳高速钢，主要含有下列重量百分比的化学成分：C, 1.8~2.8；Mo, 4.0~8.0；V, 3.0~7.0；Nb, 1.5~4.0；Cr, 6.0~12.0；RE, 0.1~0.25；Ti, 0.15~0.40；N, 0.08~0.20；K, 0.06~0.18；Si<2.0；Mn<2.0；S<0.05；P<0.05；余量为Fe和不可检测的微量杂质；

辊芯材料是高强度球墨铸铁，主要含有下列重量百分比的化学成分：C, 3.2~3.6；Si, 1.8~2.4；Mn, 0.4~0.8；Ni, 0.3~1.2；Cr, 0.3~0.8；Mo, 0.2~0.5；Mg, 0.03~0.08；RE, 0.05~0.14；P<0.08；S<0.03；余量为Fe和不可检测的微量杂质。

2、权利要求1所述的高速钢复合轧辊的制造方法，其特征在于，该方法将辊身和辊芯分别用电炉熔炼，采用离心铸造方法复合成形，其工艺步骤是：

1) 辊身高碳高速钢的钢水熔炼

① 将普通废钢、生铁、钼铁、铌铁和铬铁按权利要求1的辊身成分要求混合放入炉中加热熔化，钢水熔清后加入硅铁和锰铁，出炉前加入钒铁；

② 炉前调整成分合格后将温度升至1520℃~1600℃，加入占钢水重量0.10%~0.30%的Al脱氧，而后出炉；

③ 将含钾变质剂、含氮变质剂、稀土硅铁和钛铁破碎至粒度小于16mm的小块，经240℃以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

2) 辊芯高强度球墨铸铁的铁水熔炼

① 将普通废钢、硅铁、锰铁、镍板、钼铁和铬铁按权利要求1的辊芯成分要求混合放入炉中加热熔化，用石墨或生铁增碳；

② 炉前调整成分合格后将温度升至1420℃~1450℃后出炉；

③ 将稀土镁球化剂破碎至粒度小于 18mm 的小块, 经 180℃ 以下烘干后, 置于浇包底部, 用包内冲入法对铁水进行球化处理, 铁水入浇包时, 加入 0.8%~1.2% 的 75% 硅铁合金进行随流孕育处理;

3) 轧辊用离心铸造方法复合而成的工艺步骤是:

① 先将高碳高速钢钢水浇入在离心机上旋转的铸型内, 钢水浇注温度为 1420℃~1450℃, 铸型材质是 HT200, 壁厚 80mm~200mm, 预热温度大于 200℃, 并在此温度下喷刷涂料, 浇注时铸型温度不低于 120℃; 铸型采用双层涂料, 底层为隔热层, 面层为耐火层, 涂料总厚度小于 2mm;

② 浇注初期铸型转速  $n_1$  按下式确定:

$$n_1 = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}} \cdot \beta \quad \text{式 (1)}$$

式中:  $n_1$ —浇注初期的铸型转数, r/min,  $\gamma$ —高碳高速钢溶液密度, g/cm<sup>3</sup>,  $r$ —辊身内半径, cm,  $\beta$ —调整系数, 高碳高速钢为 1.4~1.6;

③ 浇注完毕后铸型转速  $n_2$  按下式确定:

$$n_2 = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot R}} \cdot \beta \quad \text{式 (2)}$$

式中:  $n_2$ —浇注完毕后的铸型转数 r/min,  $R$ —辊身外半径 cm;

④ 浇注完毕 5min~6min 后, 将铸型转速调整为  $n_3$ ,  $n_3$  按下式确定:

$$n_3 = (0.7 \sim 0.9)n_2 \quad \text{式 (3)}$$

⑤ 浇注完毕 10min~20min 后, 用非接触式测温仪测量辊身内层温度, 当温度为 1220℃~1280℃ 时, 浇入辊芯球墨铸铁铁水, 铁水浇注温度为 1320℃~1360℃;

⑥ 球铁铁水浇注完毕 3min~5min 后, 将铸型转速调整为  $n_4$ ,  $n_4$  按下式确定:

$$n_4 = (0.7 \sim 0.9)n_3 \quad \text{式 (4)}$$

铸型在  $n_4$  下旋转 6min~8min 后, 离心机停机, 随后取出高速钢复合轧辊进保温炉或缓冷坑;

高速钢复合轧辊在退火炉中加热至 880℃~920℃ 保温后炉冷, 直接进行粗加工; 然后在 1020℃~1050℃ 下保温 3h~5h 后空冷或雾冷, 再在 520℃~550℃ 下回火两次, 保温时间 4h~8h, 最后将轧辊精加工至规定尺寸。

3. 如权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述的隔热层其组成的重量百分比是: 硅藻土粉, 20%~30%; 膨润土, 2%~5%; 锆英粉, 0~6%, 其余是水。

4. 如权利要求 2 所述的方法, 其特征在于, 所述的耐火层其组成的重量百分比是: 锆英粉, 58%~68%; 膨润土, 1%~5%; 硅溶胶, 2%~5%; 其余是水。

## 一种高速钢复合轧辊及其制造方法

### 技术领域

本发明属于轧钢技术领域，涉及轧辊的制造方法，特别是一种高速钢复合轧辊及其制造方法：

### 背景技术

热轧辊是轧钢生产的关键工具，使用条件极其苛刻，必须能够承受相当强烈的力与热的作用。除了要有较高的强韧性，防止轧辊使用中发生断裂事故，表面还应具有良好的耐磨、耐热性能，单一轧辊材质难以满足热轧辊的要求。用强韧性好的辊芯材料与耐磨、耐热性好的高速钢辊身材料组成的复合轧辊，是轧辊发展的主要方向。常用的轧辊复合方法主要有：冲洗复合铸造法、离心复合铸造法、连续铸造复合法、电渣重熔法、热等静压法、喷射沉积成形法、机械组合法和表面堆焊法等。其中冲洗复合铸造法工艺简单，但存在金属液收得率低、合金材料浪费严重以及轧辊表面质量差等不足，很难应用于高速钢复合轧辊的生产。应用机械组合法制备复合轧辊工艺复杂，生产效率低。应用表面堆焊法制造复合轧辊不仅效率低，而且堆焊层易出现夹渣、气孔和裂纹等缺陷，易影响轧辊的正常使用。离心复合铸造轧辊生产方法与连续铸造复合法（中国发明专利 CN1280042）、电渣重熔法（美国专利 US5081760、中国发明专利 CN1157192）、喷射沉积成形法和热等静压法（日本专利公报特开昭 61-238407）等相比较，具有设备投资少、生产效率高、生产成本低、操作方法简便和产品质量稳定等优点。但是，由于高速钢中含有较多的 W、Cr、Mo、V 等合金元素，而这些元素及其形成的碳化物的密度差很大，在普通离心铸造条件下，高速钢轧辊合金元素偏析严重，外层 V 含量低，而 W、Mo 含量高，内层正好相反，严重影响轧辊的使用。

另外，在离心铸造高速钢复合轧辊过程中，离心力的作用易引起轧辊产生裂纹。

### 发明内容

本发明的目的是给出一种高速钢复合轧辊及其制造方法，该高速钢复合轧辊由辊身和辊芯复合而成，辊身使用的材料是耐磨性能优异的高碳高速钢，辊芯使用的材料是高强度球墨铸铁。本发明高速钢复合轧辊采用离心铸造方法成形，为了防止元素偏析，辊身高碳高速钢中不含密度高的钨元素，另外，在高碳高速钢中添加有铌元素，由于生成密度较大的MC型复合碳化物（V、Nb系复合碳化物），其密度与钢水密度相接近，使VC减少，有效控制了离心铸造高速钢轧辊的碳化物偏析，提高了高速钢轧辊的耐磨性。另外，在高碳高速钢中，加入稀土—钛—氮—钾进行复合变质处理，可以使碳化物和基体组织明显细化，提高了高速钢轧辊抗裂纹形成能力，还明显改善高速钢轧辊的热疲劳性能。在离心铸造中，通过控制铸型转速和采用铸型复合涂料，可以明显改善高速钢轧辊抗铸造开裂能力。

本发明的目的可以通过以下措施来实现：

一种高速钢复合轧辊，由辊身和辊芯组成；其特征在于：

辊身材料是高碳高速钢，主要含有下列重量百分比的化学成分：C，1.8~2.8；Mo，4.0~8.0；V，3.0~7.0；Nb，1.5~4.0；Cr，6.0~12.0；RE，0.1~0.25；Ti，0.15~0.40；N，0.08~0.20；K，0.06~0.18；Si<2.0；Mn<2.0；S<0.05；P<0.05；余量为Fe和不可检测的微量杂质；

辊芯材料是高强度球墨铸铁，主要含有下列重量百分比的化学成分：C，3.2~3.6；Si，1.8~2.4；Mn，0.4~0.8；Ni，0.3~1.2；Cr，0.3~0.8；Mo，0.2~0.5；Mg，0.03~0.08；RE，0.05~0.14；P<0.08；S<0.03；余量为Fe和不可检测的微量杂质。

上述高速钢复合轧辊的制造方法，其特征在于，该方法将辊身和辊芯分

别用电炉熔炼，采用离心铸造方法复合成形，其工艺步骤是：

1) 辊身高碳高速钢的钢水熔炼

① 将普通废钢、生铁、钼铁、铌铁和铬铁按辊身成分要求混合放入炉中加热熔化，钢水熔清后加入硅铁和锰铁，出炉前加入钒铁；

② 炉前调整成分合格后将温度升至  $1520^{\circ}\text{C}\sim 1600^{\circ}\text{C}$ ，加入占钢水重量  $0.10\%\sim 0.30\%$ 的 Al 脱氧，而后出炉；

③ 将含钾变质剂、含氮变质剂、稀土硅铁和钛铁破碎至粒度小于 16mm 的小块，经  $240^{\circ}\text{C}$  以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理；

2) 辊芯高强度球墨铸铁的铁水熔炼

① 将普通废钢、硅铁、锰铁、镍板、钼铁和铬铁按辊芯成分要求混合放入炉中加热熔化，用石墨或生铁增碳；

② 炉前调整成分合格后将温度升至  $1420^{\circ}\text{C}\sim 1450^{\circ}\text{C}$  后出炉；

③ 将稀土镁球化剂破碎至粒度小于 18mm 的小块，经  $180^{\circ}\text{C}$  以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对铁水进行球化处理，铁水入浇包时，加入  $0.8\%\sim 1.2\%$ 的 75%硅铁合金进行随流孕育处理；

3) 轧辊用离心铸造方法复合而成的工艺步骤是：

① 先将高碳高速钢钢水浇入在离心机上旋转的铸型内，钢水浇注温度为  $1420^{\circ}\text{C}\sim 1450^{\circ}\text{C}$ ，铸型材质是 HT200，壁厚  $80\text{mm}\sim 200\text{mm}$ ，预热温度大于  $200^{\circ}\text{C}$ ，并在此温度下喷刷涂料，浇注时铸型温度不低于  $120^{\circ}\text{C}$ ；铸型采用双层涂料，底层为隔热层，其组成的重量百分比是： $20\%\sim 30\%$ 硅藻土粉、 $2\%\sim 5\%$ 膨润土， $0\sim 6\%$ 锆英粉，其余是水；面层为耐火层，其组成的重量百分比是： $58\%\sim 68\%$ 锆英粉， $1\%\sim 5\%$ 膨润土， $2\%\sim 5\%$ 硅溶胶，其余是水；涂料总厚度小于 2mm；

② 浇注初期铸型转速  $n_1$  按下式确定：

$$n_1 = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot r}} \cdot \beta \quad \text{式 (1)}$$

式中： $n_1$ —浇注初期的铸型转数，r/min， $\gamma$ —高碳高速钢溶液密度，g/cm<sup>3</sup>， $r$ —辊身内半径，cm， $\beta$ —调整系数，高碳高速钢为1.4~1.6；

③ 浇注完毕后铸型转速  $n_2$  按下式确定：

$$n_2 = \frac{5520}{\sqrt{\gamma \cdot R}} \cdot \beta \quad \text{式 (2)}$$

式中： $n_2$ —浇注完毕后的铸型转数，r/min， $R$ —辊身外半径，cm；

④ 浇注完毕5min~6min后，将铸型转速调整为  $n_3$ ， $n_3$  按下式确定：

$$n_3 = (0.7 \sim 0.9)n_2 \quad \text{式 (3)}$$

⑤ 浇注完毕10min~20min后，用非接触式测温仪测量辊身内层温度，当温度为1220℃~1280℃时，浇入辊芯球墨铸铁铁水，铁水浇注温度为1320℃~1360℃；

⑥ 球铁铁水浇注完毕3min~5min后，将铸型转速调整为  $n_4$ ， $n_4$  按下式确定：

$$n_4 = (0.7 \sim 0.9)n_3 \quad \text{式 (4)}$$

铸型在  $n_4$  下旋转6min~8min后，离心机停机，随后取出高速钢复合轧辊进保温炉或缓冷坑。

将高速钢复合轧辊置入退火炉中，加热至880℃~920℃保温后炉冷，硬度小于HRC35，直接进行粗加工；然后在1020℃~1050℃下保温3h~5h后空冷或雾冷，再在520℃~550℃下回火两次，保温时间4h~8h，最后将轧辊精加工至规定尺寸。

轧辊材质的性能是由金相组织决定的，而轧辊的组织取决于化学成分及热处理工艺，本发明化学成分是这样确定的：

碳是形成耐磨相碳化物的基本元素，碳加入量太少导致碳化物数量少，



影响耐磨性，碳加入量过多会增大材料的脆性。而热轧辊工作时与温度高达1000℃多的轧件相接触，轧辊表面最高温度超过500℃，且接着受高压水的冷却。因此若碳含量过高，增大了轧辊表面出现龟裂的危险，最终将导致轧辊的破裂，综合考虑将辊身高速钢的碳含量控制在1.8%~2.8%。

钼在高速钢中部分形成碳化物，有利于提高高速钢轧辊硬度并改善其耐磨性；部分进入基体，有利于提高高速钢轧辊的淬透性和红硬性，确保高速钢轧辊在高温环境下具有优异的耐磨性。钼增大高速钢的脱碳敏感性，对高速钢的晶粒变粗也有较高的敏感性，综合考虑将钼含量控制在4.0%~8.0%。

钒在高速钢中主要形成稳定碳化物，溶解在固溶体中的VC，可提高钢的二次硬化能力，保留的碳化物（VC）显微硬度高，可提高高速钢的耐磨性，它的分布是孤立块状，对基体割裂小，有利于提高钢的韧性。但钒含量超过8%以后，钢中出现 $M_3C$ 型碳化物，其硬度迅速下降，不利于提高耐磨性，故钒含量控制在3.0%~7.0%。

由于高速钢轧辊中含有较多的钒元素，钒元素及其形成的碳化物的密度比铁小，在普通离心铸造条件下，高速钢轧辊中钒元素偏析严重，外层钒含量低，而内层钒含量高，严重影响高速钢轧辊的耐磨性。为防止VC偏析，采取添加铌元素，可以生成密度较大的MC型复合碳化物（V、Nb系碳化物），其密度与钢水密度相接近，使VC减少，可有效控制离心铸造高速钢轧辊的碳化物偏析，提高高速钢轧辊的耐磨性。但铌提高钢的淬火温度，降低二次硬度峰值出现的温度，因此铌含量控制在1.5%~4.0%较合理。

铬在高速钢中部分存在于碳化物中，还有40%左右存在于基体中。含铬的 $M_{23}C_6$ 型碳化物在较低的淬火温度下便完全溶解，使高速钢产生较高的淬硬性和淬透能力，铬还可以改善轧辊的抗氧化性能。含量过高，多余的铬参与回火时沉淀析出的碳化物的形成，这种含铬碳化物在较低温度时容易析出，降低了高速钢的热稳定性。综合考虑将铬含量控制在6.0%~12.0%。

高速钢轧辊中加入适量的稀土、钛、氮、钾，主要是为了净化钢液，细化组织，改善碳化物的形态和分布，从而达到提高高速钢强韧性和耐磨性的目的。

高速钢轧辊的性能还与铸造方法及其热处理工艺有关。

在普通重力铸造轧辊中，轧辊是靠冒口的重力和体积来补缩，形成轧辊自下而上的顺序凝固。而采用离心铸造方法制造轧辊时，靠离心力的作用，将浇道中的金属液从旋转中心甩向轧辊外缘进行补缩，轧辊有较高的工艺成品率，能大幅度节约金属，降低成本。此外，离心力的作用可加剧铸型内金属的运动，造成凝固由外向内顺序凝固。金属液的运动也有助于树枝状晶的破碎和细化。在离心补缩压力推动下，金属液体也能克服晶粒间“隧道”的阻力进行补缩，提高轧辊致密度。正因为离心铸造具有如此多的优点，因此高速钢复合轧辊采用离心铸造方法制造。

离心铸造中，为了解决轧辊开裂难题，主要从两方面着手，一方面是选择铸型涂料。高速钢轧辊铸造产生裂纹主要是铸型涂料层厚度薄，高速钢轧辊的凝固外壳产生急冷，外壳的内应力增大，在离心力作用下，外壳易出现破裂。当涂料层厚度过厚（大于3.0mm时），涂料层易发生起皮、开裂现象，轧辊更易出现裂纹。本发明采用双层涂料，底层为隔热层，面层为耐火层，效果很好。

另一方面，离心机转数过高，使离心力增大，也促使高速钢轧辊铸造产生裂纹。但是离心机转数过低，轧辊组织疏松，对轧辊的力学性能和使用效果带来不良影响。本发明在轧辊浇注初期采用高转速，在轧辊浇注末期，特别是填充辊芯球墨铸铁铁水后，降低转速，解决了铸造高速钢轧辊开裂难题。

本发明高速钢轧辊退火主要是为了软化组织，改善加工性能。淬火目的是为了获得高硬度的马氏体组织，提高高速钢轧辊耐磨性。淬火温度过高时，将会促使轧辊芯部的球墨铸铁组织粗化，损害轧辊强度。在1020~1050℃

加热淬火,外层可获得高硬度的马氏体组织,对内层球墨铸铁性能影响不大,高速钢复合轧辊可以获得良好的综合性能。高速钢轧辊回火的目的是为了消除淬火应力和稳定组织。

本发明高速钢复合轧辊与现有技术相比具有如下特点:

① 用本发明制造高速钢复合轧辊生产工艺简单,效率高,轧辊辊身的金相组织中含有 18.3%~27.5%的高硬度碳化物,导致轧辊硬度高,达到 HRC64~67,耐磨性好。用于热轧带钢精轧机前架,高速钢轧辊一个轧制单元(2小时)的磨损量为 0.018~0.022mm,而高镍铬无限冷硬轧辊的平均磨损量为 0.093mm,高速钢轧辊的耐磨性是高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的 4.23~5.17 倍;在棒材轧机精轧机架轧制  $\Phi 12\text{mm}$  螺纹钢,高速钢复合轧辊的磨损量为 1.19~1.44mm/1000 吨钢,而高铬铸铁轧辊的平均磨损量为 14.36mm/1000 吨钢,高速钢轧辊的耐磨性是高铬铸铁轧辊的 9.97~12.07 倍。

② 用本发明制造的高速钢复合轧辊,由于铸型采用了双层涂料,且在铸造成形过程中采用了铸型转速断续变换,轧辊铸造中无裂纹出现。

③ 本发明制造的高速钢复合轧辊,辊身高速钢材质中加入铌元素,形成 V、Nb 系复合碳化物,明显减轻了轧辊的元素偏析,并用稀土-钛-氮-钾复合变质处理,明显改善了碳化物的形态和分布,细化了基体组织,使材料韧性明显提高,冲击韧性达到 11.7~13.2J/cm<sup>2</sup>。

④ 本发明制造的高速钢复合轧辊,辊芯强度大于 580MPa,轧辊使用中无断辊现象出现;轧辊使用过程中无剥落、裂纹、粘钢现象产生,明显改善了轧材表面质量,减轻了工人劳动强度,提高了轧钢设备生产作业率。

### 具体实施方式

下面结合发明人给出的实施例对本发明作进一步的详细说明。

#### 实施例 1:

本实施例的高速钢复合轧辊。其外径为  $\Phi 370\text{mm}$ ，轧辊辊身厚度  $70\text{mm}$ ，轧辊外层单边加工量  $8\text{mm}$ ，高速钢复合轧辊的辊身和辊芯分别用  $500\text{kg}$  和  $1000\text{kg}$  中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

#### (1) 辊身高速钢钢水的熔炼

① 将普通废钢、生铁、钼铁、铌铁和铬铁按上述成分要求混合放入炉中加热熔化，钢水熔清后加入硅铁和锰铁；出炉前加入钒铁；

② 炉前调整成分合格后将温度升至  $1580^{\circ}\text{C}$ ，加入占钢水重量  $0.23\% \text{Al}$  脱氧，而后出炉；

③ 将含钾变质剂、含氮变质剂、稀土硅铁和钛铁破碎至粒度小于  $16\text{mm}$  的小块，经  $240^{\circ}\text{C}$  以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理。

#### (2) 辊芯球墨铸铁铁水的熔炼

① 将普通废钢、硅铁、锰铁、镍板、钼铁和铬铁按上述成分要求混合放入炉中加热熔化，用石墨增碳；

② 炉前调整成分合格后将温度升至  $1430^{\circ}\text{C}$  后出炉；

③ 将稀土镁球化剂破碎至粒度小于  $18\text{mm}$  的小块，经  $180^{\circ}\text{C}$  以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对铁水进行球化处理，铁水入浇包时，加入  $0.97\%$  的  $75\%$  硅铁合金进行随流孕育处理。

#### (3) 高速钢复合轧辊铸造成形

① 先将辊身高速钢钢水浇入在离心机上旋转的铸型内，钢水浇注温度为  $1440^{\circ}\text{C}$ ，铸型材质是 HT200，壁厚  $110\text{mm}$ ，预热温度  $220^{\circ}\text{C}$ ，并在此温度下喷刷涂料，浇注时铸型温度  $137^{\circ}\text{C}$ 。铸型采用双层涂料，底层为隔热层，其组成是：28% 硅藻土粉、3% 膨润土、69% 水，底层厚度  $0.83\text{mm}$ ；面层为耐火层，其组成是：65% 锆英粉，2% 膨润土，3% 硅溶胶和 30% 水，面层厚度  $0.58\text{mm}$ 。

- ② 浇注初期铸型转速  $n_1$  按式 (1) 确定,  $n_1$  为 875 r/min。
- ③ 浇注完毕后铸型转速  $n_2$  按式 (2) 确定,  $n_2$  为 675 r/min。
- ④ 浇注完毕 5.7min 后, 将铸型转速调整为  $n_3$ ,  $n_3$  为 540 r/min。
- ⑤ 浇注完毕 12min 后, 用非接触式测温仪测量高速钢辊身内层温度, 温度为 1270℃, 浇入辊芯球墨铸铁铁水, 铁水浇注温度为 1340℃。
- ⑥ 球铁铁水浇注完毕 4min 后, 将铸型转速调整为  $n_4$ ,  $n_4$  为 430 r/min。铸型在  $n_4$  下旋转 7min 后, 离心机停机, 随后取出轧辊进保温炉缓冷。

(4) 高速钢复合轧辊在退后炉内加热至 900℃, 保温后炉冷, 硬度小于 HRC35, 直接进行粗加工; 随后在 1040℃ 保温 4h 后空冷, 再在 540℃ 下回火两次, 保温时间 6h, 最后将轧辊精加工至规定尺寸。高速钢复合轧辊主要成分见表 1, 机械性能见表 2。

表 1 高速钢复合轧辊化学成分 (重量%)

元素	C	Mo	V	Nb	Cr	RE	Ti	N	K	Si	Mn	S	P	Fe
辊身	2.38	5.77	4.62	2.83	8.17	0.17	0.23	0.09	0.15	1.27	0.88	0.028	0.039	余
辊芯	3.54	0.32	-	-	0.52	0.08	-	0.46Ni	0.06Mg	2.27	0.54	0.019	0.047	余

表 2 高速钢复合轧辊机械性能

轧辊位置	硬度 HRC	冲击韧性 J/cm <sup>2</sup>	抗拉强度 MPa	延伸率 %
辊身	65.3	12.8	—	—
辊芯	27.1	—	593	2.38

### 实施例 2:

本发明高速钢复合轧辊外径  $\Phi 350\text{mm}$ , 轧辊辊身厚度 65mm, 轧辊外层单边加工量 8mm, 高速钢复合轧辊的辊身和辊芯分别用 500kg 和 1000kg 中频感应电炉熔炼, 其制造工艺步骤是:

### (1) 辊身高速钢钢水的熔炼

① 将普通废钢、生铁、钼铁、铌铁和铬铁按上述成分要求混合放入炉中加热熔化，钢水熔清后加入硅铁和锰铁，出炉前加入钒铁；

② 炉前调整成分合格后将温度升至 1535℃，加入占钢水重量 0.18%Al 脱氧，而后出炉；

③ 将含钾变质剂、含氮变质剂、稀土硅铁和钛铁破碎至粒度小于 16mm 的小块，经 240℃ 以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对钢水进行复合变质处理。

### (2) 辊芯球墨铸铁铁水的熔炼

① 将普通废钢、硅铁、锰铁、镍板、钼铁和铬铁按上述成分要求混合放入炉中加热熔化，用生铁增碳；

② 炉前调整成分合格后将温度升至 1445℃ 后出炉；

③ 将稀土镁球化剂破碎至粒度小于 18mm 的小块，经 180℃ 以下烘干后，置于浇包底部，用包内冲入法对铁水进行球化处理，铁水入浇包时，加入 1.04% 的 75% 硅铁合金进行随流孕育处理。

### (3) 高速钢复合轧辊铸造成形

① 先将辊身高速钢钢水浇入在离心机上旋转的铸型内，钢水浇注温度为 1435℃，铸型材质是 HT200，壁厚 120mm，预热温度 250℃，并在此温度下喷刷涂料，浇注时铸型温度 141℃。铸型采用双层涂料，底层为隔热层，其组成是：24% 硅藻土粉，4% 膨润土，5% 锆英粉，67% 水，底层厚度 0.75mm；面层为耐火层，其组成是：60% 锆英粉、4% 膨润土、4% 硅溶胶，32% 水，面层厚度 0.58mm。

② 浇注初期铸型转速  $n_1$  按式 (1) 确定， $n_1$  为 895 r/min。

③ 浇注完毕后铸型转速  $n_2$  按式 (2) 确定， $n_2$  为 695 r/min。

④ 浇注完毕 5.5min 后，将铸型转速调整为  $n_3$ ， $n_3$  为 560 r/min。

⑤ 浇注完毕 14min 后，用非接触式测温仪测量高速钢辊身内层温度，温度为 1230℃，浇入辊芯球墨铸铁铁水，铁水浇注温度为 1350℃。

⑥ 球铁铁水浇注完毕 4.5min 后，将铸型转速调整为  $n_1$ ， $n_1$  为 450 r/min。铸型在  $n_1$  下旋转 7min 后，离心机停机，随后取出轧辊进缓冷坑。

(4) 高速钢复合轧辊在退后炉内加热至 890℃保温后炉冷，硬度小于 HRC35，直接进行粗加工；随后在 1025℃保温 4.5h 后雾冷，再在 525℃下回火两次，保温时间 7h，最后将轧辊精加工至规定尺寸。高速钢复合轧辊主要成分见表 3，机械性能见表 4。

表 3 高速钢复合轧辊化学成分（重量%）

元素	C	Mo	V	Nb	Cr	RE	Ti	N	K	Si	Mn	S	P	Fe
辊身	2.65	6.18	6.03	3.16	6.22	0.12	0.28	0.17	0.08	1.33	0.71	0.032	0.040	余
辊芯	3.57	0.30	-	-	0.71	0.11	-	0.48Ni	0.07Mg	2.15	0.59	0.017	0.048	余

表 4 高速钢复合轧辊机械性能

轧辊位置	硬度 HRC	冲击韧性 J/cm <sup>2</sup>	抗拉强度 MPa	延伸率 %
辊身	66.7	12.1	—	—
辊芯	28.4	—	608	2.14

取本发明高速钢复合轧辊分别在热轧带钢精轧机前架和棒材轧机精轧机架上进行装机使用，分别轧制 3.5mm 热带钢和  $\Phi 12$ mm 螺纹钢，结果如下：

用于热轧带钢精轧机前架使用时，高速钢复合轧辊一个轧制单元（2 小时）的磨损量为 0.018~0.022mm，而高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的平均磨损量为 0.093mm，高速钢轧辊的耐磨性是高镍铬无限冷硬铸铁轧辊的 4.23~5.17 倍；在棒材轧机精轧机架使用时，高速钢复合轧辊的磨损量为 1.19~1.44mm/1000 吨钢，而高铬铸铁轧辊的平均磨损量为 14.36mm/1000 吨钢，

---

高速钢轧辊的耐磨性是高铬铸铁轧辊的 9.97~12.07 倍。本发明高速钢复合轧辊，辊芯强度高，轧辊使用中无断辊现象出现。轧辊使用过程中亦无剥落、裂纹、粘钢现象产生，明显改善了轧材表面质量，减轻了工人劳动强度，提高了轧钢设备生产作业率，具有很好的经济效益。