

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

B22D 13/12 (2006.01)

C22C 38/18 (2006.01)



[12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 200610041705.3

[43] 公开日 2006年7月19日

[11] 公开号 CN 1803339A

[22] 申请日 2006.1.19

[21] 申请号 200610041705.3

[71] 申请人 郑州航空工业管理学院

地址 450005 河南省郑州市大学中路2号

[72] 发明人 符寒光 蒋志强 施进发

[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2页 说明书13页 附图1页

[54] 发明名称

一种低裂纹型高速钢轧辊及其离心铸造方法

[57] 摘要

本发明公开了一种低裂纹型高速钢轧辊及其离心铸造方法，制成的该低裂纹型高速钢轧辊的化学成分的重量百分比为：C：1.5%~2.0%，W：3.0%~6.0%，Mo：1.5%~3.0%，V：3.0%~10.0%，Cr：3.0%~10.0%，Ni：1.5%~3.0%，Mn<1.5%，Si<1.5%，RE：0.08%~0.20%，K：0.05%~0.15%，Mg：0.04%~0.10%，其中， $0.20 < RE + K + Mg < 0.40$ ，余量为Fe和不可避免的微量杂质。其制造工艺采用变速离心铸造、变流量浇注和变速凝固冷却，调整铸型与轧辊内的温度场和应力场分布，消除离心铸造高速钢轧辊裂纹，并经正火和回火处理，该低裂纹型高速钢轧辊在轧机上使用安全，无粘钢、断辊和剥落等现象出现，使用寿命接近硬质合金轧辊，比合金铸铁轧辊提高8~15倍，具有很好的经济效益。

1、一种低裂纹型高速钢轧辊，其特征在于，制成的该低裂纹型高速钢轧辊的化学成分的重量百分比为：C：1.5%~2.0%，W：3.0%~6.0%，Mo：1.5%~3.0%，V：3.0%~10.0%，Cr：3.0%~10.0%，Ni：1.5%~3.0%，Mn<1.5%，Si<1.5%，RE：0.08%~0.20%，K：0.05%~0.15%，Mg：0.04%~0.10%，其中， $0.20 < RE + K + Mg < 0.40$ ，余量为Fe和不可避免的微量杂质。

2、实现权利要求1所述的低裂纹型高速钢轧辊的离心铸造方法，该方法采用电炉生产，其特征在于，按下列步骤进行：

1) 将普通废钢、铬铁、钨铁、钒铁、钼铁和镍板混合加热熔化，用生铁或石墨增碳；

2) 炉前调整成分合格后将温度升至 $1600^{\circ}\text{C} \sim 1650^{\circ}\text{C}$ ，并加入硅铁和锰铁预脱氧，加入铝终脱氧，而后出炉；

3) 将含稀土、钾和镁的复合变质剂破碎至粒度小于18mm的小块，经 230°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；

4) 用离心铸造方法制造低裂纹型高速钢轧辊，铸型采用铸铁材质制造，铸型厚度90mm~200mm，铸型预热温度大于 150°C ，并在此温度下对铸型喷刷涂料；

5) 轧辊浇注过程中采用变速离心铸造工艺成型，即在开始浇注钢水时大流快浇，铸型在第一速度 n_1 状态下停留凝固 t_1 时间，而后立即降至第二速度 n_2 ，并在第二速度 n_2 状态下停留凝固 t_2 时间，然后将铸型转数提高到第三速度 n_3 ，并在第三速度 n_3 保持凝固 t_3 时间后，立即将铸型转数降至第四速度 n_4 ，并在该第四速度 n_4 状态下停留凝固 t_4 时间，然后停机取出轧辊，置于保温坑或保温炉中缓冷，其中， $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$ ， $t_4 > t_3 > t_2 > t_1$ ；

在钢水浇注时，先采取大流量快速浇注，快速浇注的金属液为总量的35%~45%，当金属型充满溶液后应降低浇注速度，慢速浇注的金属液为总

量的55%~65%；钢水浇注完后，立即加入防氧化溶剂并水冷铸型，当第三速度 n_3 向第四速度 n_4 过渡时，铸型停止水冷；

6) 对铸造的低裂纹型高速钢轧辊随后进行正火和回火热处理，正火温度 950~1150℃，保温时间 3~8 小时，回火温度 500~600℃，保温时间 4~10 小时即可得到低裂纹型高速钢轧辊。

一种低裂纹型高速钢轧辊及其离心铸造方法

技术领域

本发明属于轧钢技术领域，涉及一种各类轧钢机用的轧辊，特别是一种低裂纹型高速钢轧辊及其离心铸造方法。

背景技术

高速钢轧辊是利用具有高硬度，尤其是具有很好红硬性、耐磨性和淬透性的高速钢作为轧辊工作层，用韧性满足要求的锻钢、铸钢或铸铁作为轧辊芯部材料，把工作层和芯部以冶金或套装方式结合起来的高性能轧辊。美国专利 US6206814 公开了一种用连续浇注外层成形法（Continuous Pouring Process for Cladding, CPC）生产高速钢轧辊方法，其轧辊化学成分如下：C：0.9-1.5%，Si：0.3-1.0%，Mn：0.3-1.0%，Cr：4.0-10.0%，Mo：2.0-8.0%，V：0.5-5.0%，其余是铁和不可避免的微量杂质。采用 CPC 方法制造高速钢轧辊组织致密，不易产生裂纹。中国发明专利 CN1559726 公开了一种改进型的 CPC 生产高速钢复合轧辊方法，即电磁连续铸造高速钢复合轧辊方法。是将在保护气氛下预热的芯部球墨铸铁放入到连续铸造模中，在连续冷却铸造模外面加磁场强度和频率可调的中频磁场，这时将 1600℃ 的高速钢液在连续冷却铸造模中进行浇铸，在浇铸的同时，用在电磁场的作用下产生的罗仑兹力对液态金属进行约束和搅拌，快速冷却后，制备出既有良好的轧辊表面质量，又具有优异性能的高速钢复合轧辊。该方法细化了微观组织，减少合金元素的偏析和碳化物的宏观偏析，提高界面的结合强度。还可以减少铸造缺陷，改善轧辊表面质量。但是这一工艺存在生产效率低和生产成本高的不足（Ichino K, Kataoka Y and Koseki T. Development of centrifugal cast roll with high wear resistance for finishing stands of hot strip mill. Kawasaki Steel Technical Report, 1997 (37): 13~18）。

采用离心铸造方法制造高速钢轧辊具有装备简单和生产效率高特点。美国专利 US6095957 公开了采用离心铸造方法制造高速钢轧辊，轧辊主要成分是：C：2.4-2.9%，Si≤1%，Mn≤1%，Cr：12-18%，Mo：3-9%，V:3-8%，Nb:0.5-4%，余量为 Fe。加入较多的 Nb 主要是为了减轻 VC 的偏析。日本特许公报 JP6330235-A 也公开了采用离心铸造方法制造高速钢轧辊，其轧辊组成如下：C：1.4-2.6%，Si：0.2-1.5%，Mn≤1.5%，Cr：3-8%，(2Mo+W)：6-14%，V:4-8%，且 $V \leq 11.5 - 2.5 \times C$ ，Ti:0.3-2.5%，余量为 Fe，其化学组成中不含镍，但含有较多的钛。日本特许公报 JP6330234-A 还公开了采用离心铸造方法制造高硬度耐磨高速钢轧辊，其轧辊组成如下：C：0.1-2.5%，Si：0.2-1.5%，Mn≤1.5%，Cr：3-8%，6-14%(2Mo+W)，V：3-8%，Ta：0.3-4%，余量为 Fe，其化学组成中含有较多价格昂贵的钽。中国发明专利 CN1179368 也公开了一种离心复合高速钢轧辊的生产方法，主要特征是轧辊外层材质为高速钢，轧辊芯部材质为合金球墨铸铁，两种不同材料采用离心铸造复合而成。外层钢水在浇注前加入稀土进行变质处理，稀土的加入量为 0.03~0.5%。同时，在外层钢水浇注后加入保护剂保护，以防止外层内表面的氧化，保护剂的加入量为 3~5kg/m²，外层钢水的浇注温度为 1400℃~1550℃，芯部铁水的浇注温度为 1350℃~1450℃。但是，由于凝固温度范围宽，热裂抗力低，加之在离心铸造过程中受离心压力和离心机振动而产生的机械应力作用，离心铸造高速钢轧辊极易出现裂纹。轧辊使用条件苛刻，性能要求高，工作面不允许焊补，裂纹的出现直接导致轧辊报废。

发明内容

本发明的目的是提供一种低裂纹型高速钢轧辊的化学组成及其离心铸造方法。本发明是在高速钢中加入较多提高抗热裂性能的元素，在此基础上，加入稀土—钾—镁复合变质剂，细化高速钢基体组织并改善碳化物的形态和分布，进一步提高其抗热裂能力。另外，还采用了变速离心铸造技术、变流

量浇注工艺和铸型变速凝固冷却技术,可以调整铸型与轧辊内的温度场和应力场分布,使之有利于钢水的充填和凝固,消除离心铸造高速钢轧辊裂纹。提高轧辊生产合格率,降低轧辊生产成本。

本发明的目的可以通过以下措施来实现:

本发明的低裂纹型高速钢轧辊由下列重量百分比的化学成分构成: C: 1.5~2.0%, W: 3.0~6.0%, Mo: 1.5~3.0%, V: 3.0~10.0%, Cr: 3.0~10.0%, Ni: 1.5~3.0%, Mn <1.5%, Si <1.5%, RE: 0.08~0.20%, K: 0.05~0.15%, Mg: 0.04~0.10%, 其中: $0.20\% < RE + K + Mg < 0.40\%$, 余量为 Fe 和不可避免的微量杂质。

实现上述低裂纹型高速钢轧辊的离心铸造方法,该方法采用电炉生产,其特征在于,按下列步骤进行:

1) 将普通废钢、铬铁、钨铁、钒铁、钼铁和镍板混合加热熔化,用生铁或石墨增碳;

2) 炉前调整成分合格后将温度升至 $1600^{\circ}\text{C} \sim 1650^{\circ}\text{C}$, 并加入硅铁和锰铁预脱氧,加入铝终脱氧,而后出炉;

3) 将含稀土、钾和镁的复合变质剂破碎至粒度小于 18mm 的小块,经 230°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;

4) 用离心铸造方法制造低裂纹型高速钢轧辊,铸型采用铸铁材质制造,铸型厚度 90mm~200mm,铸型预热温度大于 150°C ,并在此温度下对铸型喷刷涂料;

5) 轧辊浇注过程中采用变速离心铸造工艺成型,即在开始浇注钢水时大流快浇,铸型在第一速度 n_1 状态下停留凝固 t_1 时间,而后立即降至第二速度 n_2 ,并在第二速度 n_2 状态下停留凝固 t_2 时间,然后将铸型转数提高到第三速度 n_3 ,并使第三速度 n_3 保持凝固 t_3 时间后,立即将铸型转数降至第四速度 n_4 ,并在该第四速度 n_4 状态下停留凝固 t_4 时间,然后停机取出轧辊,

置于保温坑或保温炉中缓冷，其中， $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$ ， $t_4 > t_3 > t_2 > t_1$ ；

在钢水浇注时，先采取大流量快速浇注，快速浇注的金属液为总量的35%~45%，当金属型充满溶液后应降低浇注速度，慢速浇注的金属液为总量的55%~65%；钢水浇注完后，立即加入防氧化溶剂并水冷铸型，当第三速度 n_3 向第四速度 n_4 过渡时，铸型停止水冷；

6) 铸造轧辊随后进行正火和回火热处理，正火温度950~1150℃，保温时间3~8小时，回火温度500~600℃，保温时间4~10小时，即可得到低裂纹型高速钢轧辊。

本发明的低裂纹型高速钢轧辊具有强度和硬度高，韧性和耐磨性好等特点，在轧机上使用安全，无粘钢、断辊和剥落等现象出现，使用寿命接近硬质合金轧辊，比合金铸铁轧辊提高8~15倍，具有很好的经济效益。

附图说明

图1是低裂纹型高速钢轧辊的铸型转速变换示意图。

以下对本发明作进一步的详细说明。

具体实施方式

本发明的低裂纹型高速钢轧辊的生产方法，可以用电炉生产，其制造工艺步骤是：

① 将普通废钢、铬铁、钨铁、钒铁、钼铁和镍板混合加热熔化，用生铁或石墨增碳。

② 炉前调整成分合格后将温度升至1600℃~1650℃，加入硅铁和锰铁预脱氧，加入铝终脱氧，而后出炉。

③ 将含稀土、钾和镁的复合变质剂破碎至粒度小于18mm的小块，经230℃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。

④ 用离心铸造方法制造高速钢轧辊。铸型采用铸铁材质制造，铸型厚度90~200mm，铸型预热温度大于150℃，并在此温度下喷刷涂料。

⑤ 轧辊浇注过程中采用变速离心铸造工艺成型，即在开始浇注时大流快浇，铸型在第一速度 n_1 停留的时间 t_1 。而后立即降至第二速度 n_2 ， n_2 速度时停留时间 t_2 。然后将铸型转数提高到第三速度 n_3 ，保持 t_3 时间后，立即将铸型转数降至第四速度 n_4 ，停留时间 t_4 后，停机取出轧辊，随后将轧辊置于保温坑或保温炉缓冷。其中转速和凝固时间关系如下： $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$ ， $t_4 > t_3 > t_2 > t_1$ 。钢水浇注时，先采取大流量快速浇注，快速浇注的金属液为总量的35%~45%，当金属型充满溶液后应降低浇注速度，慢速浇注的金属液为总量的55%~65%。钢水浇注完后，立即加入防氧化溶剂并水冷铸型，当 n_3 向 n_4 过渡时，铸型停止水冷。

⑥ 对铸造的低裂纹型高速钢轧辊随后进行正火和回火热处理，正火温度950~1150℃，保温时间3~8小时，回火温度500~600℃，保温时间4~10小时即可。

高速钢轧辊的性能是由金相组织决定的，而金相组织取决于化学成分及热处理工艺，本发明的低裂纹型高速钢轧辊化学成分是这样确定的：

碳：碳主要是为了获得一定数量的碳化物硬质相，改善轧辊耐磨性，部分碳溶入基体还可以提高淬硬性，加入量过多，材料脆性大，抗热裂性能差，易产生铸造裂纹，因此，将其含量控制在1.5%~2.0%。

钨：高速钢轧辊中钨主要以 Fe_4W_2C 形式存在，淬火加热时，一部分 Fe_4W_2C 溶入奥氏体，淬火后存在于马氏体中。钨原子与碳原子结合力较强，能提高回火马氏体的分解温度，钨原子半径大，能提高铁的自扩散激活能，提高钢的回火温度，使高速钢中马氏体加热到600~625℃时还比较稳定。回火过程中有一部分钨以 W_2C 的形式弥散析出，造成二次硬化。淬火加热过程中未溶解的 Fe_4W_2C 能阻止高温下奥氏体晶粒长大。钨量增加，提高钢的红硬性及减少热过敏性，钨太高会增加碳化物的不均匀性，降低钢的高温塑性，易促使轧辊开裂，因此将钨含量控制在3.0%~6.0%。

钼：高速钢轧辊中加钼可改善一次碳化物的不均匀性，降低脆性。回火固溶的钼可以阻止碳化物沿晶界析出，使高速钢强度和韧性提高。钼增大高速钢的脱碳敏感性，将钼含量控制在 1.5%~3.0%。

钒：高速钢轧辊中随着钒含量的提高，共晶反应温度下降，MC 的形成温度升高。钒不仅有利于 MC 型碳化物的形成，而且明显促使层片状 M_2C 型碳化物的形成，抑制骨骼状 M_6C 型碳化物。提高钒含量可显著提高高速钢的高温硬度，对改善高速钢轧辊的高温耐磨性也非常有利。高速钢轧辊中钒含量超过 10%以后，共晶组织中出现低硬度的 M_3C 型碳化物，降低高速钢轧辊的耐磨性。高速钢轧辊中的钒含量控制在 3.0%~10.0%。

铬：铬在高速钢轧辊中能够形成较低的加热温度下完全溶解 $M_{23}C_6$ 型碳化物，提高高速钢轧辊的淬透性和红硬性。铬增加高速钢轧辊中 M_7C_3 型碳化物数量，降低 MC 型碳化物数量，对耐磨性是不利的。含铬量低的轧辊，由于基体优先磨损和轧材粘附在辊表面的缘故，使用中辊表面易变得粗糙，增大了轧制摩擦系数和轧制力。增加铬含量，使轧辊中含有一定数量的 M_7C_3 型碳化物，对改善辊面抗粗糙性，降低轧制力是有益的。铬含量提高，还有利于改善高速钢轧辊的抗热冲击能力。高速钢轧辊中合适的铬含量是 3.0%~10.0%。

硅和锰：高速钢轧辊中加入适量硅和锰具有脱氧和净化钢液作用。但锰含量较高时，有使钢的晶粒粗化的倾向，并增加钢的回火脆敏感性。硅固溶于基体，易使基体脆化，硅含量过高时，轧辊使用时易出现龟裂，降低高速钢轧辊使用性能，因此，将硅、锰含量控制在 1.5%以下。

稀土、钾和镁：高速钢中加入适量稀土和钾具有脱氧、去硫、净化钢液和有利于提高钢液流动性的作用，对夹杂物变质效果好，也有利于组织的细化，从而提高了钢的高温塑性，使钢的线收缩减小，热裂力提高，抗热裂性能改善。镁是熔点低原子半径大的元素，是强成分过冷元素，凝固时镁易富

集在奥氏体周围的钢液中，易引起晶体分枝，形成缩颈，而后在溶液中熔断、脱落、生长，产生自我增殖，使整个钢液内部的晶核数量增加，阻止粗大枝晶组织和柱状晶的生长，导致共晶团、初生奥氏体和碳化物均得以细化。另外，镁还具有较强的活性，脱硫和脱氧能力强，有利于减少夹杂物的数量，并减小夹杂物尺寸。均有利于提高高速钢轧辊抗热裂性能。加入量过多，易形成夹杂物，反而损害高速钢轧辊性能。因此，将稀土含量控制在 0.08%~0.20%，钾含量控制在 0.05%~0.15%，镁含量控制在 0.04%~0.10%，且满足以下关系 $0.20\% < RE + K + Mg < 0.40\%$ 。

不可避免的微量杂质是原料中带入的，其中有磷和硫，均是有害元素，为了保证轧辊的强度、韧性和耐磨性，并防止轧辊制造中出现裂纹，将高速钢轧辊的磷含量控制在 0.05% 以下，硫含量控制在 0.04% 以下。

离心铸造高速钢轧辊裂纹形成的主要原因是高速钢轧辊凝固初期，靠近铸型面易于凝固成薄的固态壳层，且与铸型间产生间隙，薄的固态壳层温度高，强度低，在离心压力作用下易诱发裂纹源。裂纹扩展是因裂纹源萌生后，在离心铸造系统长时间工作环境下，轧辊不能自由凝固收缩所致。改善轧辊离心铸造工艺是防止高速钢轧辊裂纹的重要途径。另外，离心铸造高速钢轧辊采用固定转数制造，除轧辊裂纹缺陷发生的频次急剧增大外，还会影响离心铸造设备系统及铸型的使用寿命，增大动力消耗。

为了消除离心铸造高速钢轧辊铸造裂纹，本发明开发了低裂纹型高速钢轧辊变速离心铸造方法。图 1 是低裂纹型高速钢轧辊的铸型转速变换示意图。其方法是在开始浇注时大流快浇，第一速度 n_1 是保证钢水均匀而快速地覆盖铸型，防止轧辊出现重皮、冷隔等缺陷。铸型在 n_1 停留的时间 t_1 不能太长，否则会由于过大的离心力而导致轧辊凝固外层产生裂纹。铸型在 n_1 速度停留 t_1 时间后，立即降至第二速度 n_2 ，使轧辊外表层形成的固态壳层所受压力显著减小，避免纵向裂纹的产生， n_2 速度时停留时间 t_2 。为了保

证轧辊成形和组织致密,以及低熔点夹杂物富集于轧辊内层,当轧辊外层冷却获得较高强度,足以承受较大离心力作用时,将铸型转数提高到第三速度 n_3 。为了防止轧辊因快速冷却产生过大内应力而导致轧辊产生裂纹,当轧辊完全凝固后,立即将铸型转数降至第四速度 n_4 ,停留时间达到 t_4 时,停机取出轧辊,随后将轧辊置于保温坑或保温炉缓冷,对减轻轧辊随后的冷裂也是非常有效的。图 1 中 $n_1 > n_3 > n_2 > n_4$, $t_4 > t_3 > t_2 > t_1$ 。

另外,钢水浇注完后,立即加入防氧化溶剂,有利于改变与控制离心力场下金属液的充填凝固条件,增大液态筒体内径向温度梯度,创造由外向内的顺序凝固条件,消除轧辊内部的夹杂及疏松等缺陷,改善轧辊抗热裂能力。浇注时采取变流量浇注工艺,也有利于防止裂纹的产生。为了保证成型和防止雨淋,浇注初期采取大流量快速浇注,快速浇注的金属液约为总量的 35%~45%,当金属型充满溶液后应降低浇注速度,慢速浇注的金属液约为总量的 55%~65%。

离心铸造高速钢轧辊裂纹与轧辊厚度有关,轧辊厚度薄时,凝固冷却快,铸造组织细小致密,不易产生裂纹。随着轧辊厚度增加,减慢了凝固和冷却速度,铸造组织粗大,裂纹容易产生。根据液态金属生核速度公式[Turnbull D. Formation of crystal nuclei in liquid metals[J]. Journal of Applied Physics, 1950, 21(10):1022~1028]

$$u = \frac{NkT}{h} \exp\left(-\frac{\Delta F_A + \Delta F^*}{kT}\right) \quad \text{式(1)}$$

式中, u —单位体积液体中每秒产生的晶核数; N —单位体积液体中的原子总数; k —波尔兹曼常量; h —普朗克常量; T —绝对温度, K; ΔF_A —液态金属中原子扩散激活能; ΔF^* —临界晶核形成功, 其值为:

$$\Delta F^* = \frac{1}{3} \left(\frac{16\pi\sigma_{LS}^3 T^2}{L^2 \Delta T^2} \right) \quad \text{式(2)}$$

式中, σ_{LS} —液体和晶体界面上表面能, N/m; L—结晶潜热, J/m³; ΔT —过冷度, K。

式(1)由两项组成, 由于临界晶核形成功 ΔF^* 反比于 ΔT^2 , 故随着过冷度的增大, $\exp(-\frac{\Delta F^*}{kT})$ 项迅速增大, 即生核速度也相应增大。过冷度增大时原子热运动减弱, $\exp(-\frac{\Delta F_A}{kT})$ 项减小, 降低生核速度。由于金属原子的活动能力强, 在普通铸造凝固条件下, 增加过冷度, 都会促进生核速度增大, 加快凝固, 可以获得细小的组织。从工艺上采取措施, 增加轧辊冷却速度, 有利于增加过冷度。为加快高速钢轧辊冷却速度, 发明了喷水冷却加快凝固的办法。在铸型上部, 沿其轴向装一根 $\phi 50\text{mm} \sim \phi 100\text{mm}$ 的水管, 其上钻多排 $\phi 2\text{mm} \sim \phi 5\text{mm}$ 且间距为 $20\text{mm} \sim 40\text{mm}$ 的喷水孔。当钢水浇注完毕后, 立即水冷铸型。高速钢轧辊中含有较多的合金元素, 奥氏体等温转变曲线显著右移, 临界冷却速度小, 空冷条件下奥氏体可以发生马氏体转变。由于轧辊内外层冷却速度的不一致性, 导致内外层组织转变具有不等时性, 奥氏体转变成马氏体时产生体积膨胀, 从而引起体积变化, 由于相变的不等时性, 导致轧辊内产生相变应力。相变应力与热应力方向相反, 相变应力的存在, 有利于减轻裂纹的形成。高速钢轧辊凝固后的快速冷却, 不利于相变的发生, 室温下易获得导热性差的奥氏体组织, 反而促进裂纹的形成。因此高速钢轧辊的铸型水冷工艺应严格控制。采用钢水浇注后水冷铸型, 在图1中的 n_3 向 n_4 过渡时应立即停止水冷铸型, 在停机后马上缓冷轧辊, 可以明显减轻轧辊裂纹的产生。

本发明与现有技术相比具有以下特点:

(1) 本发明制备的低裂纹型高速钢轧辊, 其设备简单, 工艺简便, 操作方便, 轧辊裂纹明显减少。

(2) 本发明的低裂纹型高速钢轧辊的强度和硬度高, 韧性和耐磨性好,

轧辊工作层抗拉强度大于1200MPa，冲击韧性大于15J/cm²，硬度大于65HRC，断裂韧性大于35MPa·m^{1/2}，耐磨性明显优于高铬铸铁轧辊和高镍铬无限冷硬铸铁轧辊，与硬质合金轧辊相当。

(3) 本发明的低裂纹型高速钢轧辊在轧机上使用安全、可靠，无粘钢、断辊和剥落等现象出现，轧辊表面光滑、磨损均匀，耐磨性好，各项指标均接近硬质合金轧辊，价格仅为硬质合金轧辊的1/3~1/4，使用寿命比合金铸铁轧辊提高8~15倍，可显著提高轧机作业率，降低工人劳动强度，具有很好的经济效益。

下面是发明人给出的实施例：

实施例1：

本实施例的低裂纹型高速钢轧辊采用1000公斤容量的中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

① 将普通废钢、铬铁、钨铁、钒铁、钼铁和镍板混合加热熔化，用生铁增碳。

② 炉前调整成分合格后将温度升至1640℃，加入0.7%的硅含量为75%的硅铁和0.5%的锰含量为78%的锰铁预脱氧，加入0.2%铝终脱氧，而后出炉。

③ 将含稀土、钾和镁的复合变质剂破碎至粒度小于18mm的小块，经220℃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。

④ 用离心铸造方法制造高速钢轧辊。铸型采用铸铁材质制造，铸型厚度110mm，铸型预热温度250℃，并在此温度下喷刷锆英粉水基涂料。

⑤ 轧辊浇注过程中采用变速离心铸造工艺成型，即在开始浇注时大流快浇，铸型在第一速度（ $n_1=950\text{rpm}$ ）停留的时间 $t_1(3\text{min})$ 。而后立即降至第二速度($n_2=800\text{rpm}$)， n_2 速度时停留时间 $t_2(5\text{min})$ 。然后将铸型转数提高到第三速度($n_3=880\text{rpm}$)，保持 $t_3(8\text{min})$ 时间后，立即将铸型转数降至第四速度（ $n_4=760\text{rpm}$ ），停留时间达到 $t_4(10\text{min})$ 时，停机取出轧辊，随后将轧辊置

于保温炉缓冷。在钢水浇注时，先采取大流量快速浇注，快速浇注的金属液为总量的42%，当金属型充满溶液后降低浇注速度，慢速浇注的金属液为总量的58%。钢水浇注完后，立即加入防氧化O型玻璃渣并水冷铸型，当 n_3 向 n_4 过渡时，铸型停止水冷。

⑥ 对铸造的低裂纹型高速钢轧辊随后进行正火和回火热处理，正火温度980℃，保温时间6小时，回火温度520℃，保温时间8小时即可。

采用上述工艺制造的低裂纹型高速钢轧辊无裂纹出现。其成分和性能分别见表1和表2。

表1 离心铸造低裂纹型高速钢轧辊成分

元素	C	W	Mo	V	Cr	Ni	Si	Mn	RE	K	Mg	P	S
成分	1.57	4.41	2.86	5.19	7.74	2.61	1.38	1.19	0.14	0.08	0.06	0.03	0.02

表2 离心铸造低裂纹型高速钢轧辊性能

硬度 (HRC)	抗拉强度 (MPa)	冲击韧性 (J/cm ²)	断裂韧性 (MPa·m ^{1/2})
66.8	1274	16.7	37.3

实施例2:

本实施例的低裂纹型高速钢轧辊采用3000公斤容量的中频感应电炉熔炼，其制造工艺步骤是：

① 将普通废钢、铬铁、钨铁、钒铁、钼铁和镍板混合加热熔化，用石墨增碳。

② 炉前调整成分合格后将温度升至 1605℃，加入 0.6%的硅含量为 75%的硅铁和 0.8%的锰含量为 78%的锰铁预脱氧，加入 0.15%铝终脱氧，而后出炉。

③ 将含稀土、钾和镁的复合变质剂破碎至粒度小于 18mm 的小块，经

200℃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。

④ 用离心铸造方法制造高速钢轧辊。铸型采用铸铁材质制造，铸型厚度 160mm，铸型预热温度 180℃，并在此温度下喷刷锆英粉水基涂料。

⑤ 轧辊浇注过程中采用变速离心铸造工艺成型，即在开始浇注时大流快浇，铸型在第一速度 ($n_1=880\text{rpm}$) 停留的时间 $t_1(5\text{min})$ 。而后立即降至第二速度($n_2=800\text{rpm}$)， n_2 速度时停留时间 $t_2(6\text{min})$ 。然后将铸型转数提高到第三速度($n_3=840\text{rpm}$)，保持 $t_3(8\text{min})$ 时间后，立即将铸型转数降至第四速度 ($n_4=750\text{rpm}$)，停留时间达到 $t_4(10\text{min})$ 时，停机取出轧辊，随后将轧辊置于保温坑缓冷。钢水浇注时，先采取大流量快速浇注，快速浇注的金属液为总量的37%，当金属型充满溶液后应降低浇注速度，慢速浇注的金属液为总量的63%。立即加入防氧化O型玻璃渣并水冷铸型，当 n_3 向 n_4 过渡时，铸型停止水冷。

⑥ 对铸造的低裂纹型高速钢轧辊随后进行正火和回火热处理，正火温度 1130℃，保温时间 3.5 小时，回火温度 580℃，保温时间 5 小时即可。

采用上述工艺制造的低裂纹型高速钢轧辊无裂纹出现。其成分和性能分别见表3和表4。

表3 离心铸造低裂纹型高速钢轧辊成分

元素	C	W	Mo	V	Cr	Ni	Si	Mn	RE	K	Mg	P	S
成分	1.91	5.71	1.58	6.36	3.88	1.82	0.85	1.33	0.11	0.14	0.08	0.02	0.02

表4 离心铸造低裂纹型高速钢轧辊性能

硬度/HRC	抗拉强度/MPa	冲击韧性/ J/cm^2	断裂韧性/ $\text{MPa}\cdot\text{m}^{1/2}$
65.4	1245	16.3	36.8

用本发明离心铸造的低裂纹型高速钢轧辊在轧制速度为 95m/sec 的高速线材轧机预精轧机机架上使用，轧材为 $\phi 6.5\text{mm}$ 高强度碳素结构钢，每毫米轧钢量达到 4500~4800 吨，低裂纹型高速钢轧辊使用后轧槽表面光滑、

磨损均匀，耐磨性好，轧材表面光洁，尺寸精度高，其各项指标均接近硬质合金轧辊，价格仅为硬质合金轧辊的 $1/3 \sim 1/4$ ，使用寿命比合金铸铁轧辊提高 $8 \sim 10$ 倍，可显著提高轧机作业率，降低工人劳动强度。用本发明离心铸造高速钢轧辊在轧制速度为 12m/sec 的棒材轧机精轧机架上使用，轧材为 $\phi 12\text{mm}$ 高强度碳素结构钢带肋钢筋，每毫米轧钢量达到 $800 \sim 850$ 吨，使用寿命比合金铸铁轧辊提高 $10 \sim 15$ 倍。使用本发明的低裂纹型高速钢轧辊可以显著提高轧钢机作业率，降低轧材生产成本，具有很好的经济效益。

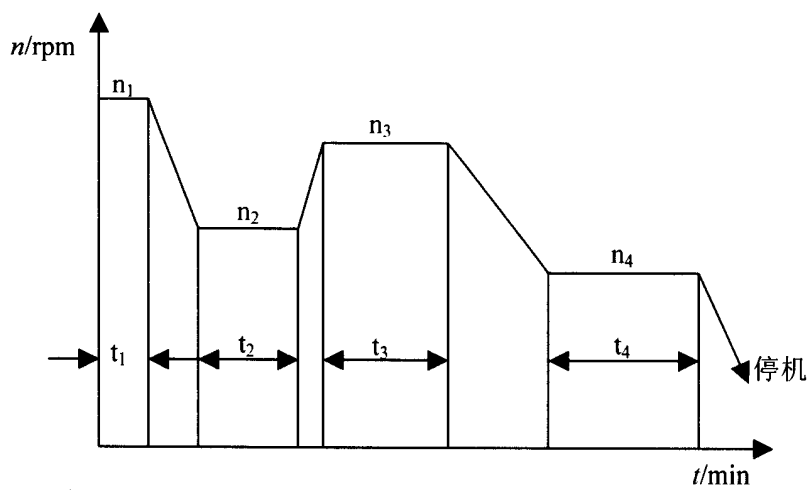


图 1