



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102816959 B

(45) 授权公告日 2015. 04. 08

(21) 申请号 201210283982. 0

第 1-2 段、第 5 段 - 第 3 页第 3 段 .

(22) 申请日 2012. 08. 10

CN 101649406 A, 2010. 02. 17, 说明书第 2 页

第 1-2 段、第 5 段 - 第 3 页第 3 段 .

(73) 专利权人 广西南南铝加工有限公司

地址 530031 广西壮族自治区南宁市亭洪路
55 号

沈海鸥 . 用电解铝液生产铝合金大扁锭的关键技术 . 《有色金属加工》. 2010, 第 39 卷 (第 5 期), 第 23-26 页 .

(72) 发明人 沈海鸥 胡传彬 姚祥 胡少莉

蓝东华 贺应钦 黄金宁 樊春阳
雷志峰

审查员 张艳艳

(74) 专利代理机构 广西南宁汇博专利代理有限

公司 45114

代理人 邓晓安

(51) Int. Cl.

G22C 21/06(2006. 01)

G22C 1/03(2006. 01)

G22C 1/06(2006. 01)

B22D 1/00(2006. 01)

B22D 7/00(2006. 01)

(56) 对比文件

CN 101649406 A, 2010. 02. 17, 说明书第 2 页

权利要求书1页 说明书6页

(54) 发明名称

一种超大规格铝合金圆棒及其铸造方法

(57) 摘要

本发明公开了一种超大规格铝合金圆棒及其铸造方法。通过将原料按配比配料,然后加入到熔炼炉中熔炼、扒渣;再转到保温炉中在线除气精炼,除气除渣提纯,加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化;然后铸造成铝合金圆棒;最后经过均匀化处理,得到的铝合金圆棒不易开裂且组织细化。该方法生产出的圆棒直径可达 $\Phi 1320\text{mm}$,同时消除了圆棒晶内偏析和铸造应力,保证了产品质量,其力学性能可满足大型结构件的要求。

1. 一种超大规格铝合金圆棒的铸造方法,包括配料、熔炼、保温、在线除气精炼、晶粒细化、铸造、均匀化处理,其特征在于:所述配料是根据合金成分计算纯度为 99.7% 的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料用量,然后进行混合配料,6061 铝合金返回料用量占总投入量的百分比为 0.1~60% ;

所述保温是指铝液在保温炉内保温,温度控制在 735℃~755℃,然后先加入 AlCu50 铝中间合金、AlCr5 中间合金进行成分调整,再添加 AlTi6,纯镁锭调整成分,成分调整完成后进行初级精炼 10min~15min,初级精炼氩气流量 50~60L/min,初级精炼过程中保持搅拌,清理浮渣;

所述在线除气精炼是经过初级精炼后的铝液流入除气装置进行在线除气精炼,转子氩气流量 150~180L/min,转子转速 400~500rpm/min ;

所述晶粒细化是在除气装置之后,进入过滤装置之前,在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化,其加入量为 1~1.5 kg/t Al,晶粒细化后的铝液进入过滤装置过滤;

所述铝合金圆棒成分的质量百分比为:

Cu : 0.20 ~ 0.30	Mn : 0.00 ~ 0.05	Mg : 0.90 ~ 1.10
Zn : 0.00 ~ 0.05	Ti : 0.02 ~ 0.05	Cr : 0.10 ~ 0.20
Si : 0.48 ~ 0.52	Fe 0.10 ~ 0.45	余量为 Al。

2. 根据权利要求 1 所述的超大规格铝合金圆棒的铸造方法,其特征在于:所述熔炼是先将配料好的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料投入熔炼炉中加热,添加速熔硅,然后添加阴极铜和 AlCr75 铝合金;炉料在熔炼炉加热融化后搅拌 10min~30min,当铝液温度达到 735℃~755℃后转入保温炉。

3. 根据权利要求 1 所述的超大规格铝合金圆棒的铸造方法,其特征在于:所述铸造将过滤后的铝液流入圆棒分流盘,铸造成 $\Phi 1320\text{mm}$ 的圆棒,铸造速度 20mm/min~50mm/min;在铸造前先开冷却水冷却,流量 25~65 m³/hr,压力为 0.09~0.11MPa。

4. 根据权利要求 3 所述的超大规格铝合金圆棒的铸造方法,其特征在于:所述均匀化处理是指将铸造好的圆棒在均热炉加热 7~9 小时,温度达到 580~600℃后保温 14~16 小时,最后冷却完成。

一种超大规格铝合金圆棒及其铸造方法

技术领域

[0001] 本发明涉及铝合金铸造领域,具体地说是涉及一种超大规格铝合金圆棒及其铸造方法。

背景技术

[0002] 6061 合金中的主要合金元素为 Mg 及 Si,具有中等强度,良好的抗腐蚀性、可焊接性,且氧化效果好。广泛应用于要求有一定强度和抗腐蚀性高的各种工业结构件,如卡车制造,塔式建筑,船舶,电车,铁道车辆,家具等,也广泛应用于自动化机械零件、精密加工、模具制造、电子及精密仪器、SMT、PC 板焊锡载具、航天固定装置、电器固定装置、通讯领域等。6061 的化学成分和晶相组成都极为复杂,合金中元素含量、配比以及杂质含量对铸锭和成品的组织及性能有很大的影响。现有的 6061 铸态铝合金力学性能如下:

[0003] 抗拉强度 σ_b (MPa) : ≥ 120 ;

[0004] 屈服强度 $\sigma_{0.2}$ (MPa) : ≥ 50 ;

[0005] 伸长率 δ_5 (%) : ≥ 14 。

[0006] 中国申请号为:200910036254. 8,专利名称为:一种高强度高塑性 6061 和 6063 铝合金及其型材制备技术的专利申请文件公开了通过在铝合金熔炼过程中加入适量的 Al-Ti-C-Re 晶粒细化剂(晶粒细化剂特征成分如下:该中间合金含 Re(以 Ce 为主的混合 Re)0.01-10%、TiO : 1-3.5%、CO : 1-3.5%),制取具有超细晶粒的铝合金棒。经均质化后,挤压成具有特定高强度、高塑性的铝合金型材。该发明制取的 6061 铝合金 $\Phi 180$ mm 圆棒抗拉强度达到 310MPa 以上,伸长应力平均达 280MPa 以上,伸长率达 15.8%。该发明虽然在抗拉强度及伸长应力得到了很大提高,但是伸长率不够,不利于后续的加工。

[0007] 中国申请号:02133897. 3,专利名称为:大直径铝合金圆铸锭的生产工艺的专利申请文件中公开了将原铝、镁锭、铝-硅中间合金、铬添加剂、锰添加剂按称量分量装入熔炼炉熔炼,使其溶化,经搅拌、扒渣后,取样化验,再转入保温炉进行精炼,除气、除渣、搅拌、扒渣后静置,并过滤,最后铸造出的产品,圆铸锭直径仅为 $\Phi 380$ mm。该方法铸造出来的圆铸锭直径小,不能满足大铸件的要求;同时加入中间合金类型的细化剂,会引起细化效果不稳定,难以保证了铝合金的品质。

[0008] 目前国内最大的 6061 铸造铝合金圆棒直径为 $\Phi 900$ mm,圆棒的直径限制了挤压和锻造成品的规格,使成品的应用范围不够广,在大规格列车型材领域只能使用焊接的方式。使用现有铸造技术生产的 6061 大规格铝合金圆棒,由于冷却水和铸造速度等参数的配置不合理,经常出现粗晶组织,且扁锭容易开裂等问题,因此需要开发新的大规格圆棒以适应市场需求,同时保证其质量。

发明内容

[0009] 本发明的目的是为了解决现有的 6061 铝合金力学性能低,铸造出的圆棒直径小,不能适应市场需要和现有铸造技术生产出的 6061 铝合金圆棒常常出现粗晶组织,圆棒易

开裂,延伸率不够的问题,提供一种利用 6061 铝合金铸造出 $\Phi 1320\text{mm}$ 的超大规格铝合金圆棒及其铸造方法。

[0010] 本发明的技术方案:

[0011] 本发明的超大规格铝合金圆棒的合金成分质量百分比如下:

[0012] Cu : 0.20 ~ 0.30 Mn : 0.00 ~ 0.05 Mg : 0.90 ~ 1.10

[0013] Zn : 0.00 ~ 0.05 Ti : 0.02 ~ 0.05 Cr : 0.10 ~ 0.20

[0014] Si : 0.48 ~ 0.52 Fe : 0.10 ~ 0.45 余量为 Al

[0015] 各组分质量百分比之和为 100%。

[0016] 本发明的超大规格铝合金圆棒铸造方法包括如下步骤:

[0017] (1) 配料

[0018] 根据铝合金圆棒的合金成分计算纯度为 99.7% 的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料用量, 然后进行混合配料, 6061 铝合金返回料用量占总投入量的百分比为 0.1~60%, 计算称量好的速熔硅、阴极铜、AlCr75 铝合金备用。

[0019] (2) 熔炼

[0020] a. 将配料好的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料投入熔炼炉中加热, 再添加速熔硅, 然后添加阴极铜和 AlCr75 铝合金; 熔炼炉中加热至炉料融化, 则启动炉底的电磁搅拌装置搅拌 10min~30min, 促进炉内铝液温度和成分的均匀, 加速固体原料的融化;

[0021] b. 待炉内固态金属全部融化, 铝液温度达到 $735^{\circ}\text{C} \sim 755^{\circ}\text{C}$, 转入保温炉。

[0022] (3) 保温

[0023] 铝液在保温炉内保温, 温度控制在 $735^{\circ}\text{C} \sim 755^{\circ}\text{C}$, 对铝液成分进行检测, 然后根据检测结果, 先加入 AlCu50 铝中间合金、AlCr5 中间合金进行成分调整, 添加 AlTi6, 纯镁锭调整成分, 成分调整完成后进行初级精炼 10min ~ 15min, 初级精炼氩气流量 50~60L/min, 初级精炼过程中保持搅拌, 清理浮渣。所述的成分调整是通过加入各种合金元素使得铝液中各合金的成分符合超大规格铝合金圆棒的成分要求。

[0024] (4) 在线除气精炼、晶粒细化和过滤

[0025] a、启动保温炉倾翻系统, 使铝液注入流槽, 经过除气装置进行在线除气精炼, 除氢气, 转子氩气流量 150~180L/min, 转子转速 400 ~ 500rpm/min。

[0026] b、晶粒细化是在除气装置之后, 进入过滤装置之前, 在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化, 其加入量为 1~1.5 kg/t Al。

[0027] c、晶粒细化之后进入过滤装置过滤, 让铝液经过过滤箱去除更细微的杂质, 达到提纯目的。

[0028] (5) 铸造

[0029] a、打开冷却水阀门, 确保铸造初始阶段冷却能力充分, 流量 25~65 m^3/hr , 水压为 0.09~0.11Mpa;

[0030] b、将经过滤后的铝液放入圆棒分流盘内, 让其快速充满分流盘;

[0031] c、分流盘下方的引锭头缓缓下降, 铸造进入正常阶段, 铸造速度 20mm/min~50mm/min, 直至达到预定铸造长度, 铸造成 $\Phi 1320\text{mm}$ 的圆棒;

[0032] d、停止铸造, 关闭冷却水, 移开结晶器平台, 用专用吊具将圆棒从铸井中吊出。

[0033] (6) 均匀化处理

[0034] a、用吊具将圆棒放置到料盘中,将圆棒和料盘一并送入均热炉中进行均匀化处理;

[0035] b、均匀化处理过程分为加热和保温阶段,加热时间为 7~9 小时,温度达到 580~600℃后,保温时间为 14~16 小时,保温温度为 580~600℃;

[0036] c、保温完成,将扁锭移出均热炉,送入冷却室进行冷却完成。

[0037] 本发明中采用的原料重熔铝锭、6061 铝合金返回料、速熔硅、阴极铜、AlCr75 铝合金、AlCu50 铝中间合金、AlCr5 中间合金、AlTi6 和纯镁锭均是铝合金生产中的常用原料,均可从市场或企业生产获得。

[0038] 本发明的优点:

[0039] 1、采用本发明的方法可以制造的铝合金圆棒直径为 $\Phi 1320\text{mm}$,是现今世界上最大的铸造铝合金圆棒。

[0040] 2、本发明的方法有效去除铝液内杂质和氢气,通过晶粒细化剂添加量、冷却水流量和铸造速度的配合,消除了晶内偏析和铸造应力,使铝合金微观组织均匀细化,无裂纹,具有良好的加工性能。

[0041] 3、铸件晶体细化。不使用中间合金类型的细化剂,避免了由于中间合金显微组织难以控制所引起的细化效果不稳定的困难,保证了铝合金的品质。使用钛硼晶粒细化剂,其具有优异的细化效果,使铸件得到细小的等轴晶,消除了羽毛晶,为以后的加工提供了良好的内在的组织结构,能有效地克服铸造裂纹,改善铸件外观。

[0042] 4、本发明制造的铝合金圆棒可用于锻造制作大规格航空航天和列车运输等领域的设备,超大规格铝合金圆棒可加工成更大规格的锻件,为制造更大规格、更高性能设备提供条件。

具体实施方式

[0043] 下面结合实施例对本发明进行进一步说明,但本发明并不局限于实施例。

[0044] 实施例 1

[0045] 超大规格铝合金圆棒的合金成分质量百分比按如下

[0046] Cu : 0.20 ~ 0.30 Mn : 0.00 ~ 0.05 Mg : 0.90 ~ 1.10

[0047] Zn : 0.00 ~ 0.05 Ti : 0.02 ~ 0.05 Cr : 0.10 ~ 0.15

[0048] Si : 0.48 ~ 0.50 Fe : 0.10 ~ 0.30 余量为 Al

[0049] 铝合金圆棒的铸造方法:

[0050] (1)配料:根据合金成分计算纯度为 99.7% 的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料用量,然后进行混合配料,6061 铝合金返回料用量占总投入量的百分比为 0.1~30%,计算称量好的速熔硅、阴极铜、AlCr75 铝合金备用。

[0051] (2)熔炼:按配料计算所得结果,在投料开始时添加商用速熔硅,然后投入重熔铝锭和 6061 铝合金返回料,在投料结束阶段添加阴极铜、AlCr75 铝合金。熔炼炉中加热至炉料融化,搅拌 10min ~ 30min,铝液温度达到 735℃~ 755℃后转入保温炉。

[0052] (3)保温:保温炉温度控制在 735℃~ 755℃,先检测保温炉内的铝合金成分,然后加入 AlCu50、AlCr5 进行成分调整,然后添加 AlTi6,纯镁锭进行成分调整。成分调整完成后进行初级精炼 10min ~ 15min,初级精炼氩气流量 50~60L/min,初级精炼过程中保持搅拌,

清理浮渣。

[0053] (4) 在线除气精炼:初级精炼结束,铝液转入除气装置进行在线除气精炼,除去氢气,转子氩气流量 150~180L/min,转子转速 400 ~ 500rpm/min,。

[0054] (5) 晶粒细化 and 过滤:晶粒细化是在除气装置之后,进入过滤装置之前,在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化,其加入量为 1.5 kg/t Al。晶粒细化之后进入过滤装置过滤,过滤板使用 30ppi 等级。

[0055] (6) 铸造:先打开冷却水阀门,确保铸造初始阶段冷却能力充分,所述的铸造将过滤后的铝液放入圆棒分流盘,铸造速度 20mm/min ~ 30mm/min,在铸造前先开冷却水冷却,流量 25~45 m³/hr,压力为 0.09 ~ 0.11Mpa,铸造出的圆棒直径为 Φ 1320mm;停止铸造,关闭冷却水,移开结晶器平台,用专用吊具将扁锭从铸井中吊出。

[0056] (7) 均匀化处理:用吊具将扁锭放置到料盘中,将圆棒和料盘一并送入均热炉中进行均匀化处理;均匀化处理过程分为加热和保温阶段,加热时间为 8.5 小时,保温时间为 15 小时,保温温度为 590℃;保温完成,将圆棒移出均热炉,进行冷却。

[0057] 本实施例控制了 Cu 和 Fe 的质量百分比,铸造的圆棒抗拉强度大于 120MPa,屈服强度大于 50MPa,延伸率大于 25%,铸锭表面光洁度较好。

[0058] 实施例 2

[0059] 与实例 1 中的铝合金圆棒合金成分质量百分比不同,如下

[0060] Cu : 0.20 ~ 0.30 Mn : 0.00 ~ 0.05 Mg : 0.90 ~ 1.10

[0061] Zn : 0.00 ~ 0.05 Ti : 0.02 ~ 0.05 Cr : 0.15 ~ 0.20

[0062] Si : 0.50 ~ 0.52 Fe : 0.30 ~ 0.45 余量为 Al

[0063] 铝合金圆棒的铸造方法:

[0064] (1) 配料:根据合金成分计算纯度为 99.7% 的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料用量,然后进行混合配料,6061 铝合金返回料用量占总投入量的百分比为 30 ~ 60%,计算称量好的速熔硅、阴极铜、AlCr75 铝合金备用。

[0065] (2) 熔炼:按配料计算所得结果,在投料开始时添加商用速熔硅,然后投入重熔铝锭和 6061 铝合金返回料,在投料结束阶段添加阴极铜、AlCr75 铝合金。熔炼炉中加热至炉料融化,搅拌 20min ~ 30min,铝液温度达到 745℃ ~ 755℃ 后转入保温炉。

[0066] (3) 保温:保温炉温度控制在 745℃ ~ 755℃,先检测保温炉内的铝合金成分,然后加入 AlCu50、AlCr5 进行成分调整,然后添加 AlTi6,纯镁锭。成分调整完成后进行初级精炼 10min ~ 15min,初级精炼氩气流量 50~60L/min,初级精炼过程中保持搅拌,清理浮渣。

[0067] (4) 在线除气精炼:初级精炼结束,铝液转入除气装置进行在线除气精炼,除去氢气,转子氩气流量 150~180L/min,转子转速 400 ~ 500rpm/min。

[0068] (5) 晶粒细化 and 过滤:晶粒细化是在除气装置之后,进入过滤装置之前,在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化,其加入量为 1.0 kg/t Al。晶粒细化之后进入过滤装置过滤,过滤板使用 30ppi 等级。

[0069] (6) 铸造:先打开冷却水阀门,确保铸造初始阶段冷却能力充分,所述的铸造将过滤后的铝液放入圆棒分流盘,铸造速度 30mm/min ~ 50mm/min,在铸造前先开冷却水冷却,流量 45~65 m³/hr,压力为 0.09 ~ 0.11Mpa,铸造出的圆棒直径为 Φ 1320mm;停止铸造,关闭冷却水,移开结晶器平台,用专用吊具将扁锭从铸井中吊出。

[0070] (7)均匀化处理:用吊具将扁锭放置到料盘中,将圆棒和料盘一并送入均热炉中进行均匀化处理;均匀化处理过程分为加热和保温阶段,加热时间为8小时,保温时间为15小时,保温温度为590℃;保温完成,将圆棒移出均热炉,进行冷却。

[0071] 本实施例控制了Cu和Fe的质量百分比,铸造的圆棒抗拉强度大于128MPa,屈服强度大于57MPa,延伸率大于25%,铸锭表面光洁度较好。

[0072] 实施例3

[0073] 与实例1中的铝合金圆棒合金成分质量百分比不同,如下

[0074] Cu : 0.20 ~ 0.30 Mn : 0.01 ~ 0.04 Mg : 0.90 ~ 1.10

[0075] Zn : 0.01 ~ 0.04 Ti : 0.02 ~ 0.05 Cr : 0.12 ~ 0.18

[0076] Si : 0.50 ~ 0.52 Fe : 0.20 ~ 0.40 余量为Al

[0077] 铝合金圆棒的铸造方法:

[0078] (1)配料:根据合金成分计算纯度为99.7%的重熔铝锭和6061铝合金返回料用量,然后进行混合配料,6061铝合金返回料用量占总投入量的百分比为25~45%,计算称量好的速熔硅、阴极铜、AlCr75铝合金备用。

[0079] (2)熔炼:按配料计算所得结果,在投料开始时添加商用速熔硅,然后投入重熔铝锭和6061铝合金返回料,在投料结束阶段添加阴极铜、AlCr75铝合金。熔炼炉中加热至炉料融化,搅拌20min~30min,铝液温度达到735℃~745℃后转入保温炉。

[0080] (3)保温:保温炉温度控制在735℃~745℃,先检测保温炉内的铝合金成分,然后加入AlCu50、AlCr5进行成分调整,然后添加AlTi6,纯镁锭。成分调整完成后进行初级精炼10min~15min,初级精炼氩气流量50~60L/min,初级精炼过程中保持搅拌,清理浮渣。

[0081] (4)在线除气精炼:初级精炼结束,铝液转入除气装置进行在线除气精炼,除去氢气,转子氩气流量160~180L/min,转子转速400~450rpm/min。

[0082] (5)晶粒细化和过滤:晶粒细化是在除气装置之后,进入过滤装置之前,在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化,其加入量为1.2 kg/t Al。晶粒细化之后进入过滤装置过滤,过滤板使用30ppi等级。

[0083] (6)铸造:先打开冷却水阀门,确保铸造初始阶段冷却能力充分,所述的铸造将过滤后的铝液放入圆棒分流盘,铸造速度20mm/min~40mm/min,在铸造前先开冷却水冷却,流量45~55 m³/hr,压力为0.09~0.11Mpa,铸造出的圆棒直径为Φ1320mm;停止铸造,关闭冷却水,移开结晶器平台,用专用吊具将扁锭从铸井中吊出。

[0084] (7)均匀化处理:用吊具将扁锭放置到料盘中,将圆棒和料盘一并送入均热炉中进行均匀化处理;均匀化处理过程分为加热和保温阶段,加热时间为9小时,保温时间为16小时,保温温度为600℃;保温完成,将圆棒移出均热炉,进行冷却。

[0085] 本实施例铸造的圆棒抗拉强度大于125MPa,屈服强度大于53MPa,延伸率大于25%,铸锭表面光洁度较好。

[0086] 实施例4

[0087] 与实例1中的铝合金圆棒合金成分质量百分比不同,如下

[0088] Cu : 0.20 ~ 0.30 Mn : 0.00 ~ 0.05 Mg : 0.90 ~ 1.10

[0089] Zn : 0.00 ~ 0.05 Ti : 0.02 ~ 0.05 Cr : 0.15 ~ 0.20

[0090] Si : 0.50 ~ 0.52 Fe : 0.30 ~ 0.45 余量为Al

[0091] 铝合金圆棒的铸造方法：

[0092] (1)配料：根据合金成分计算纯度为 99.7% 的重熔铝锭和 6061 铝合金返回料用量，然后进行混合配料，6061 铝合金返回料用量占总投入量的百分比为 30 ~60%，计算称量好的速熔硅、阴极铜、AlCr75 铝合金备用。

[0093] (2)熔炼：按配料计算所得结果，在投料开始时添加商用速熔硅，然后投入重熔铝锭和 6061 铝合金返回料，在投料结束阶段添加阴极铜、AlCr75 铝合金。熔炼炉中加热至炉料融化，搅拌 20min ~ 30min，铝液温度达到 745℃ ~ 755℃ 后转入保温炉。

[0094] (3)保温：保温炉温度控制在 745℃ ~ 755℃，先检测保温炉内的铝合金成分，然后加入 AlCu50、AlCr5 进行成分调整，然后添加 AlTi6，纯镁锭。成分调整完成后进行初级精炼 10min ~ 15min，初级精炼氩气流量 50~60L/min，初级精炼过程中保持搅拌，清理浮渣。

[0095] (4)在线除气精炼：初级精炼结束，铝液转入除气装置进行在线除气精炼，除去氢气，转子氩气流量 160~180L/min，转子转速 450 ~ 500rpm/min。

[0096] (5)晶粒细化和过滤：晶粒细化是在除气装置之后，进入过滤装置之前，在铝液中加入铝钛硼晶粒细化剂进行晶粒细化，其加入量为 1.3kg/t Al。晶粒细化之后进入过滤装置过滤，过滤板使用 30ppi 等级。

[0097] (6)铸造：先打开冷却水阀门，确保铸造初始阶段冷却能力充分，所述的铸造将过滤后的铝液放入圆棒分流盘，铸造速度 35mm/min ~ 50mm/min，在铸造前先开冷却水冷却，流量 45~65 m³/hr，压力为 0.09 ~ 0.10Mpa，铸造出的圆棒直径为 Φ1320mm；停止铸造，关闭冷却水，移开结晶器平台，用专用吊具将扁锭从铸井中吊出。

[0098] (7)均匀化处理：用吊具将扁锭放置到料盘中，将圆棒和料盘一并送入均热炉中进行均匀化处理；均匀化处理过程分为加热和保温阶段，加热时间为 7 小时，保温时间为 15 小时，保温温度为 580℃；保温完成，将圆棒移出均热炉，进行冷却。

[0099] 本实施例铸造的圆棒抗拉强度大于 120MPa，屈服强度大于 52MPa，延伸率大于 25%，铸锭表面光洁度较好。