

文章编号:1003-8345(2002)04-0010-03

等温淬火球铁 (ADI) 的热处理技术

龚文邦, 余 靖, 向纲玉

(湖北省机电研究设计院 铸造研究所, 湖北 武汉 430070)

摘要: 详细叙述了等温淬火球铁的热处理工艺规范, 指出热处理工艺参数应根据性能要求, 视加热方式、工件厚度及装炉量等具体情况而定。

关键词: 等温淬火球铁; 热处理工艺; 高韧性; 高强度

中图分类号: TG164.2 **文献标识码:** B

0 前言

等温淬火球铁 (ADI) 比普通球铁、铸钢、锻钢的综合力学性能高, 具有优异的耐磨性、抗疲劳性、断裂韧度、减震性, 同时噪声较低。自20世纪70年代以来, 等温淬火球铁不断得到发展应用, 被誉为近三十年来铸冶方面最重要的成就之一。ADI的优良性能是通过将普通球铁热处理, 使基体组织中的铁素体 (珠光体) 转为具有高强度的贝氏体和高韧性的残余奥氏体来实现的。因此, 热处理技术是生产高性能ADI的关键。

生产ADI的工艺流程为: 铸造球铁铸件→粗加工→高温奥氏体化加热→等温淬火→清洗→精加工→成品。在铸造球铁铸件时, 根据零件的技术要求, 可配加合适的合金元素。

对需要机加工的ADI零件一般先进行粗加工, 尤其是生产高强度、高硬度的ADI件, 热处理后硬度高, 应先行粗加工, 热处理后进行精密加工。高韧性ADI件的硬度与珠光体球铁接近, 可在热处理后进行粗、精加工。为减少热处理工件重量与节能, 也可先粗加工。

1 ADI的常规热处理

1.1 奥氏体化加热方式

由于炉内工件实际温度 T_M 很难测量, 一般用加热炉内气氛温度 T_g 来反映奥氏体化加热温度。加热过程 T_M 小于 T_g , 温差 $\Delta T = T_g - T_M$ 随加

热速度提高而增大, 故不应采用过快的加热速度。生产过程中以平均 $5\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ 左右为宜。图1、图2的等温淬火工艺采用了两种常用的奥氏体化加热方式。

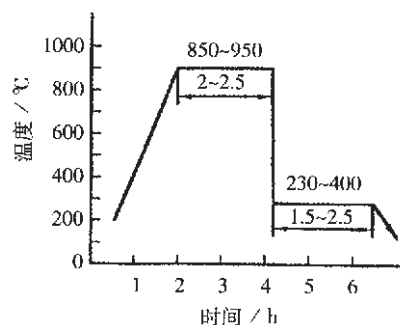


图1 连续加热ADI等温淬火工艺

Fig.1 Isothermal quenching process of ADI with continuously heating

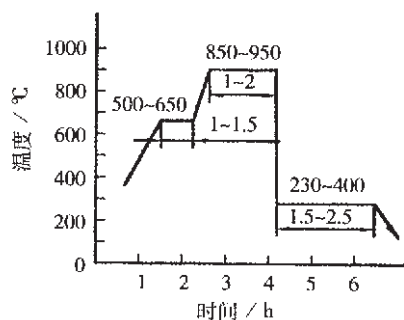


图2 阶段加热ADI等温淬火工艺

Fig.2 Isothermal quenching process of ADI with step heating

图1为连续加热工艺, 只适用于壁厚均匀且较小的工件, 或加热速度较慢的炉子。图2为阶段加热工艺, 效果较好, 在500~650℃保温1~1.5 h, 使 ΔT 较小, 工件表面与心部温度趋于一致, 再升温到奥氏体化温度, ΔT 仍不大, 容易确定奥氏

收稿日期 2002-06-19

作者简介: 龚文邦 (1965-) , 男, 汉族, 湖南籍, 毕业于郑州工学院, 获工学硕士学位, 高级工程师, 目前主要从事铸造工艺和 ADI 的研究工作。

体保温时间。尤其对于壁厚不均匀件或厚大件,应采用阶段加热工艺。在芬兰、瑞典等国,ADI热处理均是采用此种加热方式。他们在预热炉内将零件加热到500~650℃保温,然后再送入另一台高温炉继续升温到奥氏体化温度进行保温。由预热炉→奥氏体化炉→等温淬火炉,连续作业,可大幅度提高生产率。

1.2 奥氏体化加热温度

如图3,随Si量增加,奥氏体化温度提高。球铁的C、Si量较高,奥氏体转变的三相区域较大,要完全奥氏体化,必须控制加热温度在 Ac_1' 以上,同时还要考虑实际操作情况,如:①连续加热方式加热速度较快时,应适当提高奥氏体化加热温度;②零件厚大或装炉量多时,也应提高奥氏体化加热温度;③考虑合金元素对奥氏体转变温度的影响;④提高奥氏体化加热温度,可提高奥氏体含C量,对获得高强度的下贝氏体有利,但应防止奥氏体晶粒长大。

综合权衡,奥氏体化加热温度一般采用850~950℃。

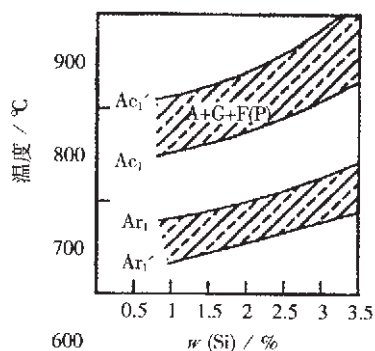


图3 随含Si量变化的奥氏体转变温度

Fig.3 Transition temperature of austenite varying with Si content

Ac_1' : $\text{K(P)} \rightarrow \text{A}$ 开始转变温度
 Ac_1 : $\text{K(P)} \rightarrow \text{A}$ 转变终了温度
 Ar_1' : $\text{A} \rightarrow \text{K(P)}$ 开始转变温度
 Ar_1 : $\text{A} \rightarrow \text{K(P)}$ 转变终了温度

1.3 奥氏体化保温时间

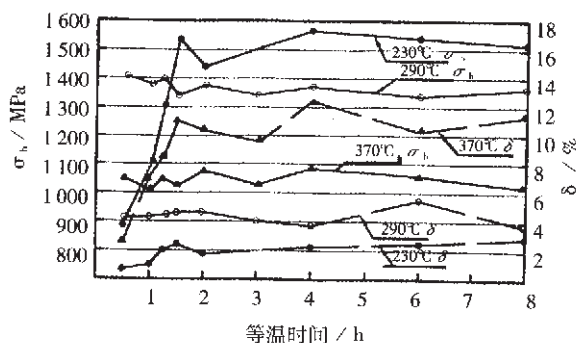
奥氏体化保温时间过短,不能完全转变,而保温时间过长,则可能晶粒长大,降低力学性能。应根据加热方式,工件厚度及每次装炉处理量的具体情况确定奥氏体化保温时间。如在加热过程已保温预热1~1.5 h,则奥氏体化保温采用1~2 h,厚大件及装炉处理量大时,适当增加。如连续加

热,则奥氏体化保温采用2~2.5 h,厚大件及装炉处理量大时取大值。

1.4 等温淬火温度与等温时间

等淬温度对力学性能影响较大。一般说来,随等淬温度的提高, σ_b 降低, δ 升高,因此,要求高强度为主的力学性能时,选择等淬温度230~310℃;要求强度韧性综合性能较好时选择等淬温度310~350℃;要求高韧性为主的力学性能时,等淬温度350~400℃。

等温时间对性能的影响程度比等淬温度小,但时间过短,奥氏体转变不完全,在随后的出炉冷却过程中,不稳定的残留奥氏体继续转变为马氏体,强度低,伸长率低,而硬度高。加拿大R.D.Forrest介绍了淬火温度230℃、260℃、290℃、315℃、345℃、355℃、370℃、385℃分别用0.5~8 h的等温时间试验力学性能,图4示出了230℃、290℃、370℃等淬时,力学性能随等温时间的变化情况。



900℃×2h奥氏体化, $w(\text{Ni})$ 为1.5%, $w(\text{Mo})$ 为0.3%

图4 等温时间对性能的影响

Fig.4 Influence of isothermal quenching holding time on properties

由图4可知,等温时间小于1.5 h,无论何种等淬温度,性能均不理想,不宜采用。最佳等温时间为1.5~4 h(或1.5~2 h),延长等温时间不仅对提高性能没有效果,而且增加能耗和工时。

1.5 等温淬火介质

淬火介质有油、气体、盐液等,应根据淬火温度和冷却速度的要求选择淬火介质。ADI的等温淬火温度通常在220~450℃之间。油对工件的腐蚀性较小,便于炉外循环冷却,淬火温度易于控制,但油温一般不能长期工作在280℃以上,所以采用油介质淬火时,一般适合下贝氏体ADI件生产。目前国外已有采用气体等淬的设备,如Ipsen

公司将盐浴炉与气体等温淬火炉相结合来提高生产率。因采用一定温度的保护性气体作为淬火介质,具有较好的防腐蚀和氧化作用,且对环境污染小,但气体对工件的冷却速度较油及盐液低,因此,处理厚大工件时存在淬适性问题。盐液是当前国内外最常用ADl淬火介质,混合盐液的温度控制范围较宽,操作简易,适合生产不同牌号的A-ADI件,但盐液腐蚀性大,易污染环境,工件淬火后需清洗。常用的两种混合盐液为:(1)硝酸钠(NaNO_3)50%+硝酸钾(KNO_3)50%,熔点220℃,应用温度范围280~550℃。(2)硝酸钠(NaNO_3)50%+亚硝酸钾(KNO_2)50%,熔点143℃,应用温度范围160~550℃。

2 高性能ADl的热处理

ADl材料同一般工程材料一样,韧性与强度是相反的对立关系,强度好,则韧性差。ADl的强度及综合力学性能高于球铁、铸钢及表面处理锻钢件,但韧性不及铁素体球铁及钢件,图5是美国(ASTM)与欧洲(CEN)ADl标准规定的强度与伸长率对应数据。

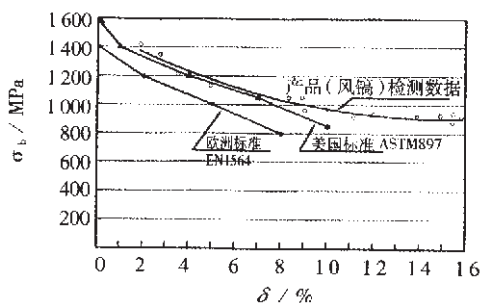


图5 AD强度与伸长率的关系

Fig.5 Relationship between strength of ADl and its elongation

要想获得高性能的ADl,首先应控制好球铁铸件质量,其次是调整热处理工艺规范。

对于高韧性的ADl,要求铸件的球化率1~2级,石墨大小5~7级,石墨球数多于150个·mm⁻²,铸态基体组织应以铁素体为主。厚大件的金相组织应检测工件中心部位,或相应厚度的单铸试块中心部位,只有工件外层与中心的金相组织均符合要求,热处理后才能达到预期效果。另外,为提高淬透性和零件的总体性能,需进行有效的合金处理。如加入Mo、Cu、Ni等合金元素,但总量(质量分数)一般不超过1.5%。同时,还必须严格控制

球铁五个常规元素的成分波动,并要求 $w(\text{P})$ 不超过0.035%, $w(\text{S})$ 不超过0.015%。

对于高强度的ADl,要求球铁中石墨球数多而匀。随着石墨球数的增多和均匀化,可减少晶界处的大块残留奥氏体,有利于防止疲劳裂纹的产生。细小的石墨球和残留奥氏体,还有利于提高ADl的韧性。

ADl的强度主要依赖于石墨球和基体组织,基体组织依靠热处理手段获得。而化学成分对A-ADI的强度性能影响较小,一般要求C、Si高,Mn的质量分数取0.2%~0.4%,P、S尽量低。另外,少量加入1~2种合金元素(如Mo、Cu、Ni、V、Ti等)可以强化热处理效果,提高强度和耐磨性。

2.1 高韧性ADl的热处理

热处理是保证高韧性力学性能的关键,应根据球铁铸件的化学成分、金相组织、壁厚、每次装炉量及热处理设备等具体情况,综合考虑后确定热处理规范。需注意,这些情况是随机变化的。

通常,高韧性ADl的热处理要求:①工件加热速度以5℃/min为宜,并采用阶段加热法;②奥氏体化温度880~920℃,如工件厚大,含Si量高,铸态珠光体与渗碳体较多,取较高的奥氏体化温度;③奥氏体化保温时间1~2h。如采用连续加热或工件厚大、铸态渗碳体较多,应适当延长保温时间;④等淬温度350~400℃,要求 δ 在8%以上时,选等淬温度 ≥ 370 ℃;要求韧性与强度的良好配合时,选等淬温度330~370℃,波动范围控制在 ± 8 ℃内;⑤等淬时间1.5~3h(工件厚大,不含合金元素或含量较低时,应延长等淬时间)。

获得高韧性ADl最关键的是控制好等温淬火温度和时间。德黑兰大学Nili Ahmadabadi试验得出了伸长率与等淬温度及时间的关系。试样化学成分($w_B/\%$)3.4 C、2.5 Si、0.45 Mn、1.5 Ni、0.6 Cu、0.02 P、0.02 S、0.04 Mg,900℃×1.5 h奥氏体化,等淬温度315℃和400℃的伸长率很低,只有在350℃、375℃才能获得高伸长率。若等淬时间少于1.5 h,不论何种等淬温度,伸长率均低。但等淬温度375℃、时间大于2 h后伸长率会降低,故等淬温度应控制在350~375℃,等淬时间控制在2 h左右。

2.2 高强度ADl的热处理

高强度ADl的奥氏体化温度以850~900℃为

文章编号:1003-8345(2002)04-0013-04

含Pb、As、Sn D型石墨铸铁抗氧化性能的研究

卢月美,李树江,林访辉,胡琛

(福州大学 机械工程系,福建 福州 350002)

摘要:利用含Pb、As、Sn地方生铁制取D型石墨铸铁并测定了这种铸铁的抗氧化性能。结果表明,这种含Pb、As、Sn D型石墨铸铁的抗氧化性能明显优于A型石墨铸铁。在600℃时,其抗氧化性能比A型石墨铸铁提高了56%~64%;在900℃时,其抗氧化性能也比A型石墨铸铁提高了约5%~27%。

关键词: D型石墨铸铁;杂质元素;抗氧化性能

中图分类号: TG143.9

文献标识码: A

0 前言

Pb、As、Sn在某些地方生铁中含量较高^[1,2],由

收稿日期:2002-05-20

作者简介:卢月美(1975-),女,硕士,助教,现于福州大学机械工程系从事教学与科研工作。

于这些元素造成铸铁的硬、脆并有开裂倾向,所以过去一直认为这些杂质元素是有害的^[2,3]。研究表明,这些杂质元素有促进D型石墨析出的过冷倾向^[3~7]。而D型石墨铸铁由于比A型石墨铸铁具有更高的抗拉强度、更好的导热性、抗氧化性和耐磨性

宜,过高的奥氏体化温度,使奥氏体组织粗大,白亮区增多,等淬后获得的针状铁素体较少,强度下降。低于850℃,有可能使奥氏体转变不完全,则强度更低。

奥氏体化保温时间以1.5~2 h为宜,时间过长,也可能使奥氏体晶粒长大;时间过短,工件内外温度不均匀,厚壁处奥氏体未转变或转变不完全。奥氏体化保温时间应根据工件壁厚及每次装炉处理量的具体情况而定。

高强度ADI等淬温度以230~290℃为宜,等淬时间一般取1.5~3 h。过长的等温时间,强度变化不大,反而增加能耗和工时;过短的等温时间,奥氏体转变不完全,达不到提高强度的目的。等淬

时间还应根据工件的壁厚和每次处理量而定。

等淬过程中,为了获得所要求的ADI组织,应尽量控制温度的波动。在前10 min温度波动范围在±15℃以内,10 min后在±8℃以内。

3 结束语

等温淬火球铁具有优良的综合力学性能,在获得优质铸件后,ADI的性能取决于等温淬火热处理的工艺规范。获得高韧性ADI的关键是采用合适的等淬温度(350~400℃)。ADI的强度与伸长率成反比关系,提高ADI强度的主要途径是采用较低的等淬温度(230~290℃),除此之外,还应十分注意控制等温温度的波动范围在±8℃以内。

Heat Treatment Process of Isothermo-Quenched Ductile Iron(ADI)

GONG Wen-bang, YU Jing, XIANG Gang-yu

(Foundry Institute, Hubei Mechano-Electricity Research and Design Academy, Wuhan 430070 Hubei Province, China)

Abstract: The heat treatment process of isothermo-quenched ductile iron was described in detail. It was pointed out that the heat treatment process parameters should be determined according to the property requirements by considering heating method, thickness of work piece and the furnace charge volume.

Key words: isothermo-quenched ductile iron; heat treatment process; high toughness; high strength.