

塑料模具钢大模块生产工艺分析

Manufacture Process Analysis of Heavy Die Block for Plastic Mould Steel

李 雄¹, 张玉龙², 续 维³, 薄鑫涛⁴

(1 宝钢股份 特钢事业部 技术中心, 上海 200940;

2 宝钢研究院, 上海 201900;

3 宝钢股份 特钢事业部 制造部, 上海 200940;

4 宝钢股份 特钢事业部 锻造厂, 上海 200940)

LI Xiong¹, ZHANG Yur-long², XU Wei³, BO Xintao⁴

(1 R & D Center of Special Steel Business Unit, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200940, China; 2 Baosteel Research Institute, Shanghai 201900, China;

3 Manufacturing Management Department of Special Steel Business Unit, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200940, China; 4 Forging Factory of Special Steel Business Unit, Baoshan Iron & Steel Co., Ltd., Shanghai 200940, China)

摘要: 针对国内塑料模具钢大模块探伤合格率不高的问题, 分析了国内外的制造工艺, 指出了目前浇注、锻造、热处理过程中可能出现的问题。结果表明: 真空上注法可以改善铸锭心部组织的致密性, 通过辅助手段可以提高上注法的表面质量; 锻造加热温度的高低应视锭坯的内部质量和锻造设备吨位而定, 保证钢锭心部变形有利于钢锭心部缺陷愈合, 锻后快冷会增加内应力从而使得缺陷变得严重; 鉴于大模块的去氢退火效果不佳, 氢的去除放在冶炼和浇注阶段较为合理; 淬火前的软化退火或去应力退火以及淬火后不少于 2 次的回火有利于阻止裂纹的萌生和扩展。

关键词: 塑料模具钢; 大模块; 浇注; 锻造; 热处理

中图分类号: TG111.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2011)01-0053-04

Abstract: Aiming at low qualification rate based on ultrasonic detection, the foreign and domestic manufacture processes for heavy die block of plastic mould steel were analyzed, and domestic current teeming, forging and heat treatment processes were perhaps imperfect. The results show that the vacuum top pouring can make internal microstructure to be more compact contrasted with bottom pouring and enhance ingot surface quality by supplementary means, to determine forging temperature should be according to internal quality of ingot and forging equipment tonnage, increasing internal deformation can cause healing of internal defects of ingot, whereas quick cooling after forging can make existing defects to become more serious. In view of poor effects of the dehydrogenation annealing of heavy die blocks, removal of hydrogen on the smelting and the teeming stages is more reasonable. It is conducive to preventing crack initiation and propagation for soft or stress relief annealing before quenching and at least two temperings after quenching.

Key words: plastic mould steel; heavy die block; teeming; forging; heat treatment

随着制造业的发展, 锻坯尺寸越来越大。以塑料制品业为例, 由早期的 3.7, 6.5, 13.5t 塑料模具钢锭发展到现在的 25, 45t 锭, 模块厚度也由 300, 400mm 发展到如今的 660, 1000mm, 由此带来探伤合格率急剧下滑。如莱钢的 1.2738 钢(相当于我国 3Cr2NiMo、瑞典 ASSAB-718H), 20t 以下模块探伤合格率约为 89%, 而 20t 以上约为 76%^[1]。我国塑料模具钢大钢锭基本上采用下注法, 锻成方坯后探伤, 发现心部缺陷较多

(特别是锭头锭尾部分)。分析缺陷部位, 发现有明显的偏析、疏松、细小平直裂纹、夹渣等缺陷。随着锭型的增大, 这些因素的影响愈加严重, 这对钢锭的锻造和热处理提出了很高的要求。进入 21 世纪以来, 我国大中型钢铁企业的冶炼设施大多数已达到世界水平, 有害元素的控制基本能达到合理程度, 但产品合格率与国外先进生产厂有较大差距。鉴于塑料模具钢大模块常出现的一些问题, 本工作将从钢锭的浇

注、锻造和热处理等几个方面进行剖析,以寻找解决问题的途径。

1 钢锭浇注

钢锭浇注有下注、上注和倾斜浇注三种方法,其中倾斜浇注法不太常用,见图 1。下注法与上注法比较,下注法一次可浇注多个钢锭而且具有湍流弱、飞溅少、钢锭表观质量好等优点,20 世纪 70 年代以后下注法成为国内各大钢厂的主流。上注法具有无需准备浇注系统、疏松和缩孔集中于钢锭上端而易于切除、外来夹杂及翻皮少、内部组织较为致密等优点,国外常用来浇注大型钢锭和高质量钢锭^[2],美国 95% 的钢锭采用上注法^[3]。下注法浇注时,钢液由汤道进入钢锭模在中心部位向上漫延,所以中心区及次中心区分别处于液态和糊状,中心区域最后凝固,如浇温浇速控制不当,则易于形成疏松和缩孔,这通过图 2 可以看出。

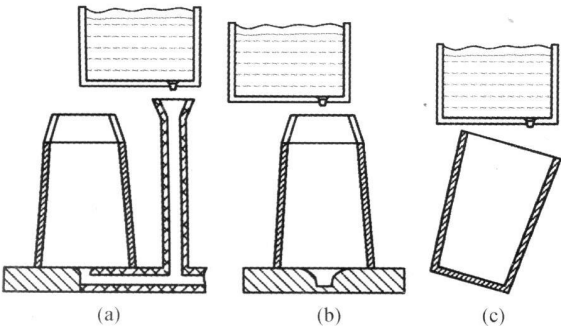


图 1 几种浇注方法
(a) 下注法;(b) 上注法;(c) 倾斜浇注法

Fig. 1 Several teeming methods

(a) top pouring; (b) bottom pouring; (c) leaned-top pouring

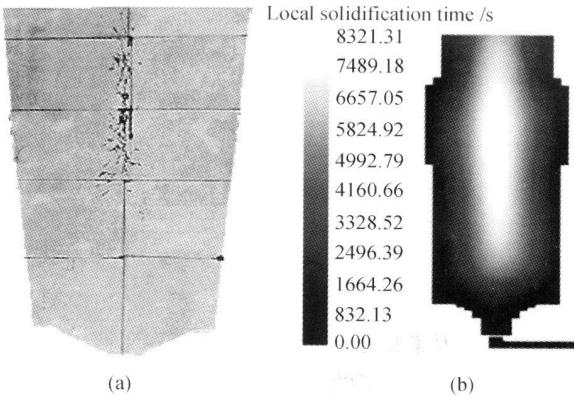


图 2 304 不锈钢大钢锭的铸造缺陷

(a) 实物铸造缺陷;(b) 铸锭凝固模拟

Fig. 2 Casting defects of 304 stainless steel in large ingot

(a) existing casting defects;

(b) local solidification simulation

鉴于上注法浇注钢液在钢锭模中易于湍流和飞溅,我国有厂家总结了“对正、稳开、无声、快开流、圆流、快注”十三字诀^[4]予以解决,但对工人的操作技能要求较高。为了减轻飞溅和湍流,国外作了多方研究,如在钢锭模里放入泡沫材料的衬垫,衬垫在钢流冲击下产生还原性气氛,有利于改善钢锭的表面质量;通过密度小于钢液的浮块阻碍飞溅和减少湍流的发生,见图 3;通过在钢锭模底部放置边角钢料或蜂窝板防溅等^[3,5,6]。塑料模具钢对质量要求较高,一般在惰性气体或真空下浇注;真空浇注时钢液进入真空状态的钢锭模会分散成细小的液滴,可大幅减轻湍流,40%~75% (质量分数) 的氢可以去除,氧含量也明显降低。

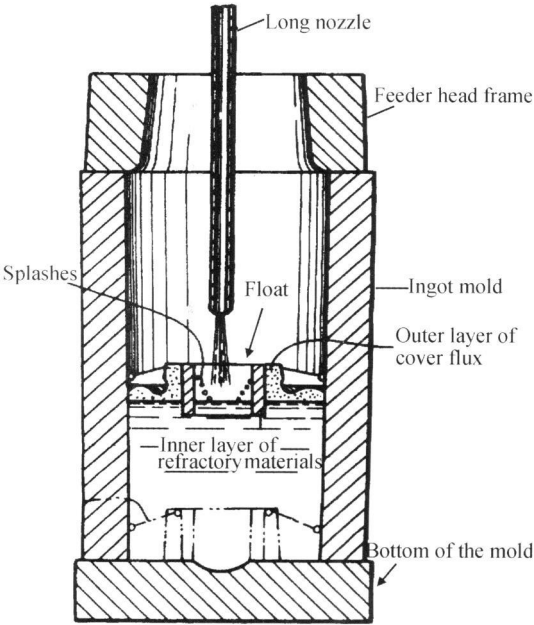


图 3 通过浮块减少湍流和飞溅

Fig. 3 Reducing turbulence and splash during top-pouring through cover flux

塑料模具钢大模块存在的疏松、夹渣、氢脆缺陷基本上与浇注过程相关。电弧炉(Electric Arc Furnace, EAF)+ 钢包炉(Ladle Furnace, LF)+ 真空脱气(Vacuum Degassing, VD) 的熔炼方式可使 S, P 质量分数分别低于 0.005% 和 0.010%, H 的质量分数低于 0.0002%。但在下注法浇注过程中,虽然有惰性气体保护,但仍存在增氢现象,较为严重的心部疏松和缩孔在锻造过程中不能压实,使得探伤不能通过。下注法除控制浇温浇速外,还应防止耐火材料的冲入及保证钢锭模的干燥,工艺很复杂。所以,采用真空上注法可解决现存的大部分问题,在改善钢锭心部组织的致密性的同时可起到防止增氢增氧的作用,减少去氢退火时间,还可减少偏析;同时,因不需要浇道,夹杂缺陷也

大幅减少。

浇注过程中辅加等离子处理 (Plasma Treatment Casting, PTC) 对于减少偏析、消除疏松及缩孔是有效的, 而且可起到细化铸造组织的作用, 图 4 示出的是美国 NETANYA PLASMATEC 公司关于晶粒尺寸的实验结果。

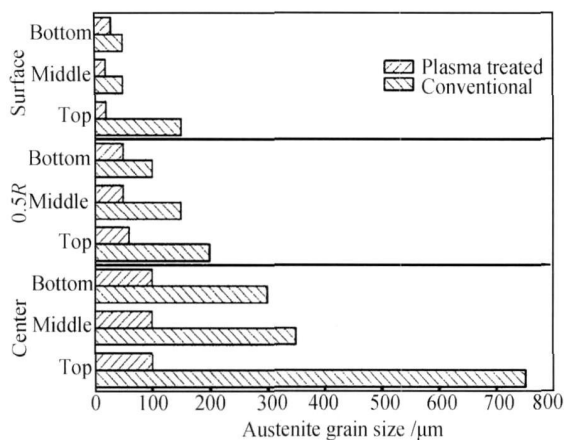


图 4 10t P20 塑料模具钢传统锭与等离子处理锭奥氏体晶粒尺寸对比

Fig. 4 Comparison of 10 ton P20 steel ingot between the conventional and the plasma treated austenite grain size

2 钢锭锻造

塑料模具钢锭一般是在钢锭热送至锻造厂压完钳把后补温再进行锻造, 锻造方式有两墩两拔和一墩一拔两种方式。对于 1. 2738 塑料模具钢的锻造温度, 有些厂采用 1210℃, 也有的厂采用 1280℃^[1], 而欧美厂家的始锻温度约为 1050℃, 温度差距较大。一般, 锻造温度越高, 越容易粗晶; 但日本厂家认为高温加热对改善锻件质量是有效的, 粗晶问题可以留待后续的热处理解决^[7]。锻造温度越高, 钢的变形抗力越小。在墩粗和初始拔长阶段, 可以采用高的锻造温度; 而在拔长后期, 可降低锻造温度。后期拔长温度较低, 锭坯晶粒不至于粗大。目前, 国内的特钢企业, 如宝钢特钢、东北特钢、莱钢, 大多采用 2000~4000t 快锻机锻造塑料模具钢大模块。采用梯森极限矩形锻造法 (Thyssen Extrem-Rechtkant, TER) + 无曼内斯曼效应锻造法 (Free from Mannesmann Effect, FM) 的锻造方式在不增加压机吨位的情况下有较好的效果。Assab 公司采用万吨液压机锻造大模块, 因为采用的是宽砧, 对改善心部缺陷十分有效。

钢锭锻后虽然大部分疏松、孔洞性缺陷得到愈合, 大块夹杂被粉碎, 但氢仍容易在缺陷部位聚集, 锻后如

风冷将加剧锻件的内应力, 在氢的作用下, 极易产生裂纹, 如 Assab 公司对 1. 2738 钢和 P20 钢均采用空冷。英国 West Yorkshire 钢厂的 P20 钢始锻和终锻温度分别为 1050℃和 930℃, 锻后缓冷。

3 锻后热处理

国内有些钢厂对塑料模具钢在锻后进行扩氢退火处理。导致氢脆的诱因一般认为是氢含量和内应力; 但不能忽视的是, 冶炼和浇注过程中出现的疏松、孔洞、夹杂等缺陷如在锻造过程中没得到有效消除, 室温下氢将在缺陷处富集, 在内应力协同作用下导致钢材开裂; 所以, 可以认为缺陷是导致氢脆的另一因素。550mm 厚的模块扩氢时间在 130h 以上^[8]; 氢在 $\phi 600\text{mm}$ 的 $\alpha\text{-Fe}$ 中 650℃时的扩散计算见图 5, 计算表明, 氢的质量分数由 0.0002% 降至 0.0001% 约需要 480h; 而在合金钢中的扩散速率还要慢^[9]。

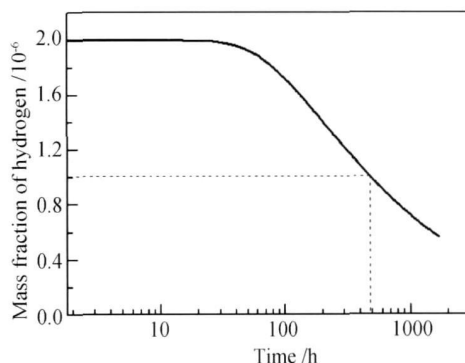


图 5 氢在 $\phi 600\text{mm}$ 的 $\alpha\text{-Fe}$ 中 650℃时的扩散计算
Fig. 5 Calculation of diffusion rate of hydrogen in a $\phi 600\text{mm}$ $\alpha\text{-Fe}$ at 650℃

锻后扩氢退火不是一种好的去氢方式, 扩氢退火耗时长, 耗能大, 而且效果不明显, 因而控制氢含量最好在冶炼和浇注环节进行, 所以 Uddeholm 公司、Larrobe 特钢公司并没有专门针对 P20 和 1. 2738 等塑料模具钢的扩氢退火工序。

莱钢和 Edelstahl 公司的 1. 2738 钢锻后热处理工艺不同。莱钢采用奥氏体化后空冷, 国内其他厂家则用油冷或用淬火液冷却。采用何种冷却方式应视模块的有效厚度而定, 以不出现珠光体转变为宜。作者有数据表明: 直径为 600mm 的 1. 2738 钢钢坯, 油冷时锻坯心部不会发生珠光体转变。关于回火温度, 莱钢为 650℃, 其他厂家约为 560℃, 硬度差约为 7~8HRC。Edelstahl 公司的工艺与国内厂家最大的不同在于预硬化前采用了去应力退火工艺, Uddeholm 公司采用的是软化退火工艺 (700~740℃), 这样做的目的在于

消除应力, 提高塑性, 为淬火作准备。对于有较多缺陷的模块, 预硬化前的去应力退火或软化退火可以防止淬火时出现裂纹。对于高温回火, 国内一般回火 1 次, 而国外有些厂家回火不少于 2 次, 以使残余奥氏体转变彻底, 防止延迟断裂发生。

4 结论

(1) 采用真空上注法浇注的钢锭心部致密性优于下注法, 表面质量差的问题可通过其他方式解决; 浇注时采用等离子处理可以减少偏析、疏松和缩孔等缺陷, 同时组织也可得到细化。

(2) 铸造缺陷少、锻造设备吨位有余地时, 可采用较低的锻造温度, 否则锻造初期采用高的锻造温度, 末期采用低的锻造温度是一种好的方式; 锻后不宜快冷。

(3) 限制氢含量应放在冶炼和浇注阶段。淬火前的软化退火/去应力退火是必要的, 有利于消除应力, 为淬火作准备。淬火过程的控制, 以不发生珠光体转变为原则, 不少于 2 次的回火是必要的。

参考文献

[1] 田家栋, 张华, 李玉华, 等. 塑料模具钢 1.2738 大模块的生产

[J]. 大型铸锻件, 2008, 30(4): 29–31.

[2] YOGESHWAR S, TOSHIHIKO E. Tundish Technology for Clean Steel Production[M]. Singapore: World Scientific Publishing Co Pte Ltd, 2008. 1–14.

[3] 孟凡钦. 钢锭浇注与钢锭质量[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994.

[4] 北京钢铁学校. 钢锭浇注问答[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1980.

[5] ROGER M H, JOHN F X W. Casting of Ingots[P]. 美国专利: 3623537, 1971-11-30.

[6] KANTARO S A, MITSUO O O. Top Pouring Ingot Making Method Using Cover Flux[P]. 美国专利: 3920063, 1975-11-18.

[7] 康大超, 叶国斌. 大型锻件材料及热处理[M]. 北京: 龙门书局, 1998.

[8] 刘宗昌, 杨慧, 李文学, 等. 去氢退火工艺的设计及应用[J]. 金属热处理, 2003, 28(3): 51–53.

[9] 斯克柳耶夫 П B. 大型锻件中的氢和白点[M]. 陈洵, 曾祖良, 张同和, 译. 北京: 机械工业出版社, 1966.

收稿日期: 2009-09-04; 修订日期: 2010-07-13

作者简介: 李雄(1968—), 男, 高级工程师, 博士, 主要从事金属热变形和热处理工艺研究, 联系地址: 上海市宝山区 1269 号 宝钢特钢事业部技术中心(200940), E-mail: lee_xiong@126.com

(上接第 52 页)

[3] TURCHIPI E A, KAUFMAN L, LIU Z K. Modeling of Ni-Cr-Mo based alloys: part II kinetics[J]. Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, 2007, 31: 237–248.

[4] 秦紫瑞, 李隆盛. Hastelloy C 型铸造镍基合金的析出相及其对合金腐蚀行为的影响[J]. 材料工程, 1995, (9): 18–21.

[5] 刑卓. Hastelloy C 系列合金综述[J]. 化工设备与管道, 2007, 44(2): 51–58.

[6] YOUNG D J, SMELTZER W W, KIRKALDY J S. The effects of molybdenum additions to nickel-chromium alloys on their sulfidation properties[J]. Metallurgical Transactions A, 1975, 6(6): 1205–1215.

[7] SAHLAOUI H, SIDHOM H, PHILIBERT J. Prediction of chromium depleted zone evolution during aging of Ni-Cr-Fe alloys[J]. Acta Materialia, 2002, 50: 1383–1392.

[8] JIN W K, BYUN Q H C, JIN S H, et al. Cracking observed in the socket weld HAZ of Hastelloy C-276 alloy[J]. Journal of the Korean Institute of Metal and Materials, 2002, 40(9): 1016–1021.

[9] STREICHER M A. Effect of composition and structure on crevice, intergranular, and stress corrosion of some wrought Ni-Cr-Mo alloys[J]. Corrosion, 1976, 32(3): 79–83.

[10] AKHTER J J, SHAIKH M A, AHMAD M, et al. Effect of aging on the hardness and impact properties of Hastelloy G 276

[J]. Journal of Materials Science Letters, 2001, 20(4): 333–335.

[11] 陆金生, 王彪, 姚影澄. 钢和合金中常见相 X-射线鉴定手册[M]. 北京: 北京钢铁研究总院, 1990.

[12] YIN Y F, FAULKNER G. Model predictions of grain boundary chromium depletion in Inconel 690[J]. Corrosion Science, 2007, 49: 2177–2197.

[13] MAYO W E. Predicting IGSCC/IGA susceptibility of Ni-Cr-Fe alloys by modeling of grain boundary chromium depletion[J]. Materials Science & Engineering, 1997, 232(1–2): 129–139.

[14] 余永宁. 材料科学基础[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006.

[15] ANDERSSON J O, HELANDER T, HOGLUND L, et al. Thermocalc & Dictra, computational tools for materials science[J]. Calphad, 2002, 26(2): 273–312.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50831008)

收稿日期: 2009-08-26; 修订日期: 2010-07-14

作者简介: 焦少阳(1981—), 男, 博士研究生, 从事高温合金方面研究工作, 联系地址: 北京科技大学 253# 信箱(100083), E-mail: shaoyangjiao@163.com

通讯作者: 董建新, 男, 教授, 从事高温合金方面研究工作, 联系地址: 北京科技大学材料学院高温合金研究室(100083), E-mail: jxdong@ustb.edu.cn