● 材料失效分析 Material Failure Analysis ●

DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2020.06.013

H13 钢模芯开裂原因分析

吉国强[1,2],蔡 榕[1,2],葛贵明[1,2],罗芷琪[1,2],林颖菲[3]

(1. 广东省科学院 广东省测试分析研究所(中国广州分析测试中心),广东 广州 510070; 2.韶关市中广测协同创新技术有限公司,广东 韶关 512026;3. 广东省科学院 广东省材料与加工研究所,广东 广州 510650)

摘 要:采用火花直读光谱仪、能谱分析仪、金相显微镜和洛氏硬度计等分析设备,观察和检测了 H13 钢模芯失效件的化学成分、金相组织及硬度等,分析了 H13 钢模芯开裂的原因。结果表明,由于模芯原材料前期冶炼不当,存在较严重的成分偏析,生成了液析碳化物;模芯在后期的热处理过程中,回火温度不够,形成晶粒粗大的回火马氏体组织和沿晶碳化物,从而造成模芯脆性显著增强,芯部硬度达到 57.2 HRC,远高于正常回火组织要求的 47~49 HRC。模芯根部过渡圆弧并不光滑,导致宏观裂纹最先从该部位产生,然后裂纹快速扩展,直至断裂。

关键词:H13 钢;模芯;液析碳化物;元素偏析;疲劳断裂

中图分类号:TG142 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2020)06-0553-04

Cracking Analysis of H13 Steel Die Insert

JI Guoqiang[1,2], CAI Rong[1,2], GE Guiming[1,2], LUO Zhiqi[1,2], LIN Yingfei[3]

(1. Guangdong Institute of Analysis (China National Analytical Center, Guangzhou), Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510070, China; 2 . Shaoguan NACC Collaborative Innovation Technology Co., Ltd., Shaoguan 512026, China; 3. Guangdong Institute of Materials and Processing, Guangdong Academy of Sciences, Guangzhou 510650, China)

Abstract: By means of spark direct reading spectrometer, energy spectrum analyzer, metallographic microscope and rockwell hardness tester, the chemical composition, microstructure and hardness of the failure parts of H13 steel die core were observed and detected, and the reason of the cracking of H13 steel die core was analyzed. The results show that due to the improper smelting of the core material in the early stage, there is a serious component segregation, resulting in the formation of liquid carbide; In the later heat treatment process, the tempering temperature of the die core is not enough to form coarse-grained tempering martensite structure and intercrystalline carbide, resulting in significantly increased brittleness of the die core, and the hardness of the core reaches 57.2 HRC, which is much higher than 47~49 HRC required by normal tempering structure. The transition arc at the root of the die core is not smooth, which leads to the macroscopic crack first generated from this part, and then the crack expands rapidly until the fracture.

Key words: H13 steel; die Inset; liquation carbide; segregation of elements; fatigue fracture

模具钢在现代制造业中发挥着极其重要的作用,甚至成为衡量一个国家制造业的发展水平和评定标准之一[1,2]。H13 热作模具钢(国内牌号为 4Cr5MoSiV1)作为模具钢家族中的重要组成一员,在实际生产中,尤其是铝、铜及其合金的挤压制造业中被广泛应用[3,4]。H13 热作模具钢是首钢特殊钢公司根据美国标准钢号 H13 开发的一种使用温度在 600 ℃以下的中碳中铬热作模具钢。H13 热作模具钢既具有 3Cr2W8V 钢的高温性能,又具有 5CrMnMo 钢高韧性的特点,也具有一般热作模具钢要求的较高的热硬性、热强性、抗回火稳定性、耐磨性、抗冷热疲劳性等[5]。开裂失效件为某齿轮加工厂提供的 H13 热作模具钢模芯,根据厂家提供的信息,该模芯的热处理工艺为:淬火+三次回火,淬火温度为 1 050~1 080 ℃,采用油液冷却,回火温度为 530~560 ℃。该模芯平均寿命能加工 1.6 万多件工件,而发生断裂时加工的工件数量不到 6 000 件,不及正常件的 40%,断裂模芯的宏观图如图 1 所示。本研究通过采用成分分析、硬度测试、显微组织分析、尺寸测量等检测方法,分析了H13 模芯提前失效的原因,并给出相应的改进建议。

收稿日期:2020-03-12

基金项目:广东省省级科技计划项目(2016B020211004)

作者简介:吉国强(1984-),广东广州人,硕士,工程师.主要从事金属材料的分析检测与研究方面的工作.
电话:18719363645,E-mail:267266441@qq.com

通讯作者:林颖菲(1989-),广东佛山人,博士,工程师.主要从事表面科学工程研究方面的工作.
电话:18578784798,E-mail:faye_lim@126.com



(a)整体形貌　(b)断口形貌

图 1 H13 模芯断裂后宏观图

Fig.1 Macrograph of H13 die insert after fracture

1 试验过程与结果

1.1 宏观检测

H13 模芯失效件发生了龟裂及环裂现象，表面存在多条裂纹，并沿着裂纹分裂成两半块，断口比较整齐，断口处有锈迹。图 2 为 H13 模芯失效件的断口形貌及局部放大图。可以看出，断口附近未见明显宏观塑性变形，呈解理断裂特征，属脆性断裂；断裂起始于模芯根部倒角处，判断依据为：①模芯根部倒角处下方的断裂面处有明显的放射状条纹，放射状条纹指向的中心为疲劳裂纹源，即模芯根部所在处；②裂纹源附近区域 1 明显比区域 2 的氧化程度严重，说明区域 1 最先发生开裂，且经历了较长时间的氧化。

1.2 化学成分分析

从 H13 模芯失效件上截取样块进行化学成分检测，依据国家标准 GB/T 4336-2016《碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法(常规法)》进行检测。由表 1 可知，模芯失效件化学成分基本符合国标 GB/T 1299-2014 中热作模具用钢 4Cr5MoSiV1(H13)的牌号要求。

1.3 硬度检测

对模芯失效件的表面及芯部依据 GB/T 230.1-2018《金属材料 洛氏硬度试验 第 1 部分:试验方法》进行了硬度测试，检测结果如表 2 所示。从检测结果可以看出，H13 模芯失效件表面硬度平均值为 57.3 HRC，芯部硬度平均值为 57.2 HRC，远高于厂家技术要求的 47~49 HRC。

表1 H13模芯失效件化学成分检测结果 w(%)

Tab.1 Chemical composition test results of H13 die insert failure part

元素	H13 标准值	失效件实测值
C	0.32~0.45	0.424
Si	0.80~1.20	0.996
Mn	0.20~0.50	0.322
P	≤0.030	0.016 2
S	≤0.030	0.000 9
Cr	4.75~5.50	5.29
Mo	1.10~1.75	1.35
V	0.80~1.20	0.99

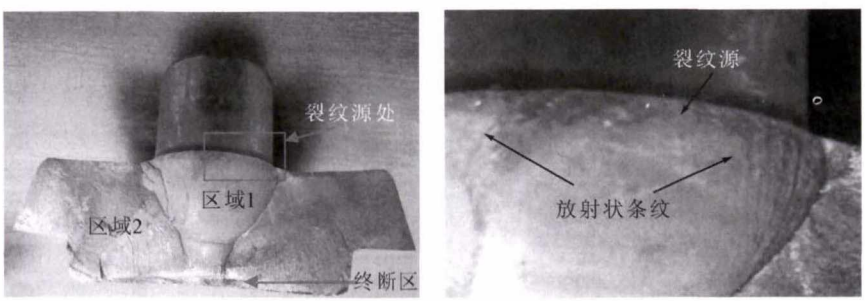
表2 H13模芯失效件硬度检测结果

Tab.2 Hardness test results of H13 die insert failure part

检测位置	检测结果(HRC)			平均值(HRC)
表面	57.3	57.6	56.9	57.3
芯部	56.9	57.1	57.3	57.2

1.4 模芯根部倒角尺寸测量

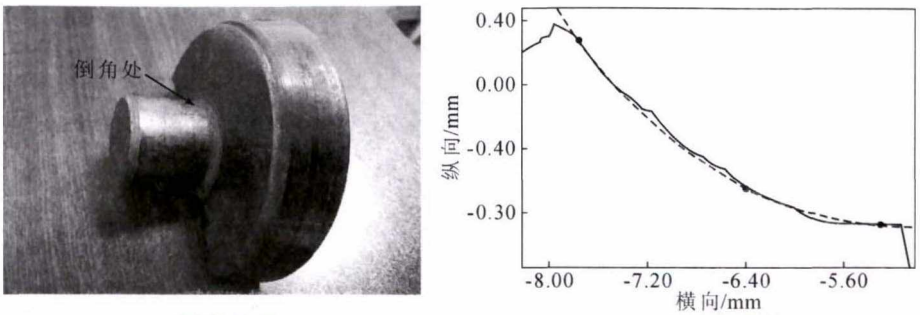
由于断裂起始于模芯根部倒角处，倒角处尺寸加工不合理也会导致应力集中。因此对模芯根部倒角的圆弧进行了测量，测量设备为东京精密的 SURFCOM 1800G-12 粗糙度轮廓仪，如表 3 所示，倒角圆弧半径的检测结果平均值为 3.931 6 mm。厂家的技术要求为大于 2 mm，可见圆弧半径满足技术要求。但从图 3 的圆弧轮廓可以看出，轮廓曲线并非光滑过度，有部分位置呈现凸起现象。



(a)断口整体形貌　(b)裂纹源处形貌

图 2 H13 模芯断口形貌

Fig.2 Fracture morphology of H13 die insert



(a)测量位置　　(b)轮廓曲线

图 3 H13 模芯根部倒角圆弧半径测量

Fig.3 Radius measurement of bottom chamfer of H13 Steel die insert

表3 H13模芯失效件根部倒角圆弧半径检测结果

Tab.3 Test results of arc radius of root chamfer of H13 die insert failure part

检测项目	检测结果 /mm			
根部倒角圆弧半径	第 1 点	第 2 点	第 3 点	平均值
	3.659 6	3.924 5	4.210 8	3.931 6

1.5 金相检测

图 4 位 H13 模芯失效件的金相组织。可以看出，模芯失效件金相组织主要为晶粒粗大的回火马氏体和沿晶分布的碳化物，并存在明显的呈点状分布的液析碳化物。

1.6 EDS 检测

图 5 和表 4 为 H13 模芯失效件点状分布液析碳化物 EDS 分析结果。可以看出，液析碳化物中 C 和 V 的元素含量较高，推测液析碳化物主要是由 C 和 V 组成的化合物 V_xC_y。

表4 H13模芯失效件EDS测试结果

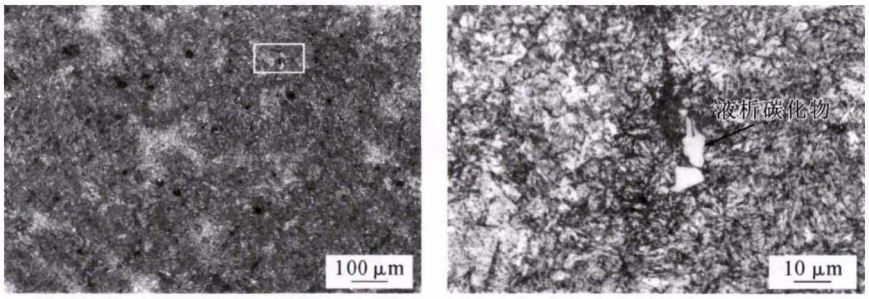
Tab.4 EDS test results of H13 die insert failure part

元素	C	V	Cr	Fe	Nb	Mo
w(%)	22.29	46.11	4.90	3.01	18.60	5.10
a(%)	58.68	28.62	2.98	1.70	6.33	1.68

2 分析与讨论

模芯出现早期失效断裂的主要原因是 H13 钢件回火温度不够，热处理不到位所致。失效件的金相组织是晶粒粗大的回火马氏体+沿晶碳化物+液析碳化物，这种组织不是 H13 钢件正常的淬火后回火组织，沿晶分布的碳化物增加了钢的脆性；模芯失效件芯部硬度达到 57.2 HRC，远高于正常回火组织要求的 47~49 HRC，异常的硬度也佐证了热处理的不到位。

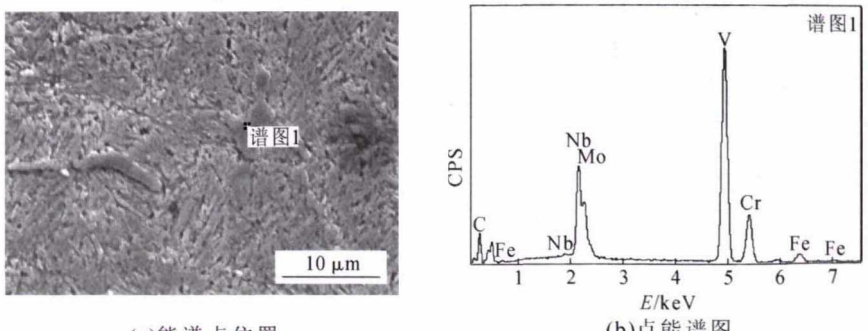
模芯出现早期失效断裂的另一个原因是该钢种



(a)低倍　　(b)高倍

图 4 H13 模芯失效件金相组织

Fig.4 Microstructure of H13 die insert failure part



(a)能谱点位置　　(b)点能谱图

图 5 H13 模芯失效件液析碳化物点能谱结果

Fig.5 EDS results of liquation carbide in H13 mould core failure part

前期冶炼过程中存在较严重的成分偏析，使得合金元素与C形成过多的共晶碳化物所致。在钢锭凝固过程中，枝晶间最后凝固的残液内形成C和合金元素(Cr、Mo、V)的富集，达到共晶成分，凝固后形成共晶碳化物[6]，经后续锻造加工后变小，呈点状分布。由于V类碳化物V_xC_y熔点高，在后期热处理中很难消除，该类碳化物硬度高，脆性大，破坏了基体的连续性，使得材料脆性增强，硬度提高。在冲击载荷的作用下，液析碳化物处极易产生应力集中，在液析碳化物和基体的界面上易形成初始微裂纹[7]。液析碳化物的存在反映出原材料存在一定缺陷。

模芯根部倒角处过渡圆弧半径虽然满足技术要求，但该部位是整个模芯部件应力集中最大的区域，且过渡圆弧并不光滑，导致宏观裂纹最先从该部位产生。

3　改进建议

(1)建议厂家了解清楚热处理工艺，排查淬火、回火全过程中产生的一些问题。

(2)原材料可以通过调整优化浇注工艺以降低碳化物的偏析，在锻造过程中采用墩粗、拔长工艺以及大的锻造比破碎碳化物颗粒，适当提高锻造加热温度和保温时间促进碳化物的溶解[8]。

(3)尽可能提高模芯根部倒角处圆弧的加工精度，形成光滑过渡。

4　结语

该H13模芯件的失效模式主要为疲劳断裂，疲劳断裂的裂纹起源于模芯根部，这主要是由于模芯件回火温度不够，加上模芯原材料在前期冶炼过程中存在较严重的成分偏析，生成了液析碳化物所致。模芯根部的过渡圆弧不光滑，导致宏观裂纹最先从该部位产生，然后裂纹快速扩展，直至断裂。

参考文献：

[1] 万颖，王忠，杨婷婷，等. 模具行业发展现状及发展趋势概述[J]. 山东工业技术，2017(2): 216.

[2] 何强. 模具设计与制造的现状及发展趋势 [J]. 内燃机与配件，2018(3): 109-110.

[3] 付成文，苗临轩，李文兵，等. 新型工模具在铜合金管挤压生产的应用分析[J]. 机械研究与应用，2018, 31(3): 154-156.

[4] 王彦俊，李鹏伟，孙巍，等. H13大型挤压模具分流桥断裂分析[J]. 失效分析与预防，2012，7(4): 262-266.

[5] 于静. H13热作模具钢的应用[J]. 特殊钢，1993，14(5): 44-46.

[6] 左毅，米振莉，李志超，等. 加热工艺对轴承钢连铸坯液析碳化物溶解行为的影响[J]. 材料热处理学报，2016, 37(2): 146-152.

[7] 王辉，徐锟，卢守栋，等. 液析碳化物对H13热模具钢力学性能的影响机理 // 宝钢学术年会论文集[C]. 北京：中国金属学会，2015.

[8] 卢守，栋徐锟，李陈昊. H13钢芯棒坯料常见缺陷分析[J]. 现代冶金，2011, 39(5): 35-37.

2020年《铸造技术》杂志征订启事

《铸造技术》杂志，月刊，1979年创刊，中国铸造协会会刊，国内外公开发行，国内邮发代号：52-64，国外发行号：M855，中国标准刊号：ISSN1000-8365/CN61-1134/TG。

报道范围：报道国内外铸造领域的先进科技成果、应用技术、生产管理经验及信息和铸造设备，覆盖铸铁、铸钢和有色合金等铸造领域，包括砂型铸造以及熔模铸造、金属型铸造、消失模铸造和压铸等特种铸造技术。

主要栏目：试验研究、工艺技术、生产技术、特种铸造、装备技术、实用成型技术、材料改性、材料开发、材料保护及表面工程、材料失效分析、应力控制与理化测试技术、今日铸造等。

发行对象：国内外铸造企业，科研院所，高等学校，铸造原辅材料厂商，设备、仪器厂商，铸件采购商等。

广告范围：刊登铸造原辅材料、铸造设备、熔炼设备、热处理设备、环保设备、检测仪器以及铸件生产、科研成果转让、企业形象宣传等相关广告。

订阅方式及价格：

请从当地邮局订阅，也可以直接从铸造技术杂志社订阅。全年12期，每期定价25元，平寄全年300元（含邮费），挂号全年336元，快递全年420元。

海外：每期定价25美元，全年300美元。

银行汇款：

户　名：陕西铸造技术杂志社有限责任公司

账　号：3700 0235 0920 0091 309

开户行：中国工商银行西安市互助路支行

邮购地址：陕西省西安市碑林区友谊西路127号西北工业大学凝固楼301室

联系人：李巧凤　　电话/传真：029-83222071

网址：www.zhuzaojishu.net　　E-mail：zzjs@263.net.cn

微信扫一扫 信息快知道