

试验与研究

0Cr17Ni4Cu4Nb 钢中的细小硫化物夹杂及其对策

程健云

(烽火机械厂 质检中心, 成都 611130)

摘 要: 采用金相分析、扫描电镜(能谱分析)等方法对 0Cr17Ni4Cu4Nb 钢小型锻件上用无损检测方法检出的磁痕进行了分析。结果表明,该锻件的材质符合国标要求,但存在影响零件使用性能的细小条状夹杂物。通过对原材料的分析评价及锻造试验,探索了沉淀硬化不锈钢中细小条状硫化物夹杂的控制手段,并提出了评价这类夹杂物的补充检验方法。

关键词: 沉淀硬化不锈钢; 细小条状夹杂; 锻造

中图分类号: TB303

文献标识码: A

文章编号: 1001-4012(2007)10-0487-03

FINE STRIP INCLUSION IN 0Cr17Ni4Cu4Nb STEEL AND ITS COUNTERMEASURES

CHENG Jian-yun

(Fenghuo Machinery Factory, Chengdu 611130, China)

Abstract: By means of nondestructive testing, metallographic examination, SEM (EDS) analysis, the abnormal tracks on small forged pieces made by 0Cr17Ni4Cu4Nb steel have been analyzed. The result indicates that there exists fine strip inclusions which conforming to manufacturing standard (i. e. national standard) but not conforming to the performance requirements of the part. Through the analysis and evaluation of the raw material and forging, the controlling method of the fine strip inclusions in precipitation-hardening stainless steel have been discovered, and extra inspection method has been proposed to evaluate these fine strip inclusions.

Key words: Precipitation-hardening stainless steel; Fine strip inclusion; Forging

1 概述

0Cr17Ni4Cu4Nb 钢是一种沉淀硬化型不锈钢,因其具有良好的强度、塑性、耐腐蚀性和可焊性,目前在军工产品的制造中有着较为广泛的应用。我厂产品中的一些结构复杂且对强度和韧性均有较高要求的关键零件常采用的这种材料。

在进行一批该材料的关键零件(锻件)的加工过程中,经粗加工的锻件毛坯(尺寸约为 55 mm × 35 mm × 30 mm)上存在疑似裂纹的痕迹,为此在正常的锻件检验项目外,对该批锻件进行了 100 % 的磁粉检测和超声检测,在磁粉检测后发现一些非常

细小的线性显示。利用体视显微镜观察,其长度一般不足 1 mm,疑为条状夹杂,形貌见图 1,图中箭头所指黑色条纹为磁粉聚集的线性显示,背景上布满的黑色颗粒物为磁粉颗粒。

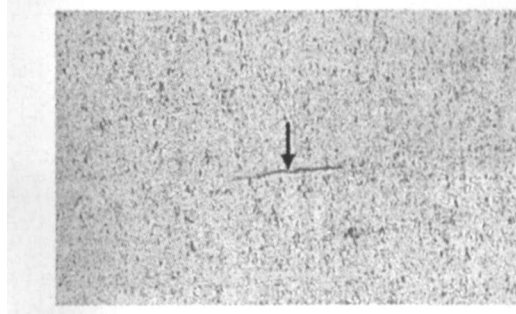


图 1 细小磁痕形貌(体视显微镜)

Fig. 1 The trace appearance of small magnetic particle (observing by stereomicroscope)

收稿日期: 2006-12-13

作者简介: 程健云(1967-),男,高级工程师,学士。

鉴于用此锻件加工的零件结构复杂并需承受极高油压,因而对此问题进行了相关试验和分析。

2 原材料复查

该锻件的原材料系按 GB/T 1220 - 2001 生产的规格为 $\phi 60$ mm 的沉淀硬化型不锈钢棒。购回后进行了金相(低倍)、力学性能及化学成分的复验,复验结果均合乎标准要求。

再取同批原材料对其横截面进行低倍试验,未能观察到任何超出上述标准要求的缺陷。由此认定,原材料是符合出厂标准要求的。

但对低倍试样(钢棒横截面)研磨、抛光后,直接在光学显微镜下观察,发现存在大量黑点,见图 2。

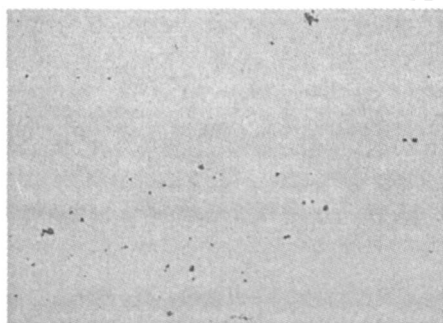


图 2 原材料横截面上的黑点(未侵蚀) 72 ×
Fig. 2 Black spots on transection of raw material

3 试验与分析

(1) 金相分析 选取存在图 1 磁痕的锻件,对其(金属流线的)横向、纵向分别进行研磨、抛光,在未侵蚀的情况下观察,发现横向存在大量小黑点,见图 3,而纵向存在条状缺陷,见图 4。侵蚀后观察,其显微组织正常,见图 5。

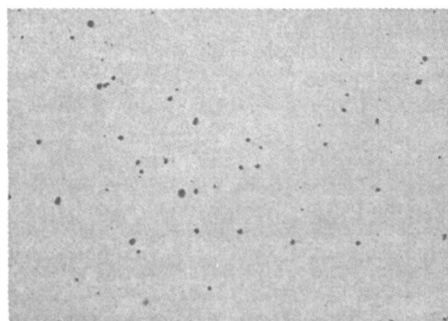


图 3 横向端面上分布的大量圆形黑点(未侵蚀) 100 ×
Fig. 3 A mass of black spots on transection (without etching)

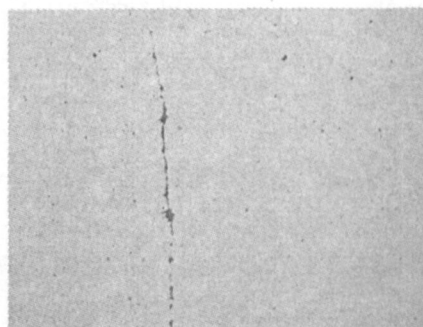


图 4 纵向形貌(未侵蚀) 80 ×
Fig. 4 Appearance of longitudinal section (without etching)

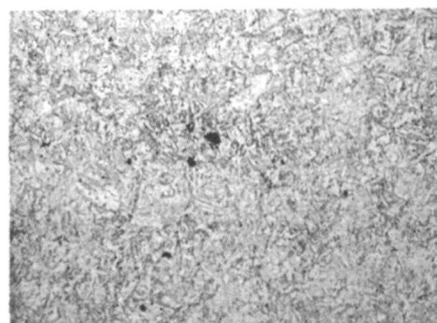


图 5 横向显微组织 160 ×
Fig. 5 Transection metallographic structure

为进一步了解黑点的情况,利用扫描电镜观察其形貌,并对正常组织处及黑点分别进行能谱(微区成分)分析。在正常组织处分析结果(质量分数)为: 1.96 % C, 16.21 % Cr, 0.63 % Mn, 74 % Fe, 4.50 % Ni 和 2.70 % Cu;在黑点处分析结果(质量分数)为: 29.19 % C, 2.44 % O, 21.55 % S, 7.75 % Cr, 26.40 % Mn, 3.71 % Fe 和 8.98 % Cu。

从分析结果看,正常基体处为含铬、镍、铜等合金元素的铁基组织,几乎不含硫和锰;而呈孔洞状的黑点中央,则几乎不含有铁、铬和镍等元素(或含量非常低),而硫和锰的含量则是异常的高。

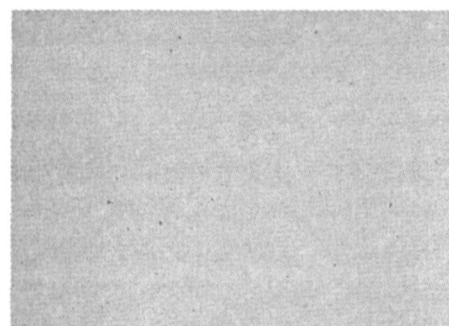
由此可以认定,黑色圆点内部含有硫化锰夹杂物。即图 3 中的圆点系图 4 中长条状硫化物夹杂的横截面。

上述试验表明,此锻件在磁粉检测过程中发现的细小磁痕实际上属于原材料出厂时已经存在的条状硫化物夹杂,但因其尺寸较小,按材料标准规定的方法进行入厂复验时无法检出(即缺陷并未超标),加之锻造不够充分,使之得以保留下来。但对于所制的零件来说,被认定为不可接受的材料缺陷。

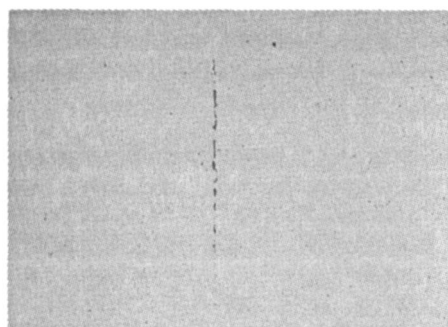
(2) 超声检测 尝试采用 10 MHz 窄脉冲高分辨超声波检测的方法检测零件内部的上述缺陷,结

果表明,常规超声检测无法检测出这类缺陷。

(3) 锻造工艺试验 经了解,因锻造工艺的主要目的是将棒料锻制成所需尺寸,造成锻造过程可能不够充分。为此,抽取了数件上述锻件,采用十字锻造方法(分别在金属流线的纵、横两个方向上进行锻造)重新进行锻造。完毕后,对纵横两个方向研磨、抛光后在相同条件下的观察,结果见图 6。



(a) 横向



(b) 纵向

图 6 重新锻造后的夹杂物情况(未侵蚀) 72 ×

Fig. 6 Inclusion condition in re-forged piece (without etching)

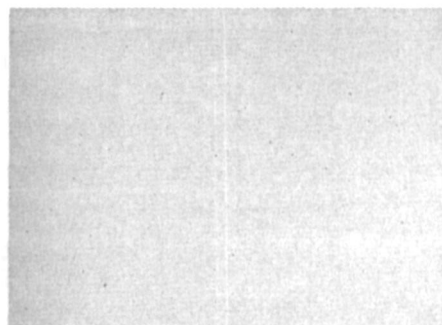
可以看出,原来的黑点的数量和尺寸已经大大减小,纵向上原来的条状夹杂已经变成断续状,但依然呈现条状形貌。又将这几件锻件再次采用十字锻造方法反复锻造后,进行同样观察,见图 7。

可见,不仅黑点数量及尺寸继续减小,同时,可以认为条状夹杂已经得到消除(破碎)。经设计部门确认,仅从夹杂物的形态和分布而言,该锻件已经能够满足要求。

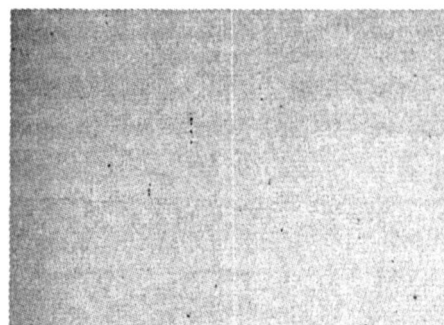
4 夹杂物的评价及其消除方法

(1) 材料检验项目

根据此零件的性能要求及特点,应对原材料的入厂复验增加一项特殊检查,即对原材料的横向和纵向分别进行研磨和抛光后,在光学显微镜(100 倍)下观察,横向面不得存在明显黑点(与图 7



(a) 横向



(b) 纵向

图 7 再次锻造后的夹杂物情况(未侵蚀) 72 ×

Fig. 7 Inclusion condition in the 3rd time forged piece (without etching)

中的横向图相比较),纵向不得存在明显条状夹杂(与图 7 中的纵向图相比较)。

对于不能满足上述要求的材料,应当避免投料。确需投料生产时,可考虑通过锻造消除(破碎)条状夹杂。完成锻造后再次进行上述检验,符合要求后方可进入下道工序。

(2) 条状硫化物夹杂的消除(破碎)办法

试验表明,采用十字锻造方法对存在条状夹杂物的材料进行充分锻造,可有效地破碎条状夹杂,使之弥散地分布于材料中。

由于沉淀硬化不锈钢在锻造温度下塑性较差,变形抗力和硬化倾向较大,又容易发生晶粒长大和形成铁素体,而且其锻造温度范围比较窄。对于 0Cr17Ni4Cu4Nb 钢而言,起锻(加热)温度一般为 1 150 ,终锻温度为 980 。温度低于终锻温度则必须回炉重新加热,否则很容易产生裂纹。为此,锻造后还应当安排进行恰当的超声检测,在不能保证加工余量大于超声检测盲区时,还应进行磁粉检测。

5 结论

(1) 合格的材料与满足使用要求的材料属于两
(下转第 493 页)

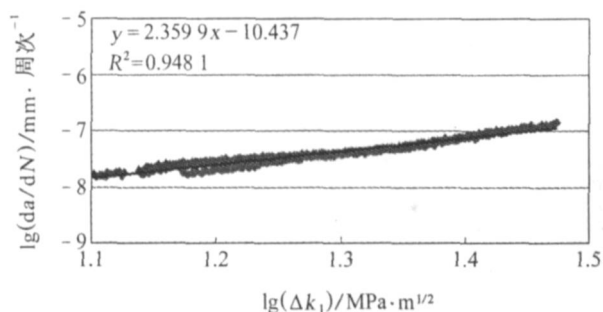


图 5 经 730 回火后 2.25Cr1Mo 钢 $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ 曲线图

Fig. 5 The $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ curve of 2.25Cr1Mo steel after tempering at 730

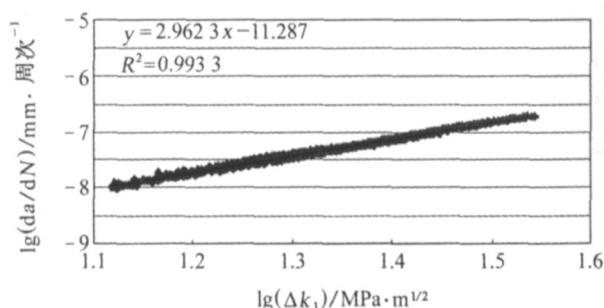


图 6 2.25Cr1Mo 钢调质态的 $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ 曲线图

Fig. 6 The $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ curve of 2.25Cr1Mo steel by quenching and tempering

4 分析与讨论

从 2.25Cr1Mo 钢的调质态与调质 + 回火态的断裂韧度 ($J_{0.03}$ 和 J_{IC}) 比较可见,调质 + 回火态试样有较为明显的提高。一般而言,同种材料强度降低则冲击韧度 A_{KV} 提高, A_{KV} 高则一般 J_{IC} 和 K_{IC} 也高,2.25Cr1Mo 钢也符合这一规律。

2.25Cr1Mo 钢两种热处理状态的曲线 [$\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$] 比较如图 7 所示。曲线 1 为调质 + 回火态,曲线 2 为调质态,当 $\lg(k_I) < 1.3$ 时,经回火处理后试样的 da/dN 高于调质态,此后两种状态的 da/dN 近似相等(两曲线重合)。

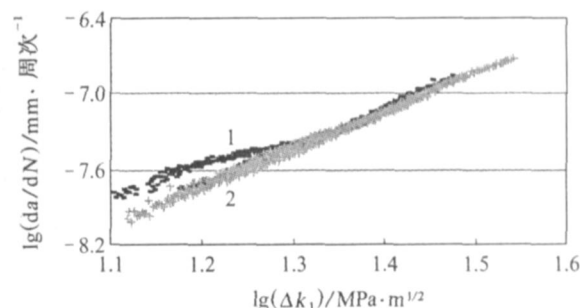


图 7 不同热处理状态下 2.25Cr1Mo 钢的 $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ 关系

Fig. 7 The $\lg(da/dN)$ - $\lg(k_I)$ curve of 2.25Cr1Mo steel under different heat treatment condition

5 结论

- (1) 调质态的 2.25Cr1Mo 钢经 730 回火后的断裂韧度 K_{IC} 有较大的提高。
- (2) 在机械应力循环下的裂纹扩展速率 (da/dN) 无明显变化。

参考文献:

- [1] 杨海林,王祖芳. 临氢设备用 14Cr1MoR 钢板的研制[J]. 宽厚板, 1997, 1(3): 7 - 14.
- [2] 机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会. 力学性能试验[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2003: 175.

(上接第 489 页)

个不同概念,对于关键或特殊的零件,必须有针对性地补充检验项目,制定检验方法。

(2) 适当、充分地锻造可有效破碎沉淀硬化不锈钢中存在的细小条状夹杂物,但必须充分考虑到由此可能带来的锻造缺陷,特别是开裂。

参考文献:

- [1] 冯光纯. 合金钢与非铁合金锻造工艺学[M]. 重庆:重

庆大学出版社, 1992: 154 - 157.

- [2] 工程材料实用手册编辑委员会. 工程材料实用手册(结构钢不锈钢卷)[M]. 北京: 中国标准出版社, 1988: 748 - 758.