

内六角螺钉镢断分析*

Analysis of Cracking on Socket Head Screw

东北大学轧制技术及连轧自动化国家重点实验室 刘建勳 吴迪
沈阳航空工业学院 李壮

【摘要】 通过对内六角螺钉的成分分析和组织检验,分析了其头部镢断的原因。结果表明,原料中存在硅酸铝夹杂,使螺钉塑性降低,造成其头部镢断。

关键词: 内六角螺钉 镢断 硅酸铝夹杂

【ABSTRACT】 The reason of cracking on the socket head screw is analyzed by means of composition analysis and microstructure tests. The results show that the presence of impurities ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$) leads to the decrease of plasticity of socket head screw and the cracking of its head.

Keywords: Socket head screw Cracking Impurities ($3Al_2O_3 \cdot SiO_2$)

内六角螺钉由于互换性较高,在航空工业中广为使用。一般情况下,螺钉采用低碳钢制造,以保证冷镢成形时具有良好的塑性^[1-2]。某内六角螺钉采用08F冷冲压用钢制成,工艺较为稳定,但有一批原料在冷镢成形时出现了开裂现象。本课题通过宏观与微观的组织检验,对该六角螺钉镢断原因进行了分析。

1 试验材料和方法

试验材料为M8×20的若干内六角开裂螺钉。首先对其进行成分检验,然后采用50% HCl水溶液将螺钉热浸蚀,观察其低倍组织。对螺钉头部与杆部的横断面和纵断面进行金相组织观察,金相试样采用4%硝酸酒精溶液腐蚀;用扫描电镜对断口形貌进行高倍组织观测,用EPM-810Q电子探针做元素的定性分析。

2 试验结果与分析

2.1 化学成分与宏观分析

螺钉化学成分如表1所示。

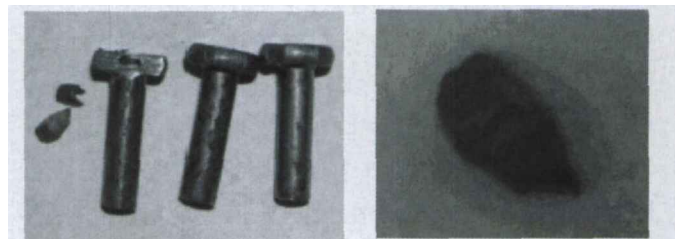
化验结果表明,螺钉含碳量接近08F钢上限。尽管含碳量增高,螺钉原料硬度增大,塑性相对下降,但原料成分仍属于08F钢。碳含量较高不可能是螺钉开裂的直接原因。开裂螺钉形貌如图1(a)、(b)所示。图1

* 国家自然科学基金(50334010)资助项目。

表1 内六角螺钉化学成分 w/%

化学成分	C	Si	Mn	S	P
质量分数	0.097	0.028	0.354	0.023	0.018

(a)中,螺钉全部在头部开裂,裂纹纵向分布,开裂严重;图1(b)中,断面无金属光泽、无结晶颗粒、呈暗灰色,断口不齐平,可以看到明显的塑性变形。



(a)头部裂纹 (b)断面低倍组织(×40)

图1 螺钉形貌

Fig.1 Morphology of socket head screw

2.2 金相组织检验

对螺钉进行金相组织观察,其纵断面经抛光后发现较多的非金属夹杂物颗粒。根据GB/T10561-1989,该非金属夹杂物硅酸盐类含量<3级,但夹杂物颗粒较粗大,分布明显不均匀,且夹杂物不像标准图谱呈细长状,分布较为集中。光镜下晶粒度评级为8级。金相组织为铁素体+珠光体。图2为头部断口处金相组织。可以看出,铁素体晶界未见融化,为正常晶界,晶粒度并不粗大,因此可以排除棒料热轧时在加热过程中的过热及过烧现象。但图2中有较大的非金属夹杂物

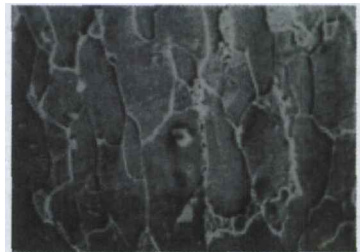


图2 试样中的非金属夹杂物(×500)

Fig.2 Non-metallic impurities in the sample (×500)

颗粒分布在铁素体基体上。

2.3 断口特征

对螺钉头部进行扫描电镜的断口分析,其断口形貌如图3所示。图中可见到裂纹扩展区的白色夹杂物颗粒。在500倍下对螺钉头部进行扫描电镜的断口分析(见图4),观测到正常的裂纹扩展区中存在大量的韧窝,说明螺钉在断裂前经过了塑性变形,为韧性断口特征。



图3 螺钉断口韧窝处的白色夹杂物($\times 500$)

Fig.3 White impurities inside dimple of fracture of the socket head screw ($\times 500$)



图4 螺钉头部断口形貌($\times 500$)

Fig.4 Fracture morphology of the head of the socket head screw ($\times 500$)

用电子探针对图2所示的夹杂物颗粒做元素定性分析。图5(a)、(b)分别为Al元素、Si元素的面分布照片,图中白点表示X射线的记数强度。

因为每种元素都有自己的特征谱线和波长,波长为

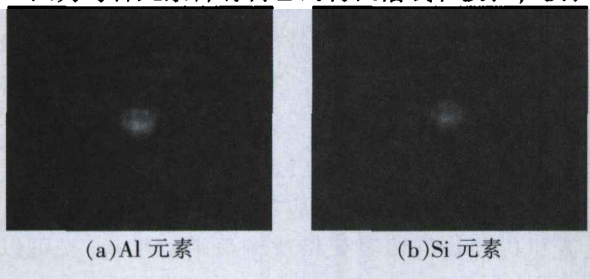


图5 元素的面分布($\times 500$)

Fig.5 Surface distribution of the elements ($\times 500$)

0.833 9nm (Al) 面扫描的记数强度和波长为 0.712 6nm (Si)面扫描的记数强度结果表明,图2的夹杂物中含有硅元素和铝元素。硅是比较强的脱氧剂,脱氧产物是硅酸铁或二氧化硅;铝是强脱氧剂,在冶炼过程中这种脱氧产物完全有可能残留在钢中成为内生夹杂物。因此,根据元素面分布测定结果(图5)可以推断,图2的夹杂物颗粒应为脱氧过程中形成的硅酸铝($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)。

螺钉化学成分准确,其棒料在热轧成形时的加热保温过程中工艺正常,呈现出较好的塑性,为韧性断口。螺钉尽管采用塑性良好的低碳钢制造,但由于冶金质量不好,同样能够造成其性能降低,致使塑性变形时头部开裂。原料在冶炼过程中形成硅酸铝($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$)夹杂,虽然夹杂物按 GB/T10561-1989 标准评级不是很高,但夹杂物颗粒较为集中。夹杂物的存在,破坏了钢的基体的连续性,引起应力集中,促使裂纹形成^[1]。Mantyla 指出^[2],碳钢中的大多数夹杂物与基体界面处的强度都很低。由于原料中存在这种硅酸铝夹杂物,在冷镦变形过程中夹杂物不能随基体相应地发生变形,这样在它的周围就产生越来越大的应力,而使夹杂物本身破裂,或者使夹杂物与基体的界面脱开而产生微裂纹^[3]。随着变形的不断进行,微裂纹不断发生,逐渐发展成空洞,它们随应变方向延伸;随着空洞的不断扩大,相邻空洞互相结合而导致最终破断,所以硅酸铝夹杂是造成螺钉断裂的根本原因。

3 结论

(1)所检测的内六角螺钉化学成分准确,棒料在热轧成形时的加热保温过程中工艺正常,断口存在韧窝,在冷镦过程中螺钉的开裂不是因其脆性过高造成的。

(2)原料中存在分布较为集中的夹杂物颗粒,这些夹杂物主要为冶炼过程中产生的硅酸铝。

(3)在冷镦变形过程中,夹杂物的存在破坏了钢的基体的连续性,引起应力集中,促使裂纹形成,是造成螺钉断裂的根本原因。

参 考 文 献

[1] Azevedo C R F, Neto J B. Failure analysis of forged and induction hardened steel cold work rolls. *Engineering Failure Analysis*, 2004, 11(6): 951-966.

[2] Mantyla M, Rossoll A, Nedbal I. Fractographic observations of cleavage fracture initiation in a bainitic A508 steel. *Journal of Nuclear Materials*, 1999, 264(3):257-262. (下转第 92 页)

指标的相对最小值为 $e_{xj} = \min_{1 \leq k \leq m} e_{kj}$, 则其规范化方法为

$$\tilde{e}_{ij} = \frac{e_{xj}}{e_{ij}} = \frac{\min_{1 \leq k \leq m} e_{kj}}{e_{ij}}。$$

c. 定值型指标: 这类指标的特点是越接近某个值越好, 其规范化方法为

$$\tilde{e}_{ij} = \begin{cases} 1 & e_{ij} = e_{xj} \\ 1 - \frac{|e_{ij} - e_{xj}|}{\max_{1 \leq k \leq m} |e_{kj} - e_{xj}|} & e_{ij} \neq e_{xj} \end{cases}。$$

经规范化后, 作为对比的相对最优指标 $e_0 = (e_{01}, e_{02}, \dots, e_{0j}, \dots, e_{0n})$ 变为

$$\tilde{e}_0 = (\tilde{e}_{01}, \tilde{e}_{02}, \dots, \tilde{e}_{0j}, \dots, \tilde{e}_{0n}) = (1, 1, \dots, 1, \dots, 1),$$

从而, $u_i (1 \leq i \leq m)$ 的评价指标集规范化为

$$\tilde{e}_i = (\tilde{e}_{i1}, \tilde{e}_{i2}, \dots, \tilde{e}_{ij}, \dots, \tilde{e}_{in})。$$

这样, 评价矩阵 E 规范化为 \tilde{E} :

$$\tilde{E} = \begin{pmatrix} \tilde{e}_{11} & \tilde{e}_{12} & \dots & \tilde{e}_{1j} & \dots & \tilde{e}_{1n} \\ \tilde{e}_{21} & \tilde{e}_{22} & \dots & \tilde{e}_{2j} & \dots & \tilde{e}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{e}_{i1} & \tilde{e}_{i2} & \dots & \tilde{e}_{ij} & \dots & \tilde{e}_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{e}_{m1} & \tilde{e}_{m2} & \dots & \tilde{e}_{mj} & \dots & \tilde{e}_{mn} \end{pmatrix}。$$

根据灰色关联因子集的定义, 显然指标矩阵 E 具有灰色关联因子集的特点。

(6) 建立灰色关联评价矩阵。

根据灰色关联度的定义, 二级评价指标 v_j 的规范化评价 \tilde{e}_{ij} 与相对期望最优指标 \tilde{e}_{0j} 的灰色关联度为

$$r(\tilde{e}_{ij}, \tilde{e}_{0j}) = \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - \tilde{e}_{0j}| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - \tilde{e}_{0j}|}{|\tilde{e}_{ij} - \tilde{e}_{0j}| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - \tilde{e}_{0j}|} = \frac{\min_{1 \leq i \leq m} \min_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - 1| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - 1|}{|\tilde{e}_{ij} - 1| + \rho \max_{1 \leq i \leq m} \max_{1 \leq j \leq n} |\tilde{e}_{ij} - 1|},$$

式中, ρ 为灰色关联的分辨系数, 其作用是调整比较环境的大小, 在实际应用中一般令 $\rho=0.5$ 。

令 $r_{ij} = r(\tilde{e}_{ij}, \tilde{e}_{0j})$, 则灰色关联评价矩阵为

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{i1} & r_{i2} & \dots & r_{ij} & \dots & r_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mj} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}。$$

(7) 计算模糊群灰色关联度与指标权向量。

本课题基于指标之间的群灰色关联度或模糊群灰

色关联度, 确定各个三级指标的权重。

群灰色关联度: 三级评价指标 v_j 与 \bar{v}_j (U_i 中除 v_j 之外的所有三级指标) 之间的群灰色关联度为

$$r^*(v_j, \bar{v}_j) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1, k \neq j}^n r(v_j, v_k),$$

式中, $r(v_j, v_k) = \frac{1}{m} \sum_{h=1}^m r(\tilde{e}_{hj}, \tilde{e}_{hk})$ 。

显然, 群灰色关联度 $r^*(v_j, \bar{v}_j)$ 反映了评价指标 v_j 对指标体系中其他指标的影响程度。如果该指标对其他所有指标的影响程度越大, 则该指标在系统中所含的信息量越大, 相对权重应该越高; 反之, 则说明该指标在系统中所含的信息量越小, 相对权重应该越低。对 n 个群灰色关联度 $r^*(v_j, \bar{v}_j)$ 进行规范化处理, 得到各个指标的相对权重为

$$w_j^* = \frac{r^*(v_j, \bar{v}_j)}{\sum_{j=1}^n r^*(v_j, \bar{v}_j)}。$$

4 结束语

本课题从航空武器装备项目研制的需要出发, 结合项目管理的相关知识, 构建了航空武器装备项目过程评估指标体系, 并探讨了运用灰色关联模型确定指标权重的方法。对航空武器装备项目研制过程进行评价是一个很复杂的问题, 本课题所建的指标体系还有待于进一步改进和完善。

参考文献

- [1] 白思俊. 现代项目管理 (上册). 北京: 机械工业出版社, 2005.
- [2] 沈建明. 国防高科技项目管理概论. 北京: 机械工业出版社, 2004.
- [3] Pawlowski C W. Towards a sustainability index using information theory. Energy, 2005, 30: 1 221-1 231.
- [4] Lioua Y T. A fuzzy index model for trophic status evaluation of reservoir waters. Water Research, 2005, 39(7): 1 415-1 423.
- [5] 杨帆. 关联规则及其评估技术的应用研究[D]. 北京: 北京航空航天大学, 2004. (责编 咏智 钟元)

(上接第 89 页)

- [3] Wang G Z, Liu Y G, Chen J H. Investigation of cleavage fracture initiation in notched specimens of a C-Mn steel with carbides and inclusions. Mater Sci and Eng A, 2004, 369(1/2): 181-191. (责编 咏智 晓露)