

# 连铸球墨铸铁扭转缺口强度的研究

赵康 鄢君辉 郑修麟 葛利玲 井晓天  
(西北工业大学 西安 710072) (西安理工大学 西安 710048)

赵康

**摘要** 研究了一种用水平连铸技术生产的球墨铸铁型材的扭转强度和缺口扭转强度。实验发现光滑扭转试样是沿45°方向开裂,开裂面是最大拉应力面,表现为典型的脆性断裂。缺口试样的断裂模式分两种情况:当为钝缺口时(即 $\rho \geq 0.75\text{mm}$ ,  $K_t \leq 1.6$ ),其断裂特征与光滑试件相同;而当为尖锐缺口时(即 $\rho < 0.375\text{mm}$ ,  $K_t > 2.1$ )的开裂出现在缺口根部,并且开裂面垂直于轴线方向,是剪应力作用。实验结果还表现出扭转缺口强度与应力集中系数的关系,即应力集中系数越大,扭转缺口强度反而越高。该球墨铸铁的缺口敏感性(N SR)大于1,故缺口完全不敏感。

**关键词** 球墨铸铁 连续铸造 扭转强度 缺口敏感性  
**中图分类号** TG 143.5

## 引言

球墨铸铁具有高的强度和一定的塑性,且具有优良的铸造性能,价格低廉,在机械工业中应用非常广泛<sup>[1-3]</sup>。80年代,我国连铸技术取得重大突破,生产出截面形状不同的长棒型材。连铸型材的组织细,石墨球小且分布均匀,缺陷少,故强度更高,因而可用于生产承受重负荷的机械零件。而且,连铸型材的利用率高,价格较强度级别相同的钢为低,采用球墨铸铁连铸型材,可降低机械零件的生产成本,故球墨铸铁连铸型材具有更好的应用前景。

然而机械零件中常存在沟槽、台阶、定位孔等。这种几何不连续性,将造成应力集中,工程中常将这种机构几何不连续性等效地视为“缺口”。缺口的存在不仅引起应力集中,而且改变缺口根部的应力状态,引起强度和塑性的降低<sup>[4]</sup>。而球墨铸铁的塑性低,更需要研究缺口引起的应力集中对强度的影响,即缺口强度与缺口敏感性。据作者所知,关于球墨铸铁扭转缺口强度和缺口敏感性的研究,尚未见有报道。本文研究了水平连续法生产的球墨铸铁型材的缺口强度,并且进行了分析,取得了对球墨铸铁缺口敏感性的初步的规律性的认识。

## 1 实验方法

实验用球墨铸铁材料是由西安理工大学铸铁型材厂生产的直径为 $\varnothing 38\text{mm}$ 的球墨铸铁棒,其主要成分为C: 3.22, Si: 2.88, Mn: 1.3。该材料先经过正火处理,工艺为960℃保温4h,然后冷至80℃保温1.5h,最后空冷至室温。金相组织如图1所示。正火后进行机械加工,先将棒料锯开,再加工成

试样,试样如图2所示。缺口半径 $\rho$ 分别为0.22, 0.375, 0.75和1.02mm。其对应的扭转应力集中系数分别为2.8, 2.1, 1.6和1.4<sup>[5]</sup>。扭转实验是在Am Sler-214型实验机上进行的,扭矩精度为0.01kg·m。

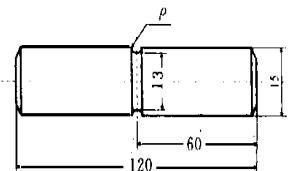


图1 球墨铸铁金相组织

图2 扭转试样结构尺寸

## 2 实验结果

### 2.1 断裂模式

观察球墨铸铁扭转试件,宏观断裂特征如图3所示,可以看到断裂面与试样轴线为45°夹角,同时碎成几块,因而是一种典型的脆性断口。当缺口根部半径为 $\rho = 0.75\text{mm}$ 和 $\rho = 1.02\text{mm}$ 的钝缺口试样,断裂没有发生在缺口根部,而是发生在试件外表面的光滑处,断裂面基本与试样轴线呈45°夹角,并碎裂成多块,也表现为脆性断裂。值得注意的现象是,缺口半径为 $\rho = 0.22\text{mm}$ 和 $\rho = 0.375\text{mm}$ 的尖锐缺口试件,开裂发生在缺口根部,并且宏观上断裂面垂直于试样轴线方向,断裂面比较粗糙。

\* 收稿日期: 1997-09-19

2.2 扭转缺口强度的实验结果

因在扭转前球墨铸铁未发现明显的塑性变形, 故其扭转强度可由下式计算:

$$\tau_b = 16M / \pi D^3 \quad (1)$$

式中,  $\tau_b$  为扭转断裂强度;  $M$  为最大扭矩;  $D$  为试件的外径, 式(1)适用于光滑试件, 以及断裂发生在缺口

图3 光滑试样与缺口试样的扭转断裂形貌

以外的光滑区段的钝缺口试件, 即缺口根部半径为  $\rho = 0.75$  和  $1.02\text{mm}$  的缺口试件 (见图3)。而断裂发生在缺口处的尖缺口试件, 即  $\rho = 0.22$  和  $0.375\text{mm}$  的缺口试件, 其扭转缺口强度按下式计算

$$\tau_b = 16M / \pi d^3 \quad (2)$$

式中  $d$  为缺口的最小直径。球墨铸铁扭转断裂强度的实验结果列于表1。

表1 球墨铸铁扭转缺口强度的实验结果

缺口半径 mm	应力集中系数	缺口直径 mm	试样外径 mm	平均扭矩 Kg·m	平均扭转强度 MPa
0.22	2.8	13.12	15.04	35.1	776.1
0.375	2.1	13.15	15.05	32.83	722.7
0.75	1.6	13.02	15.02	35.60	519.8
1.02	1.4	13.03	15.01	35.13	519.8
#	1	11.90#	11.90	15.77	467.2

# 为光滑试样

3 讨论

球墨铸铁是低塑性材料, 拉伸断裂前发生一定量的均匀伸长, 而不发生颈缩, 因而其缺口试件的扭转断裂有不同于脆性材料的特点。图4表明球墨铸铁的扭转缺口强度与应力集中系数  $K_t$  的关系。由图可见, 应力集中系数  $K_t$  越大, 扭转强

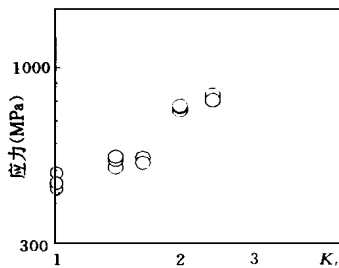


图4 球墨铸铁的扭转缺口强度与应力集中系数  $K_t$  的关系

度反而越高, 其缺口扭转强度最大可达到  $776.1\text{MPa}$ , 出现了扭转缺口强度反而比光滑试件扭转强度高的现象。这是由于铸铁材料本身的拉伸强度和剪切强度不同的原因。光滑试件的扭转开裂是沿与试件轴线呈  $45^\circ$  方向, 开裂面是最大拉应力面<sup>[6]</sup>。而尖锐缺口的开裂面是沿垂直轴线方向, 它是由于缺口根部处于三向应力状态, 其开裂面是剪应力作用。这一变化趋势, 与脆性灰铸铁缺口试验的结果一致<sup>[5]</sup>。关于

铸铁的扭转缺口强度升高随应力集中增大的现象, 初步认为是由于缺口的存在, 改变了缺口根部的应力状态, 而使裂纹点推向内部的缘故, 进一步的分析正在进行中。

在研究材料的缺口强度和缺口敏感性时, 曾定义缺口强度比  $NSR$  为

$$NSR = \sigma_{IN} / \sigma_b$$

式中,  $\sigma_{IN}$ 、 $\sigma_b$  分别为缺口强度和强度。当  $NSR > 1.0$  时, 即材料对缺口不敏感; 反之,  $NSR < 1.0$ , 则材料对缺口敏感。

对处于扭转应力状态下的球墨铸铁,  $NSR > 1.0$ 。因而球墨铸铁承受扭转应力时, 对缺口不敏感。故在设计球墨铸铁承受扭转的轴类零件时, 仅需要光滑试件测定的扭转断裂强度的数据, 而且只要球墨铸铁质量稳定, 用来作扭转应力状态下的机件, 应是安全的, 宜加推广应用。这一结论有可能也适用于其它塑性材料, 如金属间化合物材料, 当然这有待于进一步的研究。

4 结论

(1) 低塑性的球墨铸铁的缺口圆柱试件, 在扭转时的断裂模式决定于缺口的光滑程度和应力集中系数  $K_t$  的大小, 当  $K_t < 1.6$  时, 试件的扭转断裂发生在缺口以外的光滑区段, 断面与试件轴线呈约  $45^\circ$ ; 而当  $K_t > 2.1$  时, 试件扭转断裂发生于缺口所处的平面内, 断裂面与试件轴线垂直。

(2) 扭转强度随应力集中系数  $K_t$  的增大而升高。

(3) 在扭转应力状态下, 球墨铸铁的缺口强度比  $NSR > 1.0$ , 即对缺口不敏感。

(4) 只要球墨铸铁质量稳定, 推广应用承受扭转能力的轴类零件应是可能的。这一结论有可能也适用于其他低塑性材料, 如金属间化合物材料。这有待于进一步研究。

参 考 文 献

- 1 Yano M. Improvement and applications of spheroidal graphite iron. 35th Japan congress on Materials Research, Yosshida Izumidono-cho, saku ku, kyoto pub. Society of Materials Science, Sep. 1992: 7~ 11
- 2 Cheng H sum-hsu. Fracture mechanics behaviour of austenitic compacted graphite cast iron, J. Mat Sci 31(1996): 765~ 771
- 3 John A V. Continuous cast bar beats casting, American machinist, 1985, 8: 79~ 80
- 4 郑修麟. 材料力学性能. 西安: 西北工业大学出版社, 1990
- 5 张少名. 实用应力集中系数手册. 西安: 陕西科学技术出版社, 1984
- 4 费奥多谢夫 B. 蒋维城等译. 材料力学. 北京: 高等教育出版社, 1965

(下转第473页)

性能。对于80~850kW 三级齿轮减速器,采用板块式冷油器与列管式冷油器,可以提高减速器的热功率达到其机械功率。所以,采用这种新型的散热装置,是当前提高减速器热功率的最有效途径。

#### 3.4 采用外循环润滑系统提高热功率

对于1000kW 以上的大型减速器,其热功率所占机械功率的百分比很低,采用一般的散热装置难于见效。同时这一类型减速器,通常是负荷大,转速也比较高,不适宜采用油池润滑。为了提高热功率并改善其润滑条件,这一类减速器应采用循环油润滑,即在减速器机体之外设置专门的润滑油循环系统,并对油箱进行冷却。这样,可提高润滑油进油与出油的温度差,更好地实现热交换散热,提高减速器的热功率。

最后我们还有一个设想,从发展高科技应用技术的角度来看,热管技术与制冷技术是否可以用于大型减速器的散热来提高其热功率,这是一个很值得试验研究的新课题,有待于同行专家们的进一步探讨。

#### 4 结束语

本文提出选用减速机时,热功率是最重要的选用参数之一。提高减速机的热功率的途径有二:一是提高减速机的效率,二是采取有效合理的散热措施。而从经济和实用性角度来考虑,采用第二种措施更为合理可行。

#### 参 考 文 献

- 1 减速器专业标准汇编 北京:机械工业出版社,1900

- 2 周哲波 提高大型减速器的效率及热功率研究 淮南矿业学院硕士学位论文,1993
- 3 谢如霖 采用电动同步加载器的封闭功率流齿轮试验装置 合肥工业大学科技报告,1985

## Heat-power Experiment of Gear Retarders and Methods of Raising Heat-power

Hu Rufu<sup>1</sup> Zhou Zhebo

(<sup>1</sup> Ningbo College, Ningbo 315010)

**Abstract** On the basis of analysis the factors of effecting heat-power of the gear retarder, the method is put forward to raise heat-power by using heat-scattered equipment. Having compared the heat effect of different heat-scattered equipment, the result shows that oil-cooled equipment of new types with plank-lumped and pipe-ranked have better heat effect compared with the other heat-scattered equipment. On the basis of this, the methods are raised to raise heat-power of gear retarders with big power.

**Keywords** Retarder Heat-power Heat-scattered equipment

(上接第469页)

## Notch Strength of Spheroidal Graphite Cast Iron under Torsion Loading

Zhao Kang<sup>1</sup> Yan Junhui Zheng Xiulin  
Ge Liling Jing Xiaotian

(Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072)

**Abstract** The torsional strength of the notch of spheroidal graphite (SG) cast iron by continuous casting was tested. The fracture of the smooth specimens of SG iron is a typical brittle fractured characteristics, the angle between the fractured section and the axis of

specimen is about 45°. The fracture sections of the notched specimens have two types: when the radii of specimens; when the radii of notched root are less than 0.375mm ( $K_t > 2.1$ ), the fracture is restrained in the notched minimum section, and the fractured section is nearly perpendicular to the axis of specimen. The mean value of the torsional strength of the notch of SG cast iron increases with increasing value of the shear concentration factor ( $K_t$ ). Notch sensitivity rate (NSR) is more than 1, so SG cast iron is not complete notch sensitivity.

**Keywords** Torsion strength Spheroidal graphite cast iron Continuous-casting Notch sensitivity