

工程金属材料/零件的表面完整性及其断裂抗力

王仁智

(北京航空材料研究院 第四研究室, 北京 100095)

摘 要: 工程金属材料的力学性能取决于其显微组织结构。至于对那些由表面起裂引发宏观脆性断裂(诸如疲劳断裂、应力腐蚀与氢脆断裂等)的断裂抗力性能,则首先取决于零件的表面完整性。文中提出了狭义的表面完整性定义,介绍了与这类宏观脆性断裂抗力性能有直接关系的表面完整性参量,诸如表面显微组织结构参量、表面(层)力学性能参量、表面(层)残余应力参量以及表面应力集中参量等。表面强化工艺技术就是通过改变零件表面完整性使这类宏观脆性断裂抗力的性能获得提高。

关键词: 疲劳断裂; 应力腐蚀开裂; 表面完整性

中图分类号: TG668; O346.1

文献标识码: A

文章编号: 1007-9289(2011)05-0055-03

Surface Integrity and Fracture Resistance of Engineering Metallic Materials and Components

WANG Ren-zhi

(Laboratory of Number 4, Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095)

Abstract: The mechanical properties of engineering metallic materials are depended on the microstructure. The fracture resistance properties induced by the surface cracking on the metallic components, such as fatigue fracture, stress corrosion cracking as well as hydrogen embrittlement fracture, are depended firstly on its surface integrity. The restricted definition of the surface integrity is given and the surface integrity parameters related directly with macroembrittlement fracture resistance properties, such as the surface microstructure parameter, mechanical property parameter in the surface layer, residual stress parameter in the surface layer as well as the surface stress concentration parameter, are discussed. It has been pointed out that the macro-embrittlement fracture resistance can be increased by means of the surface strengthening technology through the change in the surface integrity of the component.

Key words: fatigue fracture (FF); stress corrosion cracking (SCC); surface integrity (SI)

0 引 言

工程金属材料经过各种冷、热加工处理后,材料基体获得了一定的显微组织结构(Micro-structure-MS),该 MS 决定了材料的常规力学性能,如抗拉强度(σ_b)、屈服强度($\sigma_{0.2}$)、延伸率(δ)、断面收缩率(ψ)等。一般地讲,材料基体的 MS,决定了材料的常规力学性能。

此外,一些金属材料零件在单调或循环应力作用下,裂纹的起裂不在基体材料的内部,而是起裂于材料的外表面,经过一段亚临界裂纹扩展最后导致失稳断裂。如材料的疲劳断裂(Fatigue Fracture-FF)、应力腐蚀开裂(Stress Corrosion Cracking-SCC)、氢致脆性断裂(Hydrogen Em-

brittlement Fracture-HEF)等,均属这种类型的宏观脆性断裂。对这种类型的断裂,可统称为“表面起裂引发的断裂”(Fracture induced by surface cracking-FISC)。工程材料的 FISC 性能,往往不是取决于基体材料的 MS,而是取决于材料的表面状态,即首先取决于材料的表面完整性(Surface Integrity-SI),其次才取决于基体材料的 MS。由此可见,试验研究这类 FISC 力学性能,改进和提高发生 FISC 材料/零件在各种服役场合下的使用性能,应首先研究 SI 对这类材料/零件 FISC 力学性能的影响。

1 工程材料/零件的表面完整性

这里所研究的 SI 是对工程材料的 FISC 性能有直接影响的显微组织参量、物理化学参量以及表面轮廓形貌等三方面的参量。而影响这些

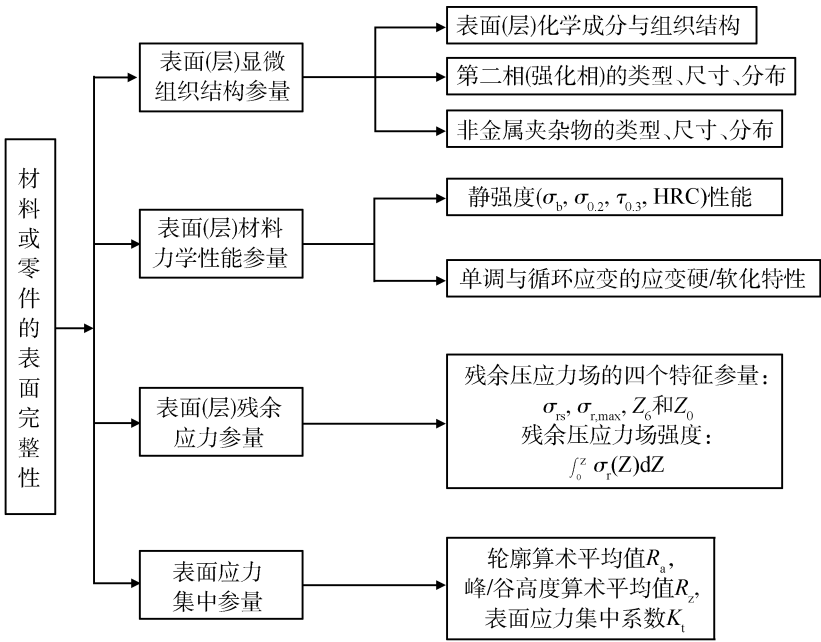
参量变化的是材料/零件在制造过程中所经受的各种冷热加工工艺。上面已经讲述了材料基体力学性能与其 MS 间的关系,对于由原材料加工制成的机械零件而言,其 FISC 性能首先取决于材料/零件的 SI。这里同样可以认为,一定的加工工艺决定了零件具有一定的 SI,而一定的 SI 又决定了零件的 FISC 性能。根据以上的论述,可对控制材料/零件表面起裂引发失稳断裂的表面完整性做出以下狭义的定义:“凡能改变表面起裂引发失稳断裂的工程材料/零件的表面(层)显微组织结构参量、力学性能参量、残余应力参量以及表面应力集中等参量之总和,称作表面完整性。”

至今为止,国内外公开发表的大量的试验研究结果均已表明,无论工程材料/零件的基体强度之高低,凡发生 FISC 破坏者,其表面完整性总

是起着决定性的作用。

2 表征表面完整性的物理量

采用各种物理量来表征和度量 SI 中的各种参量。图 1 示出的方框图诠释了表征各参量的各种物理量。通过试验测定加工处理前后材料/零件的各种物理量,由此获得加工处理前后两种状态的表面完整性参量。根据各种 SI 参量对材料/零件 FISC 性能影响的一般规律性,再根据加工处理前后两种 SI 参量变化的对比分析,便可评定新的 SI 参量将对材料/零件 FISC 性能影响的趋势^[1-3]。然后,再根据这些影响趋势,通过改变各种加工处理工艺规范来调整表征 SI 的诸参量,逐步获得优化的 SI,由此使材料/零件达到具备优良 FISC 性能的目的。



注: σ_{rs} 表面残余压应力; $\sigma_{r,max}$ 最大残余压应力; $Z_{cor,max}$ 距表面的深度; Z_0 残余压应力场深度

图 1 表征表面完整性 4 个参量的各种物理量

Fig. 1 Physical measurements of the four parameters for characterizing the surface integrity

3 喷丸强化工艺技术在改善零件表面完整性中的作用

近百年来在工程上用以改变零件 SI 的表面强化工艺已有十余种,至今为止,在工程上应用最广覆盖面最大的莫过于表面喷丸形变强化工艺 (Shot Peening Strengthening Technology - SP)。SP 已在航空、航天、汽车、机车、石油、矿

山、兵器、机械基础件(弹簧、齿轮、链条等)等的制造业中获得了最广泛的应用。

由喷丸机床、喷丸介质和喷丸强化工艺技术三大要素构成的表面喷丸形变强化工程,在各国已经发展成为国民经济中具有庞大规模的新型行业部门,承担起为机器制造业提供各种表面强化机床(2-6 轴联动的数控喷丸机床)、强化用介质(各种类别、尺寸、硬度的弹丸)、强化处理工艺

规范、标准以及强化处理工艺技术等^[4]。喷丸过程就是靶材表面发生循环塑性变形的过程，也是改变靶材表面完整性的过程。因此，喷丸强化就是通过改变靶材表面完整性来达到提高疲劳、应力腐蚀与氢脆等这类表面起裂引发宏观脆性断裂的断裂抗力(Fracture resistance)之目的。

参考文献

[1] 王仁智. 金属材料与零件的表面完整性与疲劳断裂抗力间的关系 [J]. 理化检验-物理分册, 2007, 43(10): 535-537.
[2] 王仁智. 圆柱螺旋弹簧的正断/切断疲劳断裂模式

与提高切断疲劳断裂抗力的途径 [J]. 中国表面工程, 2010, 23(6): 7-14.
[3] Wang Renzhi, et al. The effect of shot-Peening on stress corrosion cracking behavior of stainless steel [C]. Proceedings of Second International Conference on Shot Peening, Chicago, 1984: 14-17.
[4] 王仁智. 喷丸形变强化工艺技术与现代机器制造业 [J]. 现代零部件, 2003, 1(1): 69-71.

作者地址：北京 81 信箱 67 分箱 100095
Tel: (010) 6245 3469
E-mail: rz_wang@yahoo.com.cn

• 学术动态 •

第二届工程机械再制造发展论坛上海举行

2011 年 9 月 21 日上午,中国工程机械工业协会工程机械维修及再制造分会 2011 年年会暨第二届工程机械再制造发展论坛在上海虹口开幕。此次年会由中国工程机械工业协会工程机械维修及再制造分会主办、日立建机(上海)有限公司承办、《工程机械与维修》杂志社协办。

主要内容包括:适应新形式,推进再制造。梳理行业脉络,推进行业发展。搭建再制造产业模型,提升技术与管理,探讨售后服务战略,迎接服务新阶段。本次会议暨论坛根据主题设置 3 个分论坛:第二届工程机械再制造发展论坛、第五届工程机械技术服务市场发展论坛、第二届工程机械服务总监论坛,与会代表在现场共同讨论行业热点话题。

2011 年 9 月 21 日下午,第二届工程机械再制造发展论坛隆重开幕,工程机械再制造企业及专家一百多人参加此届再制造发展论坛,就有关再制造发展的热点问题展开了深度交流与热烈讨论。

再制造发展论坛上,工业和信息化节能与综合利用司王孝洋解读了再制造产业政策;《中国表面工程》期刊主编、教授刘世参讲解了再制造中常用的表面技术;天津工程机械研究院再制造研究所副总工程师张国胜介绍了工程机械再制造的实践及标准制定;日立建机(上海)有限公司产品支援本部副本部长金庆在现场与大家交流了再制造的成功经验;卡特彼勒再制造(上海)有限公司再制造部董事总经理 Dr. Bappaditya Banerjee 介绍了卡特彼勒再制造的理念及实践。武汉千里马机械有限公司刘斌洲分析了武汉千里马再制造发展历程及现状。

(摘自 慧聪网)

中国国际表面处理展第 24 届展会上海举行

中国国际表面处理展将于 2011 年 11 月在上海举办第 24 届展会,展出面积达 14 000 平方米,已超越上届 2010 广州展会。295 名来自 18 个国家/地区的参展商将展示全线的产品精饰工艺、技术和材料,为业界提供各种各样的解决方案。展品范围包括表面处理、不粘涂料、测试仪、测试仪器、电镀、电泳、电泳涂装、废液处理、粉末、粉末涂料、粉末涂装、工程设计、固化、烘炉、环保、机械手、控制系统、喷漆、品质控制和测试仪器、汽车涂料、去除烟尘、输送系统、塑胶、涂料、涂装、涂装设备、污染、阳极氧化、油漆、原材料、真空电镀、转化膜、自动化、自动化控制、自动化控制系统及自动机械等。同期将举行一系列技术交流活动,如技术培训班、技术讲座及新技术天地等。详见 www.sfchina.net

(王文字 供稿)