

渗碳钢在接触疲劳过程中 表面层的残余应力

孙希桐 臧鑫士

(北京航空航天大学 102 教研室, 北京, 100083)

THE RESIDUAL STRESS ON SURFACE LAYER OF CARBURIZED STEEL DURING CONTACT FATIGUE

Sun Xi-tong, Zang Xin-shi

(Faculty 102 of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing, 100083)

摘要 对 18Cr2Ni4WA 钢表面渗碳层内的残余应力在接触疲劳过程的变化进行了跟踪。钢经 930℃ 4h 渗碳, 850℃ 二次淬火, 170℃ 2h 回火, 磨削加工后, 表面硬度 HRC 55~57, 直径 60mm 的滚子试样转速 1470r/min, 滑差-5%, 30 号机油润滑, 油温 35~45℃, 最大接触应力 2668MPa, 不同循环周次后用 x 射线应力分析仪测定残余应力沿表面层的分布, 用 x 射线衍射仪测定残余奥氏体。结果表明, 渗碳硬化处理后, 在表面层所形成的残余压力在整个接触疲劳过程中变化不大, 残余奥氏体转变、马氏体分解也很少。高的组织稳定性是残余应力稳定的主要原因。

关键词 接触疲劳, 渗碳, 残余应力

Abstract The change of residual stress in surface layer of case-hardened 18Cr2Ni4WA steel during rolling contact fatigue is studied. Carburizing was carried out at 930℃ 4h, and then double quenching at 850℃ and tempering at 170℃ 2h were made. The hardness of case has HRC = 55~57 after grinding. The test condition was follows: the maximum hertzian stress was 2668MPa, rotational speed was 1470 r/min, lubrication was made using grade 30 machine oil, and the ratio of slide to roll was -5%. The stress was determined by x-ray analyzer after 0, 10⁴, 10⁵, 10⁶, 10⁷ cycle individually, and the residual austenite was determined by x-ray diffractometer. The results show that case-hardening treatment leads to compressive residual stress on surface layer of specimens. The change of residual stress in surface layer of specimens during the contact fatigue is limited and located within a definite zone. The transformation of residual austenite and decomposition of martensite are negligible. The high structural stability of the carburized layer of 18Cr2Ni4WA is the main cause of the stability of residual stresses, which can be referred to for design.

Key words contact fatigue, carburizing, residual stress

材料接触受载时对材质和应力状态敏感, 残余应力对接触疲劳寿命有较大的影响。渗碳可以在较厚的表面层内产生残余压应力, 有利于提高滚动件接触疲劳寿命^[1]。对 M50 高速钢轴承材料, 用渗碳方法可将 L_{10} 寿命提高一倍^[2]。滚动轴承、齿轮等在高接触应力

1992 所 1 月 21 日收到, 1992 年 4 月 30 日收到修改稿

下工作时,在表面或亚表面可能产生塑性变形,因而可能在工作过程中产生附加残余应力,近表面残余拉应力导致了裂纹在表面的萌生和扩展^[3]。在接触状态,如只有法向力存在,应力场的三个主应力为压应力,当有摩擦力存在时,两个主应力可变为拉应力^[4]。拉应力的存在促使了裂纹的萌生。而这种摩擦力是滚动偶件特别是滚滑偶件在工作过程中所伴生的。表面层的残余压应力可以抵消拉应力的不利影响。精确的设计不仅要考虑材料性能、外载的作用,还应考虑残余应力的存在。零件表面层的残余应力一般指零件加工完毕之后、运转之前的应力状态。这种残余应力在工作过程中是否会发生变化是值得考察的。这此本文对 18Cr2Ni4WA 钢渗碳层的残余应力,进行了不同循环周次接触加载以后的跟踪测试,以判断残余应力在接触疲劳过程中的状态。

1 试验方法

试验材料为 18Cr2Ni4WA 钢,经渗碳(930℃、4h),850℃二次淬火,油冷,170℃、2h 回火,空冷。热处理后磨加工表面,其硬度 HRC=55.0~57.1。试样直径为 60mm,厚 20mm 滚道宽度为 6mm。接触疲劳试验是在 JPM-1 型试验机上进行的,转速为 1470r/min,用 30 号机油润滑,油温在 35~45℃ 之间。试样滑差率为-5%,最大赫兹应力为 2688MPa。残余应力是用 MSF-1M 型 x 射线应力分析仪测量的,采用 CuK_α 射线,钒滤波片,取(211)面衍射,用半高宽法确定峰位,利用 0°~45° 法计算应力值。渗碳层内的残余奥氏体是用 BD-78 型 x 射线衍射仪测量的,用 FeK_α 射线,锰滤波片,取马氏体的(211)衍射线和奥氏体的(311)衍射线的积分强度比计算残余奥氏体含量。用电解剥层法逐层测量残余应力和残余奥氏体沿表层深度的变化,剥层区直径约为 6mm。所抽取试样的接触疲劳周次分别为 0、10⁴、10⁵、10⁶、10⁷。

2 试验结果及讨论

经不同接触疲劳周次运转后,试样表层的残余应力的试验结果见图 1 和图 2。经 10⁷ 疲劳周次,试样的接触带边缘一小块剥落,次表层内有平行于表面的小裂纹,图中的残余应力变化曲线代表了试样从加工状态直至疲劳破坏的全过程中的残余应力在表层的状态。表明 18Cr2Ni4WA 钢渗碳后表层存在压应力,在整个接触疲劳过程中,残余应力未发生本质上的变化,相当稳定,仅在一定应力值范围内波动,这一结论与文献[5]相符。

零件表层的残余应力与其显微结构密切相关,在渗碳层内有马氏体、碳化物和残余奥氏体等相,碳化物比较稳定,而马氏体和残余奥氏体在应力作用下会发生分解和转变,即应力诱发相变。这种相变对残余应力有直接的影响。文献[6]对此进行了研究。

18Cr2Ni4WA 钢渗碳层的残余奥氏体在接触疲劳过程中动态跟踪的结果列于表 1:残余奥氏体在某些层深随循环周次增加有下降的趋势。即残余奥氏体发生转变,但转变量不大,表明该钢渗碳层的残余奥氏体具有足够的稳定性。

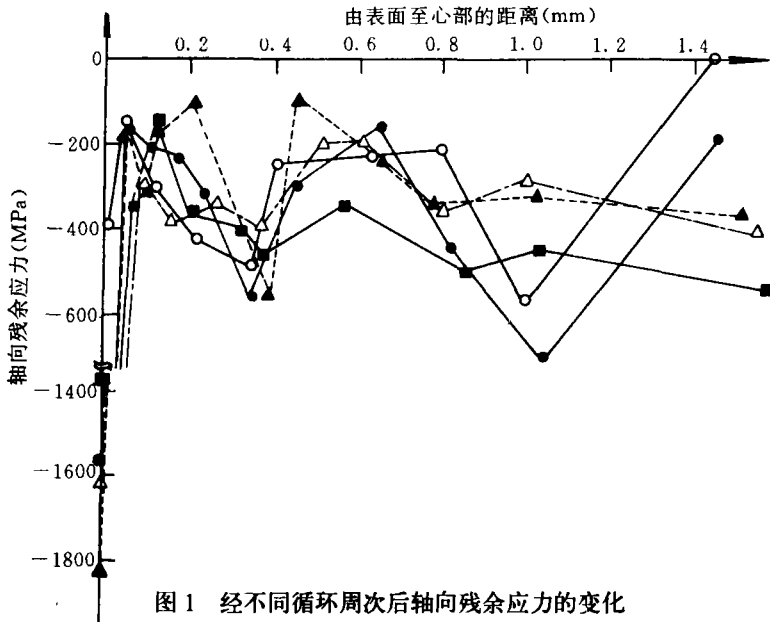


图 1 经不同循环周次后轴向残余应力的变化

曲线符号	○	●	■	△	▲
循环周次	0	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷

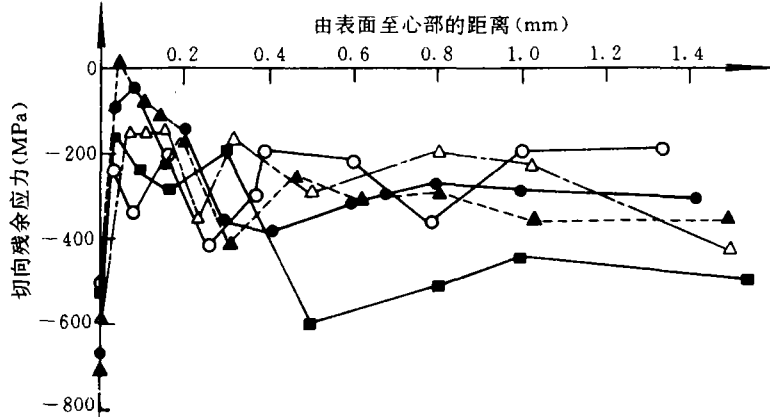


图 2 经不同循环周次后切向残余应力的变化

曲线符号	○	●	■	△	▲
循环周次	0	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷

马氏体和奥氏体的比容不同，马氏体分解使体积缩小，奥氏体转变成马氏体使体积增大，当转变量不大时，在接触应力作用区材料的比容变化不大，因而材料内部的残余应力也无多大变化，所以，即使发生了应力诱发相变，只要转变量不大，就不会对已存在的残余应力产生大的影响。因马氏体和残余奥氏体的转变量均不大^[6]，渗碳层的组织稳定性是残余应力变化不大的主要原因。如果在试验过程发生足够大的塑性变形，将使残余应力发生变化。本试验用的试样滚道的轴向尺寸为 6mm，在试验中产生了微小的塑性变形。经测量，滚道宽度的绝对变形量($\Delta l_i = l_i - l_0$, l_0 为初始滚道宽度)。经 10⁴, 10⁵, 10⁶, 10⁷ 循环之后分别为：+0.030, +0.035, +0.040, +0.050mm。其轴向尺寸增加(Δl_i)与循环周数

N_f 存在如下关系

表 1 试样表层残余奥氏体随层深的分布

层深 mm	表面	0.06	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7
残余 Vcl%							
循环周次							
0	33.87	52.57	37.3		40.16	26.76	25.92
10^4	9.63	48.83	48.45	50.33	39.04	40.24	36.42
10^5	31.94	40.05	38.41	30.78	14.13	17.39	25.12
10^6	34.25	42.09	49.22	33.43	47.35	34.12	32.8
10^7	38.13	37.1	51.83	38.00	25.12	29.83	17.04

$$\Delta l_i = 0.7 \lg N_i$$

分析图 1 和图 2, 残余应力在近表面层都随着循环周次的增加而增加, 而不像较深层次处那样在一应力范围带内波动。轴向残余压应力增加得较为显著, 加工状态为 -400MPa , 而经 10^7 循环后, 变为 -1800MPa , 而切向残余应力由 -500MPa 变为 -700MPa 。这说明接触带在试验承载过程中, 产生了塑性变形, 这种塑性变形提高了残余应力值, 仅在较薄的表面层 (0.02mm)。而在较深层并未受到承载引起的表观塑性变形的影响。图 1 和图 2 所给出的近表面层轴向残余应力和周向残余应力的差异, 当为卸载后轴向较大回弹所引起。

3 结 论

(1) 18Cr2Ni4WA 钢经渗碳、淬火、回火、磨削加工后, 表层存在残余压应力。在接触疲劳过程中, 残余应力在一定的应力范围区内波动, 其应力性质和数值变化不大。

(2) 18Cr2Ni4WA 钢的渗碳层组织在接触疲劳过程有很高的稳定性。

(3) 18Cr2Ni4WA 钢经渗碳、淬火、回火、磨削加工后, 表层的残余应力分布数据可供零件设计参考使用。

参 考 文 献

- 涂铭旌, 轴承钢接触疲劳试验研究的某些动向. 西安交通大学强度所, 1981, 4
- 林子光, 黄文治, 孙希桐等编译. 八十年代摩擦学. 航空工业出版社, 1988, 460~461.
- Muro H, Tsushima T, Nagafuchi M. Initiation and propagation of surface cracks in rolling Fatigue of high hardened steel. Wear, 1975; 35: 261~282
- Boresi A P, Siebottom O M, Seely F B, Smith J O. Advanced Mechanics of Materials, Third Edition, New York, Ionh Wiley & Sons Inc. 1987; 613~627
- Sundguist H Rolling Contact Fatigue of case-hardened Chromium steel. Wear, 1981; 66; (1) 111~123
- 臧鑫士, 孙希桐. 18Cr2Ni4WA 钢碳层在接触疲劳过程中的组织变化. 机械工程材料, 1983; 7; (6) 22~25