

Effect Study of Ti on Contact Fatigue Properties of 20CrMnTiH Gear Steel

Liming Fan, Jianhua Pei

Shandong Iron and Steel Group Co., Ltd, Laiwu Shandong
Email: syflm1234@163.com

Received: Mar. 19th, 2017; accepted: Mar. 28th, 2017; published: Mar. 31st, 2017

Abstract

In order to avoid the harm of the large particle deformation and brittle TiN inclusions to the fatigue life of gear steel, according to the principle of the microalloying and toughening of steel materials, the titanium content in 20CrMnTi was optimized and designed. The results show that reducing the titanium content of carburizing steel can effectively reduce or eliminate liquation TiN of carburizing steel containing Ti, so to improve the fatigue life of steel.

Keywords

Gear Steel, Fatigue Life, TiN, Composition Optimization

Ti对20CrMnTiH齿轮钢接触疲劳性能影响研究

范黎明, 裴建华

山东钢铁集团有限公司, 山东 莱芜
Email: syflm1234@163.com

收稿日期: 2017年3月19日; 录用日期: 2017年3月28日; 发布日期: 2017年3月31日

摘要

为避免大颗粒不变形脆性TiN夹杂物对齿轮钢的疲劳寿命的危害, 根据钢铁材料的微合金化原理和强韧化原理, 对20CrMnTi钢中的钛含量进行优化设计, 结果表明, 适当降低渗碳钢中的钛含量, 可有效减轻或消除含钛渗碳钢中的液析氮化钛从而提高钢材的疲劳寿命。

关键词

齿轮钢, 疲劳寿命, TiN, 成分优化

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

20CrMnTi 钢中的 Ti 主要起到渗碳过程中防止晶粒长大的作用, 由于 Ti 元素较为活泼, 冶炼时其收得率的波动较大, 为保证其能够发挥高温时阻止晶粒长大的作用, 早期的 20CrMnTi 钢中 Ti 的添加量一般控制在 0.06%~0.12% 的范围, 但过高的钛含量必然导致液析 TiN 的出现, 而液析 TiN 由于尺寸粗大且形状为具有尖锐棱角的立方体故对表面接触疲劳性能不利。随着钢铁冶炼技术的发展, Ti 的收得率可较为稳定地控制, 国家标准规定钢中 Ti 含量降低到 0.04~0.10%。但即便如此, 还会在一定程度上出现少量液析 TiN [1]。

为此, 如何进一步降低 20CrMnTi 钢中 Ti 的添加量, 以保证有足够体积分数的 Ti(C,N) 颗粒明显阻止渗碳时晶粒的粗化的前提下完全消除液析 TiN 成为我们研究的主要内容。

2. 试验钢冶炼

采用 25 kg 真空熔炼电炉进行 Ti 含量优化设计的 20CrMnTi 齿轮钢的冶炼。选取 1 号钢(低氮低钛, 钛氮乘积最低, 为 0.0001066)、2 号钢(高氮低钛, 钛氮乘积中等, 0.0004320)、3 号钢(低氮高钛, 钛氮乘积较低, 为 0.0001352)、4 号钢(高氮高钛, 钛氮乘积最高, 达到 0.0008280)作为试验钢进行研究, 具体成分见表 1。试验钢碳、硅、锰、铬的含量均在 GB/T5216-2004 标准要求范围内。为避免硫、磷形成的其他夹杂物对试验结果的影响, 对钢中硫、磷含量进行非常严格的控制。

进行接触疲劳试验时又分别随机选取电炉生产和转炉生产的两炉 20CrMnTi 钢进行试验, 其钛、氮含量见表, 钛氮乘积分别为 0.0004640 和 0.0003500, 均相当接近本项目试验钢设计的化学成分范围。

3. 锻造与预处理

试验用钢经改锻得到直径 55 mm 的圆棒, 用于加工相关试样。

锻造工艺规范为: 1200℃加热, 1150℃开锻, 900℃以上终锻, 锻后空冷至室温。

为规范钢材组织, 进行预先热处理。预处理工艺规范为: 930℃加热, 到温后保温 30 min, 空冷(室温温度 15℃)。

4. 试样加工

接触疲劳试样为 $\Phi 52 \times 10$ mm, 且内孔直径为 $\Phi 30$ mm 的圆片试样。

Table 1. Chemical composition of experimental smelting steel (wt%)

表 1. 试验冶炼钢的化学成分(wt%)

炉号	C	Si	Mn	S	P	Cr	O	Ti	N	Ti × N
1	0.17	0.27	0.97	0.0035	0.0059	1.12	0.0018	0.026	0.0041	0.0001066
2	0.20	0.25	0.95	0.0041	0.0064	1.16	0.0022	0.027	0.0160	0.0004320
3	0.19	0.27	0.99	0.0042	0.0063	1.12	0.0019	0.052	0.0026	0.0001352
4	0.18	0.27	0.97	0.0042	0.0063	1.14	0.0021	0.046	0.0180	0.0008280
对比转炉								0.050	0.0070	0.0003500
对比电炉								0.042	0.011	0.0004640

试样加工过程中, 试验钢与电炉、转炉钢相比无异常。

5. 接触疲劳寿命试验

试样进行 930℃ 渗碳后直接淬火低温回火处理后进行表面接触疲劳试验, 由于降钛后可明显减少钢中液析氮化钛的含量及尺寸, 因而对其接触疲劳性能应该有明显的好处, 而接触疲劳是齿轮在实际应用中最重要的失效方式, 如果能提高钢的接触疲劳寿命, 必将明显提高齿轮的使用性能[2]。

5.1. 试验条件

- 1) 试验负荷为 2881 N, 对应接触应力为 4255 MPa;
- 2) 试验机转速为 2800 r/min;
- 3) 试验时采用 N32 机油循环润滑;
- 4) 试验在五台试验机上交替进行, 每组试验采用 10 片推力片试样进行试验。

5.2. 接触疲劳试验结果

由于接触疲劳试验数据具有一定的波动性, 通常对同一钢种相同热处理工艺条件都必须进行 10~20 个试样的成组试验[3], 因此接触疲劳试验较为复杂费时, 为此, 在其他试验揭示的研究结果的基础上, 挑选钛氮乘积适当偏高(高氮低钛 2 号钢)、钛氮乘积适当偏低(低氮高钛的 3 号钢)的两组试样及工业化生产的常规 20CrMnTi 钢(转炉冶炼和电炉冶炼)进行对比试验。

5.2.1. 接触疲劳试验数据

本试验采取 2×10^8 次定数截尾试验, 相关钢号的接触疲劳对比试验数据结果见表 2。

5.2.2. 数据处理结果

经数据处理, 得到对比材料的额定疲劳寿命 L_{10} 、中值寿命 L_{50} 及 $P-N$ 曲线, 具体结果见表 3 及图 1 和图 2。

5.2.3. 试验结果分析讨论

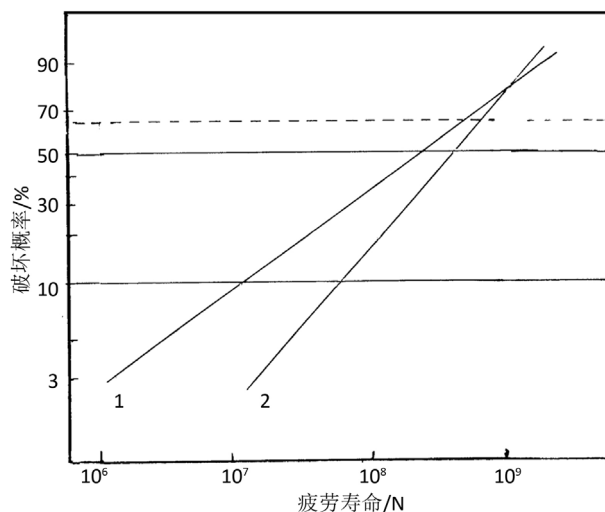
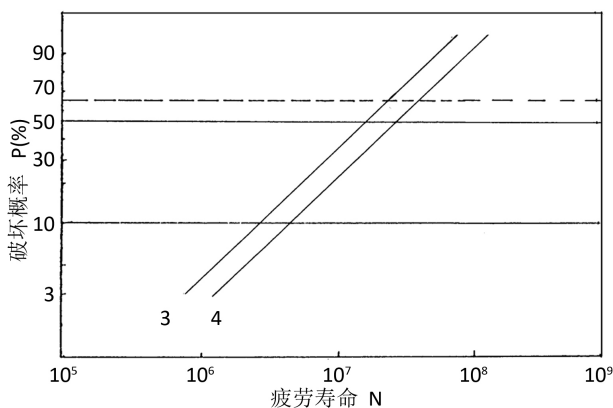
由接触疲劳试验结果可以看出, 常规工业化生产的 20CrMnTi 钢, 无论是转炉冶炼还是电炉冶炼,

Table 2. Contact fatigue test data
表 2. 接触疲劳试验数据

试样 序号	1	2	3	4
	2 号钢	3 号钢	对比钢转炉	对比钢电炉
01	4,177,800	7,781,400	3,341,400	3,547,200
02	15,953,400	128,489,400	7,088,400	4,942,800
03	16,084,800	145,631,400	7,127,400	12,930,600
04	106,603,200	200,000,000	7,771,200	13,534,800
05	200,000,000	200,000,000	8,278,800	21,052,800
06	200,000,000	200,000,000	9,301,800	22,557,000
07	200,000,000	200,000,000	18,835,800	25,715,400
08	200,000,000	200,000,000	20,435,400	41,566,200
09	200,000,000	200,000,000	38,130,600	84,466,800
10	200,000,000	200,000,000	86,065,800	200,000,000

Table 3. Contact fatigue life results**表 3.** 接触疲劳寿命结果

编号		额定寿命 L_{10}		中值寿命 L_{50}		斜率参数 b
		$\times 10^7$	对比	$\times 10^8$	对比	
1	2 号钢	1.10	4.55	2.10	13.73	0.64
2	3 号钢	5.59	23.10	3.52	23.01	1.02
3	对比转炉	0.242	1	0.153	1	1.02
4	对比电炉	0.401	1.66	0.262	1.71	1.00

**Figure 1.** P - N curves of contact fatigue life of test steel**图 1.** 试验钢的接触疲劳寿命 P - N 曲线**Figure 2.** P - N curves of contact fatigue life of contrast steel**图 2.** 对比钢的接触疲劳寿命 P - N 曲线

其接触疲劳额定寿命 L_{10} 在 10^6 的数量级, 中值寿命 L_{50} 在 10^7 的数量级; 而降低钛含量的试验钢的接触疲劳额定寿命 L_{10} 在 10^7 的数量级, 中值寿命 L_{50} 在 10^8 的数量级。钢中钛含量降低后, 接触疲劳寿命可得到显著的提高, 大致可提高一个时间数量级[4]。

我国目前绝大多数机械零件的疲劳寿命设计均按 10^6 设计, 故莱钢目前工业化生产的 20CrMnTi 钢是满足设计要求的。而我国正在实施的先进钢铁材料 973 计划 II 期研究工作则要求将主要机械零件的疲劳寿命提高 1 个数量级以上, 达到 $10^7 \sim 10^8$ 的水平[5]。显然, 我们研制的降低钛含量的 20CrMnTi 试验钢已

基本达到这一未来发展的要求。

此外, 由试验结果还可以看出, 钛氮乘积适当偏低(0.0001352)的低氮高钛的 3 号钢比之钛氮乘积适当偏高(0.0004320)的高氮低钛 2 号钢的接触疲劳寿命还有成倍的提高, 这也表明钛氮乘积的降低对渗碳齿轮钢的接触疲劳寿命的提高是明显有利的。

试验结果还表明, 钛氮乘积在 0.0004320 的高氮低钛 2 号试验钢的接触疲劳寿命是工业生产的钛氮乘积在 0.0004640 的电炉钢的 2.74 倍, 接触疲劳寿命增大一倍以上。这可能是由于试验钢的冶金质量比工业生产时的冶金质量控制更为严格所致, 这一方面表明冶金质量的严格控制可以明显提高钢的疲劳寿命, 而另一方面, 即使扣除这一因素的影响, 钛氮乘积为 0.0001352 的 3 号钢的接触疲劳寿命也比工业生产钢有显著的提高, 这充分表明降低钛氮乘积对提高渗碳齿轮钢接触疲劳寿命的有利作用。当然, 这也许是由于二者的钛氮比不同所致, 因为 2 号试验钢的钛氮比为 1.69, 工业生产电炉钢的钛氮比为 3.82, 前者小于理想化学配比因而氮过剩, 后者大于理想化学配比因而钛过剩, 钛氮乘积相同时钢中氮化钛的有效沉淀析出温度大致相同, 而钛过剩的钢中氮化钛的高温粗化速率将明显增大, 因此, 在钛氮乘积相同的情况下适当减小钛氮比(意味着降低钛含量)对接触疲劳寿命是有利的。

6. 结论

1) 降低钛含量的试验钢的接触疲劳额定寿命 L_{10} 在 10^7 的数量级, 中值寿命 L_{50} 在 10^8 的数量级。钢中钛含量降低后, 接触疲劳寿命可得到显著的提高, 大致可提高一个时间数量级;

2) 钛氮乘积适当偏低(0.0001352)的低氮高钛的 3 号钢比之钛氮乘积适当偏高(0.0004320)的高氮低钛 2 号钢的接触疲劳寿命还有成倍的提高, 表明钛氮乘积的降低对渗碳齿轮钢的接触疲劳寿命的提高是明显有利的;

3) 降低钛氮乘积对提高渗碳齿轮钢接触疲劳寿命具有有利作用, 但在钛氮乘积相同的情况下适当减小钛氮比(意味着降低钛含量)对接触疲劳寿命是有利的。

参考文献 (References)

- [1] 夏政海, 吴清明. 微合金元素 Ti 对 20CrMnTi 齿轮钢质量的影响[J]. 特殊钢, 2008, 29(4): 45-46.
- [2] 李贞于, 何才, 张国政. 20CrMoH 齿轮接触疲劳强度研究[J]. 汽车工艺与材料, 2010(2): 55-58.
- [3] 陈逸华, 陈继直, 孙广锡. 深层渗碳齿轮材料接触疲劳试验方法的研究[J]. 西安理工大学学报, 1986(2): 21-31.
- [4] 元海全. 20CrMnTi 钢成分优化对组织及接触疲劳寿命的影响研究[D]: [博士学位论文]. 昆明: 昆明理工大学, 2010.
- [5] 干勇, 董瀚. 先进钢铁材料技术的进展[J]. 中国冶金, 2004, 81(8): 1-6.

期刊投稿者将享受如下服务:

1. 投稿前咨询服务 (QQ、微信、邮箱皆可)
2. 为您匹配最合适的期刊
3. 24 小时以内解答您的所有疑问
4. 友好的在线投稿界面
5. 专业的同行评审
6. 知网检索
7. 全网络覆盖式推广您的研究

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: meng@hanspub.org