

循环等离子渗氮工艺对 38CrMoAl 钢渗氮层组织和性能的影响

陈 玮¹ 王 蕾^{2,3} 付勇涛¹ 严 翔¹

(1 武汉钢铁(集团)公司研究院,武汉 430080; 2 中冶京诚有限责任公司,北京 100000; 3 武汉科技大学,武汉 430081)

摘 要 试验了 38CrMoAl 钢(% : 0.35 ~ 0.42C, 1.35 ~ 1.65Cr, 0.15 ~ 0.25Mo, 0.70 ~ 1.10Al) 280 Pa 560 °C, 12 h 常规渗氮和 170 Pa 560 °C 3 h 快冷至室温循环等离子渗氮对渗氮层组织、硬度、硬度梯度和耐磨性的影响。结果表明,循环等离子体渗氮工艺有利于表层 ϵ 相分解,更有利于氮渗入钢中 γ' 相;在获得相同的渗层表面硬度和硬度梯度下,循环等离子渗氮速度明显高于常规渗氮速度,并改善渗氮后钢的耐磨性。

关键词 38CrMoAl 钢 循环等离子渗氮 硬度 耐磨性

Effect of Cycle Plasma Nitriding Process on Structure and Properties of Nitrided Layer of Steel 38CrMoAl

Chen Wei¹, Wang Lei^{2,3}, Fu Yongtao¹ and Yan Xiang¹

(1 Research Institute, Wuhan Iron and Steel (Group) Co, Wuhan 430080; 2 Zhongye Jingcheng Co Ltd, Beijing 100000; 3 Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract Effects of normal nitriding process with 280 Pa at 560 °C for 12 h and cycling plasma nitriding process with 170 Pa at 560 °C for 3 h then quick cooling to ambient temperature on structure, hardness, gradient of hardness, and wear resistance of nitrided layer of steel 38CrMoAl (% : 0.35 ~ 0.42C, 1.35 ~ 1.65Cr, 0.15 ~ 0.25Mo, 0.70 ~ 1.10Al) have been tested. Results show that the cycling plasma nitriding process is available to decompose ϵ phase at surface layer, led to favorable nitriding of γ' phase in steel; in the condition of getting same surface hardness of nitrided layer and gradient of hardness, the nitriding rate by cycle plasma nitriding process is obvious high than that by normal nitriding process, and the wear resistance of nitrided steel is improved.

Material Index Steel 38CrMoAl, Cycle Plasma Nitriding, Hardness, Wear Resistance

渗氮由 3 个连续过程组成:(1) 渗氮介质分解;(2) 活性氮原子被工件表面所吸收;(3) 氮原子向内部扩散。通常渗氮温度低于其共析温度(590 °C), 渗氮层从表到里依次形成 ϵ 、 γ' 及 α 相。由于氮在 ϵ 相中扩散速度最慢,故渗层形成后, ϵ 相就成为一层阻碍氮原子向内部扩散的屏障,因此渗氮处理进行一段时间后,渗氮层增长的速度就显著下降^[1]。近年来,许多材料研究者进行了快速深层渗氮工艺的研究,目前采用的方法有优化渗氮工艺^[2-4]、稀土催渗^[5,6]、氮氧复合渗^[7,8]以及表面处理^[9,10]等。本文结合优化渗氮工艺与氮氧复合渗的优点,研究一种循环等离子渗氮新工艺,及其对 38CrMoAl 钢渗氮层组织和性能的影响。

1 试验材料与方法

1.1 试验材料

试验材料为某研究所用于制造齿轮的材料 38CrMoAl 钢,化学成分如表 1 所示。试样经预先热处理后,用线切割制成 $\Phi 25 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 的试样。

1.2 试验方案及检测方法

将试样放入充入氮气和氨气的 PCVD-10 型渗

表 1 38CrMoAl 钢化学成分/%
Table 1 Chemical composition of steel 38CrMoAl /%

C	Si	Mn	Cr	Mo	Al
0.35 ~ 0.42	0.20 ~ 0.40	0.30 ~ 0.60	1.35 ~ 1.65	0.15 ~ 0.25	0.70 ~ 1.10

氮炉内,进行常规等离子体渗氮和循环等离子体渗氮工艺试验:

(1) 常规等离子体渗氮。充入氮气和氨气的炉内保持气压为 280 Pa, 560 °C 下保温 12 h, 炉冷。

(2) 循环等离子体渗氮工艺。进行循环渗氮处理,在 170 Pa 下,炉内温度升至 560 °C 保温 3 h, 然后快速冷却至室温,此为一个循环。气源为氮气和氨气,流量比为 7 : 3。通入气体前,渗氮炉内保留小于 18 Pa 的空气。

在 Axioplan2 型金相显微镜上进行显微组织观察。采用 HM-114 型 Akashi 显微硬度计,测量试样表面至基体的硬度,将渗氮层中硬度高出基体硬度 HV50 处距表面的距离作为渗氮层的厚度。用 YX-2H8 型 X 射线衍射仪分析渗氮层的相组成,并用 JXA8800R 型电子探针分析仪(EPMA)测定渗层微

区成分。在型号为 MM200 的磨损试验机进行耐磨性试验,每 30 min 称量一次被磨损剥落量。

2 试验结果与分析

2.1 38CrMoAl 钢循环等离子体渗氮工艺对渗氮层的影响

从图 1 中可以很明显看到渗氮层的组织:表层的白亮层和过渡层的组织。通常白亮层为 ϵ 相,由于难以腐蚀,所以在金相照片下,这一层较显白亮。

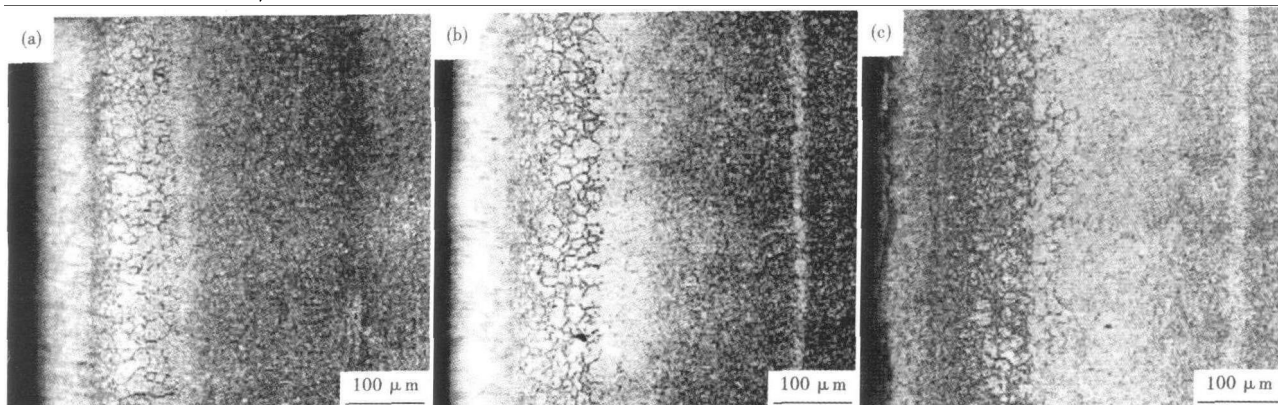


图 1 38CrMoAl 钢渗氮层组织形貌:常规渗氮 12 h (a);2 次(b)和 4 次(c)循环等离子渗氮

Fig.1 Structure morphology of nitrided layer of steel 38CrMoAl; normal nitriding for 12 h (a); 2 times (b) and 4 times (c) cycle plasma nitriding

表 2 渗氮层中白亮带和非白亮带区的电子探针分析/%
Table 2 Electron microprobe analysis results of white band and non white band region in nitrided layer / %

区域	C	N	Al	Si	Cr	Mn	Fe	Mo
白亮带区	5.98	2.89	0.91	0.50	1.48	0.41	87.55	0.28
非白亮带区	3.57	2.21	0.65	0.38	1.31	0.43	91.37	0.08

有 ϵ 相,但 AlN 的含量稍多。由于 ϵ 相只存在于表面^[1],这说明过渡层中存在少量的合金氮化物 AlN。由于 AlN 的耐蚀性较好,因此经腐蚀后,在光学显微镜下比其他组织显得亮一些,由此推断白亮带处存在较多的 AlN。

2.2 循环等离子体渗氮工艺对 38CrMoAl 渗层硬度及其梯度的影响

图 2 是 38CrMoAl 钢常规等离子渗氮 12 h 和循环等离子体渗氮工艺硬度曲线。通过测量得到 38CrMoAl 钢常规等离子渗氮和各次循环表面硬度值以及渗氮层厚度(表 3)。38CrMoAl 钢常规等离子渗氮 12 h 和循环等离子体渗氮表面硬度及硬度梯度没有明显的差异。从测量渗氮层的硬度来看渗层深度,常规等离子渗氮 12 h,深层厚度最浅,循环等离子渗氮两个周期的试样就获得了 0.6 mm 的渗氮层厚度,随着渗氮循环次数的增加,渗层的厚度也

3 张照片相比较,二次循环工艺的白亮层最厚,随着渗氮周期的增加,表面的白亮层变得不明显了,另外,渗氮层的深度也随着渗氮周期的增加而增加。

图 1(b,c)渗氮层的过渡层组织中,出现了白色的亮带,白亮带处组织与其它过渡层成分一致,但白亮带处的氮含量比其周边渗氮层稍高(表 2)。经过 X-ray 相分析,整个渗层以 γ' 相为主,2 次循环工艺渗层中存在少量的 ϵ 相和少量的 AlN,4 次循环中没

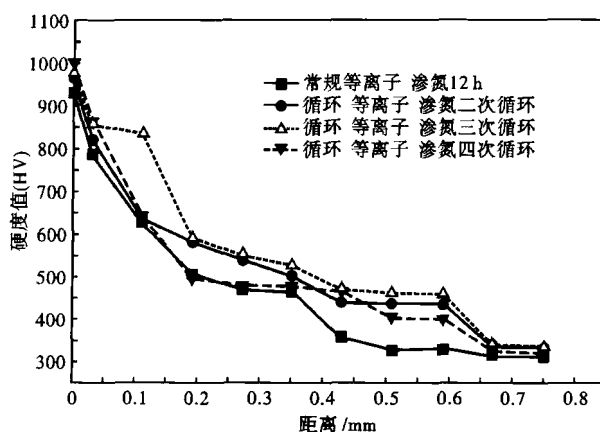


图 2 38CrMoAl 钢常规渗氮 12 h 和 2、3、4 次循环等离子渗氮渗层硬度曲线

Fig.2 Hardness curves of nitrided layer of steel 38CrMoAl by normal nitriding for 12 h and by 2, 3 and 4 times of cycle plasma nitriding

表 3 常规渗氮和循环等离子渗氮 38CrMoAl 钢工艺试样表面硬度和渗氮层厚度

Table 3 Surface hardness and thickness of nitrided layer of steel 38CrMoAl by normal nitriding process and by cycle plasma nitriding process

项目	常规离子 渗氮	等离子渗氮循环次数		
		二次	三次	四次
渗氮层厚度/mm	0.40	0.60	0.61	0.625
表面硬度(HV)	926.1	926.2	976.6	997.3

在增加,但是经过两次循环后,渗氮层增加的速度变缓。说明经过两次循环后,渗氮层已接近饱和,再增加循环次数对渗层厚度的增加影响较小。

2.3 循环等离子渗氮工艺对渗氮层耐磨性能的影响

图3为38CrMoAl钢常规离子渗氮12h和二次循环工艺(渗氮6h)磨损曲线。常规离子渗氮12h的试样采用7kg载荷,二次循环工艺的试样采用10kg的载荷;在相同的时间下,常规离子渗氮的试样磨损量仍比二次循环工艺试样的磨损量大。

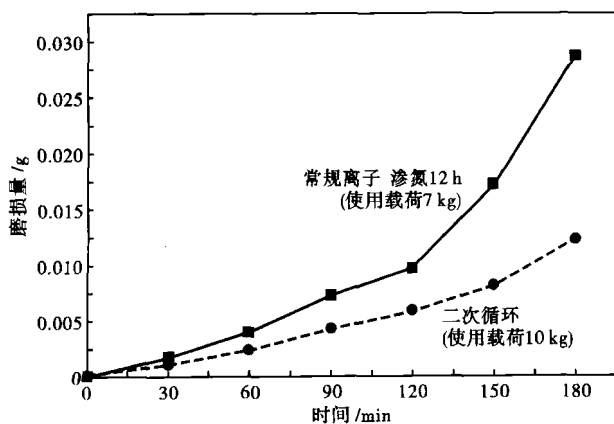


图3 38CrMoAl钢常规渗氮12h和循环等离子渗氮工艺二次循环试样磨损曲线

Fig. 3 Wear abrasion curves of steel 38CrMoAl by normal nitriding for 12 h and by 2 times of cycle plasma nitriding

3 结果讨论

常规离子渗氮12h的渗氮层为0.4mm,循环等离子体渗氮6h的渗氮层为0.6mm,说明循环等离子体渗氮提高了渗氮的速度。氮在 ϵ 相中的扩散速度最慢,通常渗氮层表面形成 ϵ 相后,氮就很难再继续渗入。X-ray分析结果得到,整个渗层主要是 γ' 相,只有极少量的 ϵ 相。 γ' 是以 Fe_4N 为基的固溶体,面心立方晶格,氮在 γ' 相的扩散速度远高于在 ϵ 相中的扩散速度,氮通过 γ' 相向内扩散不发生相变^[1]。渗氮过程中形成的 ϵ 相,在快速冷却过程中转变成了 γ' 相^[1],再进行渗氮,阻碍氮渗入的 ϵ 相消失,氮可以迅速通过表面相向内渗入,从而提高了渗氮的速度。另一方面,本试验选用渗氮气体压力较低,氮气流量较小,减少了表面 ϵ 相的产生^[1]。

渗氮炉内通入的空气有利于渗氮速度的提高和耐磨性能的改善^[7,8]。在等离子体中, $[\text{O}]$ 与Fe的结合很快,使钢件表面氧化获得 Fe_3O_4 氧化膜,部分氧化膜被氢气还原后,产生能够吸附氮原子的活性

位置^[1],使得氮原子被吸附的几率和吸附量增加,氮在钢件内的浓度梯度也随之增大,从而提高了氮在钢中的扩散速度。同时,氧化膜的存在能降低钢件表面摩擦系数而使耐磨性能得到改善。

38CrMoAl钢中含有较多的 $[\text{Al}]$,在渗氮过程中与氮结合在表面形成极稳定的合金氮化物 AlN 。随着渗氮周期的增加, AlN 随着渗氮层向基体推进。由于本试验采用循环工艺,循环一次时,表面形成 AlN 在下次渗氮过程中,向内移动,同时表层又形成一层 AlN ,如此循环,每增加一次循环白亮带就增加一条。由于已形成的 AlN 会阻碍下一次形成的 AlN 向内扩散,因此最靠表面的白亮带较宽,随着循环次数的增加形成的白亮带逐渐变窄。

4 结论

(1) 循环等离子体渗氮工艺能显著提高38CrMoAl钢的渗氮速度,是一种能够节约时间、能源的渗氮工艺。

(2) 循环等离子渗氮工艺提高渗氮速度的同时,不影响渗氮工件表面硬度和硬度梯度,对38CrMoAl钢耐磨性能有显著提高。

(3) 循环等离子体渗氮工艺有利于表层 ϵ 相的分解,使渗氮层获得更有利于氮渗入的 γ' 相。

参考文献

- 周孝重,陈大凯. 等离子体热处理技术. 北京:机械工业出版社,1990
- 周上祺,范秋林,任勤,等. 快速深层渗氮工艺的设计. 金属热处理,1998,23(3):2
- 周上祺,胡振纪,任勤,等. 快速深层离子渗氮工艺的应用. 金属热处理,1993,18(3):40
- 钟厉,韩西,周上祺,等. 循环氮势快速离子渗氮. 金属热处理,1998,23(10):9
- 阎牧夫,刘志儒,朱法义,等. 稀土化学热处理进展. 金属热处理,2003,28(3):3
- 陈方生,王成国,元永新,等. 稀土在离子渗氮中的氧化对催渗效果的影响. 热加工工艺,2000(3):17
- 龙发进,周上祺,刘林飞,等. 氮化-氧化复合工艺研究进展. 热加工工艺,2004(5):50
- 赵阁玲,秦琴,唐生迪. 结构钢的加氧渗氮. 热加工工艺,1992(3):19
- 石连捷,卢柯. 低碳钢表面纳米化处理及渗氮特性研究[学位论文]. 南京:南京理工大学,1999
- 卑多慧,吕坚,顾剑锋,等. 表面纳米化预处理对低碳钢气体渗氮行为的影响. 材料热处理学报,2002,23(1):19

陈 玮(1981-),女,硕士,2006年武汉科技大学毕业,金属材料研究和开发。

收稿日期:2009-05-22